



БИОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

100 ЧАСОВ ШКОЛЬНОЙ БИОЛОГИИ: АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

ДУБЫНИН
ВЯЧЕСЛАВ АЛЬБЕРТОВИЧ

БИОФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА
СТУДЕНТКУ ФИЛОСОФСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ
ТУМАНОВУ ДАРЬЮ ПЕТРОВНУ

Оглавление

Лекция 1. Ткани	7
Эпителиальные ткани	7
Соединительные ткани	8
Мышечные ткани	9
Нервная ткань	12
Органы, системы органов	15
Лекция 2. Скелет	17
Костная ткань	17
Соединение костей	19
Скелет человека и его функции	20
Особенности скелета человека, связанные с прямохождением	26
Лекция 3. Мышцы и движения	28
Мышечная система человека	28
Топографическая классификация мышц человека	29
Управление мышцами	33
Основные типы движений	34
Лекция 4. Кровь	38
Кровеносная система и её функции	38
Состав крови	39
Эритроциты	41
Тромбоциты	44
Лекция 5. Иммунная система	46
Гуморальный клеточный врожденный иммунитет	46
Гуморальный клеточный приобретенный иммунитет	48
Вакцинация	52
Иммунологические проблемы	53
Лекция 6. Сердце	55
Большой и малый круги кровообращения	55
Насосная функция сердца	56
Электрическая функция сердца	59
Гуморальная и нервная регуляция сердечной деятельности	62
Лекция 7. Сосуды	65
Строение и функции артерий, вен и капилляров	65

Кровоснабжение верхней и нижней частей тела	67
Кровяное давление	70
Лимфатическая система	75
Лекция 8. Дыхание	76
Структуры дыхательной системы человека	76
Механизмы дыхательных движений	82
Дыхательный центр	84
Лекция 9. Пищеварение, желудочно-кишечный тракт	86
Пищеварительная система человека	86
Ротовая полость и носоглотка	87
Базовые пищеварительные компоненты ЖКТ: желудок, поджелудочная железа, печень	89
Тонкий и толстый кишечник	94
Лекция 10. Питание и обмен веществ	98
Пища и её компоненты	98
Неорганические макронутриенты	99
Органические макронутриенты	102
Неорганические и органические микронутриенты	106
Лекция 11. Почки, выделение	110
Диссимиляция	110
Почки	111
Процесс мочеобразования	114
Мочевой пузырь	119
Лекция 12. Кожа, терморегуляция	121
Строение кожи	121
Чувствительные нервные волокна кожи	126
Функции кожи	127
Лекция 13. Эндокринная система. Часть 1	130
Строение эндокринной системы. Гормоны	130
Гипоталамус и гипофиз	132
Щитовидная железа	133
Надпочечник	135
Половые железы	137
Лекция 14. Эндокринная система. Часть 2	139

Гипоталамо-гипофизарная система	139
Молочная железа	140
Эпифиз	142
Поджелудочная железа	143
Гипоталамус	145
Гормоны желудочно-кишечного тракта и кровеносной системы	147
Лекция 15. Половая система, размножение	149
Мужская половая система	149
Женская половая система	151
Размножение и эмбриогенез	153
Лекция 16. Центральная нервная система, спинной мозг	158
Развитие нервной системы	158
Спинной мозг	161
Врожденные программы спинного мозга	164
Лекция 17. Вегетативная нервная система	167
Классификации вегетативной нервной системы	167
Симпатическая и парасимпатическая нервные системы	168
Метасимпатическая нервная система	171
Черепные нервы	173
Лекция 18. Ствол головного мозга	177
Продолговатый мозг и мост	177
Средний мозг	181
Промежуточный мозг	184
Лекция 19. Большие полушария и мозжечок	189
Структуры больших полушарий	189
Мозжечок	198
Лекция 20. Зрительная чувствительность	201
Строение зрительного анализатора	201
Функции зрительной системы	206
Зрительный нерв и зрительные центры головного мозга	210
Лекция 21. Вестибулярная и слуховая чувствительность	214
Вестибулярная система	214
Слуховая система	218
Лекция 22. Вкусовая и обонятельная системы	223

Вкусовая система.....	223
Обонятельная система.....	229
Лекция 23. Чувствительность тела.....	233
Кожная чувствительность.....	233
Болевая чувствительность	236
Система мышечной чувствительности.....	238
Система внутренней чувствительности	242
Лекция 24. Обучение и память	244
Экспериментальное изучение обучения.....	244
Ассоциативное обучение	249
Кратковременная и долговременная память.....	251
Импринтинг.....	253
Отрицательное обучение	257
Лекция 25. Потребности и эмоции	258
Витальные потребности	258
Зоосоциальные потребности	262
Потребности саморазвития.....	264
Структуры мозга, отвечающие за реализацию поведенческих программ	267
Эмоции.....	268
Лекция 26. Безусловное и условное торможение, темпераменты.....	269
Безусловное торможение	269
Условное торможение	273
Типы высшей нервной деятельности.....	278
Лекция 27. Сон и бодрствование	284
Необходимые параметры сна	284
Биологические часы	286
Фазы сна	288
Механизмы системы сна и бодрствования	294
Лекция 28. Мышление, принятие решений	296
Механизмы работы ассоциативной теменной коры	296
Информационно-речевая модель мира.....	300
Механизмы работы ассоциативной лобной коры	302
Механизмы работы поясной извилины	305

Лекция 1. Ткани

Курс лекций "100 часов школьной биологии" начинается с раздела "Анатомия и физиология человека", посвященного работе эндокринной и нервной систем, желудочно-кишечного тракта, сердца и других систем органов человека. Для того, чтобы рассмотреть их функционирование, необходимо разобраться с блоками, из которых они сложены.

- **цитология** - наука, изучающая клетки
- **гистология** - наука, изучающая ткани

Ткань - совокупность межклеточного вещества и клеток, имеющих общее происхождение, строение и функции. Из тканей образуются органы → органы объединяются в системы органов → системы органов формируют целостный организм. Специалисты-гистологи выделяют в организме человека более 100 видов тканей, которые объединяются в 4 основные группы:

- эпителиальные ткани
- соединительные ткани
- мышечные ткани
- нервные ткани

Эпителиальные ткани

Эпителиальные ткани образованы клетками, которые образуют слои на поверхности тела и на поверхности полостей тела, а также находятся в составе желез.

Особенности эпителиальной ткани:

- клетки плотно прилегают друг к другу, образуя "стену" - эпителиальная ткань часто выполняет барьерную функцию; межклеточного вещества мало;
- отсутствуют явные сосуды;
- эпителиальная ткань быстро регенерирует, так как находится в опасных зонах (поверхность тела, стенки желудочно-кишечного тракта).

Покровный эпителий образует внешние покровы - "границы" тела, а также слизистые оболочки внутренних органов и полостей:

Однослойный покровный эпителий

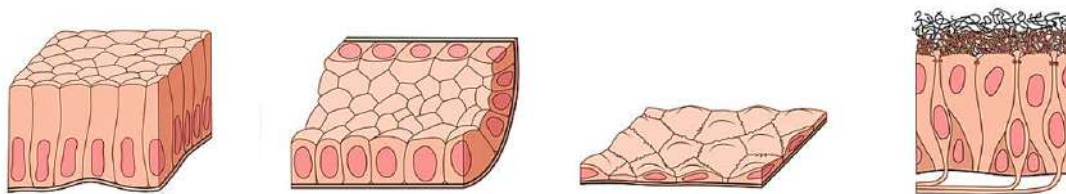


Рис. 1.1. Однослойный покровный эпителий

На рис. 1.1. показаны виды однослойного покровного эпителия (слева направо): кубический - почечные канальцы; цилиндрический - слизистая желудка и кишечника; плоский – сосуды; мерцательный/ресничный - обладает жгутиками, которые перемещают слизь, очищающую воздухоносные пути.

Многослойный покровный эпителий

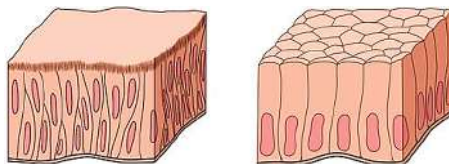


Рис. 1.2. Многослойный покровный эпителий

Неороговевающий покровный эпителий - слизистая рта и пищевода, роговица глаза (на рис. 1.2. справа) полностью состоит из живых клеток. Верхние клетки ороговевающего эпителия (эпидермис кожи) постепенно насыщаются особым белком - кератином и погибают, образуя слой мертвых, но надежно защищающих клеток.

Железистый эпителий

Железистый эпителий образует железы внешней и внутренней секреции, его основная функция - секреторная. Множество желез организма человека состоят из железистого эпителия, клетки которого плотно контактируют друг с другом. Выделяемый ими секрет уходит либо в протоки, либо в кровеносные сосуды.

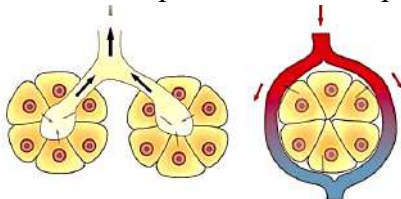


Рис. 1.3. Железистый эпителий

Соединительные ткани

Особенности соединительной ткани:

- по происхождению соединительные ткани мезодермальные, клетки ткани расположены рыхло;
- межклеточное вещество развито хорошо, занимает существенную долю объема и в значительной степени определяет свойства и функции конкретной ткани.

Разновидности соединительной ткани:

- **жидкие соединительные ткани** - отдельные клетки плавают в жидкости (кровь, лимфа) и выполняют транспортную функцию (перенос различных веществ);
- **волокнистые соединительные ткани** - межклеточное вещество насыщено белковыми молекулами, прежде всего коллагеном и эластином, которые

выделяются клетками соединительной ткани и укрепляют межклеточное вещество. Чем больше белковых молекул, тем плотнее межклеточное вещество:

- **волоконистая рыхлая** соединительная ткань (мало молекул) - оболочки внутренних органов, дерма;
- **волоконистая плотная** соединительная ткань (много молекул) - сухожилия, связки, перепонки, фасции, стенки сосудов.
- **скелетные соединительные ткани** - межклеточное вещество дополнительно насыщено кристаллами минеральных солей, связанных с кальцием и магнием (фосфаты и гидрофосфаты):
 - **костная** - минеральных солей более половины от сухой массы: кости скелета;
 - **хрящевая** - небольшое количество минеральных солей в межклеточном веществе: суставные поверхности костей, гортань, трахея, бронхи, ушные раковины.
- **ткани со специфическими свойствами** - например, жировая ткань, выполняющая запасующую (белый жир) и термоизолирующую функции (бурый жир).



Рис. 1.4. Соединительные ткани

Главное отличие эпителиальной и соединительной ткани состоит в том, что в первой между клетками практически нет пустого пространства (барьер), во второй - между клетками много межклеточного вещества.

Мышечные ткани

Особенности мышечной ткани:

- по происхождению мышечные ткани мезодермальные;
- свойства: возбудимость - способность реагировать на некий стимул, первичная реакция на стимул - возникновение электрического импульса; проводимость - проведение импульса по поверхности клетки; сократимость - импульс запускает сокращение мышечной клетки, за счет которого она выполняет главную задачу.

Разновидности мышечных тканей

- **гладкая мышечная ткань** - входит в состав внутренних органов: сосудов, бронхов, желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), мочеполовой системы. Ткань

образована относительно небольшими одноядерными мышечными клетками, обладающими небольшим количеством поперечных полосок, возникающих за счет расположения в цитоплазме строгими рядами комплексов двигательных белков актина и миозина, обеспечивающих мышечное сокращение. Скопления белковых молекул, формирующие полоски, видны даже в световой микроскоп. Если белков немного, то регулярные ряды не формируются, а на микроскопе возникает гладкое изображение равномерной окраски, чем объясняется название гладкой мышечной ткани. В результате небольшого количества актина и миозина сокращение гладких волокон более слабое и медленное (перистальтика ЖКТ), но такие клетки долго держат тонус и не утомляются, находясь в сокращенном состоянии недели и месяцы. Непроизвольное сокращение мышечных волокон регулируется большим количеством вариантов: вегетативная нервная система - специальные нервные волокна, которые входят в стенку сосуда или бронха, окружающую зрачок мышцы; гормональные стимулы; автоматия - в некоторых конструкциях (стенки лимфатических сосудов).

- **поперечно-полосатая сердечная мышечная ткань** - входит в состав стенки сердца, образована клетками кардио-миоцитами, имеющими 1-2 ядра. Клетки соединены через плотные контакты - синапсы, передающие электрические импульсы с одной клетки на другую. В сердце существует зона с мышечными клетками, произвольно генерирующими импульс - центр сердечной автоматии, из которого распространяется возбуждение, позволяющее сердцу сокращаться как единой мышечной массе. На центр сердечной автоматии могут влиять эндокринная и вегетативная нервная системы.
- **поперечно-полосатая скелетная мышечная ткань** - формирует мышцы головы, туловища, конечностей, глотки, гортани, верхней части пищевода и диафрагму. Ткань образована крупными цилиндрическими многоядерными клетками - мышечными волокнами, имеющими характерную поперечную исчерченность. В поперечнополосатых клетках актина и миозина так много, что они выдавливают ядра клетки на периферию, где они практически примыкают к клеточной мембране. Сигнал передают нервные клетки, образующие особые контакты - синапсы, через которые быстро, мощно и произвольно запускается сокращение скелетной мышцы, каждая клетка которой получает свой сигнал от мозга. И скелетные, и сердечные поперечнополосатые мышечные клетки работают по принципу: сокращение - расслабление/восстановление энергии.



Рис. 1.5. Мышечные ткани (слева направо): гладкая, сердечная и скелетная

Мышечные ткани	диаметр	длина
поперечно-полосатые скелетные волокна	до 100 мкм	до 40 мм

поперечно-полосатые клетки сердечной ткани	до 20 мкм	до 80 мкм
поперечно-полосатые клетки мышечной ткани	до 8 мкм	до 200 мкм

Молекулярная структура мышечных клеток

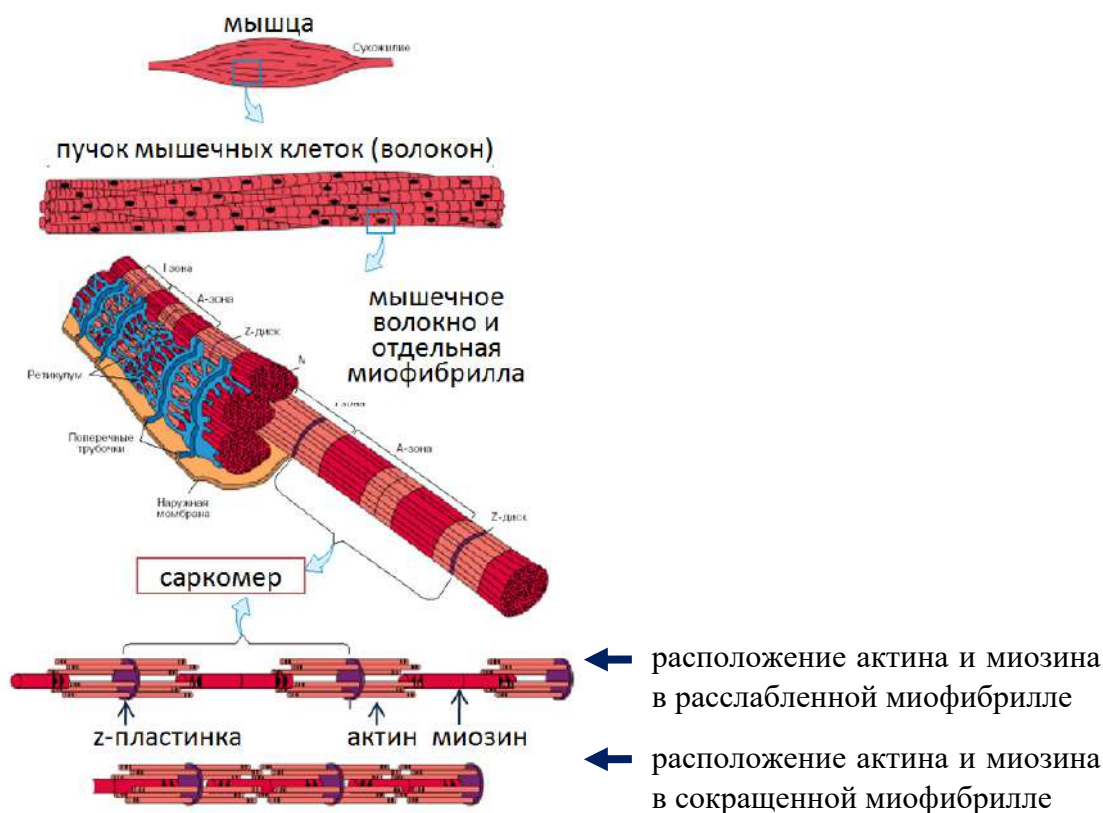


Рис. 1.6. Молекулярная структура мышечных клеток

Миофибрилла - скопление актина и миозина. В расслабленном состоянии мышечного волокна актин и миозин незначительно взаимно перекрывают друг друга, образуя более темные области - поперечные полосы. Тонкие молекулы белка актина создают опору системы, они крепятся к специальной межклеточной конструкции, которая называется **Z-пластинка**. Молекулы миозина - толще, при сокращении миофибриллы они вдвигаются внутрь молекул актина. Когда исследователи начали изучать мышечные волокна, то двигательные белки представлялись им схожими с растягивающейся и сокращающейся пружиной, но к действительности ближе аналогия со взаимным скольжением. В сокращенной миофибрилле светлые зоны исчезают, мышечная клетка становится темной. На подобное движение тратится энергия, после чего необходимо восстановление. В случае гладкой мышечной клетки актин-миозиновый комплекс не очень велик по объему, поэтому сокращение более слабое и медленное, энергия успевает восстанавливаться, держится тонус, но не видны поперечные полосы. Функциональный блок - промежуток между двумя Z-пластинками, в котором молекулы актина и миозина образуют стандартный комплекс, называется **саркомер**.

Нервная ткань

Особенности нервной ткани:

- эктодермальное происхождение - клетки на поверхности эмбриона формируют нервную ткань;
- нервная ткань состоит из двух видов клеток: **нейроны** (10 - 50%) и **глиальные клетки/нейроглия** - вспомогательные клетки нервной системы. В зависимости от зон мозга на одну нервную клетку может приходиться разное количество глиальных клеток, в коре больших полушарий их соотношение примерно 50/50;

Нервной тканью образованы головной и спинной мозг - центральная нервная система (ЦНС), нервные узлы (ганглии) и нервы - периферическая нервная система. Нейроны играют главную роль в нервной системе, их свойствами являются возбудимость и проводимость. Этими же свойствами обладает и мышечная система, но она генерирует электрический импульс, чтобы запустить сокращение. Электрический импульс, перемещающийся по поверхности клетки нервной системы - это способ передавать информацию, то есть реализовывать главную функцию нервных клеток.

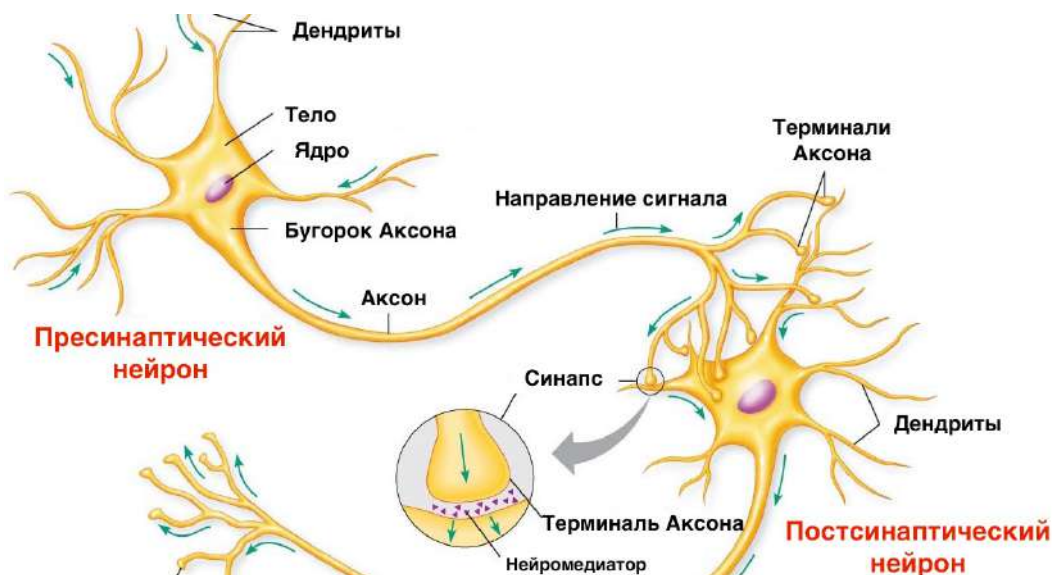


Рис. 1.7. Элемент нейронной сети

Строение нейрона:

- **тело (сoma)** - расположено в центре клетки, в теле находится ядро;
- **дендриты** - отростки, которые воспринимают сигналы и передают возбуждение к телу нейрона;
- **аксон** - отросток, который передает сигнал к следующим клеткам, вокруг аксона оборачиваются глиальные клетки.

Отличия дендритов и аксонов:

- **функциональное отличие** - в каком направлении передается электрический импульс (на рис. 1.6. стрелками показано, как идут информационные потоки): дендриты воспринимают информацию и передают её к соме нервной клетки, она её обрабатывает, после чего может запустить импульс, который по аксону "бежит" к следующим клеткам;
- **морфологическое отличие** - связано со строением: как правило, дендритов несколько, они чаще короткие и сильнее ветвятся под острыми углами, образуя дендритное дерево; аксон всегда один, он более длинный и меньше ветвится.

Для того, чтобы передавать информацию, нервные клетки формируют сети. По поверхности нейрона информация передается в форме коротких (0,001 сек) электрических импульсов - **потенциалов действия**, которые по сути являются "двоичным кодом" мозга человека. Когда электрический импульс доходит до окончания аксона, он передается на следующую клетку не в электрической, а в химической форме: из окончания аксона выделяются химические вещества - **нейромедиаторы** ("медиаторы" - посредники), они влияют на следующий нейрон и в простом варианте могут уже в его дендритах запустить импульс, который будет передаваться дальше. Описанная система передачи информации с нейрона на нейрон называется **химический синапс**. Термин "синапс" переводится как соединение, синапс также существует в сердце, но там он - электрический, поскольку сигнал с одного кардиомиоцита на другой переходит без медиаторов. В мозге на одну нервную клетку может приходиться до сотни сигналов, взаимодействие химических синапсов позволяет сопоставить значимость информационных потоков. Конкуренция разных синапсов на нервных клетках лежит в основе психических процессов (мышления, принятия решений).

Более сложная нейросеть, состоящая из пяти нейронов, показана на рис. 1.8.:

- **сенсорные нейроны** - связаны с органами чувств, в простом варианте в подобной нейросети они располагаются на входе. Сенсорные нейроны могут обладать всего одним дендритом, идущим на поверхность кожи. При прикосновении он генерирует электрический импульс, который перемещается по нейрону до синапсов со следующими клетками, происходит переключение и учет дополнительных сигналов, например, гормональных.
- **исполнительный нейрон** - находится на выходе из сети, его аксон дотягивается до мышцы или внутреннего органа. По этому признаку все исполнительные нейроны делятся на:
 - **двигательные (мотонейроны)** - образуют синапсы с клетками скелетных мышц, где каждая клетка получает свой сигнал от нервной системы;
 - **вегетативные** - воздействие, например, на центр сердечной автоматии сердца или стенку сосуда;
- **вставочные нейроны (интернейроны)** - имеют классический вид, образуют небольшую сеть, передавая сигнал друг другу, например, закликая его.

Сигнал по нервным сетям передается в достаточно строгой последовательности, потенциал действия на рис. 1.8. показан красными линиями, стрелками обозначено направление его распространения.

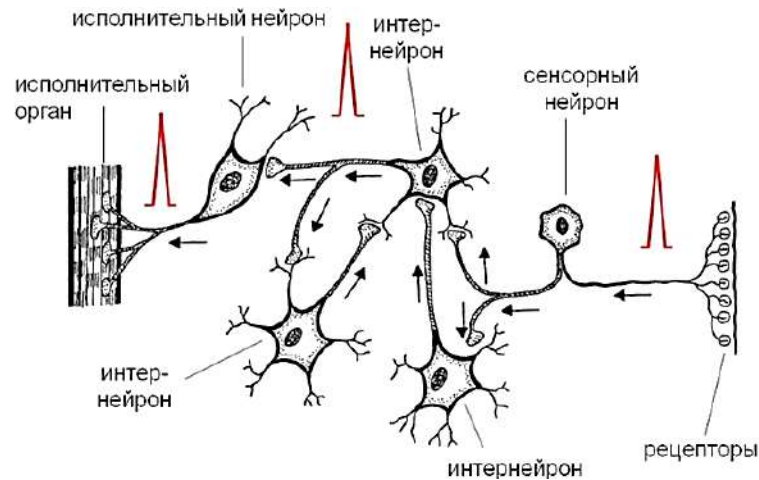


Рис. 1.8. Нейросеть, состоящая из разных по функциям нейронов

Подобные простые цепи, а иногда циклы нейронов лежат в основе врожденных рефлекторных дуг. **Рефлекс** - стереотипная ответная реакция организма, она запускается рецепторами и реализуется при помощи нервной системы.

Глия (нейроглия)

Помимо нервных клеток в состав нервной ткани входят вспомогательные глиальные клетки, которые заполняют пространство между нейронами. По отношению к нейронам - самым "нежным" клеткам организма человека нейроглия выполняет "обслуживающие" функции, формируя условия для их эффективной работы:

- **защитная и опорная функции: астроциты** - клетки с большим количеством отростков, которые поддерживают нейроны и сплетения отростков, не позволяют синапсам разрываться. Астроциты заполняют пространство между нейронами и формируют "упаковку"; **клетки микроглии** - осуществляет защиту от вторжений бактерий и вирусов, выполняя роль лейкоцитов в ЦНС, в отличие от остальных клеток нервной ткани микроглии имеют мезодермальное происхождение.
- **питательная функция** - астроциты выполняют химическую защиту, осуществляя контроль за продвижением веществ из сосудов внутрь нервной ткани мозга, то есть образуют гематоэнцефалический барьер (ГЭБ). Для этого часть отростка астроцита оборачивается вокруг кровеносных сосудов (капилляров). Эта функция очень важна, потому что в крови содержатся различные вещества, в том числе поступающие из ЖКТ.
- **электроизолирующая функция** - сигнал по нервным клеткам "бежит" в форме коротких нервных импульсов, поэтому нейроны не должны прикасаться друг к другу в произвольных местах - контакт разрешен только в синапсах, остальные участки нейронов должны быть изолированы электрически. Данную функцию

выполняет особая группа глиальных клеток - **олигодендроциты**, которые обладают небольшим количеством отростков, оборачивающихся вокруг аксонов и формирующих таким образом электрическую изоляцию. В периферической нервной системе аналогом олигодендроцитов являются **Шванновские клетки**, также образующие вокруг аксонов нейрона многослойные оболочки, богатые миелином - белково-липидным комплексом, который имеет белый цвет. Зоны мозга, где много миелина, являются светлыми, поэтому ещё в античные времена были названы "белое вещество мозга".

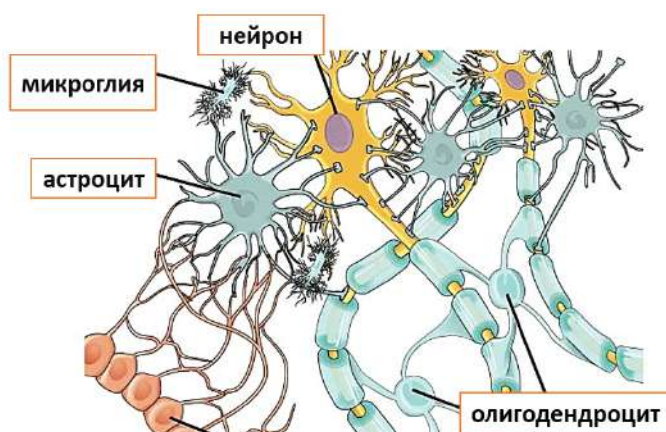


Рис. 1.9. Взаимосвязь нейронов и нейроглии

Для того, чтобы проводить электрический сигнал, между отдельными Шванновскими клетками остаются "голые" промежутки - **перехваты Ранвье**, в которых развиваются электрические импульсы. Когда сигнал проводится по хорошо изолированным аксонам, то он "перескакивает" с одного неизолированного участка на другой, при этом скорость проведения импульса заметно возрастает, поэтому те зоны мозга, где много белого вещества, быстрее проводят информацию. Таким образом, миелиновые оболочки обеспечивают взаимную электрическую изоляцию и ускорение проведения сигнала в нервной системе. Тела нервных клеток разделяются телами олигодендроцитов, то есть в этом случае нет миелиновых оболочек, такие зоны мозга являются более темными и называются "серое вещество мозга".

Органы, системы органов

Орган - обособленная часть тела, имеющая присущую ему форму и строение. Орган занимает в организме определенное место и выполняет характерную функцию. Внутри органа, как правило, присутствуют эпителиальные, соединительные, мышечные и нервные ткани, часто с преобладанием одной или двух из них. Многие внутренние органы человека имеют характерное трубчатое строение: артерии, бронхи, ЖКТ, мочеточники. На примере такого полого органа, как артерия хорошо видно, как разные ткани объединяют усилия для того, чтобы сформировать полезную конструкцию внутри тела.

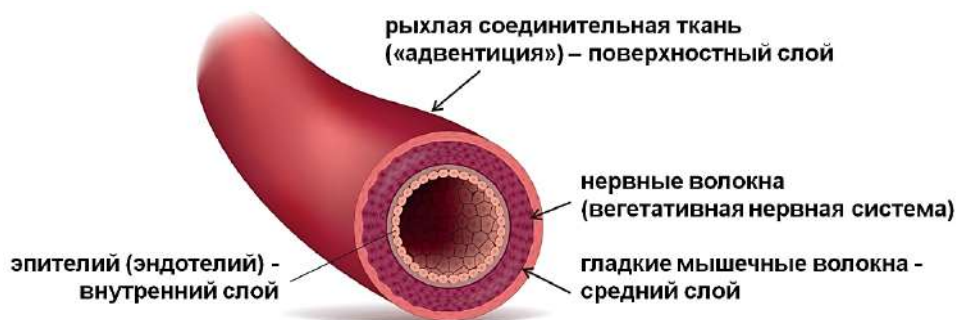


Рис. 1.10. Схема полого органа на примере артерии

Система органов - сумма органов, связанных анатомически и функционально, как правило, связанных и по происхождению, то есть имеющих общее эмбриональное прошлое. В организме человека различают следующие системы органов:

1. Опорно-двигательная система
2. Сердечно-сосудистая система
3. Система крови и иммунитета
4. Дыхательная система
5. Пищеварительная система (ЖКТ)
6. Выделительная система
7. Покровная система
8. Половая система
9. Эндокринная система
10. Нервная система и органы чувств

В ходе курса лекций будут рассмотрены все системы органов человека, их устройство и функционирование. Часть систем органов можно назвать рабочими, потому что они выполняют конкретные функции. Для того, чтобы разные системы органов совместно решали задачи и организм человека функционировал как единое целое - важно, чтобы конкретные системы получали управляющие сигналы. Регуляцию деятельности организма осуществляют две системы, которые дополнительно влияют друг на друга:

- **нервная** - реализует быструю регуляцию, прежде всего за счет точечного выделения нейромедиаторов в синапсах;
- **эндокринная** - реализует более медленную регуляцию за счет выделения гормонов, которые выбрасываются в кровь и распространяются по всему организму. Этот процесс называется гуморальная регуляция (более древняя), он реализуется с помощью не только гормонов, но и других биологически активных веществ, выделяемых клетками во внутреннюю среду организма (глюкоза, углекислый газ, факторы иммунной системы).

Лекция 2. Скелет

Костная ткань

В разделе "Анатомия и физиология человека" курса лекций "100 часов школьной биологии" будут последовательно рассмотрены десять систем органов человека. Вторая и третья лекции посвящены опорно-двигательной системе, знакомство с которой начинается со скелета, являющегося базовой и важнейшей системой органов, пассивной частью опорно-двигательного аппарата и совокупностью костей организма человека.

Функции скелета человека:

- **опорная функция** - скелет создает основу для тела человека;
- **защитная функция** - скелет защищает мозг, сердце, легкие, нижнюю часть кишечника и мочеполовую систему;
- **двигательная функция** - скелет является точкой приложения усилий мышц; в результате сокращения мышечных волокон части скелета сдвигаются и человек перемещается в пространстве.

Скелет новорожденного состоит из 270 костей, в течение первых 15 - 20 лет жизни человека многие из них срастаются, в итоге у взрослого человека в составе скелета насчитывается 205 - 208 костей. В ходе данной лекции будут рассмотрены основные кости, их функции и соединения. Скелет состоит из: костной ткани, хрящевой ткани, часть компонентов - из плотной и волокнистой соединительной ткани, из суставов.

В состав костной ткани входят:

- вода - 20 - 50%;
- органические вещества (коллаген и эластин) - 1/3 от сухого веса, придают костям эластичность;
- неорганические вещества (фосфаты и гидрофосфаты кальция и магния) - 2/3 от сухого веса, придают костям твердость.

Костная ткань - вариант соединительной ткани, клетки костной ткани - **остеоциты** выделяют межклеточное вещество, которое состоит из белковых молекул, а также из минеральных кристаллов. Таким образом формируется оптимальное сочетание прочности и гибкости - результат длительной эволюции от хорды, ланцетника и скелета хрящевых рыб - до скелета наземных позвоночных (млекопитающих и человека).

Типичная кость конечностей состоит:

- **эпифизы** - головки костей;
- **диафиз** - тело кости;

- **остеон** - структурный элемент кости, система тонких костных пластинок, concentрическими кругами располагающихся вокруг тонких каналов, содержащих нервы и кровеносные сосуды.

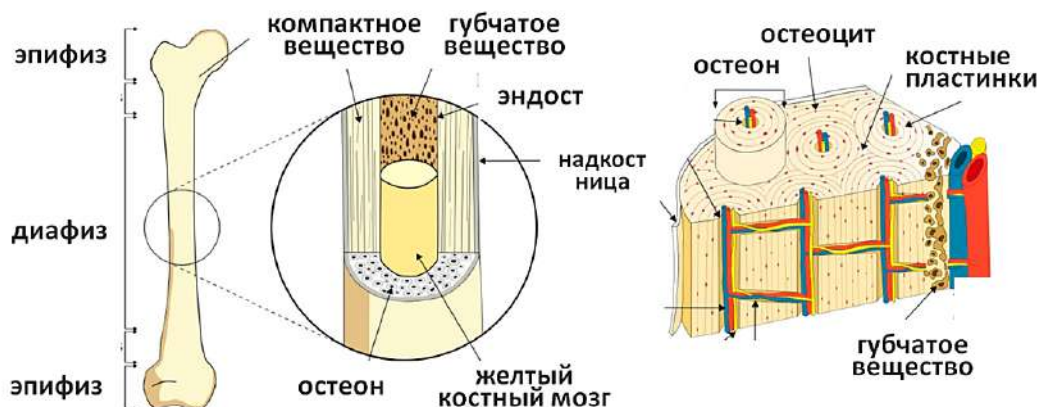


Рис. 2.1. Строение кости

Остеоны образуют перекладины, если они расположены плотно, то образуется компактное вещество кости (характерно для диафиза), если рыхло - губчатое вещество (характерно для эпифизов). Когда в XIX веке исследователи начали изучать строение костной ткани, анализ пластинок губчатого вещества навел инженеров на мысль, что возможно создавать сетчатые конструкции из металла, способные выдерживать существенную нагрузку, а также стать основой зданий. Густав Эйфель создал Эйфелеву башню с учетом знаний об организации костной ткани

	Плотное вещество • отличается прочностью • имеет пластинчатое строение, напоминающее систему вставленных друг в друга цилиндров
	Губчатое вещество • позволяет экономить вес, что дает возможность человеку, например, плавать • образовано очень тонкими костными перекладинами, ориентированными по линиям основных напряжений

Диафизы костей покрыты тонкой оболочкой из соединительной ткани - **надкостницей**, суставные поверхности - хрящом. Надкостница выполняет следующие функции:

- защитную;
- трофическую - содержит кровеносные сосуды и нервы;
- костеобразующую - с внутренней стороны надкостницы находятся клетки остеобласты, которые делятся и обеспечивают рост кости в толщину.

Кости постоянно обновляются, поэтому в состав костной ткани входят клетки **остеокласты**, которые разрушают межклеточное вещество для того, чтобы остециты могли его обновить. Между эпифизом (головкой кости) и диафизом (телом кости) имеется прослойка остеобластов, за счет деления которых происходит рост кости в длину. Рост костей прекращается: у мужчин - к 23 - 25 годам, у женщин - к 18 - 20. При этом взаимодействие остеоцитов, остеобластов и остеокластов происходит в течение всей жизни человека и помогает восстанавливать кости после травм, трещин и переломов.

- **эпифизы** - состоят из губчатого вещества, в ячейках которого находятся полости, содержащие **красный костный мозг** - кроветворную ткань ("нежные" стволовые клетки мезодермы), формирующую клетки крови (эритроциты, тромбоциты, лимфоциты);
- **диафиз** - внутри диафиза находится полость с **желтым костным мозгом** - запасавшей жировой тканью.

Отметим, что красный и желтый костный мозг не имеют отношения к нервной системе, их названия обусловлены исторически, поскольку термином "мозг" ранее было принято называть находящееся внутри структуры вещество, например, мозговое вещество почки.

Соединение костей

Типы костей выделяются по форме с учетом выполняемых ими функций:

- **трубчатые** кости - внутри своего тела имеют полость, где располагается желтый костный мозг: длинные трубчатые кости - плечевая, локтевая, лучевая, бедренная, большая и малая берцовые; короткие - пясть, плюсна, фаланги пальцев;
- **плоские** кости - две пластинки компактного вещества, между которыми находится небольшое пространство, заполненное незначительным количеством губчатого вещества: лопатки, таз, крыша мозгового черепа;
- **губчатые** кости - по строению напоминают эпифизы трубчатых костей, но более объемны и имеют много губчатого вещества, в них отсутствует полость с желтым костным мозгом, но присутствует красный костный мозг: длинные губчатые кости - ребра, грудина; короткие - запястья, предплюсна;
- **смешанные** кости - в некоторой части напоминают плоские кости, в другой - губчатые: кости основания черепа, позвонки.

Соединения костей:

- **неподвижные** - при подобном соединении кости по сути срастаются друг с другом, у маленького ребенка они ещё могут смещаться, далее эта способность становится ограниченной, в итоге между костями остается небольшое пространство, плотно прошитое волокнами соединительной ткани: таз, мозговой череп;

- **полуподвижные** - хрящевые "прокладки" между сочленяющимися костями: тела шейных, грудных и поясничных позвонков налегают друг на друга, между ними находится полость, заполненная достаточно густой жидкостью, в которой находятся остатки хорды и хрящевые ткани. Полость забрана "муфтой" из плотной волокнистой соединительной ткани, таким образом образуется герметичная капсула - подушка с жидкостью, на которой тело одного позвонка перемещается относительно тела другого. Кроме позвоночника подобным способом соединяются ребра с грудиной и грудными позвонками, а также две лобковые кости таза (лобковый симфиз).
- **подвижные соединения** (суставы) обеспечивают максимальную подвижность одной части скелета относительно другой, возможность для человека передвигаться в пространстве. Разные суставы двигаются в одной или нескольких плоскостях, самый подвижный сустав - плечевой. Отметим, что чем больше подвижность сустава, тем больше вероятность его вывиха, а травма сустава лечится сложнее, чем перелом кости. В состав сустава входят следующие компоненты:
 - **суставные поверхности:** как правило, одна кость образует головку, другая - впадину; и головка, и впадина покрыты хрящом;
 - **суставная полость;**
 - **суставная сумка (капсула)**, наружный слой которой вплетается в надкостницу, внутренний - выделяет суставную (синовиальную) жидкость для уменьшения трения и питания хряща;
 - **связки** - располагаются над сумкой, являются очень прочными, укрепляют сустав, определяют размах и направление движений в суставе.



Рис. 2.2. Строение сустава

Скелет человека и его функции

Функции скелета:

- **механические** - опора, движения, защита внутренних органов;

- **метаболическая** - участие в обмене минеральных веществ; организм воспринимает кости и как запас кальция, который начинает выводиться из скелета, если человек недополучает его с пищей; формирование и разрушение костной ткани - процессы, которые дополнительно регулируются гормонально, большой вклад в формирование скелета вносит витамин D;
- **кроветворная**.

Скелет взрослого человека состоит из:

- **скелет головы** – череп;
- **скелет туловища** - позвоночный столб и грудная клетка;
- **скелет конечностей** - скелет поясов и скелет свободных нижних и верхних конечностей.

Череп

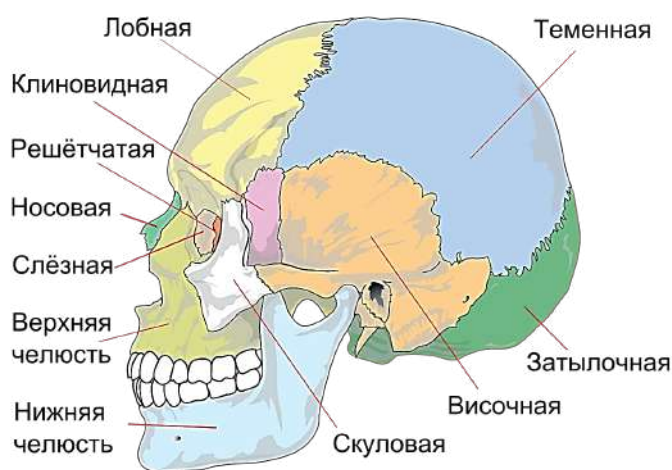


Рис. 2.3. Кости черепа

Череп включает 23 кости и разделен на два отдела:

- **мозговой отдел** (8 костей):
 - **парные** - височные и теменные кости;
 - **непарные** – лобная; затылочная, где находится большое отверстие для соединения спинного и головного мозга; очень сложная по конфигурации клиновидная кость с выемкой для эпифиза (турецкое седло) мощно подпирает дно мозгового черепа, а также формирует стенки носовых ходов; решетчатая кость находится над центром носовой полости и содержит множество отверстий, через которые проходит обонятельный нерв.
 - **функции мозгового отдела**: место расположения головного мозга и его защита.
- **лицевой отдел**:
 - **парные** - верхнечелюстные, носовые, нижние носовые раковины, скуловые, слезные, небные кости;
 - **непарные** - сошник, нижняя челюсть, подъязычная кость.

- **функции лицевого отдела:** костная основа лица, прикрепление мимических и глазодвигательных мышц; опора для начальных отделов дыхательной и пищеварительной систем; жевание: сустав нижней челюсти и височной кости.

У млекопитающих, в том числе у человека, единственный сустав в черепе - сустав между нижней челюстью и височной костью, с помощью которого идет процесс жевания. В черепе новорожденного неподвижное соединение между лобной, затылочной и теменными костями еще не сформировано, существуют большие пространства, затянутые перепонкой из плотной соединительной ткани - роднички, которые в течение первого года жизни ребенка постепенно зарастают. Эта особенность обусловлена тем, что в процессе родов кости его черепа могут сдвигаться относительно друг друга, что необходимо, поскольку через небольшое отверстие малого таза должна пройти довольно большая голова ребенка.

Позвоночник

В состав позвоночника человека входят 33 - 34 позвонка. Отделы позвоночника: **шейный** - 7 позвонков, **грудной** - 12, **поясничный** - 5, **крестцовый** - 5 позвонков, которые к 18 - 20 годам срастаются в единую конструкцию - крестец, **копчиковый** - 4 - 5 сросшихся позвонков.

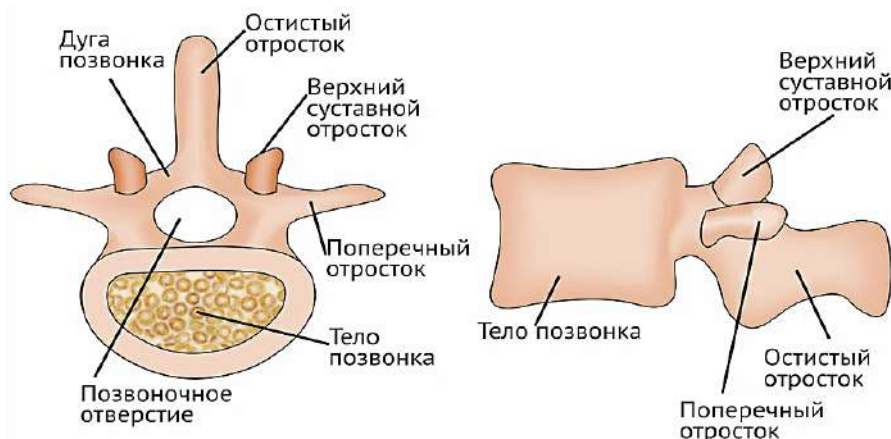


Рис. 2.4. Строение позвонка: вид сверху и сбоку

- **Шейный отдел позвоночника** - отвечает за движения головы;
- **Особенности 7 позвонков шейного отдела:** небольшие тела (в связи с увеличивающейся тяжестью размер позвонков нарастает сверху вниз); позвоночные отделы треугольной формы, в поперечных отростках находятся отверстия для позвоночных артерий, которые питают кровью головной мозг; небольшие остистые отростки.

Два первых позвонка шейного отдела имеют необычное строение. Первый позвонок называется атлант, потому что он держит череп. Атлант имеет вид кольца с поверхностями для присоединения мыщелков затылочной кости, тело атланта в ходе эволюции отделилось и приросло к телу второго шейного позвонка - эпистрофея (осевого, аксиса) в виде выступа - зубовидного отростка,

вокруг которого крутится атлант. Поворот головы - это поворот первого шейного позвонка относительно зубовидного отростка второго позвонка. Данная конструкция довольно хрупкая: в случае атланта между спинным мозгом, который проходит в позвоночном канале под дугой позвонка и зубовидным отростком, находится только связка из плотной соединительной ткани, костный барьер отсутствует.



Рис. 2.5. Первый шейный позвонок - атлант (слева), второй шейный позвонок - эпистрофей (справа)

- **Грудной отдел позвоночника** - участвует в образовании грудной клетки, отвечает за дыхательные движения;
- **Особенности 12 позвонков шейного отдела:** тела позвонков становятся заметно крупнее; на телах и поперечных отростках имеются суставные поверхности для сочленения с ребрами, каждое ребро соединяется с парой грудных позвонков (верхним и нижним); остистые отростки длинные, сильно наклонены вниз и накладываются друг на друга; отростки отдельных позвонков соединены мышцами и связками, что стабилизирует структуру грудной клетки для ограничения движения и защиты органов грудной полости (сердце, легкие). Таким образом, в грудном отделе позвонки не должны смещаться относительно друг друга, поскольку на них опирается грудная клетка.
- **Поясничный отдел позвоночника** - обеспечивает наклоны и изгибы туловища;
- **Особенности 5 позвонков поясничного отдела:** тела позвонков очень массивные, остистые отростки короткие, широкие и обращены строго назад (горизонтально).
- **Крестцовый отдел позвоночника** - передает тяжесть тела на ноги;
- **Особенности 5 позвонков крестцового отдела:** к 18 - 20 годам позвонки срастаются в одну кость трапециевидной формы – крестец (рис. 2.6.), на котором четко видны отверстия; остистые и поперечные отростки также срастаются; имеются суставные поверхности для сочленения с тазом.
- **Копчиковый отдел позвоночника** - соответствует хвосту позвоночных, уже у новорожденных представлен одной рудиментарной костью - копчиком (рис. 2.6.), которая формируется в результате сращения 4 - 5 позвонков.



Рис. 2.6. Крестец - вид спереди (слева), крестец - вид сбоку (в центре), копчик - вид сзади (справа)

Грудная клетка

Грудная клетка образована грудными позвонками, ребрами и грудиной. **Ребро** - длинная дугообразно изогнутая губчатая кость, передняя часть ребра представлена хрящевой тканью и соединяется с грудиной. **В грудине различают:** тело, рукоятку и хрящевой мечевидный отросток. Грудная клетка важна для реализации дыхательных движений.

- **истинные ребра** (I - VII пары) - крепятся непосредственно к грудиने через хрящ;
- **ложные ребра** (VIII - X пары) - крепятся к грудине через хрящ предыдущего ребра;
- **колеблющиеся ребра** (XI - XII пары) - не соединяются с грудиной, короткие и заканчиваются сбоку в стенке тела человека.

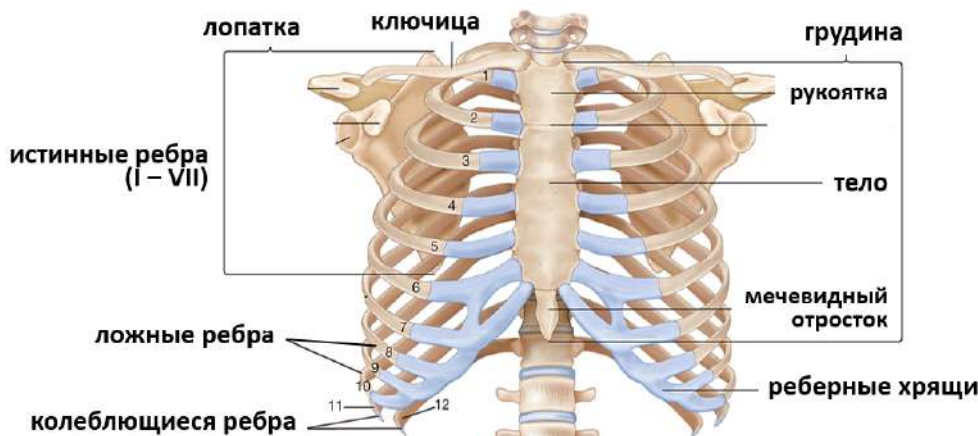


Рис. 2.7. Строение грудной клетки

Скелеты верхней и нижней конечности

- **Скелет верхней конечности** состоит из скелетов плечевого пояса и свободной верхней конечности:
 - **Скелет плечевого пояса** состоит из парных лопаток и ключиц;

- лопатка - плоская кость, сочленяющаяся с ключицей и плечевой костью (соединена со скелетом только через ключицу);
- ключица - гребчатая S-образно изогнутая кость, сочленяющаяся с грудиной и лопаткой.
- **Скелет свободной верхней конечности состоит из:**
 - плечо - образовано плечевой костью;
 - предплечье - локтевая и лучевая кости;
 - кисти - 27 костей: запястья (4 + 4 кости), пясть (5) и фаланги пальцев (14, у четырех пальцев по 3 фаланги, у большого пальца - 2).

Основные суставы скелета верхней конечности:

- плечевой: лопатка и плечевая кость;
- локтевой: плечевая локтевая и лучевая кости;
- лучезапястный: лучевая и кости запястья.

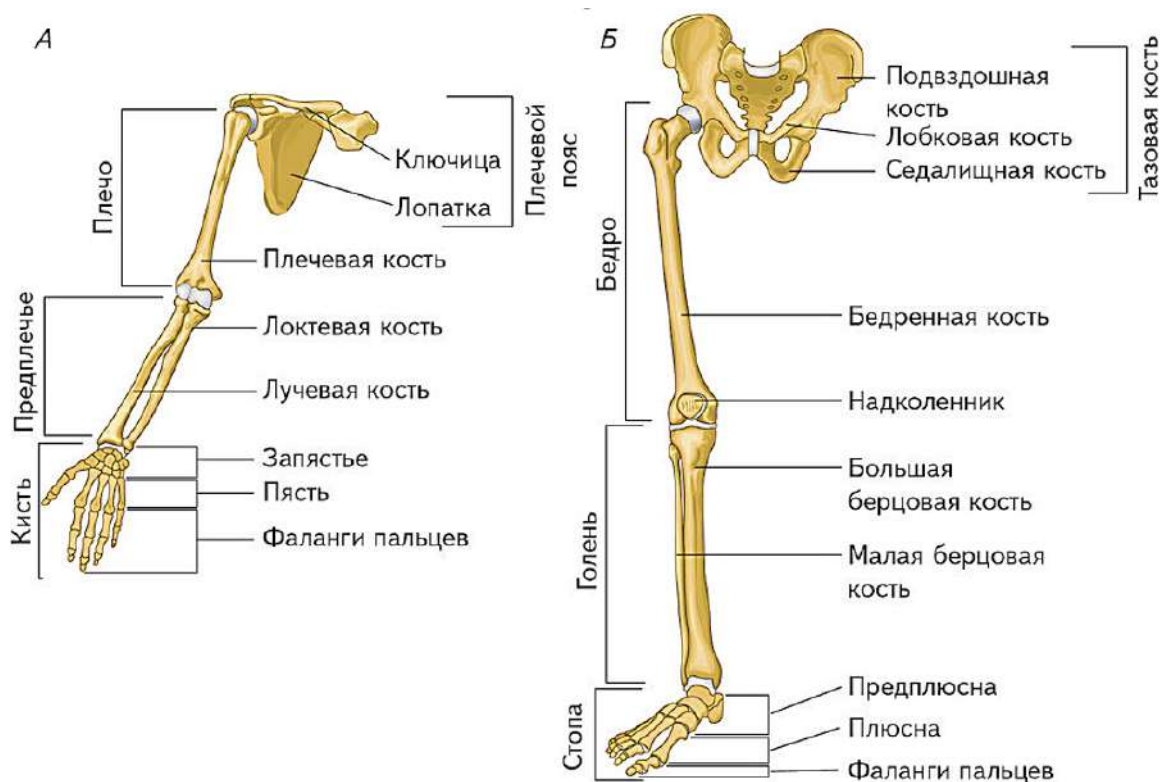


Рис. 2.8. А - скелет верхней конечности, В - скелет нижней конечности

- **Скелет нижней конечности** состоит из скелетов тазового пояса и свободной нижней конечности:
- **Скелет тазового пояса** состоит из двух тазовых костей, каждая из которых образовалась при сращении трех костей: подвздошной, седалищной и лобковой; Лобковые кости образуют лобковое сращение - закрытый таз.

- **Скелет свободной нижней конечности** состоит из:

- бедро - бедренная кость;
- голень - большая и малая берцовые кости;
- стопы - 26 костей: предплюсна (7 костей, из которых 2 являются крупными - пяточная и таранная, на которую опирается голень), плюсна (5), фаланги пальцев (14) и надколенник.

Основные суставы скелета нижней конечности:

- тазобедренный: в точке сращения подвздошной, седалищной и лобковой костей возникает суставная поверхность для присоединения бедренной кости;
- коленный: большая берцовая, бедренная кости и надколенник;
- голеностопный: локтевой: большая и малая берцовые кости, и таранная кость, где много плотного компактного вещества, что делает её очень прочной.

Особенности скелета человека, связанные с прямохождением

Человек обладает типичным скелетом млекопитающего, но прямохождение наложило очень характерный отпечаток на ряд особенностей морфологии:

- S-образный позвоночник, имеющий 4 изгиба: 2 лордоза (изгибы вперед) - шейный и поясничный, 2 кифоза (изгибы назад) - грудной и крестцовый. Это создает амортизирующую конструкцию, которая хорошо работает при ходьбе, амортизации способствует и жидкостная подушка внутри межпозвоночных дисков.
- грудная клетка расширена в стороны, таз расширенный и чашевидный, что создает правильную конфигурацию туловища человека и его посадку на тазовый пояс;
- нижние конечности массивнее верхних (в отличие от человекообразных обезьян);
- стопа сводчатой формы - амортизирующая функция;
- массивные пяточные кости.

Серьезный вклад в изменение скелета человека внесли: жизнь на деревьях, хватание передней конечностью за ветки, использование орудий труда и развитие речи. Благодаря данным процессам у человека сформировалась рука с противопоставленным большим пальцем (характерно для приматов), увеличился мозговой отдел черепа, предназначенный вмещать большой головной мозг. Появился подбородок, чтобы крепить мышцы, связанные с речедвигательной функцией, потому что произносить слова - отдельная и очень сложная задача, решаемая и опорно-двигательным аппаратом (движение нижней челюстью).

Проблемы, возникающие в результате деформации скелета:

- **лордозы и кифозы** могут быть избыточными, недостаточными, находиться не в том месте;

- "благоприобретаются" боковые искривления позвоночника - **сколиозы**, к которым необходимо относиться очень серьезно, потому что между позвонками из спинного мозга выходят нервы; любая деформация позвоночника может нарушить сигналы, которые идут от спинного мозга, например, к внутренним органам; сместившийся позвонок может придавить нерв, что вызовет болевые ощущения;
- **плоскостопие** - серьезная проблема, препятствующая долгой ходьбе.

Состояние позвоночника человека является очень важным, прямохождение быстро деформирует его, поэтому занятия спортом, здоровый образ жизни, чередование умственной и физической активности - правильный и осмысленный подход человека к эксплуатации своего организма.

Лекция 3. Мышцы и движения

Мышечная система человека

В ходе первой лекции раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" были рассмотрены ткани, в том числе мышечные ткани, которые делятся на скелетные, сердечные (сердце) и гладкие (стенки внутренних органов). **Скелетные ткани** - самые крупные и длинные, со значительным количеством актина и миозина, они обеспечивают сокращения бицепсов, трицепсов и других мышц, позволяющих человеку двигаться, дергая за рычаги скелета - кости. Кроме того, они выполняют массу других функций, например, мимика является важнейшим компонентом общения, как и работа с голосовыми связками, а без дыхательных мышц в легкие не попадет кислород. Мышечное сокращение происходит за счет того, что молекулы актина и миозина скользят друг по другу, при этом расходуется энергия аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), обязательным участником данного процесса являются ионы кальция.

Опорно-двигательная система человека состоит из скелета (пассивная часть) и поперечнополосатых мышц. За счет таких свойств, как возбудимость, проводимость и сократимость мышечные клетки выполняют полезную работу - осуществляют движения разной скорости, силы и амплитуды, направленные на решение различных задач (от бега и плавания до пережевывания пищи).

- в организме человека более **400 мышц**, ряд классификаций выделяет более 600 мышц, очень тонко подразделяя мимические;
- мышцы являются значительным компонентом тела человека: около 40% массы тела у мужчин и около 30% у женщин, скелет - 10 - 15% массы.

Строение мышц:

- **мышечные клетки (мышечные волокна)** - собраны в пучки, покрытые волокнистой соединительной тканью;
- **фасция** - более плотные оболочки из соединительной ткани вокруг пучков волокон;
- **брюшко мышцы** - основная сократимая часть;
- **сухожилия** - находятся на концах мышцы и крепятся к костям, в случае мимических мышц сухожилие может крепиться к другому сухожилию или к коже;
- **нервы и сосуды.**

Часто конец мышцы ("головка"), находящийся ближе к туловищу, в ходе сокращения остается неподвижным, перемещается другой конец ("хвост"). Брюшко, головка и хвост - относятся к сократимой части мышцы, сухожилия и фасции - волокнистая соединительная ткань, в случае сухожилий она плотная и очень прочная, поскольку эти свойства сухожилий являются важнейшей составляющей работы опорно-двигательного аппарата человека.

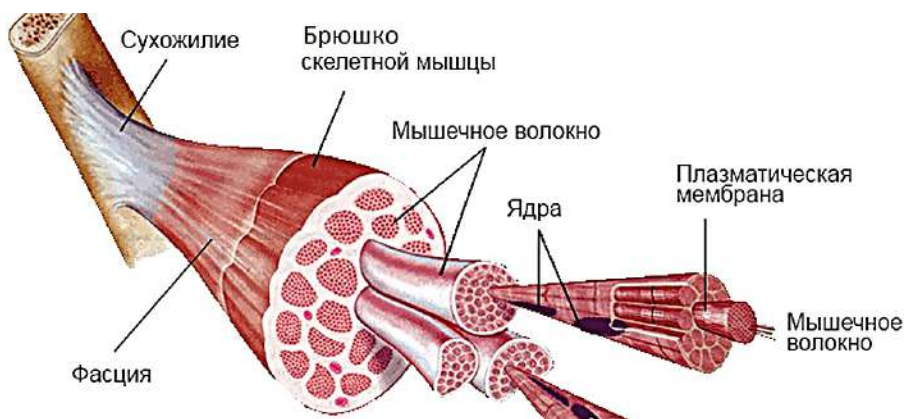


Рис. 3.1. Строение скелетной мышцы

Сокращение возникает в ответ на приход сигнала по аксону мотонейрона - двигательной мышечной клетки, в результате чего из окончания аксона выделяется нейромедиатор ацетилхолин, запускающий импульс на мышечные клетки (возбудимость мышечной клетки), он распространяется (проводимость), в итоге происходит взаимное скольжение волокон актина и миозина (сократимость). При сокращении внутренних волокон мышца в целом может укорачиваться на 30 - 50%. Каждая отдельная клетка сокращается по принципу "все или ничего", но поскольку внутри мышцы срабатывают далеко не все волокна, то возникает вариабельность по силе, скорости и амплитуде. Мышцы человека очень разнообразны: самый простой вариант - веретенообразная мышца, состоящая из брюшка, головки и хвоста, двуглавая мышца (бицепс) обладает двумя головками и единым хвостом.

Классификации мышц:

По положению:

- **поверхностные и глубокие** - характерны для спины;
- **наружные и внутренние** - мышцы бедра;
- **верхние и нижние**;
- **передние и задние**.

По характеру движения:

- **сгибатели (флексоры) и разгибатели (экстензоры)**: бицепс и трицепс - флексор и экстензор локтевого сустава;
- **сжиматели (сфинктеры) и расширители (дилататоры)**: в гортани существуют мышцы, работающие с голосовыми связками и выполняющие данные функции;
- **пронаторы и супинаторы** - вращатели внутрь и наружу: рука, стопа.

По топографии: мышцы головы, шеи, туловища, верхних и нижних конечностей.

Топографическая классификация мышц человека

Мышцы головы

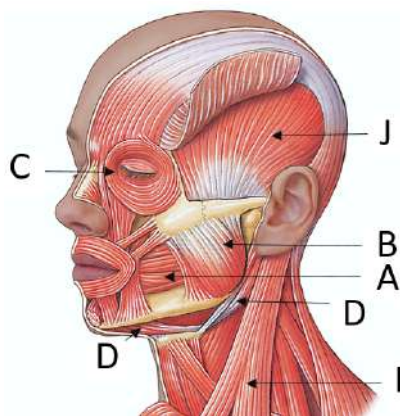


Рис. 3.2. Часть мышц головы, ответственных за движение глаз и рта, мышцы шеи

- **значительное количество мимических мышц** - наиболее тонко подразделяется головы, поскольку движения бровей, лба, щек и губ обеспечивают множество мелких мышц;
- **круговые мышцы глаза (C)** - отвечают за мигание;
- **глазодвигательные мышцы** - с каждым глазным яблоком связано по 6 мышц;
- **мышцы языка и глотки;**
- **жевательные мышцы** - рассматриваются отдельно; работают с единственным суставом головы (отросток нижней челюсти входит в височную кость), для того, чтобы сжимать зубы (сгибать сустав) работают височная (J) и жевательная (B) мышцы;
- **двубрюшная мышца (D)** - отвечает за разгибание нижней челюсти (открывание рта);
- **крыловидные мышцы (A)** - позволяют смещать челюсть направо и налево.

Наиболее тонкие мышечные движения совершают глазодвигательные мышцы, мышцы языка, мимические мышцы и мышцы пальцев, а также мышцы, работающие с голосовыми связками и хрящами гортани.

Мышцы шеи

- **большое количество мелких мышц** позволяет наклонять и поворачивать голову;
- **глотательные мышцы;**
- **грудинно-ключично-сосцевидная мышца (I)** - одна из самых крупных мышц шеи, идет от сосцевидного отростка височной кости к груди и ключице; отвечает за повороты головы;
- **мышцы гортани** - сужают и расширяют голосовую щель (сфинктеры и дилататоры), в результате изменяется положение голосовых связок, происходит модуляция звука, которая лежит в основе произнесения слов (речедвигательная функция);

Мышцы спины

Мышцы спины расположены в несколько слоев:

- **трапециевидная мышца (1)** - находится на поверхности, широкой частью она крепится к позвоночнику и отвечает движения плечевого пояса;
- **широчайшая мышца (2)** - находится под трапециевидной;
- большое количество **глубоких мышцы** спины (3, 4) - располагаются под широчайшей, идут вдоль позвоночника, соединяют различные отростки позвонков, благодаря чему происходит тонкая, но мощная координация туловища, в частности, разгибание.

Мышцы живота

- **косые (5) и прямая мышцы (6)** - скручивания и наклоны туловища, "брюшной пресс";
- **дыхательные мышцы** - межреберные и диафрагма, разделяющая грудную и брюшную полость.

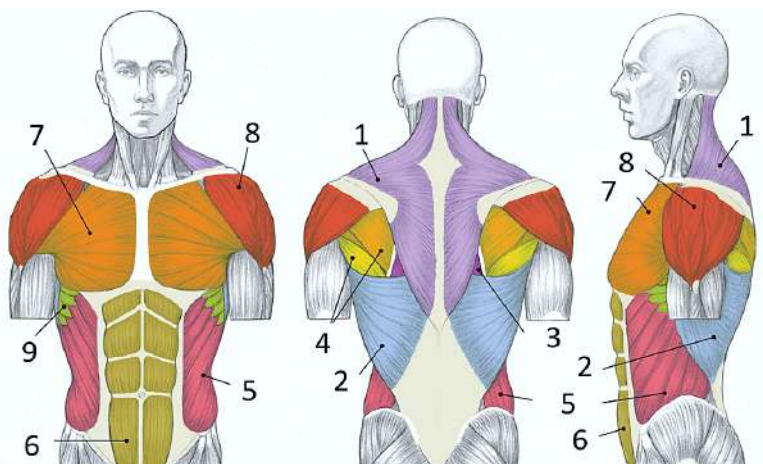


Рис. 3.3. Мышцы спины: 1 - трапециевидная мышца, 2 - широчайшая мышца, 3 - большая ромбовидная мышца, 4 - глубокие мышцы спины; мышцы живота: 5 - косые мышцы, 6 - прямая мышца; мышцы плечевого пояса: 7 - большая грудная мышца, 8 - дельтовидная мышца, 9 - передняя зубчатая мышца

Мышцы плечевого пояса и руки

Мышцы плечевого сустава (одного из наиболее мощных суставов тела человека):

- **грудная мышца (7)** - сгибает плечевой сустав, очень мощно развита у птиц, основное движение которых - опускания крыла;
- **дельтовидная мышца (8)** - разгибает плечевой сустав, образуя над ним треугольный "погон" ("дельта" - треугольник);
- **группа межреберных мышц (9)** - отвечает за вдох и за форсированный выдох;
- в креплении мышц важна **роль ключицы**, к которой крепятся дельтовидная, трапециевидная и грудная мышцы.

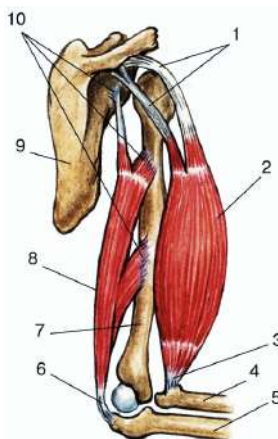


Рис. 3.4. Мышцы локтевого сустава: 1, 2, 3 - бицепс, 6, 8, 10 - трицепс, 4 - лучевая кость, 5 - локтевая кость, 7 - плечевая кость, 9 - лопатка

Опорно-двигательный аппарат человека работает как целостная система, что хорошо видно на примере работы локтевого сустава:

- **мышцы локтевого сустава:**
 - **бицепс** (1, 2, 3) - двуглавая мышца плеча (сгибатель), головки мышцы крепятся к лопатке (9), хвост бицепса - к лучевой кости (4);
 - **трицепс** (6, 8, 10) - трехглавая мышца (разгибатель), головки крепятся к лопатке (9) и плечевой кости (7), хвост трицепса - к локтевой кости (5).
- колоссальное количество **мелких мышц предплечья и кисти** - различаются и по строению, и по функциям: пронаторы и супинаторы (вращатели), сгибатели и разгибатели пальцев находятся в предплечье, откуда тянутся длинные сухожилия; самая крупная мышца кисти обеспечивает движения большого пальца.

Мышцы нижней конечности

Ноги обладают значительным количеством мышц, из которых наиболее значимы три разгибателя суставов. В опорно-двигательном аппарате человека процессы сгибания и разгибания для передней верхней конечности - равные по значимости задачи, мышцы руки имеют примерно одинаковый объем и работают с одинаковой силой. Для нижней конечности задача разгибания является более значимой, человек с силой отталкивается от опоры, когда двигается (ходит, прыгает) - это работа разгибателей трех суставов:

- **икроножная мышца** (1) - разгибает голеностопный сустав, ахиллово сухожилие находится над пяточной костью;
- **четырёхглавая мышца бедра** (2) - разгибает коленный сустав, это самая крупная мышца организма человека, обладающая большим сухожилием, внутрь которого вставлена коленная чашечка;
- **ягодичная мышца** (3) - разгибает тазобедренный сустав.



Рис. 3.5. Мышцы нижних конечностей-разгибатели суставов

Один из первых анатомических атласов "**О строении человеческого тела**" был создан врачом и анатомом **Андреасом Везалием** в середине XVII века.

Управление мышцами

Управление мышцей происходит при помощи **мотонейронов** - специализированных нервных клеток и **двигательных единиц** - совокупности мышечных клеток. Внутри спинного мозга в сером веществе (передние рога) находятся тела нервных клеток, часть из них выполняет функцию мотонейронов - исполнительных клеток, взаимодействующих со скелетными мышцами. В составе спинномозгового нерва аксон мотонейрона направляется к мышце, ветвится на конце, образуя контакты-синапсы с каждым мышечным волокном (рис. 3.6.). По аксону мотонейрона "бежит" электрический импульс, который запускает выделение нейромедиатора ацетилхолина во всех синапсах и сокращение всех мышечных клеток в составе двигательной единицы. Таким образом, двигательная единица работает как функциональное единое целое по принципу "все или ничего". Каждый мотонейрон управляет несколькими мышечными клетками, при этом каждая из них получает сигнал только от одного мотонейрона. Для того, чтобы мышечные сокращения были разнообразными и плавными, разные двигательные единицы могут срабатывать поочередно: пока одна сокращена, волокна другой отдыхают, синтезируя АТФ, поскольку сокращение поперечно-полосатой мышечной клетки требует больших затрат энергии. Если удерживать руку в горизонтальном положении, то сокращение дельтовидной мышцы кажется стабильным, но в ней каждые 0,3 сек. сокращается набор двигательных единиц, далее на смену приходит другой набор. Если удерживать руку в данном положении, но с гантелями весом 5 кг, то она быстро начнет колебаться вверх-вниз, потому что начнет страдать точность чередования двигательных единиц, которые не успевают отдохнуть из-за большой физической нагрузки. Человек не контролирует этот процесс на сознательном уровне, им управляют нейронные сети спинного мозга, над которыми стоят более значимые высшие двигательные центры, находящиеся в головном мозге: кора больших полушарий, мозжечок и базальные ганглии.

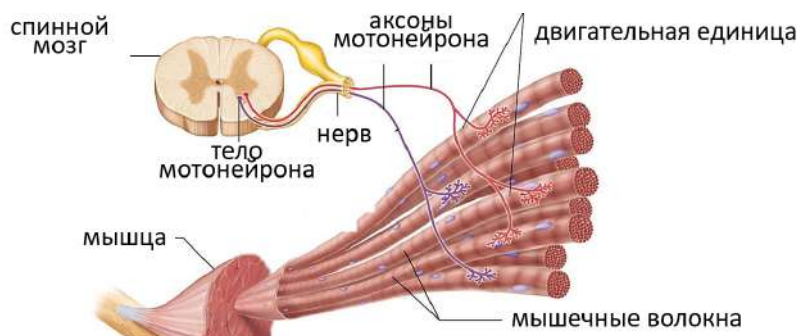


Рис. 3.6. Управление мышцей при помощи мотонейронов и двигательных единиц

Величина двигательной единицы определяет тонкость движений - чем меньшим количеством нервных клеток управляет мотонейрон, тем тоньше движения:

- движения глаз: 5 - 10 волокон
- мимика, движения языка, пальцев: 5 - 50 волокон
- движения конечности: 200 - 500 волокон
- движения туловища: до 3 - 5 тысяч волокон

Это принцип экономии ресурсов, в том числе вычислительных ресурсов мозга. Если всеми мышцами организма человека было бы необходимо тонко управлять, то понадобилось бы очень много нейросетей, занимающихся движением, а не решением зрительных, слуховых задач или решений о будущем поведении.

Основные типы движений

Организм человека реализует **4 основных типа движений**:

1. **рефлекторные движения** - производятся при помощи цепочек нервных клеток, часто врожденно заданных, возникают в ответ на стимул. **Рефлекс** - стандартизированная реакция организма, реализуемая с помощью нервной системы. Двигательные рефлексы замыкаются на скелетных мышцах: коленный рефлекс, рефлекс отдергивания руки от источника боли;
2. **локомоторные** - ритмически повторяющиеся движения, обеспечивают передвижение в пространстве (шаг, бег, плавание), повторные сгибания и разгибания конечностей; в их основе - замкнутые контуры нейронов, по такому же принципу организованы процессы жевания и дыхания;
3. **произвольные** - новые движения в новых условиях; управляет кора больших полушарий, используя сенсорный контроль (в первую очередь зрительный);
4. **автоматизированные** - параметры движений при многократных повторениях запоминают мозжечок и базальные ганглии, которые в дальнейшем "подменяют" кору больших полушарий, формируя двигательную память и навыки, помогают рефлекторным дугам и локомоторным центрам.

Двигательные рефлексы

Коленный рефлекс - частный случай группы рефлексов на растяжение мышцы (миотатические рефлексы): четырехглавая мышца бедра сокращается в ответ на растяжение - "упрямство" на мышечном уровне. Удар молоточком по сухожилию четырехглавой мышцы, которая находится под коленной чашечкой, немного, но резко растягивает мышцу, в ней активируются чувствительные нервные волокна (мышечные рецепторы). Возникший нервный импульс доходит до спинного мозга и передается через контакт-синапс на мотонейрон, после чего аксон мотонейрона возвращается к той же мышце. Растянутая мышца в ответ сокращается и разгибает коленный сустав.



Рис. 3.7. Коленный рефлекс

Биологическая значимость рефлекторной дуги - в ходе поведения человека без обращения к головному мозгу позволяет быстро усилить сокращение мышцы в ответ на появление внезапной дополнительной нагрузки. Это актуально, например, если человек бежит по неровной местности, когда необходимо быстро адаптировать разгибание коленного сустава. Даже при очень сильном стимуле данный рефлекс не выходит за пределы "своей" мышцы. Он является очень быстрым, потому что обладает только одним контактом-синапсом (каждое переключение в нейросети - потеря времени): сигнал нейрона сразу передается на мотонейрон, произвольный контроль затруднен.

Врожденные рефлексы человека: у ребенка - сосательный и очень древний рефлекс захвата пальца, который возникает в ответ на прикосновение к ладони (детеныш обезьяны с его помощью удерживается на матери); чихательный.

Локомоция

В случае локомоторных движений импульсы "бегают" по нервным клеткам по замкнутому контуру, который находится в спинном мозге: передними конечностями управляют мотонейроны, находящиеся в его шейной части, задними - мотонейроны, находящиеся в поясничной части. Для того, чтобы идти - необходимо, чтобы сигнал по восьмерке перемещался по спинному мозгу от задней конечной к передней → переход по диагонали к задней конечности → переход к передней. Данный контур существует врожденно, когда мозг активируется до достаточного уровня - включается локомоция.

Активация - это, прежде всего, активация головного мозга, например, стресс, появление неких потребностей. Если активация доходит до какого-то критического уровня, то вместо способа локомоции - аллюра под названием шаг, когда каждая конечность друг за другом по цепочке сгибается и разгибается, приходит более быстрый аллюр - рысь.

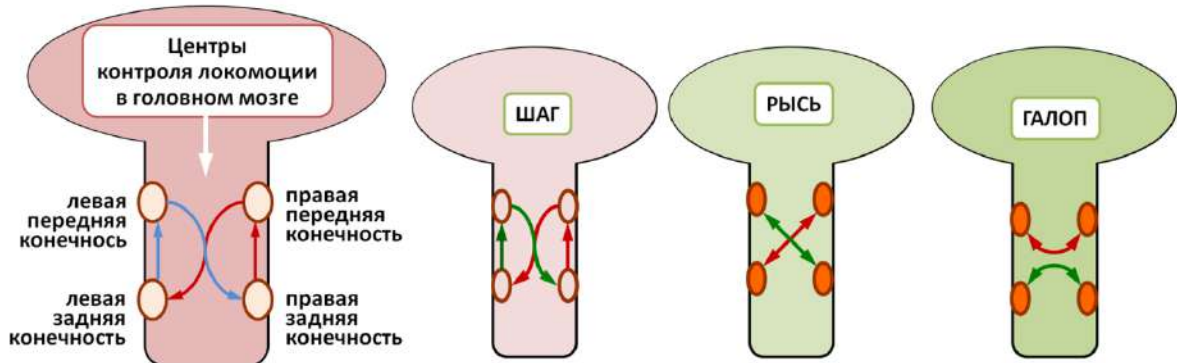


Рис. 3.8. Локомоторные движения: шаг, рысь, галоп

- **шаг** - движение импульса идет по восьмерке, у идущего человека рука всегда отстает от ноги;
- **рысь** - одновременно работают одна передняя и одна задняя конечность; когда человек бежит, то рука и нога начинают двигаться синхронно;
- **галоп** - возникает при большей активации; у четвероногих млекопитающих одновременно срабатывают две передние или две задние конечности, при этом подключаются и мышцы спины, что приводит к ускорению перемещения в пространстве (локомоции); вариантом галопа является бег в мешках.

При всех трех вариантах активированная локомоция может длиться долго, поскольку возбуждение по спинному мозгу "ходит" по замкнутому контуру.

Произвольные движения

Запускаются в три этапа:

1. возникает сама идея движения, выбор программы - ассоциативная лобная кора;
2. "разбиение" общей двигательной программы на совокупность входящих в её состав движений - премоторная кора (поле 6 по Бродману);
3. запуск сокращений конкретных мышц – моторная кора (поле 4).

Двигательная программа - это совокупность движений, каждое движение - это совокупность мышечных сокращений. При этом, как правило, присутствует зрительный и тактильный контроль. Подобного рода движения очень интенсивно осваиваются человеком в первые месяцы и годы жизни. Новое произвольное движение требует большого внимания, поэтому в момент сосредоточения тормозятся другие функции мозга, следовательно, важно не слишком загружать произвольными движениями кору больших полушарий. Решение эволюции: по мере повторения произвольных движений мозжечок и базальные ганглии запоминают двигательные

программы, подменяя кору больших полушарий. В итоге произвольные движения превращаются в автоматизированные.

Мозжечок

Мозжечок является центром двигательного обучения и памяти, состоит из:

- **новая часть** (кора наружной зоны полушарий) - автоматизация произвольных движений, запускаемых корой больших полушарий, в том числе тонких движений пальцев (письмо, игра на музыкальных инструментах), речь, мимика и др.;
- **древняя часть** (кора червя) - автоматизация рефлекторных движений, обеспечивающих поддержание равновесия (с учетом вестибулярной чувствительности) и движения глаз;
- **старая часть** (кора внутренней зоны полушарий) - автоматизация движений, обеспечивающих перемещение в пространстве (локомоцию) с учетом мышечной чувствительности, помощь спинному мозгу в реализации эффективного бега, плавания и езды на велосипеде.

Базальные ганглии

Чтобы увидеть базальные ганглии, необходимо разрезать большие полушария мозга поперек. Базальные ганглии помогают мозжечку автоматизировать движения - запоминать двигательные программы, при этом функции четко разделяются:

- **мозжечок** (как более древняя структура) - запоминает конкретные параметры конкретных движений, как быстро, точно и эффективно их реализовать (отдельные движения в танце);
- **базальные ганглии** - сборка отдельных движений в двигательную программу (длительный танец с переходом фигур).

Людам нравится двигаться, мозг человека устроен таким образом, что в момент удачного выполнения движения он генерирует особый химический сигнал, который реализуется с помощью нейромедиатора дофамина, создающего положительный эмоциональный фон. Дофаминовые нейроны находятся в среднем мозге, но их отростки идут и в базальные ганглии, и в кору больших полушарий. На фоне положительных эмоций, начиная с первых недель и месяцев жизни, люди осваивают двигательные навыки, танцуют и занимаются спортом. При избыточной двигательной нагрузке глюкоза распадается, возникает много молочной кислоты, которая может повредить мышечные волокна, что приводит к болезненным ощущениям в мышцах. При этом именно на фоне серьезной физической нагрузки мышечные клетки способны делиться (рост мышцы): внутри мышц прорастают дополнительные сосуды, увеличивается кровоснабжение, человек становится физически более выносливым.

Лекция 4. Кровь

Кровеносная система и её функции

В ходе данной лекции будут рассмотрены плазма крови, её функции и состав, а также эритроциты и тромбоциты. Прежде чем перейти к крови, важно ввести понятие **"внутренняя среда организма человека"**, представляющее собой единое целое, в которое входят кровь, лимфа и тканевая жидкость. Они объединены и переходят одна в другую, постоянная циркуляция данных жидкостей внутри тела человека не позволяет им застаиваться.

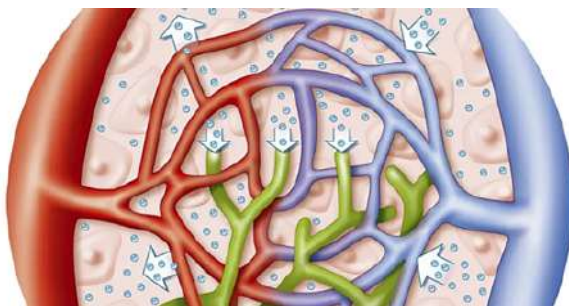


Рис. 4.1. Внутренняя среда организма

- **тканевая жидкость** - в кровеносном капилляре под давлением, которое создает работа сердца, течет кровь, часть её плазмы (жидкое межклеточное вещество) просачивается через клетки капилляра и становится межклеточной тканевой жидкостью. В день возникает около 20 литров жидкости, она обеспечивает обмен веществ в клетках, затем большая её часть поступает в кровеносные и лимфатические сосуды;
- **лимфа** - 2 - 4 литра в день образуется из тканевой жидкости, которая попадает в капилляры лимфатической системы (зеленые на рис. 4.1.); в отличие от кровеносных, лимфатические сосуды являются слепо замкнутыми, запуск тока лимфы происходит за счет сокращения их стенок, гладко мышечные волокна которых обладают автоматией; по сосудам лимфа направляется в вены большого круга кровообращения, таким образом круг замыкается: плазма → тканевая жидкость → лимфа → плазма. **Лимфатическая система** - дополнительная транспортная система организма человека, кроме того, она выполняет защитную функцию - в лимфатических узлах находятся клетки иммунной системы человека.

Функции кровеносной системы:

- **основная транспортная система** организма человека - осуществляет транспорт веществ: газы (углекислый газ, кислород), питательные вещества, отходы, гормоны и другие химические соединения;
- **защита от повреждений** - с помощью системы свертывания кровь защищает от последствий повреждения сосудов (кровотечение);

- **защита от инфекций** - свои функции реализуют клеточный и гуморальный иммунитет.

Состав крови

- **"форменные элементы крови"** (40 - 60%): клетки крови, возникающие в красном костном мозге - **эритроциты** (4,5 - 5 млн./мм³) и **лейкоциты** (6 - 9 тыс./мм³), фрагменты клеток - **тромбоциты** (250 - 400 тыс./мм³), в усредненном варианте на 700 эритроцитов приходится 50 тромбоцитов и 1 лейкоцит;
- **плазма** (55 - 60%):
- **неорганические вещества:**
 - вода (90 - 91%)
 - ионы минеральных солей (около 1%): главными являются натрий (Na⁺) и хлор (Cl⁻), поэтому в медицине как замена крови при переливании, а также для растворения лекарств при инъекциях используется физиологический раствор, который содержит столько же солей (0,9% NaCl); калий (K⁺), кальций (Ca²⁺), магний (Mg²⁺), остатки фосфорной (H₂PO₄) и угольной кислоты (HCO₃⁻)

Концентрация ионов солей в плазме - постоянный показатель, отражающий стабильность её химического состава (гомеостаз): когда среда плазмы **гипертоническая** (много солей) - клетки теряют воду; если **гипотоническая** (мало солей) - вода уходит в клетки, увеличивая их объем. При проведении экспериментов в пробирке эритроциты можно довести до такого состояния, что они взрываются. В организме человека за тем, чтобы этого не произошло, следят почки. В обоих случаях нарушается процесс жизнедеятельности клеток. Постоянная концентрация ионов солей в плазме - залог нормальной работы не только клеток крови, но и всего организма человека. Связанные с движением воды в клетках и из клеток процессы называются осмотическими процессами. Они известны и в ботанике, где употребляются в контексте рассмотрения тургора растительных клеток, в котором происходят аналогичные явления.

- **органические вещества** (около 8%):
 - белки (7 - 8%): альбумины, глобулины, фибриноген и др.
 - моносахариды, прежде всего, глюкоза (0,1 - 0,12% - важный гомеостатический показатель, за которым следит поджелудочная железа)
 - жиры (0,8%)
 - мочевины (около 0,03%, pH - 7,4) - основной продукт распада аминокислот
 - гормоны, аминокислоты, витамины - всасываются в желудочно-кишечном тракте; растворимые газы, ферменты и транспортные белки, переносящие железо, медь, гормоны, витамины

Белки плазмы:

- **альбумины (60%)** - низкомолекулярные белки, являющиеся белковым наполнителем плазмы, основная функция - поддержание осмотических свойств крови (создание правильной концентрации белков для удержания воды). Повреждения вырабатывающей альбумин печени приводят к недостатку альбумина, в результате сквозь стенки капилляров уходит много воды, которая становится тканевой жидкостью, что приводит к отекам в тканях;
- **глобулины (40%)** - высокомолекулярные белки: альфа-глобулины и бета-глобулины выполняют транспортную функцию и переносят гормоны и микроэлементы, гамма-глобулины являются антителами (иммуноглобулины);
- **фибриноген и протромбин (0,3%)** - компоненты свертывающей системы крови.

В организме человека в среднем 4 - 5 литров крови, что составляет 7 - 8% от его массы. Примерно 80% крови быстро циркулирует по сосудам, 20% - медленно, задерживаясь в депо крови: сосуды крови, печени, селезенке, стенки ЖКТ. В случае необходимости (стресс, физические нагрузки) сжатие соответствующих сосудов может выталкивать дополнительную кровь в кровоток, что позволит кислороду и питательным веществам более интенсивно поступать к мышцам и мозгу.

Функции крови:

- **дыхательная** - транспорт газов;
- **трофическая** - транспорт питательных веществ;
- **выделительная** - транспорт продуктов обмена к органам выделения;
- **терморегуляторная** - участие в теплоотдаче;
- **защитная** - свертываемость крови, борьба с микроорганизмами;
- **регуляторная** - транспорт гуморальных факторов, влияющих на работу органов и тканей, помощь эндокринной системе путем переноса гормонов;
- **гомеостатическая** - поддержание постоянства внутренней среды человека (химический состав, температура и давление).

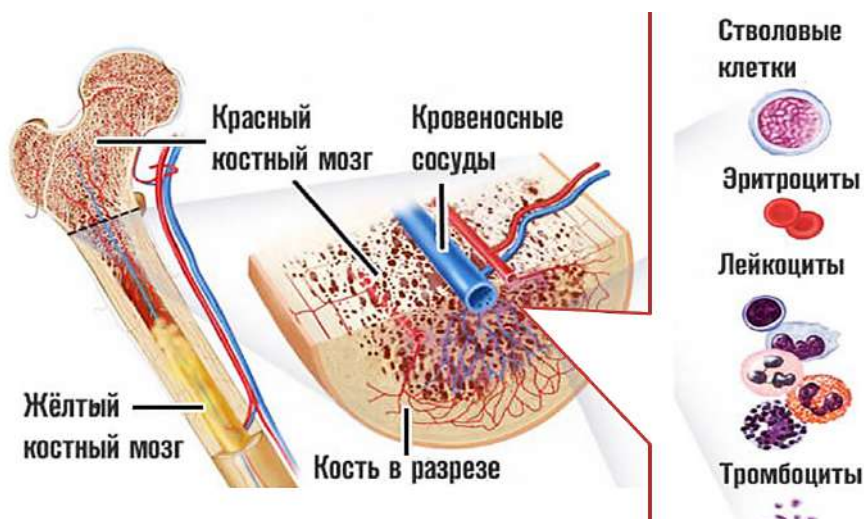


Рис. 4.2. Форменные элементы крови: эритроциты, лейкоциты и тромбоциты

В красном костном мозге, который располагается в ячейках головки кости (эпифиз), находятся стволовые клетки костного мозга (рис. 4.2.). Термин "**стволовые клетки**" означает, что они сохраняют эмбриональные характеристики, то есть постоянно делятся и превращаются в те или иные клетки в зависимости от дополнительных регуляторных сигналов. В ботанике свойствами стволовых клеток обладают клетки меристемы, камбия и зародыша растения. В тот момент, когда стволовая клетка красного костного мозга делится, она ещё не знает, кем станет - эритроцитом, лейкоцитом или тромбоцитом. Это будут решать дополнительные химические сигналы, поступающие:

- от почек - гормон **эритропоэтин**, чем его больше, тем больше эритроцитов;
- от печени - гормон **тромбоэтин**, чем его больше, тем больше тромбоцитов;
- из очагов воспаления - молекулы, приводящие к появлению большего количества лейкоцитов.

Эритроциты

Эритроциты представляют собой двояковогнутые диски диаметром 7 - 8 мкм, толщиной 1 - 2 мкм. Снаружи эритроциты покрыты клеточной мембраной, на которой могут находиться различные молекулы, в том числе агглютиногены А или В, определяющие группу крови человека (I, II, III, IV). Внутри эритроцитов может присутствовать резус-белок, наличие которого обозначает положительный резус, отсутствие - отрицательный, и другие белки. По мере созревания красного костного мозга эритроциты теряют ядро и приобретают характерную дисковидную форму. То место, где находилось ядро, заполняется большим количеством гемоглобина - главного белка эритроцитов, отвечающего за транспорт кислорода и обеспечивающего красный цвет. Эритроциты образуются с огромной скоростью (5 - 10 млн./сек), клетка лишена ядра, из-за этого она существует ограниченное время (3 - 4 месяца). Эритроцит стареет, признаками чего является потеря эластичности, что становится причиной его разрушения (гемолиз), которое происходит с помощью специальных клеток, в первую очередь в печени и селезенке. Оставшийся гемоглобин разбирается для повторного использования: железо возвращается обратно в красный костный мозг, гем - превращается в билирубин и выводится через печень.

Гемоглобин - белок, имеющий четвертичную структуру, содержит глобин, состоящий из 4 полипептидных цепей (2 α -цепи и 2 β -цепи) и 4 гемов - особых, немоллекулярных конструкций, включающих Fe^{2+} .

- при соединении гемоглобина с угарным газом (СО - активная молекула) образуется **карбоксигемоглобин**, который на время выходит из строя и у человека возникает удушье и тяжелое отравление. Ранее отравление угарным газом происходило в результате неправильного растапливания печи, в настоящее время оно может возникнуть в дорожной пробке. Помощью человеку в этом случае является обеспечение его свежим воздухом;

- в легких гемоглобин выполняет свою основную функцию - активно соединяется с кислородом с образованием **оксигемоглобина** ($\text{Hb} + 4\text{O}_2 \rightarrow \text{Hb}(\text{O}_2)_4$), который имеет ярко-алый цвет, соответственно, это цвет артериальной крови.
- в тканях кислород уходит, оксигемоглобин превращается в гемоглобин, часть молекул которого соединяется с углекислым газом (CO_2 - пассивная молекула) с образованием **карбогемоглобина** ($\text{Hb} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HbCO}_2$);

Для того, чтобы в красном костном мозге эритроциты образовывались в достаточном количестве, необходимы:

- **полноценное белковое питание** - все аминокислоты, из которых будут собраны белковые цепи глобинов;
- **железо** (Fe^{2+}) - порой сложная диетологическая проблема, в результате которой некоторым людям необходимо принимать двухвалентное железо в виде таблеток, чтобы компенсировать дефицит гемоглобина (анемия), при котором кислород плохо переносится в ткани;
- **витамин В12** - необходим для образования гема;
- **гормон эритропоэтин** - ускоряет эритропоэз; при недостатке кислорода в крови (в том числе в горах) выработку гормона усиливают почки; эритропоэз используется как лекарственный препарат при патологии почек;
- **хорошее состояние красного костного мозга.**

Форма и свойства эритроцитов "подогнаны" эволюцией для решения задачи транспорта газа, прежде всего кислорода:

- **небольшие размеры** эритроцитов - меньше, чем размер средней клетки: на единицу объема приходится достаточно большая площадь - идет интенсивный газообмен через поверхность эритроцитов;
- **двояковогнутая форма** эритроцитов - мембрана эритроцита плотно соприкасается с эндотелием, что облегчает диффузию газов внутрь клетки и дает возможность деформации клетки при прохождении через капилляры (средний размер эритроцита 7- 8 мкм, самые узкие капилляры – 5 – 6 мкм); плоская форма дополнительно увеличивает поверхность эритроцита.

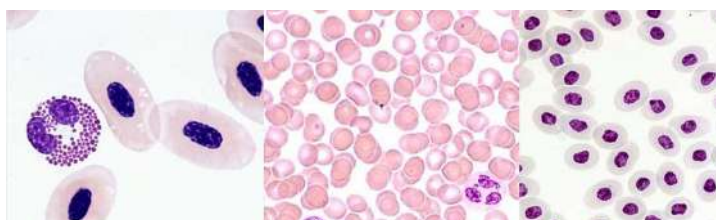


Рис. 4.3. Слева направо - эритроциты лягушки, человека, курицы

При сравнении эритроцитов человека с эритроцитами других позвоночных (рис. 4.3.) можно увидеть характерные различия в логике работы кровеносной системы и её функциях: чем больше требуется кислорода определенному виду животных для жизнедеятельности, тем меньше размеры эритроцитов:

- **эритроциты хладнокровных** (рыбы, амфибии, рептилии) - крупные и обладают ядром;
- **эритроциты млекопитающих и птиц** - мельче, их характерный признак - отсутствие ядра; несмотря на то, что у птиц температура тела порой выше, чем у млекопитающих, эволюция сохранила ядра эритроцитов.

Серповидно-клеточная анемия

Серповидно-клеточная анемия - аутосомно-рецессивное генетическое заболевание, характерное для 1% людей. Единичная мутация в β -цепи гемоглобина (замена одной аминокислоты) приводит к тому, что в цитоплазме эритроцита гемоглобин сконфигурирован неправильно, появляются серповидные и очень жесткие эритроциты, которые закупоривают капилляры, образуя микротромбы. Распространение серповидно-клеточной анемии географически совпадает с распространением малярии: Африка, Индостан и др. Это связано с тем, что при данном виде анемии в деформированных эритроцитах не могут жить малярийные плазмодии. Таким образом, данная особенность является результатом движущего отбора - той эволюции человечества, которая идет на наших глазах. Для нее довольно типичной является ситуация, когда мутация приводит к улучшению одного признака и ухудшению другого: создавая дефектные эритроциты, мутация защищает человека от малярии. Это более значимо для определенных популяций, в наших широтах встречаемость данного нарушения практически нулевая.

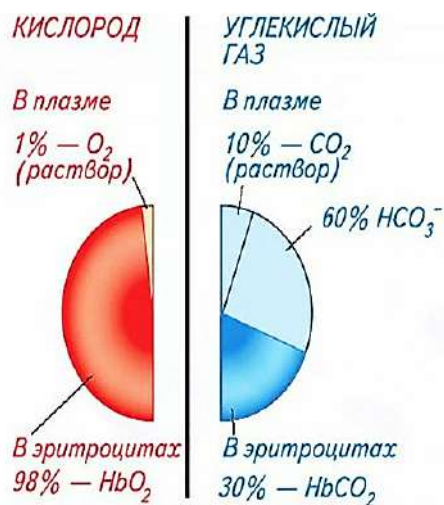


Рис. 4.4. Транспорт кислорода и углекислого газа в эритроцитах

Перенос углекислого газа и кислорода в эритроцитах

- **основная часть кислорода** (98 - 99%) - находится в эритроцитах и связана с гемоглобином, около 1% - растворяется в плазме.
- **углекислый газ** - переносится в основном плазмой, присоединяется к гемоглобину в гораздо меньшей степени, чем кислород - эритроциты переносят 30%, 60% - в виде остатков угольной кислоты (CO_3): для растворения углекислого газа в крови характерна реакция $CO_2 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$, которая

происходит в эритроците (в тканях), где находится фермент, приводящий к её возникновению. После этого остаток HCO_3^- выходит в плазму, в этом виде идет транспорт. В легких процесс с помощью того же фермента идет в обратном порядке: остаток угольной кислоты входит в эритроцит, превращается в углекислый газ и выделяется в полость альвеолы. Поэтому корректно говорить, что углекислый газ переносится преимущественно плазмой в виде остатка угольной кислоты, для возникновения которой необходимо участие эритроцитов.

Уникальный **витамин В12** содержит в составе кобальт и необходим для синтеза **гема** - особого молекулярного кольца, которое удерживает внутри себя ионы двухвалентного железа (Fe^{2+}), именно к нему присоединяется кислород. При дефиците В12 возникает достаточно тяжелый вариант анемии. Когда гемоглобин распадается в печени, являющийся токсичной молекулой гем трансформируется и превращается в билирубин, который "плавает" в крови и через печень выделяется в желчь, с которой уходит через кишечник. При наличии у печени проблем билирубин накапливается в тканях и человек явственно желтеет. Желтуха - симптом многих гепатитов, являющихся заболеваниями и поражениями печени.

Тромбоциты

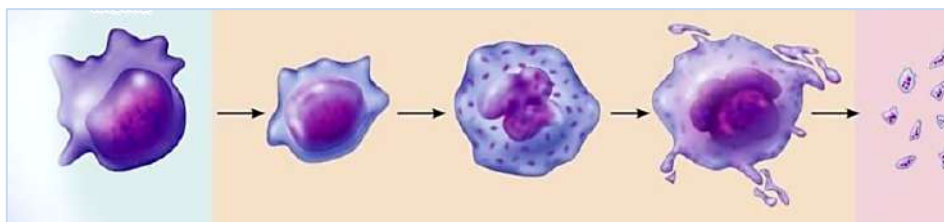


Рис. 4.5. Процесс развития тромбоцитов

Тромбоциты - плоские безъядерные форменные элементы, которые способны к образованию псевдоподий (ложноножки) и амебообразному передвижению. Клетка красного костного мозга с помощью гормона тромбопоэтина получает сигнал от печени, растет, превращается в очень крупную клетку, от которой отделяются тромбоциты - фрагменты, хранящие жизнеспособность в течение 8 - 11 дней и разрушающиеся в печени и селезенке. Активация тромбоцита происходит при травме сосуда.

Важнейшая функция тромбоцитов - участие в гемостазе/свертывании крови - защитной реакции, в которой участвует более 10 веществ плазмы, а также факторы, выделяемые тромбоцитами, из которых наиболее важны: фибриноген, протромбин, тканевый и кровяной тромбопластины, ионы Ca^{2+} , витамин К.

Стадии гемостаза

- **на первой стадии** гемостаза тромбоциты прикрепляются к поврежденным стенкам сосуда - реакция на белок межклеточного вещества соединительной ткани коллаген, склеиваются между собой (агрегация) и образуют

тромбоцитарный - "белый" тромб, закрывая повреждение сосуда своими телами в случае незначительной травмы; при этом тромбоциты разрушаются, выделяя тромбопластин;

- **на второй стадии** под влиянием тромбопластина, при участии Ca^{2+} и других факторов свертывания неактивный белок плазмы протромбин превращается в активный тромбин, обладающий свойствами фермента;
- **на третьей стадии** тромбин вызывает превращение растворимого белка плазмы фибриногена в нерастворимые волокна фибрина. Полимеризующиеся нити фибрина образуют сеть, в её ячейках застревают клетки крови - формируется сгусток "красный тромб", способный закрыть серьезное повреждение сосуда. На его образование в капиллярах уходит 3 - 5 минут, в венах - 8 - 10.

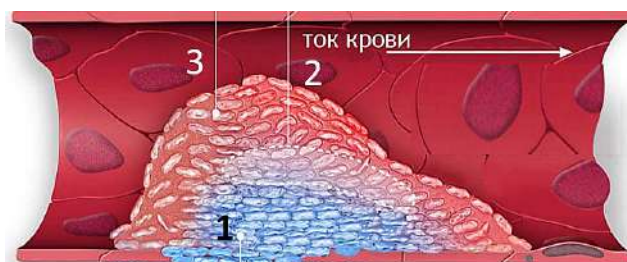


Рис. 4.6. Три стадии гемостаза

Протромбин, фибриноген и тромбопоэтин синтезирует печень, поэтому при проблемах данного органа может страдать и свертываемость крови. В результате воспаления на стенке сосуда могут появиться молекулы коллагена (запускающий фактор), возникнуть тромб, который закупорит его. В результате кровь перестанет поступать к частям тела человека, возникнет инфаркт. Организму необходимо быстро образовать тромб, чтобы не истечь кровью, но также важно, чтобы тромбы возникали не слишком активно, а те, что возникли - оперативно разрушать, для чего существует специальный фермент гепарин. Также для этой цели используются молекулы, созданные на основе гирудина - фермента, который используют пиявки, чтобы остановить свертывание крови своих жертв.

Витамин К (филлохинон) необходим для синтеза белков протромбина и тромбопластина. При их возникновении происходит дополнительная химическая реакция, суть которой заключается в преобразовании аминокислоты глутамата, для чего необходимы специальные ферменты, которым помогает филлохинон. При дефиците витамина К могут возникать нарушения свертываемости крови - разные варианты гемофилии. Наиболее известны гемофилии, связанные с генетическими нарушениями, в том числе сцепленные с полом.

Лекция 5. Иммунная система

Гуморальный клеточный врожденный иммунитет

Данная лекция посвящена очень сложной и важной системе - иммунной системе человека, которой занимается наука иммунология. В ходе предыдущей лекции курса "100 часов школьной биологии" был проведен обзор крови, эритроцитов и тромбоцитов. Продолжением рассмотрения форменных элементов крови является рассказ о лейкоцитах - белых кровяных клетках, являющихся первым компонентом иммунной системы, который начали изучать биологи и медики.

Иммунитет - устойчивость к инфекции/чужеродному материалу: бактерии, вирусы, грибы, простейшие организмы, полимеры, трансплантат (почка, сердце), имплантат (искусственный сустав). Сфера онкологии также напрямую соприкасается с иммунитетом.

Группы клеток иммунной системы:

- **фагоциты** - амебообразные клетки, которые захватывают чужеродные частицы (вирусы, бактерии), формируя пищеварительные вакуоли, где они разрушаются. Данный процесс называется **фагоцитоз**. Фагоциты обитают не только в кровотоке, но и в тканях тела человека.
- **лимфоциты** - ведут химическую "войну" с возбудителями инфекций, выделяя антитела - особые белковые молекулы, относящиеся к гуморальному иммунитету.

Иммунитет подразделяется на **клеточный** (клетки иммунитета) и **гуморальный** (молекулы). Другой подход предлагает классификацию, при которой реакции иммунной системы рассматриваются с точки зрения их передачи на генетическом уровне:

- **врожденный иммунитет** (естественный, неизменный) - передается с ДНК родителей, данная группа реакций присуща иммунной системе без дополнительной настройки, возникает в течение нескольких минут, максимум часов;
- **приобретенный иммунитет** - возникает в результате обучения (дополнительная настройка) на чужеродные молекулы, которые в иммунологии называются **антигенами**; по сути приобретенный иммунитет дополняет собой врожденный, потому что на уровне врожденного иммунитета невозможно предусмотреть всё разнообразие возбудителей инфекций. Если организм живет короткое время (недели, месяцы), то он может ограничиться только врожденным иммунитетом. Организм человека обладает способностью отреагировать на ранее неизвестный ему антиген, запомнить его, постепенно нарастить реакцию, а при повторном появлении возбудителя - быстро и мощно повторить её. Для подобного процесса обучения необходимо 10 - 14 дней.

В основе деятельности мозга человека лежат врожденные программы, которые **И.П. Павлов** называл безусловными рефлексам, в процессе обучения к ним добавляются приобретенные программы (навыки). Таким образом, существует обучение на уровне мозга и идущий по совершенно иным принципам аналог обучения на уровне иммунной системы.

Врожденный иммунитет:

- **компоненты гуморального врожденного иммунитета:**

- **интерфероны - система защиты от вирусов:** когда вирус проникает внутрь клетки, то она, как правило, чувствует вторжение и начинает выделять молекулы интерферона, которые останавливают обмен веществ в зараженной клетке и тормозят его во всех соседних клетках, что позволяет задержать распространение инфекции. Фактор времени важен, потому что к борьбе успевают подключиться другие компоненты иммунной системы.
- **лизоцим (мурамидаза) - защита от бактерий:** лизоцим - особый фермент, "природный антибиотик", разрушающий муреин - главный компонент клеточной стенки бактерии; присутствует в слезах, слюне, слизи, выделяемой в дыхательных путях и кишечнике;
- **система комплемента** - выделяемые печенью специальные белковые молекулы, которые плавают в крови, узнают некие химические мотивы на клеточной стенке бактерий и присоединяются к ним. Далее фагоциты, ориентируясь на комплементы, поглощают бактериальные клетки. Сам комплемент может сделать в ней молекулярную пору, от которой она погибнет.

- **компоненты клеточного врожденного иммунитета:**

- **фагоциты крови** (нейтрофилы, эозинофилы, базофилы) - поглощение бактерий и вирусных частиц за счет формирования пищеварительных вакуолей; обладают большим количеством лизосом, которые выглядят как гранулы, поэтому фагоциты также называют гранулоцитами;
- **тканевые фагоциты** (тканевые макрофаги) - живут в стенках ЖКТ и дыхательных путей, в коже; первыми принимают удар и фагоцитируют бактерии и вирусы;
- **натуральные киллеры** - в основном борются с зараженными вирусами клетками, которые не только вырабатывают интерфероны, но и начинают выставлять на своей поверхности части вирусных белков (вирусные антигены); обнаружив подобную молекулярную метку натуральные киллеры повисают над ней и с помощью различных химических веществ разрушают.

Иммунная система поступает с зараженной клеткой сурово - не лечит её, а разрушает, поскольку метода очистки клетки от вируса не существует.

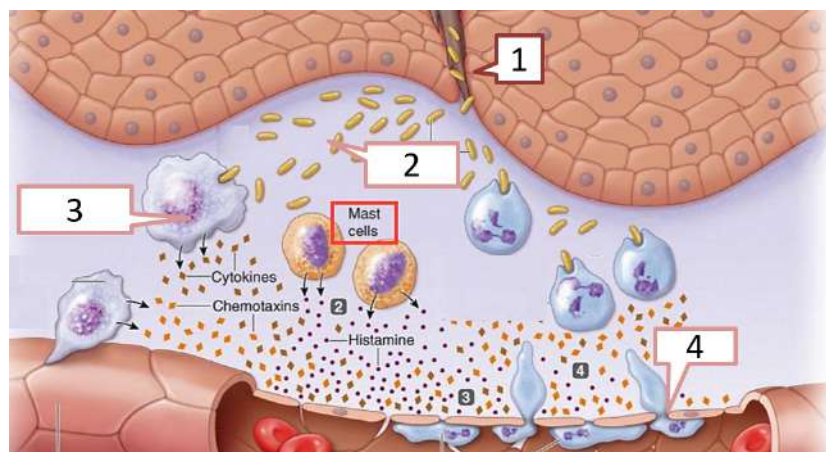


Рис. 5.1. Процесс острого воспаления

На рис. 5.1. показана реакция острого воспаления в коже в результате занозы (1): первыми на бактерии (2) реагируют тканевые макрофаги (3), которые фагоцитируют источник инфекции, а также выделяют специальные молекулы, разрыхляющие стенку капилляров, клетки эндотелия сокращаются и между ними возникают просветы. Выделяемые макрофагами химические вещества привлекают фагоциты-гранулоциты (4), которые идут им на помощь из кровотока. Если источник инфекции знаком фагоцитам, то они совместно с ним справляются. В момент возникновения описанного процесса в очаге воспаления из-за расширения стенок сосудов появляется покраснение, из-за увеличения кровотока - жар, а также боль, которая на уровне организма позволяет заметить занозу и избавиться от неё, из-за расширения сосуда и разрыхления эндотелия часть плазмы выдавливается в ткани - возникает отек.

Антигены - достаточно крупные чужеродные бактерии, часто фрагменты белков или полисахаридов (олигосахариды). Подобного рода молекулярные метки фагоциты знают врожденно, но не все, поскольку у них ограниченная врожденная программа, поэтому при появлении нового возбудителя возникает необходимость в помощи системы приобретенного иммунитета.

Гуморальный клеточный приобретенный иммунитет

Система приобретенного иммунитета усиливает чувствительность и способности системы врожденного иммунитета.

Компоненты гуморального приобретенного иммунитета:

- ° **антитела** (гамма-глобулины, конфигурирующие базовые конфигурации D, M, G, A, E) - плавающие в плазме крови характерные Y-образные белковые молекулы, состоящие из двух легких и двух тяжелых цепей. Общий конец тяжелой и легкой цепей настроен на присоединение к чужеродным веществам-антигенами. Антитела нейтрализуют их, это важно, если антиген является токсином, также они могут налипнуть на источник инфекции (бактерия, вирус). Фагоциты не всегда могут узнать источник инфекции, но они способны определить его по "хвосту" Y-образной молекулы (налипшего антитела),

состоящего из тяжелых цепей, и среагировать. Таким образом, антитела являются "стикером", которым можно обозначить ещё неизвестную бактерию или вирус.



Рис. 5.2. Антитела - Y-образные белковые молекулы

- **система В-лимфоцитов и Т-лимфоцитов** - в организме человека предсуществуют миллионы типов В-лимфоцитов и Т-лимфоцитов, которые настроены на самые разнообразные чужеродные молекулы. Какая бы инфекция, антиген не проникли в тело человека - обязательно найдутся отреагирующие на них В-лимфоциты и Т-лимфоциты. Те их них, что встретили свой антиген, начинают размножаться, на это уходит 10 - 14 дней, в результате появляются антитела, которые будут помечать источник инфекции для фагоцитов. Для того, чтобы они хорошо работали, им "помогают" Т-хелперы (группа Т-лимфоцитов). Другая группа - Т-киллеры, на их поверхности находятся чувствительные молекулы (аналог антител), которые не выделяются в межклеточную среду, а служат для опознавания антигена. Т-киллеры помогают натуральным киллерам, зависают над зараженными вирусом или бактерией клетками, а также над онкологическими клетками, на поверхности которых появляются мутировавшие белковые молекулы, и атакуют их ферментами, активными формами азота и кислорода, подавляя и разрушая. Т-лимфоциты возникают в красном костном мозге, но для созревания и окончательного деления мигрируют в тимус - находящуюся за грудиной железу (отсюда возникновение их названия). Т-лимфоциты формируют **клеточный приобретенный иммунитет**.

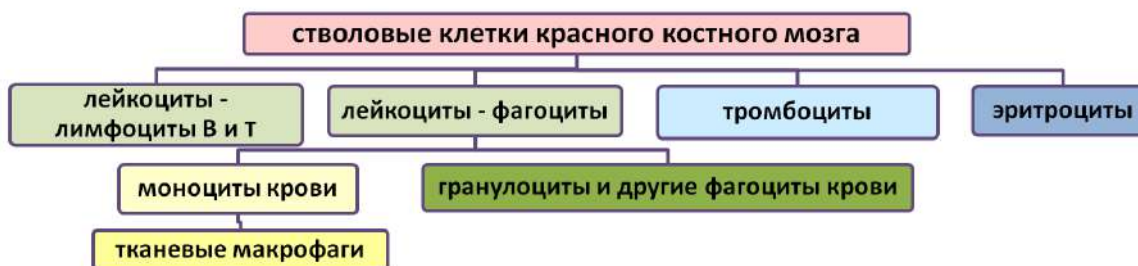


Рис. 5.3. Схема возникновения клеток крови из красного костного мозга

С точки зрения работы красного костного мозга, сначала происходит выбор лейкоцитарного пути: лейкоцит может стать либо лимфоцитом и работать в составе приобретенного иммунитета, либо фагоцитом и стать гранулоцитом (плавать в крови и

ждать сигнал) или моноцитом (выйти в кровь), а потом превратиться в тканевой макрофаг (уйдя в кожу, стенку кишечника или дыхательных путей) и работать в составе врожденного иммунитета. Фагоциты живут непродолжительное время, особенно если сталкиваются с инфекцией, лимфоциты - длительное время (практически в течение всей жизни человека) и способны размножаться. Фагоциты не делятся, как и тромбоциты, и эритроциты, у которых нет генетического материала.

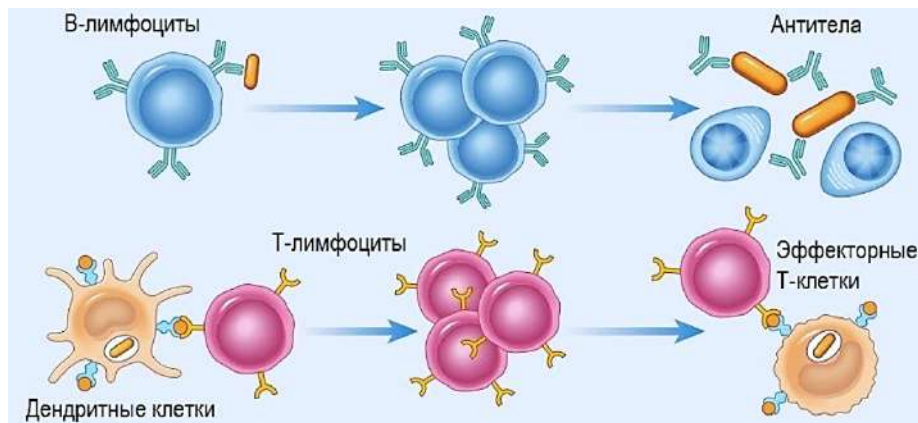


Рис. 5.4. Механизмы формирования гуморального и клеточного иммунитета

Логика работы системы приобретенного иммунитета:

- когда в организм человека проникает бактерия, которая не имеет на поверхности известных системе врожденного иммунитета антигенов, она начинает размножаться и выделять в окружающую среду бактериальные вещества - антигены. Бактерии обладают обменом веществ, поэтому антигены обязательно появляются, они часто являются отравляющими организм и подавляющими иммунную систему веществами, приводящими к возникновению опасных заболеваний.
- у каждого В-лимфоцита на поверхности находится будущее антитело, общий конец легкой и тяжелой цепи которого имеет молекулярную ямку (паратоп), в неё может войти фрагмент антигена (эпитоп). Если они "подойдут" друг другу, то такой В-лимфоцит активируется: делится, начинает в большом количестве вырабатывать антитела и выбрасывать их в плазму крови. 5 - 10% клеток не активируется – это В-клетки памяти, обеспечивающие быструю вторичную реакцию на антиген.
- выделенные антитела налипают на бактерию, у которой при выработке антигенов часть из них застревает в клеточной стенке. В иммунологии процесс налипания называется "опсонизация" - предоставление пищи фагоцитам.
- фагоцит с помощью специальной молекулы на своей поверхности обнаруживает "хвост" антитела на бактерии и съедает её.

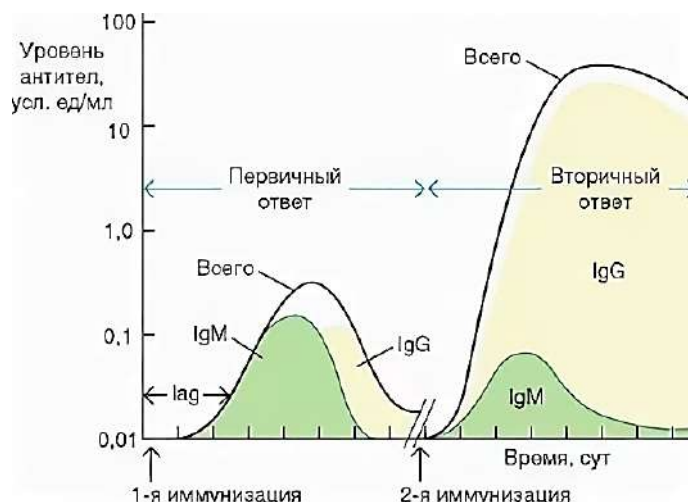


Рис. 5.5. Динамика роста антител при первичном и вторичном иммунном ответе

После завершения процесса обучения количество В-лимфоцитов у человека пожизненно остается увеличенным, в крови присутствуют антитела. Даже если их остается незначительное количество, В-клетки памяти - "заводы" по производству антител находятся наготове, если повторно появится тот же возбудитель инфекции, то он получит отпор в течение нескольких часов. График динамики роста антител при вакцинации показывает, что первые антитела появляются через 5 - 7 дней после введения антигена, через 2 недели их количество доходит до пика. При повторной вакцинации нарастание концентрации антител идет значительно быстрее. Поскольку вакцинация является более мягкой процедурой, чем заболевание, то применяется повторное введение антигена с целью увеличения количества В-клеток памяти.

Таким образом, В-лимфоциты выделяют антитела и формируют гуморальный приобретенный иммунитет, Т-лимфоциты - формируют клеточный приобретенный иммунитет. В ответ на появление в организме человека вируса срабатывают оба вида иммунитета, на появление бактериальной инфекции - гуморальный иммунитет.

Лейкоциты

Лейкоциты - белые клетки крови, имеющие ядро

зернистые (гранулоциты)			незернистые (агранулоциты)	
нейтрофилы 70%	эозинофилы 1,5%	базофилы 0,5%	лимфоциты 24%	моноциты 4%
древняя фагоцитарная система, которая в первую очередь борется с червями-паразитами (личинки трихинелл, финн и др.)			клеточный и гуморальный иммунитет	будущие тканевые макрофаги

Естественный и искусственный иммунитет

- **Естественный иммунитет** - возникает в результате заболевания:

- **естественный врожденный** - организм человека получает по наследству от ДНК родителей;
- **естественный приобретенный**:
 - **пассивный** - получение антител с молоком матери или через плаценту
 - **активный** - самостоятельный синтез антител в результате болезни и образование клеток иммунологической памяти на определенные антигены
- **Искусственный иммунитет** - возникает в результате медицинских воздействий:
 - **искусственный активный** - развивается после введения в организм вакцины (ослабленных или убитых форм микробов или их токсинов), при этом в организме человека осуществляется иммунный ответ на введенные антигены;
 - **искусственный пассивный** - формируется за счет введенных в организм лечебных сывороток - препаратов с готовыми антителами, полученными от переболевшего человека, крови специально вакцинированных животных (антитела к змеиному яду, ботулиновому токсину); препаратов, созданных биотехнологическими методами – генетически модифицированные клетки вырабатывают моноклиальные антитела.

Вакцинация

До появления антибиотиков сыворотки были очень важным способом борьбы с инфекциями, в настоящее время ключевую роль играет вакцинация, глобальная идея которой - введение в организм антигенов для активации В-лимфоцитов и выработки антител, то есть обучение организма без реального заболевания. Данный принцип в конце XVIII века открыл английский врач **Э. Дженнер**, разработавший способ вакцинации против оспы. В XIX веке его развил французский химик и микробиолог **Л. Пастер**, создавший вакцины против куриной холеры, сибирской язвы и бешенства. Оспа человека и оспа коров имеют похожие антигены вирусов. При оспе коров на вымени животного возникают пузырьки, они же могут появиться на руке доярки. Э. Дженнер заметил эту особенность и предположил, что они защищают от оспы человека, которая дает похожие пузырьки, но доярки ею практически не болеют. Врач предложил использовать жидкость из пузырьков коровьей оспы и втирать её в царапину на руке человека (шприц ещё не был изобретен). Вирус коровьей оспы не может вызвать оспу человека - тяжелейшее заболевание, дающее 30 - 40% смертность, но способствует возникновению антител, которые от неё защищают.

Основные типы вакцин

- **"цельноклеточные" вакцины** - используются наиболее часто, создаются путем разрушения бактерий или вирусных частиц для получения скопления антигенов - классические вакцины против гриппа, гепатита В, коронавируса ("Ковивак");
- **живые ослабленные вакцины** - в настоящее время применяются в основном в ветеринарии, в случае человека - БЦЖ (туберкулез);
- **генетически модифицированные вакцины**

- **не способный размножиться безопасный вирус-носитель** (аденовирус), в ДНК которого внедряется ген вируса, от которого необходима защита, например, ген поверхностного белка коронавируса - после введения в ткани человека созданного не размножающегося вируса, он проникает в клетки, которые сами создают антиген. Примером подобной вакцины являются "Спутник V" и "AstraZeneca".
- **РНК-вакцины** - вводится РНК вируса, который запускает образование антигенов (вакцины "Pfizer", "Moderna").
- **отдельные антигены, в том числе синтезированные** - наиболее "мягкие" вакцины, которые рекомендуются для пожилых людей, при этом для формирования защиты, как правило, необходима повторная вакцинация ("ЭпиВакКорона").

Иммунологические проблемы

Иммунологическая недостаточность:

- **первичная иммунологическая недостаточность** - генетическая, связана с поломками X-хромосомы, где много генов, отвечающих за работу В-лимфоцитов, Т-лимфоцитов и фагоцитов. Для помощи страдающим от первичной иммунологической недостаточности людям применяется постоянное введение антител - комплексной сыворотки, выделенной из крови большого количества доноров. В перспективе - генная модификация людей с подобным заболеванием, промежуточный вариант решения проблемы - пересадка красного костного мозга донора, которая работает не во всех случаях.
- **вторичная иммунологическая недостаточность** – вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), его опасность заключается в том, что он поражает специфические лимфоциты и быстро мутирует, попав в организм человека.

Аутоиммунные заболевания - отдельная группа проблем иммунологии. Около 5% населения Земли страдают данным видом заболеваний. Гиперактивная иммунная система человека может активироваться настолько, что начинает реагировать, например, на фрагменты белков организма как на антигены, что приводит к возникновению антител к собственным тканям и органам.

- **органоспецифические аутоиммунные заболевания** - атака по особым белковым молекулам, характерным только для определенных органов: щитовидная железа, надпочечники, поджелудочная железа. В этом случае возникают заболевания, которые можно компенсировать, вводя, например, гормоны (случае поджелудочной железы - тироксины);
- **органонеспецифические аутоиммунные заболевания** - реакция иммунной системы возникает на распространенный белок (мышечной, соединительной ткани - коллаген, эластин), при системной красной волчанке реакция идет на ДНК. В этом случае воспаление идет по всему телу человека и приходится глобально подавлять иммунную систему. Этот процесс называется

иммуносупрессия, она используется при пересадке органов, поскольку иммунная система определяет, что пересаженный орган является чужеродным, и её необходимо подтормаживать.

Аллергии - реакции гиперчувствительности на безобидные, но чужеродные молекулы (аллергены): астма, ринит, дерматозы и др. От аллергии страдают 15 - 20% населения Земли. Аллерген является антигеном, который происходит не от бактерии или вируса, а от домашнего питомца, пыльцы растений, продуктов питания, плесени, пылевых клещей. Иммунная система может сформировать на аллергены антитела, запуская воспаления практически на пустом месте. Самым простым способом борьбы с аллергией для конкретного человека является определение аллергенов и последующее избегание контактов с ними. В случае возникновения стойкой аллергии применяется прием подавляющих воспалительную реакцию лекарственных препаратов.

Онкологические заболевания - опухоль является патологическим разрастанием клеток, которому свойственны бесконтрольность и ряд атипизмов в строении и обмене веществ (онкомаркеры). Некоторые клетки организма человека возвращаются в эмбриональное состояние, начинают делиться, формируют опухоль и самое опасное явление – метастазы, то есть отдельные клетки опухоли отрываются от неё и распространяются по всему организму. В норме иммунная система успешно противостоит онкологии: как только на поверхности потенциальной раковой клетки появляется чужеродный мутировавший белок, Т-киллеры это обнаруживают и уничтожают клетку. Опухоль возникает в том случае, когда раковым клеткам удается "увернуться" от атаки иммунной системы. Для предупреждения данного заболевания важен постоянный контроль (ранняя диагностика) - слежение за появлением чужеродных белков (онкомаркеры). В случае обнаружения опухоли практикуются: хирургическое удаление, химиотерапевтические и иммунологические (помощь в формировании антител) лечебные методы.

Лекция 6. Сердце

Большой и малый круги кровообращения

Данная лекция посвящена сердцу - важному органу организма человека, который без остановки работает в течение всей его жизни. Сердце - часть сердечно-сосудистой системы, в которую также входят артерии, вены и капилляры. У птиц и млекопитающих правая и левая половинки сердца (два "мотора") не сообщаются, работают параллельно и независимо. Одна из половинок четырехкамерного сердца человека направляет кровь в малый круг кровообращения, вторая - в большой круг.

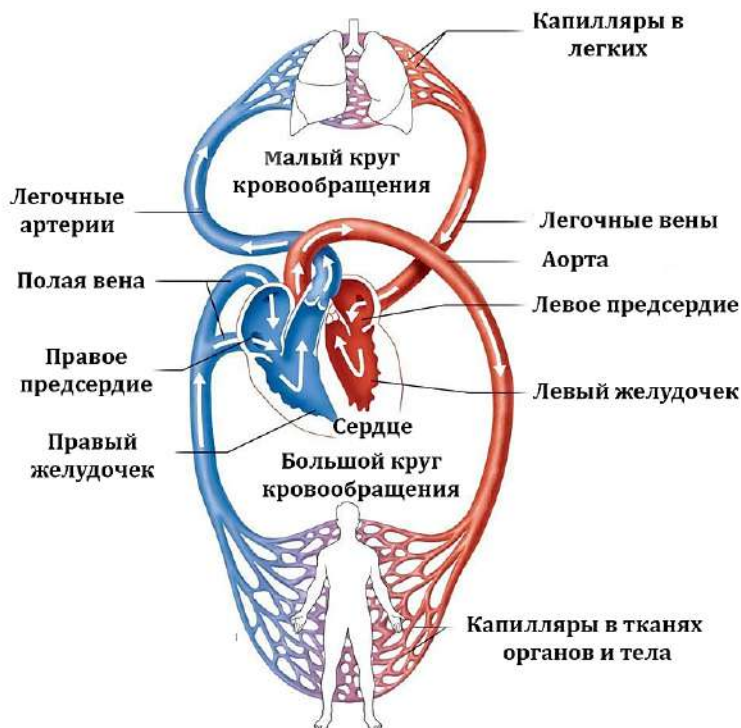


Рис. 6.1. Большой и малый круги кровообращения

Сердце традиционно изображается наоборот (правая половина - слева, левая половина - справа), потому что анатомы создавали анатомические атласы, ориентируясь на тело человека, лежащее на спине. Циркуляцию крови по кругам кровообращения в XVII веке открыл английский медик и анатом **Уильям Гарвей**:

- **большой круг кровообращения** - начинается из левой половины сердца, откуда артериальная кровь (на рис. 6.1. обозначена красным цветом) по аорте (первый большой сосуд) поступает в капилляры и далее в вены, венозная кровь (обозначена синим цветом) по крупной полой вене впадает в правое предсердие;
- **малый круг кровообращения** - правый желудочек выбрасывает венозную кровь в легочный ствол (легочные артерии), она поступает в капилляры легких, по легочным венам артериальная кровь попадает в левое предсердие и левый желудочек.

Кровь в замкнутой кровеносной системе (большому и малому кругам кровообращения) движется по восьмерке. До открытия У. Гарвея было не очень ясно, куда уходит кровь, которая течет по все более мелким сосудам и исчезает, а потом появляется. По одной из гипотез она поглощалась печенью, чтобы потом выделиться из неё и поступить в сердце. Нагрузка на большой круг кровообращения и левую часть сердца более существенна - если разрезать сердце поперек на уровне желудочков, то можно увидеть, что при одинаковом объеме стенка левого желудочка в связи с усилиями, которые он должен развить, обладает в 2,5 раза более толстым слоем мышечных клеток **кардиомиоцитов**.

Сердце - полый мышечный орган, расположенный в грудной клетке за грудиной между легкими и немного смещенный влево: две трети находится слева от срединной линии тела, одна треть - справа. Масса органа - около 300 г, для определения его размера кардиологи предлагают человеку сжать пальцы в кулак. Сердце все время работает, сокращаясь раз в секунду, а то и чаще. Это сложная задача, сравнимая с ежесекундным пожизненным отжиманием. Подобный режим работы является существенной нагрузкой, поэтому сердце является органом, который в теле человека изнашивается первым. В этой связи сердечно-сосудистая система имеет колоссальное значение для здоровья и продолжительности жизни человека. В сердце выделяют вершину - заостренную часть, где завершаются желудочки, и основание, где находится предсердие. Орган защищен околосердечной сумкой (перикард), который спереди прирастает к груди. Сумка образована двумя листами соединительной ткани: наружным - основная защита и внутренним - прирастает к сердцу и формирует эпикард. Между ними находится небольшая полость, заполненная перикардиальной жидкостью, похожей по своим свойствам на суставную жидкость. Таким образом наружный и внутренний листки перикарда скользят друг по другу, трение минимально, что позволяет сердцу биться без лишних затрат энергии.

Стенка сердца состоит из 3 слоев:

- **наружный - эпикард** (внутренний листок перикарда);
- **средний - миокард**, мышечная ткань сердца, образована большим количеством сокращающихся поперечно-полосатых мышечных клеток (кардиомиоциты); выполняет основную работу; в миокарде находятся видоизмененные мышечные клетки, формирующие проводящую систему сердца, которая отвечает за запуск сокращения;
- **внутренний - эндокард**, выходящая в полости предсердия и желудочков поверхность, состоит из эпителиальных тканей, свойства которых похожи на свойства эндотелия.

Насосная функция сердца

Сердце состоит из 4 камер: двух верхних - предсердия и тонкая стенка, двух нижних - желудочки и толстая стенка. Левая половина сердца - артериальная, в ней находится насыщенная кислородом кровь, в правой - венозная кровь, потерявшая кислород после прохождения через большой круг кровообращения.

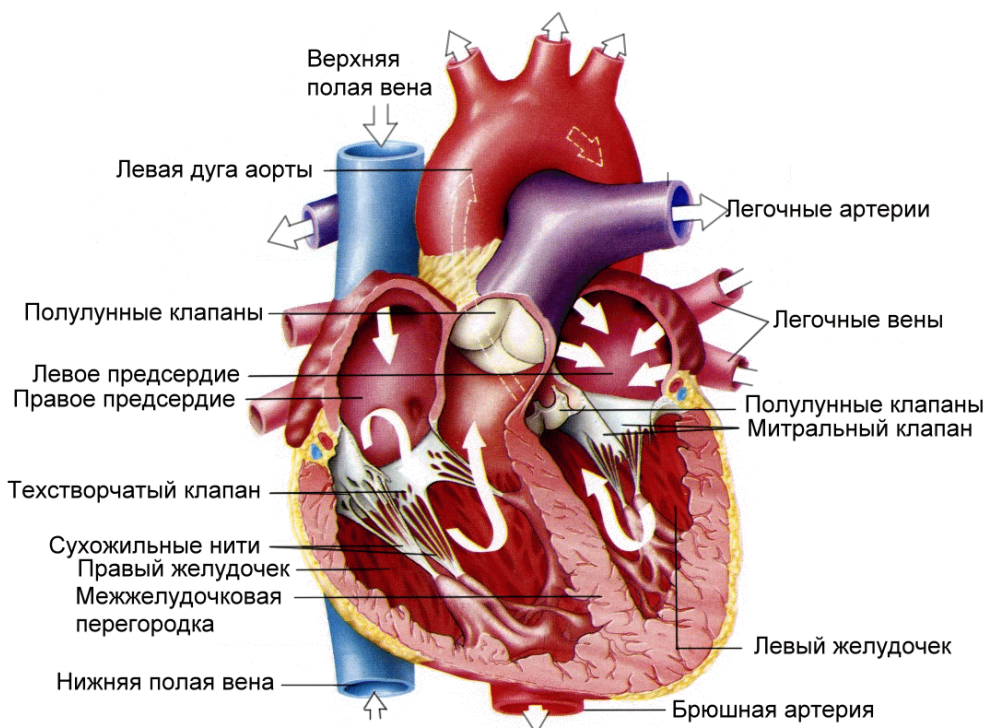


Рис. 6.2. Строение сердца и его насосные функции

Система клапанов сердца

Сердце не только сокращается, но и обладает системой клапанов, которые обеспечивают движение крови в строго определенном направлении. В целом любая сердечно-сосудистая система не может обойтись без клапанов, они присутствуют в организме кольчатых червей, насекомых и рыб. В сердце человека:

- **двустворчатые клапаны** (правый и левый) - находятся между предсердиями и желудочками, работают как распахивающиеся двери; в левой части сердца находится **створчатый клапан (митральный)**, состоящий из двух створок (1 на рис. 6.3.); в правой части сердца клапан состоит из трех створок и называется **трехстворчатый клапан** (2). Когда предсердие сокращается, кровь давит на створки клапана, они открываются внутрь желудочка и кровь проходит в него. Далее начинает сокращаться желудочек, кровь давит на створки клапана, и они закрываются. Прикрепленные к клапанам **сухожильные нити** являются важным элементом строения сердца, они идут от створок к специальным выростам - **сосочковым мышцам**, находящимся на внутренней поверхности желудочков, и крепятся к ним. Когда створки клапана закрываются, то сухожильные нити останавливают их именно в закрытом положении, таким образом предотвращается их выворачивание в сторону предсердия. Состояние створок и сухожильных нитей является очень важными, если с ними что-то не в порядке, то кровь может возвращаться обратно. Такой дефект называется порок сердца, для его исправления делают операцию и устанавливают искусственные клапаны.

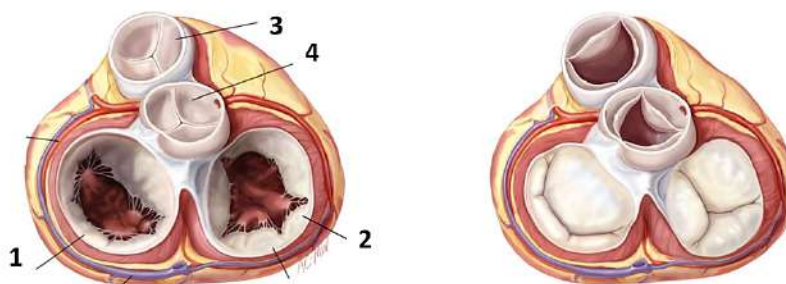


Рис. 6.3. Клапаны сердца: 1 - двустворчатый клапан, 2 - трехстворчатый клапан, 3 - полулунный клапан легочной артерии, 4 - полулунный клапан аорты

- **кармашковидные полулунные клапаны** - находятся выходе легочной артерии из правого желудочка (3) и выходе аорты из левого желудочка (4); клапаны представляют собой систему трех карманов, которые в сомкнутом состоянии полностью останавливают кровоток: при сокращении желудочков клапаны прижимаются к стенкам артерий (рис. 6.3., справа) и кровь снизу-вверх выбрасывается в аорту и легочную артерию. При расслаблении желудочков кровь пытается вернуться обратно, раздувает 3 кармана, они соединяются и останавливают её возврат (3, 4 на рис. 6.3.)

Клапаны сердца обеспечивают однонаправленный ток крови в организме человека. Когда створчатые клапаны закрываются, они ударяют друг по другу и создают звук - **первый тон сердца**, который можно услышать с помощью фонендоскопа. Когда стенки кармашков полулунных клапанов закрываются, они создают **второй тон сердца**. Первый тон - очень короткий, второй - длиннее, потому что кармашки полулунных клапанов срабатывают более мягко. Хороший доктор может услышать насколько надежно работают клапаны сердца. При частоте сокращений сердца 75 раз в минуту, на один сердечный цикл приходится 0,8 секунды. В сердечном цикле различают три фазы:

- **сокращение - систола предсердий**, длится 0,1 сек: открываются створки створчатых клапанов, кровь из предсердий приходит в желудочки;
- **сокращение - систола желудочков**, длится 0,3 сек: кровяное давление в аорте за полулунным клапаном составляет 80 мм давления ртутного столба (связано с упругостью крупных кровеносных сосудов - сонной артерии и аорты) на 120 мм ртутного столба; 120 мм - систола желудочков, 80 мм - давят на полулунный клапан, чтобы его открыть желудочкам необходимо сильно сжаться, поэтому сначала закрываются створчатые клапаны, а потом открываются полулунные, и кровь уходит в большой и малый круги кровообращения;
- **общее расслабление - диастола**, длится 0,4 сек: желудочек начинает расслабляться, давление падает, в этот момент закрываются полулунные клапаны.

Если частота сокращения сердца составляет 60 раз минуту, то в основном изменяется диастола, фазы систолы являются стабильными.

- **ударный объем** - при одном сокращении сердца в легочный ствол и аорты выбрасывается по 70 - 80 мл крови, что соответствует объему полостей правого и левого желудочков;
- **минутный объем** - за минуту (75 ударов сердца) объем выброшенной крови составляет более 5 л;
- при физической нагрузке в 3 - 4 раза возрастает частота и сила сердечных сокращений, сердечный выброс достигает 20 - 40 литров в секунду.

Многое зависит от объема конкретного сердца, например, у активно занимающихся спортом людей оно разрастается и начинает работать в разы более мощно. Когда ученые начали создавать механический аналог сердца, то столкнулись со сложностью воспроизведения сокращающихся конструкций, поэтому большие надежды возлагаются на роторное сердце, внутри которого находится пропеллер. Люди, которым установлено роторное сердце, отмечают, что оно не бьется. Искусственный орган помогает непродолжительное время (несколько недель), иногда его подключают для параллельной работы, например, чтобы разгрузить поврежденный желудочек. Полностью сердце пока заменить не удастся, его замещает только донорский орган, что представляет собой отдельную большую проблему.

Электрическая функция сердца

Автоматия сердца: при пропускании через изолированное сердце физиологического раствора оно способно ритмически сокращаться под влиянием возникающих в нем импульсов (без внешних раздражений). Для создания исходного электрического импульса в сердце существуют видоизмененные мышечные клетки - **водители ритма или узлы автоматии**.

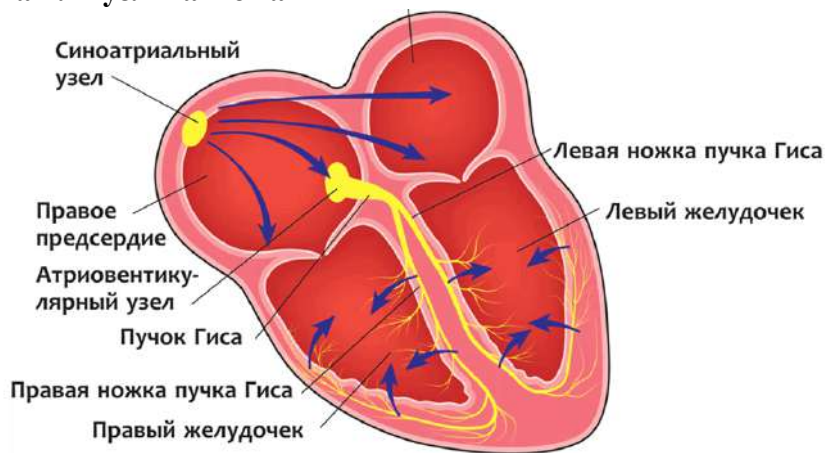


Рис. 6.4. Проводящая система сердца

- **синусно-предсердный (синартериальный) узел** - **водитель ритма 1-го порядка** (главный), расположен в стенке правого предсердия у места впадения полых вен; содержит видоизмененные мышечные клетки (клетки-водители ритма/пейсмекеры), самопроизвольно генерирующие импульс. Кардиомиоциты образуют между собой плотные контакты - электрические синапсы, поэтому

импульс с клетки на клетку проходит без медиаторов. Помимо обычных кардиомиоцитов в процессе участвует группа клеток, очень быстро проводящих сигнал. Они входят в проводящую систему сердца, которая особенно мощно работает в перегородке между желудочками, где находятся **ножки Гиса и волокна Пуркинье** - скопления клеток, специализирующихся на проведении сигнала, но потерявших способность сокращаться. Возникшие в синоартериальном узле импульсы по проводящей системе сердца "разбегаются" по предсердиям, возбуждают их, вызывая сокращения, переходят на перегородки между желудочками, опускаются к вершине сердца и снизу-вверх расходятся по основной массе кардиомиоцитов, что приводит к сокращениям желудочков. Левый желудочек при сокращении создает давление крови 120 мм ртутного столба, правый - 25 мм.

- **предсердно-желудочковый (атриовентрикулярный) узел - водитель ритма 2-го порядка** (запасной), расположен в межпредсердной перегородке, в норме себя не проявляет, поскольку его ритм более медленный, чем ритм водителя 1-го порядка.

Любое повреждение проводящей системы может нарушить работу сердца. Особенно опасно повреждение в зоне перегородки между предсердиями и желудочками, потому что импульс может перейти с от первых ко вторым только там. Изъятое из организма сердце продолжает самостоятельно биться.

Процессу механического сокращения сердца предшествует электрическое возбуждение: кардиомиоцит получает импульс, который бежит по его мембране, запускает вход внутрь кардиомиоцита ионов кальция (Ca^{+}) + АТФ, идет скольжение нитей актина и миозина, и возникает сокращение. Отсюда вытекает важность электрических событий в сердце и интерес к ним со стороны ученых. Сердце является удобным объектом для изучения, потому что электрические импульсы практически синхронно возникают в нем на большом количестве клеток, они суммируются и становятся большими по амплитуде. Поставив датчики на обе руки или на руку и ногу, можно получить электрокардиограмму - графическую регистрацию электрических потенциалов, возникающих при работе сердца. Когда в клинике делается кардиограмма для анализа тонких процессов перемещения электрических сигналов по сердцу, то вокруг него ставится большое количество электродов.

- **P-волна** кардиограммы - электрическое возбуждение и сокращение предсердий;
- **R-волна** - возбуждение стенки между желудочками;
- **QRS-комплекс** - момент быстрого прохода импульсов по перегородке между желудочками;
- **T-волна** - возбуждение и расслабление желудочков.

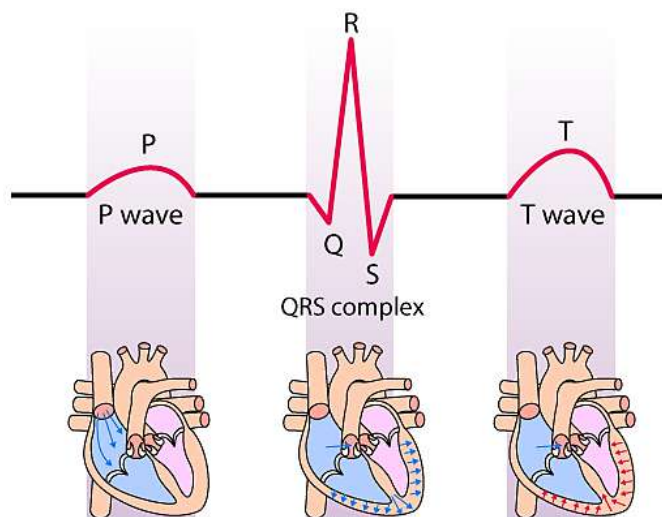


Рис. 6.5. Электрокардиограмма работы сердца

При сложностях с проводимостью меняется форма волн электрокардиограммы (появляются дополнительные зубцы, расширяется QRS-комплекс), что позволяет ставить диагнозы, например, инфаркт, являющийся одной из самых серьезных проблем сердца. Он возникает из-за нарушения кровоснабжения и приводит к тому, что небольшой участок органа выходит из строя, а порой погибает. При выходе из строя системы проводимости сердца уже более полувека используется вживление под кожу кардиостимулятора. От небольшого прибора два или три небольших электрода идут, например, к предсердию и двум желудочкам. Генерируемые им электрические импульсы способны запускать сердечные сокращения. Современные кардиостимуляторы работают очень надежно и могут учитывать концентрацию углекислого газа в крови, то есть дополнительно модулировать работу сердца. Разработана технология их подзарядки через кожу. Часто этот прибор используется и при ненадежной работе сердца, при этом находясь в режиме ожидания и не вмешиваясь в процесс при нормальном функционировании органа, подключаясь в случае возникновения проблемы.

В случае наличия определенных патологий или в момент удушья в сердце возникает **фибрилляция** (мерцательная аритмия) - очаги циркуляции импульсов, передаваемых с клетки на клетку, от чего часть сердца начинает сокращаться (трепетать). В данном случае применяется **дефибрилляция** - выведение органа из режима патологической циркуляции возбуждения с помощью удара электрического тока. В результате дефибрилляции все мышечные клетки срабатывают одновременно, после чего впадают в режим отдыха. В этот момент появляется шанс, что водитель ритма возьмет ситуацию под контроль и на кардиограмме появится волна. Если она не появляется, то врачи усиливают удар, а также вводят адреналин.

- **при фибрилляции предсердий** выходит из строя водитель 1-го ритма, не очень надежно начинает работать водитель 2-го ритма;

- при фибрилляции желудочков сердце перестает качать кровь, что представляет для человека смертельную опасность.

Трепетание предсердий
крупные предсердные
волны



Мерцание предсердий
мелкие предсердные
волны



**Фибрилляция
желудочков**
деформированные
беспорядочные комплексы



Рис. 6.6. Электрокардиограммы мерцательной аритмии

Гуморальная и нервная регуляция сердечной деятельности

Гуморальная регуляция

Организм человека может "попросить" обладающее автоматией сердце работать чаще или слабее (в зависимости от выполняемых задач). Многие из задач связаны с повышенной физической нагрузкой: когда мышцы начинают сокращаться, то в кровь поступает углекислый газ, расходуется кислород, то есть возникает необходимость усиливать кровоток. Регулирующие сигналы попадают к водителю сердечного ритма с кровотоком - это гуморальная регуляция, осуществляемая с помощью гормонов и дополнительных факторов

Усиление работы сердца вызывают:

- **адреналин** - гормон мозгового слоя надпочечников (гормон стресса);
- **тироксин** - гормон щитовидной железы, оказывает более мягкое тоническое влияние;
- **избыток ионов кальция (Ca^{2+})** - работает как "мягкий" кардиостимулятор.

Ослабление работы сердца вызывают:

- **ацетилхолин** - нейромедиатор нервно-мышечных синапсов в скелетных мышцах и в парасимпатической системе, оказывает тормозящее действие;
- **избыток ионов калия (K^+) и магния (Mg^{2+})** – успокаивают.

Нервная регуляция

Деятельность сердца, как и других внутренних органов, регулируется автономной (вегетативной) нервной системой. Кроме того, в сердце имеется собственная нервная система с рефлекторными дугами - **метасимпатическая часть нервной системы**, дополняющая вегетативную. Её нервные клетки находятся в

стенках сердца, они могут активировать работу сердца, например, "измеряя" растяжение предсердий.

Вегетативная нервная система делится на два конкурирующих блока:

- **симпатическая нервная система** - эрготропная функция: управляет органами в ситуациях затраты энергии (физическая и эмоциональная нагрузка, стресс);
- **парасимпатическая нервная система** - трофотропная функция: управляет органами в ситуациях возобновления запасов энергии (спокойное бодрствование, отдых, восстановление сил, но не сон).

Активные во время стресса органы (сердце) возбуждает симпатическая система, тормозит - парасимпатическая. Обеспечивающие восстановление сил органы (ЖКТ) напротив - возбуждает парасимпатическая система, тормозит - симпатическая. Таким образом, большая часть органов человека испытывает конкурирующие воздействия данных систем, что выводит их на оптимальный уровень функционирования - поддержание гомеостаза.

- **ослабление работы сердца вызывают:** парасимпатические нервные волокна в составе блуждающего нерва, выделяется ацетилхолин; происходит сдвиг в сторону покоя, восстановления ресурсов;
- **усиление работы сердца вызывают:** симпатические нервы, центры которых расположены в спинном мозге (грудные сегменты), они добираются не только до водителя ритма, но и до "рабочих" кардиомиоцитов; сердце бьется чаще, каждое сокращение становится сильнее.

Симпатическая и парасимпатическая системы являются исполнителями, выполняющими команды центра более высокого уровня - **сосудодвигательного центра продолговатого мозга и моста**. Он учитывает множество факторов: уровень стресса, бодрствования и эмоций, химический состав плазмы крови, степень растяжения дуг аорты, сонных артерий, полых вен. Если аорта растянута избыточно, это означает, что сердце сокращается слишком сильно - идет сигнал на торможение симпатической и активацию парасимпатической систем. Если избыточно растянуты полые вены, то сигнал действует наоборот. Эти процессы важны в ситуациях, когда человек меняет тело в пространстве (лежит, встает, идет). Отметим отсутствие произвольной регуляции: сокращениями скелетных мышц человек может управлять произвольно, частотой биения сердца - нет. Поэтому вегетативную нервную систему также называют автономной нервной системой.

Нарушения гомеостатической нервной регуляции могут иметь тяжелые последствия. При возрастной потере эластичности в момент систолы левого желудочка артерии меньше растягиваются, что приводит к усилению симпатических влияний на сердце, которое начинает биться чаще и сильнее. В результате постепенно повышается кровяное давление (гипертония - заболевание 50% людей старше 60 лет), сердце переутомляется (риск инфарктов), возрастет риск инсульта головного мозга. В настоящее время проблемы сердечно-сосудистой системы - основная причина гибели

людей. Одна из групп лекарственных препаратов при гипертонии - блокаторы воздействия симпатической нервной системы на сердце (блокаторы эффектов норадреналина), мешающие его активации.

- главный нейромедиатор симпатической нервной системы - **норадреналин**
- главный нейромедиатор парасимпатической нервной системы - **ацетилхолин**

Если у человека повышенное давление и застучало в висках, можно помассировать зону каротидного синуса - разветвление сонных артерий в верхней части шеи, где находится много реагирующих на растяжение нервных волокон. Сигнал активирует парасимпатическую нервную систему и сердце станет биться не так часто и сильно. Аналогичный эффект дает массаж глазных яблок. Проблемы сердца могут быть связаны с нарушением состояния коронарной (сосудистой) системы сердца: нарастание атеросклеротических бляшек, закупоривание сосудов холестерином. Кровь проводится хуже, поэтому при физической нагрузке могут повредиться участки сердца. В подобных случаях применяется стентирование - введение в сосуд решетчатой конструкции, внутри которой находится баллончик, который раздувают в той части сосуда, где находится атеросклеротическая бляшка, и решетчатая конструкция превращается в цилиндр, раздавливающий бляшку и восстанавливающий кровоток.

Сердце эмбриона

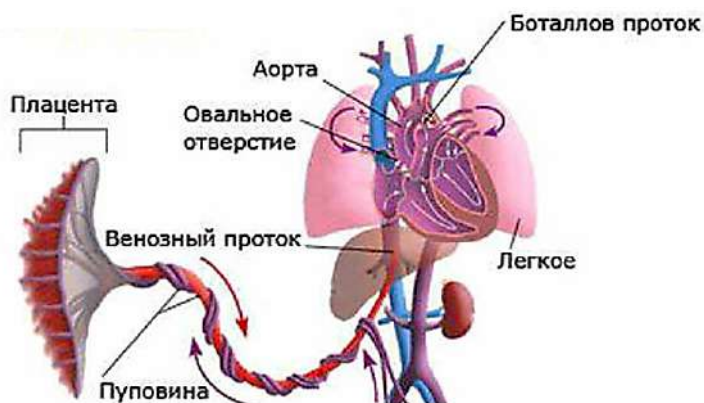


Рис. 6.7. Кровообращение плода

Пока плод находится в утробе матери, малый круг кровообращения не работает. В этот период в перегородке между предсердиями существует овальное отверстие, а также проток между легочным стволом и аортой (боталлов проток), поэтому кровь из большого круга кровообращения попадает в нефункционирующее правое предсердие, из него - в левое. Снабжение плода кислородом происходит через сосуды плаценты и пупочную вену, которая впадает в общий кровоток. В момент первого вдоха ребенка расправляются легкие, кровь поступает в малый круг, в правой части сердца падает давление, лепесток из соединительной ткани закрывает овальное отверстие - начинают работать оба круга кровообращения.

Лекция 7. Сосуды

Строение и функции артерий, вен и капилляров

Тема данной лекции раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" продолжает разговор о сердечно-сосудистой системе. На предыдущей лекции основное внимание было уделено сердцу - спаренному "насосу", который качает кровь по большому и малому кругам кровообращения. В ходе лекции будут рассмотрены работающие сосуды: артерии, вены, а также капилляры, в которых происходит самые важные процессы - обмен веществ и выполнение кровью транспортной функции. Артерии несут кровь к органам, разветвляются на артериолы, затем кровь попадает в капилляры и по венулам поступает в вены.

- **артерии** - сосуды, по которым кровь течет от сердца: могут нести как артериальную кровь в большом круге кровообращения, так и венозную в малом круге в легочном стволе, который ветвится на две легочные артерии;
- **вены** - сосуды, по которым кровь возвращается в сердце: могут нести венозную кровь в большом круге кровообращения и артериальную в малом круге.

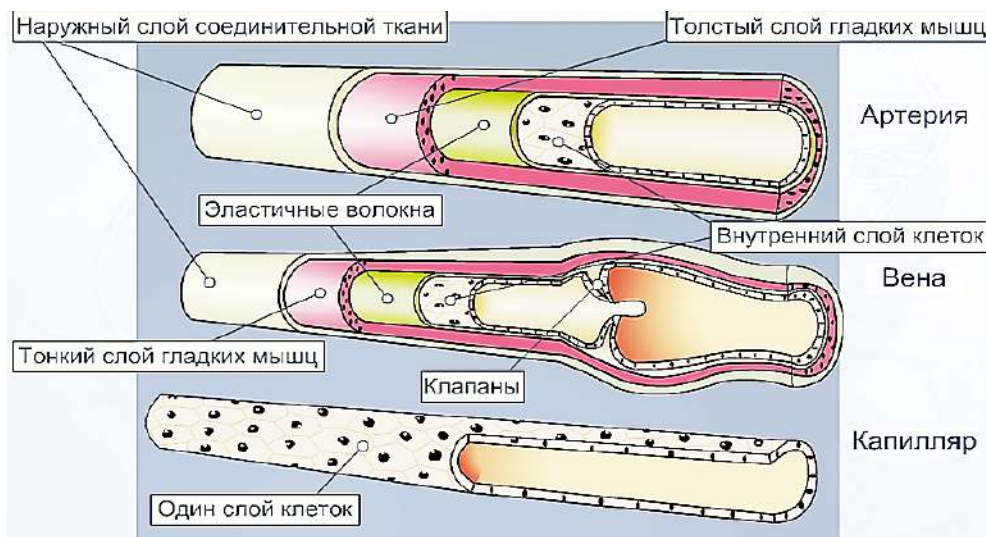


Рис. 7.1. Строение артерии, вены и капилляра

Стенки артерий и вен состоят из трех слоев:

- **наружный слой** - адвентиция, поверхностный слой соединительной ткани;
- **средний слой** - гладкая мышечная ткань и эластические волокна: межклеточное вещество, содержащее много белков (коллаген, эластин) и клетки волокнистой соединительной ткани, выделяющие белковые волокна; средний слой в венах выражен слабее, чем в артериях, потому что в аорте и в крупных артериях (плечевая, подключичная, сонная, подвздошная) кровь течет под большим давлением (120/80 мм ртутного столба). Толстая стенка не позволяет сосуду разорваться, данное опасное событие называется аневризмом.

- **внутренний** - плоский эндотелий, слой покровной ткани, единый для всех сосудов, включая капилляры;

Функции кровеносных сосудов

- **крупные артерии** - очень упругие, их также называют эластические артерии. Гладких мышечных клеток в среднем слое артерий немного, поэтому их просвет меняется незначительно. При диасторе кровь заполняет крупные артерии (прежде всего, аорту), во время систолы упругие стенки выталкивают её в большой круг кровообращения. Таким образом, эластические свойства артерий являются не менее важной частью кровообращения и оптимального давления крови, чем сокращение желудочков или работа клапанов сердца.
- **мелкие артерии** - эластические свойства выражены слабее, поскольку давление крови в них составляет 40 - 50 мм ртутного столба. Для мелких артерий важной является возможность менять просвет, что позволяет делать множество гладких мышечных волокон в среднем слое. Он может меняться в разы, например, по команде симпатической нервной системы или под влиянием гормонов. Это позволяет регулировать кровоток в конкретном органе и перераспределять кровь в зависимости от выполняемых задач.
- **артериолы** - продолжение артерий, промежуточное звено между ними и капиллярами. В стенке артериолы не сплошное покрытие из гладкомышечных клеток, а отдельные клетки. Меняя свой тонус, они способны изменять и просвет артериолы.
- **капилляры** - самые мелкие сосуды, их стенки состоят из одного слоя эндотелиальных клеток, гладкость которых создает минимальное трение для движения крови, не позволяет тромбоцитам зацепиться и начать формировать тромб. Несмотря на то, что кровь является жидкостью, а сосуды обладают гладкостью, феномен трения крови и стенок сосудов присутствует. Через стенки капилляров из крови в ткани идет диффузия кислорода и питательных веществ, из тканей в кровь поступает углекислый газ и продукты обмена. Отметим, что сердце и основные сосуды являются механизмами доставки крови в капилляры, где происходит главное событие, ради которого работает вся сердечно-сосудистая система - **обмен веществ**.
- **венулы** - по своей структуре похожи на артериолы.
- **вены** - обладают тонким средним слоем (небольшое давление), существуют отдельные механизмы, помогающие проталкивать кровь по венам, одним из них является аналог полулунных клапанов, которые находятся в сердце на выходе из желудочков в начале большого и малого кругов кровообращения. Клапаны особенно характерны для вен ног, потому что поднять из них кровь - это отдельная задача. Стенки вен более тонкие, пластичные и мягкие, если в неё попало много крови, то она может существенно растянуться, а потом в течение нескольких секунд возвращаться в исходное состояние.

Время полного кругооборота крови составляет около 30 секунд, на прохождение малого круга кровообращения затрачивается 5 секунд, остальное время - на большой круг (рис. 6.1.):

- **большой круг кровообращения (системный)** - начинается в левом желудочке, из которого выходит дуга аорты, которая уходит на левую сторону (это связано с эволюцией данной системы: у рептилий присутствуют правая и левая дуги, у млекопитающих - только левая дуга), и мимо сердца через диафрагму идет вниз в брюшную полость; по ходу аорты отходят различные кровеносные сосуды;
- **малый круг кровообращения (легочный)** - начинается в правом желудочке, из которого выходит крупная артерия - легочный ствол; она ветвится на идущие в легкие правую и левую легочные артерии; в легких возникают все более мелкие сосуды - капиллярная сеть, которая оплетает альвеолы легких, происходит газообмен (уходит углекислый газ и захватывается кислород, который присоединяется к гемоглобину), капилляры собираются в венулы и четыре легочные вены, впадающие в предсердие.

Общая длина сосудистого русла человека составляет порядка 100 тыс. км (2,5 оборота вокруг Земли), большую его часть составляют капилляры, которые густо пронизывают все органы и ткани. Медики отмечают, что внутри люди более переменчивы, чем снаружи: распределение сосудов носит индивидуальный характер, то есть различается у разных людей, также обнаруживаются нестандартные разветвления сосудов. Эволюция следит за внешним сходством людей - фактором коммуникации, идущий параллельно основному дополнительный сосуд не является причиной для стабилизирующего отбора.

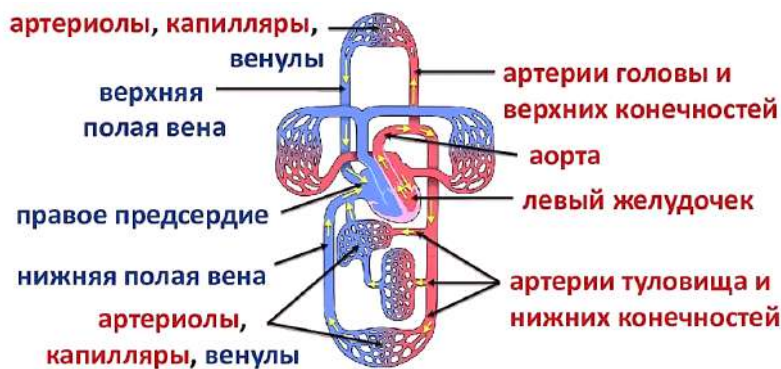


Рис. 7.2. Сосуды большого и малого кругов кровообращения

Кровоснабжение верхней и нижней частей тела

Кровоснабжение верхней части тела. От дуги аорты отходят артерии:

- **подключичные артерии** - идут к рукам и переходят в плечевые артерии;
- **сонные артерии** - название обусловлено тем, что при сильном нажатии на сонную артерию человек может потерять сознание; по шее вдоль трахеи артерия идет к голове, в месте вхождения в нижнюю челюсть (область каротидного

синуса) ветвится на наружную и внутреннюю сонные артерии. Помассировав данную зону можно оказать помощь управляющим сердечными сокращениями рефлекторным дугам, тем самым подав сигнал. Переключаясь через сосудодвигательный центр головного мозга, он создаст у системы иллюзию об избыточности давления крови, что приведет к его сбросу для подтормаживания работы сердца.

- **внутренняя сонная артерия** - снабжает кровью переднюю часть головного мозга - большие полушария и промежуточный мозг;
- **наружная сонная артерия** - питает кровью остальную часть головы, в том числе мимические и глазодвигательные мышцы;
- **позвоночные артерии** - проходят через отверстия в отростках шейных позвонков и снабжают кровью заднюю часть мозга: мозжечок, продолговатый и средний мозг;
- **небольшие артерии верхней части тела**: локтевая, лучевая, ладонная дуга, пальцевые.

Вены верхней части тела

- **яремные вены** - после прохождения капилляров в голове кровь собирается в данные сосуды, идущие вниз параллельно сонным артериям;
- **верхняя полая вена** - когда большой круг кровообращения завершается, то венозная кровь от головы и рук собирается в верхнюю полую вену и возвращается в правое предсердие;
- **нижняя полая вена** - по ней кровь поднимается из нижней половины туловища и нижних конечностей;
- **крупные вены** - подключичные, подмышечные, плечеголовные (соединяются в верхнюю полую вену).

Кровоснабжение нижней части тела

Дуга аорты переходит в грудную часть, далее - в брюшную аорту, ветвящуюся на две подвздошные артерии, которые идут к нижним конечностям, где находятся берцовые артерии.

- **брюшная аорта** - снабжает кровью внутренние органы: желудок, кишечник, печень, почки, селезенку;
- **дополнительная крупная система кровообращения** - после того, как кровь проходит через стенки органов пищеварения и обогащается питательными веществами из стенок желудка, тонкого и толстого кишечника, она не сразу поступает в общий кровоток, потому что люди зачастую получают с едой неожиданные и не всегда полезные вещества. Сначала венозная кровь фильтруется, роль "грубого" фильтра выполняет печень (тонко настроенный фильтр - почки), которая через **печеночную артерию** получает и артериальную кровь. Далее два потока крови из **воротной (портальной) вены** и печеночной артерии смешиваются, проходят через мелкие сосуды, капилляры и лакуны,

находящиеся внутри печени, где её клетки (гепатоциты) стараются вытащить из крови потенциально вредные вещества, которые сбрасывают в желчь. После этого кровь собирается в **печеночную вену** и впадает в нижнюю полую вену.

- **артерии нижней части тела:** туловище - брыжеечные, селезеночная; артерии ног - подколенная, берцовые, подошвенные, предплюсневые;
- **нижняя полая вена** – сосуд, по которому венозная кровь от ног и нижней части туловища возвращается в правое предсердие;
- **крупные вены нижней части тела:** желудочно-сальниковая, брыжеечные (формируют воротную вену печени), почечные, подвздошные, бедренные, подкожные, пальцевые.

Легкие получают кровь и от большого, и от малого круга кровообращения. Часть крови в составе малого круга с помощью легких насыщается кислородом, но для того, чтобы клетки легких получали питание и эффективно работали, в них присутствуют сосуды и капилляры обоих кругов.

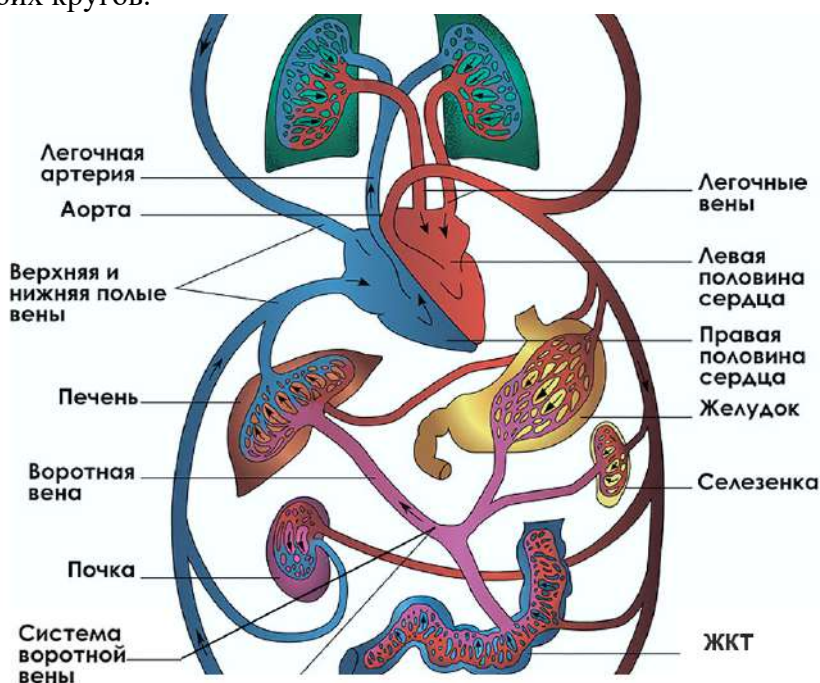


Рис. 7.3. Снабжение кровью внутренние органы

Дополнительные капиллярные сети последовательно вставлены в большой круг кровообращения до или после основных сетей, они выполняют специальные задачи:

- **гипофизная капиллярная сеть** - принимает гормоны;
- **капиллярная сеть в почках** - работает на формирование первичной мочи;
- **капиллярная сеть плаценты** - снабжает кислородом плод.

Коронарная система сердца

До 20% выбрасываемой левым желудочком крови попадает в коронарные (венечные) сосуды, питающие сердечную мышцу. Правая и левая коронарные артерии начинаются сразу за полулунным клапаном аорты. Они начинают ветвиться, создавая артериолы, капилляры, венулы и вены. Вены коронарной системы впадают непосредственно внутрь полости сердца в обход системы нижней полый вены. Проблемы коронарной системы очень опасны, её сосуды работают в тяжелейшем режиме, так как при сокращении сердца их стенки постоянно сгибаются, что с большой вероятностью может привести к повреждениям. Любое повреждение сосуда - это зона воспаления, где скапливаются тромбоциты (образование микротромбов) и фагоциты (накопление жироподобных молекул холестерина, возникновение холестериновых бляшек). При закупорке коронарного сосуда из-за недостатка кровоснабжения может наступить отмирание участка миокарда (инфаркт). Нарушение проходимости любой артерии может наступить в результате закупорки сосуда тромбом, атеросклеротической бляшкой или из-за её сильного сужения - спазма. При сложностях работы коронарной системы у человека возникает ощущение дефицита энергии, а иногда жжение и боль в сердце (стенокардия). Инфаркт и стенокардия связаны с формированием сердцем избыточного кровяного давления - гипертонией, причиной которой являются старение сосудов и хронический стресс.

Кровяное давление

Максимальное кровяное давление большого круга кровообращения составляет **120 мм ртутного столба** - систола левого желудочка сердца. После завершения систолы начинается диастола: желудочек расслабляется, закрывается находящийся между аортой и левым желудочком полулунный клапан, и та порция крови, которая попала в большой круг и растянула крупные артерии, не может попасть обратно. Эластические стенки артерии давят на неё и заставляют продвигаться по большому кругу. **80 мм ртутного столба** - значение, до которого давление внутри сосудов успевает упасть до поступления следующей порции крови. Эластические свойства крупных сосудов очень важны, благодаря их постоянному сжатию кровь в организме человека течет не толчками, а непрерывно. Отметим, что давление в момент расслабления желудочков падает только на треть. По мере удаления от сердца кровяное давление из-за трения крови о стенки сосудов постепенно падает, идет сглаживание верхнего и нижнего давления:

- **оптимальное кровяное давление** - 120/80 мм ртутного столбы - наблюдается на выходе из левого желудочка сердца
- **максимальное давление создается в аорте** - 120 - 130 мм ртутного столба
- **давление в крупной артерии** - 120 мм
- **давление на входе в капилляры** - 30 - 35 мм
- **давление на выходе из капилляров** - 12 - 15 мм
- **давление в полых венах** - равно или чуть ниже атмосферного
- **давление в малом круге кровообращения** - составляет 25 мм ртутного столба, его достаточно для продвижения крови по кровотоку

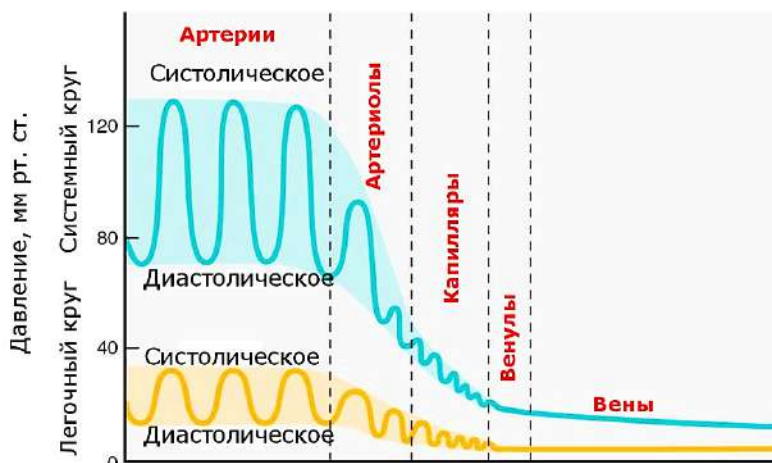


Рис. 7.4. Давление в сосудах большого и малого кругов кровообращения

Давление во время систолы выше, чем во время диастолы только в относительно крупных сосудах. Систолическое давление (верхнее) характеризует состояние левого желудочка, диастолическое (нижнее) - тонус эластических стенок крупных артерий. **Гипертония** - стойкое повышенное давление: более 140 мм ртутного столба, **гипотония** - пониженное. При возрастной гипертонии в основном растет верхнее давление (150/70): сердце пытается растягивать крупные артерии, которые утратили эластические свойства. При стресс-вызванной гипертонии растет и верхнее, и нижнее давление (160/120): повышенный тонус всех сосудов у живущего в состоянии постоянного стресса человека приводит к повышению кровяного давления рефлекторными дугами. Гипертония - одновременно является источником двух рисков: сердце перерабатывает, что приводит к инфаркту, могут лопнуть сосуды головного мозга (инсульт). Часть препаратов от гипертонии влияет на тонус сосудов и немного его ослабляет. Миллионы людей в мире принимают их ежедневно для оптимизации работы сердечно-сосудистой системы.

Давление измеряется с помощью фонендоскопа, максимальная точность измерения достигается в плечевой артерии, где **нормой являются показания 120/80 мм ртутного столба**.

Принцип работы фонендоскопа - реакция на звук смыкаемых стенок сосудов:

1. Необходимо надуть надетую на предплечье манжету, чтобы поднять в ней давление заведомо выше верхнего кровяного давления и пережать плечевую артерию.
2. Если начать выпускать воздух из манжеты, то в какой-то момент верхнее давление начинает раскрывать артерию, появляется звук смыкающихся и размыкающихся стенок артерии; в этот момент можно измерить и частоту сердечных сокращений.
3. Если продолжить выпускать воздух, давление манжеты на плечевую артерию станет настолько слабым, что даже при нижнем давлении (диастоле) стенки

сосудов перестанут смыкаться, и звук исчезнет; в момент его исчезновения фиксируется точка нижнего давления.

Скорость кровотока

Скорость кровотока - важный показатель, описывающий состояние сердечно-сосудистой системы человека. Скорость кровотока зависит от активности сердца, её можно ощутить в виде пульсовой волны (механическое подрагивание). **Артериальный пульс** - ритмическое волнообразное колебание стенок артерий, вызываемое выбросом порции крови в аорту, которая затрачивает 30 секунд на прохождение обоих кругов кровообращения. Волна сокращений движется по эластическим стенкам артерий со скоростью 10 м/с, не зависит от скорости кровотока и значительно превышает его. С помощью пульса можно проанализировать частоту и вариабельность сердечных сокращений, обнаружить сбои в проводимости.

Скорость движения крови:

- **в аорте** - максимальная - до 0,5 м/с
- **в более мелких артериях** - падает до 0,25 м/с
- **в капиллярах** - суммарный просвет сосудов в 1000 раз больше, скорость в 1000 раз меньше - 0,5 мм/с
- **в полых венах** - собирается капиллярная кровь большого круга кровообращения, скорость снова увеличивается до 0,2 м/с

Скорость кровотока обратно пропорциональна площади поперечного сечения сосудов, это связано с падением давления и ветвлением сосудов, то есть работают законы гидродинамики. Можно провести аналогию с течением реки: там, где она сужена - течение быстрое, где река распадается на мелкие рукава - медленное, поскольку даже небольшие рукава имеют значительное общее сечение, которое больше основного русла. Суммарный просвет мелких артерий в разы больше просвета аорты, особенно велик суммарный просвет капилляров.

Движению по венам способствуют:

- сокращения окружающих вены и надавливающих на них мышц - когда человек неподвижно стоит или сидит, кровь в ногах буквально останавливается, что может привести к развитию воспалений, варикозному расширению вен и т.д.; за 10 шагов кровь прокачивается полностью;
- сходные с полулунные клапаны в стенках вен - при сдавливании сосудов кровь не может двигаться вниз, потому что кармашки клапанов закрываются;
- присасывающая сила грудной клетки во время вдоха - в этот момент в плевральной полости возникает разрежение, которое не только помогает вздохнуть, но и подтягивает кровь из полых вен.

Передвижение крови по венам идет в условиях низкого давления, поэтому необходимы дополнительные факторы. Особенно это актуально в случае подъема крови из нижних конечностей в нижние полые вены.

Движению по артериям способствуют:

- ритмическая работа сердца;
- разность давления в разных частях кровеносной системы - движение из области большего давления в область меньшего.

Жираф обладает длинными ногами и длинной шеей, его кровяное давление приближается к 400 мм ртутного столба. Система полулунных клапанов находится не только в сосудах ног жирафа, но и в яремной вене, при этом кармашки в них направлены в другую сторону. Это необходимо для того, чтобы в тот момент, когда он пьет, кровь не отхлынула от сердца к мозгу и не спровоцировала возникновение инсульта. Эластические свойства стенок артерий жирафа очень выражены, а их прочность сравнима с прочностью пуленепробиваемого жилета.

Капилляры

На входе в капилляры давление крови составляет около 32 мм ртутного столба, на выходе - 12 мм. Капилляры - один слой клеток эндотелия, который имеет высокую проницаемость, поэтому из них идут интенсивная диффузия и перенос веществ. Этот процесс происходит в начальной части капилляра, когда давление в нем еще не упало (30 - 22 мм ртутного столба). В этот момент вода, соли, мелкие органические молекулы, питательные вещества устремляются в ткани. С падением давления уменьшается и перенос, при этом растут осмотические свойства плазмы крови. Белки альбумины удерживают в ней в первую очередь воду, которая старается перейти из бедной веществами зоны в богатую, чтобы их разбавить. В любой зоне капилляра на каплю воды действуют два фактора: кровяное давление выталкивает её межклеточную среду, осмотические процессы (высокая концентрация альбумина) - вталкивают обратно. В начальной части капилляра давление сильнее втягивания, когда оно опускается до 22 мм ртутного столба (середина капилляра), втягивание становится интенсивнее давления, поэтому начинается возврат воды, которая при этом уносит с собой отходы обмена веществ и другие молекулы в кровь. Чем ближе к концу капилляра, тем интенсивнее этот процесс. Таким образом возвращается 90% воды, остальная вода возвращается через лимфатическую систему. Данный механизм обеспечивает активный обмен веществ в тканях организма человека.

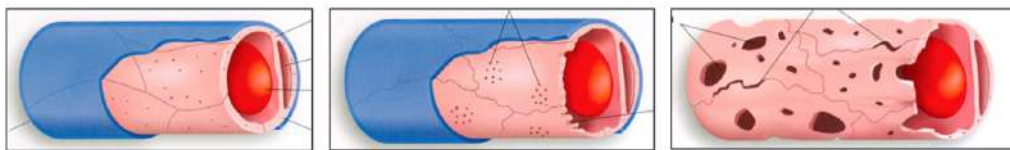


Рис. 7.5. Три типа капилляров: слева направо - I, II, III тип

- **I тип капилляров** - обладает относительно плотным барьером из эндотелия, характерен для мышц, легких и мозга;
- **II тип** - обладает более проницаемым эндотелием с утонченными областями (финестры), где перенос веществ осуществляется более легко; характерен для почек, кишечника, эндокринных желез;

- **III - тип** - обладает легко проницаемым эндотелием с большими порами; находится в красном костном мозге.

Регуляция тонуса сосудов

За регуляцию отвечает сосудодвигательный центр продолговатого мозга и моста, прежде всего через симпатическую нервную систему он занимается и регуляцией тонуса сосудов. Поскольку сосудов в организме человека значительное количество, большое значение имеют местные гуморальные факторы - вещества, возникающие в нервной ткани в то время, когда она выполняет свои функции, которые бывают очень разнообразными. Глобально их можно разделить на:

- **состояние покоя** - около 20% крови находится в депо: стенки ЖКТ, печень, селезенка, кожа; кровоток идет в этих органах медленно. В любом неработающем органе часть капилляров закрыта сфинктерами (в мышцах до 90%), поэтому кровь в них не поступает.
- **стресс** - в этом состоянии активно работают мышцы, сердце и мозг, поэтому необходимо эффективное распределение кровотока. Под действием гуморальных факторов (углекислый газ, молочная кислота и др.) сфинктеры открываются и в них поступает кровь. Но этого может быть недостаточно, поэтому для обеспечения всех нуждающихся в крови органов симпатическая нервная система сужает сосуды в депо крови, ускоряя кровоток.

Управление кровотоком в органе происходит за счет расширения и замыкания находящихся на входе крови из артериолы в капилляры гладкомышечных колечек-сфинктеров, состоящих из нескольких мышечных клеток.



Рис. 7.6. Справа - кровоток при открытых прекапиллярных сфинктерах (1), слева - при сжатых

Прекапиллярные сфинктеры управляются вегетативной нервной системой (гормоны) и местными гуморальными факторами, возникающими в активно работающем органе:

- в мышцах - молочная кислота
- в мозге - углекислый газ
- в кишечнике - питательные вещества (аминокислоты, глюкоза)
- в коже - сигналы от центра терморегуляции
- в сердце - молекулы аденозина, возникающие при глубоком распаде АТФ

Таким образом, симпатическая нервная система при стрессе подает сигнал сузить сосуды, в результате растёт давление и ускоряется кровоток, далее местные факторы расширяют сосуды в тех зонах, где это наиболее актуально. К этому процессу присоединяются гормоны (адреналин, ангиотензин и др.), которые зажимают сосуды, дополнительно повышая давление. При интенсивном дыхании кровью насыщается весь организм человека, кроме мозга, потому что в плазме крови остается мало углекислого газа, что запускает спазм его сосудов.

Лимфатическая система

Лимфатическая система является вспомогательной транспортной системой организма человека, которая уводит избыток жидкости из ткани. Давление в тканях около капилляров составляет около 10 мм ртутного столба, оно проталкивает избыток жидкости внутрь лимфатических сосудов, которые за счет автоматии и полулунных клапанов возвращают её в кровоток (рис 4.1.).

Выделяют три звена лимфатической системы:

- **лимфатические однослойные капилляры** - место фильтрации избыточной тканевой жидкости, которая образуется в лимфу;
- **лимфатические слепозамкнутые многослойные сосуды** - могут сокращаться (обладают автоматией), снабжены полулунными клапанами; сокращение их стенок продвигает лимфу (раз в 20 секунд);
- **протоки** - от ног и кишечника лимфа собирается в наиболее крупный грудной проток, который впадает в верхнюю полую вену (как и остальные протоки).

По ходу лимфатических сосудов находится около 500 **лимфатических узлов** - мест обитания лимфоцитов, где они обмениваются информацией и делятся, обеспечивая иммунитет. В случае возникновения инфекции лимфатические сосуды увеличиваются. По составу лимфа близка к плазме крови, но содержит в 3 - 4 раза меньше белков, в ней отсутствуют эритроциты и тромбоциты. Из-за наличия фибриногена лимфа может сворачиваться, но не так быстро, как кровь. Самые крупные скопления лимфатических узлов находятся: на шее под нижней челюстью, в подмышечных впадинах, в паху, локтевых и коленных изгибах. В случае плохой работы лимфатических сосудов, они неэффективно уносят избыточную жидкость, что приводит к отекам, которые являются симптомом различных заболеваний: гипертония, проблемы печени (нехватка альбумина), дефицит белка в пище и др. Лимфатическая система также участвует во всасывании и переносе от кишечника жиров и жирорастворимых витаминов.

Лекция 8. Дыхание

Структуры дыхательной системы человека

Дыхание - совокупность процессов, участвующих в обеспечении организма кислородом и в выведении из организма углекислого газа. Значение кислорода: в ходе окисления органических веществ образуется необходимая для жизнедеятельности человека энергия.

Термин "дыхание" используется для рассмотрения разных этапов процесса:

- **внешнее, системное (легочное) дыхание** - газообмен между атмосферным воздухом и структурами легких: кислород из воздуха переходит в кровь, углекислый газ из крови переходит в полость альвеол легких; основой данного процесса являются легкие и их альвеолярные структуры;
- **транспорт газа кровью** - гемоглобин и эритроциты, растворение углекислого газа в плазме;
- **тканевое (клеточное) дыхание** - потребление кислорода митохондриями после того, как он из альвеол попал в кровь, а эритроциты донесли его до клеток. В процессе окислительного фосфорилирования кислород соединяется с обломками глюкозы, образуется энергия в форме АТФ, далее происходит выделение углекислого газа, который уходит обратно в легкие.

Дыхательная система состоит из дыхательных (воздухоносных) путей и легких, дыхательных центров головного мозга, обеспечивающих дыхание мышц и скелетных структур: диафрагма, межреберные мышцы, грудная клетка.

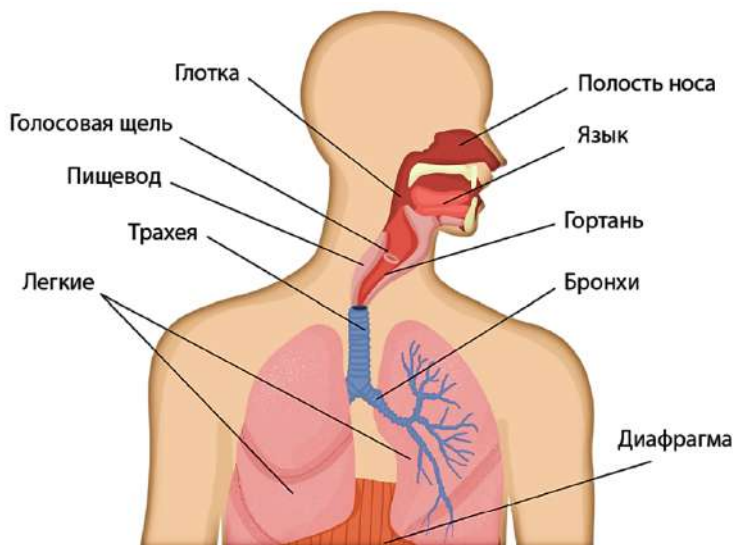


Рис. 8.1. Компоненты дыхательной системы человека

Дыхательные пути: полость носа, носоглотка, гортань, трахея, бронхи, альвеолы, альвеолярные ходы, на концах которых находятся легочные пузырьки альвеолы - структурно-функциональные единицы легких, в которых происходит газообмен.

Носовая полость

Хрящевые перегородки разделяют носовые полости на три хода: **верхние и средние** - связаны с обонянием и выстланы обонятельным эпителием, **нижние** - выстланы мерцательным (ресничным) эпителием, который продвигает слизь к носоглотке (до 0,5 л/день), удаляя из воздухоносных путей собравшуюся на ней пыль, споры бактерий и вирусные частицы. В носовой полости воздух кондиционируется - подготавливается для дальнейшего перемещения в легкие: согревается, увлажняется. Далее через завершающую носовую полость зону - **хоаны** (вторичные ноздри) воздух попадает в носоглотку, ротовую часть глотки, далее - в гортань. С носовой полостью связаны находящиеся внутри костей черепа **лобные и верхнечелюстные пазухи** - облегчающая скелет черепа система дополнительной терморегуляции. При длительном воспалительном процессе в носоглотке инфекция проникает в пазухи, что приводит к необходимости приема антибиотиков.

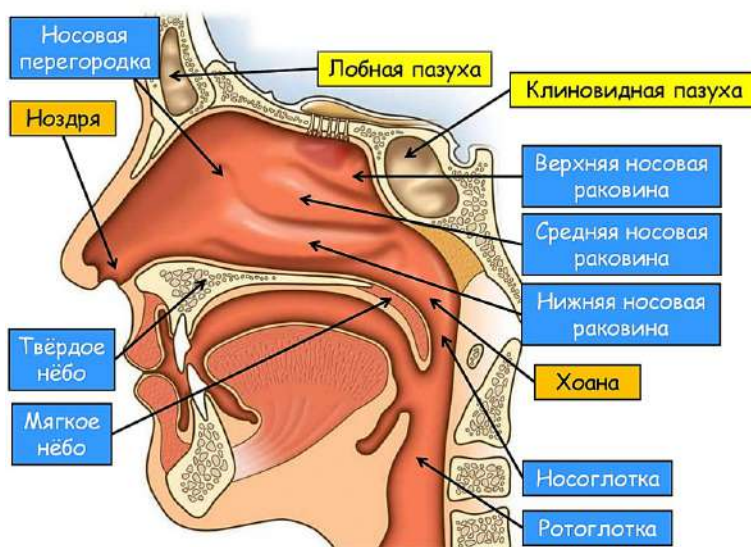


Рис. 8.2. Строение носовой полости и носоглотки

Носоглотка

Дыхательная система человека по происхождению является бывшим участком пищеварительной системы, а точнее пищевода, который, начиная с двоякодышащих рыб, а потом амфибий, формирует легкие. **Носоглотка является "перекрестком" двух систем: пищеварительной и дыхательной.** В пищеварительной системе происходит попадание еды в ротовую полость, жевание и проглатывание. Пища должна уйти в пищевод, а не попасть в гортань, в противном случае человек подавится. Для этого существует система клапанов, направляющих токи пищи и воздуха. Обычно пищевод сжат мышечным кольцом (сфинктер), поэтому воздух в него не проходит. Над гортанью находится надгортанник, который открыт при дыхании. В верхней части носовой полости расположено твердое небо, которое переходит в мягкое небо - мышечную занавеску, которая обычно опущена и открыта. Когда человек глотает, мягкое небо поднимается и перекрывает проход в носовую полость, а надгортанник опускается и перекрывает проход в трахею и гортань. Кроме того, раскрывается

сфинктер пищевода для прохождения еды, поэтому не стоит разговаривать и смеяться во время еды, так как мягкое небо может плохо сработать и суп польется из носа.

Глотание - врожденная рефлекторная реакция. С верхней частью дыхательной системы также связаны **чихательный и кашлевой рефлекс** - защитные программы, позволяющие вытолкнуть посторонние предметы или избыток слизи из дыхательных путей. Эти процессы запускаются древними структурами мозга человека (продолговатый мозг, мост) - зоной, где находятся сосудодвигательный и дыхательный центры.

Гортань

Гортань находится на уровне IV - VI шейных позвонков, сужена в средней части (имеет вид песочных часов) и выстлана выделяющим слизь ресничным эпителием, на уровне 7-го позвонка переходит в трахею.

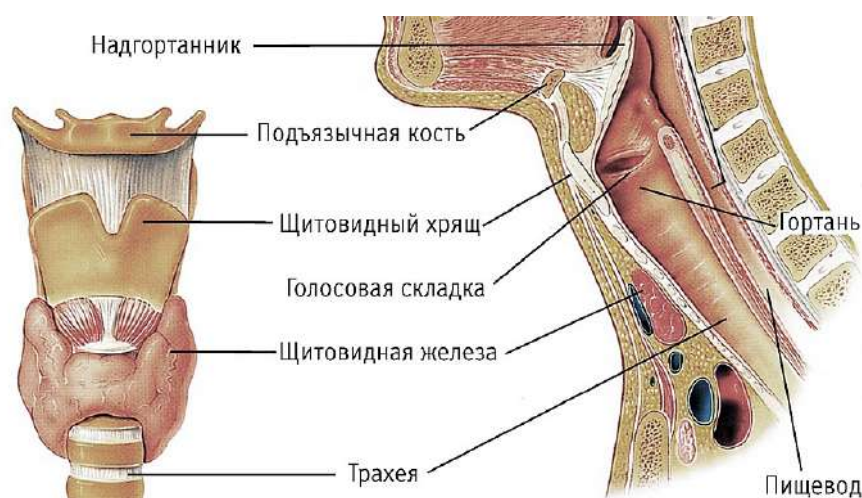


Рис. 8.3. Строение гортани: слева - вид спереди, справа - вид сбоку

В гортани расположено три парных и три непарных хряща:

- **парные хрящи** (малые): черпаловидные (опора для голосовых связок), рожковидные и клиновидный;
- **непарные хрящи** (большие): перстневидный, щитовидный (самый крупный), надгортанный.

Голосовая функция колоссально важна для людей, потому что является базой коммуникаций. Когда-то это была невербальная коммуникация (крик радости или боли), по мере развития homo sapiens появляются тонкие речедвигательные реакции, позволяющие произносить слова и доносить информацию. Гортань проводит воздух и функционирует как голосовой аппарат. Звуки возникают на выдохе, когда выдыхаемый с силой воздух вызывает колебания голосовых связок, которые натянуты между щитовидным и черпаловидными хрящами гортани. Тонкая работа с хрящами - сложные двигательные навыки, которым человек учится все первые годы жизни, а также в ходе

освоения новых фонем при изучении иностранных языков (у жителей Африки некоторые фонемы произносятся на вдохе).

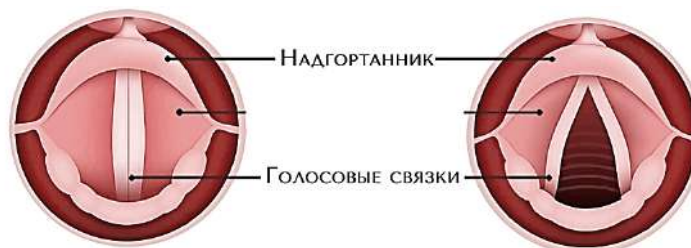


Рис. 8.4. Слева – положение голосовых связок во время разговора, справа – во время молчания

Чем сильнее натяжение голосовых связок - тем громче издаваемый звук, чем выше частота их колебаний - тем выше звук.

- **молчание** - голосовая щель открыта;
- **разговор** - голосовые связки натягиваются, их края смыкаются, голосовая щель узкая, генерируется звук;
- **шепот** - голосовые связки слегка приоткрыты, поэтому издаваемый звук тихий.

Трахея

Трахея - идущая по шее мышечная трубка длиной 9 - 13 см. Воздухоносные пути имеют такую же структуру, как артерии и вены: слой эпителия, слой гладких мышечных волокон плюс эластические волокна, чехол из соединительной ткани. Гортань, трахея, бронхи и бронхиолы также укреплены фрагментами хрящевой ткани: в бронхах - хрящевые кольца, в случае трахеи - 16 - 20 хрящевых полуколец. Задняя мягкая стенка трахеи состоит из мышечных волокон и эластичной пластинки из соединительной ткани. Подобное устройство обусловлено тем, что сразу за трахеей находится пищевод, когда человек глотает что-то крупное, он вдавливаются внутрь трахеи, что позволяет пище пройти.

Структура бронхиального дерева

На уровне V грудного позвонка трахея делится на два бронха: правый короче и шире левого. Бронхи дихотомически (вильчато) делятся на бронхиолы, по ним воздух проникает в альвеолярные ходы, на концах которых находятся легочные пузырьки альвеолы. Трахея ветвится на 2 бронха, каждый из них ещё на 2 и т.д.:

- 1 - 5 вильчатое ветвление – бронхи;
- 6 - 5 ветвление – бронхиолы, в стенках которых находятся отдельные хрящевые фрагменты;
- 16-е ветвление - терминальные бронхиолы, фрагменты хряща отсутствуют;
- 17-е ветвление - респираторные бронхиолы;
- 18 - 22 ветвление - альвеолярные ходы, на концах которых находятся альвеолы, наибольшее их количество возникает на конце последнего ветвления.

Общее число ветвлений - 22, количество веточек - $2^{22} = 2^{10} \times 2^{10} \times 2^2$, то есть бронхиальное дерево составляет 4 миллиона веточек.

Реснитчатый (мерцательный) эпителий

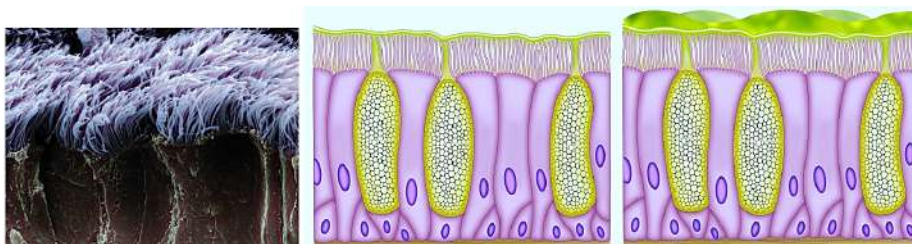


Рис. 8.5. Реснитчатый эпителий: слева - фотография, в середине и справа - принцип работы клеток эпителия

Реснитчатый (мерцательный) эпителий дыхательных путей распространен от носовой полости до терминальных бронхиол. На каждой его клетке находится около 200 синхронно движущихся жгутиков, задача которых убирать слизь из дыхательных путей, появляющуюся из слизистых желез (одноклеточных и многоклеточных). В мерцательном эпителии носовой полости движение слизи идет в сторону глотки, в дыхательных путях (бронхи, бронхиолы) - поднимается к глотке, где проглатывается, а затем разрушается в желудке. Таким образом реализуется дренажная функция - очистка. При инфекционных заболеваниях, ожогах дыхательных путей, курении и пр. слизь в легких накапливается, а её консистенция слизи может стать очень густой. В этом случае применяется препарат АЦЦ (ацетилцистеин). В первичной структуре слизиобразующего белка муцина много аминокислоты цистеин - серосодержащей аминокислоты, которая может формировать SS-мостики. Густая слизь = большое количество SS-мостиков, при приеме АЦЦ в слизистых железах вместо цистеина появляется ацетилцистеин, который не может образовывать SS-мостики, поэтому созданная клеткой слизь будет более жидкой (человеку будет легче откашляться).

Поскольку ветвления бронхиального дерева последовательно утончаются, то по сути образуется воздушный фильтр, который эффективно противодействует попаданию инфекции внутрь легких. Отметим, что существуют вирусы, например, гриппа, которые живут в самой слизи. Гриппозная инфекция начинается в бронхах и бронхиолах, мишенью коронавирусной инфекции являются альвеолы. Мерцательные клетки плохо восстанавливаются.

Альвеолы

Общее количество альвеол составляет около 300 - 400 миллионов, в зависимости от объема легких человека суммарная поверхность газообмена составляет 100 - 150 м², что соответствует размеру комнаты 10/10 м². Такая поверхность необходима, чтобы в достаточной мере снабжать кислородом теплокровный организм человека. **Альвеола** - сферический пузырек диаметром 0,2 - 0,3 см, стенка которого образована однослойным плоским эпителием, схожим с эндотелием сосудов и образующим барьер, через который должны проходить газы.

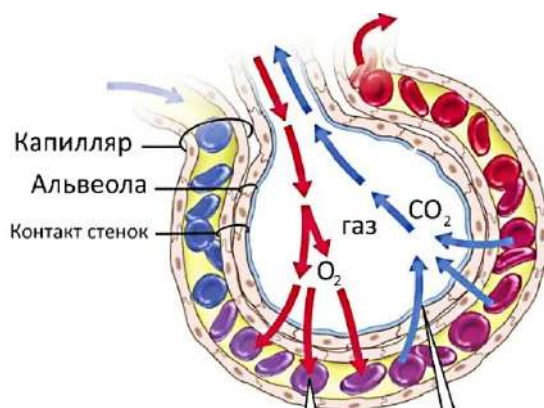


Рис. 8.6. Газообмен в альвеоле

Эпителий альвеолы состоит из двух типов клеток:

- **плоские** (основные) - газообмен;
- **кубические** - выделяют сурфактанты - мишень атаки коронавируса, способного нанести прямое повреждение альвеолы, после чего проникнуть в капилляры, повредить стенку сосуда, сердце или почки (тяжелое течение инфекции).

Таким образом, газы должны преодолеть всего два слоя клеток, что облегчает газообмен: внутрь альвеолы поступает углекислый газ, в капилляр - кислород. Альвеолы снаружи густо оплетены кровеносными капиллярами, внутренняя поверхность которых покрыта сурфактантом - особой жироподобной пленкой, которая уменьшает поверхностное натяжение, поэтому легочные пузырьки не схлопываются. Если сурфактанта мало, то легкие начинают спазмироваться, площадь газообмена уменьшается (встречается у недоношенных детей). Фагоциты живут в тканях (кожа, печень, дыхательные пути, ЖКТ), альвеолярные макрофаги перемещаются внутри полости альвеолы и "доедают" пыль и бактериальные споры, прошедшие дренажную систему слизи.

Структура легких

Морфологической и функциональной единицей легкого является **ацинус** - альвеолы, отходящие от одной концевой бронхиолы. Ацинусы образуют дольки, которые объединяются в сегменты, сегменты формируют доли легких: в правом легком три доли, в левом - две доли, потому что там располагается сердце (рис. 8.7.). Легкие располагаются в грудной полости, её правильное состояние - основа дыхательных движений. Структура легких напоминает гроздь винограда с миллионами ягод, которая обернута листом **легочной плевры**, то есть каждое легкое погружено в мешок из соединительной ткани. Кроме того, грудную клетку изнутри выстилает листок пристенной плевры. Между листьями находится заполненная смазочной жидкостью узкая щель - плевральная полость, поэтому стенка легкого скользит по стенке грудной полости. Данный механизм свойственен строению суставов (суставная жидкость) и сердца (перикард и перикардальная жидкость). Легкие пассивно следуют за стенками грудной клетки, так как в них отсутствуют мышцы.

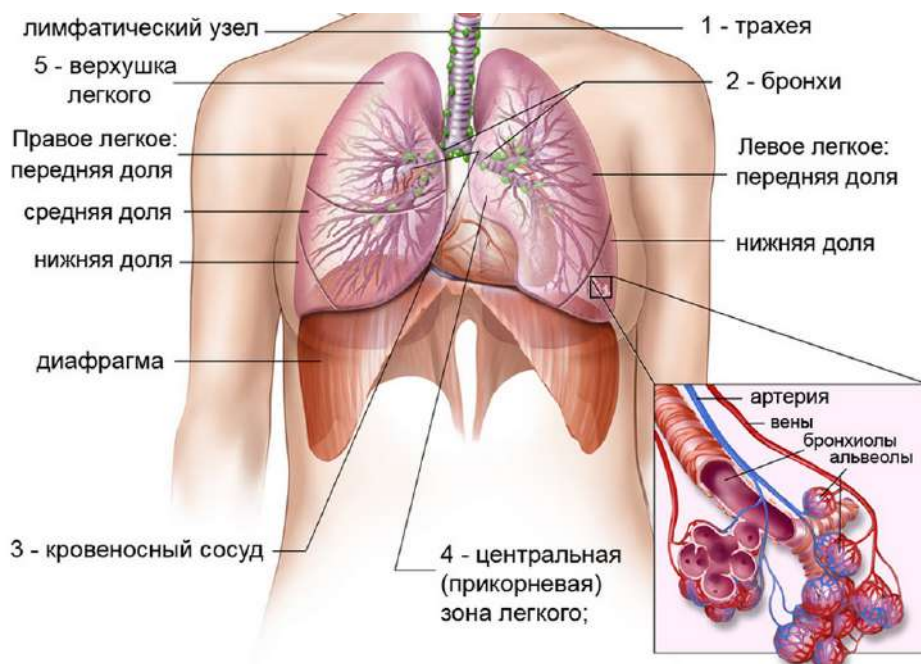


Рис. 8.7. Строение легких

Механизмы дыхательных движений

- **вдох** - увеличение объема грудной клетки: грудные мышцы сокращаются, стенки грудной клетки идут в сторону и вверх, сокращается диафрагма, становясь более плоской, увеличивается объем плевральной полости, в результате возникает зона разряжения, в которую устремляются молекулы из зоны более высокого давления - атмосферный воздух стремится заполнить пустоту в плевральной области, входит внутрь легких и раздувает их. Если принять атмосферное давление за нулевое, то при вдохе в плевральной области оно составит -9 мм ртутного столба.
- **выдох** – уменьшение объема грудной клетки: внутренние межреберные мышцы тянут ребра внутрь и вниз, диафрагма поднимается, легкие сжимаются стенками грудной клетки, воздух выдавливается из них наружу. Выдох у человека может происходить пассивно (за счет расслабления) и форсировано. Давление в плевральной области при выдохе составляет -4 мм ртутного столба.

Герметичность плевральной области очень важна, если при ранении или травме грудной клетки в нее войдет воздух, то давление в ней станет равным атмосферному, легкое спадется и не сможет растянуться. Повреждение стенки грудной клетки называется **пневмоторакс**. Врачи скорой помощи для восстановления работы легкого при пневмотораксе закрывают отверстие и откачивают воздух или жидкость из плевральной полости. Кроме того, между правым и левым легким находится перегородка (**средостение**), наличие которой обеспечивает герметичность каждого из легких, что позволяет им работать автономно.

Диафрагма - разделяющая грудную и брюшную полость трансформированная шейная мышца, которая в ходе эволюции опустилась под легкие (характерна только для млекопитающих). Различают брюшной тип дыхания (за счет диафрагмы) и грудной тип (за счет мышц грудной клетки). Например, развитие плода приводит к тому, что внутренние органы беременной женщины подпирают диафрагму, и остается только грудное дыхание. Дыхательная система человека, как и многие другие системы, сформирована с большим запасом, позволяющим в случае необходимости увеличить газообмен до 20 раз. Это происходит за счет учащения дыхания и увеличения его глубины. Речь - модуляция воздуха, идущего через голосовые связки, подразумевает тонкую работу дыхательных мышц, в том числе диафрагмы.

Измерение параметров дыхания

- **проба Вальсальвы** - определяет силу, с которой человек может выдохнуть; в среднем около 15 кПа, для сравнения - атмосферное давление в норме составляет 760 мм ртутного столба (101 кПа); усиленное выдыхание приводит к увеличению и даже к разрыву альвеол - профессиональному заболеванию музыкантов, играющих на ряде духовых инструментов;
- **проба Мюллера** - сила втягивания воздуха (вдох), в среднем около 10 кПа; при погружении в воду с помощью акваланга газовая смесь из его баллона с необходимым давлением поступает в легкие человека (с учетом давления воды и с помощью специального датчика). При погружении в воду с дыхательной трубкой (сноркинг) её длина не должна превышать 1 метр, на большей глубине вода давит на человека с силой 15 атмосфер, и мощности обеспечивающих вдох мышц не хватает для преодоления этого давления.

Дыхательные объемы

- **жизненная емкость легких** - максимальное количество воздуха, которое может выдохнуть человек после самого глубоко вдоха - 3,5 - 4,5 литров (сумма дыхательного и резервных объемов воздуха); у пловцов и гребцов до 7 л;
- **дыхательный объем** - количество воздуха, которое вдыхается и выдыхается при спокойном дыхании - около 0,5 л;
- **объем мертвого пространства** - количество воздуха, входящего в дыхательный объем воздухоносных путей - 0,15 л;
- **резервный объем вдоха** - количество воздуха, которое человек может вдохнуть после спокойного вдоха - 1,5 - 2,5 л;
- **резервный объем выдоха** - количество воздуха, которое человек может выдохнуть после спокойного выдоха - около 1,5 л;

Легкие перекачивают 7 литров свежего воздуха в минуту, при увеличении дыхания в два раза его количество увеличится до 17 литров.

Концентрация газов

	Кислород (%)	Углекислый газ	Азот и другие газы
Вдыхаемый воздух	20,94	0,03	79,03
Выдыхаемый воздух	16,1	4	79,9
Альвеолярный воздух	14	5,6	80,4

В составе выдыхаемого воздуха кислорода больше, а углекислого газа меньше, чем в альвеолярном воздухе, потому что при выдохе он смешивается с воздухом мертвого пространства (от вдоха), где находится 0,15 л атмосферного воздуха. Во время вдоха поступающий в легкие воздух смешивается с тем воздухом, который уже находится в дыхательной системе после выдоха, поэтому состав альвеолярного воздуха резко не меняется.

Дыхательный центр

Дыхательный центр находится в зоне продолговатого мозга и моста, где располагаются древние витальные центры головного мозга, управляющие множеством функций организма человека.

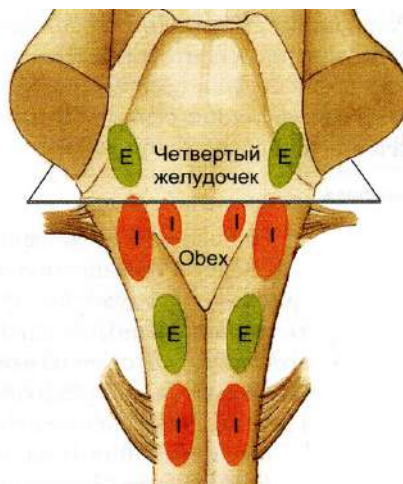


Рис. 8.8. Распределение респираторных и инспираторных нейронов внутри продолговатого мозга и моста (вид сверху)

Респираторных нейроны (вдох) обозначены красным цветом, **инспираторные** (выдох) - зеленым. Запускающую функцию выполняют респираторные центры вдоха: на границе продолговатого мозга и моста (прежде всего) находятся нейроны - водители дыхательного ритма, благодаря своим свойствам (особенности строения мембраны) они дают электрические импульсы приблизительно раз в 5 секунд, то есть 12 раз в минуту - ритм дыхания взрослого спокойно спящего человека. Импульсы распространяются по дыхательному центру, опускаются в спинной мозг, шейные сегменты которого управляют диафрагмой, грудные сегменты - межреберными мышцами, и происходит вдох. Водители ритма располагаются и в верхней части правого предсердия, но в сердце они являются видоизмененными мышечными клетками, отвечающими за

автоматию. Таким образом, сердце бьется самостоятельно, а каждый вдох и выдох человека запускается из головного мозга.

Вдох приводит к постепенному растяжению легких и стенок грудной клетки, растяжение активирует отростки чувствительных нервных клеток, передающих сигнал о степени растяжения в продолговатый мозг и мост. Сигнал тормозит инспираторные и включает респираторные нейроны - вдох сменяется выдохом, дыхательный цикл завершается. После выдоха возникает пауза до нового включения клеток-водителей ритма (пейсмекеров). На частоту дыхания и работу водителей ритма влияют сигналы от хеморецепторов и структур центральной нервной системы (ЦНС):

- **влияние хеморецепторов** - концентрация кислорода и углекислого газа в крови; если углекислого газа много (физическая нагрузка), а кислорода мало, то необходимо дышать чаще и глубже; при подъеме в горы углекислый газ не растет, а кислород падает, но организм человека умеет реагировать и на такой параметр;
- **влияние структур ЦНС** - эмоции, стресс и температура тела (гипоталамус), центры бодрствования, боль.

Возможен произвольный контроль дыхания человеком (задержка дыхания, его учащение, управление работой голосовых связок в процессе разговора), поскольку диафрагма и скелетные мышцы управляются мотонейронами (в отличие от стенок сосудов и сердца, где работает вегетативная нервная система). Задержать дыхание надолго затруднительно, потому что через 30 – 50 секунд концентрация углекислого газа в крови станет настолько высокой, что дыхательный центр начнет активно воздействовать на кору больших полушарий, в результате чего волевой контроль перестанет работать.

Лекция 9. Пищеварение, желудочно-кишечный тракт

Пищеварительная система человека

В ходе данной лекции раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" будут рассмотрены: пищеварение, работа и компоненты желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). **Пищеварение** - процессы переваривания пищи и всасывания питательных веществ, реализуемые с помощью желудочно-кишечного тракта при участии белков ферментов, разрушающих сложные компоненты пищи. Простые компоненты (вода, минеральные соли, витамины) всасываются без переваривания, полимерные молекулы необходимо переваривать, то есть разрушать до мономеров. Разнообразие пищи определяет разнообразие пищеварительных ферментов и отделов ЖКТ.

- **углеводы** - распадаются до моносахаридов; ферменты - амилаза, мальтаза
- **жиры** - до глицерина и жирных кислот; ферменты - липазы
- **белки** - до аминокислот; ферменты - протеазы
- **ДНК, РНК** - до нуклеотидов; ферменты - нуклеазы

Особенно сложны по составу аминокислоты: 20 разных аминокислот могут собираться в сильно различающиеся по свойствам белки, которые непросто переваривать. Ферментов протеазы достаточно много, некоторых из них работают в кислой среде, другие в слабощелочной.

Желудочно-кишечный тракт человека можно сравнить с конвейером для переваривания пищи, разделенным на несколько цехов, которые отделяются переходами (сфинктерами). Проходя по нему, пища последовательно подвергается разным химическим реакциям. Всего в работе ЖКТ участвует 7 - 8 метров "трубок" со стандартным трехслойным строением: внутренний эпителиальный слой, слой гладкомышечных волокон, оболочка из соединительной ткани.

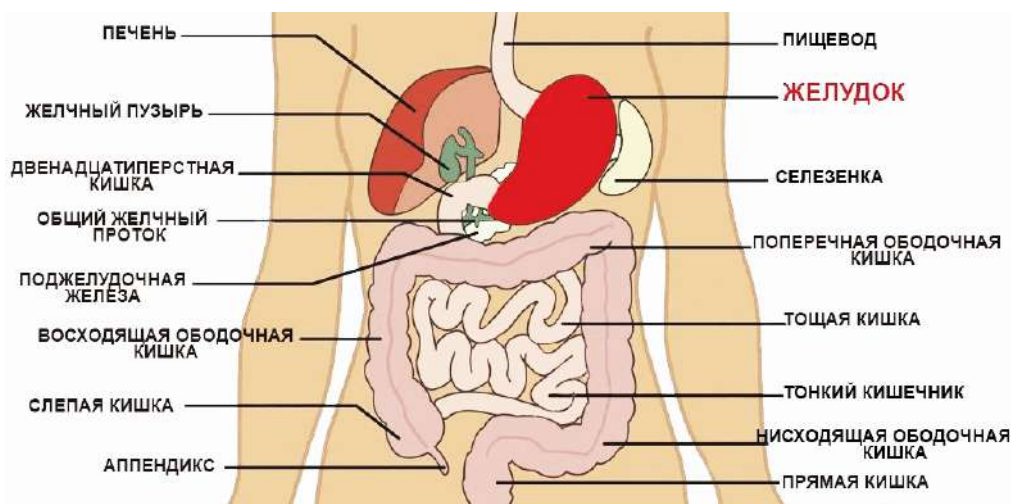


Рис. 9.1. Структуры пищеварительной системы

Структуры пищеварительной системы:

- глотка и пищевод;
- желудок и его сфинктеры;
- тонкий кишечник, в том числе тонкая кишка и двенадцатиперстная кишка;
- поджелудочная железа;
- печень и желчный пузырь;
- толстый кишечник, в том числе ободочная и прямая кишка, его сфинктеры.

Ротовая полость и носоглотка

В ротовой полости происходит жевание пищи и смачивание её слюной. Зубы являются аппаратом для измельчения пищи, у взрослого человека их 32. Принято говорить о зубах одного типа на половине одной челюсти: 2 резца, клык, 2 предкоренных и 3 коренных зуба, обладающих множественными корнями. До появления постоянных зубов у человека вырастает 20 молочных.

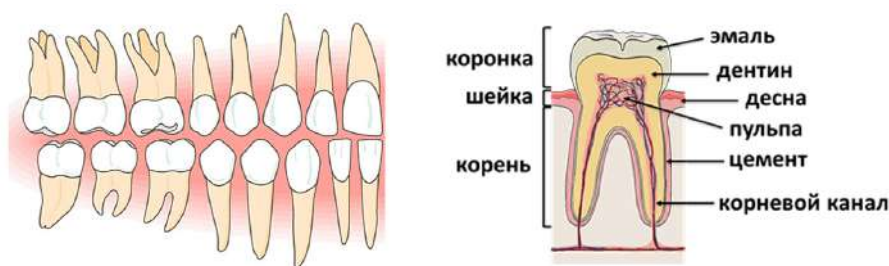


Рис. 9.2. Слева - типы зубов на половине верхней и нижней челюсти, справа – строение зуба

Строение зуба:

- **коронка** - верхняя часть зуба:
 - **эмаль** - похожая на костную, но сильно отличающаяся по составу межклеточного вещества плотная ткань, главное отличие - присутствие солей фтора, которое дает ей повышенную прочность и химическую устойчивость, обеспечивает белый цвет; эмаль - самая твердая ткань в организме человека, эффективное функционирование зуба в первую очередь обеспечивается её целостностью и здоровым состоянием;
 - **дентин** - составляет основную массу коронки зуба;
- **корень** - нижняя часть зуба, уходящая в челюсть, где находится полость - альвеола; полость внутри зуба - формирует каналы в корнях, она наполнена рыхлой соединительной тканью, которая называется пульпа. В её входят нервы и сосуды.

Жевание требует движения челюсти (у млекопитающих двигается только нижняя челюсть), которое осуществляется с помощью жевательных мышц.

- **Губы** - являются важным компонентом системы, они закрывают ротовую полость и делают её герметичной, что позволяет детенышу млекопитающего сосать материнское молоко.

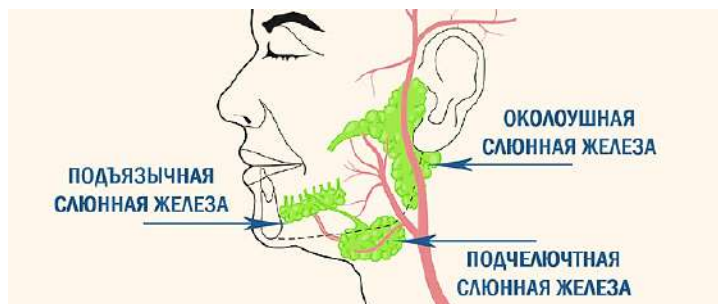


Рис. 9.3. Слюнные железы

- **Три пары слюнных желез** – подчелюстные, подъязычные и околоушные железы играют большую роль в переработке пищи в ротовой полости, они выделяют 1,5 - 2 литра слюны в сутки. Слюна смачивает пищу, помогая формировать скользкий и удобный для проглатывания комок. Основной компонент её состава - вода, также в него входят: формирующий слизь белок муцин, лизоцим - борьба с бактериями, фермент амилаза - разрушение крахмала до мальтозы (демер глюкозы), которая имеет сладковатый вкус, что можно почувствовать, если долго жевать крахмалистую пищу. Когда человек пережевывает пищу, работает парасимпатическая нервная система - часть вегетативной нервной системы, связанная с питанием и накоплением энергией. Иногда слюнными железами может управлять симпатическая система, например, когда съеденное имеет отвратительный вкус и его необходимо срочно выплюнуть. В этом случае симпатическая система запускает выделение большого количества очень жидкой слюны.
- **Язык** - мышечный орган, способствующий перемещению пищи при жевании и глотании, а также орган вкуса и осязания; движения языка точные и тонкие, он продвигает пищу под зубы, но сам при этом от них уворачивается.

Дыхание и глотание

Носоглотка

После того, как пища пережевана, она попадает на корень языка и в глотку, далее запускается глотательный рефлекс. Глотка является "перекрестком", где сходятся дыхательные пути и ЖКТ, при этом еду из ротовой полости необходимо направить именно в пищевод. Сначала для этого должен закрыться надгортанник, который при дыхании открыт. Обычно пищевод сжат мышечным кольцом (сфинктер) и открывается только тогда, когда идет глотание. В этот момент начинается сокращение языка и мышц глотки, открывается сфинктер - еда проталкивается в пищевод. Она движется по нему не под влиянием силы тяжести, а счет волнообразного сокращения стенок пищевода - **перистальтике**, которая является очень важным компонентом активности любой части ЖКТ.

Рефлексы

На уровне ротовой полости и глотки наблюдается ряд древних врожденных программ (рефлексов), реализуемых на уровне стволовых структур головного мозга (продолговатого мозга и моста). Они запускаются либо тактильными сигналами (прикосновение к корню языка, языку, области губ), либо вкусовыми сигналами, которые обрабатываются вкусовой системой. Рефлексы помогают питаться уже новорожденному:

- **сосательный рефлекс;**
- **рефлексы слюноотделения;**
- **рефлекс жевания и выплевывания пищи;**
- **глотательный рефлекс** - самый сложный, так как последовательно срабатывает большое количество мышц глотки (поперечно-полосатые - подлежат произвольному контролю) и пищевода (гладкие); таким образом, эстафету от мотонейронов перехватывает вегетативная нервная система.

Когда в космос отправляли первых космонавтов, то встал вопрос о том, как они будут глотать в невесомости. Оказалось, что человеку не нужна сила тяжести, чтобы еда и вода прошли по пищеводу, с этой задачей справляется перистальтика ЖКТ.

Пищевод - трубка длиной около 25 см, которая идет от глотки через грудную клетку, отверстие в диафрагме и впадает в вернюю часть желудка.

Базовые пищеварительные компоненты ЖКТ: желудок, поджелудочная железа, печень

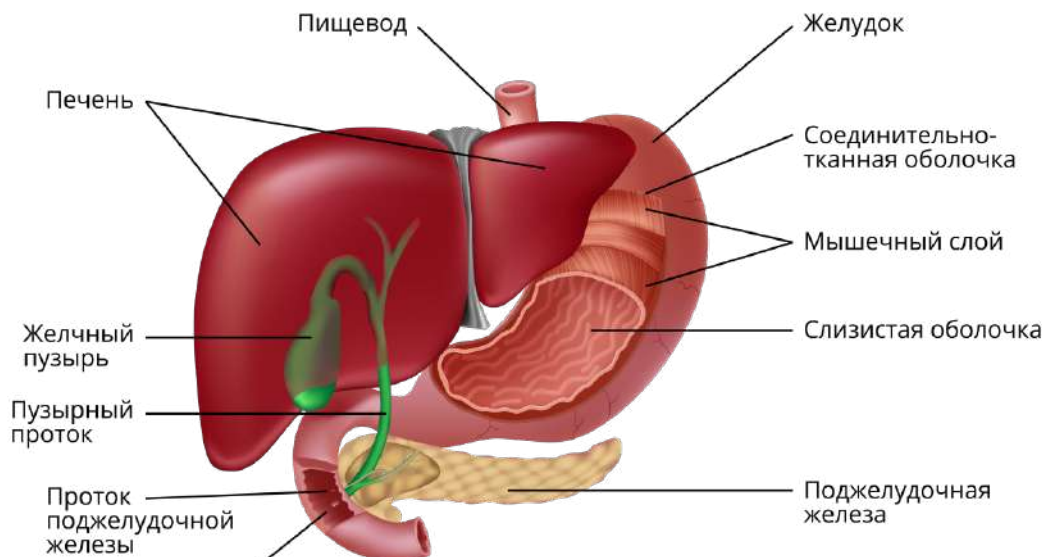


Рис. 9.4. Расположение пищеварительных органов ЖКТ

Взаимное расположение переваривающих пищу базовых компонентов ЖКТ: желудок - слева, под ним располагается поджелудочная железа, левее - селезенка, желчный пузырь находится за печенью.

Желудок

Желудок представляет собой мешок из гладкой мышечной ткани, основную его массу составляют слои гладкомышечных волокон: продольные, поперечные, косые. На месте впадения пищевода в желудок находится кардиальный (расположенный близко к сердцу) сфинктер, который открывается, когда до него доходит пища. Пилорический сфинктер находится на выходе из желудка. В незаполненном состоянии желудок сокращен до объема 0,5 - 1 л, поэтому в его стенках возникает много складок, которые расправляются в тот момент, когда желудок наполняется пищей (объем 3 - 4 л).

В желудке происходит первый из главных этапов переваривания - вброс большого количества пищеварительных ферментов и соляной кислоты, которая обеспечивает сильно кислую среду, активирующую работу пищеварительных ферментов. На дне желудка находятся гладкомышечные волокна, на поверхности - слизистая, которая формирует до 40 миллионов желудочных желез.

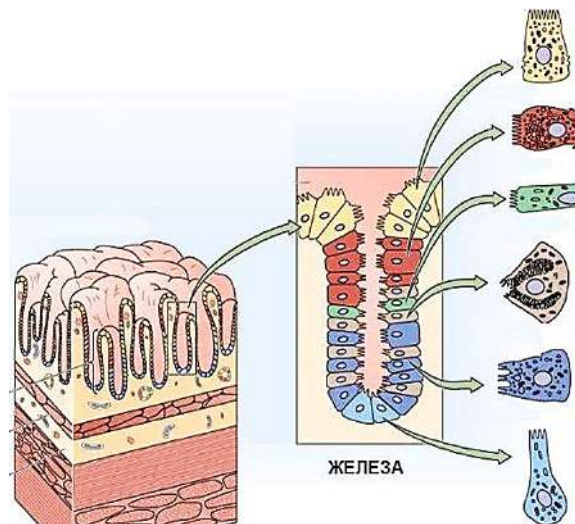


Рис. 9.5. Клетки желудочной железы

Желудочная железа - углубление в поверхности желудка, выстланное клетками разных типов, которые производят значимые компоненты:

1. **эпителиальные клетки** (желтые) - располагаются между желудочными железами;
2. **добавочные клетки** (красные) - выделяют защитную слизь, которая выступает на поверхность желудка и предохраняет её от самопереваривания; компоненты слизи: вода и муцин;
3. **делящиеся клетки** (зеленые) - способствуют возобновлению в случае повреждений;
4. **обкладочные клетки** (серые) - выделяют соляную кислоту (0,5%);
5. **главные клетки** (синие) - производят ферменты в неактивной форме (ферменты-предшественники), поскольку для ферментов не имеет значения, что переваривать - пищу или стенки ЖКТ; когда фермент-предшественник

пепсиноген попадает в полость желудка, то под влиянием соляной кислоты превращается в активный пищеварительный фермент пексин, переваривающий белки; кроме него в желудке работает ряд других протеаз, а также кислые липазы - ферменты, которые в кислой среде переваривают жиры;

6. **секреция гормонов** (голубые).

Повреждения стенки желудка называются гастрит, в тяжелых случаях образуется язва. Причиной их возникновения являются:

- **большое количество соляной кислоты, нехватка слизи, повреждающая пища** (избыточно острая или кислая);
- **стресс**, в том числе хронический - пищеварительные ферменты переваривают не только еду, но и стенки желудочно-кишечного тракта, который постоянно регенерирует. Для восстановления необходимо интенсивное кровоснабжение стенок ЖКТ, в том числе желудка. В результате хронического стресса идет перераспределение кровотока, симпатическая нервная система зажимает сосуды печени, селезенки и стенок ЖКТ, чтобы обеспечить интенсивную работу сердца и мозга. Если зажатие происходит слишком долго и часто, то питательных веществ и кислорода становится недостаточно, ухудшается регенерация ЖКТ, начинается воспаление в месте его повреждения, у человека возникают болевые ощущения. В итоге могут повредиться не только стенки желудка, но и сосуды, в результате начнется кровотечение (язва).
- **бактерия *Helicobacter pylori*** - причина, которую исследователи долго изучали, так как данный вид бактерий способен жить в кислой среде желудка и питаться защитной слизью, повышая риск развития гастрита. Авторам открытия бактерии пришлось преодолеть серьезное сопротивление медиков и микробиологов, не верящих в возможность их существования в соляной кислоте. В итоге в 2005 году открытие было удостоено Нобелевской премии

Для лечения гастрита сначала определяют причину его возникновения: в случае положительных проб на *Helicobacter pylori* назначаются антибиотики, в иных случаях используются препараты, снижающие выделение соляной кислоты, а также синтетические аналоги защитной слизи.

Поджелудочная железа

Поджелудочная железа по форме похожа на язык, длина - 12 - 15 см, состоит из мелких долек. Клетки долек синтезируют пищеварительные ферменты, в сутки ими производится около 1,5 литров соков поджелудочной железы. По укрупняющимся протокам они собираются и попадают в 12-перстную кишку (основной проток впадает в сфинктер Одди), где активируются. Принцип активации ферментов именно в том месте, где происходит переваривание, работает во всем ЖКТ, особенно он важен для поджелудочной железы, выделяющей значительное количество ферментов. Если они активируются непосредственно в ней, то произойдет самопереваривание не только железы, но и значительной части организма, поэтому травма поджелудочной железы (острый панкреатит) очень опасна. Активирующий фермент энтеропептидаза

превращает трипсиноген в трипсин, который активирует сам себя и другие ферменты поджелудочной железы, и в полости тонкого кишечника начинается интенсивное пищеварение.

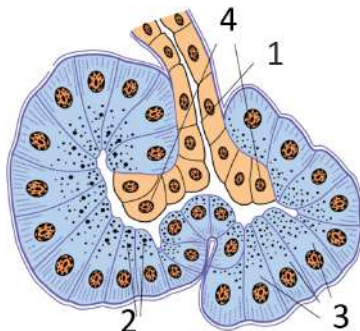


Рис. 9.6. Строение ацинуса поджелудочной железы: 1 - вставочный проток, 2 - гранулы с ферментами, 3 - ацинозные клетки, 4 - центроацинозные клетки

Внутри долек поджелудочной железы находится большое количество скоплений клеток **ацинусов** (лат. - "гроздь винограда"). Также говорят об ацинусах легких, слюнной и молочной желез. Эпителиальные железистые клетки ацинуса плотно прилегают друг к другу и выделяют в проток неактивные формы ферментов. Сигнал к началу этого процесса путем выделения при поступлении пищи из желудка гормона секретин подает 12-перстная кишка.

В состав сока поджелудочной железы входят следующие ферменты:

- трипсин;
- химотрипсин;
- более 10 протеаз - их обилие обусловлено разнообразием уникальной первичной структуры белков. Разные аминокислоты, соединяясь в комбинации, создают проблемы для переваривания, поскольку часть из них переваривается с трудом. Сложнее всего - белки, содержащие пролин, для них существует специальная группа ферментов (пептидазы).
- амилаза - расщепляет крахмал до мальтозы (демер глюкозы);
- мальтаза - разделяет мальтозу на отдельные молекулы глюкозы;
- сахаразы - разделяют сахарозу на фруктозу и глюкозу;
- липазы и нуклеазы - работают в слабощелочной среде.

В момент перехода пищи из желудка в кишечник кислая среда меняется на слабо щелочную за счет секреции 12-перстной кишкой слизи, которая нейтрализует соляную кислоту, также на её нейтрализацию работает желчь. Заболевания поджелудочной железы: панкреатит и диабет (эндокринное заболевание).

Печень

Печень - самая крупная железа в организме человека (вес 1,5 - 2 кг.), состоит из левой доли (примыкает к желудку) и большой правой доли. Печень выделяет 0,5 - 1 л желчи в сутки, кроме того обладает множеством других функций:

- **выработка белков** плазмы крови (альбумин - помогает поддерживать осмотическое давление); белков свертывания (фибриноген, протромбин), связанные с иммунной системой белки (белки комплемента);
- **хранение запаса** гликогена (полисахарид), микроэлементов (железо, медь) и жирорастворимых витаминов;
- **очистка крови** - оттекающая от ЖКТ кровь проходит через печень, где отходы и "непонятные" молекулы сбрасываются в желчь;
- **разрушение "постаревших" эритроцитов**;
- **синтез гормонов**.

Дольки печени являются её структурной единицей, они имеют шестигранную форму. В центре дольки находится вена (1 на рис. 9.7.), которая впадает в почечную вену, на периферии - воротная вена (2) и печеночная артерия (3), кровь из них в дольке смешивается и очищается клетками гепатоцитами (8), которые забирают из неё подозрительные вещества и сбрасывают их в желчные каналцы (4), откуда желчь попадает в желчный проток, а потом в желчный пузырь. Клетки Купфера (7) борются с инфекцией или участвуют в уничтожении постаревших эритроцитов

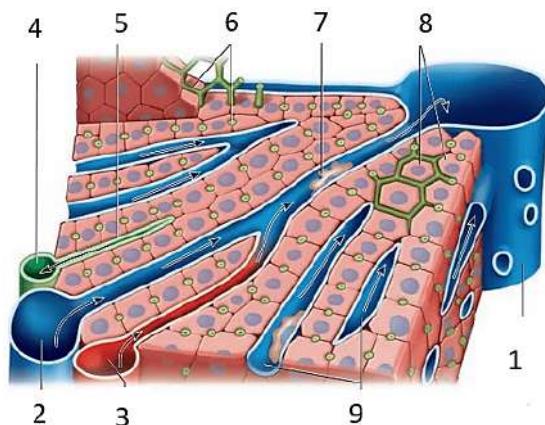


Рис. 9.7. Строение дольки печени: 1 - центральная вена, 2 - воротная вена, 3 - печеночная артерия, 4 - желчный проток, 5, 6 - желчные каналцы, 7 - клетки Купфера (макрофаги печени), 8 - гепатоциты, 9 - синусоид

Печень является очень жизнеспособным органом, который хорошо регенерирует. В случае её токсического или вирусного повреждения возникают гепатиты, когда клетки печени начинают превращаться в жировую ткань - диагностируют цирроз.

Желчь

Желчь - жидкость желтого цвета, её состав: соли жирных кислот (основной компонент), вода, минеральные соли, желчные пигменты. Желчные кислоты получают из холестерина, их задача - **эмульгация жиров**. Когда человек ест жирную пищу, жир попадает в ЖКТ в виде довольно крупных капель. За время прохождения по желудочно-кишечному тракту липазы успевают растворить только поверхности капель

жира. Предки человека жили в условиях постоянного дефицита калорий, поэтому эволюция работала над тем, чтобы переваривался максимум съеденного. Чтобы переварить крупные капли жира, их необходимо сделать мельче. При увеличении текучести жира более подвижная капля под влиянием перистальтики разбивается на мелкие капли (эмульгация), которые липазы могут расщепить целиком. Главным желчным пигментом является билирубин, который образуется при распаде гема и создает её коричневый цвет. Важно удалять его из организма, потому что он проявляет свои токсические свойства.

Желчь нейтрализует характерную для химуса кислотную среду, то есть соляную кислоту, повышает активность пищеварительных ферментов. Печень выделяет её постоянно: небольшая часть попадает в 12-перстную кишку, основное количество скапливается в желчном пузыре. Когда пища попадает в 12-перстную кишку, она выделяет не только секретин, который влияет на поджелудочную железу, но и гормон холецистокинин, запускающий сокращение желчного пузыря, в результате которого желчь мощными струями выходит в 12-перстную кишку. Важно, чтобы в желчном пузыре при этом не было закрывающих его протоки камней - большой проблемы, с которой сталкивается значительный процент людей пожилого возраста. Камни формируются в результате воспалительных процессов или выпадения в осадок солей желчных кислот при высокой концентрации желчи, которая возникает в результате нерегулярного питания.

Тонкий и толстый кишечник

Тонкий кишечник

В зависимости от своего состава пища находится в желудке от трех до десяти часов (чем она жирнее, тем дольше). Постепенно за счет перистальтики она измельчается и превращается в химус (жидкая кашица), который способен пройти через пилорический клапан и попасть в двенадцатиперстную кишку - первый отдел тонкого кишечника. Прохождение пищи по тонкому кишечнику длится 15 - 20 часов, в первой части идет интенсивное переваривание, во второй - всасывание питательных веществ.

- **двенадцатиперстная кишка** - длина - 25 - 30 см, через сфинктер Одди в неё совместно впадают протоки поджелудочной железы и печени. Сфинктер регулирует ток желчи и основной ток ферментов поджелудочной железы. 12-перстная кишка также производит много пищеварительных ферментов.
- **тощая кишка** - длина 2 м
- **подвздошная кишка** - длина 3 м

В тонком кишечнике происходит завершение переваривания пищи, он обладает большим количеством складок с ворсинками, на поверхности которых находятся клетки с волнистой мембраной, образующей микроворсинки. В итоге возникает работающая на всасывание питательных веществ поверхность около 250 м². Для движения по тонкому кишечнику работают мышечные волокна: внутри - кольцевые,

снаружи - продольные. Перистальтика управляется парасимпатической системой и метасимпатической системой - собственным нервным сплетением кишечника.

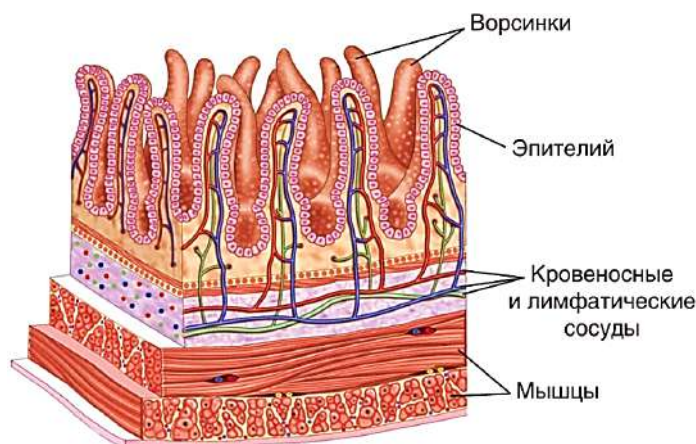


Рис. 9.8. Строение ворсинок тонкого кишечника

Высота ворсинки стенки тонкого кишечника около 1 мм, толщина - 0,1 - 0,2 мм, количество - 20 - 40 на мм². Поверхность ворсинки - однослойный эпителий, в котором находятся синтезирующие защитную слизь клетки (бокаловидные) и энтероциты - клетки, которые занимаются всасыванием питательных веществ и выделением пищеварительных ферментов (именно у них присутствуют микроворсинки). Внутри ворсинки входят как кровеносные сосуды (артериолы и венулы), соединенные капиллярами, так и лимфатические сосуды. Такое строение обеспечивает разделение переноса питательных веществ: лимфатические капилляры переносят жиры и жирорастворимые витамины, все остальное переносит кровь - углеводы, аминокислоты, водорастворимые витамины, соли. Клетки кишечного эпителия постоянно возобновляются, поэтому между ворсинками находятся зоны, где они делятся. За счет этого идет сдвиг эпителия к вершине ворсинки, откуда они слущиваются. В этот момент клетки разрушаются, выделяя дополнительные пищеварительные ферменты. Таким образом, происходит круговорот кишечного эпителия. Реснитчатый эпителий в дыхательных путях обладает активно двигающимися жгутиками, микроворсинки являются не двигающимися выростами, создающими большую поверхность для всасывания питательных веществ и для мощного взаимодействия ферментов с пищей, поэтому говорят о пристеночном пищеварении, как о дополнительном и очень интенсивном процессе.

Всасывание питательных веществ - весьма сложный и энергозатратный процесс активного транспорта. На поверхности клетки находятся специальные транспортные белки, которые захватывают, например, аминокислоты и из просвета кишечника переносят их в цитоплазму. С внутренней стороны мембраны (обращенной к капилляру) располагаются другие транспортные белки, переносящие аминокислоту в капилляр. Для разных аминокислот, моносахаридов, витаминов и микроэлементов существуют свои транспортные системы, поэтому белков-насосов на поверхности энтероцитов очень много. Таким образом, пищеварение - это процесс, который не только в итоге дает энергию, но и требует определенного вклада.

Толстый кишечник

Толстый кишечник имеет длину 1,5 - 2 метра: в начале находится **слепая кишка** и **аппендикс**, **ободочная кишка** - основной компонент, в конце - **прямая кишка**. В толстом кишечнике происходит всасывание воды, кроме того, он обладает микрофлорой, которая состоит сотен видов бактерий (масса 1 - 3 кг) и осуществляет ряд задач:

- **завершающее разложение остатков** непереваренной пищи, то есть поставка дополнительных питательных веществ и витаминов (К, В);
- **оказание помощи в формировании иммунитета** - части бактерий микрофлоры способны работать как естественная вакцина, что позволяет организму человека "настроиться" на бактериальные инфекции;
- **защита** - отобранные в ходе эволюции микробы не дают патогенной микрофлоре "поселиться" в кишечнике.

Видов бактерий в микрофлоре кишечника больше, чем клеток в организме человека, бактериальных ДНК больше, чем ДНК. Кишечная микрофлора является планетарным явлением, поскольку без неё животные не могут существовать, начиная от самых простых видов и заканчивая человеком. С ослаблением микрофлоры возникает масса проблем с обменом веществ организма человека, происходит нарушение функционирования иммунной системы и пр. В тот момент, когда человек принимает антибиотики, он наносит серьезный удар по кишечной микрофлоре, после которого ей довольно сложно восстановиться.

В месте впадения тонкого кишечника в толстый кишечник находится сфинктер. В ободочной кишке выделяют: **восходящую, поперечную, нисходящую и сигмовидную части**. На входе и выходе из прямой кишки также находятся сфинктеры. Второй сфинктер произвольно контролируется, ребенок учится этому процессу первые два года жизни.

Контроль работы ЖКТ осуществляют:

- **симпатическая нервная система** - управляет органами во время стресса, в это время работа ЖКТ тормозится, все его отделы работают слабее: снижается секреция, перистальтика, сужаются кровеносные сосуды и пр.;
- **парасимпатическая нервная система** - активирует отделы и функции ЖКТ: выделяется большее количество желудочного и кишечного соков, активизируются перистальтика и всасывание;
- **метасимпатическая нервная система** - собственное нервное сплетение в стенках ЖКТ очень велико, оно обладает всеми основными группами нейронов (сенсорные, промежуточные, двигательные, эфферентные); когда пища попадает во второй метр тонкого кишечника, то растяжение в этой зоне запускает перистальтику данной и следующей области, то есть метасимпатическая система эффективно передает сигналы внутри ЖКТ, центральная нервная система в эти процессы не вмешивается.

- **гормональные сигналы** - гормоны секретин и холецистокинин выделяются 12-перстной кишкой и активируют поджелудочную железу и желчный пузырь, а также тормозят секрецию желудка;
- **гуморальные факторы** - когда начинают всасываться моносахариды или аминокислоты, меняется функционирование ЖКТ, расширяются сосуды в его стенках.

Лекция 10. Питание и обмен веществ

Пища и её компоненты

Предыдущая лекция была посвящена пищеварительной системе, в ходе данной лекции будут рассмотрены питание и обмен веществ в организме человека.

Функции пищи:

- **источник энергии** - процессы еды, переваривания и всасывания компонентов пищи осуществляются для того, чтобы дальше, например, окислить углеводы и получить энергию для сокращения мышц, работы мозга и других органов;
- **источник строительных материалов** - тело человека состоит из тех молекул, который он когда-то съел;
- **источник положительных эмоций** - хорошая и своевременная еда приносит нервной системе человека положительные эмоции, поэтому праздники сопровождаются приемом пищи.

Когда человек ест, поток положительных эмоций формирует основу для процессов обучения. Очень значимый блок психической деятельности - приобретение навыков получения пищи. Человек учится находить еду в окружающей среде, что является важным компонентом его адаптации к окружающему миру.

Значимую роль в пищевом поведении играет **вкусовая система**, с которой начинается попадание пищи в организм. Она уже на уровне ротовой полости начинает анализировать химический состав еды: жиры, белки и углеводы создают основной вкусовой поток. Сладкое, белковое, жирное, соленый и кислый вкус - результат работы химического анализатора. Вкусовая система человека не анализирует микрокомпоненты (микронутриенты) пищи, в основном она направлена на макрокомпоненты (макронутриенты), поскольку именно они решают глобальные задачи обеспечения организма энергией и строительными материалами. Предки человека существовали в режиме нехватки пищи, который определяет основную направленность на макронутриенты, проблемы с микроэлементами - результат развития цивилизации: однообразное, а порой и недостаточное питание.

Составляющие пищи:

- **макронутриенты:** белки, жиры, углеводы, макроэлементы, вода; ежедневная потребность в макронутриентах - доли граммов, несколько граммов, десятки, а иногда сотни граммов; вода - до 3 литров в день (в зависимости от климата и физической активности человека);
- **микронутриенты:** витамины, микроэлементы; ежедневная потребность - несколько миллиграммов, десятки миллиграммов (витамин С), порой и значительно меньшее количество.

Органические вещества разделяют на:

- **заменимые компоненты питания** - компоненты, которые организм человека создает самостоятельно;
- **незаменимые компоненты питания** - компоненты, которые организм не способен синтезировать и получает с пищей, например, витамины;

Неорганические макронутриенты

Первое место среди неорганических макронутриентов занимает вода (H_2O), которая составляет 65 - 70% массы тела человека и выполняет множество функций, в том числе участвует в биохимических реакциях и является универсальным растворителем. Все в реакции в организме человека происходят в водном растворе, одна из них - растворение $NaCl$ в воде. Молекулы воды обладают свойствами диполей: водород - положительный заряд, кислород - отрицательный. Проникая внутрь кристалла соли, они разделяют его на ионы Na^+ и Cl^-

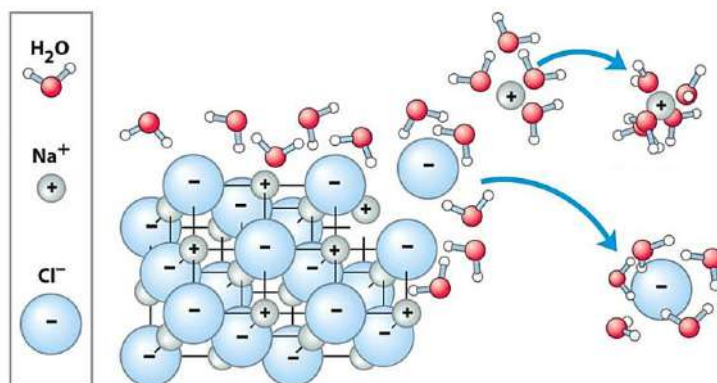


Рис. 10.1. Процесс растворения в воде $NaCl$ и образования ионов натрия и хлора

Минеральные соли в организме человека в большинстве случаев присутствуют в виде ионов (Mg^{2+} , $H_2PO_4^-$), одна из реализуемых ими функций - формирование электрических событий. В организме протекает множество электрических процессов: прежде всего, бегущие по отросткам нервных клеток сигналы и сигналы, бегущие по поверхности мышечных клеток и запускающие сокращения. Также ионы формируют осмотические свойства крови. $NaCl$ - самая важная соль для организма человека, данный вопрос рассматривался в лекции, посвященной крови, где отмечалось что физиологический раствор содержит 0,8 $NaCl$.

Ежедневная потребность в минеральных солях:

- **ионы калия, натрия и хлора** - 5-7 грамм
- **ионы кальция, фосфора и магния** - 0,5 - 1 грамм; кальций и фосфор присутствуют в организме либо в форме двухвалентных ионов (Ca^{2+} , P^{2+}), либо как фосфаты или карбонаты, то есть нерастворимые соли, например, в составе кости. Фосфор также важен для формирования костей, кроме того, он входит в состав органических молекул (фосфорная кислота, в том числе в составе нуклеотидов - ДНК и РНК).

Проблем с данными молекулами, как правило, не возникает. Кальция может не хватать: молодому и растущему организму (необходимо быстро наращивать скелет), беременной женщине (формируется скелет ребенка), кормящей матери (много кальция уходит в молоко). В этих случаях потребность в кальции может достигать 2 гр. в сутки, его количество можно повысить с помощью молочных продуктов - основных источников кальция. Соли кальция, которые человек съел, растворяются в соляной кислоте желудка - возникает хлорид кальция, то есть кальций переходит в ионную форму Ca^{2+} , после чего всасывается в тонком кишечнике. Таким образом, одна из функций соляной кислоты - растворение минеральных солей.

Неорганические макронутриенты

Углеводы - основной источник энергии для организма человека, они легче всего разрушаются, кроме того, выполняют структурную функцию, но она носит не очень выраженный характер. Главный углевод - **глюкоза ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)** - возникает в результате фотосинтеза, используется растениями для формирования запасов (крахмал) и строительства собственного тела (целлюлоза). Животные и люди забирают глюкозу у растений и используют как главный источник энергии. Потребность человека в глюкозе - 200 - 300 грамм в сутки: полисахариды (крахмал), дисахариды, моносахарид (глюкоза). С точки зрения питания наиболее естественно потреблять именно полисахариды, потому что крахмал в ходе пищеварения с помощью ферментов (амилаза и мальтаза) постепенно расщепляется до глюкозы. Этот процесс не позволяет возникнуть повышенной концентрации глюкозы в крови, поскольку она поступает небольшими порциями. Мощный скачок концентрации глюкозы не полезен для систем организма человека, в том числе и для мозга.

- **моносахарид** - глюкоза;
- **дисахариды** - глюкоза + фруктоза = сахароза, галактоза + глюкоза = лактоза, глюкоза + глюкоза = мальтоза;
- **полисахариды** - избыток попавшей в кровь глюкозы может превратиться в гликоген (животный крахмал), гликоген (запасающая функция), целлюлоза (пищевые волокна).

История нашего биологического вида явно связана с поеданием большого количества растительной пищи, содержащей много пищевых волокон, которые по причине отсутствия соответствующих ферментов и микрофлоры человеком не перевариваются, но полезны для перистальтики ЖКТ, а также абсорбируют вредные вещества.

Распределение глюкозы в организме человека

Человек съедает крахмал, он переваривается, в ЖКТ образуется глюкоза, которая всасывается в кровь. Оптимальная концентрация глюкозы в плазме крови составляет 0,1%, при таком показателе нервные клетки работают эффективно. Они не способны запасать глюкозу, поэтому постоянно берут её из кровотока. За концентрацией глюкозы в крови следит поджелудочная железа, основная масса её

клеток выделяет пищеварительные ферменты, а эндокринные островковые клетки выделяют гормоны **инсулин и глюкагон**. Если концентрация глюкозы превышает 0,1%, начинается выброс инсулина, который "разрешает" органам захватывать её и накапливать энергию, до этого момента приоритет потребления у мозга. Печень получает дополнительное разрешение запасать глюкозу в форме гликогена (200 - 300 граммов - достаточное количество на 3 суток), в таком же количестве гликоген запасают мышцы. В итоге концентрация глюкозы в плазме крови постепенно падает, и в том момент, когда она приближается к 0,1%, выделение инсулина прекращается, после чего её снова может забирать только мозг. Если в печени запасов слишком много, гликоген начинает превращаться в жир, который откладывается в жировой ткани.

Если глюкоза перестает поступать из желудочно-кишечного тракта, то её концентрация опускается ниже оптимального показателя. На это реагирует поджелудочная железа, которая начинает выделять глюкагон, который дает команду печени выбросить запасенную глюкозу в кровь, чтобы предотвратить "голодание" мозга. Начинается разрушение гликогена и выброс глюкозы в кровь. Понижение её концентрации влияет на центр голода в головном мозге. Когда в печени заканчивается гликоген, жировая ткань превращает липиды в глюкозоподобные молекулы и отпускает их в кровоток. Таким образом, существует быстрое "хранилище" энергии (печень) и глобальное медленное (жировая ткань).

Проблемы, связанные с употреблением углеводов

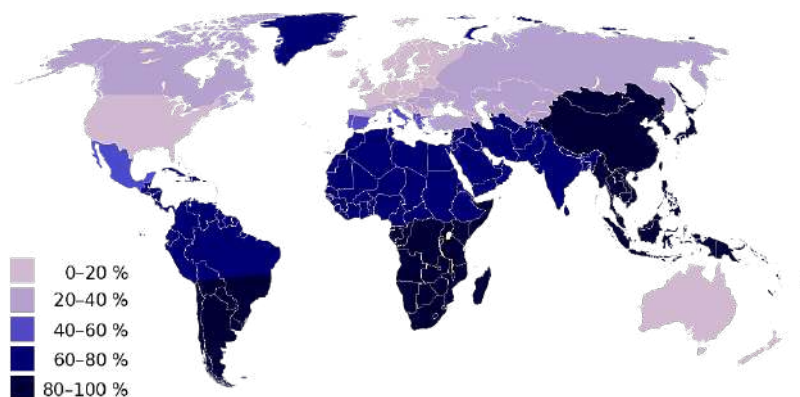


Рис. 10.2. Процент не усваивающих лактозу людей в регионах мира

- **диабет** - возникает в случае неэффективной работы поджелудочной железы;
- **непереносимость лактозы** - молочный сахар (лактоза) является демером (галактоза + глюкоза), который переваривается с помощью фермента лактаза, нарастающего в течение первых лет жизни человека; у части людей лактаза выключается; в европейской популяции у 3% это происходит в возрасте трех лет, у 10% - в возрасте 6 лет, у 15% - в 9 лет. 15% - характерный показатель для населения России. У человека с непереносимостью лактозы, она не переваривается, проходит сквозь тонкий кишечник, где не всасывается, поскольку является демером, попадает в толстый кишечник, где становится пищей для бактериальной флоры. Это приводит к дискомфорту в кишечнике и

диарее, чтобы они не возникли, человеку с непереносимостью лактозы стоит избегать употребления цельного молока, но можно есть кисломолочные продукты, в которых лактоза уже разрушена. Карта, отражающая частоту проявления непереносимости лактозы в зависимости от региона мира, соответствует развитию молочного животноводства, которое происходило в течение последних 10 тыс. лет эволюции человечества. В тех странах, где животноводство не развивалось (Китай), непереносимость лактозы в популяции очень высока, в странах, где оно было значимо - наименьший процент людей, с возрастом теряющих лактазу. Исходно непереносимость была тотальной, поскольку взрослые млекопитающие молоком не питаются. Сохранение лактазы у взрослого человека является подтверждением того, что люди продолжают эволюционировать, а встречаемость разных аллелей одного и того же гена меняется.

Органические макронутриенты

Жиры (липиды): "жир" - узкое понятие, "липид" - широкое, всякий жир - это липид, но не всякий липид является жиром. Жиром называют молекулу, у которой есть глицериновая "голова", к которой присоединены три углеводородных "хвоста". С точки зрения питания - это важная группа молекул, в отличие от углеводов жир является источником не только энергии (животные жиры), но и строительным материалом (растительные жиры). Из двойного слоя липидов состоят биологические мембраны (поверхностные клеточные, внутриклеточные). Фосфолипиды состоят из глицерина, двух углеводородных хвостов и фосфорной кислоты.

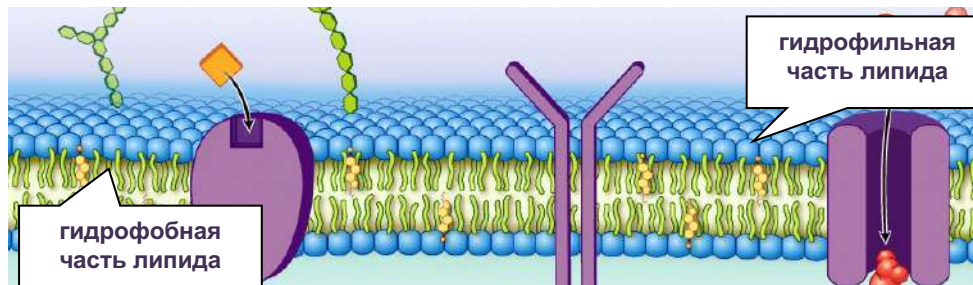


Рис. 10.3. Структура мембраны

В водном растворе жиры ведут себя очень характерно: глицерин (гидрофильная часть) поворачивается в сторону молекул H_2O , хвосты жирных кислот являются гидрофобными, они "уворачиваются" от молекул жира, но контактируют друг с другом. Таким образом возникают двухслойные пленки, которые являются основой всех биологических мембран. Основным свойством мембраны является эластичность, поскольку, например, при сгибании руки деформируется значительное количество клеток, множество мембран натягивается и сокращается, но они не должны порваться. Человек употребляет в пищу растительные и животные жиры. Внутри растительных жиров находится большое количество молекул с несколькими двойными связями в углеводородном "хвосте", которые обеспечивают им большую подвижность и уменьшают количество атомов водорода, поэтому для построения мембран

используются именно они. Такие молекулы называются **ненасыщенные жирные кислоты**, если связей несколько - полиненасыщенные жирные кислоты. Самый дальний углерод в них называют омега, углерод в третьем положении - омега-3 жирная кислота, в шестом - омега-6 жирная кислота. Именно такие кислоты организм человека не может производить самостоятельно, то есть они являются незаменимым компонентом питания. Подтверждением того, что растительный жир является более подвижным, чем животный, является твердость сливочного масла в холодильнике и жидкость подсолнечного. Рыбные липиды похожи на растительные, поскольку рыбы являются хладнокровными, так как треске в Ледовитом океане при температуре -2°C важно сохранять подвижность. Поэтому арктическая рыба содержит наибольшее количество незаменимых жирных кислот и является полезным продуктом питания. Суточная потребность человека в жирах - 60 - 100 грамм (в зависимости от физической нагрузки и активности обмена веществ), желательно, чтобы не менее половины из них составляли жиры растительного происхождения. При их нехватке первыми страдают те структуры организма, где постоянно делятся клетки: красный костный мозг, кожа, слизистые. Отметим, что косметические средства включают в состав именно растительные жиры.

Холестерин относится к жироподобным молекулам. Долгое время считалось, что пищевой холестерин особенно вреден, но сейчас учеными определено, что только 20% холестерина поступают с пищей, 80% вырабатывается организмом человека.

- **полезные функции** - из холестерина синтезируются желчные кислоты, ряд гормонов, включая половые; он входит в состав мембран и делает их более жесткими;
- **вредные функции** - когда холестерин неудачно связывается с белками, то возникают липопротеины низкой плотности, которые обладают способностью откладываться в тех местах стенок сосудов, где уже идет воспалительный процесс, из-за чего возникают холестериновые бляшки. При этом фагоциты начинают захватывать холестерин и формируют в цитоплазме множество пузырьков с жирами, что приводит к жировому перерождению стенки сосудов.

Белки

Наиболее сложную структуру из макрокомпонентов питания имеют **белки** - крупные полимерные молекулы, состоящие из более мелких молекул - **аминокислот**. Каждый белок - это 20 аминокислот, соединенных в уникальном порядке, средняя длина молекулы около 500 - 700 аминокислот, некоторые состоят из 2 тыс. Первичная структура каждого белка кодируется геном, 20 тысячам белков в организме человека соответствуют 20 тысяч генов. Белки характеризуются значительным разнообразием функций: ферменты, двигательные, транспортные, защитные (антитела), гормоны. Нарушение первичной структуры любого белка может иметь серьезные последствия, привести к ухудшению здоровья и заболеваниям. Белки в организме человека строятся из аминокислот, полученных с белками пищи. Когда пищевой белок попадает в организм, то с помощью протеаз (пепсина, трипсина и др.) разрушается до

аминокислот, они всасываются в кровь и поступают к клеткам, которые с помощью рибосом синтезируют те белки, которые им необходимы. Таким образом, "готовые" фрагменты белков не используются. В норме переваривание должно идти до отдельных аминокислот, на прошедший фрагмент иммунная система реагирует как на чужеродный объект (антиген), что является предпосылкой к формированию пищевой аллергии.

20 типов аминокислот характеризуются:

- **взаимным сходством** - необходимо для сборки белковой молекулы; у каждой аминокислоты есть общая часть - альфа-углерод, к которому присоединена кислотная группа и аминогруппа, уникальная часть - радикал;
- **индивидуальными свойствами** - дают в итоге уникальные свойства белка.

Проблемы обмена аминокислот

20 аминокислот могут причудливо трансформироваться, превращаться в другие молекулы, порой друг в друга. При этом возникает ряд проблем: от легких отклонений до тяжелых патологий (около 100 видов), которые регистрируются примерно у одного из 500 детей. В случае неправильной работы ферментов при обмене аминокислот возникают токсические продукты, проявляются ферментопатии, как правило, врожденные заболевания. Наиболее опасна и распространена фенилкетонурия - рецессивная генная мутация, возникающая у одного ребенка из 6 тыс. Причиной является нарушение обмена фенилаланина, который может превращаться в тиразин, в итоге возникают токсические продукты, что критично для маленького ребенка: страдает развитие мозга, происходит задержка психического развития, судороги, дерматиты. Лечение предполагает соблюдение диеты с минимальным количеством фенилаланина до возраста 10 лет. Из пищи ребенка максимально исключаются белки, вместо которых он получает смесь из 19 аминокислот. Когда ребенок вырастет, токсические продукты обмена перестают проходить в мозг, который защищает гематоэнцефалический барьер. Если женщина с фенилкетонурией забеременела, ей необходимо опять начать соблюдать диету, потому что токсические продукты обмена фенилаланина могут нарушить развитие мозга эмбриона.

Таблица аминокислот оказывает, что чаще всего в усредненном белке встречаются две похожие молекулы - глутаминовая кислота и глутамин, самой редко встречаемой аминокислотой является триптофан.

- **заменимые аминокислоты** (выделены светлым цветом) - организм может создавать их из других аминокислот;
- **незаменимые аминокислоты** - восемь аминокислот (цветом не выделены), которые человек должен получать с пищей;
- **промежуточные категории аминокислот**: аргинин и гистидин - условно незаменимые до конца первого года жизни ребенка, фенилаланин и цистеин могут синтезироваться, но только из других незаменимых аминокислот.

20 типов аминокислот с указанием встречаемости в усредненном белке

(в % на 100 грамм)		
глутаминовая кислота и глутамин - 20 [%]	валин - 5	серин - 4
аспарагиновая кислота и аспарагин - 9	изолейцин - 5	фенилаланин - 3.5
аргинин - 8	тирозин - 4.5	цистеин - 3.5
пролин - 6	метионин - 4	треонин - 3.5
лейцин - 6	аланин - 4	гистидин - 3
лизин - 5	глицин - 4	триптофан - 3

Пищевая ценность белка определяется балансом аминокислот (особенно незаменимых). Большинство аминокислот в правильной пропорции встречаются в животных и растительных белках, наиболее дефицитны - лизин, триптофан и метионин (недостаточно в растительных белках). Человеку больше подходят животные белки, поскольку они имеют характерную для общего царства пропорцию аминокислот. Человечество для питания использует две основные группы растений - злаки и бобовые. Лизина достаточно у бобовых, но мало у злаков, метионина мало у бобовых, но достаточно у злаков, триптофана мало у каждой группы. Таким образом, растительные белки по пропорциям хуже, чем животные. Это не фатально, но желательно, чтобы половина пищевого белка в рационе питания человека имела животное происхождение (молоко, мясо, яйца, рыба). С этой точки зрения строгое вегетарианство является проблемой, потому что для набора необходимого количества незаменимых аминокислот его приверженцам необходимо потреблять белок в повышенном количестве (при оптимальном соотношении злаков и бобовых).

Содержание белков в разных видах продуктов				
на 100 грамм белка	оптимальное количество	животные белки	бобовые	злаки
лизиин	5 - 6 г	7 -10 г	5 - 6 г	3 - 3,5 г
триптофан	1,1 - 1,4 г	1,1 - 1,4 г	≤ 1 г	≤ 1 г
метионин	3 - 4 г	3,5 - 5 г	1,5 г	4 г

В организме человека происходит постоянный распад белков, поэтому потребность в нем в сутки в граммах на килограмм веса составляет:

- 0,7 г/кг в сутки - белковый минимум (без стресса и физической нагрузки)
- 1 г/кг в сутки - белковый оптимум
- 1,2 г/кг - с учетом дефицита ряда аминокислот: 60 - 100 грамм в сутки
- 1,5 г/кг - дети, пожилые люди
- до 2 г/кг - беременные, больные

Белок в организме человека не запасается, при его переизбытке аминокислоты окисляются и получается мочевина - достаточно токсичный отход азотистого обмена, который из кровотока удаляют почки, получающие таким образом существенную

дополнительную нагрузку. Также следует учитывать химическую нестабильность аминокислот, затруднения при переваривании белка, аллергенность его фрагментов.

Пищевая ценность конкретных групп белков:

1. **белки молока и яиц** - предназначены в качестве пищи самой природой, сбалансированные, легко перевариваются;
2. **рыбные и мясные белки** - актин и миозин (актиномиозиновые сокращающиеся комплексы), миоглобин (похожий на гемоглобин белок, характерен для мышц), но не коллаген (тяжело переваривается);
3. **белки бобовых** - перевариваются на 50 - 70% хуже, особенно если продукт не обработан, так как растения обладают целлюлозной клеточной стенкой, которую необходимо предварительно разрушить термическим или механическим способом; дефицит метионина;
4. **белки злаков** - перевариваются на 50 - 70% хуже; дефицит лизина, который по этой причине используется как пищевая добавка для обогащения хлеба в Индии и Мексике.

Термическая обработка пищи имеет большое значение: чем дольше варится, а особенно жарится продукт, тем большее количество аминокислот разрушается. Дополнительной обработкой продуктов являются виды сбраживания или сквашивания, а также дрожжи, которые за счет собственного обмена веществ добавляют в тесто незаменимые аминокислоты и витамины.

Неорганические и органические микронутриенты

Неорганические микронутриенты - неорганические молекулы (вода и часть солей - кальций, натрий, хлор) необходимы организму человека в большом количестве, часть - в незначительном.

Микронутриенты - микроэлементы:

- **железо (Fe^{2+})** - железа в организме человека так много, что оно приближается к понятию "макронутриент", повышенное количество объясняется тем, что организм его тщательно копит, надежно хранит, аккуратно разрушает гем и возвращает железо обратно в красный костный мозг. При этом его часть все равно теряется, потому что идет постоянный круговорот эритроцитов. Железо - самый востребованный микроэлемент, чтобы избежать анемии, человеку в сутки необходимо 10 - 20 мг.
- **хром, медь, цинк, молибден, ванадий, селен** - ионы, как правило, входящие в состав белков и вместе с ними выполняющие полезные функции, потребность - от сотых долей миллиграмма до одного миллиграмма в сутки;
- **фтор** - входит в состав эмали зубов;
- **йод** - входит в состав тироксинов (гормоны щитовидной железы).

Органические микронутриенты

Витамины - органические молекулы, обладающие различными функциями: гормоноподобные вещества, антиоксиданты, коферменты. Когда в начале XX века происходила "витаминовая лихорадка", а каждый исследователь жаждал открыть новый витамин, то их последовательно называли буквами алфавита, поскольку ещё не была известна молекула. Некоторых витаминов оказалось больше одного, поэтому появилась группа витаминов В группы (В₁, В₂, В₆, В₁₂). В разных странах для обозначения витаминов используются разные буквы, поэтому гораздо надежнее ориентироваться на название витамина, отражающее его химическое вещество. Идея о том, что кроме белков, жиров и углеводов в еде также находится что-то дополнительное и необходимое для человека, возникла в конце XIX века. В 1880 году русский врач **Николай Иванович Лунин** в диссертации "**О значении неорганических солей в питании животных**" отметил, что получающие относительно чистые белок, крахмал и жир экспериментальные животные болеют, и высказал предположение о важных, но ещё не открытых компонентах пищи. В 1992 году польский ученый **Казимир Функ** выпустил книгу "Витамины" (от лат. *vita* "жизнь" + амин), термин прижился, хотя не все витамины содержат аминокгруппу.

Жирорастворимые витамины - переносятся лимфой и могут накапливаться в печени:

Витамин А - Ретинол, название связано с функционированием сетчатки глаза (ретины), потребность 1 - 3 мг

- **физиологическое действие:** влияет на зрение, рост и развитие, входит в состав зрительных пигментов (родопсин, йодопсин), необходим для функционирования мембран клеток, поэтому его содержат косметические продукты, является антиоксидантом - ловит слишком активные молекулы кислорода, принимает на себя и не позволяет им повреждать другие биологически важные молекулы;
дефицит: нарушение сумеречного зрения (куриная слепота), повреждение роговицы глаз, сухость эпителия, ороговение;
- **источники:** животные жиры, мясо, печень, яйца, молоко; источники каротина, из которого образуется витамин А - морковь, абрикосы.

Витамин D - Кальциферол, потребность 0,002 - 0,005 мг

- **физиологическое действие:** регулирует обмен кальция и фосфора, необходим для всасывания кальция в кишечнике и откладывания его в костях, выполняет гормоноподобную функцию, необходим для заживления травм (переломы);
дефицит: нарушение строения скелета в детском возрасте (рахит);
- **источники:** яичный желток, печень, рыбий жир; образуется в коже под действием ультрафиолетовых лучей.

Витамин Е - Токоферол, название от греч. "токос" - роды, потребность 10 - 15 мг

- **физиологическое действие:** обладает противовоокислительным действием на внутриклеточные липиды, является антиоксидантом, защищает и омолаживает

мембраны клеток, так как в ходе ряда реакций способен вернуть двойные связи ненасыщенным жирным кислотам; **дефицит:** дистрофия скелетных мышц, ослабление половой функции, нарушение течение беременности;

- **источники:** растительное масло, салат.

Витамин К - Филлохинон, потребность 0,2 - 0,3 мг

- **физиологическое действие:** помогает модифицировать молекулы тромбопластина и протромбина, что позволяет им участвовать в каскадных реакциях, связанных с образованием тромба; **дефицит:** возможно нарушение свертываемости крови;
- **источники:** шпинат, салат, капуста, морковь, томаты; синтезируется микрофлорой кишечника, регулярный прием антибиотиков может нарушить его поступление в организм, что отразится на нарушении свертываемости крови.

Водорастворимые витамины - переносятся кровью, всасываются в нее, не накапливаться. Основная группа - витамины группы В - коферменты, помогающие ферментам управлять различными реакциями в организме человека:

Витамин В₁ - Тиамин, потребность 2 - 3 мг

- **физиологическое действие:** участвует в распаде белков, жиров, углеводов, в функции желудка, сердца; **дефицит:** накопление недоокисленных фрагментов глюкозы, кислот, кетонов, альдегидов, что приводит к отравлению и развитию полиневрита (бери-бери), поражению нервной системы;
- **источники:** поверхностные слои зерен (отруби), крупы, молочные продукты, яйца, фрукты.

Витамин В₂ - Рибофлавин, потребность 2 - 3 мг

- **физиологическое действие:** участвует в высвобождении энергии из белков и жиров, помогает ферментам, в том числе в деятельности митохондрий; **дефицит:** хейлит - воспаление слизистой ротовой полости;
- **источники:** бобовые, гречневая крупа, молоко, яйца, мясо, печень.

Витамин В₃ - РР₁ Никотиновая кислота, потребность 15 - 25 мг

- **физиологическое действие:** участвует в клеточном дыхании, нормализует функции желудочно-кишечного тракта, используется коферментами НАД; **дефицит:** развивается пеллагра (воспаление кожи), сыпь;
- **источники:** дрожжи, отруби, пшеница, рис, ячмень, арахис.

Витамин В₅ - Пантотеновая кислота, потребность 5 - 10 мг

- **физиологическое действие:** необходим для синтеза кофермента А, принимающего участие в катаболизме многих карбоновых кислот; **дефицит:** нарушение нервно-мышечной координации, утомляемость, вялость, сонливость, апатичность;

- **источники:** все пищевые продукты как животного, так и растительного происхождения.

Витамин В₆ - Пиридоксин, потребность 1,5 - 3 мг

- **физиологическое действие:** является важнейшим коферментом в метаболизме аминокислот; **дефицит:** неврологические нарушения (депрессия, раздражительность);
- **источники:** горох, дрожжи, картофель, молоко, яйца, рыба, мясо.

Витамин В₉ - Фолиевая кислота, потребность 0,2 - 0,3 мг

- **физиологическое действие:** участвует в синтезе липидов и аминокислот, важен при беременности для нормального формирования нервной системы плода; **дефицит:** анемия;
- **источники:** зеленые овощи, зелень, печень, рыба.

Витамин В₁₂ - Цианкобаламин, уникальный витамин, содержащий в составе кобальт, потребность 2 - 3 мкг

- **физиологическое действие:** участвует в кроветворении, является коферментом при синтезе гема, который в гемоглобине или в миоглобине держит двухвалентное железо; **дефицит:** злокачественное малокровие - дегенерация эритроцитов, нарушение роста нервной ткани; всасывается в комплексе с белком, выделяемым стенкой желудка, при тяжелом гастрите белка не хватает;
- **источники:** печень, мясо, рыба, яйца; вырабатывается микрофлорой кишечника,

Витамин С - Аскорбиновая кислота, потребность 50 - 100 мг

- **физиологическое действие:** антиоксидант, участвует в окислительно-восстановительных реакциях, активизирует расщепление белков, увеличивает устойчивость к инфекциям, участвует в синтезе коллагена; **дефицит:** цинга - воспаление и кровоточивость десен, выпадение зубов и волос, ломкость сосудов, разрыхление стенок суставных сумок, мышечные боли; в прошлом цинга была распространена среди мореплавателей, сильно ограниченных в питании (солонина, сухари);
- **источники:** присутствует в любой свежей пище растительного и животного происхождения; богаты витамином С - шиповник, хвоя, зеленый лук, черная смородина, картофель, капуста.

Общее энергопотребление организма человека

Человек ест, чтобы строить тело, а также для того, чтобы оно работало. Общий обмен зависит от пола, возраста, роста и массы тела человека. Базовый уровень энергопотребления при ограниченном движении, протекании базовых обменных процессов и поддержании постоянной температуры тела в среднем составляет: у мужчин - 1700 кКал, у женщин - на 10% ниже, чем у мужчин, у детей больше, чем у

взрослых (на кг веса). Суточный расход энергии = общий обмен + рабочая прибавка (40 - 100%).

Особенности профессии	коэффициент физической активности	расход энергии кДж (ккал) в сутки
Умственный труд	1,4	1000 (2300)
Легкий физический труд	1,6	1100 (2650)
Физический труд средней тяжести	1,9	13100 (3100)
Тяжелый физический труд	2,2	15200 (3700)
Особо тяжелый физический труд	2,5	16900 (4000)

Энергия пищи используется не со 100% КПД → 50% синтез АТФ (внешняя работа 25% и тепло 25%) и 50% - тепло. Таким образом, на тепло затрачивается много энергии и в тот момент, когда синтезируется АТФ, и в тот момент, когда АТФ запускает последующие процессы, например, мышечные сокращения. Современные условия жизни не предполагают поиск более калорийной пищи в условиях её нехватки, а также экономию её использования. Современная ситуация связана с избытком не очень качественных калорий - слишком много углеводов, особенно быстрых (сладкое). Это привлекательно для организма человека, но приводит к перееданию. Калории поступают в организм, где не тратятся, возникающая избыточная масса тела является серьезным риском различных заболеваний: иммунных, сердечно-сосудистых, диабета второго типа.

Задачи физиологии питания и диетологии: оценить калорийность питания, сбалансировать рацион питания, выбрать режим питания. Таким образом, задача современного человека состоит в том, чтобы питаться правильно, то есть сбалансировано: потреблять с пищей определенное количество углеводов, жиров и белков растительного и животного происхождения, микроэлементов и витаминов.

Лекция 11. Почки, выделение

Диссимиляция

Тема данной лекции раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" посвящена почкам и выделительной системе организма человека. **Выделение** - удаление из организма продуктов обмена веществ, в узком смысле - излишних и вредных продуктов. Выделение - составная часть процесса диссимиляции.

- **ассимиляция, анаболизм или пластический обмен веществ** - процессы синтеза веществ в живом организме - образование все более сложных органических молекул; часто проходят с поглощением энергии и сопровождаются распадом АТФ;

- **диссимиляция, катаболизм, энергетический обмен** - процессы распада и упрощения органических веществ, которые также проходят с поглощением энергии и сопровождаются распадом АТФ;

Ассимиляция и диссимиляция - два взаимно поддерживающих друг друга процесса: ассимиляция не может проходить без энергии диссимиляции, которой необходимы белки-ферменты, синтезирующиеся только в ходе пластического обмена. Таким образом, данные процессы представляют единый метаболизм в организме человека.

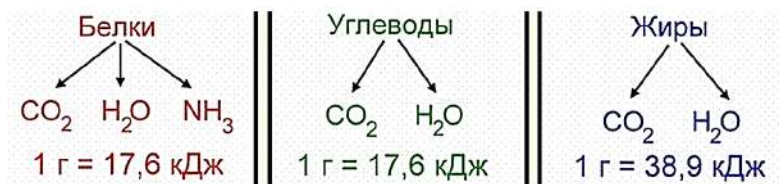


Рис. 11.1. Энергетическая емкость белков, углеводов и жиров

С точки зрения энергетического обмена:

- **жиры** - являются самыми энергоемкими, жирные кислоты практически не окислены ($1 \text{ г} = 38,9 \text{ Кдж}$); в процессе диссимиляции превращаются в углекислый газ и воду; организм хранит запас энергии именно в виде жира;
- **углеводы** - в процессе энергетического обмена превращаются в углекислый газ и воду; энергии меньше, например, глюкоза $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ - является существенно окисленной (имеет 6 атомов кислорода);
- **белки** - в процессе диссимиляции превращаются в углекислый газ, воду и различные продукты азотистого обмена, которые необходимо удалять, поскольку они являются токсичными (аммиак, мочеви́на, мочева́я кислота).

Продукты диссимиляции попадают в кровь и выводятся:

- **легкие** - удаляются углекислый газ и вода;
- **кожа** - удаляется часть углекислого газа; потовые железы кожи выводят: воду, соли, около 1% мочевины, аммиак;
- **печень и кишечник** - с желчью в просвет кишечника секретируются желчные пигменты (билирубин), избыток холестерина, ионы, в том числе очень токсичные ионы тяжелых металлов, чужеродные липофильные молекулы и др.; печень можно сравнить с фильтром грубой очистки: через воротную вену печени идет оттекающая от ЖКТ кровь, содержащая молекулы, обладающие различными свойствами, которые гепатоциты стараются "выловить";
- **почки** - удаление отходов азотистого обмена (аммиак, мочеви́на), вода, соли;

Почки

Почки - парный орган, расположенный на задней стенке брюшной полости в области поясничных позвонков и покрытый капсулой из волокнистой соединительной ткани. Правая почка немного меньше и расположена ниже, поскольку граничит с

печенью. Каждая почка обладает массой 150 - 200 гр. и имеет бобовидную форму. Через них идет очень интенсивный кровоток, а также обмен веществ. Почки специфически связаны с "тонкой" фильтрацией плазмы крови - в них происходят процессы, позволяющие сначала сбросить значительный процент плазмы внутрь почечных капсул и каналов, далее - вернуть полезное и знакомое, оставить - вредное и незнакомое. Процессы в почках проходят очень интенсивно: каждая капля плазмы фильтруется раз в 20 минут. При первичной фильтрации плазмы формируется первичная моча, после возврата - обратное всасывание (**реабсорбция**), в ходе которой формируется вторичная моча, которая через мочевой пузырь уходит во внешнюю среду. В каждую почку входит мочеточник и кровеносные сосуды: почечные артерии и вены, двойная капиллярная система.

По уровню энергообмена в организме человека занимают:

- **1 место – мозг**, нервная ткань тратит больше всего энергии на грамм веса;
- **2 место - почки**, на реабсорбцию затрачивается много энергии;
- **3 место - сердце**, непрерывное сокращение.

Почки - главная часть мочевыделительной системы, в которую также входят: мочеточник, мочевой пузырь, мочеиспускательный канал. Интенсивная работа почек может привести к проблемам, связанным с нарушением их функций - инфекционным заболеваниям, отложениям камней. В целом данная система является очень надежной, четверти одной почки достаточно, чтобы поддерживать состояние организма, если человек адекватно питается. Гомеостаз - оптимальное состояние систем организма, если почки не повреждены, то гомеостаз "находится на высоте".

Строение почки:

- **корковое вещество** - равномерно окрашенная наружная ткань почки, которая содержит почечные капсулы нефронов (капиллярные клубочки); в данном слое происходит процесс фильтрации и образование первичной мочи; из него к внутренней части почки идут собирательные трубочки;
- **нефрон** – структурно-функциональная единица почки;
- **мозговое вещество** - образовано пирамидками - скоплениями идущих от нефронов собирательных трубочек, которые собраны в сосочки (верхушки нефронов (количество - около 12));
- **малые чашки** – полости, в которые открываются сосочки и протоки собирательных трубочек (8 - 9 полостей);
- **большие чашки** - вторичная моча из малых чашек попадает в две большие чашки;
- **почечная лоханка** - большая объединяющая полость, из которой выходит мочеточник, который несет продукт работы почки - вторичную мочу к мочевому пузырю;

- **почечная артерия и почечная вена** - кровь попадает в почки из брюшной артерии, очищенная кровь выводится в нижнюю полую вену через почечную вену.

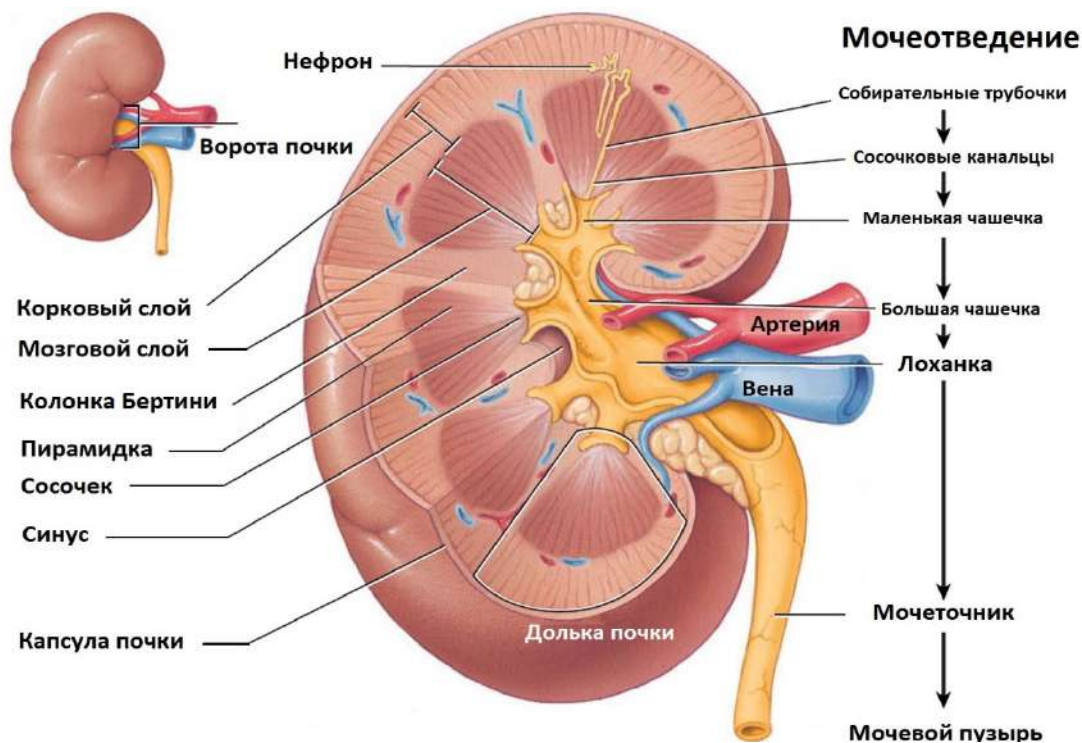


Рис. 11.2. Строение почки

Многие органы человека состоят из структурно-функциональных единиц (блоков), которые многократно повторяются: в легких - альвеолы, в тонком кишечнике - ворсинки, нефрон является структурно-функциональной единицей почки, всего в органе находится около 1 миллиона нефронов. **Алгоритм работы нефрона:** в капсулу Боумена-Шумлянского (почечная капсула) опущен образованный приносящими артериолами капиллярный клубочек, в котором происходит превращение части плазмы крови в первичную мочу; капсула продолжается в проксимальный извитой каналец (петля Генле), дистальный извитой каналец - почечные протоки, в которых продолжается процесс обратного всасывания (абсорбция) полезных веществ из первичной мочи; они впадают в собирательную трубку, которая продолжается к почечной лоханке. Верхняя часть нефрона, включая капсулу, находится в корковом слое почки, петля Генле и собирательные трубочки - в мозговом слое. **Двойная капиллярная система нефрона** состоит из капиллярной сети внутри капсулы и сети вокруг извитых канальцев, образованной ветвящейся выносящей артериолой.

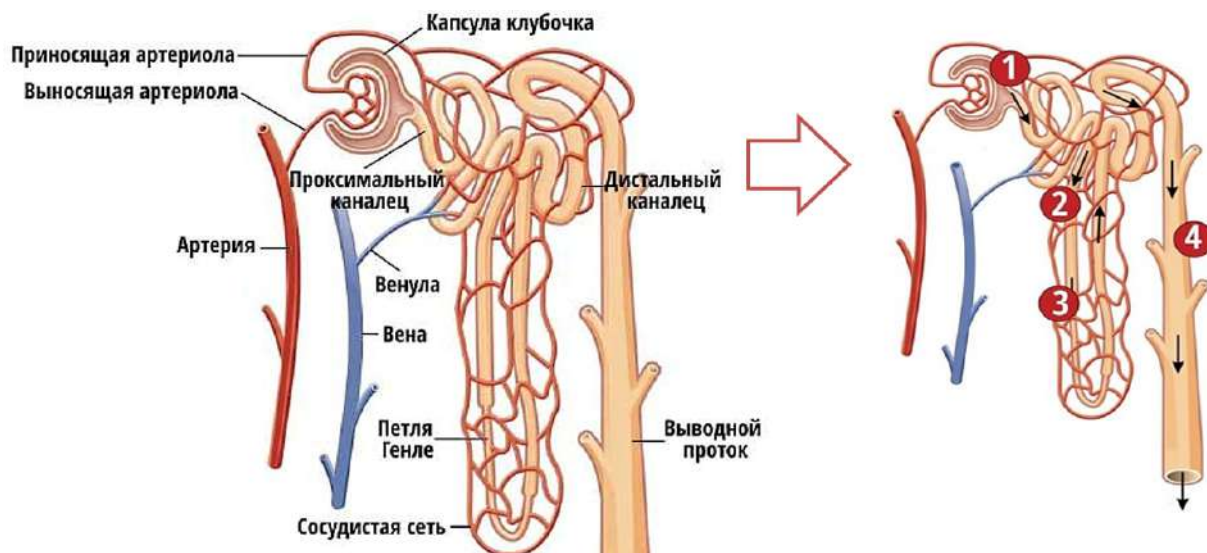


Рис. 11.3. Слева - строение нефрона, справа - этапы процесса мочеобразования

Процесс мочеобразования

Мочеобразование складывается из трех процессов: фильтрация, реабсорбция, канальцевая секреция.

Процесс фильтрации

Кровяное давление по мере прохождения крови по утончающимся сосудам падает и на входе в капилляры составляет около 35 мм ртутного столба. В нефроне почки кровь из ветвящейся почечной артерии через артериолы попадает в капиллярное сплетение (клубочек), на её выходе из артериолы давление составляет 35 мм ртутного столба, что недостаточно для того, чтобы эффективно выдавливать плазму крови внутрь почечной капсулы. Диаметр выносящей артериолы почти в 2 раза меньше, чем диаметр приносящей, крови поступает много, но отверстие на её выходе небольшое - несовпадение диаметров артериол позволяет добавить 35 мм ртутного столба. Таким образом, в капиллярном клубочке формируется высокое кровяное давление (около 70 мм ртутного столба), что позволяет эффективно выдавливать плазму крови внутрь капсулы нефрона. Капсула представляет собой чашу, в которой находится капиллярный клубочек, она обладает двойными стенками, соответственно, кровь фильтруется и через стенку капилляра, и стенку чаши, то есть через два слоя клеток. При этом через них в полость капсулы не проходят: клетки крови, крупные молекулы (прежде всего белки), проходят - вода, соли, мелкие органические молекулы. Потерявшая часть плазмы кровь (20% превращается в первичную мочу) имеет повышенные осмотические свойства (высокое содержание солей и белков), она активно всасывает вещества (прежде всего воду) из остальной части нефрона. Во второй капиллярной сети полезные вещества возвращаются, разбавляя концентрированную кровь: часть из них переносится из-за разницы концентрации (осмотические процессы), часть - активным транспортом, происходящим за счет затрат энергии, поэтому почки являются энергоемким органом.

Поток крови через почки очень велик - 1 - 1,2 литра в минуту, каждая капля плазмы примерно 3 раза в час проходит через описанную систему и очищается. Во время движения первичной мочи по протокам почти 99% возвращается в плазму: в сутки в почках образуется 170 литров первичной мочи, в результате фильтрации на выходе - около 1,5 литров вторичной мочи, которая в основном состоит из воды, а также из мочевины, избытка солей и молекул, которые система обратного всасывания не идентифицировала. Фильтрующая поверхность равна 5 - 6 м² (меньше, чем в кишечнике и легких).

Два варианта выделительной системы:

- **печень** - если представить, что кровоток - это река, в которой плавает мусор, то избавиться от него можно путем вылавливания, что и делают клетки печени – гепатоциты; это экономно, но всегда остается вероятность что-то пропустить;
- **почки** - работают более надежно, но энергозатратно: сначала все сбрасывается в первичную мочу, далее полезное возвращается (с затратой энергии), в остатке - вредные и неидентифицированные вещества; данный вариант повышает вероятность того, что вредные вещества не попадут в организм.

Важно, чтобы процесс фильтрации шел с постоянной скоростью, специальная **ренин-ангиотензиновая система** (гормональная система) регулирует давление крови влияя на общий тонус сосудов во всем организме человека, включая капиллярный клубочек. Если капиллярный клубочек и капсула не будут функционировать стабильно, то при небольшом количестве первичной мочи не будет произведена очистка организма, при повышенном её количестве система обратного всасывания не будет успевать работать, произойдет потеря полезных веществ. В процессе фильтрации белки и клетки крови не должны пропускаться, появление белка в моче является признаком воспалительного процесса внутри нефронов (гломерулонефрит). В первом приближении можно сказать, что состав фильтрата - это плазма крови, но без крупных белковых молекул.

Плазма выходит из капилляров под влиянием **фильтрационного давления** (20 мм ртутного столба) - равнодействующей трех видов давления:

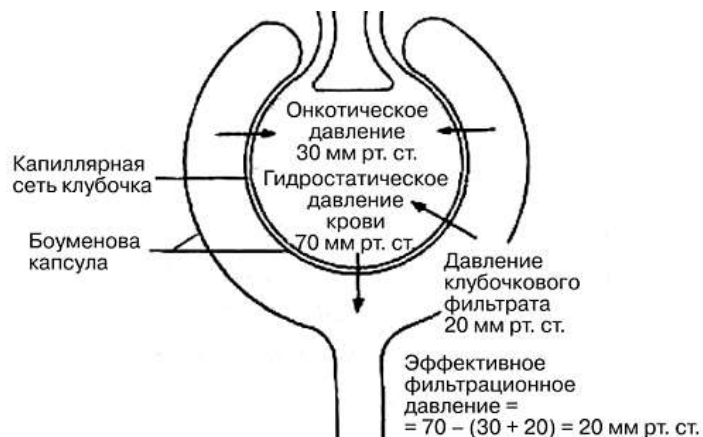


Рис. 11.4. Процесс формирования фильтрационного давления

- **гидростатическое давление крови - 70 мм** ртутного столба: создается работой сердца, а также тем, что выносящие артериолы уже, чем приносящие;
- **минус осмотическое давление - 30 мм** ртутного столба: когда вода начинает уходить, унося с собой мелкие молекулы, кровь становится более концентрированной, возникает осмотический процесс, который противодействует фильтрации; возможно использовать более узкий термин "**онкотическое давление**" (вариант осмотического) - давление, которое обеспечивают нефилтрирующиеся белки плазмы крови: альбумин и другие белки противодействуют фильтрации и способствуют реабсорбции - возврату воды из первичной мочи в кровоток в канальцах и в петле Генле;
- **минус давление клубочкового фильтрата - 20 мм** ртутного столба: давление первичной мочи как жидкости, которая накопилась в почечной капсуле.

Фильтрационного давления достаточно для того, чтобы процессы образования первичной мочи протекали с оптимальной скоростью.

Три слоя клубочкового фильтра

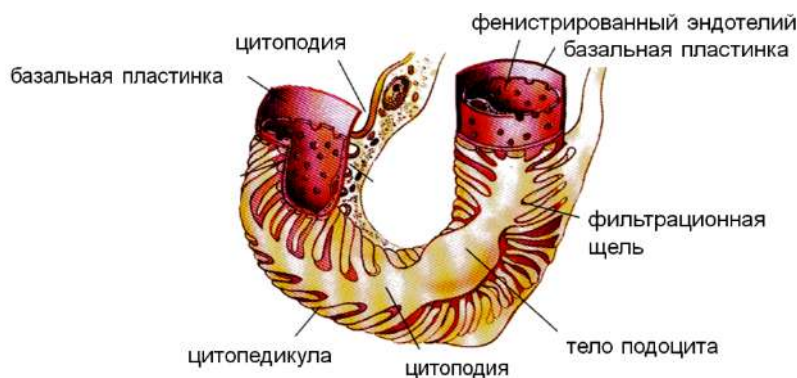


Рис. 11.5. Фильтрационный барьер клубочка нефрона

1. **фенестрированный эндотелий капилляра** - обладает большим количеством финестров, через которые проходят мелкие молекулы;
2. **базальная мембрана** - белковая сеть (коллаген и др.), не пропускающая белки плазмы, которые постоянно на неё налипают, их "счищают" подоциты и фагоциты; данный слой фильтра первым повреждается в результате воспалений;
3. **подоциты** - оборачиваются вокруг капилляра и охватывают его своими отростками, щелевидные отверстия между ними перекрыты белковой сетью.

Реабсорбция

После фильтрации в почечных канальцах происходит стекание первичной мочи и постепенное обратное всасывание. Реабсорбируются: практически вся глюкоза, все аминокислоты, витамины, гормоны, вода и хлористый натрий. Во вторичной моче глюкозы практически не остается, если она там обнаруживается, то это означает, что её слишком много в плазме крови (симптом диабета). Часть обратного всасывания идет с затратой энергии АТФ (в первую очередь всасывание натрия), в основе этого процесса лежит работа натрий-калиевых насосов, которые создают низкую концентрацию Na^+ в

клетке, находящейся, например, в стенке петли Генле, откуда он попадает в кровь, а находящийся в моче Na^+ попадает в клетку вместе с другими полезными веществами. Таким образом, транспорт Na^+ служит основой для транспорта других молекул. Вода переносится без затрат энергии, диффундируя за солями или аминокислотами и разбавляя концентрированную кровь. Клетки почечных канальцев обладают микроворсинками, назначением которых является увеличение площади для транспортных белков, реализующих процесс реабсорбции. Последовательность всасывания веществ: проксимальный извитой каналец - глюкоза, аминокислоты, витамины; петля Генле - большая часть воды, дистальный извитой каналец - всасывание различных ионов с затратой энергии АТФ.

Ключевым фактором управления процессами обратного всасывания и определения количества перешедшей во вторичную мочу воды является её диффузия, которая в свою очередь управляется **вазопрессином (АДГ)** - пептидным гормоном задней доли гипофиза, состоящим из 9 аминокислот. Под его влиянием увеличивается проницаемость для воды канальцев, она выходит в капилляры. В норме обратно всасывается около 99% воды, если вазопрессина много, то этот показатель может составить 99,5%, что приведет к уменьшению объема вторичной мочи в 2 раза.

Канальцевая секреция

До того, как фильтрат покинет нефрон в виде мочи, в него в дистальном канальце могут активно секретироваться различные вещества: ионы калия, водорода, аммиак, фосфат и др.

Отходы азотистого обмена - продукты распада аминокислот и нуклеиновых кислот. **Мочевина** - основной продукт азотистого обмена и отход, от которого необходимо избавляться. При нарушении выделительных процессов человек может погибнуть в результате её избытка, поскольку аминокислоты распадаются, при этом человеку необходимо 0,7 - 1 г белка на кг веса в сутки.

Компонент	Содержание в плазме (%)	Содержание в моче (%)	увеличение
вода	90	95	-
белок	8	-	-
глюкоза	0,1	0	-
мочевина	0,03	2,0	в 67 раз
мочевая кислота	0,0004	0,005	в 12
креатинин	0,007	0,007	в 75
натрий	0,32	0,35	-
аммиак	0,0001	0,04	в 400
калий	0,02	0,15	в 7
магний	0,0025	0,01	в 4
хлор	0,37	0,60	в 2
фосфаты	0,009	0,27	в 30
сульфаты	0,002	0,18	в 90

Регуляция работы и функции почек

Нервная регуляция мочевыделительной системы:

- **вегетативная нервная система:** симпатические влияния приводят к усилению реабсорбции, снижается мочевыделение; парасимпатические - приводят к росту мочевыделения, управляют деятельностью мочевого пузыря;
- **гуморальная регуляция** - связана с функциями нейрогипофиза и надпочечников; мочевыделение уменьшают: усиление обратного всасывания воды - вазопрессин (гормон гипофиза); усиление реабсорбции - адреналин (гормон мозгового вещества и надпочечников); усиление обратного всасывания Na^+ - альдостерон (гормон коры надпочечников).

За управление вазопрессином (АДГ) отвечают нейроны гипоталамуса - нижней части промежуточного мозга, которая содержит "центры жажды". Нервные клетки оценивают концентрацию солей в плазме (оптимальная около 0,8), при их избытке возникает ощущение жажды, усиливается выделение вазопрессина и обратное всасывание воды (99,5%), соответственно, уменьшается мочевыделение. При понижении осмотического давления крови (избыток воды) секреция вазопрессина уменьшается, увеличивается диурез. Выделение АДГ также зависит от растяжения левого предсердия: избыточное растяжение означает, что объем крови слишком велик (по причине наличия в ней большого количества воды, которую необходимо удалить), рецепторы растяжения активируются, импульсы передаются в гипоталамус, угнетается выработка вазопрессина, в итоге растет мочевыделение. Правое предсердие более чувствительно к избыточному растяжению: при переполнении кровью оно вырабатывает **натрийуретический гормон**, под действием которого усиливается выведение натрия для увеличения мочевыделения. Данный процесс важен тогда, когда человек выпивает много подсоленной жидкости, поскольку объем крови вырастает, но при этом доля солей остается неизменной, то есть система центра жажды не реагирует на происходящее. Натрийуретический гормон позволяет почкам сбросить часть натрия, в результате падают осмотические свойства крови, снижается выброс вазопрессина, вслед за натрием через мочу удаляется лишняя вода. Таким образом, стабилизация воды и солей в плазме крови, а также избыточного объема (нагрузка для сердца, риски для легких) осуществляется в два этапа. Гормоны вырабатываются не только специфическими эндокринными железами, их функции могут выполнять: сердце, печень (тромбопоэтин), почки (эритропоэтин). Если выделение вазопрессина прекращается, то диурез возрастает до 8 - 15 литров в сутки, у человека возникает постоянная мучительная жажда.

Важным гормональным компонентом регуляции работы почек и обратного всасывания (прежде всего натрия), является гормон коры надпочечников **альдостерон**, который выделяется окружающими приносящую артериолу клетками **юкстагломерулярного аппарата** (ЮГА). Если давление в артериоле падает, то усиливается выделение альдостерона, он усиливает реабсорбцию натрия из канальцев, оставляя его в организме и увеличивая осмотические свойства крови, сохраняется больше воды (соответственно, уменьшается мочевыделение), возрастет объем крови,

поднимается системное кровяное давление. Также ЮГА способны вырабатывать фермент ренин, приводящий к образованию в крови активного гормона **ангиотензина**. Двойное действие ангиотензина: сужение просвета приносящей артериолы и активизация выделения альдостерона корой надпочечников. С увеличением возраста человека юстагломерулярный аппарат начинает работать не очень точно, так как растяжение стенок сосудов понижается, результатом является возникновение системной "команды" на развитие гипертонии. При данном заболевании применяется ряд лекарственных препаратов, призванных противодействовать ЮГА.

Функции почек:

- **эксcretорная** - удаляют отходы обмена (аммиак, мочеви́на, моче́вая кислота); выводят чужеродные вещества (токсины, лекарственные препараты), избыток глюкозы, аминокислот, гормонов, воды, минеральных солей. При почечной недостаточности в результате отравления организма летальный исход наступает в течение 1-2 недель. Лечение: человеку могут пересадить почку, подключить к аппарату искусственная почка или за счет процедуры диализа крови, очищать её раз в несколько дней;
- **синтез биологически активных веществ** - регулирующий кроветворение эритропоэтин действует на красный костный мозг, регулирующий кровяное давление ренин активирует образование ангиотензина;
- **поддержка гомеостаза** - почки регулируют осмотическое давление крови (водно-солевой обмен), pH крови, артериальное давление.

Мочевой пузырь



Рис. 11.6. Строение мочевого пузыря

В мочевой пузырь впадают два мочеточника, из него выходит мочеиспускательный канал (уретра), имеющий два сфинктера - внутренний (непроизвольный - управляется парасимпатической нервной системой) и наружный (произвольный). Стенка мочевого пузыря - многослойный мешок из гладкой мышечной ткани, действие связано с рефлексными дугами нижних отделов спинного мозга (крестцовые сегменты). Когда в нем накапливается около 200 мл жидкости, человек ощущает позывы к мочеиспусканию, хотя мочевой пузырь может вместить до 500 мл.

Основой мочеиспускания является сокращение значительной массы детрузора мочевого пузыря, который управляется парасимпатической нервной системой, как и расслабление внутреннего сфинктера (у ребенка работает только этот механизм). Симпатическая нервная система тормозит сокращение органа и зажимает внутренний сфинктер. Взрослый человек осуществляет произвольный контроль тонуса внешнего сфинктера, который производится из центра внутри моста и высшего центра в коре больших полушарий. Работа мочевого пузыря - тонко функционирующая система, сочетающая воздействие вегетативных влияний и произвольного контроля.

Заболевания выделительной системы: камни - образуются в желчном пузыре (холестериновые), в мочевом пузыре и в почках (на основе мочевой кислоты, более жесткие, повышенная вероятность травмирования, в качестве лечения применяются технологии удаления камней), и бактериальные заболевания мочевого пузыря (цистит) и почек (гломерулонефрит).

Лекция 12. Кожа, терморегуляция

Строение кожи

Данная лекция посвящена покровной системе человека и аспектам её функционирования, в том числе терморегуляции, а также детальному рассмотрению организации её слоев и структур. Наиболее очевидная функция формирующей внешний барьер кожи - защитная.

Кожа - наружный покров организма человека площадью 1,5 - 2 м², массой около 3 кг, который состоит из трех слоев:

- **эпидермис** - внешняя граница, многослойная покровная ткань, клетки которой плотно соединены друг с другом; верхние слои - защитная конструкция (мертвые клетки), нижняя - постоянно делящиеся клетки; в эпидермис не заходят кровеносные сосуды и крупные нервы, поэтому он получает питание из нижележащего слоя через тканевую жидкость;
- **дерма** - основной слой, который содержит:
 - **волосная луковица**, с которой связана **гладкая мышца**, способная поднимать волос; поднять шерсть дыбом - эффективная терморегуляторная реакция, оставшаяся у человека как рудимент, видимый как мурашки; мышца управляется симпатической нервной системой - произвольный контроль отсутствует;
 - **сальные железы** - соединены с волосными луковицами, каждый волос смазывается сальной железой отдельно;

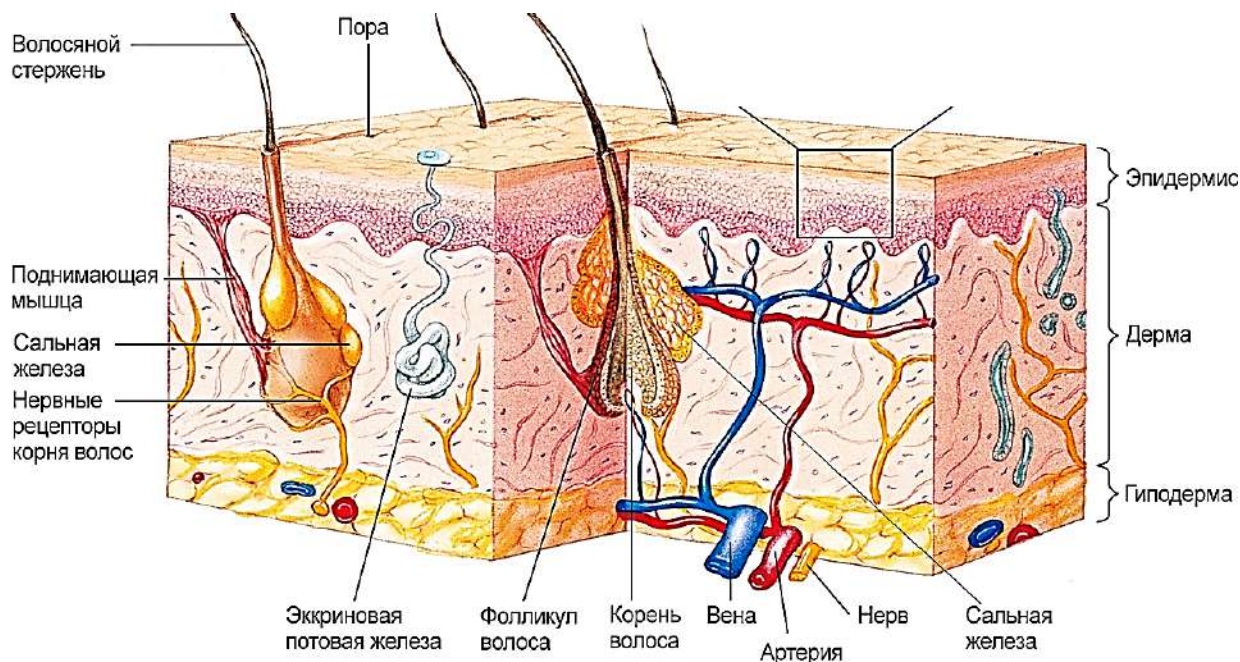


Рис. 12.1. Строение кожи

- **потовые железы** - особым образом расположены, имеют собственные протоки;
 - **большое количество нервных волокон** - верхние нервные волокна заходят в эпидермис, как правило, связаны с болевой чувствительностью, не покрыты дополнительными конструкциями из соединительной ткани; большинство других волокон - инкапсулированы, то есть находятся в капсуле из вспомогательных клеток, свойства которых определяют специфичность кожного рецептора: реакцию на холод, тепло, разные типы прикосновений; система кожной чувствительности сложна и разнообразна, имеет множество специфических ощущений (субмодальности);
 - **большое количество сосудов** - питают кожу кровью, связаны с терморегуляцией;
- **подкожная жировая клетчатка** - содержит клетки адипоциты, накапливающие запасы жира, выполняет терморегуляторную и защитную функции.

Эпидермис

Эпидермис имеет эктодермальное происхождение, отделен от дермы базальной мембраной.

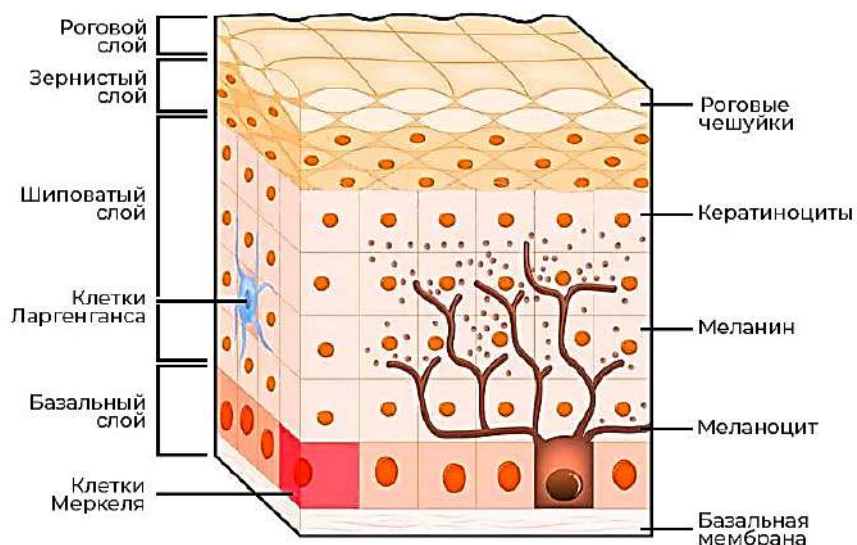


Рис. 12.2. Слои эпидермиса

- **базальный (мальпигиев) слой** - содержит делящиеся клетки, эпидермис - граница с внешней средой, для него характерно постоянное обновление, пигментные клетки (меланоциты) с меланином, создающим цвет кожи человека;
- **шиповатый** – клетки, соединенные многочисленными отростками;
- **зернистый** – клетки слоя содержат гранулы белка кератогиалина, который постепенно превращается в кератин - базовый белок, заполняющий клетки верхних слоев; данный процесс приводит к гибели клеток;
- **блестящий** - ядра клеток уже разрушены, остаются остатки обмена веществ;

- **роговой** - образован мертвыми клетками - "чехлами" с кератином.

Кератин - очень прочный химический белок, отдаленный родственник коллагена, обогащен остатками аминокислоты пролин, образующей с другими аминокислотами прочные связи. Ногти, когти, рога (кроме оленей и жирафов), перья, волосы, роговая чешуя - кератиновые производные эпидермиса. Погружаясь в дерму, часть эпидермиса формирует волосные луковицы. Механизм образования ногтя похож на механизм образования волоса, который является локальной волосной сумкой, создающей скопления обогащенных кератином клеток. Ноготь - полоска клеток, которая постепенно вырастает из зоны деления и накопления кератина.

Меланоциты располагаются в базальном и шиповатом слоях эпидермиса, они синтезируют пигмент меланин и передают его кератиноцитам. **Меланин** (красящее вещество) синтезируется из пищевой аминокислоты тирозин. Таким образом возникает окраска кожи, связанная с генетикой человека (базовый цвет): эумеланин дает черно-коричневый цвет (брюнеты), феомеланин - желто-красный (рыжие, блондины). В линии эволюции млекопитающих меланины являются основными пигментами, которые создают разные оттенки окраски кожи, волос и глаз в зависимости от пропорций и распределения в тканях эумеланина и феомеланина. Во многом это ещё и реакция на меланостимулирующий гормон, выделяемый гипофизом. Кроме того, эта система способна реагировать на ультрафиолет: дополнительный меланин образуется для того, чтобы эффективно блокировать клетки кожи от потока солнечных лучей, не позволяя повреждать их структуры, прежде всего ДНК.

Воздействие ультрафиолета на клетки кожи - важный фактор, на который реагируют и меланоциты и кератиноциты, способные под его влиянием запускать интенсивный синтез витамина D. Холестерин служит предшественником витамина D и половых гормонов, регулирует гибкость мембран, при этом его избыток может привести к отложениям на стенках сосудов. Желчь выводит холестерин через печень, где из него формируются желчные кислоты, позволяющие более эффективно переваривать жиры. Витамин D можно получить с пищей, отметим, что загоревшему за лето взрослому человеку хватит его запаса в печени на год. Пищевой витамин необходим: детям, поскольку он способствует всасыванию кальция, недостаток которого может привести к рискам нарушения развития скелета; при травмах (переломы), беременным женщинам.

Процесс передачи кератиноцитам меланиновых гранул может происходить с разной скоростью: если он происходит активно, то человек быстро покрывается загаром, если данная функция плохо установлена, то даже небольшое количество ультрафиолета приводит к покраснению кожи, гибели клеток эпидермиса и даже солнечным ожогам. Жизненный путь **кератиноцита** протекает в течение месяца: образование в базальном слое, прохождение через шиповатый и зернистый слой и превращение в шестигранную погибшую клетку-чешуйку (корнеоцит).

Дерма

Слой дермы:

- **сосочковый слой** - контактирует с эпидермисом, за его счет образуются гребешки и бороздки, формируется уникальный папиллярный рисунок;
- **сетчатый слой** - обладает большим количеством основных белков соединительной ткани, создающих гибкость и упругость - коллагеновых и эластиновых волокон.

Строение дермы:

- **кровеносные и лимфатические сосуды** - важны для терморегуляции, большое количество капиллярных сетей может в случае необходимости раскрываться и отдавать лишнее тепло с поверхности кожи;
- **нервные окончания разного назначения** - сенсорные, подходящие к сосудам, к поднимающей волос мышце, к потовым железам;
- **молочные железы** - являются производными потовых желез, содержат альвеоларно-ацинусную структуру, производящую молоко, в котором много белка, углеводов, жиров, антител;
- **волосынные луковицы (фолликулы)**, из которых формируется волос;
- **сальные железы** - открываются в волосную сумку; кожное сало (жирные кислоты, воска, стероиды) смазывают волосы, придавая им эластичность и обеспечивая водоотталкивающие свойства; по функциям железа напоминает нефрон: то, что фильтруется внутрь её закрученной трубочки по сути является плазмой крови, происходит секреция свободной от белков жидкости, далее - обратное всасывание. **Состав пота:** вода - 98%, NaCl - 0,3%, мочевины - 0,03%. Управление процессом осуществляет симпатическая нервная система, которая проявляет себя в ситуации стресса и физической нагрузки (перегрев) и способна менять состояние контактирующих с потовой железой капилляров, что усиливает протекание в нее жидкости. Симпатическая нервная система может включаться в ситуации высокой температуры окружающей среды, в этом случае за её работой следит гипоталамус (нижняя часть промежуточного мозга).
- **потовые железы (2,5 млн.)** - длинные неразветвленные трубки, начальная часть которых закручена в клубочек, открываются порами. Основная функция - терморегуляция. Железы выводят: пот, воду, NaCl, мочевую кислоту, аммиак, мочевины. В зависимости от температуры окружающей среды и физической активности ими выделяется 0,7 - 3 литра пота в день. Выведенные на поверхность кожи вещества улетучиваются, позволяя регулировать температуру тела. Концентрация потовых желез различается на участках тела: высокая - на ладонях или ступнях.

Кожно-гальваническая реакция. В XIX веке исследователи определили, что у человека, который волнуется, на поверхности кожи появляется отрицательный заряд, и назвали это явление "кожно-гальваническая реакция". В дальнейшем она была использована в детекторе правды, для чего на ладони и пальцы человека, где находится

много потовых желез, ставятся датчики. Реакции на эмоциональные значимые воздействия возникают в течение 0,1 - 0,2 секунд и длятся 2 - 3 секунды. Отметим, что реакция потовой железы показывает только наличие эмоции, по данным гальванической реакции нельзя отличить даже положительную эмоцию от отрицательной. Её можно дополнить оценкой сердечных сокращений, мимики, особенностей голосовой реакции, которая может повысить достоверность выводов.

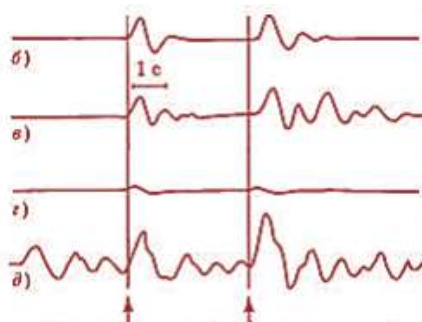


Рис. 12.3. Пример записи кожно-гальванической реакции: б - сангвиник, в - холерик, г - флегматик, д - меланхолик

Греческому врачу Гиппократу принадлежит классификация людей по наличию в их организме жидкостей: сангвиник - сангвис, любопытный и оптимистичный; флегматик - флегма, спокойный и медлительный; холерик - от греч. "холе" - желтая желчь, агрессивный и лидирующий; меланхолик - черная желчь, депрессивный и тревожный. Пример записи кожно-гальванической реакции на рис. 12.3. показывает типичную реакцию людей на 2 вопроса: "как Вас зовут?" (левая стрелка) и более значимый и сложный вопрос (правая стрелка). У холерика эмоций больше, чем у сангвиника, очень мало эмоций у флегматика, меланхолика тестирование приводит в состояние стресса и вызывает сильный эмоциональный фон. Таким образом, по активности потовой железы можно делать выводы об уровне стресса.

Волос

Волос состоит из стержня и корня, находящегося под кожей и образующего волосяную сумку (фолликул), в которую вдается питающий сосочек с большим количеством сосудов. Фолликул - эпидермис, погруженный в дерму, поэтому клетки постоянно делятся, накапливают кератин и погибают, формируя внутри сумки плотные роговые чешуйки, которые выдавливаются из нее, образуя овальную форму волоса. Стержень волоса состоит из мозгового вещества и прочного коркового вещества, содержащего пигмент меланин.

- у **млекопитающих** волосяной покров отвечает за термоизоляцию, вибрисы на разных частях тела (усы, брови, лапы) специализируются на ощущении, позволяя ощупывать окружающее пространство, в том числе в полной темноте;
- у **людей** волосяной покров выполняет чувствительную функцию: прикосновение к волоску - это сенсорный сигнал, который осознается мозгом до прикосновения к коже. Данная функция полезна для предотвращения укуса комара. Вокруг

волосяной луковица находится большое количество нервных волокон, которые образуют кольцевые и продольные скопления, поэтому человек реагирует и на изменение изгиба волоса.

Волос живет несколько месяцев, после чего выпадает и заменяется новым. С возрастом количество пигмента в нем уменьшается, при этом теряется плотность, так как увеличивается количество воздуха в мозговом веществе (появление седины). Выпадение волоса связано с атрофией волосяной луковицы, но ещё до её выпадения постепенно возникает новая. Этот процесс у человека выражен не сильно, многие животные и птицы линяют сезонно, что представляет для их обмена веществ существенную нагрузку.

Чувствительные нервные волокна кожи

2 м² кожи - это не только граница тела человека, но и орган чувств, в котором содержится более 2 млн. рецепторов:

- **болевые рецепторы** - 1,5 млн.: нервные волокна с голыми окончаниями, которые реагируют на повреждение нервных клеток и тканей, вырабатывающих химические вещества, запускающие импульсы в рецепторах, благодаря чему о повреждении узнает мозг;
- **тепловые рецепторы** - около 30 тыс.: нервные волокна с голыми окончаниями, реагирующие на нагрев кожи до определенной температуры;
- **холодовые рецепторы** - 250 тыс.: колбы Краузе (инкапсулированные рецепторы), реагирующие на остывание; клетки капсулы из соединительной ткани вокруг нервных волокон при специфических сенсорных воздействиях выделяют химические вещества или деформируют мембрану нервных волокон, что приводит к возникновению импульсов. Находятся ближе к поверхности, чем тепловые;
- **рецепторы давления** (осязания) - 500 тыс.: тельца Мейснера, тельца Пачини, диски Меркеля и тельца Руфини, реагирующие на механические воздействия; сосредоточены в предназначенных для получения кожной информации частях тела: кончики пальцев, губы, язык (оценка свойств пищи).

Типы тактильных рецепторов

- медленно адаптирующиеся рецепторы **диски Меркеля** - обладают выростами, похожими на уменьшенные жгутики; в ходе механического воздействия на кожу, происходит их деформация, возникает импульс, но не привыкание. Рецепторы имеют тонкую чувствительность - способны реагировать на воздействие 0,005 мм и более. С их помощью ощущается поверхность объектов, например, сжимая монету, человек может ощутить (на ощупь) фактуру и особенности её поверхности;

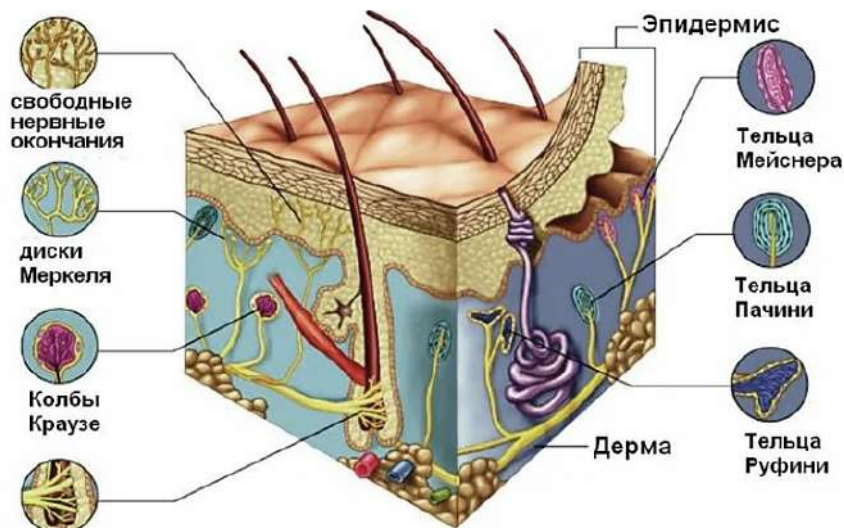


Рис. 12.4. Кожные рецепторы разных типов

- быстро адаптирующиеся рецепторы **тельца Мейснера** - расположены недалеко от эпидермиса, представляют собой уложенные в спираль нервные окончания (луковицы), соединенные с окружающими тканями белковыми нитями. Осуществляют контроль силы захвата, реагируют на вибрацию с частотой в 30 Гц в процессе сдвига предмета относительно пальцев: выскальзывание - сжатие пальцев для удержания. Система эксплуатируется в следующих случаях: поднятие сырого яйца, перетягивание каната, удержание руля велосипеда;
- быстро адаптирующиеся рецепторы **тельца Пачини** - расположены в глубине дермы; нервное волокно покрыто слоями вспомогательных клеток; реагируют: на различные варианты давления: работа с инструментами, которые становятся продолжением руки человека; вибрация высокой частоты (200 - 400 Гц) - ощущение гладкости поверхности;
- медленно адаптирующиеся рецепторы **тельца Руффини** - расположенные в глубине дермы капсулы с нервными волокнами, которые реагируют на растяжение кожи, сгибы суставов и т.д.; с их помощью человек понимает с какой силой происходит воздействие на объект, как расположена рука при удержании зубной щетки или камня.

Информационные сигналы (вибрация, давление, фактура, положение суставов) поступают одновременно - возникает сложный интегрированный сенсорный поток, обрабатываемый корой больших полушарий.

Функции кожи

- рецепторная** - на 1 см² кожи приходится около 200 болевых рецепторов, 15 холодовых, 1 - 2 тепловых, 25 осязательных;
- защитная** - от механических повреждений, от проникновения микроорганизмов, от избытка ультрафиолета (путем образования меланина);

- **выделительная** - осуществляется за счет работы потовых и сальных желез, в сутки человек теряет 1 литр пота с растворенными солями и продуктами белкового обмена;
- **дыхательная** - на кожу приходится до 1,5% общего газообмена;
- **образование витамина D** - происходит под действием солнечных лучей;
- **запасание энергетических материалов** - происходит в подкожной жировой клетчатке, которая участвует в терморегуляции;
- **терморегуляторная** - осуществляется с помощью изменения интенсивности потоотделения и с помощью изменения интенсивности кровотока в коже (от 1мл/мин до 100 мл/мин): в коже находится большое количество сосудов, часть из них снабжает её кровью, кислородом и питательными веществами, часть - специально предназначена для терморегуляции. Вторая образует сосудистые сплетения, в которых кровоток может проходить по короткому пути (слева на рис. 12.5), когда в результате сигналов от симпатической системы зажаты ведущие в капиллярную сеть сосуды (шунт), или заходить в капиллярную сеть (справа на рис. 12.5), разогревать кожу, отдавая лишнее тепло в окружающую среду. По механизму действия аналогично сфинктерам в капиллярах. Эволюционно второй механизм более совершенен и экономичен (нет потери жидкости и солей), теплоотдача может увеличиваться в 5 - 6 раз.



Рис. 12.5. Регуляция теплоотдачи

Терморегуляция и гипоталамус

Гипоталамус - важный центр регуляции гомеостаза человека, в котором расположены центры жажды и голода. В передней части гипоталамуса находится преоптическая область с нейронами-терморецепторами, постоянно измеряющими температуру крови:

- **80% нейронов** - реагируют на перегрев: расширение сосудов кожи, потоотделение; если перегрев осознается - поведенческие реакции;
- **20% нейронов** - реагирует на охлаждение: сужение сосудов кожи и уменьшение кровотока приводят к меньшей отдаче кислорода, кровь становится более темной, человек немного синее, становятся холодными менее важные

части тела (нос, уши); возникает рефлекторная реакция непроизвольного сокращения мышц (дрожь), за счет которой организм пытается выработать тепло; пилоэрекция; поведенческие реакции.

Дополнительно учитываются сигналы от тепловых и холодовых рецепторов кожи (в меньшей степени). В противном случае потоотделение происходило бы при опускании рук в горячую воду. При заболевании и воспалении ряд выделяемых иммунной системой веществ (медиаторы воспаления/вещества-сигналы SOS) запускает в гипоталамусе синтез простагландинов. Они влияют на его переднюю часть, растет температура (лихорадка), что создает более благоприятные условия для включения защитных механизмов: активация фагоцитов, ускорение синтеза антител и др. Когда температура тела человека поднимается выше 39°C, используются жаропонижающие средства (аспирин), мешающие образованию простагландинов.

Таким образом, главным исполнителем в процессе терморегуляции является кожа, руководителем - гипоталамус. Регулярное закаливание обучает гипоталамус более четко и эффективно регулировать температуру тела, приспособливает организм человека к быстрой перестройке обмена веществ, к изменению теплоотдачи за счет изменения кровотока через кожу и изменения интенсивности потоотделения.

Гигиенические требования необходимы для эффективного выполнения кожей своих функций:

- кожа должна быть чистой - в этом случае болезнетворные микроорганизмы быстро погибают;
- руки необходимо мыть с мылом несколько раз в день - перед едой и после посещения туалета в обязательном порядке;
- все тело необходимо мыть не реже одного раза в неделю, ноги - каждый вечер, волосы - не реже двух раз в неделю.

Лекция 13. Эндокринная система. Часть 1

Строение эндокринной системы. Гормоны

Теме "Эндокринная система" будут посвящены две лекции раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии". Железы организма человека делят на железы внешней и внутренней секреции:

- **экзокринные** - имеют протоки и выделяют секреты на поверхность кожи или в полость внутренних органов: железы желудочно-кишечного тракта, молочные, сальные, слезные и потовые железы;
- **эндокринные** - не имеют собственных протоков и выделяют секреты (гормоны) во внутреннюю среду организма - в тканевую жидкость, кровь и лимфу;

Железы внутренней секреции:

- **гипофиз** - делится на аденогипофиз (передняя часть) и нейрогипофиз (задняя часть)
- **эпифиз**
- **щитовидная железа**
- **околощитовидные железы**
- **надпочечники** - состоят из коры и мозгового вещества

Органы с эндокринной тканью - железы смешанной секреции:

- **поджелудочная железа**
- **половые железы** - семенники и яичники

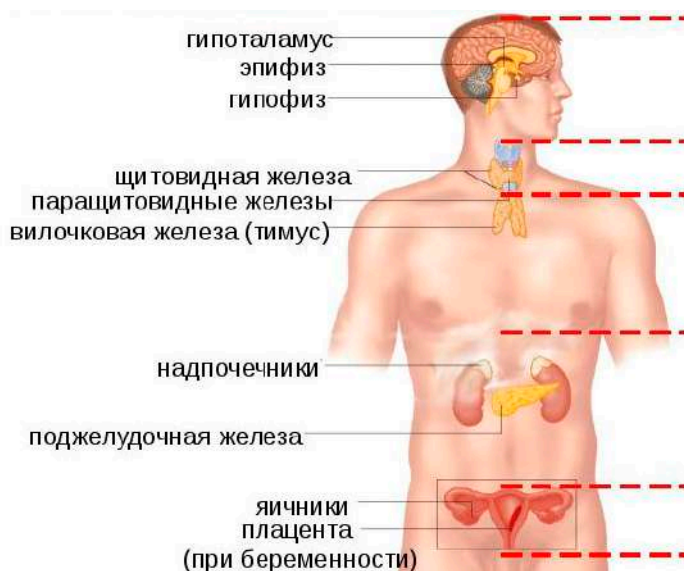


Рис. 13.1. Компоненты эндокринной системы

Органы с эндокринной функцией отдельных клеток:

- **плацента, тимус, почки, сердце, ЖКТ** (печень, стенки тонкого кишечника)

Эндокринная регуляция широко распространена в системе органов организма человека. Нервная регуляция является более быстрой, эндокринная - медленнее, данные системы работают, дополняя друг друга.

Гормоны

Гормоны - химические соединения с высокой активностью, дающие в малых дозах значительный физиологический эффект - изменение работы органов, тканей, отдельных клеток. По химической природе гормоны делят на три основные группы:

1. **пептиды** - гормоны гипоталамуса, гипофиза, эпифиза, тимуса и поджелудочной железы; пептиды - короткие цепочки аминокислот (до 50), белки - длинные цепочки (от 50);
2. **производные аминокислот** - гормоны щитовидной железы и мозгового слоя надпочечников;
3. **жирорастворимые стероиды** - половые гормоны и гормоны коры надпочечников; как правило, производные холестерина.

Гормоны переносятся кровью и воздействуют на органы-мишени, клетки которых имеют чувствительные к ним белковые молекулы (рецепторы) **трех типов**: локализованные на поверхности клеточной мембраны - самый простой вариант, объединяющий гормоны с нейромедиаторами; ряд гормонов способен проникать внутрь клетки и связываться с рецепторами, находящимися либо в цитоплазме клетки, либо в ядре клетки (контакт с ядерной ДНК). Цитоплазматические и ядерные рецепторы позволяют эффективно влиять на работу различных генов и вызывать серьезные изменения в функционировании клеток-мишеней, эффекты длятся недели и месяцы. Мембранные эффекты - более легкие и быстрые. Одна и та же клетка может иметь разные рецепторы к одному гормону, а также рецепторы к разным гормонам и даже десяткам гормонов.

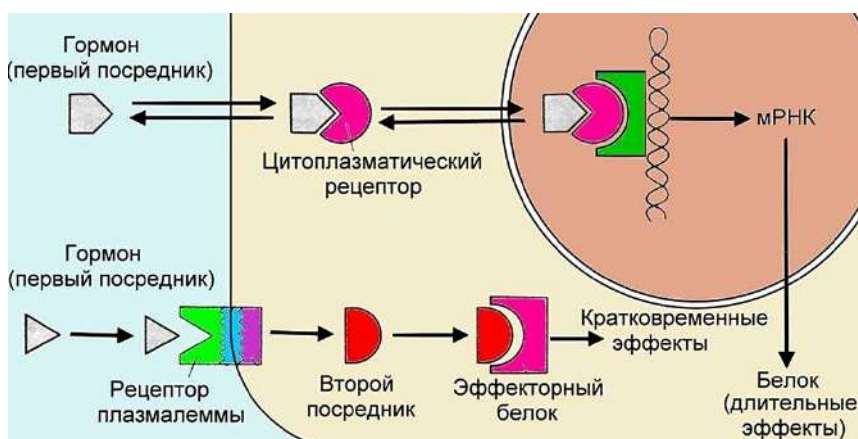


Рис. 13.2. Механизм передачи гормональных сигналов через мембранные рецепторы

Вещества, передающие сигналы между клетками, называются "**первичными посредниками**" - гормоны, нейромедиаторы и цитокины (используются для передачи

сигналов в иммунной системе). Первичный посредник находится снаружи клетки, когда он влияет на рецептор в клеточной мембране, в цитоплазме запускается образование второго посредника - циклической аденозинмонофосфорной кислоты (цАМФ), передающей сигнал внутрь клетки к ферментам, эффекторным белкам и ядерной ДНК (пептидные гормоны, адреналин). **Липофильные гормоны** (стероиды, тироксины) проникают через мембрану и самостоятельно воздействует на внутриклеточные механизмы (потребность во вторичном посреднике отсутствует). В ходе воздействия на ядерную ДНК гены активируются или тормозятся, в итоге идет влияние на процесс **транскрипции** (образование РНК на основе ДНК) и **трансляции** (образование на базе РНК физиологически активных белков).

Гипоталамус и гипофиз

В центре функционирования большинства блоков эндокринной системы человека лежит работа гипоталамуса и гипофиза. Гипоталамус - нижняя половина промежуточного мозга, от которого отходит выrost нервной ткани, превращающийся в гипофиз, делящийся на переднюю, заднюю части и промежуточную зону.

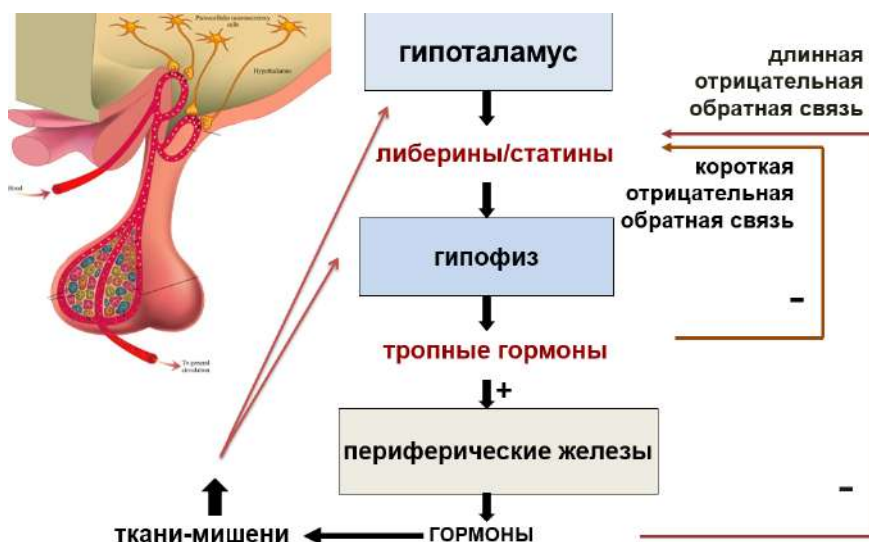


Рис. 13.3. Принцип обратной связи в работе гормонов гипоталамуса и гипофиза

Одна из основных задач гипофиза - выделение тропных гормонов, способных влиять на конкретные эндокринные железы со знаком плюс, то есть активировать в них выделение основного гормона (рабочий), который далее будет влиять на клетки-мишени. Выделение тропного гормона находится под контролем гормонов гипоталамуса, способного выделять две группы гормонов: **либерины** - активируют выделение тропного гормона и **статины** - тормозят (присутствуют не во всех системах). Фоновое выделение либеринов обеспечивает фоновое выделение тропного гормона, в свою очередь обеспечивающего выделение рабочего гормона. Его концентрация для эффективного функционирования систем и органов человека должна оставаться на оптимальном уровне, который достигается с помощью оценки

концентрации рабочего гормона в крови с помощью нейронов гипоталамуса и изменения выделения статинов и либеринов, а значит и тропного гормона, что приводит к воздействию на эндокринную железу. Данный алгоритм называется отрицательная обратная связь. Такая же отрицательная связь существует между тропным гормоном и гипоталамусом. Сложность организации описанной системы призвана тонко контролировать её деятельность и удерживать в оптимальном состоянии, то есть стабилизировать выделение основных гормонов.

Щитовидная железа

Щитовидная железа находится в шее ниже гортани рядом с трахеей, состоит из двух долей, связанных перешейком, её вес - 30 - 40 грамм. Щитовидная железа содержит около 30 млн. оплетенных капиллярами фолликулов, внутри которых находятся эндокринные клетки, формирующие ткань с небольшим количеством межклеточного вещества, и полость, куда выделяются гормоны. В полости они хранятся и постепенно переходят в капилляры, распространяясь по организму человека. Вне фолликулов располагаются клетки, которые продуцирует полипептид кальцитонин.

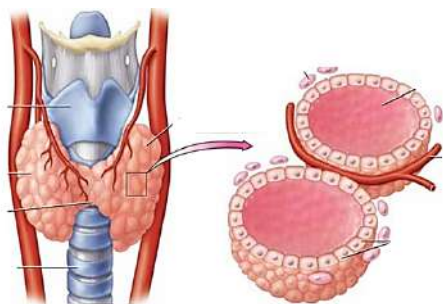


Рис. 13.4. Щитовидная железа, фолликулы щитовидной железы

Щитовидная железа выделяет йодсодержащие гормоны **тироксин** (T4) и **трийодтироксин** (T3, более активен), усиливающие обмен веществ (образование энергии) во всех клетках организма. Данные гормоны имеют необычный химический состав - содержат 4 и 3 атома йода соответственно, их выделение регулирует тиреотропный гормон передней доли гипофиза (TSN - тиреостимулирующий гормон). Измеряя концентрацию T3, T4 и TSN в крови, гипоталамус изменяет выделение **тиролиберина** (TRN) или дофамина, который выполняет функции статина. Данная система использует механизм отрицательной обратной связи: большое количество тироксинов приводит к уменьшению выделения тиролиберинов и тиреотропного гормона, незначительное количество тироксина - к увеличению. К тироксинам существуют рецепторы всех типов:

- **мембранные рецепторы** - перенос глюкозы и аминокислот в клетку;
- **митохондриальные** - активируют в митохондриях синтез ферментов дыхательной цепи, в том числе АТФ-синтазы, которая при окислительном фосфорелировании непосредственно отвечает за образование молекул АТФ;

- **ядерные** - активируют гены, кодирующие ферменты для распада углеводов, гликолиза и липолиза (распад жирных кислот).

Воздействие гормонов на рецепторы ведет к активации обмена веществ, рост и развитие организма. Для эффективного синтеза тироксинов человеку необходимо получать с пищей достаточное количество йода. Опасен как дефицит, так избыток гормонов в организме:

- **дефицит** - причины: генетические аномалии, нехватка в пище йода, аутоиммунные патологии; последствия: снижение обмена веществ, вялость, депрессии (микседема); у новорожденных - сложности в формировании нервной системы, отставание умственного развития, кретинизм;
- **избыток** - последствия: нервозность, бессонница, повышенный аппетит и худоба, гиперактивность симпатической нервной системы, пучеглазие (базедова болезнь), возникающее в результате развития жировой клетчатки за глазами.

Первая кровь для анализа берется у младенца в роддоме из пяточки, поскольку из пальца это сделать ещё невозможно, и исследуется на концентрацию тироксинов. При врожденной патологии назначается их прием в виде таблеток. Эндемический зоб - патологическое разрастание щитовидной железы при хроническом дефиците йода, для предотвращения его появления достаточно употреблять йодированную поваренную соль. Психотерапевты и неврологи отмечают, что почти 50% депрессий начинается в результате плохой работы щитовидной железы. При базедовой болезни человек все время хочет есть, но не набирает вес, поскольку один из эффектов щитовидной железы - влияние на термогенез (митохондрии начинают вырабатывать больше тепловой энергии). Тиролиберин значительно влияет на ЦНС: дополняет действие тироксинов, увеличивает уровень бодрствования, оказывает антидепрессивное влияние, усиливает работу дыхательного центра (вводится недоношенным детям).

Паращитовидные железы

Четыре паращитовидные железы расположены на задней поверхности щитовидной железы, по две на каждой доле. Они вырабатывают **паратиреоидный гормон** (паратгормон), который активирует клетки-остеокласты для вывода кальция из костной ткани в кровь в случае его дефицита по причине незначительной концентрации в пище (что отражается на работе мышц, сердца и нервной системы). В норме работа остеокластов происходит для обновления костной ткани, при активизации паратгормона, они её разрушают, используя как депо кальция. Таким образом, гормон конкурирует с эффектами витамина D, усиливающего всасывание кальция в кишечнике и его отложение в костях, активизируя остеобласты - основные клетки костной ткани. Конкуренция паратгормона и витамина D определяет "круговорот" кальция в костях. Если паратгормон начинает побеждать, то возникает остеопороз - возрастное эндокринное нарушение, снижение прочности частей скелета. Количество укрепляющих кость изнутри пластинок становятся меньше, сами они - тоньше. Большую опасность представляет перелом шейки бедра, при котором от бедренной кости отделяется часть, входящая в состав бедренного сустава. Такой перелом тяжело

зарастает, гипс в данной зоне наложить невозможно, операция показана не в любом возрасте. Таким образом, нарушение деятельности паратгормона является важным фактором риска возрастных изменений скелета человека.

Гормон роста

Ученые долгое время считали, что гормоном роста является выделяемый передней долей гипофиза гормон, но было определено, что его основная функция - быть тропным гормоном. **Соматотропный гормон** (гормон роста - GH, СТГ; 191 аминокислота) активирует выделение печенью IGF-1 - **инсулиноподобный фактор роста**, "истинный гормон роста" (70 аминокислот), который вместе с GH определяет рост скелета, мышц и конечный рост (размер тела) человека, а также влияет на активацию обмена веществ. Гипоталамус оценивает концентрацию гормона роста и IGF-1, изменяя баланс между выделением статина (уменьшение количества СТГ; 14 аминокислот) и либерина (увеличение количества СТГ; соматолиберин - GHRH = соматотропин-релизинг фактор; 44 аминокислоты). Данная система работает в период роста тела человека, которое завершается у женщин к 17 - 18 годам, у мужчин к 20 - 22 годам. Нарушение её работы приводит к карликовости (рост менее 130 см), избыточная активность, например, при опухоли передней доли гипофиза - к гигантизму (до 2 м 70 см). В настоящее время соматотропный гормон создается с помощью генной инженерии, его производят культуры кишечной палочки. Это позволяет применять СТГ в случае задержки роста у детей. Соматостатин снижает многие обменные процессы в организме человека и является конкурентом тироксина: снижение пищевой мотивации, уровня эмоциональности, болевой чувствительности, бодрствования. Кроме гипоталамуса он выделяется дельта-клетками островков поджелудочной железы. Если выработка СТГ превышает норму у взрослого или пожилого человека (доброкачественная опухоль передней доли гипофиза), то развивается акромегалия, которая приводит к реакции ещё способных расти тканей человека: укрупнение черт лица, деформация грудной клетки, увеличение кистей и ступней, внутренних органов, возникают головные боли, чрезмерное потоотделение, прибавка веса, сахарный диабет и др.

Надпочечник

Надпочечник включает корковую и мозговую часть, по сути две разные железы:

- **мозговая часть** - состоит из клеток того же происхождения, что и клетки симпатических ганглиев. К клеткам мозговой части подходят симпатические волокна, запускающие секрецию **адреналина** (80%) и **норадреналина** (20%), которые действуют на внутренние органы через те же механизмы, что и симпатическая нервная система, обеспечивая поддержку в ситуации стресса и пролонгируя его эффекты. Сигналы симпатической нервной системы передаются из спинного мозга к органу не при помощи аксона центрального нейрона, а переключаются в симпатических ганглиях, нейроны которых используют норадреналин для дальнейшего влияния на органы. Длительное удержание высокой частоты сердечных сокращений и тонуса сосудов - "заслуга"

мозгового вещества надпочечников. Из-за его избыточной работы длительный стресс может привести к гипертонии.



Рис. 13.5. Корковое и мозговое вещество надпочечника и выделяемые ими гормоны

- **корковая часть** - управляется по стандартам гипоталамо-гипофизарного пути:
 - **АКТГ** - аденокортикотропный гормон под управлением гипофиза;
 - **кортиколиберин** - под управлением гипоталамуса;
 - **минерало-кортикостероиды** - имеют стероидное происхождение (из холестерина), регулируют обмен калия и натрия в почках (альдостерон);
 - **глюкокортикоиды** - кортизол, который управляет обменом глюкозы в организме: выброс из запаса гликогена в печени при стрессе плюс образование из других питательных веществ (жиров); повышенное количество кортизола (хронический стресс) приводит к подавлению иммунной системы.

Выделение глюкокортикоидов усиливает **кортикотропин** = аденокортикотропный гормон (АКТГ), выделение которого активирует кортиколиберин. Кортизол тормозит выброс АКТГ и кортиколиберина. Таким образом, работает система с отрицательными обратными связями, которые позволяют сдерживать избыточный стресс. В целом глюкокортикоиды перестраивают обмен веществ на усиленное потребление энергии, сопровождая эффекты симпатической нервной системы и адреналина. Кроме того, при длительном стрессе они тормозят активность иммунной системы и развитие воспаления, что позволяет использовать их как противовоспалительные препараты. Концентрация кортизола в крови наиболее четко указывает на уровень хронического стресса.

- **кратковременный стресс** - главный центр, реагирующий на стресс - гипоталамус посылает сигналы через симпатическую нервную систему (центральные нейроны спинного мозга), возникает реакция мозгового вещества надпочечников, приводящая к выделению адреналина и норадреналина;

- **хронический стресс** - под влиянием выделяемого гипоталамусом кортиколиберина в передней доле гипофиза появляется АКТГ и влияющий на энергообмен кортизол.

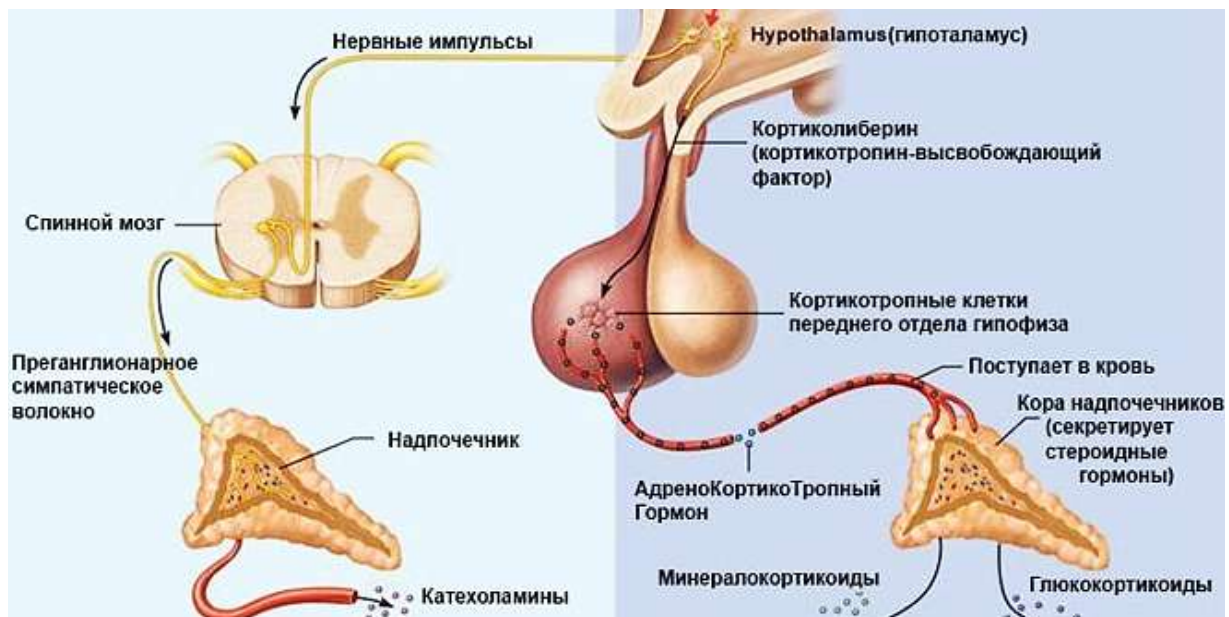


Рис. 13.6. Кратковременный стресс (слева), хронический стресс (справа)

При недостаточной деятельности коры надпочечников у одного из 25 тыс. человек развивается аддисонова болезнь, характерными признаками которой являются: бронзовый оттенок кожи, мышечная слабость, повышенная утомляемость (особенно на фоне стресса), снижение кровяного давления, потеря веса, пигментация слизистых. Причиной данного заболевания могут стать: аутоиммунное поражение коры надпочечников, повреждение химическими агентами, недостаток АКТГ. АКТГ состоит из 39 аминокислот, фрагменты длиной 7 - 10 аминокислот способны проникать в ЦНС, оказывая ноотропное действие: улучшение обучения и памяти, снижение проявлений депрессивности. Кортиколиберин является не только молекулой для передачи гормональных сигналов в эндокринной системе, но и нейромедиатором, связанным с рядом негативных эмоциональных проявлений (тревожность, агрессия), кроме того он снижает пищевую и половую мотивации, стимулирует двигательную активность.

Половые железы

Работу половых желез регулируют два тропных гормона (лютеинизирующий (LH) и фолликулостимулирующий (FSH)), открытых в женской половой системе, что показывают их названия. LH и FSH выделяются под действием **гонадолиберина** (люлиберин, GnRH), влияют на семенники мужчин и яичники женщин, стимулируя образование и созревание половых клеток: сперматозоидов и яйцеклетки в пузырьках фолликул с последующей овуляцией. Половые гормоны оказывают воздействие на работу мозга, формирование первичных и вторичных половых признаков.

- **мужские половые гормоны андрогены - тестостерон и андроген**, являются близкими родственниками, тормозят выделение люлиберина, LH и FSH, активируют сперматосинтез (образование сперматозоидов), определяют их количество и подвижность. У эмбриона по умолчанию развивается женский организм, для формирования половой системы по мужскому типу необходимо, чтобы эмбриональные семенники в конце 3-го месяца дали первый андрогенный сигнал. Позднее они программируют работу передней зоны гипоталамуса, во время пубертата (период полового созревания) определяют формирование вторичных половых признаков: борода, склонность к облысению, усиленный рост волос на теле, удлинение гортани и низкий голос, мощное развитие мышц, склонность к отложению жира в области живота, слабое развитие молочных желез. В ЦНС андрогены влияют на половое влечение (усилие либидо), половое поведение, агрессивность.
- **женские половые гормоны:**
 - **эстрогены** - подготавливают созревание яйцеклеток, запускают процессы овуляции и стабилизируют их, усиливают сокращение яйцеводов, определяют формирование вторичных половых признаков: высокий голос, отсутствие бороды, склонность к отложению запасов жира в области бедер, развитие необходимых для лактации молочных желез и др. В ЦНС эстрогены влияют на половое и родительское поведение;
 - **прогестерон** - обеспечивает готовность матки к имплантации эмбриона и дальнейшее течение беременности.

Разделение на мужские и женские половые гормоны является условным, поскольку в организме каждого человека в определенной пропорции присутствуют и андрогены, и эстрогены. Более того, половые гормоны выделяются не только семенниками и яичниками, но и корой надпочечников. Стероидные гормоны, проникая сквозь мембрану клетки, действуют на ядерные рецепторы, что приводит к длительному программирующему действию, в том числе на уровне развития вторичных половых признаков и изменения функционирования мозга, связанного с уровнем либидо и заботой о потомстве. Значимым для работы нервной системы гормоном является релизинг-фактор гонадотропинов - пептит люлиберин, который активирует половое поведение, повышает эмоциональность, улучшает обучение. Уровень люлиберина определяется активностью подкожной жировой клетчатки, которая выделяет гормон лептин. Люлиберин понижен у девушек при нервной анорексии и избыточных физических нагрузках (спорт, балет), возможным последствием являются прекращение цикла созревания яйцеклетки и возникновение проблем нервной системы. Таким образом, избыточная худоба не приветствуется эндокринной системой человека.

Лекция 14. Эндокринная система. Часть 2

Гипоталамо-гипофизарная система

В ходе предыдущей лекции были рассмотрены: связка гипоталамус, гипофиз (тропные гормоны), а также конкретные эндокринные железы.

- **соматотропный гормон (СТГ)** - активирует выделение из печени истинного гормона роста;
- **тиреотропный гормон (ТТГ)** - активирует образование щитовидной железой тироксинов;
- **адренокортикотропный гормон (АКТГ)** - влияет на выделение корой надпочечников кортикостероидов, в первую очередь кортизола;
- **фолликулостимулирующий (ФСГ)** и **лютеинизирующий (ЛГ)** гормоны - отвечают за созревание половых клеток и образование половых гормонов;
- **лактотропный гормон (ЛТГ, пролактин)** - связан с созреванием молочных желез и выработкой молока.

Передняя доля гипофиза - **аденогипофиз**, задняя - **нейрогипофиз**, между ними находится небольшая промежуточная зона:

- **аденогипофиз** - работа аденогипофиза, выделяющего под влиянием гипоталамуса все вышеперечисленные гормоны, была рассмотрена на предыдущей лекции. Воздействующие на аденогипофиз нервные клетки находятся в центральной части гипоталамуса (серый бугор), их аксоны опускаются вниз и выделяют в двойную капиллярную сеть статины и либерины. Гормоны с током крови достигают передней доли аденогипофиза и влияют на выделение тропных гормонов и гормоноподобных регуляторов эндорфинов (пептиды), в значительной степени определяющих фоновый уровень болевой чувствительности (рис. 14.1.).
- **промежуточная зона** - вырабатывает меланоцитстимулирующий гормон (МСГ), от которого зависит базовая активность меланоцитов, то есть цвет кожи, присущий человеку, благодаря ДНК родителей;
- **нейрогипофиз** - вырабатывает окситоцин и вазопрессин; нейроны передней части гипоталамуса, где находятся паравентрикулярное и супраоптическое ядра, направляют аксоны непосредственно в нейрогипофиз и выбрасывают гормоны в кровь.

Клетки серого бугра и передней части гипоталамуса относятся к категории нейроэндокринных клеток - нейронов, проводящих по аксонам молекулы гормонов и выбрасывающих их при появлении электрического импульса. При этом выброс идет не в синапс, а с наружной части эндотелия, после чего гормон проходит эндотелиальный покров капилляра, попадает в кровоток и разносится по организму.

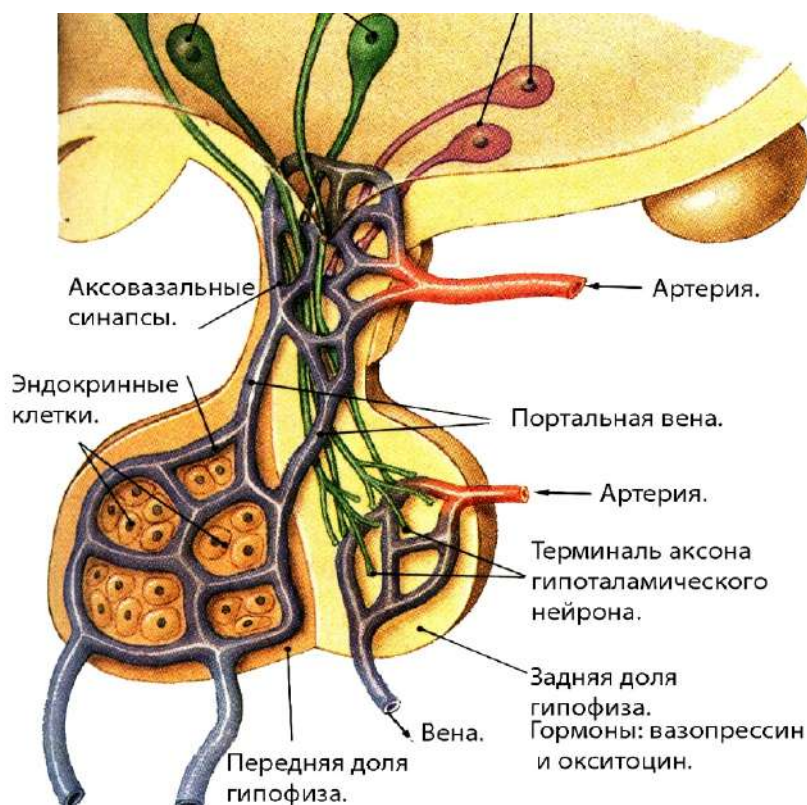


Рис. 14.1. Гипоталамо-гипофизарная система

Молочная железа

Молочная железа является экзокринной железой, производной потовых желез. Она имеет альвеолярную структуру: ветвящиеся протоки с полостями на концах, эпителиальные клетки которых способны выделять молоко. Молоко является не только источником питательных веществ для младенца, но и содержит антитела и гормоноподобные факторы. Развитие молочных желез и их окончательное созревание осуществляются под управлением **пролактина** - гормона, связанного с лактацией (лат. lactis - молоко): во время первой беременности пролактин вызывает в молочной железе развитие секреторных клеток альвеол, долек, протоков. Момент родов является для молочной железы сигналом к выработке молока, далее каждый акт кормления ребенка (механическая стимуляция соска) приводит к передаче нервного сигнала в гипоталамус, в результате активируется выделение пролактина и окситоцина, которые усиливают лактацию. Главная функция окситоцина (когда речь идет о его периферических эффектах) - усиление сокращения гладких мышечных волокон, он воздействует на протоки молочных желез, заставляя их сокращаться для продвижения потока молока. Таким образом возникает нейроэндокринная дуга.

Родительское поведение

Пролактин и окситоцин активируют центр материнского поведения (родительская забота), находящийся в передней части гипоталамуса, при этом у матери возникает поток положительных эмоций. Пролактин - крупная белковая молекула (200

аминокислот), его появление в эволюции наблюдается уже у некоторых видов рыб, которые проявляют заботу о потомстве: строят гнезда, охраняют икру и мальков.

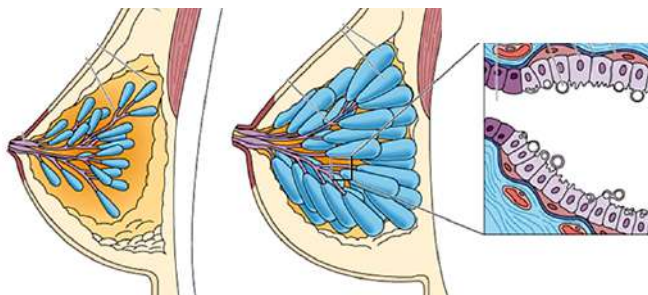


Рис. 14.2. Молочная железа: слева - неактивная, справа - во время лактации

Направленное на воспроизводство поведение - важнейшая биологическая задача каждого организма. Центр родительского поведения также реагирует на зрительные и слуховые сигналы, мозг человека врожденно "знает" как выглядит детеныш: большая голова, большие глаза, округлость и пушистость, специфические звуки и запахи (феромоны). Поток информации детектируется затылочной корой, сигналы поступают в передний гипоталамус и человек испытывает умиление. Данный эффект используют производители мягких игрушек и создатели мультипликационных персонажей. Отметим, что фенотип кошек напоминает фенотип детеныша вообще. Описанный механизм является генетически детерминированным механизмом психической деятельности. Когда человек начинает взаимодействовать с ребенком, его мозг обучается тому, как это делать эффективнее и получать от взаимодействия положительные эмоции. В ситуации несрабатывания запуска родительской заботы возникает послеродовая депрессия, которая часто является следствием гормональных сбоев, связанных с пролактином или прогестероном.

Гормоны, выделяемые задней долей гипофиза

Окситоцин вырабатывается передней частью гипоталамуса, выделяется в задней доле гипофиза, является пептидом (9 закрученных в кольцо аминокислот). Он был открыт как молекула, запускающая сокращения гладкомышечных клеток матки (роды) и протоков молочных желез (лактация). В ЦНС окситоцин и его фрагменты при высоких концентрациях способны ухудшать обучение и память ("плохо помню роды"). В настоящий момент на уровне нервной регуляции данный гормон рассматривается как главный фактор, по сути нейромедиатор, формирующий привязанность вообще: любовь, семейные и дружеские отношения, взаимодействие с домашними животными, эффекты прикосновения и поглаживания. Биологическая ветвь эволюции приматов является тактильной: прикосновения в обезьяньей стае говорят её членам о том, что они вместе преодолевают опасности и являются дружелюбными по отношению друг к другу существами. Окситоцин - важный лекарственный препарат, применяемый для коррекции расстройств аутистического спектра.

Вазопрессин - антидиуретический гормон (АДГ), выделение которого связано с работой расположенного в гипоталамусе центра жажды, постоянно оценивающего

концентрацию минеральных солей в крови (прежде всего NaCl). Влияя на усиление обратного всасывания воды в нефронах почек, вазопрессин способствует уменьшению количества вторичной мочи (антидиурез). Если концентрация солей в организме человека растет, то это означает, что он давно не пил, следовательно, необходимо экономить воду, для чего усиливается выделение вазопрессина, моча становится более концентрированной (повышается риск образования камней), параллельно возникает жажда. Таким образом, на уровне внутренних органов осуществляется экономия воды, на уровне поведения - её поиск, который также связан с вазопрессином: в ЦНС гормон и его фрагменты улучшают обучение и память (запомнить дорогу к водопою). Окситоцин и вазопрессин - химические "родственники", гормоны состоят из 9 аминокислот, различаются в двух из них, при этом решают разные задачи, что говорит о том, что даже небольшие химические модификации способны кардинально менять физиологическую активность и значимость той или иной молекулы.

Гормоны, связанные с работой почек

Важное условие эффективной работы нефронов почек - адекватное давление протекающей сквозь них крови. На входе в почечные артериолы давление должно быть довольно высоким, его показатели измеряет юктагломерулярный аппарат (ЮГА). Низкое давление приводит к ухудшению фильтрации крови и отравлению организма отходами. В случае падения показателя ниже 100 мм ртутного столба ЮГА запускает выделение фермента ренин, воздействующего на белок-предшественник ангиотензиноген, который вырабатывается печенью и находится в крови. Ангиотензиноген постепенно превращается в сжимающий сосуды **ангитензин II** (др. греч. ангио - сосуд, лат. tensio - напряжение, тонус), соответственно, снижается просвет, прежде всего мелких артерий, что поднимает кровяное давление. Второй эффект ангиотензина - воздействие на кору надпочечников и усиление выделения **альдостерона** (минералокортикоид), который усиливает обратное всасывание натрия, возвращающегося таким образом в кровь, что также поднимает сначала осмотическое давление, а потом усиливает всасывание воды из тканей, в итоге возникает чувство жажды. Таким образом, описанный механизм направляет поведение человека на обеспечение дополнительной водой, чтобы увеличить кровяной объем, а значит и кровяное давление. Влияние на синтез ангиотензина оказывает ангиотензинпревращающий фермент, что позволяет контролировать гипертонию.

Эпифиз

Эпифиз - шишковидная железа, находящаяся в верхней задней части промежуточного мозга. Эпифиз вырабатывает мелатонин (производная аминокислоты триптофан), который обладает эффектами, противоположными эффектам тироксинов: снижение интенсивности обмена веществ, понижение температуры тела. Для образования мелатонина большое значение имеет освещенность:

- **на свету** - когда у человека открыты глаза и поступает довольно значительный световой поток, специальные нервные клетки гипоталамуса передают сигнал в

спинной мозг к центрам симпатической нервной системы, которая блокирует активность эпифиза, что приводит к прекращению выделения мелатонина;

- **в темноте** - пропадает активирующее действие симпатической нервной системы на эпифиз, который начинает образование мелатонина.

Выработка гормона имеет суточный ритм и управляется "биологическими часами" человека - **супрахиазменными ядрами** гипоталамуса, находящимися напротив перекреста зрительных нервов (зрительная хиазма). Внутри супрахиазменных ядер присутствуют нервные клетки, которые активны днем (передают сигналы к центрам бодрствования), и нервные клетки, которые активны ночью (передают сигналы к центрам сна). Мелатонин и кортизол - два гормона, у которых наиболее ярко выражены суточные колебания уровня:

- **кортизол** - влияет на обмен глюкозы и помогает пробуждению, пик образования гормона - с 8 утра до 12 дня;
- **мелатонин** - гормон сонного состояния, используется для облегчения засыпания, пик образования - с полуночи до 3 часов ночи; для эффективного восстановления сил человеку рекомендуется спать в этот интервал времени.

Совместное действие данных гормонов приводит к тому, что деятельность многих органов (кишечник, печень, почки) также приобретает суточную активность, что позволяет организму перераспределять ресурсы.

Поджелудочная железа

Строение и функции поджелудочной железы были подробно рассмотрены в лекции, посвященной работе пищеварительной системы человека. Поджелудочная железа является железой смешанной секреции:

- **экзокринная функция** - орган имеет альвеолярную структуру, клетки ацинусов, из которых собраны альвеолы, выделяют будущие пищеварительные ферменты в проток для их последующего переноса в кишечник;
- **эндокринная функция** - из клеток поджелудочной железы 5 - 10% являются островками Ларгенганса (скоплениями клеток); "остров" от лат. *insula*, поэтому вырабатываемый клетками гормон был назван **инсулин**, гормоны **глюкогон** и **соматостатин** были открыты позднее.

Поджелудочная железа следит за концентрацией глюкозы в крови, когда она поднимается выше 0,1%, начинается выброс инсулина, который позволяет органам и тканям захватывать глюкозу (печени - запасать в форме гликогена), включаются белки-насосы (транспортёры), которые качают глюкозу в цитоплазму. До этого момента приоритет потребления у нейронов мозга. Если концентрация глюкозы опускается ниже 0,1%, то поджелудочная железа начинает выделять глюкагон, который дает команду печени выбросить запасенную глюкозу в кровь. Поскольку в это время инсулин уже не выделяется, то глюкоза поступает только в мозг, при этом у человека возникает чувство голода.

Инсулин - два пептида (30 аминокислот + 21 аминокислота)

- **1922 год** - значимость инсулина была обнаружена в начале XX века, в 1922 году осуществлены первые попытки инъектировать его сельскохозяйственным животным;
- **1923 год** - присуждение Нобелевской премии;
- **1953 год** - расшифровка структуры инсулина;
- **1978 год** - появление ГМО-инсулина: в ДНК дрожжевых клеток и кишечных палочек был введен инсулин человека для дальнейшего воспроизводства;
- **с 1980 года** - ГМО-инсулин начинает применяться в клинической практике.

Использование инсулина животных не совсем подходит для лечения человека, так как иммунная система может обнаружить чужеродность пептида, что приведет к аллергической реакции (минимально отличается инсулин свиней). Инсулин необходимо вводить инъекционно (при помощи шприца), поскольку пептидная молекула таблетированной форме будет разрушаться. Отметим, что до настоящего времени про инсулиновую регуляцию известно далеко не все. Недавно было определено, что кроме глюкозы секрецию инсулина усиливает глюконподобный пептит (ГПП I), секретируемый стенкой кишечника в ответ на появление жирных кислот и глюкозы. ГПП используется как лекарственный препарат при диабете и необходимости контроля веса.

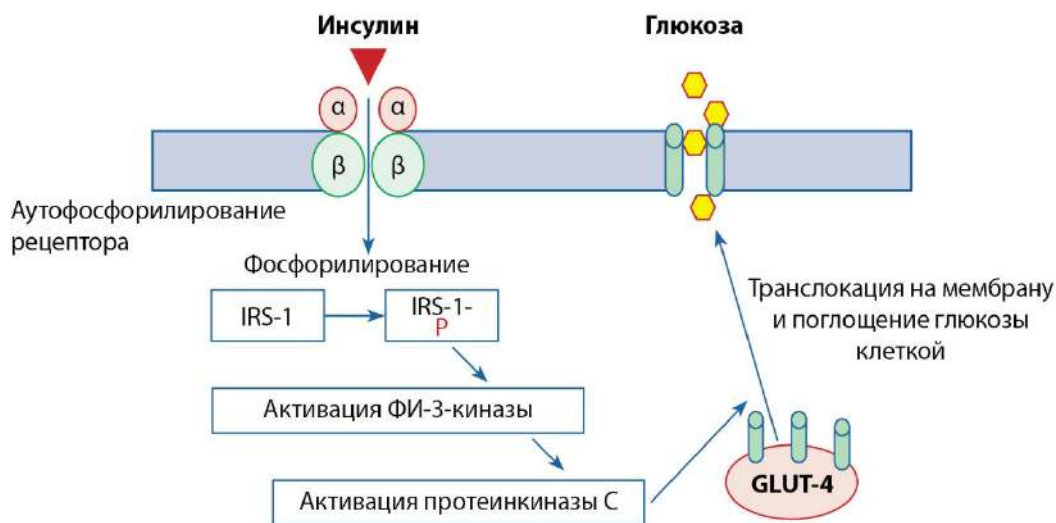


Рис. 14.3. Механизм действия инсулина

Через рецептор в мембране инсулин (первичный посредник) запускает в цитоплазме клетки цепочку химических реакций, которая приводит к появлению вторичных посредников - молекул, продолжающих передачу сигнала. До поступления инсулинового сигнала транспортные белки (GLUT-4) плавают в состоянии готовности, после "команды" вторичного посредника они всплывают на мембрану клетки, захватывают глюкозу и переносят её в цитоплазму.

Диабет

С системой поджелудочной железы связаны разные варианты заболевания сахарный диабет, при котором концентрация глюкозы в крови настолько повышается, что она остается во вторичной моче. Обобщенно разделяют:

- **сахарный диабет I типа** - встречается у 1 - 2% населения, как правило, возникает в молодом возрасте, иногда сразу после рождения; причины возникновения: генетические факторы и воспалительные процессы в поджелудочной железе; характерно быстрое развитие заболевания; необходима заместительная терапия - постоянное введение инсулина;
- **сахарный диабет II типа** - встречается у 8 - 10% населения, возникает в любом возрасте, но чаще после 40 лет; поскольку население Земли стареет, то увеличивается процент страдающих диабетом II типа; развивается медленно; причины возникновения: переедание, накопление лишнего веса, снижение активности половых гормонов (тироксин), недостаточная физическая активность. При переедании в крови образуется высокая концентрация глюкозы, сокращается количество рецепторов инсулина на мембране клеток, в итоге клетки постепенно менее эффективно захватывают глюкозу. Лечение: радикальное изменение образа жизни, щадящая диета, повышение физической активности, при тяжелых формах - прием агонистов ГПП-1.

В тяжелом варианте диабет может радикально ухудшить жизнь человека, поскольку приводит к серьезному нарушению стенок сосудов, которое, в свою очередь, приводит к тромбированию, инсульт подобным явлениям.

Гипоталамус

Гипоталамус содержит:

- **центры пищевой и питьевой потребностей** - в средней части: гормоны - вазопрессин (жажда), инсулин (голод);
- **центры полового и родительского поведения** - передняя зона, воздействие половых гормонов: пролактин, окситоцин;
- **центры страха и агрессии** - задняя часть, управляется работой надпочечников: кортизол, адреналин.

Центр голода находится в латеральном ядре гипоталамуса, пищевого насыщения - в вентромедиальном. Центры конкурируют, как и другие структуры мозга при решении важных задач: центр сна и центр бодрствования, положительных эмоций и отрицательных эмоций, центр вдоха - выдоха. Центры насыщения и голода воспринимают дополнительные сигналы от молекул в кровотоке:

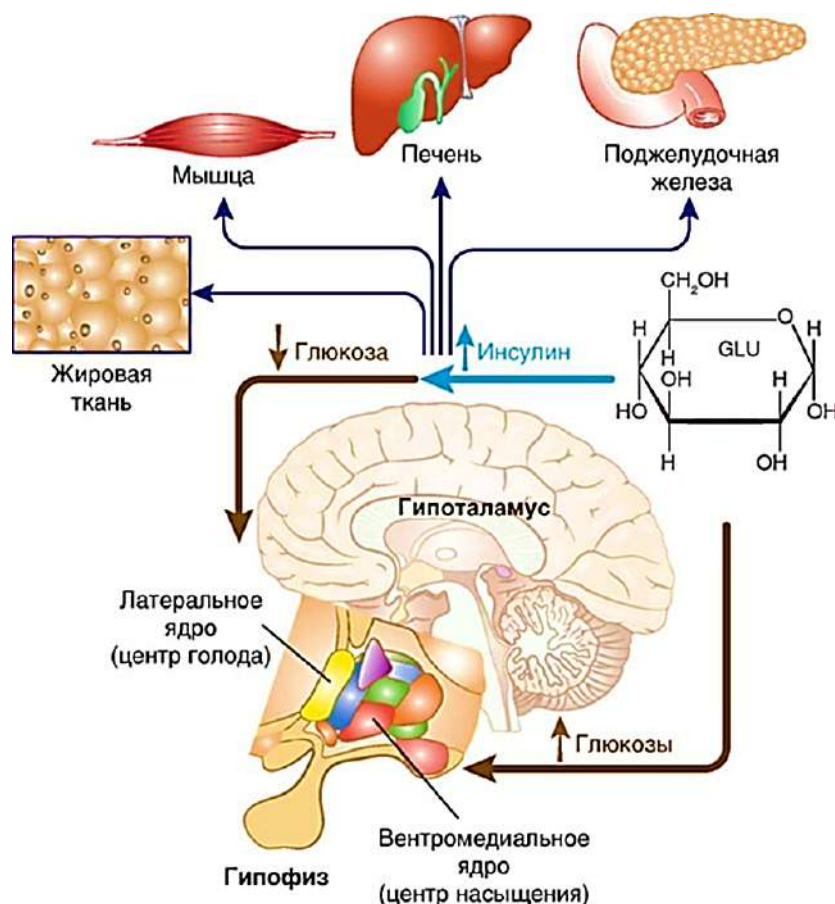


Рис. 14.4. Механизм работы центров насыщения и голода

- **центр голода** - оценивает концентрацию глюкозы, базовый уровень которой в плазме крови составляет около 0,1%; если он меньше, то у человека возникает чувство голода, если больше - насыщения; наличие (насыщение) или отсутствие (голод) инсулина; информацию от рецепторов растяжения стенок желудка. Разрушение центра вызывает у животного потерю аппетита, его стимуляция - потребление пищи даже сытым животным, при незрелости отсутствует чувство голода;
- **центр насыщения** - тормозится при снижении уровня глюкозы и инсулина в крови, происходит активация пищевой потребности и возникновение пищевой мотивации; из средней части гипоталамуса сигнал поднимается в кору больших полушарий, человек ощущает голод и начинает поиск еды. При инсульте в данной зоне у человека возникает сильное чувство голода и быстрый набор веса (мексиканец Мануэль Урибе - вес 587 кг).

Конкуренция центров насыщения и голода отражает конкуренцию процессов **анаболизма** (синтез, накопление и рост) и **катаболизма** (разрушение и выделение энергии). От взаимодействия данных процессов зависит конечная масса тела человека. Проблема веса в настоящее время является актуальной, поскольку пища стала более доступной и дает положительные эмоции. Большое количество людей набирает

избыточный вес, особенно с возрастом. С данной проблемой можно бороться, снижая ввод калорий в организм, либо повышая затраты (меньше есть - больше двигаться). В борьбе с лишним весом человеку помогает жировая ткань (подкожная жировая клетчатка, ткань вокруг внутренних органов), производящая гормон **лептин**, которой доходит до мозга, снижает процессы анаболизма и подтормаживает центры голода, а также активирует процессы катаболизма, то есть делает организм направленным на затраты энергии (движения, термогенез). Данный механизм был значим в эволюции обезьян, потому что большой вес представлял опасность: падение с ветки, невозможность убежать от врага. С возрастом липтиновая система становится менее надежной, если лептин генетически сломан, то ребенок начинает набирать вес сразу.

На процессы анаболизма и катаболизма влияют:

- гормон **грелин** - выделяется стенками "пустого" желудка; если препятствовать его эффектам, то людям будет легче контролировать аппетит, существует идея вакцинации против грелина;
- **пептид орексин** - влияет на потребление пищи и на уровень бодрствования;
- **серотонин** - молекула с гормональными свойствами, по химической структуре похожа на мелатонин (также синтезируется из триптофана), является важным нейромедиатором мозга, помогает снять негативные эмоции, сужает сосуды, выделяется из тромбоцитов при образовании тромба;
- **меланокортины; нейропептид Y**;
- гормоны щитовидной железы (тироксины); кортикостероиды (особенно глюкокортикоиды); адреналин и норадреналин; половые гормоны; гормон роста - расход энергии; мелатонин, соматостатин - экономия энергии.

Гормоны желудочно-кишечного тракта и кровеносной системы

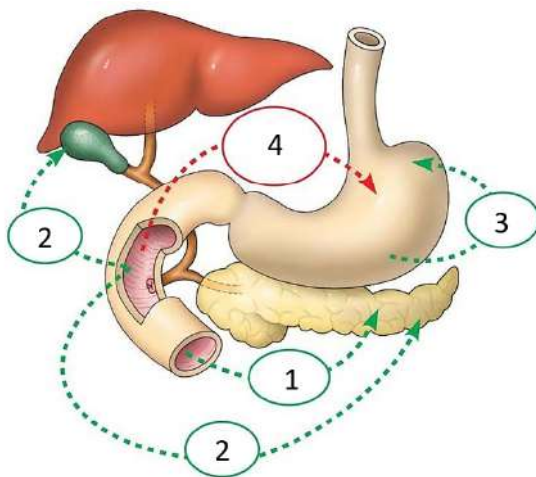


Рис. 14.5. Гормоны желудочно-кишечного тракта: 1 - секретин, 2 - холецистокинин, 3 - гастрин, 4 - энтерогастрон

Гормоны ЖКТ необходимы для обмена информацией между его разными участками:

- **секретин** - выделяется 12-перстной кишкой, влияет на поджелудочную железу и желудок (тормозит секрецию);
- **холецистокинин** - выделяется 12-перстной кишкой, влияет на желчный пузырь и желудок, тормозя его секрецию; таким образом 12-перстная кишка не только активирует следующее звено ЖКТ, но и тормозит предыдущее;
- **гастрин** - гормоноподобный регулятор, выделяющийся при попадании пищи в желудок и растяжении его стенок, дает команду о выбросе соляной кислоты и пищеварительных соков;
- **соматостатин** - выделяется островковыми клетками поджелудочной железы, в головном мозге, тормозит выработку соматотропного гормона, в ЖКТ - активность различных отделов.

Гормоны, связанные с кровеносной системой:

- **эритропоэтин** - выделяется почками, усиливает образование красных клеток крови;
- **тромбопоэтин** - выделяется печенью, усиливает образование тромбоцитов;
- **гормоноподобные факторы** - цитокины - первичные посредники иммунной системы; тимус в рамках школьной программы рассматривается как эндокринная железа, но является органом иммунной системы; выделяемые им цитокины передают сигналы между лимфоцитами и фагоцитами разных типов, тучными клетками, киллерами и т.д.

Лекция 15. Половая система, размножение

Мужская половая система

В ходе данной лекции первым будет рассмотрено устройство мужской половой системы, главной задачей которой является производство половых клеток (гамет), половых гормонов и обеспечение процесса оплодотворения. В случае женской половой системы главные задачи - формирование плаценты, вынашивание эмбриона и роды.

Компоненты мужской половой системы:

- **наружные половые органы** - половой член и механизмы эрекции;
- **железы и протоки** - ключевую роль играют парные семенники (яички), которые производят сперматозоиды; предстательная железа (простата), семенные пузырьки и бульбоуретральная железа.

Функции предстательной и других желез:

- выделение вспомогательных секретов, поддерживающих жизнеспособность сперматозоидов и их высокую подвижность;
- выработка веществ, регулирующих кровоснабжение тазовых органов и процесс эрекции, необходимый для эффективного оплодотворения.

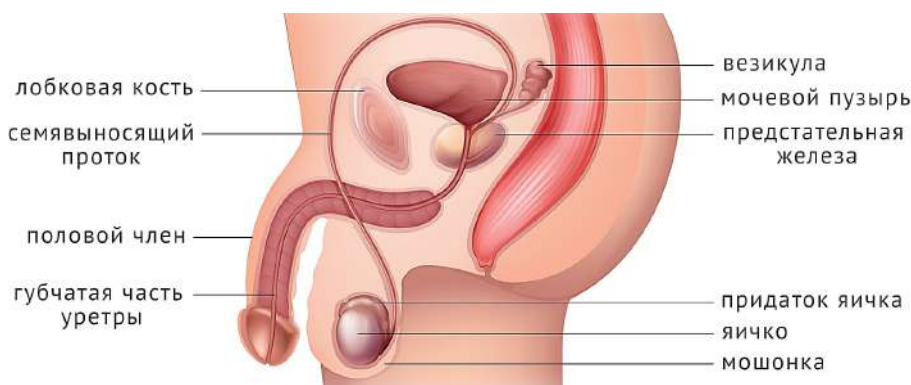


Рис. 15.1. Строение мужской половой системы

Семенники

Семенники - округлые образования (4 - 6 см), расположенные в мошонке вне брюшной полости. Подобное строение характерно для млекопитающих и предназначено для создания немного пониженной температуры (на 2 - 3°C) по сравнению с температурой тела, что важно для нормального течения сперматогенеза. Снаружи семенники покрыты плотной оболочкой, на её задней части находится утолщение, от которого уходят перегородки, делящие их на дольки, содержащие около тысячи семенных канальцев, в стенках которых постоянно образуются сперматозоиды. Стенки семенного канальца имеют специфическое строение: сперматогонии - исходные клетки (диплоидные) постоянно делятся митозом, часть из них вступает в мейоз и через

стадию сперматоцитов и сперматидов (окончательно гаплоидные клетки) постепенно превращаются в сперматозоиды (рис. 15.2., слева).

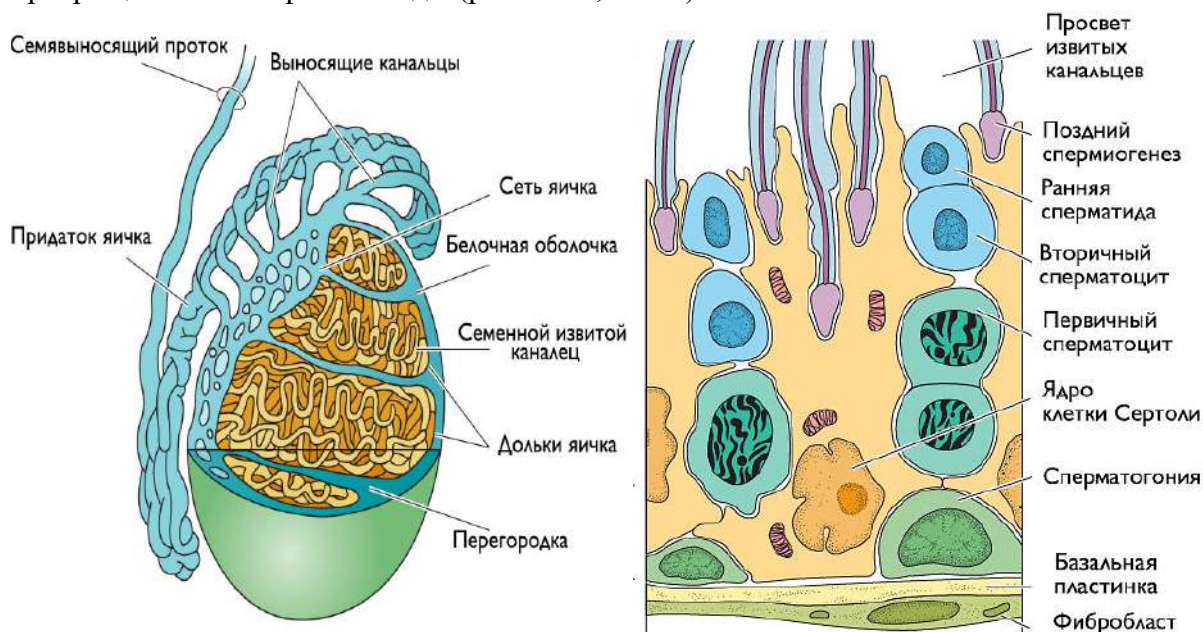


Рис. 15.2. Слева - строение семенников, справа - строение стенки канальцев семенников

За питание развивающихся гамет отвечают крупные клетки Сертоли, клетки Лейдига дают половые гормоны, прежде всего андроген и тестостерон, обеспечивающие процесс созревания сперматозоидов. Образование жгутика происходит на стадии окончательного созревания, когда сперматиды становятся сперматозоидами на той стороне клетки Сертоли, которая обращена в просвет канальца. Весть процесс образования сперматозоида занимает около 70 дней, далее они по системе канальцев транспортируются в семявыводящий проток, где смешиваются с семенной жидкостью, которая вырабатывается предстательной железой и семенными пузырьками. Стандартный объем выбрасываемой при половом акте спермы составляет 2 - 5 мл, в каждом миллилитре содержится около 20 млн. сперматозоидов. Длина сперматозоида - около 60 мкм.

Сперматозоид

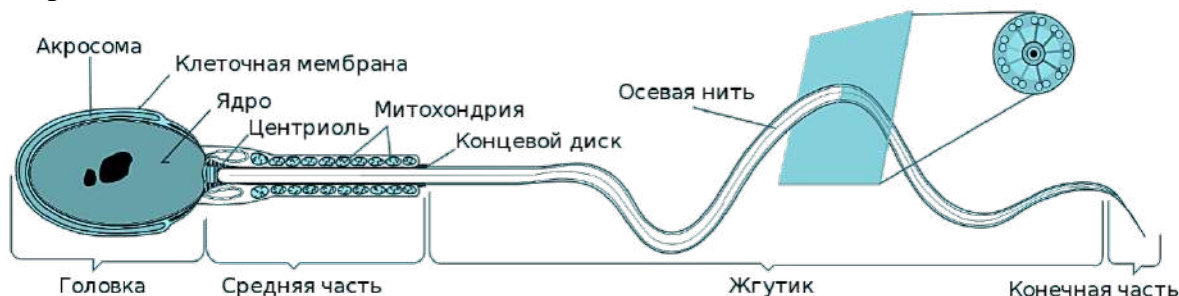


Рис. 15.3. Строение сперматозоида

- **уплощенная головка** - длина 5 мкм, ширина 3, толщина - 2, содержит гаплоидное ядро и акросому (крупная лизосома), наполненную пищеварительными ферментами, которые будут использованы если сперматозоид доберется до яйцеклетки для разрушения её оболочки;
- **шейка** - 5 мкм, содержит центриоли;
- **промежуточный отдел с митохондриями**, обеспечивающими движение жгутика энергией;
- **жгутик** - около 50 мкм, необходим для передвижения.

Женская половая система

- **яичники** - парные половые железы (3,5 на 2 см) образуют половые клетки (яйцеклетки) и гормоны, расположены в области таза, состоят из внутреннего (мозгового слоя) и наружного (коркового), в котором происходит созревание яйцеклеток;
- **фаллопиевы трубы (яйцеводы)** - начинаются рядом с яичником, вплотную к нему образуют воронку с реснитчатым эпителием, захватывающую яйцеклетку после овуляции. Воронка открывается в тазовую полость, поэтому существует небольшая вероятность, что яйцеклетка не попадет в маточную трубу. Если она при этом будет оплодотворена, то возникает риск внематочной беременности. Конец фаллопиевой трубы впадает в матку, движение зиготы по ней занимает около недели. Неоплодотворенная яйцеклетка живет 1 - 2 дня и разрушается.
- **матка** - самый крупный гладкомышечный орган, где будет протекать развитие эмбриона: эндометрий - внутренний слой, внедрение ткани эмбриона и обеспечение формирования плаценты; миометрий (гладкие мышечные клетки) - обеспечение процесса родов; периметрий - наружная оболочка; матка состоит из дна, тела, перешейка и шейки, переходящей во влагалище;

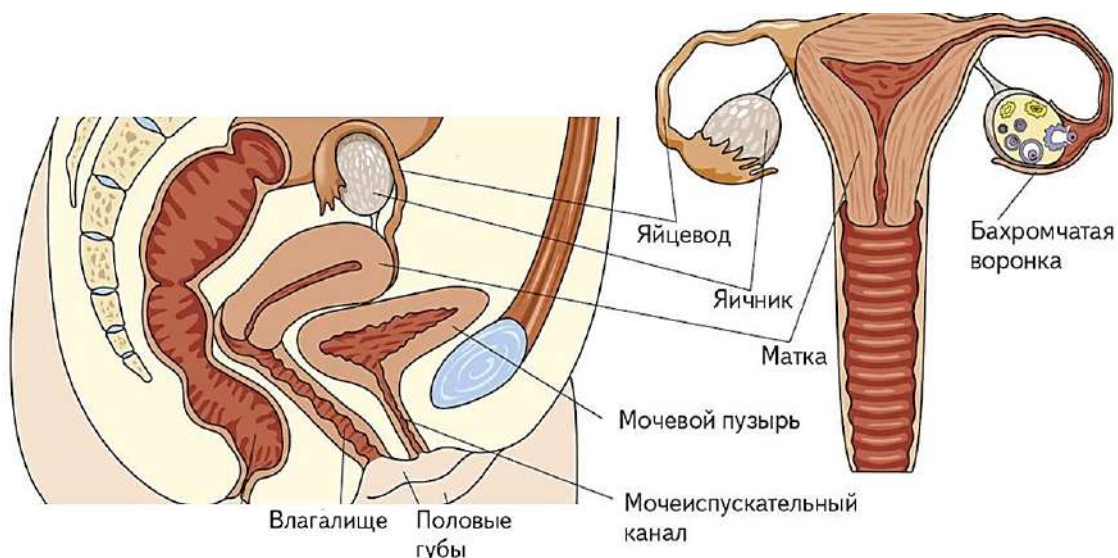


Рис. 15.4. Строение женской половой системы

- **влагалище** - принимает половой член во время полового акта, в результате его повторных движений (фрикции) происходит рефлекторное половое возбуждение партнеров, выброс спермы и сокращение шейки матки (захват сперматозоидов);
- **наружные половые органы** - половые губы и клитор; головка члена и клитор - основные органы, обеспечивающие во время полового акта приток положительных эмоций, которые чувствуют не только люди, но и высшие животные (обезьяны, дельфины).

Цикл созревания яйцеклетки (менструальный цикл)

В начале цикла один из фолликулов под действием фолликулостимулирующего гормона (ФСГ) и лютеинизирующего гормона (ЛГ) аденогипофиза начинает интенсивно развиваться, выделяя эстрогены (снижают выброс ФСГ). В фолликуле находятся оогонии (около 300 тыс.) - будущие яйцеклетки, в отличие от сперматозоидов - не делятся. **Зрелый фолликул (граафов пузырек)** достигает 1 см и лопается, происходит овуляция, яйцеклетка выходит в тазовую полость и захватывается фаллопиевой трубой. Клетки в стенках граафова пузырька превращаются в **желтое тело** - временную эндокринную железу, вырабатывающую гормон прогестерон, необходимый для сохранения слизистой матки (эндометрий) в состоянии готовности к имплантации эмбриона. К моменту овуляции толщина обогащенного сосудами эндометрия становится максимальной.

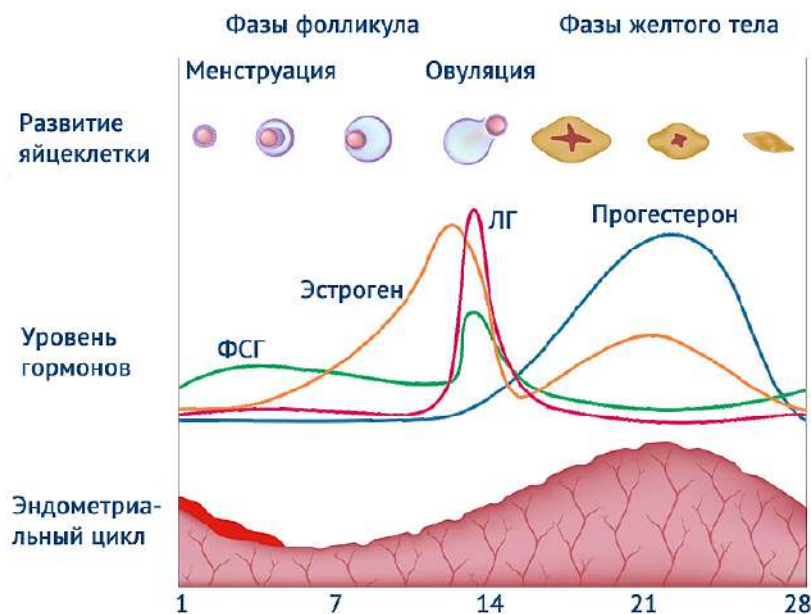


Рис. 15.5. Циклы созревания яйцеклетки, состояния эндометрия и активности гормонов

Если наступает беременность, то функцию прогестерона берет на себя плацента, если внедрение эмбриона не происходит, то желтое тело начинает деградировать, приток прогестерона прекращается, эндометрий отслаивается - происходит менструация. В момент менструации начинается развитие нового фолликула - запускается новый цикл (около 28 дней): 10 дней - нарастание слизистой матки (восстановление), в котором

большую роль играют выделяемые стенками фолликула эстрогены → овуляция → через 14 дней менструация. Гормональное воздействие: обеспечивает месячный цикл созревания яйцеклеток и менструации; прогестерон по химической природе является жироподобной молекулой, возникающей из холестерина (как андрогены и эстрогены); в формирование желтого тела большой вклад вносит ЛГ; овуляторный всплеск ЛГ и ФСГ, позволяющий сформировать желтое тело; в момент внедрения эмбриона возникают дополнительные гормональные сигналы, поддерживающие активное функционирование желтого тела, которое в этом случае не разрушается.

Яйцеклетка

Яйцеклетка имеет диаметр около 130 мкм и является самой большой несинцитиальной клеткой человеческого организма. Отметим, что многоядерные клетки поперечно-полосатых мышц и крупные нейроны вместе с аксоном во много раз превышают её размер. **Строение яйцеклетки:** цитоплазма с запасом питательных веществ, ядро, наружная мембрана, прозрачная "блестящая" оболочка (гликопротеидный слой) - межклеточная область с белковыми молекулами, олиго- и полисахаридными молекулами, лучистый венец - питающий слой фолликулярных клеток, которые образуют один или несколько слоев. В момент прохода первого сперматозоида внутрь яйцеклетки активируется наружный слой цитоплазмы, и кортикальные гранулы сразу после оплодотворения запускают разбухание прозрачной оболочки, что не дает возможность пройти остальным сперматозоидам. Защита от полиспермии необходима, в противном случае яйцеклетка не развивается.

Размножение и эмбриогенез

Овуляция яичников, как правило, идет по очереди, поэтому сперматозоидам необходимо понять, в какую из маточных труб необходимо попасть, для чего яйцеклетка выделяет привлекающие их вещества. Гонка сперматозоидов позволяет определить наиболее эффективный вариант из множества генетических индивидуальностей. Лидер с помощью ферментов акросомы пробивает лучистый венец и прозрачную оболочку, и его генетический материал входит в цитоплазму яйцеклетки, которая в этот момент завершает второе мейотическое деление. Гаплоидное ядро яйцеклетки сливается с гаплоидным ядром сперматозоида, возникает диплоидная зигота, которая способна приступить к делению. Актуальной проблемой бесплодия может быть связана с небольшим количеством сперматозоидов или их малоподвижностью, нарушением процесса овуляции и др. Для её решения в настоящее время осуществляется экстракорпоральное оплодотворение (ЭКО), которое происходит вне тела мужчины и женщины: яйцеклетка прокалывается с помощью тончайшей стеклянной трубочки, внутри которой находится сперматозоид, после оплодотворения начавший развиваться эмбрион помещается в матку женщины.

Развитие эмбриона

В момент деления яйцеклетки образуется **бластоциста** (эмбрион на самой ранней стадии развития), состоящая из: развивающегося из зиготы **эмбриобласта**;

трофобласта - вспомогательных клеток, формирующих зародышевые оболочки, и **полости трофобласта**. Зародыш (бластоцита) через 7 - 8 дней после овуляции погружается в эндометрий, а трофобласт начинает формировать ворсинки **хориона** (будущая плацента), его клетки секретируют белковый гормон хорионический гонадотропин (ХГЧ). Он поддерживает и усиливает работу желтого тела, ещё 2,5 - 3 месяца вырабатывающего прогестерон, который является первым признаком наступления беременности (тест на неё основан на определении наличия в организме женщины данного гормона). К трем месяцам беременности плацента полноценно развивается и начинает выделять большое количество прогестерона, в этот момент желтое тело деградирует.

У зародыша появляются две полости: **амнион** - наполнен околоплодной жидкостью и полностью окружает развивающийся зародыш и **желточный мешок** - не содержит питательных веществ, рудиментарный орган. На следующей стадии развития эмбриона из задней кишки развивается **аллантоис** - эмбриональный мочевой пузырь, который приходит в соприкосновение с хорионом - образуется комплекс, из которого формируется плацента. У млекопитающих продукты обмена веществ уходят через плаценту, у птиц и рептилий аллантоис является очень заметной структурой, поскольку все процессы происходят внутри яйца.

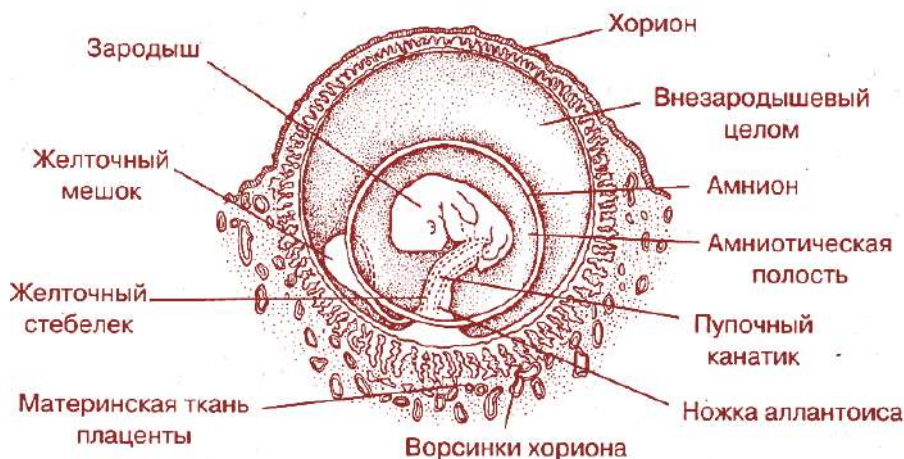


Рис. 15.6. Эмбрион человека и зародышевые оболочки

Эмбрион плавает внутри околоплодной жидкости, с плацентой его связывает пуповина, в которой проходят кровеносные сосуды: пупочная вена, несущая артериальную кровь к эмбриону, и две пупочных артерии, несущих венозную кровь к плаценте. Кровь матери и плода не смешивается, поскольку нет сплетенных сосудов, которые должны были бы разорваться во время родов. **Плацента** является уникальным временным органом, состоящим из тканей эмбриона (ворсинки хориона) и из тканей матери: ворсинки хориона входят в полости эндометрия матки, наполненные материнской кровью, что снижает вероятность серьезного кровотечения при родах. Через плацентарный барьер (5 слоев клеток) проходят: кислород, углекислый газ, вода, питательные вещества, минеральные соли, отходы обмена, антитела (пассивный естественный иммунитет), гормоны. Развитие основных структур плаценты

завершается в конце 3-го месяца беременности, к моменту родов она имеет вид диска диаметром 15 - 20 см и толщиной 3 см, общая площадь ворсинок хориона - 1 м².

Основные этапы развития эмбриона:

- **7 - 8 сутки** - имплантация зародыша в эндометрий;
- **14 сутки** - начало формирования плаценты;
- к концу **8-й недели** - **завершается эмбриональный период** развития: заканчивается закладка основных органов и систем, исчезают жаберные дуги, жаберные щели и хвост (масса 5 г, длина 4 см);
- с **9-й недели** - **начинается плодный период** - происходит развитие и рост всех систем плода;
- **20 недель** - мать начинает ощущать движения плода;
- **24 неделя** - плод вырастает до 30 см, весит 700 гр;
- **40 недель** - завершение пренатального периода: масса ребенка составляет в среднем 3,2 - 3,5 кг, длина тела - 50 см;



Рис. 15.7. Развитие эмбриона

Рождение

В конце пренатального периода ребенку становится тесно у мамы в животе, возникает стресс - активация коры надпочечников, которые выделяют кортизол, под его влиянием нейрогипофиз матери начинает вырабатывать окситоцин. Таким образом, решение появиться на свет принимает организм ребенка. В норме к началу родов плод переворачивается головой вниз. На первом этапе родов происходит разрыв амниотического мешка, в результате отходят околоплодные воды. Под влиянием окситоцина начинаются сокращения матки, раскрывается её шейка, и ребенок по родовым путям выталкивается наружу. Второй этап (выход ребенка) является критичным, поскольку уже начинает отделяться плацента, то есть ухудшается кровоснабжение плода. Если в ходе процесса возникают проблемы, то делается кесарево сечение. После появления ребенка на свет перевязывается и перерезается

пуповина, происходит спазмирование сосудов, поэтому он практически не теряет кровь, затем отделяется плацента. Первые роды у женщины длятся 10 - 20 часов, вторые - более короткое время.

В момент рождения у ребенка появляется самостоятельное дыхание - закрытие овального отверстия между предсердиями новорожденного в момент первого вдоха позволяет расправить легкие и включить малый круг кровообращения. Во время первой беременности происходит созревание молочной железы (развитие альвеол), молоко матери способно полноценно обеспечить рост ребенка, оно содержит все необходимые питательные вещества (лактоза, жиры, белки казеины и альбумины), минеральные соли, антитела и гормоноподобные факторы помогают снизить стресс, нормализовать работу его кишечника. В настоящее время существуют хорошие заменители материнского молока, но грудное вскармливание - важный компонент для формирования здоровья ребенка. Исследования показывают, что при кормлении грудью 8 - 10 мес. коэффициент интеллекта ребенка повышается на 5 единиц. Работа нейроэндокринной рефлекторной дуги в процессе кормления: механическая стимуляция соска приводит к усилению выделения окситоцина и пролактина, запуску лактации, при этом одновременно активируются центр родительской заботы и положительные эмоции. Таким образом мама и ребенок формируют единую систему.

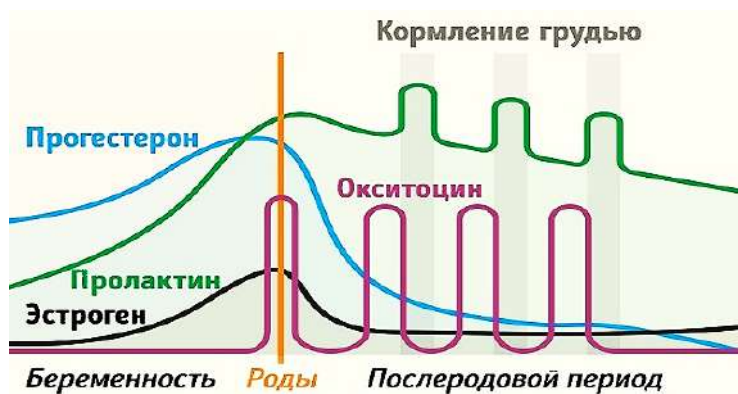


Рис. 15.8. Динамика гормонов в период беременности, родов и кормления грудью

- **окситоцин** - запускает сокращение матки во время родов, далее выделяется при каждом кормлении, является важным фактором установления привязанности;
- **пролактин** - нарастает во время беременности, когда идет созревание молочных желез, пока идет грудное вскармливание уровень гормона остается высоким (пики при каждом кормлении);
- **эстроген и прогестерон** - выделяются в значительном количестве во время беременности, резкое падение концентрации этих гормонов после родов порой не очень хорошо отражается на психологическом состоянии мамы, что может привести к возникновению послеродовой депрессии.

Центры мозга, связанные с либидо и установлением привязанности

Гипоталамус - нижняя половина промежуточного мозга, в передней части которой находятся центры родительского и полового поведения. Центры полового

поведения ярко реагируют на уровень половых гормонов, который увеличивается во время пубертата (половое созревание), соответственно, возникает половое влечение (либидо) - стремление к сексуальному взаимодействию. Два вида программ полового поведения: древняя связана с **полигамным поведением** - сменой партнеров и большим количеством половых контактов, новая - с **моногамным поведением**, с формированием устойчивого партнерства и семьи, характерна для вида *homo sapiens*. В мозге каждого человека программы противоборствуют, поэтому такое понятие, как "верность" является индивидуальным. Отметим, что половина браков распадается по причине неверности одного из супругов. Возникновение влюбленности, формирование привязанности и определение подходящего полового партнера по механизму похожи на возникновение родительно-детского взаимодействия, при котором мозг врожденно узнает внешние признаки младенца (большая голова, большие глаза и т.д.).

Любовь и привязанность возникают для срабатывания глобальной программы воспроизведения своего биологического вида, для появления потомства. Важно, чтобы половой партнер был подходящим, то есть обладал хорошими генами и иммунитетом. Зрительная система человека определяет это на врожденном уровне, а психика трансформирует в понятие "красота" или "привлекательность". Красивыми представляются симметричные лица (хорошие гены), чистая кожа (хороший иммунитет), развитие вторичных половых признаков. При этом большое влияние имеют процессы обучения, воздействие социума (традиции, эталоны, в том числе предлагаемые средствами массовой информации). Моногамия, долгое устойчивое партнерство, любовь и привязанность двух людей связаны с необходимостью длительного выращивания потомства. Большое значение имеет воздействие гормона окситоцин, а также взаимный физический контакт (объятия, поцелуи). При потере контакта с партнером у человека возникают негативные эмоции. Обратной стороной моногамных отношений является возникновение ревности, когда партнер воспринимается как собственность. Отношения полов - важная часть жизни каждого человека, которой посвящено множество произведений искусства. Фильмы, романы, пьесы насыщены историями любви, как счастливыми, так и не очень. Моногамные отношения являются защитой от возникновения инфекций, передаваемых половым путем: сифилис, гонорея, хламидиоз, трихомоноз, лобковый педикулез, генитальный герпес; особенно опасны - ВИЧ-инфекция (более 1 млн. инфицированных в России), вирус папилломы человека, вирусы гепатита В и С. Для предотвращения возникновения данных заболеваний необходимо сохранять верность, пользоваться противозачаточными средствами.

Лекция 16. Центральная нервная система, спинной мозг

Развитие нервной системы

Нервная система является важнейшей регуляторной системой организма человека. В теле человека функционируют рабочие системы (пищеварительная, дыхательная, сердечно-сосудистая) и управляющие: эндокринная система управляет различными органами с помощью гормонов, нервная - с помощью медиаторов. Кроме того, они оказывают влияние друг на друга, что приводит к нейроэндокринному взаимодействию, во многом реализуемому через гипоталамус и гипофиз. Эндокринной регуляторной системе уделялось много внимания в ходе предыдущих лекций.

- **центральная нервная система** - головной мозг и спинной мозг;
- **периферическая нервная система** - нервы, ганглии (нервные узлы), нервные сплетения, сенсорные, двигательные и вегетативные нейроны (исполнительные, интернейроны).

Нейрон состоит из аксона - отростка, передающего информацию другим клеткам, и нескольких дендритов - отростков, воспринимающих информацию. На рис. 16.1. показана нейросеть, состоящая из разных по функциям нервных клеток.

- **нейроны на входе** - сенсорные нейроны - воспринимают информацию от органа чувства через особые образования - рецепторы;
- **нейроны на выходе** - исполнительные нейроны; делятся на двигательные нейроны - образуют синапсы с поперечно-полосатыми клетками скелетных мышц и вегетативные - воздействие на внутренние органы;
- **вставочные нейроны** - интернейроны - принимают решение о запуске реакции.

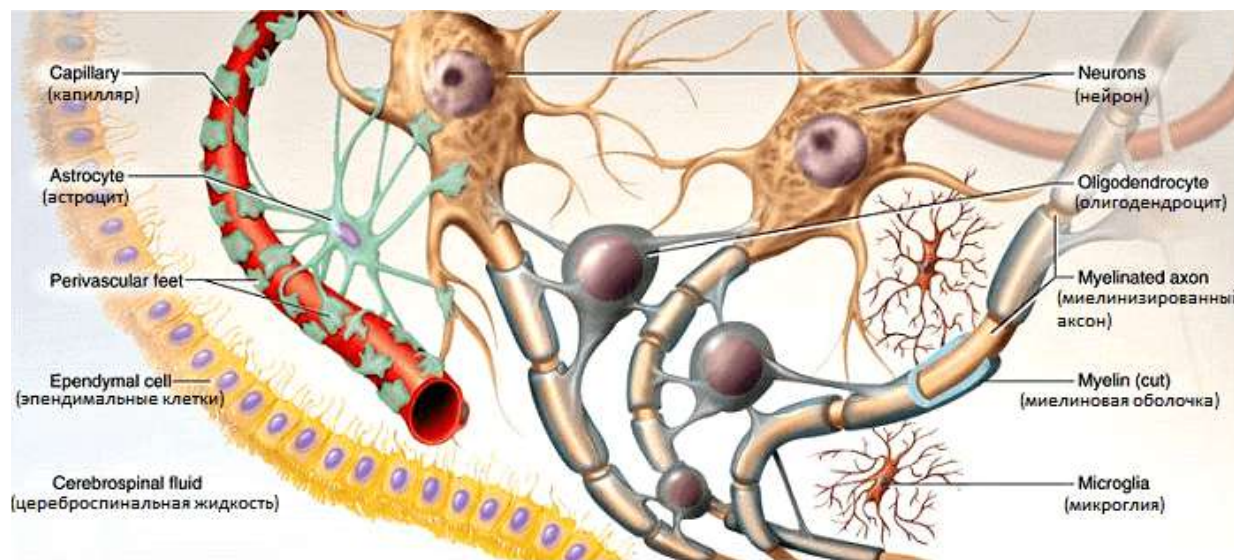


Рис. 16.1. Нейросеть, состоящая из разных по функциям нейронов

Информация по нервным клеткам идет в виде коротких электрических импульсов - потенциалов действия. Между нейронами она передается за счет выделения в синапсах химических веществ нейромедиаторов. Нейросети мозга запускают различные реакции, начиная от простейших рефлексов и заканчивая сложнейшими процессами, связанными с сознанием (мыслительными, волевыми).

Развитие нервной системы

Нервная система человека закладывается на эмбриональной стадии: образующие эмбриобласт клетки формируют плоскую конструкцию, у которой на спинной стороне возникает нервная пластинка, которая с течением времени удлиняется, далее края пластинки поднимаются и к концу третьей недели начинают смыкаться в средней части, а потом и по всему телу эмбриона - возникает нервная трубка. Входы в нервную трубку называются нейропоры, к концу четвертой недели они зарастают. В результате процесса смыкания формируется небольшая полость для мозговой жидкости (ликвор).



Рис. 16.2. Процесс формирования нервной трубки

В момент смыкания возникает нервный гребень, клетки которого дают элементы периферических ганглиев, мозгового вещества надпочечников и меланоциты. Верхняя часть нервной трубки - будущие сенсорные нейроны (интернейроны), именно из этой части будет развиваться головной мозг. Нижняя часть нервной трубки - исполнительные нейроны (двигательные, вегетативные).

Развитие головного мозга

К концу третьей - началу четвертой недели из переднего конца нервной трубки начинают формироваться мозговые пузыри, к концу четвертой недели возникают три мозговых пузыря, 5 - 6 неделя - три мозговых пузыря превращаются в пять: на переднем мозге справа и слева появляются выросты - конечный и промежуточный мозг, которые постепенно превращаются в большие полушария; средний мозг не видоизменяется; задний мозг делится на собственно задний и продолговатый мозг. В возрасте до 20 недель образуются все основные отделы головного мозга, заканчивается миграция нейронов, которые начинают выпускать отростки и формировать контакты. Основное значение приобретают процессы внутренней дифференцировки структур, формирование тонких связей и приобретение свойств, которые позволят выполнять ряд функций: полушария становятся самой большой частью мозга, происходит выделение долей (височных, лобных, теменных), начинается образование борозд и извилин, из

оболочек в ткань мозга врастают сосуды, в спинном мозге формируются шейное и поясничное утолщения, которые соответствуют конечностям, мозжечок принимает окончательный вид.

3 мозговых пузыря	5 мозговых пузырей	
первичный задний мозг	• собственно задний мозг • продолговатый мозг	• задний мозг делится на мост и мозжечок
первичный средний мозг	• средний мозг	• четверохолмие • ножки мозга
первичный передний мозг	• конечный мозг • промежуточный мозг	• большие полушария и подкорковые ядра • таламус и гипоталамус

В ходе развития ЦНС канал нервной трубки формирует систему из 4 взаимосвязанных желудочков мозга (полости), наполненных мозговой жидкостью:

- **первый и второй желудочки** (боковые) - полости внутри правого и левого полушарий, которые соединены с третьим желудочком;
- **третий желудочек** - находится внутри промежуточного мозга;
- **четвертый желудочек** - полость заднего мозга, расположенная под мозжечком;
- между третьим и четвертым желудочком находится узкий канал - **мозговой водопровод**, который идет по центру среднего мозга.

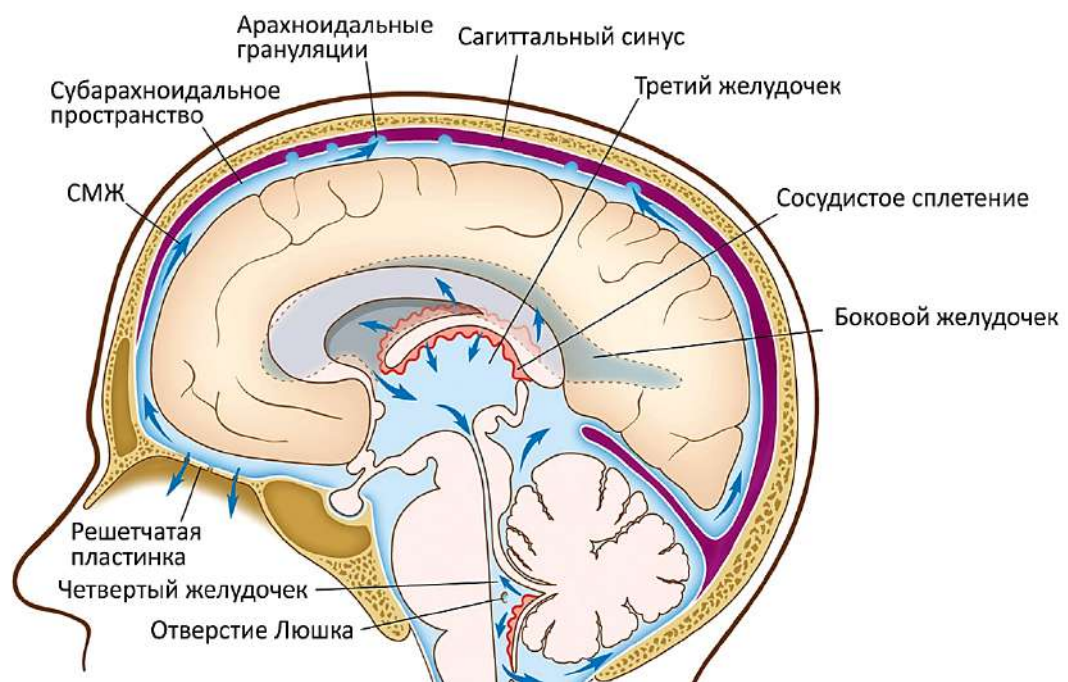


Рис. 16.3. Участие желудочков мозга в процессе циркуляции ликвора

Ликвор дополняет транспортные процессы, которые обеспечиваются кровеносными сосудами. **Циркуляция ликвора:** сосудистое сплетение стенок боковых

желудочков секретирует в желудочки спинномозговую жидкость → в третий желудочек → по мозговому водопроводу → в четвертый желудочек, куда приходит ток ликвора из спинного мозга → из четвертого желудочка через три отверстия → на поверхность мозга в субарахноидальное пространство → через срединное отверстие Мажанди и боковые отверстия четвертого желудочка (отверстия Люшка) → в венозные синусы → в кровяное русло. Круговорот ликвора переносит регуляторные и питательные вещества, минеральные соли. Если он нарушается, могут возникнуть симптомы повышенного внутричерепного давления, которые часто возникают в связи с родами: деформация головы ребенка может привести к повреждениям оболочек мозга, отеку.

Оболочки мозга

ЦНС человека "упакована" в костные структуры: вокруг головного мозга - костная ткань черепа, вокруг спинного мозга - костная ткань позвоночного столба. Происходит постепенный переход от нервной ткани к костной, который осуществляется за счет оболочек:

- **твердая оболочка** - состоит из плотной и волокнистой соединительной ткани, напоминающей гибкий, но очень прочный пластик; в головном мозге располагается между черепом и нервной тканью, в спинном - между твердой оболочкой и надкостницей находится эпидуральное пространство, заполненное смягчающей жировой тканью с богатой венозной сетью;
- **паутинная оболочка** - имеет сходство с губкой толщиной несколько миллиметров, ячейки которой заполнены ликвором, приходящем в оболочку ходе циркуляции;
- **мягкая оболочка** - практически срастается с поверхностью головного и спинного мозга; содержит большое количество сосудов, в которые всасывается ликвор; оболочка заходит в борозды и желудочки, из её сосудов секретируется ликвор в боковых желудочках.

Спинной мозг

Спинной мозг человека - относительно просто организованная часть ЦНС, представляющая собой трубку из нервной ткани, которая в среднем имеет длину 42 - 45 см, диаметр - 1,5 - 2 см, массу 34 - 38 г. Между телом позвонка и дугой располагается канал для спинного мозга, внутри спинного мозга находится спинномозговой канал диаметром примерно 1 мм. Спинной мозг разделен на **31 стереотипно устроенный сегмент**, выделяют **5 отделов позвоночника**:

- **8 шейных сегментов** - на один больше, чем спинных позвонков - один сегмент находится между головным и спинным мозгом
- **12 грудных сегментов**
- **5 поясничных**
- **5 крестцовых** - крестцово-копчиковая область
- **1 копчиковый сегмент**

От каждого сегмента отходит пара спинномозговых нервов, которые идут к определенной части тела человека. Нерв первого шейного сегмента выходит между черепом и первым шейным позвонком, второй сегмент - между первым и вторым шейными позвонками, третий - между вторым и третьим, и т.д. Наиболее сложные двигательные задачи связаны с конечностями, где находится большое количество мелких мышц, поэтому в структуре спинного мозга присутствуют утолщения в шейном (руки) и поясничном (ноги) отделах. Каждый спинномозговой нерв собирается из задних и передних корешков. На заднем корешке есть утолщение - спинномозговой ганглий, в котором располагаются сенсорные нейроны. На поперечном срезе спинного мозга (рис. 16.4., слева) четко просматриваются белое вещество - в первую очередь аксоны, соединяющие головной и спинной мозг, и серое вещество - тела нейронов и дендриты, большое количество синапсов (вычислительная зона мозга).

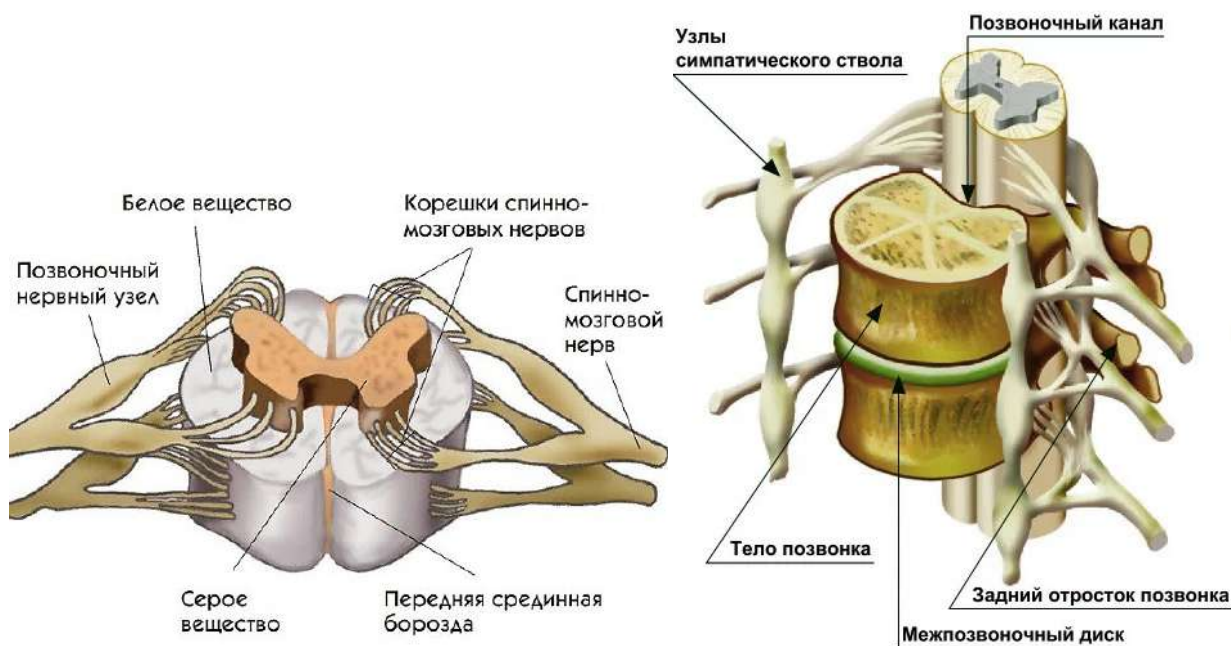


Рис. 16.4. Слева: спинной мозг - поперечный разрез, справа: спинной мозг в позвоночном канале

Когда эмбрион растет, то длина спинного мозга и позвоночника сначала почти одинакова, но позвоночник растет существенно быстрее, поэтому у взрослого человека в его нижней части присутствуют только корешки и нервы, которые в поясничной цистерне формируют "конский хвост". Каждый корешок спинного мозга должен дотянуться до отверстия между своей парой позвонков. Для верхних это не составляет проблемы, поясничным, крестцовым и копчиковым приходится тянуться далеко.

При описании организма человека используются следующие понятия:

- **дорзальный:** у человека - задний (спинной), у четвероногих животных - верхний;
- **вентральный:** у человека - передний, у животных - брюшной (нижний);

- **латеральный** - боковой (наружный);
- **медиальный** - внутренний (срединный).

Каждый сегмент спинного мозга может выполнять следующие функции:

- **рефлекторная функция** - сегмент принимает информацию от своего сомита, управляет мышцами и внутренними органами;
- **проводниковая функция** - взаимодействие с головным мозгом.

Каждый сегмент спинного мозга обслуживает соответствующий участок тела (сомит):

- **8 шейных сегментов** - управляют шеей и руками (в этом случае сомиты идут не поперек, а вдоль руки - древняя схема, доставшаяся человеку от предков (рыб)) и диафрагмой - дыхательной мышцей, которая когда-то была шейной;
- **12 грудных сегментов** - работают с сомитами кожи, мышц, большим количеством внутренних органов (сердце, ЖКТ) грудной клетки и брюшной полости;
- **5 поясничных сегментов** - работают с ногами;
- **6 крестцово-копчиковых сегментов** - работают с областью таза (половая и мочеполовая системы, нижняя часть кишечника), задней стороной ног.

Алгоритм работы сегмента спинного мозга

1. **получение информации от своего сомита:** болевая, кожная, мышечная (растяжения мышц и сухожилий, углы поворота суставов) чувствительность, внутренняя чувствительность (стенки кишечника, мочевого пузыря и др.);
2. **рефлекторная реакция:** двигательные и вегетативные команды сомиту в ответ на стимулы;
3. **собранный информация передается в головной мозг** (болевая, кожная, мышечная и внутренняя чувствительность);
4. **управление работой сегмента головным мозгом:** двигательные (в том числе произвольные) и вегетативные команды. Когда человек хочет пошевелить пальцем, в коре больших полушарий мозга возникает исходный импульс, который опускается по аксону в шейный отдел спинного мозга и через синапс поступает к мышце.

Одна из самых тяжелых травм - разрыв спинного мозга, который теряет способность передавать сигнал в головной мозг. В зависимости от места разрыва человек перестает чувствовать определенное количество "этажей" своего тела и произвольно ими управлять: на уровне грудных сегментов - перестают работать ноги, на уровне шейных - руки и все, что находится ниже. В результате человеку становится необходима инвалидная коляска. Это непростая судьба, несмотря на то, что человек может реабилитироваться и жить насыщенно, а женщина в такой ситуации способна выносить и родить ребенка. По данным статистики основными причинами травмирования спинного мозга являются автокатастрофы и ныряние вперед головой в незнакомом месте.

Строение спинного мозга

Традиционно спинной мозг изображается следующим образом: дорзальная (задняя) сторона находится сверху, снизу - вентральная (передняя) сторона с передней срединной бороздой (рис. 16.4., справа). Внутри спинного мозга находятся:

- **серое вещество** - колонна вещества (имеет форму бабочки), в которой выделяют:
 - задние рога (интернейроны, обработка сенсорной информации), боковые рога (мотонейроны) и передние рога (вегетативные нейроны);
 - промежуточное ядро - расположено между рогами, в нем находится основная масса интернейронов;
 - обширная зона белого вещества.
- **корешки спинномозговых нервов** - сливаются в спинномозговой нерв в пределах позвоночного столба и выходят между позвонками:
 - **задний корешок** (сенсорный, афферентный) - информация поступает в спинной мозг через задние рога, куда входят задние корешки;
 - **передний корешок** (исполнительный, эфферентный) - информация (двигательные и вегетативные сигналы) выходит из спинного мозга через боковые и передние рога, откуда выходят передние корешки.

У человека 31 сегмент спинного мозга, 31 пара спинномозговых нервов, следовательно, 31 пара ганглиев, передних и задних корешков.

Врожденные программы спинного мозга

Рефлекторная функция спинного мозга

Считывание информации идет за счет работы сенсорных нейронов, которые не относятся к периферической нервной системе и находятся в спинномозговых ганглиях рядом со спинным мозгом. Выполняющая функцию дендрита часть чувствительного нейрона ветвится и воспринимает сенсорные стимулы, например, от болевого рецептора (укол пальца).

- при уколе возникает импульс (потенциал действия), который через спинномозговую ганглию входит в задний рог серого вещества (первый синапс - между сенсорным нейроном и интернейроном);
- интернейроны заднего рога обеспечивают первичную обработку сенсорных сигналов: не пропускают слабые и/или постоянно действующие сигналы (момент прикосновения к коже осознается человеком четко, если оно длится некоторое время - чувствительность теряется; человек не ощущает одежду постоянно).

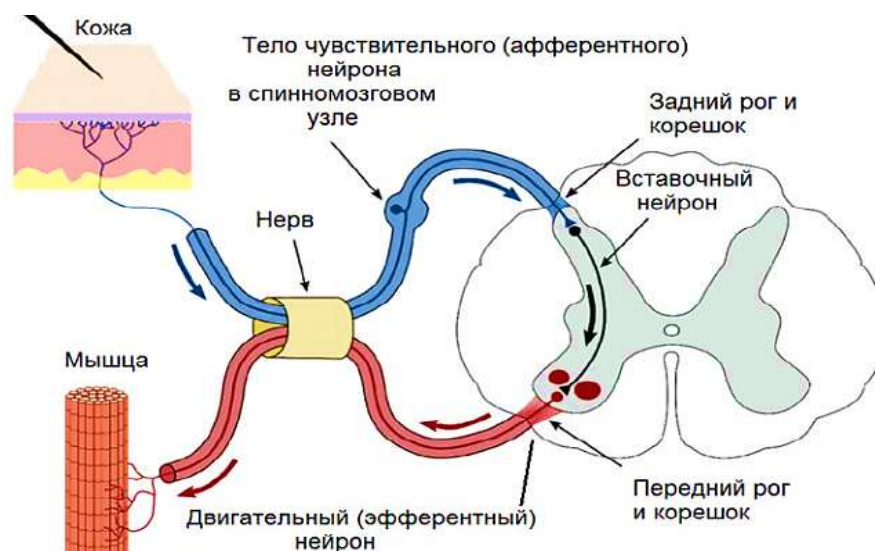


Рис. 16.5. Рефлекторная функция спинного мозга

- нейрон заднего рога спинного мозга генерирует импульс, который поступает в промежуточное ядро, где находятся самые важные нейроны, сопоставляющие сенсорные сигналы и команды головного мозга, после чего принимающие решение – запустить или не запустить реакции. Таким образом, нервные клетки головного мозга могут корректировать многие запускаемые спинным мозгом двигательные рефлексы, например, тормозить. Если принято положительное решение, то реакция может развиваться по двум траекториям:
 - **двигательная** - сигнал передается в передний рог серого вещества, далее по аксону через передние корешки и спинномозговой нерв к мышце, и рука отдергивается от источника боли (рис. 16.5.);
 - **вегетативная** - сигнал передается в боковой рог, откуда через передние корешки информация уходит к внутреннему органу, для чего существует дополнительный вегетативный ганглий.

Спинной мозг содержит 13,5 млн. нейронов: 97% - вставочные, интернейроны; 3% - эфферентные (исполнительные) нейроны.

Коленный рефлекс

Коленный рефлекс был подробно рассмотрен в ходе третьей лекции "Мышцы и движения" (рис. 3.8.). Он является примером простейшей рефлекторной дуги, частным случаем миотатического рефлекса (рефлекса на растяжение мышцы). Данный рефлекс считается быстрым (моносинаптическим - сенсорный нейрон образует единственный синапс на мотонейроне), но не очень хорошо регулируем, при этом отсутствует произвольный контроль. Биологическая значимость: быстрое усиление мышечного сокращения при появлении дополнительной нагрузки (без обращения к головному мозгу).

Сгибательный рефлекс

Сгибательный рефлекс возникает в ответ на болевой (повреждающий) стимул. Описанный выше рефлекс отдергивания конечности от источника боли является более сложным и относительно медленным (полисинаптическим), присутствует произвольный контроль: в примере - 3 синапса для запуска двигательной реакции, в реальном спинном мозге - до 10 (больше переключений в промежуточном ядре серого вещества). По природе данный рефлекс является защитным или пассивно-оборонительным - избавление от повреждающего стимула. Чем он сильнее, тем больше вовлекается мышц: при сильном уколе среагирует не только кисть руки, но и все суставы, при очень сильном стимуле сигнал выходит за рамки поврежденной конечности и распространяется на другие конечности, что приводит к их разгибанию. Животное сгибает поврежденную лапу, на остальных убегает от источника боли, обжегшийся человек может явственно подпрыгнуть, далее сигнал из спинного мозга доходит до центров продолговатого мозга и моста, где находятся центры дыхания и вокализации (крик).

Другие врожденные двигательные программы спинного мозга

- **рефлекс захвата пальца у младенца** - спинным мозгом воспринимается сенсорное воздействие и запускается реакция;
- **ровная установка головы** - сенсорным стимулом служит вестибулярная информация, считываемая головным мозгом, реакция происходит на уровне шейных сегментов спинного мозга;
- **локомоция** - не все врожденные программы спинного мозга работают как рефлекторные дуги, некоторые - как замкнутые контуры нейронов: шаг - движение по траектории восьмерки, рысь - одна передняя конечность, одна задняя, галоп - две передних, две задних (рис. 3.8.).

Спинной мозг важен как компонент деятельности вегетативной нервной системы, которая управляет внутренними органами и делится на симпатическую и парасимпатическую части.

Лекция 17. Вегетативная нервная система

Классификации вегетативной нервной системы

Предыдущей лекцией раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" была начата тема мозга. В ходе погружения в данную область обнаруживается значительное количество терминов, которые порой не очень очевидно определены или пересекаются. Рассматривая вегетативную нервную систему, в первую очередь подчеркнем ключевые понятия. Нервная система настолько разнообразна, что это дает возможность классифицировать её, исходя из нескольких принципов:

- **по месту расположения:**
 - **центральная нервная система** - головной и спинной мозг (более 95% нейронов);
 - **периферическая** - нервы, ганглии (сенсорные, вегетативные нервные узлы), нервные сплетения (диффузные конструкции из нервных клеток);
- **по функциональным блокам:**
 - **сенсорный блок** нервной системы;
 - **двигательный блок**;
 - **вегетативный блок**;
 - **блоки нервной системы, располагающиеся в головном мозге:** центры сна и бодрствования, памяти, потребностей, эмоций, высших психических функций (мышление, принятие решений);
- **по рефлекторным дугам** (принцип разделения возник в XIX веке):
 - **соматическая** часть нервной системы: на входе - болевая, кожная, мышечная чувствительность, на выходе - сокращения скелетных мышц;
 - **висцеральная** часть: на входе - чувствительность от внутренних органов, на выходе - реакции желез и гладкомышечных структур.

Вегетативная нервная система управляет деятельностью внутренних органов, для неё характерна автономность, то есть отсутствие произвольного контроля, который присутствует в случае скелетных мышц, когда человек при наличии желания сгибает сустав конечности. К внутренним органам относятся: сердце, железы, гладкие мышечные волокна (стенки сосудов, кишечника, мочеочника и др.). Вегетативная нервная система подразделяется на конкурирующие симпатическую и парасимпатическую системы. В ходе данной лекции будут подробно рассмотрены их анатомическая структура, функции, передающие сигналы. Периодически будет возникать блок периферической нервной системы - **метасимпатическая нервная система**, которая является нервными сплетениями, часто диффузными, напоминающими сетчатую нервную систему гидры. Нервные сплетения располагаются в ЖКТ, сердце, мочевом пузыре, бронхах и ряде других внутренних органов.

Симпатическая и парасимпатическая нервные системы

Конкурирующие блоки вегетативной нервной системы:

- **симпатическая нервная система** - эрготропная функция: управляет органами в ситуациях затраты энергии (физическая, интеллектуальная и эмоциональная нагрузка, стресс, "бей или беги");
- **парасимпатическая нервная система** - трофотропная функция: управляет органами в ситуациях возобновления запасов энергии (спокойное бодрствование, отдых, восстановление сил, но не сон).

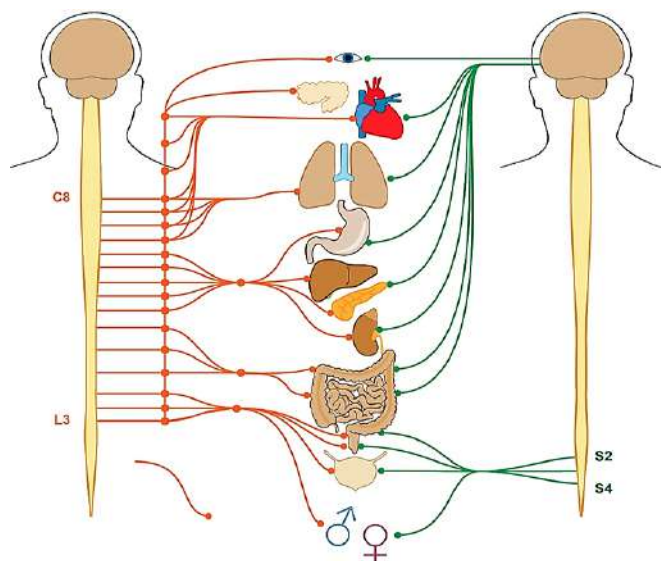


Рис. 17.1. Симпатическая и парасимпатическая системы

Симпатическая нервная система возбуждает активные во время стресса органы (сердце), парасимпатическая - тормозит. Обеспечивающие восстановление сил органы (ЖКТ) напротив - возбуждает парасимпатическая система, тормозит - симпатическая. Существуют органы, которые управляются только парасимпатической нервной системой. Очень важно, чтобы конкурирующие влияния систем реализовывались на уровне органа, где сходятся парасимпатические и симпатические волокна. При этом в ЦНС, где находятся центральные "вычислительные" зоны, симпатическая и парасимпатическая системы не должны мешать функционированию друг друга.

Анатомически две части вегетативной нервной системы разобщены:

- **симпатические вегетативные нейроны** находятся в боковых рогах серого вещества грудных и верхних поясничных сегментов спинного мозга (на рис. 17.1 слева, оранжевый цвет); данный отдел разделяется на 4 зоны:
 - органы головы: слезные и слюнные железы, мышцы зрачка и хрусталика;
 - органы грудной клетки: сердце, бронхи;
 - органы брюшной полости: желудочно-кишечный тракт;
 - органы таза: мочеполовая система, нижняя часть ЖКТ;

- во всех разделах присутствуют сосуды и потовые железы;
- **парасимпатические нейроны:**
 - в головном мозге - находится большая часть парасимпатических клеток (на рис. 17.1. слева, зеленый цвет); из мозга выходит 12 пар черепных нервов: III, VII и IX (глазодвигательный, лицевой и языкоглоточный) работают с органами головы (слюнные и слезные железы, мышцы зрачка и хрусталика); из задней части головного мозга (зона продолговатого мозга и моста) по шее спускается крупный блуждающий нерв (X), который активно ветвится внутри грудной клетки и брюшной полости и управляет внутренними органами;
 - в крестцовых сегментах спинного мозга - находится незначительная часть клеток, управляющая органами таза.

В шейных и поясничных сегментах спинного мозга вегетативная нервная система отсутствует. Таким образом, между симпатической и парасимпатической нервными системами существует пространственный разрыв.

Основные эффекты симпатической и парасимпатической систем:

- **парасимпатические эффекты** - снижение силы и частоты сердцебиений, снижение давления крови, активация всех отделов ЖКТ, сужение зрачка и бронхов. Рассмотрим в качестве примера бронхи: гладкомышечные волокна способны менять просвет бронха, то есть менять газообмен; во время стресса или физической нагрузке возникает потребность в более интенсивном дыхании, для чего симпатическая нервная система расширяет бронхи, расслабляя гладкомышечные волокна в стенках воздухоносных путей, парасимпатическая - сужает, сокращая волокна.
- **симпатические эффекты** - обратное парасимпатическим эффектам действие; симпатическая система задает некоторый тонус сосуда, когда она работает сильнее - сосуд сужается, когда слабее - расширяется; потоотделение; выделение адреналина и норадреналина мозговым веществом надпочечниками.

Организация исполнительной (эфферентной) части периферической нервной системы на примере спинного мозга

В работе вегетативной нервной системы участвуют не только нейроны головного и спинного мозга, но и нейроны вегетативных ганглиев. Вегетативные ганглии необходимо отличать от сенсорных, симпатические - от парасимпатических.

- **ганглии** (нервные узлы) - достаточно компактные скопления нервных клеток вне ЦНС;
- **спинномозговые ганглии** - находятся на задних корешках серого вещества спинного мозга, содержат сенсорные нейроны и работают на вход информации;
- **вегетативные ганглии** - находятся рядом с позвоночным столбом и работают на выход информации из передних корешков серого вещества спинного мозга.

Организация исполнительской части

- **мотонейрон** - в ситуации с поперечно-полосатыми скелетными мышцами до них дотягивается аксон находящегося в передних рогах серого вещества спинного мозга мотонейрона, в синапсе вырабатывается нейромедиатор - мышца сокращается. В данной системе центральный нейрон участвует в работе соматических рефлекторных дуг.
- **симпатический и парасимпатический нейроны** – работают в вегетативной нервной системе; аксоны центральных (преганглионарных) нейронов спинного мозга не доходят до внутреннего органа, поэтому необходим ещё один синапс и нейрон, который находится либо в симпатическом ганглии, либо в парасимпатическом. Аксон находящегося в ганглии нейрона дотягивается до внутреннего органа, то есть находится после ганглии, поэтому такой нейрон называют постганглионарным.

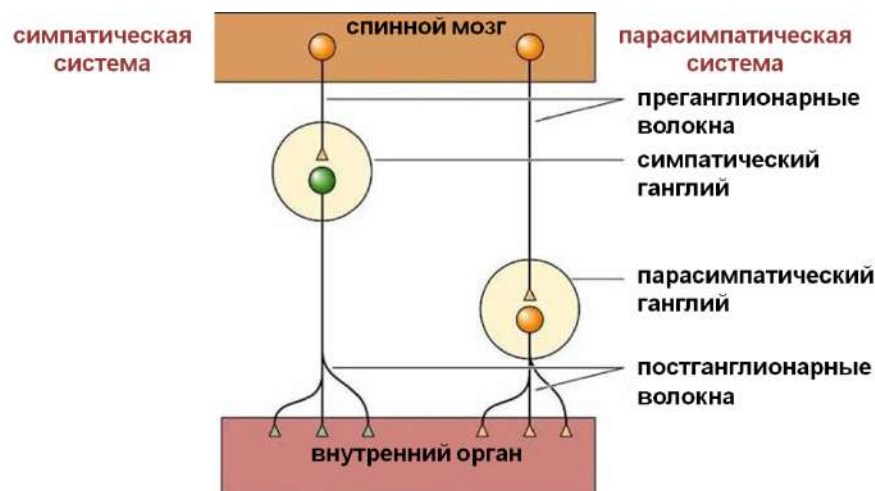


Рис. 17.2. Организация исполнительской части периферической нервной системы

Для симпатической и парасимпатической нервных систем характерно разное расположение ганглиев:

- **в симпатической нервной системе** - короткие преганглионарные и длинные постганглионарные волокна; ганглии в основном находятся рядом со спинным мозгом и формируют симпатическую нервную цепочку (соединены друг с другом), внутри которой существует дополнительная возможность передачи информации, кроме того, существует ганглий солнечного сплетения (чревный) и брыжеечные ганглии - в этом случае длина преганглионарных и постганглионарных волокон примерно равна. Самые верхние ганглии симпатической цепочки (верхний шейный узел) работают с органами головы. Симпатическая нервная цепочка более доступна для инъекции лекарственных препаратов.
- **в парасимпатической нервной системе** - длинные преганглионарные и короткие постганглионарные волокна; большинство ганглиев находится рядом с внутренними органами или в их стенках, в последнем случае вместо ганглия

может присутствовать нервное сплетение, тесно взаимодействующее с метасимпатической нервной системой: один и тот же нейрон может быть либо постганглионарным парасимпатическим и исполнительным, либо вставочным метасимпатическим, то есть одновременно выполнять две функции - находиться на выходе информационного потока от парасимпатической нервной системы и от метасимпатической нервной системы (отдельное нервное сплетение в стенках ЖКТ);

Метасимпатическая нервная система

Метасимпатическая нервная система - отдельное нервное сплетение, присутствующее во многих внутренних органах: сердце, бронхи, мочевой пузырь, матка. В наиболее развитой форме обнаруживается в ЖКТ, где под слизистой находятся нервные клетки, которые выполняют сенсорные, вставочные и исполнительные функции (работа с гладкомышечными волокнами, железами и сосудами).

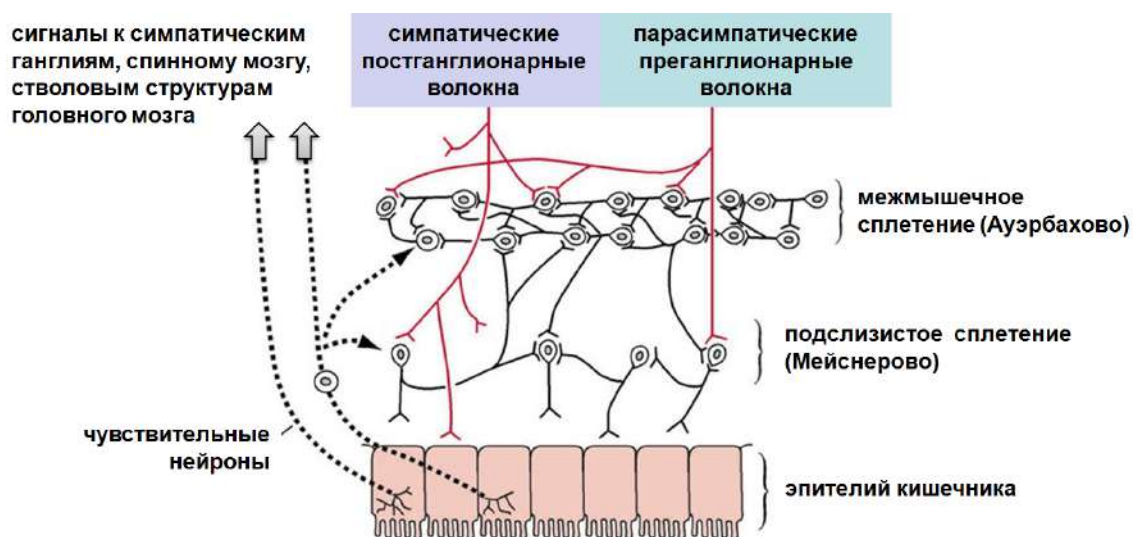


Рис. 17.3. Метасимпатическая нервная система

В стенках кишечника находятся два крупных сплетения:

- **подслизистое (Мейснерово)** - работает с сосудами;
- **межмышечное (Ауэрбахово)** - работает с гладкими мышечными волокнами и обеспечивает управление перистальтикой.

К данным клеткам подходят симпатические постганглионарные волокна и парасимпатические ганглионарные волокна, что позволяет им работать в составе и парасимпатической, и симпатической системы. Если метасимпатическую систему отрезать от любых влияний центральной нервной системы, то она будет способна реализовать собственные регуляторные реакции путем рефлекторных дуг, завязанных на функции желез и гладкомышечных волокон. После поступления пищи в желудочно-кишечный тракт происходит всасывание питательных веществ, аксон чувствительного

сенсорного нейрона реагирует на появление, например, аминокислот и запускает реакции сплетений самого ЖКТ, а также передает информацию симпатическим ганглиям, спинному мозгу и стволовым структурам головного мозга. Вставочные нейроны учитывают дополнительные влияния: гормональные, химические сигналы из полости кишечника, механические сигналы (степень растяжения).

Химические вещества, передающие сигналы в симпатической и парасимпатической системах

Ацетилхолин - главный нейромедиатор периферической нервной системы.

- **с помощью ацетилхолина** реализуется влияние **парасимпатической нервной системы** на внутренние органы - выбрасывая ацетилхолин, мотонейроны воздействуют на мышечные клетки, как и преганглионарные и постганглионарные нейроны в синапсах. Ацетилхолин тормозит работу сердца, активирует работу кишечника;
- **с помощью норадреналина** реализуется влияние **симпатической нервной системы** на внутренние органы - постганглионарный симпатический нейрон, как правило, использует нейромедиатор норадреналин – ближайший химический родственник адреналина. Оба выделяются мозговым веществом надпочечников, имеющим такое же происхождение, как и нейроны симпатических ганглиев (в надпочечниках: 80% адреналин, 20% - норадреналин). Симпатическая система может влиять на потовые железы и ряд сосудов с помощью ацетилхолина (исключение). Норадреналин активирует работу сердца, тормозит работу кишечника.

Влияния симпатической и парасимпатической систем на органы и системы органов

Большинство органов организма человека получает конкурирующие парасимпатические и симпатические сигналы. Если препятствовать или помогать работе норадреналина или ацетилхолина, то возможно получить лекарственные препараты, изменяющие функционирование внутренних органов. Пасленовые - семейство растений, часть которых полезна человеку (картофель, томаты, баклажаны), часть - ядовиты (белена, дурман, белладонна). Вырабатываемый беленой для защиты от травоядных животных токсин называется атропин, он мешает ацетилхолину влиять на внутренние органы, то есть нарушает баланс симпатической и парасимпатической нервных систем, выключая последнюю, что делает эффекты симпатической системы более яркими: расширение бронхов, зрачка, усиление сердцебиения.

	симпатическая система	парасимпатическая система
голова	• расширяет зрачки • угнетает слюноотделение	• сужает зрачки • стимулирует слюноотделение и слезотечение

сердце	увеличивает амплитуду и частоту сокращений	уменьшает амплитуду и частоту сокращений
легкие	- расширяет бронхи - усиливает вентиляцию легких	- сужает бронхи - уменьшает вентиляцию
кишечник	- угнетает перистальтику и секрецию пищеварительных соков - усиливает сокращение анального сфинктера	- усиливает перистальтику, стимулирует секрецию соков - угнетает сокращение анального сфинктера
кровеносная система	- сужает артериолы кишечника и гладких мышц - расширяет артериолы мозга и скелетных мышц - повышает кровяное давление - увеличивает объем крови за счет сокращения селезенки	- поддерживает постоянный тонус артериол кишечника, головного мозга, гладких и скелетных мышц - снижает кровяное давление
кожа	- вызывает сокращение мышц, приподнимающих волосы - сужает артериолы в коже конечностей - усиливает потоотделение	расширяет артериолы в коже лица
почки	уменьшает диурез	
мочевой пузырь	усиливает сокращение сфинктера мочевого пузыря	расслабляет сфинктер мочевого пузыря
эндокринные железы	вызывает выброс адреналина из мозгового вещества надпочечников.	

Черепные нервы

Головной мозг - основной блок центральной нервной системы человека, взаимодействующий с организмом через спинной мозг или 12 пар черепных нервов.

Основные отделы головного мозга:

- большие полушария** (конечный мозг)
- мозжечок** (двигательный центр)
- древние стволые структуры**, по сути являющиеся продолжением спинного мозга: продолговатый мозг, мост, средний мозг и промежуточный мозг

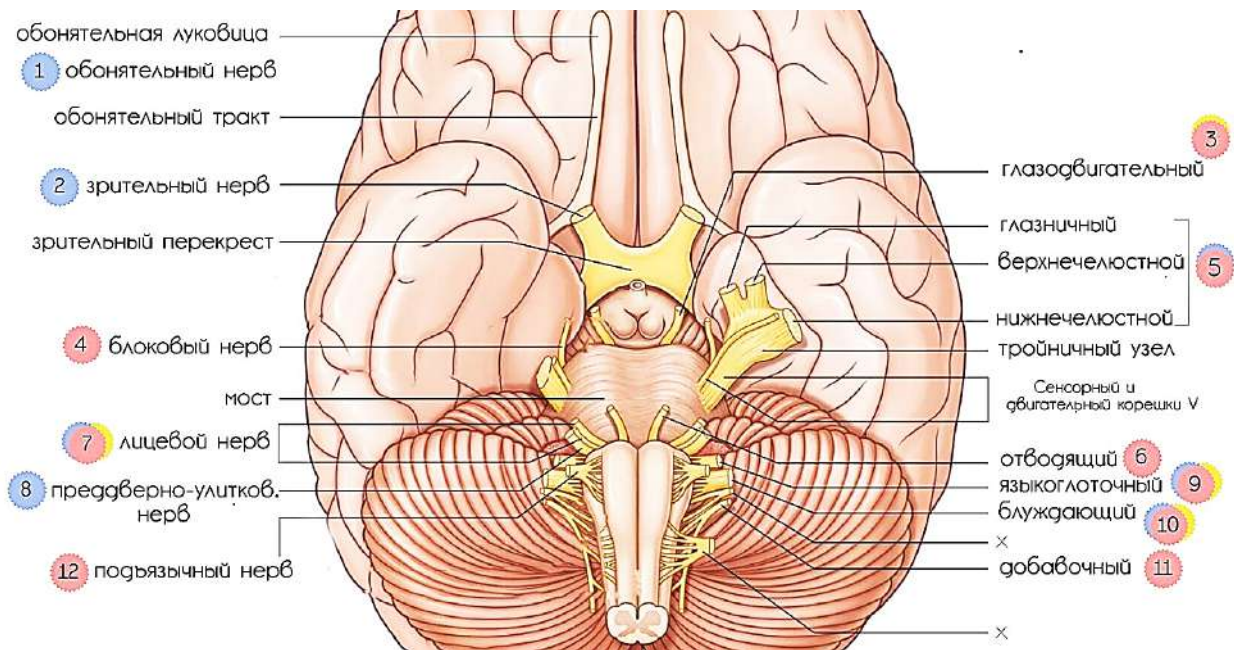


Рис. 17.4. 12 пар черепных нервов

- в спинном мозге человека - 31 пара стереотипно устроенных нервов, схожих по функциям: идущие к спинномозговым ганглиям сенсорные волокна, аксоны мотонейронов - двигательные волокна, симпатические и парасимпатические волокна, связанные с вегетативной нервной системой. Данные нервы называют смешанными, так как они одновременно являются сенсорными, двигательными и вегетативными. Спинномозговые нервы обозначаются номерами.
- в головном мозге - 12 пар черепных нервов, которые являются уникальными, в том числе и по функциям. Каждый имеет свое название, номера показывают последовательность расположения нервов от передней части головы к задней.

12 пар черепных нервов

- **I пара - обонятельный нерв** (nervus olfactorius) входит через отверстия решетчатой кости в обонятельные луковицы, являющиеся структурами больших полушарий;
- **II пара - зрительный нерв** (nervus opticus) идет от сетчатки глаза; перед входом в промежуточный мозг нервы образуют перекрест (обмениваются волокнами), далее информация поступает в зрительные структуры мозга;
- **III пара - глазодвигательный нерв** (nervus oculomotorius) - главный из управляющих движениями глаз нервов; с каждым глазом связано 6 мышц, четырьмя из них управляет глазодвигательный нерв, выходящий на границе между средним мозгом и мостом; в его составе не только мотонейроны, но и парасимпатические волокна, меняющие диаметр зрачка и форму хрусталика;

- **IV пара - блоковый нерв** (nervus trochlearis) связан с движением глаз (1 мышца), вместе с глазодвигательным нервом выходит из среднего мозга, первый выходит снизу, блоковый - единственный нерв, который идет с дорзальной стороны и спускается сбоку вниз;
- **V пара - тройничный нерв** (nervus trigeminus) – крупный нерв, который собирается из трех ветвей (лобная, верхнечелюстная и нижнечелюстная), его функция - сбор сенсорной информации, поступающей от головы: болевая, кожная, мышечная чувствительность; ганглий тройничного нерва по сути является аналогом спинномозгового ганглия; тройничный нерв также проводит аксоны мотонейронов к жевательным мышцам;
- **VI пара - отводящий нерв** (nervus abducens) связан с движением глаз (1 мышца), выходит на границе между продолговатым мозгом и мостом;
- **VII пара - лицевой нерв** (nervus facialis) управляет мимическими мышцами, а также слезными и слюнными железами (парасимпатическая функция), собирает вкус от передней части языка (сенсорная функция); выходит на границе продолговатого мозга и моста;
- **VIII пара - преддверно-улитковый нерв** (nervus vestibulocochlearis) - сенсорный нерв, который в ходе эволюции отделяется от лицевого, так как орган боковой линии рыб в итоге эволюции дает внутреннее ухо; является производной VII нерва; обслуживает 2 системы - слуховую и вестибулярную; синапсы переключения идут по углам ромбовидной ямки (четвертый желудочек); входит на границе среднего мозга и моста;
- **IX пара - языкоглоточный нерв** (nervus glossopharyngeus) связан со вкусовыми почками задней части языка, работает с мышцами глотки и околоушной слюнной железой, поэтому у данного нерва есть и парасимпатическая вегетативная функция;
- **X пара - блуждающий нерв** (nervus vagus) - главный парасимпатический нерв организма человека; происхождение названия: когда нерв был открыт, то анатомы приступили к описанию, при этом его волокна были обнаружены и в грудной клетке, и в брюшной полости, и в гортани, поэтому у ученых сложилось ощущение, что он заблудился; получает информацию от внутренних органов, связан с сокращением мышц пищевода, мягкого неба, гортани (голосовые связки); выходит из продолговатого мозга, как и IX, XII, XIII нервы;
- **XI пара - добавочный нерв** (nervus accessorius) у млекопитающих и птиц возникает из задних корешков блуждающего нерва (X), работает с мышцами плечевого пояса (прежде всего трапецевидной) и шеи (повороты головы вправо и влево);

- **XII пара - подъязычный нерв** (*nervus hypoglossus*) возникает на уровне рептилий в результате слияния спинномозговых нервов, работает с мышцами языка.

Функциональное разделение черепных нервов:

- **сенсорные нервы:** I, II, VIII (обонятельный, зрительный, преддверно-улитковый) - в их составе только волокна, идущие от слизистой носа, сетчатки глаза и внутреннего уха;
- **исполнительные нервы:** III, IV, VI, XI, XII - аксоны мотонейронов, в случае глазодвигательного нерва + парасимпатические волокна;
- **смешанные нервы:** V, VII, IX, X по набору функций ближе всего к спинномозговым нервам, в их составе находятся и сенсорные волокна, и аксоны мотонейронов, и парасимпатические волокна.

Лекция 18. Ствол головного мозга

Продолговатый мозг и мост

Данная лекция посвящена древним стволовым структурам головного мозга, в состав которых входят: продолговатый мозг, мост, средний мозг и промежуточный мозг. В ходе лекции пройдет последовательное ознакомление с данными структурами: в рамках среднего мозга особое внимание будет уделено функциям верхней зоны (четверохолмие) и нижней зоны (ножки мозга); представлены функции верхней (таламус) и нижней (гипоталамус) части промежуточного мозга; рассмотрена работа нейросетей, запуск различных рефлекторных реакций, а также более сложные события, например, связанные с биологическими потребностями человека. Эпифиз и гипофиз были рассмотрены в ходе лекций, посвященных эндокринной системе человека (13, 14).

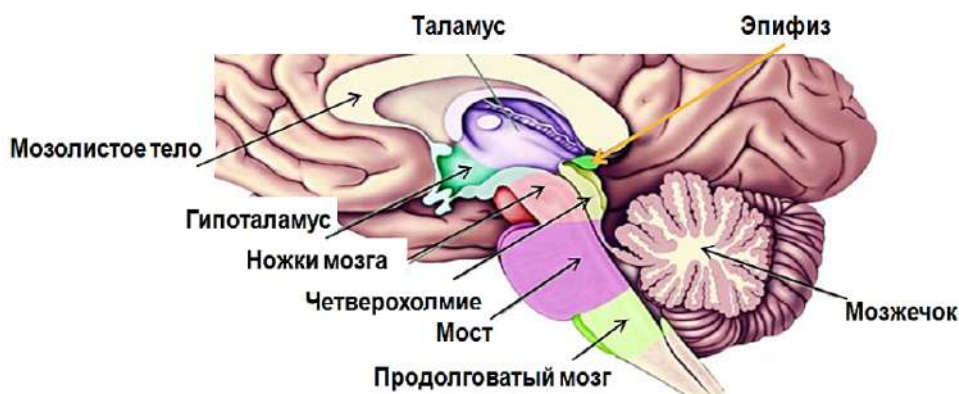


Рис. 18.1. Общий план строения стволовых структур головного мозга

Граница продолговатого и спинного мозга четко определяется за счет существования перекрестия пирамид: по нижней поверхности головного мозга проходит пирамидный тракт - важный путь для передачи команд из коры больших полушарий в спинной мозг. На границе продолговатого мозга и моста волокна тракта перекрещиваются, в результате чего правое полушарие головного мозга управляет левой половиной мышц, а левое полушарие - правой.

Строение ствола головного мозга:

- **продолговатый мозг** - напоминает усеченный конус длиной около 3 см; нервы: XII (подъязычный), XI (добавочный), X (блуждающий) - главный парасимпатический нерв;
- **мост** - имеет почти квадратную форму, длина около 3 см; область входа и выхода: крупного V (тройничный), на границе с продолговатым мозгом - VI (отводящий), VII (лицевой), VIII (преддверно-улитковый) нервы;
- **ножки среднего мозга** - из задней части нижней поверхности среднего мозга выходит III (глазодвигательный) нерв;

- **средний мозг** - область глазодвигательного нерва, зона заднего продырявленного вещества, с дорзальной поверхности сверху спускается IV (блоковый) нерв.

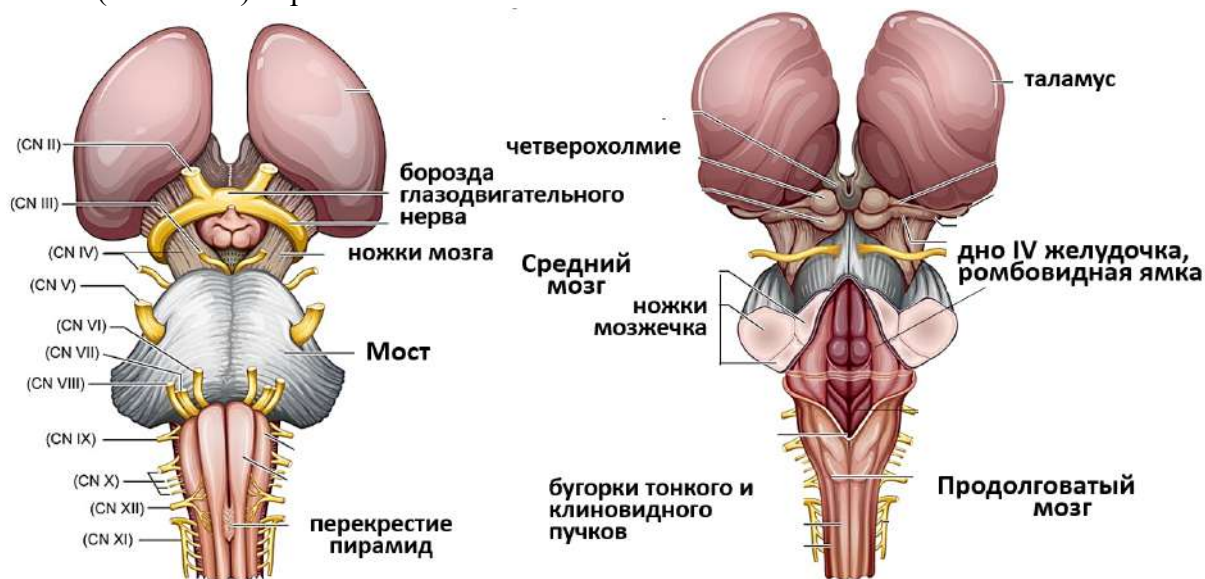


Рис. 18.2. Справа - латеральная поверхность стволовых структур мозга, слева - дорзальная поверхность

Для получения вида дорзальной стороны ствола мозга (рис. 18.2., справа) необходимо отделить мозжечок, который соединен с отделами мозга тремя мощными скоплениями аксонов, называемыми **ножки мозжечка**. После этого становится видна полость четвертого желудочка, который соединен с третьим желудочком внутри промежуточного мозга, между ними находится узкий канал (мозговой водопровод). Четвертый желудочек по форме представляет собой четырехгранную пирамиду, вершина которой упирается в мозжечок. Ромбовидное дно формирует дорзальную поверхность продолговатого мозга и моста и называется **ромбовидная ямка**.

Основные анатомические компоненты продолговатого мозга и моста:

- **ядра черепных нервов** - продолговатый мозг и мост по своей структуре ещё сходны со спинным мозгом, задние рога которого занимаются обработкой сенсорной информации, боковые рога - вегетативные, в передних рогах находятся мотонейроны. Когда спинной мозг превращается в головной, становясь продолговатым мозгом и мостом, то канал нервной трубки раскрывается в четвертый желудочек, имевшее форму бабочки серое вещество спинного мозга раскалывается и расходится. В ходе раскрытия нервной трубки сохраняется принципиальная топография: сенсорные зоны сдвигаются вверх и вбок, передние рога (бывшие) остаются в центре, между ними расположены вегетативные зоны (характерные, например, для парасимпатических преганглионарных нейронов блуждающего нерва), а также значительное количество белого вещества - значительное количество аксонов, соединяющих

прежде всего головной и спинной мозг. Таким образом, внутри продолговатого мозга и моста находятся сенсорные, двигательные и вегетативные ядра.

- **ретикулярная формация** - в сером веществе спинного мозга располагаются промежуточные ядра (нейроны, на которых сходятся сенсорные сигналы и сигналы, поступающие от головного мозга) - интегративная зона, которая принимает решение о запуске реакции. При переходе спинного мозга в стволовые структуры данная зона сохраняет свою функцию и превращается в ретикулярные ядра (ретикулярная формация).

Функции продолговатого мозга и моста

Эволюция мозга идет от задних структур (спинной мозг) вперед к конечному мозгу - большим полушариям. Чем ближе к ним расположены зоны головного мозга, тем более сложные и новые функции они выполняют.

- **дыхательный центр** - главной витальной (жизненно необходимой) функцией является дыхание, на дне ромбовидной ямки находятся **нейроны-водители дыхательного ритма**, которые способны самопроизвольно генерировать импульсы: инспираторные нейроны отвечают за вдох, экспираторные - за выдох. (детальная информация о работе дыхательного центра содержится в восьмой лекции, посвященной дыханию). Отметим, что дыхательный центр передает сигналы в спинной мозг, межреберные мышцы и диафрагма - скелетные поперечно-полосатые мышцы, поэтому возможно произвольное управление. Водители ритма учитывают дополнительные факторы, поскольку человеку бывает необходимо дышать с разной частотой и глубиной: главный фактор - концентрация кислорода и углекислого газа в крови (необходимо дышать чаще и глубже), температура тела, эмоции, информация от центра бодрствования, произвольный контроль. Учет дополнительных факторов происходит за счет ретикулярных ядер продолговатого мозга и моста, некоторые из них являются дыхательными центрами.
- **сосудодвигательный центр** - сердце бьется самостоятельно (автоматия), центр автоматии находится в верхней части левого предсердия, он получает дополнительные симпатические и парасимпатические команды, которые генерирует сосудодвигательный центр, регулируя частоту и силу сердечных сокращений, а также тонус сосудов: когда необходимо, чтобы сердце билось чаще, ретикулярные ядра продолговатого мозга и моста перебрасывают сигнал на симпатические центры грудных сегментов спинного мозга; когда необходимо, чтобы сердце билось реже - сигнал перебрасывается на ядра блуждающего нерва, который выделяет ацетилхолин и подтормаживает таким образом его работу. Отметим, что симпатическая и парасимпатическая системы в некоторых случаях самостоятельно принимают решения о запуске реакций (через короткие рефлекторные дуги, иногда замыкающиеся через ганглии), в сложных ситуациях они являются исполнительными структурами, выполняющими команды, которые передает интегративный центр головного мозга.

- **центр бодрствования** - собирает различные сенсорные сигналы;
- **один из вспомогательных центров сна;**
- **центры, обеспечивающие врожденное пищевое поведение** - врожденные рефлекторные реакции, которые должен реализовать только что появившийся на свет младенец: глотание, сосание, слюноотделение. Рефлексы спинного мозга (коленный, отдергивания) были рассмотрены ранее. Рефлексы головного мозга: вкусовую чувствительность от языка считывают VII (лицевой) и IX (языкоглоточный) нервы; с вкусовыми рецепторами стенки глотки работает X (блуждающий) нерв. Вкусовые сигналы передаются во вкусовые центры продолговатого мозга и моста, где в зависимости от типа вкуса запускаются пищевые или оборонительные реакции:
 - **"хороший" вкус** - рецепторы глюкозы и белка; запуск реакций: сосание, жевание, глотание, выделение желудочного сока и густой слюны с пищеварительными ферментами (парасимпатическая реакция);
 - **"плохой" вкус** (вредная пища) - рецепторы горького (растительные токсины), избыток кислоты и соли; запуск реакций: выплевывание, плач, рвота, выделение большого количества жидкой слюны (симпатическая реакция).
- **голубое пятно** - находится в верхней части ромбовидной ямки, в данной зоне располагаются нервные клетки, которые вырабатывают нейромедиатор симпатической нервной системы норадреналин, обеспечивающий психическое сопровождение стресса: оборонительное поведение, импульсивность, агрессивность;
- **ядра VIII (преддверно-улитковый) нерва** - переключение слуховой чувствительности и чувствительности от органа равновесия;
- **ядра V (тройничный) нерва** - болевая, кожная, мышечная чувствительность головы.

Примером того, как продолговатый мозг и мост работают с вестибулярной чувствительностью, является передача сигналов о положении головы и тела в пространстве, которые исходят от вестибулярных мешочков и полукружных каналов внутреннего уха. Вестибулярная чувствительность необходима для оперативной коррекции движений, в противном случае человек упадет и получит травмы, поэтому сигнал от вестибулярных рецепторов приходит в углы ромбовидной ямки на границе продолговатого мозга и моста, далее быстро расходится по 4 направлениям:

1. **через таламус в кору больших полушарий** - для управления произвольными движениями;
2. **в мозжечок** - для управления автоматизированными движениями;
3. **в глазодвигательные центры среднего мозга и моста** - III, IV, VI нервы;
4. **в спинной мозг** - для запуска вестибулоспинальных рефлексов.

В последнем случае возможен запуск ряда врожденных рефлексов:

- **ровная установка головы** - благодаря проходящим через продолговатый мозг и мост рефлекторным дугам человек стремится держать голову ровно, что позволяет зрительной и слуховой системам наиболее эффективно и качественно считывать информацию; когда ребенок рождается, он ещё не умеет держать голову, данный рефлекс необходимо дополнительно настроить, рефлекторные дуги должны "дозреть"; в посвященных физиологии движений учебниках дается определение: "из любого положения человек стремится привести голову в такую позицию, чтобы ротовая щель была параллельна линии горизонта".
- **разгибание конечностей при потере равновесия** - если человек начинает заваливаться вправо или влево, то благодаря быстрым сигналам от продолговатого мозга и моста, которые идут в спинной мозг, конечность, находящаяся с той стороны, куда человек падает, отставляется вбок и разгибается (в первую очередь, относится к ногам). Когда акробат делает сальто и приземляется, то он вытягивает вперед руки, потому что срабатывает древняя рефлекторная дуга, рассчитанная на четвероноготь. Иногда она подводит: основная травма при падении в гололед - травма рук в результате рефлекторного разгибания. Когда спортсмены профессионально учатся падать, над врожденной программой мозжечок надстраивает дополнительный алгоритм, позволяющий человеку группироваться во время падения и избегать травм.

Процессы обучения для продолговатого мозга и моста не характерны, в случае нарушения алгоритмов работы данных структур наступают тяжелые последствия. Отметим, что данная зона мозга прошла длительную эволюцию, поэтому работает очень надежно, также она хорошо "спрятана" в глубине головы, поэтому редко повреждается.

Средний мозг

Средний мозг - небольшой по объему, но очень важный блок мозга человека, содержащий: четверохолмие, соединяющий третий и четвертый желудочки мозга канал (мозговой водовод), вокруг которого находится зона, соединяющая центральное вещество, а также ряд других структур.

Четверохолмие - самая мощная вычислительная структура мозга у рыб, у млекопитающих – это зона в верхней части среднего мозга, в которой находятся древние зрительные и слуховые центры. У человека главные зрительные центры располагаются в коре больших полушарий, в четверохолмии находятся нервные клетки, оценивающие новизну информационного потока, то есть постоянно сравнивающие ту информацию, которая шла по зрительной и слуховой системе 0,3 сек назад, с появившейся информацией. **Нейроны-детекторы новизны** реагируют на заметные изменения, например, на появившееся в поле зрения движения или на возникновение нового звука:

- **верхние холмики** - реагируют на новые зрительные стимулы; информация поступает по II (зрительному) нерву от сетчатки глаз;

- **нижние холмики** - реагируют на новые слуховые стимулы; информация поступает от ядер VIII (преддверно-улитковый) нерва; другая сенсорная информация - от ядер тройничного нерва (прикосновения) и других структур.

Запускаемый врожденный рефлекс среднего мозга - ориентировочный рефлекс, который **И.П. Павлов** называл "рефлекс что такое": поворот глаз, головы или всего тела в сторону источника сигнала для сбора информации. Ориентировочный рефлекс - по сути любопытство на самом древнем уровне.

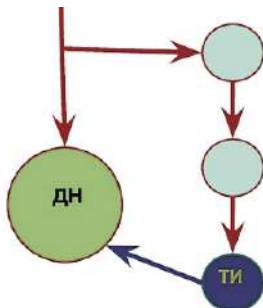


Рис. 18.3. Принцип работы нейрон-детекторов новизны (ДН)

На рис. 18.3. отражен принцип работы, детектирующей новизну нейросети: на холмики четверохолмия к ключевой клетке системы (нейрон-детектор новизны) постоянно поступает некий сигнал, который параллельно идет к клетке и через тормозный нейрон (ТИ). Если поток информации стабилен, то возбуждающий и тормозный входы уравнивают друг друга - детектор новизны не срабатывает. При усилении сигнала возбуждающий вход быстро выдает активацию, а тормозный нейрон не успевает передать сигнал, которому необходимо пройти несколько переключений (каждый синапс является дополнительной задержкой во времени). Таким образом, на мгновение возбуждение становится сильнее торможения - срабатывает детектор новизны, запуская ориентировочный рефлекс. При этом у животных двигаются ушные раковины, так как с каждой из них у млекопитающих связано два десятка мышц, что позволяет им осуществлять тонкую локацию звука. У обезьян данная функция практически исчезла.

Движения глаз

В среднем мозге находятся мотонейроны, связанные с III (глазодвигательный) нервом, который управляет четырьмя мышцами, отвечающими за движение глаза, а также является парасимпатическим (диаметр зрачка, форма хрусталика, аккомодация), IV (блоковый) нервом, VI (отводящий) нерв находится внутри моста. Глаз закреплен в глазнице с помощью 6 мышц, сокращения которых формируют траекторию считывания информации. Два основных типа движений глаз человека:

- **слежения** - взгляд движется за не очень быстро двигающимся объектом;
- **саккады** (быстрые скачки) - перевод взгляда с одного места изображения на другое;

- **фиксация взора** - задержка на несколько долей секунды в определенной области для детального считывания информации.

Движения глаз - самые тонкие из реализуемых человеком движений, поскольку глаз не движется как сканер, проходя взглядом последовательно все изображение, а центром сетчатки воспринимает его ключевые элементы. Соответственно, очень важно на что человек посмотрел в первую очередь, на чем задержался его взгляд. Это значимо для анализа зрительной системы в фундаментальной науке и в прикладных исследованиях, посвященных анализу предпочтений человека. Например, при производстве рекламы, доносящей информацию о полезном продукте (подгузники), проводится нейромаркетинг - проверяется реакция на рекламу, путем оценки движения глаз человека с помощью айтрекеров (eyetracker) - устройств, позволяющих осуществлять анализ в виде тепловых карт. Прибор определяет, в каких зонах взгляд человека задерживается надолго, в результате на тепловой карте происходит смещение в область красного-желтого спектра, зеленые и синие области - обойденные вниманием. Данная технология показывает, что главным на изображении является лицо другого человека, особенно специфичные для него черты, говорящие об индивидуальности и настроении: глаза, нос, подбородок, уши.

Центральное серое вещество

Вокруг мозгового водопровода находится зона серого вещества, которая входит в комплекс структур, регулирующих сон и бодрствование человека: главный **центр бодрствования** находится внутри моста (ретикулярные ядра), серое вещество является продолжением ретикулярных ядер в средний мозг (**центр сна**), оно способно подтормаживать многие функции мозга и переводить, например, нервную систему в состояние дремоты. Кроме этого, серое вещество контролирует изменение общего уровня болевой чувствительности (снижение потока).

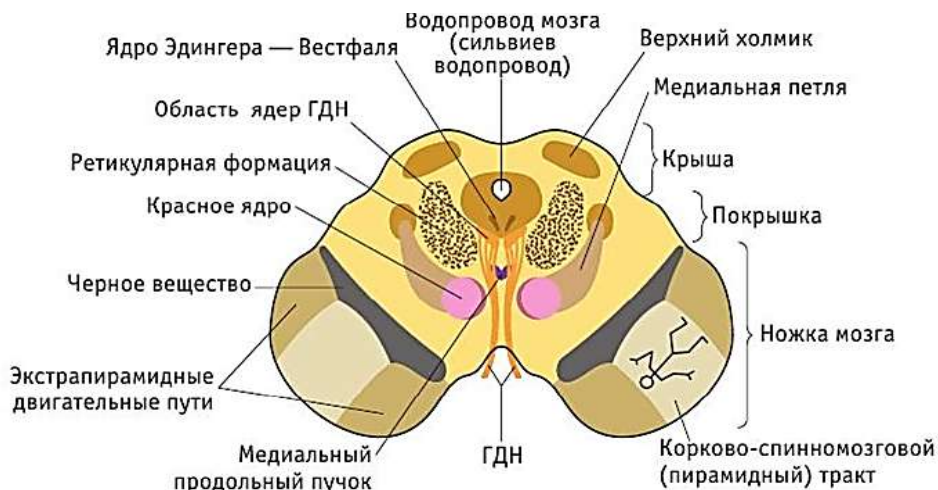


Рис. 18.4. Поперечный срез среднего мозга

Красное ядро

Красное ядро - структура среднего мозга, имеющая красноватый цвет, поскольку содержит значительное количество капилляров. Вместе с мозжечком этот двигательный центр участвует в сгибании конечностей и суставов: красное ядро является компонентом древних сгибательных программ, при которых целиком работает, например, вся кисть руки. Сгибательное движение всех пальцев сразу обеспечивает удержание предмета (конкурент пирамидного тракта). Эволюционно новым является отдельное движение каждого пальца, ими при помощи пирамидного тракта управляет кора больших полушарий мозга.

Черная субстанция

Черная субстанция осуществляет общий контроль уровня двигательной активности через базальные ганглии конечного мозга, являющиеся вместе с мозжечком важнейшими двигательными центрами. Для того, чтобы они эффективно запускали движения, необходимо, чтобы аксоны черной субстанции дотягивались до базальных ганглиев и выделяли нейромедиатор дофамин. Его большое количество означает высокий уровень двигательной активности и большое количество положительных эмоций в ходе движения. Люди, у которых активна черная субстанция, легки на подъем, любят танцевать и заниматься спортом. Возрастная дегенерация данной зоны может привести к болезни Паркинсона, для лечения которой используются похожие на дофамин молекулы.

Промежуточный мозг

Структуры промежуточного мозга: таламус, гипоталамус и полость щелевидного третьего желудочка, которая разделяет промежуточный мозг таким образом, что образуется два таламуса и полость внутри гипоталамуса, разделяющая его на правую и левую части.

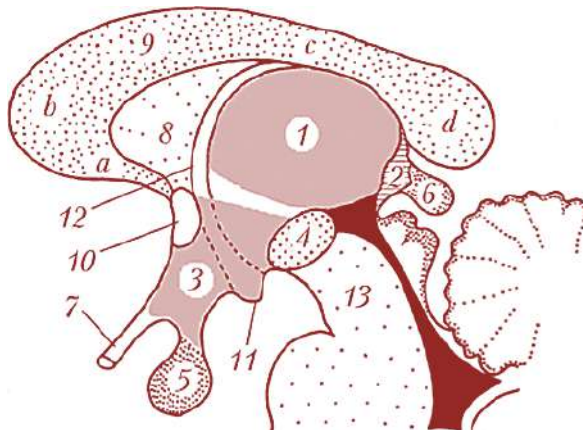


Рис. 18.5. Структуры промежуточного и конечного мозга

- **структуры промежуточного мозга:**
 1. **таламус** (зрительный бугор), белая зона - межталамическое сращение (пучок белого вещества, соединяющий правый и левый таламусы);
 2. **эпиталамус** - находится на переходе к эпифизу;

3. **гипоталамус** (подбугорье);
 4. **субталамус** - зона, находящаяся на переходе от промежуточного к среднему мозгу, является двигательным центром, участвующем в запуске локомоции и переключении аллюров;
 5. **гипофиз**;
 6. **эпифиз** - вместе с эпиталамусом формирует единую функциональную зону;
 7. **II зрительный нерв**;
- **структуры конечного мозга:**
 8. прозрачная перегородка,
 9. мозолистое тело,
 10. передняя комиссура,
 11. свод;
 - **нижележащие структуры:** 12. ножки; 13. мост

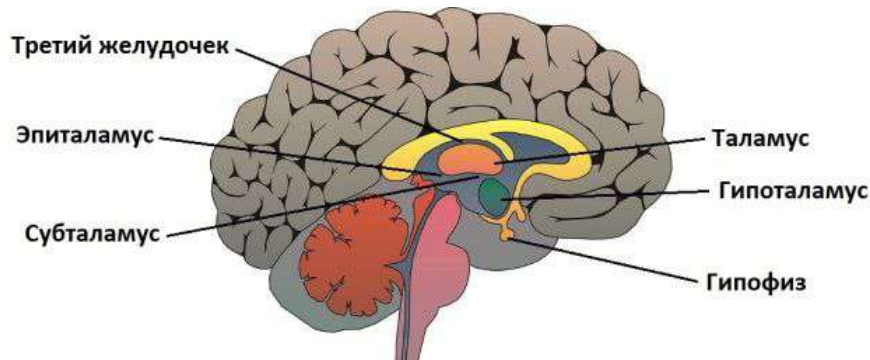


Рис. 18.6. Расположение структур промежуточного мозга

Таламус

Таламус - информационный фильтр на входе в кору больших полушарий, где сосредоточены основные сложные функции, связанные с обработкой сенсорной информации, произвольными движениями и мышлением. Для эффективной работы коры больших полушарий большое количество информации является проблемой. Центры кожной чувствительности, памяти, эмоций, зрительные, слуховые, двигательные постоянно дают возбуждение, его потоки через таламус поднимаются в кору больших полушарий. При этом важно отсечь часть информации, определив значимую. Этот критерий оценивает сама кора, которая решает, что необходимо прислушаться, например, к вкусовым ощущениям (произвольное внимание). В случае внезапного события (движение в поле зрения) четверохолмие детектирует изменение и сбрасывает значимый сигнал в таламус, который пропускает его вне очереди (непроизвольное внимание или отвлечение).

Через таламус проходят:

- **восходящие сенсорные тракты** - кроме обонятельной сенсорики, которая имеет собственный вход - обонятельную луковицу, работа которой во многом аналогична работе таламуса;
- **моторные программы** - двигательные сигналы, например, идущие от базальных ганглиев и от мозжечка, в том числе предложения о запуске движений;
- **сигналы от центров потребностей, мотиваций, эмоций;**
- **сигналы от центров памяти.**

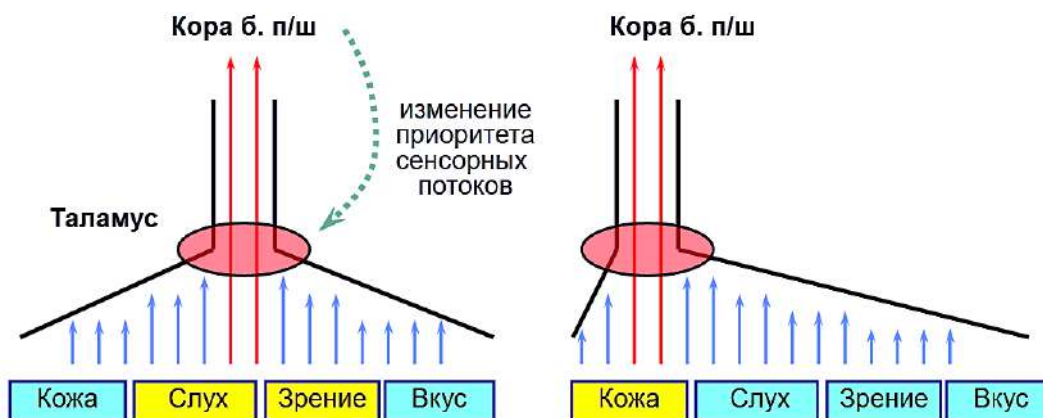


Рис. 18.7. Механизм работы таламуса: слева - студент слушает лекцию, справа - прислушивается к поступающему от части тела сигналу

Когда студент слушает лекцию, то смотрит на лектора и презентацию, а также слушает, что преподаватель говорит. Именно эти информационные потоки поступают в кору больших полушарий, вкусовая и кожная чувствительность в это время к ним не проходят. Если студента попросить прислушаться к ощущениям правой пятки, то он обнаружит, что она постоянно "отчитывается" перед мозгом о температуре, состоянии комфорта и других параметрах. В момент прислушивания в результате произвольного контроля изменяется приоритет сенсорных сигналов: проходит кожная информация, слух и зрение теряют актуальность. Несмотря на небольшой размер (4 см), в таламусе присутствуют все центры, отражающие корковые зоны: зрение, слух, движение, память, мышление. Выделяют около 40 ядерных групп:

Сенсорные фильтруют информацию от органов чувств	Моторные (вентральные боковые) связывают мозжечок, базальные ганглии и кору	Лимбические и ассоциативные участвуют в процессах: эмоции, мотивации, память
• вентробазальный комплекс - кожная и мышечная чувствительность • латеральное коленчатое тело - зрение	• VLа проводит сигналы от базальных ганглиев в премоторную кору - запуск программы • VPI - сигналы от мозжечка в моторную	• дорзальные латеральные ядра - высшие психические функции • передние ядра проводят сигналы

• медиальное коленчатое тело - слух • медиальные ядра - боль, вкус, равновесие	кору- запуск конкретных двигательных реакций	круга Пейпеза и др.
--	--	---------------------

Гипоталамус

Гипоталамус - вентральная часть промежуточного мозга, внутри которой выделяется около 30 пар ядерных групп. Гипоталамус выполняет ряд функций:

- **эндокринные функции гипоталамуса** - каждый конкретный гормон возникает в ходе работы эндокринной железы, гипоталамусом постоянно оценивается его концентрация в крови, чтобы через выделение статинов и либеринов оказать влияние на выработку тропных гормонов гипофиза и оптимизировать работу железы; статины и либерины иногда выполняют функции нейромедиаторов, вызывая изменения психического состояния;
- **вегетативные функции** - гипоталамус способен посылать сигналы к симпатической и парасимпатической системам для терморегуляции: в передней части гипоталамуса находятся нейроны-терморецепторы, постоянно измеряющие температуру крови. 80% - реагирует на перегрев (расширение сосудов кожи, потоотделение, при осознании перегрева - поведенческие реакции), 20% - на охлаждение (сужение сосудов кожи, дрожь и пилоэрекция, поведенческая реакция).

Гипоталамус - центр биологических потребностей и эмоций:

- **центры страха и агрессии** - находятся в задней части гипоталамуса, связаны с потребностью в безопасности; при стрессе (состояние повышенной физической, эмоциональной нагрузки) сигналы идут на симпатическую нервную систему; причины стресса: боль, слишком сильные сенсорные стимулы, неудовлетворенные потребности, общая неизвестность, неудачная деятельность и др. После работы больших полушарий и базальных ганглиев сигналы через гипоталамус поступают к эндокринной системе (кора надпочечников), симпатической нервной системе (учащение сердцебиения, повышение кровяного давления). Потоки информации человек субъективно оценивает, как эмоции. Когда речь идет о борьбе за безопасность, то возникает развилка вариантов поведения: **реакция "бей"** - нападение на источник неприятностей, проявление агрессии и ярости; **реакция "беги"** - избегание источника, затаивание. Генерацией реакции "бей" или "беги" занимаются разные нейросети гипоталамуса. Каждый человек четко различает эмоции агрессии, страха и тревожности.
- **центры голода и жажды** - находятся в средней части гипоталамуса, анализируют химический состав крови и сигналы от внутренних органов: изменение концентрации глюкозы (голод) и солей (жажда), растяжение стенок ЖКТ и крупных сосудов, гормоны (вазопрессин, лептин и др.);

ориентированность на происходящие внутри организма события, при этом гипоталамус генерирует эмоции: нарастание голода и жажды - негативные, удовлетворение пищевой потребности и жажды - позитивные; на фоне эмоций происходит обучение коры больших полушарий способам достижения цели;

- **центры полового и родительского поведения** - находятся в передней части гипоталамуса и отвечают за запуск программ: в половом поведении значительную роль играют гормоны (андрогены, эстрогены), в формировании родительской заботы – пролактин и окситоцин. Гипоталамус в значительной степени откликается на внутренние сигналы (гормональный фон), хотя для возникновения привязанности и влюбленности, заботе о потомстве также важны сенсорные сигналы: внешний вид потенциального полового партнера, особенности внешнего вида детеныша, подталкивающие к проявлению заботы.

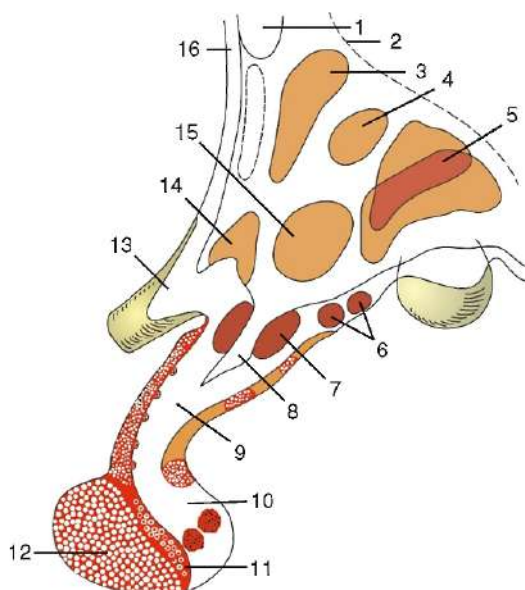


Рис. 18.8. Расположение ядер гипоталамуса на сагиттальном разрезе

На рис. 18.8. отражены: 1 - передняя спайка; 2 - гипоталамическая борозда; 3 - околожелудочковое ядро; 4 - верхнемедиальное ядро; 5 - заднее ядро; 6 - серобугорные ядра; 7 - ядро воронки; 8 - углубление воронки; 9 - воронка гипофиза; 10 - задняя доля гипофиза (нейрогипофиз); 11 - промежуточная часть гипофиза; 12 - передняя доля гипофиза (аденогипофиз); 13 - зрительный перекрест; 14 - надзрительное ядро; 15 - нижнемедиальное ядро; 16 - терминальная пластинка.

Лекция 19. Большие полушария и мозжечок

Структуры больших полушарий

Данная лекция продолжает предыдущую, которая была посвящена строению и функциям головного мозга человека. В ходе 18 лекции были рассмотрены стволые структуры головного мозга: продолговатый мозг, мост, средний мозг, верхняя часть (таламус) и нижняя часть (гипоталамус) промежуточного мозга. 400 лет назад при описании строения головного мозга оно было представлено в виде ствола, на котором расположены две кроны: большие полушария и мозжечок (состоит из двух полушарий).

- **конечный мозг** - самый крупный отдел головного мозга; в ходе развития эмбриона, возникают выросты промежуточного мозга - полушария конечного мозга, которые постепенно покрывают собой остальные отделы - промежуточный и средний мозг, мозжечок; продольная щель делит конечный мозг на два полушария, соединенных при помощи мощного пучка белого вещества (мозолистое тело);
- **мозжечок** - часть заднего мозга, состоящая из двух полушарий и червя; находится под затылочной зоной больших полушарий.

Большие полушария и мозжечок имеют борозды и извилины и покрыты корой - вариантом строения серого вещества, в котором нейроны образуют слои. Процессы обучения характерны для обеих структур: эмоционально-сенсорная память, память о событиях, ассоциациях - хранится в коре больших полушарий, двигательные навыки - в коре мозжечка.

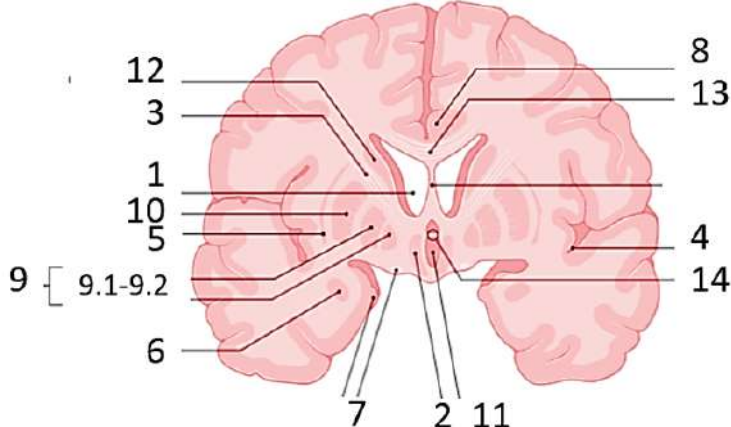


Рис. 19.1. Фронтальный срез головного мозга

На рисунке 19.1. показана глобальная архитектура больших полушарий: 1. боковой желудочек, 2. гипоталамус, 3. внутренняя капсула, 4. кора островка, 5. ограда, 6. миндалевидное тело, 7. зрительный тракт, 8. поясная кора, 9. бледный шар (9.1 и 9.2. внутренняя и внешняя части), 10. скорлупа, 11. III желудочек, 12. хвостатое ядро, 13. мозолистое тело, 14. передняя комиссура

На уровне значительного обобщения большие полушария включают в состав:

- **поверхностное серое вещество коры;**

- **белое вещество** - аксоны - входы и выходы в кору больших полушарий, окруженные миелиновыми оболочками (миелин светлый, поэтому вещество называется белым);
- **базальные ганглии** - расположенное в глубине больших полушарий серое вещество, содержащее значительное количество структур: ограда, бледный шар, скорлупа, хвостатое ядро, миндалевидное тело; большая часть структур находится рядом с таламусом, миндалина располагается в глубине височной доли.

На фронтальном срезе головного мозга видны крупные борозды, в том числе боковая борозда с мощно расширяющимся дном, дающим кору островка. В центре находятся структуры таламуса и гипоталамуса, в частности, мамиллярные и сосцевидные тела.

Белое вещество головного мозга

Все пути белого вещества совершают перекрест и проходят через внутреннюю капсулу полосатого тела: проекционные, комиссуральные, ассоциативные.

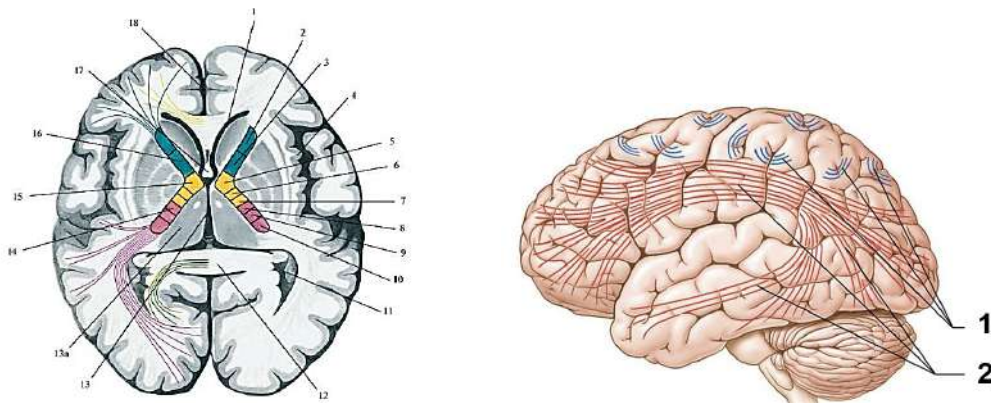


Рис. 19.2. Слева - проекционные волокна больших полушарий, справа –ассоциативные волокна

Проекционные волокна белого вещества - связи коры больших полушарий с низлежащими отделами ЦНС

- **афферентные волокна (восходящие)** - несут информацию в кору больших полушарий из структур, не входящих в состав конечного мозга: сенсорную, двигательную, от центра эмоций и потребностей и др.; имеют переключение в таламусе, кроме обонятельной системы, которая имеет свой вход (обонятельная луковица); вход информации в значительной степени происходит в височной, теменной и затылочной долях, где находятся основные сенсорные центры;
- **эфферентные волокна (нисходящие)** - выход информации происходит в значительной степени из лобных долей, где находятся двигательные центры, моторная и премоторная кора; эфферентные волокна делятся:

- **пирамидная система** - прямой путь передачи сигналов в спинной мозг для управления мышцами; аксоны двигательной коры без дополнительных синапсов и переключений по нижней поверхности головного мозга напрямую идут в соответствующие сегменты спинного мозга, образуя на границе продолговатого и спинного мозга перекрест пирамид;
- **экстрапирамидная система** - аксоны, идущие к мосту, среднему мозгу, гипоталамусу, таламусу и др.; противопоставляется пирамидной системе.

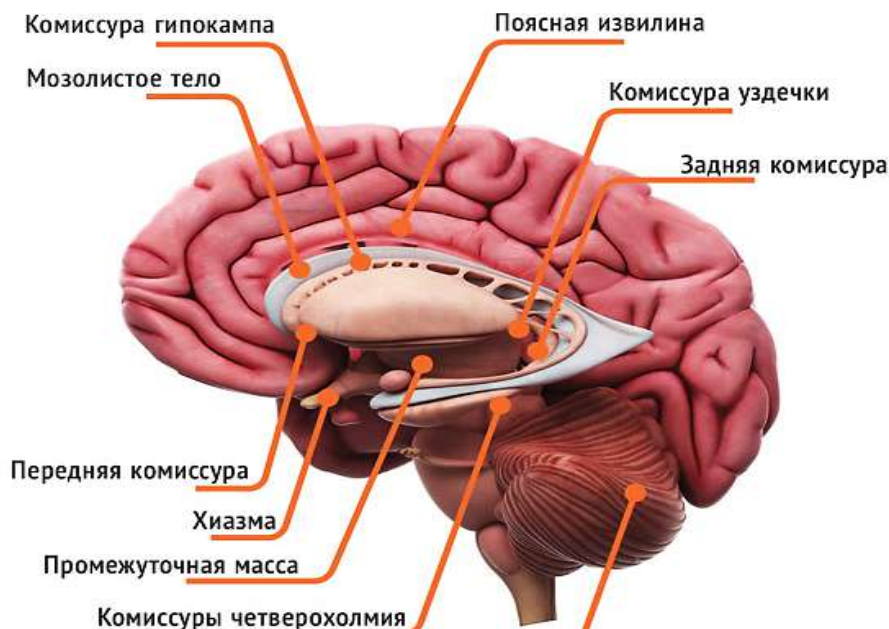


Рис. 19.3. Комиссуры конечного мозга

Коммиссуральные волокна белого вещества - мощные скопления белого вещества, идущие поперек и соединяющие полушария мозга:

- **передняя комиссура ("древняя")** - соединяет обонятельные центры коры больших полушарий, у человека около 3 млн. нервных волокон;
- **комиссура гиппокампа ("старая")** - соединяет структуры старой коры (занимается кратковременной памятью), ключевым блоком которой является гиппокамп; относится к большому пучку волокон белого вещества (свод), выходящего из гиппокампа;
- **мозолистое тело ("новая")** - основная комиссура новой части конечного мозга, соединяющая основные зоны коры.

Ассоциативные пути

Ассоциативные волокна соединяют различные зоны коры внутри одного полушария: верхний продольный пучок соединяет лобную кору с теменной, височной и затылочной; нижний продольный пучок - височную с затылочной корой.

Базальные ганглии

Базальные ганглии или подкорковые ядра - таинственная структура, которая достигает окончательного развития только у обезьян и человека. Представляет собой многочисленные и сложно сконфигурированные зоны серого вещества в глубине больших полушарий конечного мозга. Многие из них имеют С-образную форму, поскольку нейроанатомия следует за общей конфигурацией головы, повторяя форму черепа, что не так актуально для глубинных структур мозга.

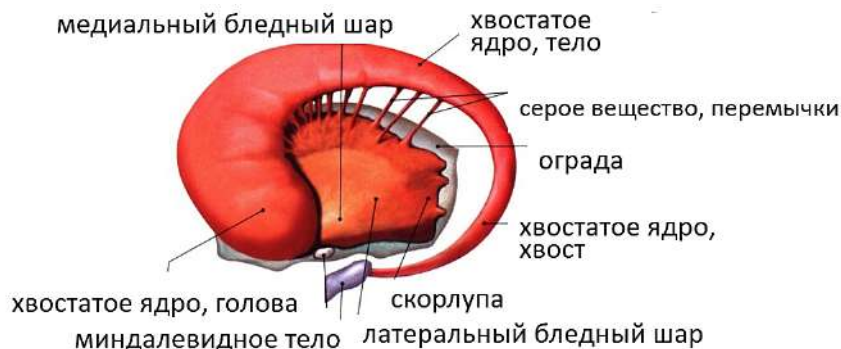


Рис. 19.4. Строение базальных ганглиев - вид снаружи

Области ганглиев:

- **ограда** - тонкий слой серого вещества между скорлупой и островковой корой;
- **хвостатое ядро** - расположено латеральнее (сбоку) и выше таламуса, отделено от него внутренней капсулой; состоит из головы, тела и хвоста, который заходит в глубину височных долей и контактирует с миндалиной. Хвостатое ядро также контактирует с желудочками мозга: голова ядра выступает в передний рог боковых желудочков, тело ядра - в теменной доле находится в стенке центральной части бокового желудочка; хвост ядра - крыша нижнего рога бокового желудочка;
- **скорлупа** и хвостатое ядро образуют единую функциональную конструкцию, которая вовлечена в управление движением;
- **бледный шар** - бледная зона серого вещества, в которой выделяют наружную и внутреннюю части;
- **миндалины** (амигдалы) - находятся в глубине височных долей;
- **чечевицеобразным ядром** - скорлупа + бледный шар;
- **полосатое тело** (стриатум) - хвостатое ядро + чечевицеобразное ядро - основная масса структур ганглиев, на срезах мозга имеет вид чередующихся полос серого и белого вещества. Топографически стриатум разделяют на две части: дорзальный стриатум - хвостатое и чечевицеобразное тело; вентральный стриатум - прилежащее ядро (*nucleus accumbens*).

Функции базальных ганглиев:

- **около 80% нейронов** базальных ганглиев - двигательные центры (основная часть хвостатого ядра, скорлупа и бледный шар) вместе с мозжечком, премоторной корой, субталамусом, черной субстанцией среднего мозга

управляют движениями (моторное обучение и память, формирование двигательных навыков).

- **около 20% нейронов** - прилежащее ядро прозрачной перегородки и миндалина являются ключевыми конструкциями, которые вместе с гипоталамусом связаны с системой потребностей, мотиваций и эмоций (лимбическая система). Сначала данная функция была идентифицирована у миндалины (страх, агрессия, эмпатия, стремление лидировать). Прозрачная перегородка - древняя кора, занимающаяся обонятельными функциями, тонкий слой серого вещества, разделяющий первый и второй желудочки. Прилежащее ядро прозрачной перегородки является важным центром положительных эмоций.

Кора больших полушарий

Кора больших полушарий - слой серого вещества на поверхности больших полушарий, в среднем имеет толщину порядка 3 мм (в зависимости от конкретной зоны толщина может составлять 1,5 мм или 4,5 мм). Кора - основные нейросети мозга, занимающиеся сложными вычислительными операциями. Чем их больше, тем больше возможности мозга, поэтому эволюция постепенно увеличивает площадь коры не только за счет общего увеличения объема головы, но и за счет создания борозд и извилин. **Борозды** - уходящие внутрь мозга складки, стенки которых состоят из коры. У низших млекопитающих (грызуны, насекомоядные) - гладкая кора с небольшой площадью, в ходе эволюции при переходе к копытным, к хищным, к обезьяне и человеку количество борозд увеличивается. Зоны между бороздами называются извилинами, самые глубокие из них делят полушария на доли.

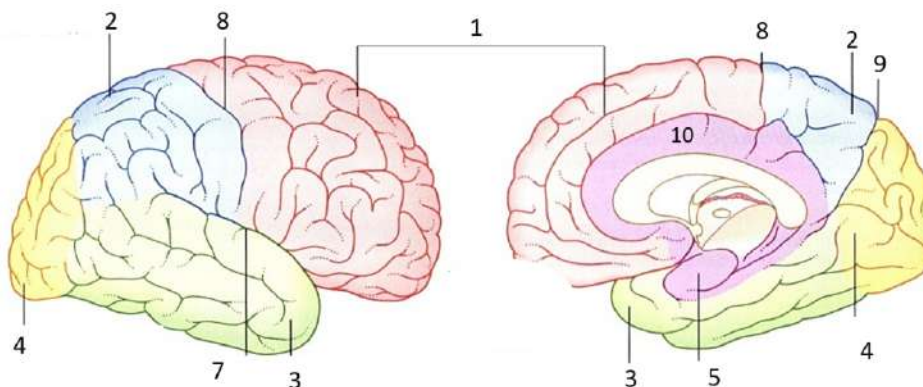


Рис. 19.5. Латеральная (слева) и медиальная (справа) поверхности правого полушария мозга: 1. лобная доля (красный цвет), 2. теменная доля (синий), 3. височная доля (зеленый), 4. затылочная доля (желтый), 5. лимбическая доля (розовый)

- **первичные борозды** - появляются на 5 - 6 мес. внутриутробного развития, самые глубокие делят полушария на доли;
- **вторичные борозды** - менее глубокие, появляются к середине 6 мес. внутриутробного развития, делят доли на крупные извилины: прецентральные, постцентральные, верхнюю и нижнюю височные, верхнюю и нижнюю лобные борозды;

- **третичные борозды** - появляются к концу 7 мес., дают мелкую исчерченность, рисунок данных борозд индивидуален (как и отпечатки пальцев).

Лобную и теменную доли мозга разделяет центральная или Роландова борозда (8), теменную долю отделяет боковая или Сильвиева борозда (7), теменную долю от затылочной отделяет теменно-затылочная борозда (9). Самая **небольшая островковая доля** находится на дне боковой борозды. Лимбическая доля находится на медиальной поверхности больших полушарий в зоне, которая окружает место отхода полушария от промежуточного мозга. Каждая из этих зон содержит нейросети, которые занимаются достаточно специфическими функциями.

Функции зон новой коры больших полушарий:

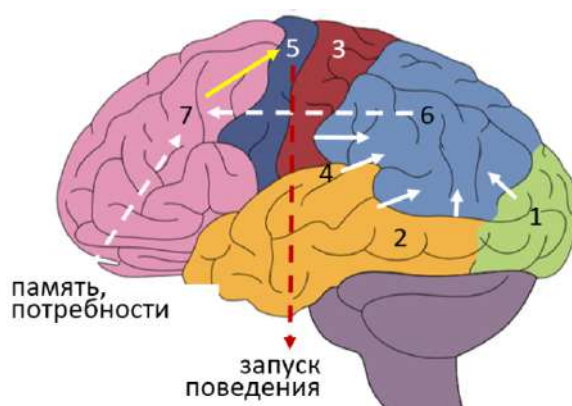


Рис. 19.6. Зоны новой коры больших полушарий и их функции

Зоны 1 - 4 - сбор информации из внешней среды и внутренней среды организма:

1. **затылочная доля** - зрительная кора;
2. **височная доля** - слуховая кора;
3. **передняя часть теменной доли** - болевая, кожная и мышечная чувствительность; в данную зону после переключения в таламусе приходит чувствительность тела, которую собрали 31 сегмент спинного мозга;
4. **островковая доля** - вестибулярная чувствительность и вкус;
5. **задняя часть лобной коры** - выход информации; премоторная и моторная кора, которые формируют пирамидный и экстрапирамидные тракты, работают со спинным мозгом, мозжечком и красным ядром;
6. **задняя часть теменной и височной долей** - одна из высших зон коры больших полушарий - ассоциативная теменная кора, которая объединяет потоки сигналов от разных сенсорных систем: височная кора - слуховая, кожная и вкусовая чувствительность, затылочная кора - зрительная; в данной зоне находятся нейроны, способные одновременно работать с несколькими сенсорными потоками и формировать целостный сенсорный образ: человек знает, как выглядит апельсин, какой он на ощупь, на вкус и как называется (на нескольких языках), а также речевые центры, где записываются и запоминаются слова и

характеристики объектов внешней среды, и центры мышления, благодаря которым человек думает, строит планы и прогнозирует;

7. **передняя часть лобной доли** - ассоциативная лобная или префронтальная кора с учетом обработанных сенсорных сигналов, результатов мышления, сигналов от центров потребностей (гипоталамус), памяти (гиппокамп) принимает решения о запуске поведенческих программ (центр воли и инициативы).

После выбора программы ассоциативная кора передает сигнал в заднюю часть лобной доли, которая через премоторную и моторную кору передает его на спинной мозг, человек начинает действовать и получает результат, который оценивается с помощью сенсорных систем, сигнал обрабатывается и поступает в лобную кору, которая оценивает результативность поведения человека.

Поясная извилина - ещё одна ассоциативная зона коры полушарий мозга, которая опоясывает его по внутренней поверхности, идет вокруг мозолистого тела, относится к лимбической доле. Ассоциативная - объединяющая разные информационные потоки. Поясная извилина находится в составе круга Пейпеза, отвечающего за кратковременную память, а также активно работает в единой сцепке с гиппокампом, когда человек реализует сложные, многоэтапные поведенческие программы: если при сравнении реальных и ожидаемых результатов поведения (первого этапа программы) они совпадают, то поясная извилина генерирует положительные эмоции, если не совпадают - генерируются негативные эмоции, а перед лобной и теменной корой ставится задача о необходимости корректировки поведенческой программы.

Филогенетические особенности коры больших полушарий

Помимо деления на доли существует иной подход к классификации зон больших полушарий, идущий от филогенеза (эволюционный процесс). В ходе эволюции большие полушария постепенно увеличиваются в размере: у пресмыкающихся (рыбы, амфибии) они небольшие, по мере развития к ним постепенно добавляются новые функции. Корой называются обширные зоны серого вещества, в которых нейроны расположены слоями. Данный термин применяется в анатомии мозга к коре больших полушарий и коре мозжечка.

- **древняя кора (палеокортекс)** - первая появившаяся функция коры; связана с обонятельным анализатором (запах); развит уже у рыб, состоит из одного слоя клеток, нечетко отделенного от нижележащих подкорковых ядер; обонятельные центры занимают около 2% площади коры. Структуры палеокортекса:
 - **обонятельные луковицы** - парные структуры, расположенные на нижней поверхности полушарий, в которые входит I (обонятельный) нерв; луковицы осуществляют первичную обработку обонятельных сигналов;
 - **обонятельные тракты** - образованы аксонами обонятельных луковиц;

- **обонятельные треугольники** – структура, откуда обонятельная информация расходуется к зонам анализирующей её древней коры: прозрачная перегородка и зоны, примыкающие к передней части мозолистого тела;
- обонятельные бугорки, латеральная обонятельная извилина (препириформная область), периамигдаллярная область.
- **старая кора (архиокортекс)** - в первую очередь занимается кратковременной памятью; представлен 2 - 3 слоями клеток, переходные структуры между полями старой и новой коры - 4 - 5 слоев; занимает 3% поверхности коры. Структуры архиокортекса:
 - **гиппокамп** (лат. - морской конек) - является ключевой структурой старой коры, описан в XVI веке, контактирует с боковым желудочком, аксоны клеток гиппокампа собираются в пучок белого вещества (свод)
 - **свод** - идет вокруг таламуса, над которым находится комиссура гиппокампа, и заканчивается в мамиллярных телах в выступах на нижней поверхности гиппокампа;
 - **мамиллоталамический тракт** - от мамиллярных тел идет в передние ядра таламуса, далее в поясную извилину и возвращается в старую кору. В итоге возникает контур, который позволяет структурировать информацию и является основой кратковременной памяти, а также перезаписи её в долговременную.
- **новая кора (неокортекс)** - характерна для млекопитающих, состоит из 6 слоев.

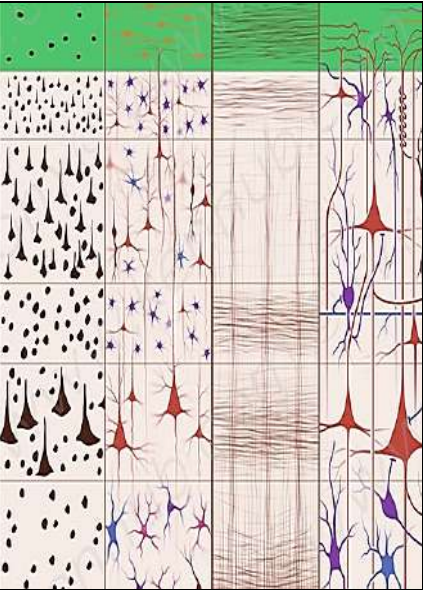
Неокортекс (новая кора):

У человека неокортекс составляет почти 95% коры больших полушарий. Новая кора выполняет высшие сенсорные, двигательные и интегративные функции, площадь её поверхности - от 1700 до 2200 см². Нейроны неокортекса очень разнообразны, по форме тела выделяют: пирамидные нейроны (3/4 нейронов коры), пирамиды, веретеновидные, звездчатые, зернистые.

- **пирамидные нейроны** - самыми крупными в шестислойной структуре коры являются нейроны V слоя - **пирамиды Беца**, которые связаны с именем анатома **В.А. Беца** (1874), описавшим их в XIX веке. Пирамиды Беца идут от моторной и премоторной коры и образуют основу пирамидного тракта, из V слоя коры дотягиваясь аксонами даже до мотонейронов, например, шейных сегментов спинного мозга и управляя тонкой моторикой пальцев. Их Т-образные дендриты идут вверх и обильно ветвятся в первых слоях коры, они густо усеяны выростами-шипиками с множественными синапсами. Изменение контактов между пирамидными нейронами и другими клетками коры больших полушарий лежит в основе обучения и формирования памяти.
- **веретенообразные нейроны или нейроны фон Экономо** - если смотреть на нейросеть коры под микроскопом, то не всегда легко понять, кому она принадлежит - человеку или крысе, поскольку в большинстве случаев нейроны очень похожи. В некоторых случаях на клеточном уровне отличия заметны:

крупные веретенообразные нервные клетки были описаны австрийским неврологом **Константином фон Экономо** в XX веке. Они находятся в V корковом слое, имеют один дендрит с низкой ветвистостью и один аксон, уходящий за пределы слоя, соединяют ключевые зоны коры (лобные доли, поясная извилина) и формируют ассоциативные связи внутри одного полушария. Сначала были обнаружены у человека и человекообразных обезьян, позднее - у слонов и китообразных, то есть у существ, обладающих мозгом большого размера. Нейроны работают как форма эволюционной адаптации, позволяющая осуществлять быструю передачу информации между высшими центрами коры. У обезьян, китообразных и слонов развито социальное взаимодействие, в ходе которого оцениваются результаты поведения других особей. Нейроны фон Экономо отвечают за быстрый анализ информации, способствуют коммуникации и синхронизации работы различных высших отделов мозга.

Слои клеток новой коры

1. молекулярный слой	волокна нейронов нижележащих слоев	
2. наружный зернистый	мелкие звездчатые клетки	
3. наружный пирамидный	малые и средние пирамидные нейроны	
4. внутренний зернистый	малые нейроны всех форм	
5. внутренний пирамидный	гигантские пирамиды Беца, апикальные дендриты достигают 1 слоя	
6. полиморфный слой	преимущественно веретенообразные нейроны	

Связи слоев коры:

- **1 и 6 слои неокортекса** - работают в рамках своей небольшой зоны коры для того, чтобы объединять нейроны и вместе решать ряд задач;
- **3 и 5 слои** - зоны, откуда выходят аксоны, идущие либо в другие зоны коры, либо в зоны второго полушария. 3 слой - комиссуральные ассоциативные волокна (мозолистое тело), 5 слой - внекорковые проекционные выходы из коры больших полушарий, в частности, пирамидный и экстрапирамидный тракты;
- **2 и 4 зернистые слои** - слои входа, куда приходят волокна от других зон коры комиссурально-ассоциативный (во второй слой) и проекционный от таламуса (в четвертый слой).

Мозжечок

Мозжечок (cerebellum - "малый мозг") имеет два полушария, борозды и трехслойную кору, его центральная часть называется червь. Поперечник мозжечка (9 - 10 см), она значительно больше его переднезаднего размера (3 - 4 см), масса 120 - 160 г, объем составляет 10% объема мозга (1300 - 1400 гр.), при этом в нем содержится более половины всех нейронов. Плотная нейронная структура мозжечка обеспечивает формирование двигательной памяти человека и выработку двигательных навыков. Базальные ганглии запоминают двигательные программы, мозжечок запоминает конкретное движение, как скоординировано, точно и экономно совершить сгибание и разгибание. Вычислительные ресурсы мозговых структур не определяются их массой или числом нейронов (в коре больших полушарий их меньше, чем в коре мозжечка), а числом синапсов - контактов между конкретными нервными клетками.

Мозжечок сложно организован, прошел длительную эволюцию и у акулы настолько же эффективен, как и у человека. Когда ребенок рождается, мозжечок весит 20 гр., на первом году он развивается быстрее других отделов мозга (3 мес. - 40 г, 5 мес. - 60 г, 9 мес. - 80 г), к шести годам мозжечок ребенка достигает нижней границы нормы взрослого человека. Развитие данной структуры связано с двигательным обучением: ребенку необходимо научиться ползать, сидеть и ходить. К шести годам его масса достигает нижней границы нормы взрослого человека.

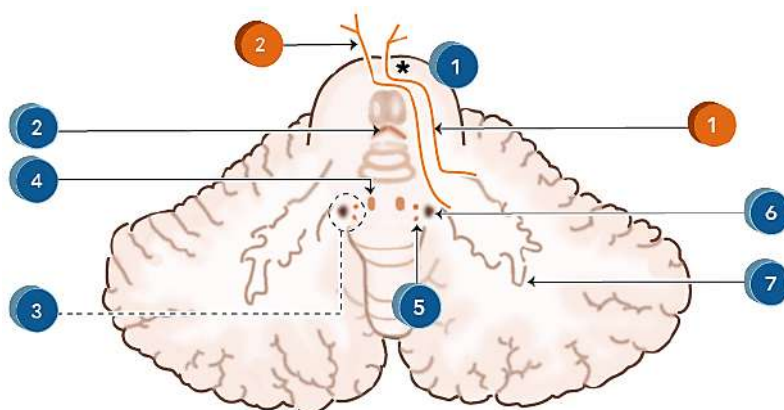


Рис. 19.7. Ядра мозжечка на горизонтальном срезе: ядро шатра (4), шаровидные ядра (5), пробковидное ядро (6), зубчатое ядро (7)

Горизонтальный срез через мозжечок демонстрирует структуру, которая напоминает логику организации больших полушарий:

- **кора** - 3 слоя серого вещества;
- **проводящие пути** - белое вещество, образующее ножки мозжечка;
- **ядра мозжечка** - серое вещество: пробковидное и шаровидное ядра объединяют в промежуточное ядро мозжечка; ядра вместе с корой работают на запоминание двигательных программ, их запуску по запросу (прежде всего коры больших полушарий) и реализацию.

Мозжечок делится на следующие части (как и кора больших полушарий):

- **новая часть** (у обезьян и человека) - латеральная область полушарий + зубчатые ядра: отвечает за автоматизацию произвольных движений, которые исходно запускаются в коре больших полушарий и постепенно записываются в коре мозжечка: тонкие движения пальцев (письмо, игра на музыкальных инструментах), речедвигательные реакции, мимика; таким образом, мозжечок в ходе автоматизированных движений через таламус управляет задней частью передней доли;
- **старая часть** (присутствует у амфибий и рептилий) - кора внутренней зоны полушарий + промежуточные ядра (пробковидное, шаровидное): автоматизирует локомоторные движения (перемещение в пространстве, повторное сгибание и разгибание конечностей - бег, ходьба, плавание), которые существуют в спинном мозге врожденно. Для их оптимизации мозжечок получает информацию от суставов, сухожилий и мышц и реализует свои эффекты через экстрапирамидную систему, например, через красное ядро среднего мозга (сгибание пальцев) или вестибулоспинальные пути (усиление разгибания конечностей).
- **древняя часть** (обнаруживается уже у рыб) - кора червя + ядра шатра: автоматизируют рефлекторные программы: когда некие структуры мозга выполняют те или иные движения, мозжечок получает "копии" двигательных программ и запоминает, какие мышцы необходимо использовать, далее подсказывает, а иногда и подменяет, при этом движения становятся более четкими. Часть рефлекторных программ хорошо работает без его участия, например, коленный рефлекс или рефлекс отдергивания конечности, но ряд рефлексов нуждается в дополнительной настройке (вестибулоспинальные или управление движениями глаз). В этом случае червь мозжечка помогает экстрапирамидной системе и глазодвигательным центрам среднего мозга.

Кора мозжечка состоит из трех слоев:

- **зернистый слой;**
- **ганглионарный слой** - содержит крупные и сложные клетки Пуркинье, которые в начале XIX века открыл чешский цитолог **Ян Пуркинье**; на их дендриты, ветвящиеся в верхний молекулярный слой, записываются двигательные навыки, аксоны обеспечивают постоянное торможение ядер мозжечка для того, чтобы блокировать лишние и разрешать необходимые движения;
- **молекулярный слой** – содержит основное клеточное "население" мозжечка - мелкие клетки-зерна.

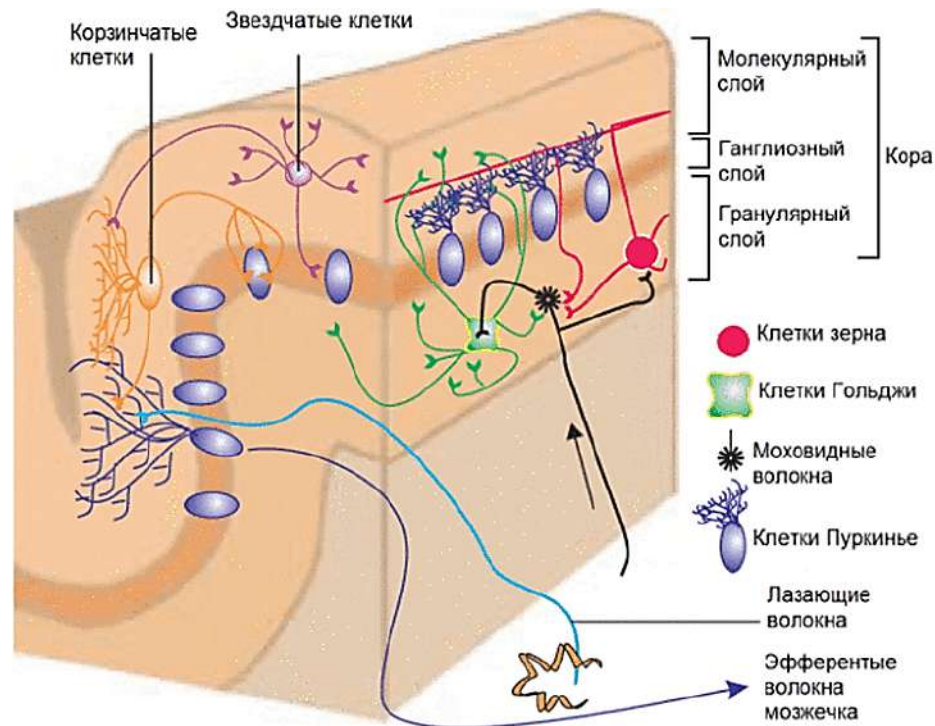


Рис. 19.8. Работа нейросетей в слоях коры мозжечка

При нарушении функций мозжечка патология проявляется, как правило, в виде избыточных движений или их усиления: пальценосовая проба (попытка с закрытыми глазами коснуться указательным пальцем кончика носа) - проба на состояние старой части мозжечка (сгибание - разгибание), при наличии проблем сгибание оказывается слишком сильным, поэтому человек промахивается мимо кончика носа; в случае автоматизации произвольных движений возникает тремор (дрожание); при ходьбе человек может избыточно высоко поднимать ноги и избыточно сильно их разгибать, что приводит к топающей походке. В случае повреждения древней части мозжечка человеку сложно держать равновесие, старой части - сложно ходить, новой части - возникают проблемы с мелкой моторикой. Части мозжечка получают разные потоки информации для обучения: древняя - от вестибулярной системы, старая - от мышечной чувствительности, новая - двигательные программы пока произвольных движений, которые сформировала лобная кора, сигналы которой передаются через структуры моста. Оливы продолговатого мозга организуют эмоциональный фон.

Лекция 20. Зрительная чувствительность

Строение зрительного анализатора

После описания общей структуры и функций головного и спинного мозга начинается раздел, посвященный сенсорным системам (четыре лекции). Сенсорные системы - очень значимая часть организма человека, которая серьезно связана с работой головного мозга и психическими функциями. С помощью сенсорных систем или анализаторов (термин, идущий из XIX века) происходит сбор информации из внешней среды и внутренней среды организма. Она необходима мозгу, чтобы принимать правильные решения, в случае произвольного контроля - рефлексорным дугам и гомеостатическим механизмам для того, чтобы управлять внутренними органами. В основном будут рассмотрены сенсорные системы, которые осознаются человеком, в ходе данной лекции - зрение.

Три составляющие сенсорной системы:

1. **рецепторы** - чувствительные клетки или чувствительные отростки нервных клеток (кожи или поверхности сетчатки), которые воспринимают некий специфический сигнал;
2. **проводящие нервы** - передают сигнал к обрабатывающим центрам головного и спинного мозга: 31 пара спинномозговых нервов, каждая из которых занимается, например, кожной чувствительностью, и 12 черепных нервов - I (обонятельный), II (зрительный), V (тройничный), VIII (преддверно-улитковый) и т.д.;
3. **обрабатывающие структуры спинного и головного мозга** - обрабатывают информацию (анализ и синтез) - узнавание сенсорных образов; наиболее сложные события происходят в коре больших полушарий.

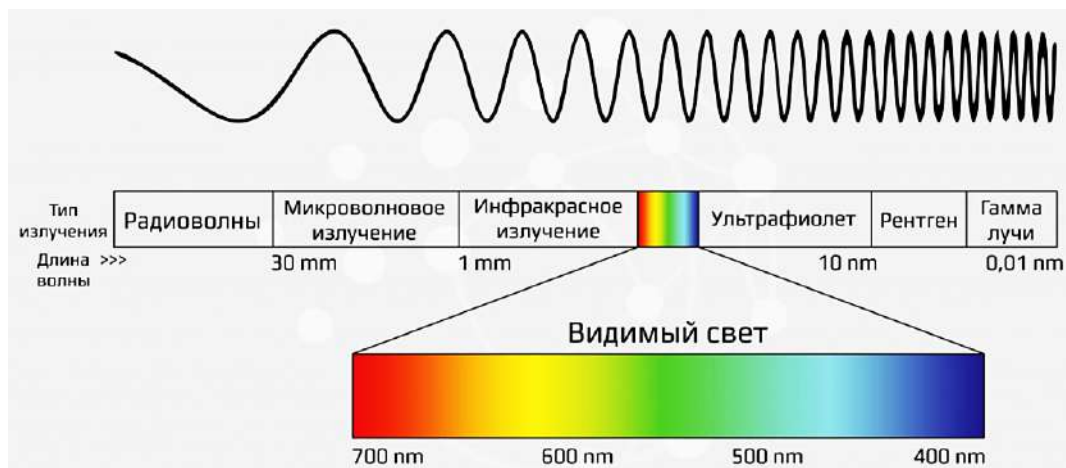


Рис. 20.1. Электромагнитные волны и видимый диапазон

Сенсорные системы в случае кожной чувствительности реагируют на прикосновение, в случае обоняния - на химическое вещество, зрительной - на свет, представляющий собой электромагнитные волны, которые излучаются Солнцем, а

также искусственными источниками освещения, начиная от огня костра, заканчивая светодиодными лампами.

Солнце излучает электромагнитные волны разной длины:

- **гамма-излучение и рентгеновское излучение** - наиболее короткие электромагнитные волны, за единицу времени образуется много волн, а значит и много энергии; опасны для живых организмов;
- **инфракрасное излучение и ультрафиолетовое излучение** - более длинные волны, несут меньше энергии;
- **радиоизлучение** - самые длинные волны.

Атмосфера Земли пропускает узкий диапазон с длиной волны от 400 до 700 нм, более короткие волны задерживаются озоновым слоем, в противном случае жизнь на поверхности планеты была бы невозможна, более длинные - отклоняется магнитным полем Земли и превращается, например, в полярное сияние. Эволюция человека проходила с точки зрения ориентации зрительной системы на солнечный свет (диапазон 400 - 700 нм): самые короткие волны человек субъективно осознает как фиолетовые, самые длинные - как красные.

Глаз

В рамках рассмотрения анализаторов обсуждаются органы чувств (периферическая часть анализатора) - специальные анатомические конструкции, обеспечивающие оптимальные условия для работы рецепторов: язык, кожа. Зрение - ключевая сенсорная система человека, с помощью которой он получает значительное количество информации. В медицине существует специальная область - **офтальмология**, изучающая глаз, его анатомию, физиологию и болезни. Глаз - обладающий сложным строением орган зрительной системы человека, он представляет из себя сферическую конструкцию, состоящую из нескольких оболочек:

- **склера или белочная оболочка** - плотная соединительная ткань, по происхождению схожа с твердой мозговой оболочкой; прозрачная передняя часть склеры называется **роговица**, через нее свет проходит внутрь глаза;
- **сосудистая оболочка** - находится под склерой, что повторяет логику устройства мозговых оболочек, так как внутренние структуры глаза и сетчатка по сути являются выростами промежуточного мозга; сосудистая оболочка снабжает сетчатку кровью; её передняя часть видна под роговицей и называется **радужной оболочкой**; в центре радужной оболочки находится **зрачок** - отверстие, через которое свет проходит внутрь глаза (поскольку внутри глаза темно, то зрачок выглядит как отверстие в темное пространство);
- **сетчатка** - оболочка, в которой находятся фоторецепторы (палочки, колбочки) и четыре слоя нервных клеток (по происхождению являются клетками промежуточного мозга), с их помощью обработка зрительного сигнала начинается прямо внутри сетчатки.



Рис. 20.2. Строение глаза

Структуры глаза, направляющие световой поток:

- **хрусталик** - состоит из прозрачных клеток, вокруг хрусталика расположена ресничная мышца, меняющая его форму и обеспечивающая аккомодацию (приспособление) - наведение изображения на резкость (управление осуществляет III (глазодвигательный) нерв:
 - сокращение мышцы - выпуклый хрусталик: человек четко видит близкие объекты; когда люди читают, смотрят на экран компьютера или смартфона, это приводит к существенной нагрузке и на ресничную мышцу, и на всю глазодвигательную систему;
 - расслабление мышцы - плоский хрусталик: четко видимы удаленные объекты, а также отдых для глаз – человеку рекомендуется посмотреть вдаль на горизонт или закрыть глаза и представить, что он это делает;
- **стекловидное тело** - желеобразная жидкость, находящаяся за хрусталиком, характеризуется отсутствием клеток;
- **зрачок** - за счет изменения диаметра зрачка может регулироваться освещенность (примерно в 20 раз); вокруг зрачка находятся кольцевые и радиальные гладкие мышечные клетки, работающие аналогично диафрагме фотоаппарата:
 - сокращение кольцевых волокон - сужение зрачка в ответ на яркий свет (функция парасимпатической нервной системы, которую реализует III (глазодвигательный) нерв, центры - в среднем мозге); в очень ярком месте зажатия зрачка недостаточно, поэтому человеку приходится жмурить веки или надевать темные очки;
 - сокращение радиальных волокон (функция симпатической системы) – расширение зрачка в темноте для поступления большего количества света, расширение при стрессе (даже несильные эмоции вызывают микросокращения зрачка, что используется в технологии "детектор лжи").

Создавая структуры глаза, эволюция выработала уникальную адаптацию - прозрачные живые конструкции, которые сделаны с помощью прозрачных белков (кристаллины).

Система аккомодации

Аккомодационный рефлекс: с сетчатки глаза сигнал идет через затылочную кору и латеральные колленчатые тела таламуса, затылочную зрительную кору и передается в средний мозг (верхние холмики четверохолмия), попадает на парасимпатическое ядро III (глазодвигательный) нерва и в итоге приходит на ресничную мышцу, меняя её напряжение. С системой аккомодации связаны такие часто встречающиеся проблемы зрения, как врожденные и приобретенные дальнозоркость и близорукость. Приобретенные возникают в результате потери эластичности хрусталика, врожденные:

- **дальнозоркость** - глазное яблоко слишком короткое, поэтому четкое изображение оказывается за сетчаткой; корректировка - двояковыпуклые линзы либо операция по коррекции зрения, которая рекомендована после завершения процессов роста человека (25 - 30 лет);
- **близорукость** - глазное яблоко удлиненное, поэтому четкое изображение оказывается перед сетчаткой; корректировка - двояковогнутые линзы;

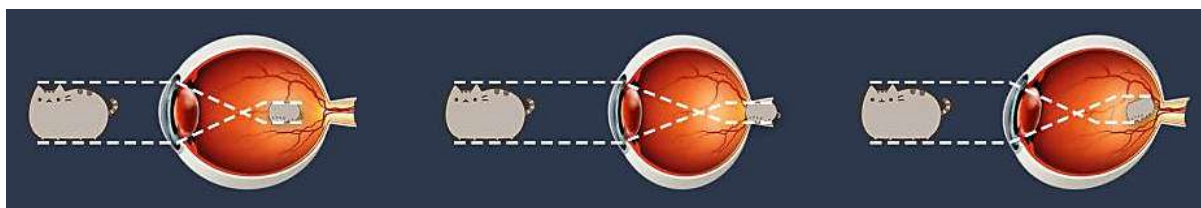


Рис. 20.3. Слева - направо: близорукость, дальнозоркость, астигматизм

Другими проблемами зрительного анализатора являются: катаракта - помутнение хрусталика, врожденная катаракта возникает в результате генетического повреждения белков-кристаллинов; астигматизм - дефект роговицы, при котором изображение является четким частично, необходимы корректирующие очки сложной формы, иногда помогают специальные тренировочные упражнения; глаукома - отслоение сетчатки, плохое кровоснабжение приводит к выходу из строя фоторецепторов, в результате в поле зрения человека появляется серое пятно (для коррекции применяются микровоздействия лазера, "приваривающие" сетчатку к сосудистой оболочке).

Сетчатка

Сетчатка глаза содержит: 9 слоев, содержащих фоторецепторы (колбочки и палочки) и 4 типа обрабатывающих зрительный сигнал нервных клеток:

- **слой фоторецепторов** - наиболее отдален от стекловидного тела, палочки и колбочки погружены в **пигментный слой**, обладающий отражающими свойствами; если световая волна прошла мимо фоторецепторов, после отражения она может к ним вернуться, поэтому глаза ночных млекопитающих светятся в

темноте; у людей при фотовспышке - красные глаза (цвет сосудов на дне глазного яблока);

- **биполярные клетки** - проводят сигнал от фоторецепторов;
- **горизонтальные клетки** и **амакриновые клетки** - передают сигнал;
- **ганглионарные клетки** - проводят сигнал, их аксоны собираются в зрительный нерв, идущий из глазного яблока к промежуточному мозгу.

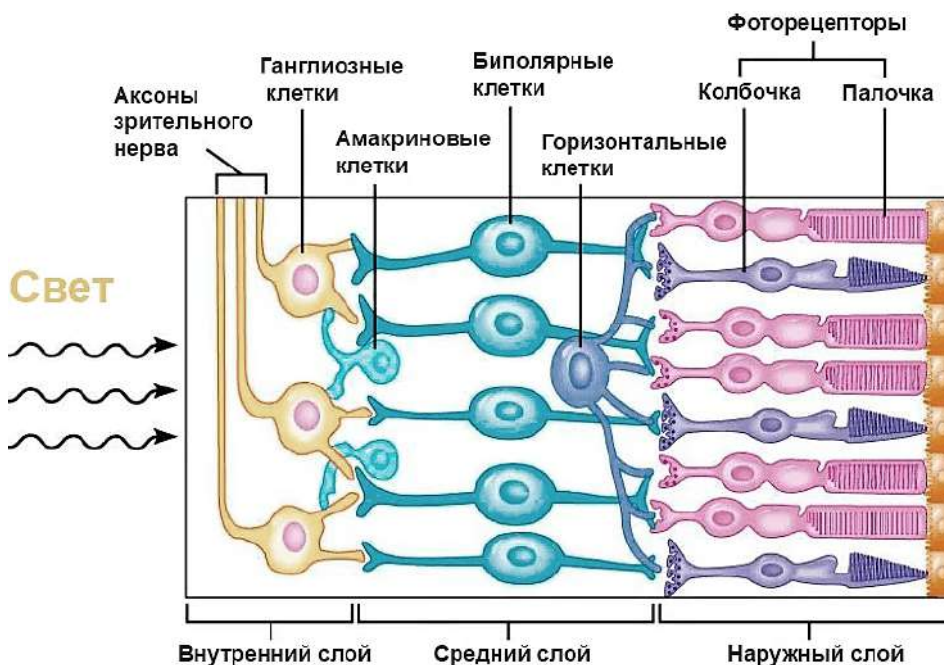


Рис. 20.4. Строение сетчатки

Название фоторецепторов во многом определяется их формой: у палочки основная световоспринимающая часть - цилиндрическая, пигменты - родопсины; у колбочки похожа на конус, пигменты - йодопсины (англ. - конопсины). Строение фоторецептора:

- **основной сегмент** - внутренняя часть с ядром и митохондриями, которые постоянно вырабатывают энергию;
- **пресинаптический сегмент** - вырост-передатчик сигнала, часть синапса; выделяет действующий на нейроны сетчатки нейромедиатор (глутамат);
- **наружный сегмент** - воспринимает солнечный свет, содержит несколько сот мембранных структур (палочки) либо поверхностных складок (колбочки).

Мембранные структуры имеют форму плоских цистерн, схожих с тилакоидами хлоропластов: процесс фотосинтеза и зрительного восприятия света обладают аналогичными функциями - восприятие электромагнитных волн с помощью светочувствительных молекул и превращение в химическую (синтез глюкозы в фотосинтезе) или электрическую энергию (импульсы в сетчатке глаза). В обоих случаях необходима значительная поверхность для расположения молекул: в случае фотосинтеза - хлорофилл, в сетчатке - **светочувствительные пигменты родопсин и один из 3-х йодопсинов**, настроенных на красный, зеленый и синий диапазоны

спектра. Под действием света происходит цепочка химических реакций, которая приводит к распаду пигментов и изменяет выделение нейромедиатора в пресинаптическом окончании, после чего сигнал передается в нейроны сетчатки. Родопсины и йодопсины состоят из белка опсина (свой для каждого из пигментов, разные участки ДНК), небелковой части (цис-ретиноаль - производное ретинола (витамин А) и каротина, выполняющего функцию вспомогательного светочувствительного пигмента. В растительных клетках оранжевый пигмент каротин помогает имеющему зеленый цвет хлорофиллу, поскольку воспринимает красную и синюю часть спектра, а зеленую отражает (поэтому человек видит зеленый цвет листьев). Таким образом каротин в хлоропласте передает хлорофиллу часть солнечной энергии. Эволюция позвоночных животных не смогла "изобрести" собственный светочувствительный пигмент, чтобы видеть, люди должны получить его от растений (морковь, тыква), трансформировать каротин в ретиноаль и вставить в фоторецепторы. Данная ситуация отражает идею витаминов и других незаменимых веществ, без которых человек не может существовать, но и не может синтезировать их самостоятельно.

Под действием света цис-ретиноаль переходит в транс-ретиноаль и отщепляется от молекулы опсина, далее запускается химическая реакция, меняющая состояние фоторецептора и нейронов сетчатки в целом. После этого необходимо восстановить транс-ретиноаль (вернуть цис-форму) и заново синтезировать родопсины и йодопсины. Ресинтез (регенерация) цис-ретиноаля происходит в пигментных клетках, находящихся в наружном слое сетчатки на границе с сосудистой оболочкой, за фоторецепторами, которые погружены в пигментный слой, содержащий гранулы с меланином (рис. 20.5). Данный круговорот осуществляется в сетчатке глаза человека постоянно. Реакция фоторецептора на зрительный стимул развивается медленно, потому что сама последовательность химических реакций, которые начинаются с отщепления ретиноаля от опсина, не менее длинная, чем процесс фотосинтеза. Данными процессами серьезно занимается биофизика: на кафедре биофизики биологического факультета Московского университета часть ученых занимается фотосинтезом, другая лаборатория - зрением (фоторецепцией). Реакция фоторецептора на короткую световую вспышку длится около 50 мс (1/20 секунды), что при достаточной высокой частоте подачи вспышек (15 - 20 раз в секунду) вызывает у человека иллюзия слияния изображений. На этом эффекте основан кинематограф, технологию которого в конце XIX века изобрели **братья Люмьер**. Первая комедия "**Политый поливальщик**" длилась 50 секунд и была показана в 1895 году, через год появился фильм о прибытии поезда на вокзал.

Функции зрительной системы

Световая и темновая адаптации

- **световая адаптация** - когда человек из темного помещения выходит на яркий свет (100% родопсина), на несколько секунд происходит ослепление сетчатки - лавинообразное разрушение пигментов (цис-ретиноаль переходит в транс-ретиноаль), приводящее к мощному сигналу от сетчатки в головной мозг.

Зрительное ощущение слабеет, но распад через несколько минут уравнивается синтезом на уровне 2 - 5% от максимума, далее сетчатка способна работать на ярком свете на этом уровне пигмента;

- **темновая адаптация** - когда человек заходит из ярко освещенного пространства в сумерки, то вначале он ничего не видит, процессы восстановления йодопсины и родопсинов начинаются через несколько минут. При сумеречном освещении они более интенсивны, чем процессы распада. Равновесие распада и восстановления возникает при 50% концентрации пигментов.



Рис. 20.5. Световая и темновая адаптации

На графике по горизонтали отложено время, по вертикали - концентрация светочувствительных пигментов сетчатки. У пиратов один глаз часто закрыт повязкой, что не означает его отсутствие. Данный прием появился в связи с плаванием в тропических морях на парусных кораблях, которое предполагало и установку паруса на ярко освещенной палубе, и спуск в слабо освещенный трюм. При этом на темновую адаптацию уходило слишком много времени, повязка помогает глазу отдыхать при ярком освещении и работать без неё в трюме.

Функции родопсинов и йодопсинов

- **йодопсины** - делятся на три типа: работающие в красном диапазоне (длина волны - 570 нм), зеленом (540) и синем (430). Анализируя эволюционные процессы в группе наземных позвоночных, йодопсины можно считать более древним вариантом: у рептилий часто присутствуют только эти пигменты (5 и более типов колбочек), поскольку с точки зрения биохимии процессов легче создать пигмент, реагирующий на определенный диапазон; у млекопитающих - 2 типа колбочек (красночувствительные и синечувствительные). Эволюция обычно не дает обратного хода, но у предков человека зеленочувствительные колбочки присутствовали, млекопитающие их потеряли, у обезьян произошла дополнительная мутация красночувствительного опсина и возник зеленочувствительный. Мутация произошла в результате того, что обезьяны являются редкой группой живущих днем млекопитающих, поскольку древолазам в это время вполне комфортно. Наследование красночувствительных и зеленочувствительных колбочек сцеплено с X-хромосомой, поэтому дальтонизм по красному и зеленому цвету связан с полом (около 7% мужчин и 0,5% женщин — дальтоники), дальтонизм синего встречается с равной

вероятностью у обоих полов. Существенный процент дальтоники среди мужчин говорит о том, что эволюция отбирала их, так вычислительный ресурс затылочной коры в этом случае более интенсивно работает с палочками, поэтому дальтоники в сумерках лучше анализируют движения и формы, то есть являются более эффективными ночными охотниками.

- **родопсины (и палочки)** - около 200 млн. лет назад возникают млекопитающие, являющиеся ночными (сумеречными) животными, поскольку более комфортные ниши были заняты динозаврами. Их активность в ночное время была снижена и небольшие теплокровные существа могли добывать еду. Но в темноте красных, синих и зеленых пигментов недостаточно, поэтому эволюцией был создан интегративный пигмент для всех диапазонов, при этом было принесено в жертву цветовосприятие. Данный эволюционный путь прошли практически все млекопитающие и некоторые птицы, прежде всего ночные хищники - совы, у которых также появились палочки (адаптация к сумеречному зрению).

Восприятие цветов

Таким образом, на уровне сетчатки человека присутствует три главных спектральных диапазона красный, синий и зеленый. Все цветовое разнообразие окружающего мира - функция коры больших полушарий. О том, что человек воспринимает только три чистых цвета, стали догадываться ещё в конце XVIII века, в начале XIX века английский физик **Томас Юнг** соединил три разноцветных и прозрачных кусочка стекла, на перекрестье которых появился белый цвет. Доказательство на физиологическом уровне в середине XIX века получил **Герман Гельмгольц**, который написал об этом книгу, попавшую в руки молодых французских художников. Мастера во второй половине XIX века искали способ писать по-новому, поскольку к этому времени уже хорошо была развита техника фотографии, и стало понятно, что копировать окружающий мир у фотографов получается гораздо эффективнее. Художники искали новые способы выражения впечатлений, например, в технике импрессионизма практиковался способ создания картин при помощи отдельных мазков, при этом чистые краски на палитре не смешивались. Один из стилей данного вида изобразительного искусства – пуантель, в этой технике один мазок не накладывается на другой, а наносится на холст на одинаковом расстоянии, то есть картина создается попиксельно. В нем создана картина **Жоржа Сера "Воскресенье после полудня на острове Гранд-Жатт"**. Леонардо Да Винчи и Рафаэль создавали стабильные полотна, если стоящий перед картиной художника-импрессиониста человек отклонится в сторону, то картина меняется, изображение собирается по-другому: зрителю может показаться, что изображенные на деревьях листья шевелятся, а волны бегут по поверхности воды.

Цветовое разнообразие является зрительной иллюзией, в действительности человек видит **три цвета**, каждый из которых соответствует разному диапазону электромагнитных волн. Сетчатка глаза дает совокупность красных, синих и зеленых точек. Новый цвет можно собрать из правильных пропорций чистых цветов (красного, синего и зеленого), а также уменьшая их яркость:

- синий + красный = лиловый, при уменьшении яркости - фиолетовый;
- красный + зеленый = желтый, уменьшение яркости - песочный;
- синий + зеленый = голубой, уменьшений яркости – бирюзовый;
- равное количество трех цветов дает при смешении серый цвет.

Сетчатка глаза сообщает головному мозгу о совокупность красных, синих и зеленых точек разной яркости, то есть происходит попиксельная оцифровка некоторого изображения, после чего сигнал от каждой точки сетчатки уходит по зрительному нерву. Количество аксонов в зрительном нерве - количество пикселей, которые видит человек - **около 1 млн. (1 мега пиксель)**. Миллион сигналов собирается как результат работы большого количества фоторецепторов: на каждую ганглионарную клетку, создающую аксон в пределах зрительного нерва, сходятся около 300 палочек и 15 колбочек. При этом половина аксонов работает с черно-белым зрением, вторая половина - с цветовым, соответственно на 500 тыс. аксонов сигналы получают 140 млн. палочек и 7 млн. колбочек. Это неожиданно небольшое количество, поскольку современные электронные устройства дают до 40 Мпк. Ситуация объясняется, как часто бывает с мозгом, ограничением вычислительных ресурсов: приходится делать выбор между объемом информации, которую коре головного мозга необходимо обработать, и качеством изображения, для чего приходится перераспределять информационные потоки.

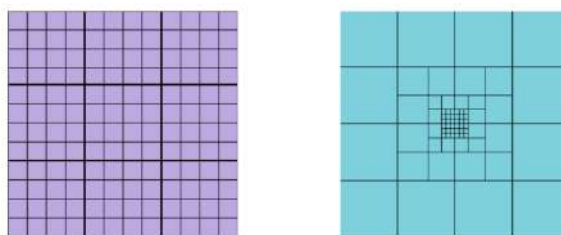


Рис. 20.6. Слева - матрица фотоаппарата, справа - сетчатка глаза

- **сетчатка глаза** - 72 пикселя, в центральной ямке наибольшая плотность фоторецепторов - наибольшая детализация в центре поля зрения, то есть высокое качество изображения; у ганглий нервных клеток - минимальный уровень "схождения" (конвергенции - число контактирующих фоторецепторов); при необходимости за счет движения глаз человек может перевести взгляд на необходимую точку пространства и тонко считать информацию;
- **матрица фотокамеры** - 144 пикселя, равномерная, каждый пиксель имеет одинаковую величину; на фотографии примерно одинаковая детализация изображения и в центре, и на периферии.

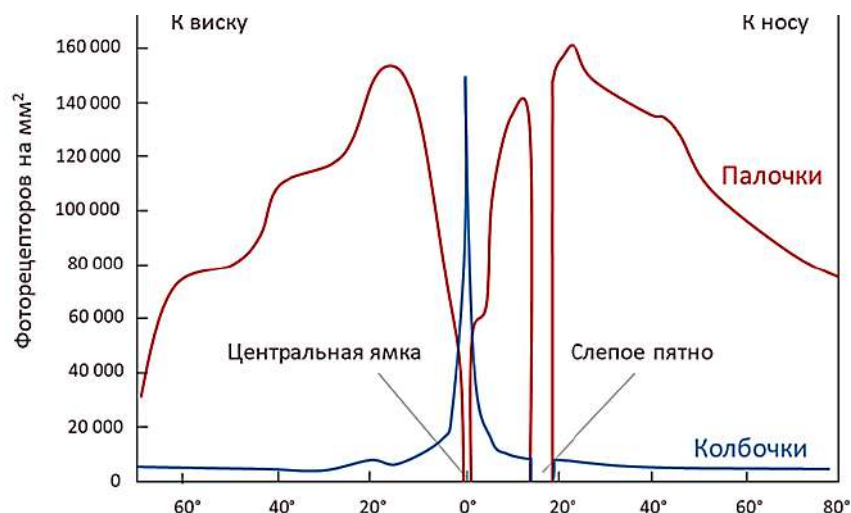


Рис. 20.7. Распределение палочек и колбочек в сетчатке глаза на 1 мм²

На графике по горизонтали отложены градусы: 0 - **центральная ямка** (fovea), находящаяся напротив зрачка, содержит множество колбочек, количество которых быстро снижается к периферии, где находится значительное количество палочек, максимальное - вокруг центра сетчатки. **Слепое пятно** - место, где собираются аксоны ганглионарных клеток (область выхода зрительного нерва). Этой зоной сетчатки человек не видит, но не осознает это, потому что один глаз компенсирует слепое пятно другого. Днем люди лучше видят центром поля зрения, в сумерках для получения более четкого изображения лучше смотреть немного искоса (что записано в кодексе самурая).

Зрительный нерв и зрительные центры головного мозга

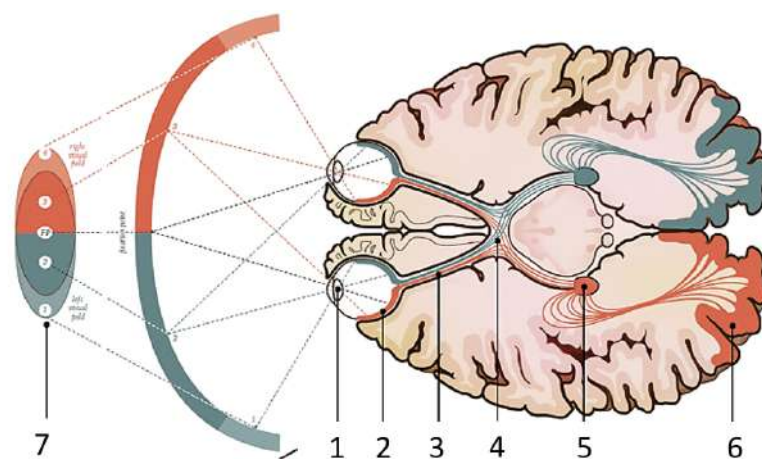


Рис. 20.8. Зрительные центры: 1 - зрачок, 2 - сетчатка, 3 - зрительный нерв, 4 - хиазма, 5 - ядра гипоталамуса, 6 - зрительная кора, 7 - поле зрения

- **хиазма** - наружная часть сетчатки передает сигнал в свое полушарие, волокна внутренней части сетчатки перекрещиваются и идут в противоположное полушарие; 50% перекрест зрительных нервов называется зрительная хиазма, с

его помощью информация, собранная от правых половин сетчаток быстро в них обрабатывается (без прохода через мозолистое тело);

- **ядра переднего гипоталамуса** - супрахиазмальные ядра являются древним центром, который оценивает общий уровень освещенности и отвечает за настройку на суточный ритм (день-ночь) - связь с центрами сна и бодрствования (способность ядер держать суточный ритм во многом определена генетически - хронотип "сова", "жаворонок") и сезонный ритм - (весна, лето, зима, осень), который у животных связан с процессами миграции, размножения, спячки; в переднем гипоталамусе также находятся центры полового и родительского поведения;
- **четверохолмие среднего мозга** - верхние холмики четверохолмия получают информацию от зрительного нерва и запускают ориентировочный рефлекс (реакция на новые стимулы); глазодвигательный, блоковый и отводящий нервы отвечают за движения глаз (саккады, слежения), аккомодацию и изменение диаметра зрачка (рис. 20.9.);
- **ядра таламуса** - латеральное (боковое) коленчатое тело находится в задней части таламуса; имеет корковоподобную структуру, состоящую из шести слоев клеток, которые контрастируют изображение для облегчения последующей обработки корой больших полушарий. Контраст - светлые области изображения становятся светлее, темные - темнее, что делает границу между объектами более четкой. Когда он повышается, это приводит к характерным зрительным иллюзиям, например, на изображении справа на рис. 20.10. сложно понять, какие из кругов существуют реально - белые или вспыхивающие в их центре при движении взора черные круги;
- **зрительная кора (затылочная):**
 - **первичная зрительная кора** - получает сигналы из таламуса и детектирует простые зрительные образы (прямая линия), нейроны ориентационной чувствительности находятся в задней части затылочной доли больших полушарий и настроены на отрезки прямых линий, расположенные под разными углами к горизонту; в данной области находится отражение сетчатки ("карта");
 - **вторичная зрительная кора:**
 - узнавание геометрических фигур, которому человеку необходимо учиться, линии и схема лица узнаются врожденно - нейросети возникают за счет генетических сигналов по мере развития у эмбриона зрительной коры;
 - детекция движений, объемное восприятие и точное определение расстояния до объекта (бинокулярное зрение) - сравнение сигналов от правого и левого глаза, которые у *homo sapiens* и обезьян расположены спереди, что позволяет им смотреть на объект обоими глазами; получив от них два плоских изображения, вторичная кора сравнивает их; у большинства млекопитающих глаза расположены по бокам головы, что дает большой угол зрения, необходимый для оценки опасности. Таким

образом, человек жертвует обзором для точного определения параметров видимых объектов и расстояния, именно эти особенности зрительной системы легли в основу возможности работать с мелкими объектами и создания орудий труда;

- объединение цветового и черно-белого зрения - палочки используются для выделения контуров, колбочки - для заливки цветом;
- **третичная кора** - зона в височной области (дорсальный путь в зону "что?" - свойства объекта) и зона в теменной области (вентральный путь в зону "где?" - объем, движение, расположение в пространстве) - содержит обучающиеся нейроны и отвечает за узнавание наиболее сложных зрительных образов (буквы и лица конкретных людей); для определения лица человека необходима выявление минимум 40 опорных точек (расстояние между зрачками, высота подбородка и т.д.); точечные повреждения данной зоны могут привести к невозможности читать (оптическая алексия);
- **зрительный нерв** - входит на границе таламуса и гипоталамуса.

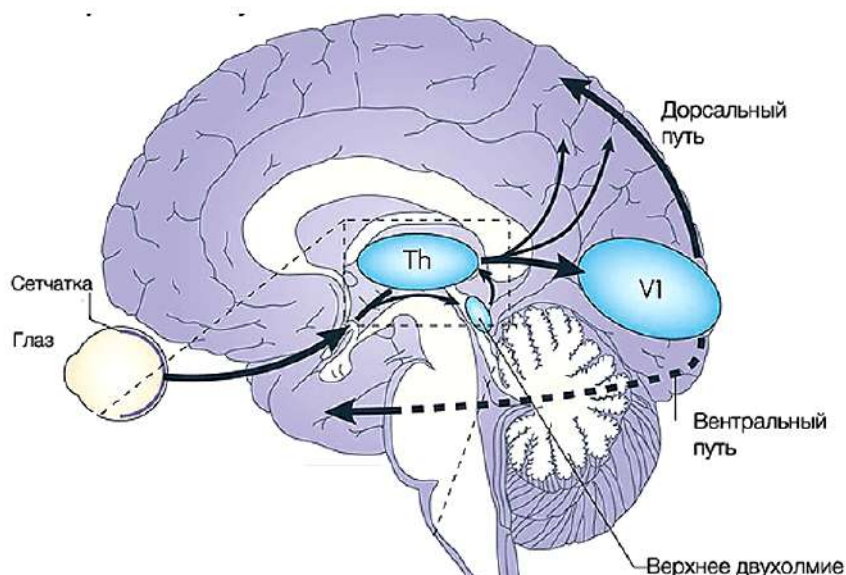


Рис. 20.9. Проводящие пути зрительного анализатора, Th – ядра таламуса, VI – зрительная кора

Двойственные изображения

Характерной особенностью сенсорных систем человека, включая зрительную, является сборка целостного образа из неких признаков - **конвергенция**. Линия собирается из отдельных точек, геометрическая фигура формируется из отдельных линий. Для узнавания необязательно наличие полного набора признаков, если человек смотрит на картины итальянского живописца **Д. Арчимбольдо**, в конце XVI века изображавшего людей в виде натюрмортов, то его мозг в первую очередь опознает целостный образ (гештальт), а потом определяет, что он состоит из фруктов.

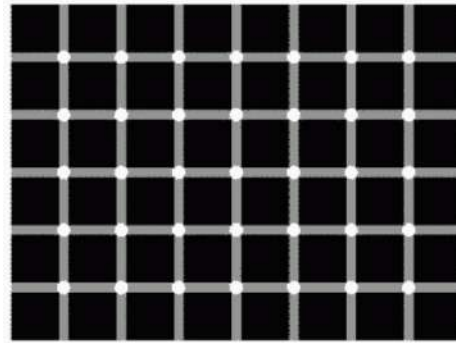
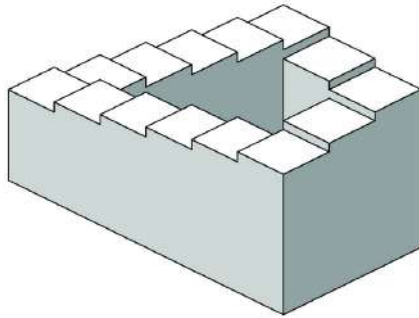


Рис. 20.10. Зрительные иллюзии

Зрительную систему человека не сложно обмануть, предложив ей нечто, похожее на уже известный ей сложный образ. В естественных природных условиях, реакция до сбора полной информации об объекте позволяет оказаться первым в ряде ситуаций. Невозможные фигуры являются отдельным видом искусства, эксплуатирующим особенности работы зрительной системы (алгоритм гештальта). Они работают на любопытство человека, то есть на выделение нейромедиатора дофамина, появление положительных эмоций от новизны и необычности.

Лекция 21. Вестибулярная и слуховая чувствительность

Вестибулярная система

Данная лекция продолжает рассмотрение сенсорных систем организма человека, как их периферическую часть - орган чувства, так и центральную - механизмы обработки сенсорных сигналов головным и спинным мозгом. Вестибулярная и слуховая системы являются эволюционно родственными и обладают общим органом чувства - **внутреннее ухо**, а также сходными волосковыми рецепторами или волосковыми клетками, относящимися к группе механорецепторов. Рецепторы содержат чувствительные волоски, выходящие в полость внутреннего уха и располагающиеся в виде линейного гребня. Изгиб от меньшего волоска к большему возбуждает рецептор, в результате возникает поступающий в центральную нервную систему сигнал. У вестибулярного рецептора один гребень механоцепторов, у слухового - около 50 - 70 расположенных амфитеатром волосков. Внутреннее ухо находится в сложной по конфигурации полости височной кости, его конструкции собраны из тонких пленок соединительной ткани

Строение внутреннего уха:

- **слуховая часть** - лагена (озеро) и улитка, наполненная лимфой: перилимфа - похожа по составу на плазму крови и обычную лимфу, эндолимфа - особенная среда, содержащая много ионов калия, в которую выходят чувствительные волоски. Конус улитки закручен в два с половиной оборота, она сообщается с вестибулярными мешочками. К волосковым клеткам подходят волокна проводящих клеток VIII (преддверно-улиткового) нерва. Нейроны, формирующие вход в продолговатый мозг и мост, расположены в периферических ганглиях (схожи по структуре со спинномозговыми);
- **вестибулярная часть** - состоит из двух вестибулярных мешочков (круглый - саккулюс, овальный - утрикулус) и трех полукружных каналов, расположенных взаимно перпендикулярно и наполненных лимфой.

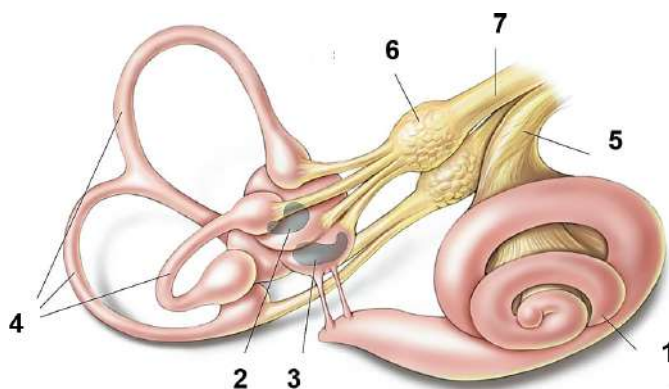


Рис. 21.1. Строение внутреннего уха: улитка (1), круглый (2) и овальный (3) мешочки, полукружные каналы (4), VII нерв (5), ганглии (6), VIII нерв (7)

В ходе эволюции первой возникла вестибулярная система, задачей которой является реакция на силу тяжести (ускорение свободного падения). Знание о том, где находятся центр Земли и небо (верх и низ), очень значимо даже для кишечнополостных, более того, определять направление к центру Земли способны растения (положительный геотропизм). Слуховая система в виде мешочка появляется позднее, наблюдается у рыб, амфибий, у рептилий она становится длиннее, у птиц превращается в конус, у млекопитающих закручивается. У рыб есть и полукружные каналы, но у круглоротых (миноги, миксины) по причине существования в двумерном мире (ползание по дну) их только два. Эволюционно система внутреннего уха возникает из системы подкожных боковых каналов рыб, сообщающихся с внешней средой. В них находятся волосковые рецепторы, колебания воды вокруг тела рыбы вызывают изгибы чувствительных волосков, и рыба понимает, кто мимо неё движется. Со временем часть находящихся в голове рыбы каналов отделяется от данной системы и превращаются во внутреннее ухо. Несмотря на то, что теперь оно не сообщается с внешней средой, общая логика строения остается прежней: полость с жидкостью, в которую выходят чувствительные волоски.

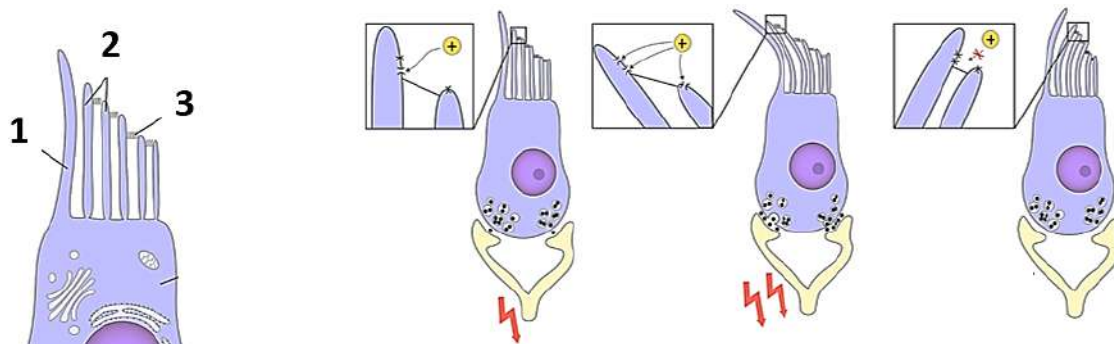


Рис. 21.2. Слева: строение цилии – киноцилия (1), стереоцилии (2), белковые нити (3);
справа: генерация потенциала действия в зависимости от направления изгиба

Рецепторы вестибулярной системы обладают волосками-цилиями двух типов:

- **киноцилии** - одиночный бывший жгутик с микротрубочками, состоящими из белка тобулин и скользящими друг по другу (при этом киноцилий не двигается);
- **стереоцилии** - выросты с актиновыми нитями-филаментами (схожи с выростами клетки кишечного эпителия), присутствует цитоскелет (волоски внутри молекулы актина); слуховой рецептор обладает только стереоцилиями.

Чувствительность к направлению изгиба

От меньшего волоска к большему - рецептор возбуждается, в противоположном случае - немного тормозится, сгибание вбок не вызывает реакции. Этот эффект был известен давно, существовавшая в XX веке гипотеза предполагала, что в мембране волосков присутствуют цилиндрические белковые молекулы, обладающие механочувствительностью. Цилиндр молекулы вставлен внутрь мембраны и образует сквозное отверстие, в спокойном состоянии он сплюснен, поэтому его внутреннее отверстие узкое, а положительно заряженные ионы, способные вызывать возбуждение

рецептора, не могут сквозь него пройти. При надавливании цилиндр становится более круглым, отверстие расширяется и позволяет пройти: в эндолимфу - ионам калия, в случае кожной чувствительности - ионам натрия. Гипотеза подтвердилась в отношении кожных рецепторов, но когда волосы вестибулярной системы были изучены с помощью электронного микроскопа, то анализ показал, что по вершинам волосков идут белковые нити, которые крепятся к створкам белков каналов (рис. 21.2., слева). Вход ионов и развитие реакции рецептора происходят при изгибе волосков в правильном направлении (от меньшего к большему): в закрытом состоянии белка-канала их прохождению препятствует створка, если натянуть белковую нить, она откроется. В фоновом состоянии открыто около 10% каналов, при изгибе от большего к меньшему волоску они закрываются. Белки каналов и нитей кодируются отдельными генами, в случае их поломки возникают различные варианты врожденной глухоты. Слуховые рецепторы более чувствительные и не восстанавливаются после травм или инфекционных заболеваний, вестибулярные - способны к восстановлению.

Реакция вестибулярной чувствительности на линейное и угловое ускорение

За положение тела в пространстве отвечает система мышечной чувствительности человека. Орган вестибулярной системы содержится в голове, поэтому определяется информация именно о её положении в пространстве, что происходит за счет довольно остроумного механизма, связанного с отолитовой мембраной, находящейся на волосках рецепторных клеток - желеобразной массой, внутрь которой вставлены кристаллы карбоната кальция (слуховые камни - отолиты). Масса немного плотнее (тяжелее) окружающей её эндолимфы, поэтому она пытается выпасть в осадок внутри мешочка, придавливая (деформируя) при этом часть волосков.

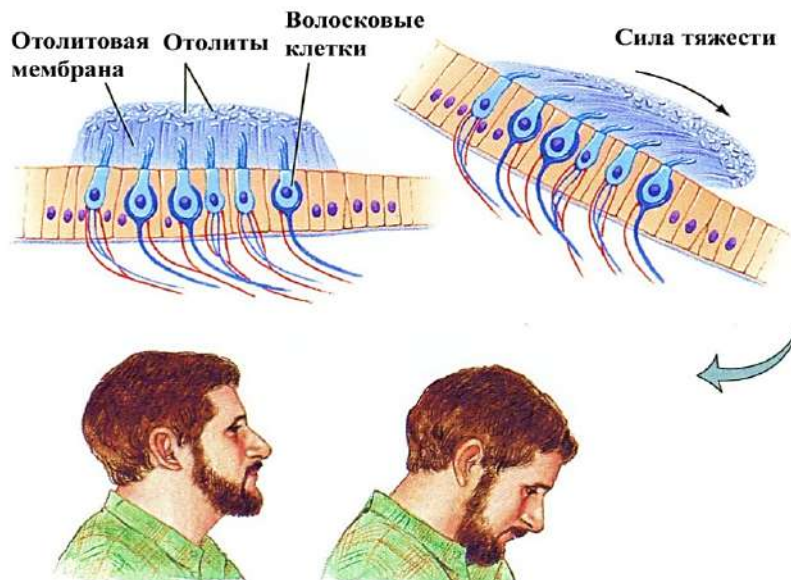


Рис. 21.3. Сдвиг отолитовой мембраны в зависимости от положения головы человека

Сдвиг отолитовой мембраны зависит от положения головы человека в пространстве, он ведет к деформации волосков, возбуждению (торможению) некоторой

части рецепторов, сообщающих мозгу о проходящем сигнале. Далее за счет информации от системы внутренней чувствительности (с учетом изгиба позвонков и суставов конечностей) происходит пересчет и определение положения тела в пространстве. **Кроме силы тяжести в процессе участвует инерция:** если переместить голову в пространстве, то вместе с ней сдвинется внутреннее ухо с вестибулярными мешочками, но отолитовая мембрана в них свободно плавает, едва касаясь волосков, поэтому она за счет инерции смещается в противоположном направлении. Таким образом, вестибулярная система человека реагирует на любое ускорение, которое происходит с организмом человека и связано либо с перемещением его тела в пространстве, либо с ускорением свободного падения.

- **рецепторы в мешочках** - в первую очередь реагируют на **линейное ускорение** (вправо-влево, вперед-назад, вверх-вниз);
- **рецепторы в полукружных каналах** – реагируют на **угловые ускорения** (повороты, вращения головы, три канала - три измерения пространства).

В полукружных каналах идет воздействие на желатинозную купулу, схожую по строению с отолитовой мембраной и находящуюся в расширении канала (ампула). Вестибулярная система медузы устроена аналогичным образом: мешочек (статоцист), внутри которого находятся статолиты, состоящие из карбоната кальция (CaCO_3). Вестибулярная система активирована всегда, когда в космосе человек оказывается в состоянии невесомости, то из-за отсутствия вестибулярного потока информации начинаются проблемы с координацией систем его организма, порой необходима длительная адаптация.

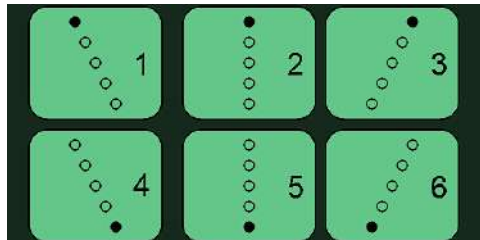


Рис. 21.4. Вестибулярные рецепторы

На рис. 21.4. изображены шесть вестибулярных рецепторов, расположенных в стенке мешочка рядом (по дуге), кругами обозначен гребень из волосков, ориентированный в определенную сторону, черный круг - киноцилий. При сдвиге тела вверх сильнее всего будут изогнуты волоски у того рецептора, чей гребень расположен прямо по направлению сдвига (2 и 5), при этом отолитовая мембрана за счет инерции сдвинется вниз; рецепторы 4 и 6 будут активированы гораздо слабее, 1 и 3 - немного затормозятся. Мозг человека врожденно знает, что сигнал от рецептора 5 означает сдвиг тела ровно вверх. Расположение рецепторов по стенкам вестибулярных мешочков позволяет точно описать любое линейное перемещение в пространстве, наиболее точно - боковые наклоны головы (до 1°), вперед - назад (2 - 3°). Чувствительности вестибулярной системы к линейным ускорениям - 2 см/с^2 , к угловым вращениям - $2 - 3^\circ \text{ градуса/с}^2$. Таким образом, направление ускорения детектируется за

счет разной ориентации гребней волосков. Скопления рецепторов называются макула, в каждом мешочке и канале содержится около 3 тыс. рецепторов.

Вестибулярные проводящие пути

От рецепторов мешочков сигнал через проводящие нейроны VIII черепного нерва попадает в головной мозг на границу продолговатого мозга и моста - ромбовидную ямку (дно четвертого желудочка). Вестибулярные ядра, как эволюционно более древние, расположены в ромбовидной ямке ближе к центральной линии мозга, слуховые - латеральнее. Вестибулярная информация необходима для оперативной коррекции движений, поэтому из данной зоны сигналы быстро расходятся по 4 направлениям:

- **в спинной мозг** - вестибулоспинальные тракты; вестибулоспинальные рефлексy - врожденные программы, позволяющие человеку ровно устанавливать голову (органы зрения и слуха приводятся в оптимальное положение) и осуществлять экстренное распрямление конечностей при потере равновесия (рассчитан на четвероногих, у человека рефлексорное разгибание рук при падении увеличивает вероятность травматизма);
- **в средний мозг и мост** – для учета глазодвигательными центрами положения головы при реализации движений глаз;
- **в мозжечок** – в первую очередь в зону червя мозжечка для реализации автоматизированных движений, связанных с поддержанием равновесия;
- **через таламус в кору больших полушарий** – для управления произвольными движениями; таламус является фильтром информации (функция внимания) и в обычном режиме пропускает немного вестибулярной информации, но при запросе корой актуальной информации она пропускается, например, в случае реализации и коррекции произвольного движения. Чувствительность приходит в островковую кору на дне боковой борозды, где находятся вестибулярные центры (стенка борозды со стороны височной доли) и центры слуха, вкуса и кожной чувствительности.

Вестибулярная сенсорика, как и любой вид сенсорики, является для человека источником положительных эмоций, ребенку вестибулярные сигналы любопытны (качели, американские горки).

Слуховая система

Слуховая система реагирует на колебания окружающей среды: за счет движения неких объектов возникают волны воды или воздуха с разным расположением частиц (плотное, разреженное). В линии позвоночных слуховая система появляется у рыб (лагена), не менее 40% рыб общается с помощью звуковых сигналов.

- **водная среда** - обитающим в водной среде существам достаточно внутреннего уха: колебания воды переходят на колебания тела (плотность примерно одинакова), достигают слуховой части внутреннего уха, эндолимфа колеблется, волоски изгибаются - срабатывают рецепторы;

- **воздушная среда** - появляются системы внутреннего и наружного уха; у амфибий и рептилий - барабанная перепонка и одна слуховая косточка, у птиц формируется наружный слуховой проход, у млекопитающих - три слуховых косточки и наружное ухо с ушной раковиной.

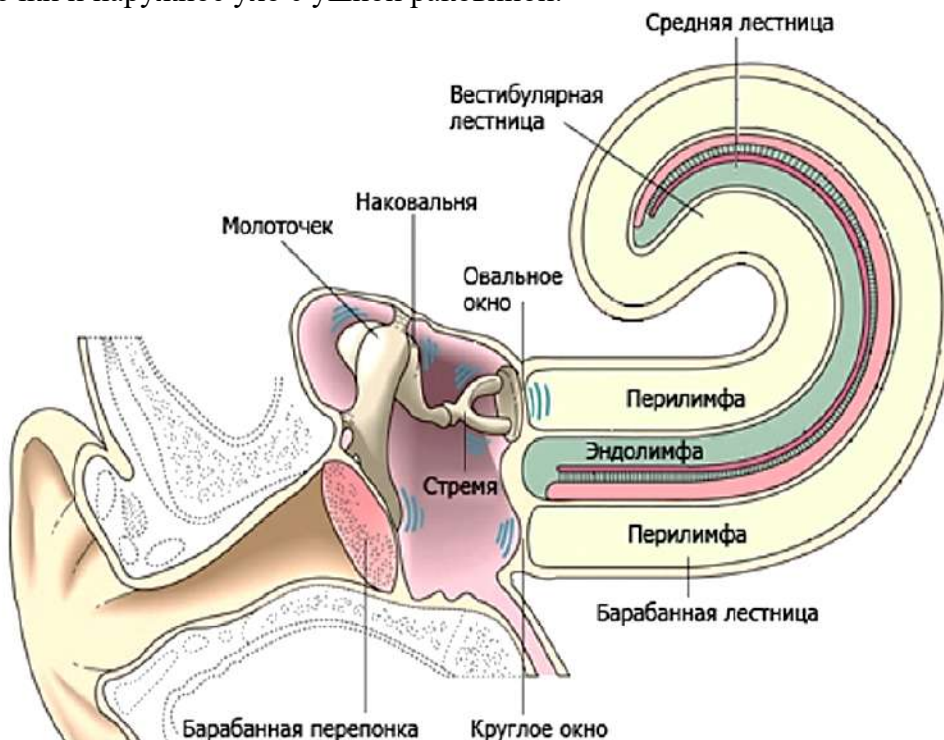


Рис. 21.5. Строение слуховой системы

Строение слуховой системы:

- **наружное ухо** - "рупор" для сбора колебаний воздуха, состоящий из ушной раковины и наружного слухового прохода;
- **среднее ухо** - энергия колебаний воздуха улавливается **барабанной перепонкой** - плотной, но прочной пленкой из соединительной ткани и передается трем **слуховым косточкам**: молоточек, контактирует с барабанной перепонкой, стремя - с началом улитки (овальное окно), наковальня; косточки находятся в полости, заполненной воздухом, который попадает по **слуховой (евстахиева) трубе**, являющейся остатком жаберной щели. Вход в трубу находится в глубине глотки, у взрослого человека она обычно сомкнута и открывается при глотании, что необходимо для выравнивания давления воздуха за и перед барабанной перепонкой (чтобы не закладывало уши). По слуховой трубе могут перемещаться бактерии, что приводит к воспалению среднего уха (отит). Сбор воздуха системой барабанной перепонки и косточек происходит по принципу работы канцелярской кнопки: при давлении на широкую часть на острие возникает большое давление, то есть энергия собирается с большой поверхности барабанной перепонки ($S = 20$) и передается на небольшую площадь овального окна ($S = 1$). Усиленных в 20 раз колебаний достаточно, чтобы раскачать

эндолимфу внутри улитки. Слуховые косточки - самые небольшие кости организма человека, эволюция этой системы начинается со стремени, которое у рыб двигает жаберную крышку. Только стремнем обладают амфибии, рептилии и птицы, у млекопитающих добавляются ещё 2 косточки, которые отделяются от кости нижней челюсти, формируются небольшие суставы. Они важны не для повышения чувствительности системы, а для её понижения в случае необходимости, потому что в них находятся мышцы, напрягающиеся при избыточно сильном звуке и защищающие слуховую систему от повреждения. Помимо овального окна в стенке улитки присутствует **круглое окно**, которое прогибается и предотвращает быстрое затухание колебаний лимфы.

- **внутреннее ухо** - свернутый конус улитки длиной 3,5 см, в свое время улитку называли "перепончатый лабиринт", "костный лабиринт", поскольку её закрученность в два оборота создает сложности с точки зрения пространственного восприятия. Внутри улитки натянуты две **мембраны** (верхняя - рейснерова, нижняя - базилярная), формирующие три канала: **барабанная лестница**, **средняя лестница (улитковый проток)**, **вестибулярная лестница** (лестница преддверия). Средняя лестница наполнена богатой калием эндолимфой, в которую выходят волоски рецепторов. Стремя стучит в начало вестибулярной лестницы, где находится овальное окно. **Кортиев орган**: когда базилярная мембрана начинает качаться в результате колебания лимфы, то волоски рецепторов касаются находящуюся над ними покровную мембрану и изгибаются, происходит возбуждение рецептора, и человек ощущает звук.

Улитка - частотно-амплитудный анализатор

Чем громче звук, тем сильнее колебания лимфы и изгиб волосков, чаще импульсы в VIII нерве. В середине XIX века исследователи определили, что расположенные близко к овальному окну рецепторы реагируют на высокие частоты (20 кГц), рецепторы, которые реагируют на низкие частоты - находятся ближе к вершине спирали улитки, где базилярная мембрана широкая (у новорожденного - 20 Гц). Строение улитки изучал немецкий анатом **Герман Гемгольц**, который много работал с цветовым зрением. Базилярная мембрана натянута внутри улитки на тонких костяных отростках, входящих внутрь перепончатого лабиринта. Анализируя её строение, ученый заметил, что в разных местах у нее разная ширина, и предположил, что принцип её работы аналогичен принципу работы арфы, то есть поперек мембраны натянуты струны из соединительной ткани. Длинные струны резонируют на колебание с длинной волной (низкочастотные), короткие - с короткой волной (высокочастотные). Проблема **резонансной теории слуха** заключается в том, что в последующие 100 лет струны обнаружены не были. В середине XX века венгерско-американский биофизик и физиолог **Дьердь Бекише** предложил другой физический механизм - **механизм бегущей волны**. Если взять в руку длинную линейку и начать её раскачивать, то по её поверхности начнут идти волны. При раскачивании с небольшой частотой волны будут уходить далеко, пик волны окажется ближе к концу, при высокой частоте - пик волны будет находиться ближе к тому месту, откуда колебание началось. За свою работу в

1961 году ученый получил Нобелевскую премию в области медицины. Вероятно, что описанные механизмы сосуществуют, поскольку было обнаружено, что базилярная мембрана в разных частях имеет отличия в плотности и эластичности. Таким образом, разные участки базилярной мембраны отвечают за разные частоты. Диапазон у новорожденного составляет 20 - 20 тыс. Гц, с возрастом чувствительность снижается: диапазон в 15 лет - 25 - 15 тыс. Гц, в 50 лет - 30 - 10 тыс. Гц, что достаточно для анализа значимых звуковых колебаний, поскольку слуховая система человека прежде всего настроена на коммуникацию, люди говорят и поют в диапазоне от 50 - 1 тыс. Гц.

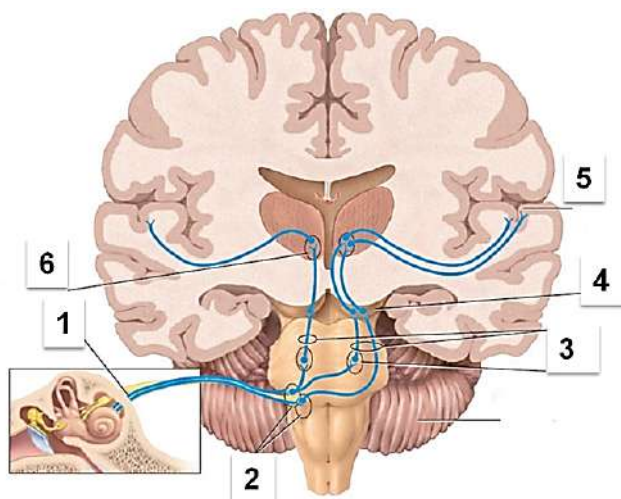


Рис. 21.6. Проводящий путь слухового анализатора

Проводящий путь слухового анализатора

В слуховые ядра ромбовидной ямки 4 желудочка мозга приходит "отчет" о том, сколько звуков каждой частоты слышит человек - тонотопическая передача. При этом на границе продолговатого мозга и моста возникает "карта" улитки, из этой области сигнал распространяется вперед и обрабатывается по ходу продвижения. В первую очередь сравниваются сигналы от правой и левой улитки и определяется направление на источник звука. Далее информация передается в нижние холмики четверохолмия (средний мозг), где осуществляется ориентировочный рефлекс (реакция на новые звуки, поворот глаз, головы или всего тела). Обработка информации продолжается в слуховых ядрах таламуса, которые готовят её для передачи в кору, в частности, таламус способен настраиваться на определенный частотный диапазон, прежде всего по заказу коры больших полушарий (произвольное внимание). Таким образом, человек из всего потока звуков может выделять только актуальные, например, прислушаться к партии духовых инструментов симфонического оркестра. Далее слуховой сигнал уходит в слуховую кору, располагающуюся в височной доле:

- **первичная слуховая кора** - находится в верхней части височной доли, в ней завершается тонкий тональный анализ звука, то есть наиболее точно выделяются звуки разной частоты;

- **вторичная слуховая кора** – зона, где из отдельных тонов начинают собираться и анализироваться слуховые образы (звуки природы: плеск воды, шум ветра, шуршание листьев, крик петуха, лай собаки), слуховая система человека способна узнавать часть информации благодаря врожденно существующим нейросетям: невербальная коммуникация, важные видоспецифичные сигналы (смех, плач, крик боли). Слуховые события подобного рода у человека непосредственно связаны с центрами эмоций: если другой человек смеется, то людям становится веселее, если плачет - менее комфортно;
- **третичная слуховая кора** - находится в задней части височной доли; выполняет наиболее сложные функции, анализируя речь и музыку. Произносимое слово не является суммой тонов, его может произнести мужчина или женщина, это будут разные тона, но их одинаковое соотношение - одинаковый спектр звука. Люди умеют узнавать мелодию вне зависимости от того, на каком музыкальном инструменте она была исполнена, то есть в какой-то момент конкретные тона становятся не так важны, как их соотношение, формирующее целостный звуковой образ. У правши речь узнает доминантное левое полушарие, ответственная за этот процесс зона называется "**зона Вернике**", музыку - правое полушарие. У левшей нет такого явного разделения функций, как и у народов, владеющих тональными языками (китайский, вьетнамский), в которых значение слова меняется от тона. Музыка - источник положительных эмоций, мозгу человека "интересно" слышать чистые тона, например, звук струны или колокольчика. Мажорные аккорды напоминают смех человека, минорные - плач. Когда присутствует ритмический рисунок или необычные сочетания, это радует нервную систему человека. Еще лучше сочетать ритмическую музыку с движениями, в этом случае дотянуться через слуховую систему до центров положительных эмоций проще, чем через зрительную систему. Вероятно, первым вариантом музыки был звук барабанов (перкуссия), если их ритм совпадает с ритмом локомоции шага или бега, это приводит к повышению активности мозжечка или базальных ганглиев и выделению дофамина.

Лекция 22. Вкусовая и обонятельная системы

Вкусовая система

С точки зрения логики работы вкусовой и обонятельной сенсорных систем, вкус и обоняние объединяет то, что они реагируют на химические вещества, но весьма различно и с разными целями.

- **вкусовая система** - в первую очередь ориентирована на определение качества пищи, что связано с работой желудочно-кишечного тракта. Человеку необходимо съесть "правильную" еду, чтобы получить энергию и строительные материалы; рецепторы - видоизмененные клетки слизистой;
- **обонятельная система** - дает более широкую картину мира, помимо зрительного образа и слухового ощущения любой объект окружающей среды может дополнительно ассоциироваться с запахом; рецепторы - нейроны, формирующие аксон, входящий в обонятельную луковицу.

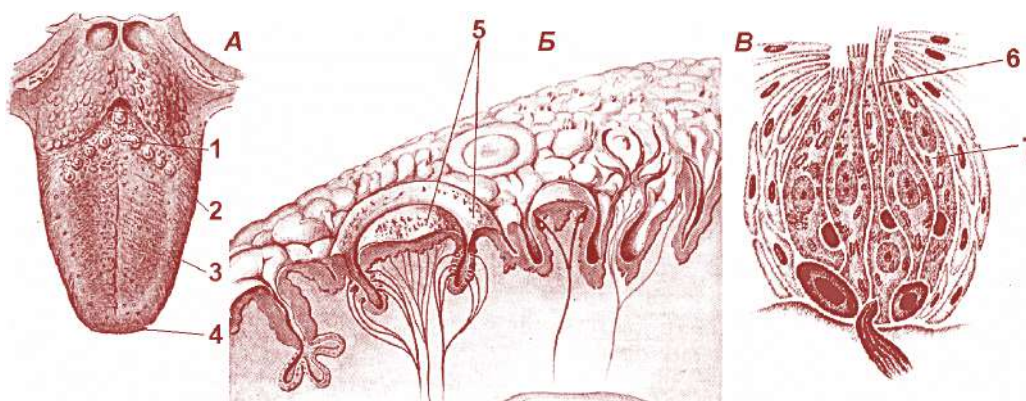


Рис. 22.1 Строение вкусового анализатора: А - язык, Б – поверхность языка, В - вкусовая почка

Строение языка

Язык - основной орган вкуса (А), на котором находится небольшие выступы - грибовидные **вкусовые сосочки**, немного возвышающиеся над его поверхностью. Вокруг них находится канавка, в которую выходят вкусовые почки (5), содержащие:

- **вкусовые клетки-рецепторы** (7) - реагируют на химические компоненты пищи, испытывают электрическое возбуждение и передают сигнал на волокна проводящих нервов (6): лицевой, языкоглоточный, блуждающий нервы; внутри одной почки могут находиться рецепторы, реагирующие на разные вкусы;
- **опорные клетки** - находятся между рецепторными, обеспечивают их взаимную электрическую изоляцию, выполняя функции глиальных клеток;
- **базальные клетки** - находятся внизу почки, необходимы для восстановления опорных рецепторных клеток; среднее время обновления вкусовых рецепторов - 8 - 10 дней.

Классические 4 вкуса (сладкий, кислый, горький и соленый) дополнены знаниями человека о других вариантах вкуса. 100 лет назад был открыт белковый вкус, в конце XX века - жирный, в настоящее время существует гипотеза о способности людей ощущать воду и кальций. Вкусовые рецепторы находятся не только на языке, но и в стенках глотки, пищеводе и желудке, то есть химический анализ пищи продолжается в начальных отделах ЖКТ. Части языка имеют разную чувствительность к вариантам вкуса: горький - детектируется в первую очередь корнем языка, сладкий - кончиком языка, кислый - боковые части, соленый - кончик и боковые части, центральная часть (спинка) - одинаково реагирует на все вкусы. Отметим, что описанные отличия чувствительности разных зон языка невелики, поскольку реагирующие на сладкий вкус рецепторы расположены по всей его поверхности, на кончике их на 15% больше.

Вкусовые клетки-рецепторы

Типы сосочков: грибовидные (3, 4), желобоватые (расположены на корне языка, 1 на рис. 21.1.) и листовидные (2). Задача вкусовых клеток-рецепторов - увеличить поверхность рецептара. Они несут микроворсинки, на которых находятся чувствительные белковые молекулы, настроенные на компоненты пищи:

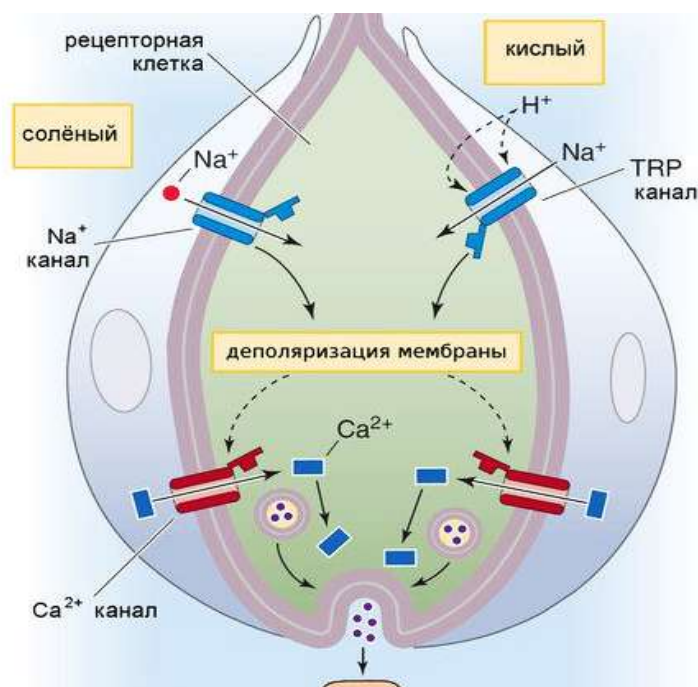


Рис. 22.2. Механизм работы ионов водорода (H_2^+) и ионов натрия (Na^+) в клетке-рецепторе

- **короткая передача:** кислый вкус - ионы водорода (H_2^+), соленый - ионы натрия (Na^+) - положительно заряжены и способны самостоятельно входить в цитоплазму, вызывать возбуждение рецептора, выделение нейромедиатора и возбуждение волокон проводящего нерва;

- **длинная передача:** возбуждающие рецептор молекулы не несут положительный заряд, поэтому на разных рецепторах находятся чувствительные белковые молекулы, присоединяющие к себе вещество и запускающие внутри рецептора каскад химических реакций, приводящих к его возбуждению и выбросу медиатора:
 - сладкий вкус - глюкозоподобные молекулы;
 - белковый - глутамин (пищевая глутаминовая аминокислота);
 - горький - сложные растительные токсины с множеством бензольных и азотосодержащих колец;
 - жирный вкусы - жирные кислоты.

Биологический смысл вкусовой системы

Вкусовая система осуществляет химический анализ макрокомпонентов пищи - источника энергии и строительных материалов. В результате употребления полезной еды и срабатывания вкусовых рецепторов запускается пищевое поведение, кроме того, сигнал идет в гипоталамус, где находятся центры положительных эмоций. Главные макрокомпоненты питания:

- **углеводы** - энергия (крахмал, глюкоза), потребность человека - 200 - 300 грамм в сутки;
- **жиры (липиды)** - энергия (животные жиры), строительный материал (растительные жиры), потребность - 60 - 100 грамм в сутки;
- **белки** - строительный материал (аминокислоты), потребность - 60 - 100 грамм в сутки.

Положительные эмоции у человека также вызывает употребление небольшого количества поваренной соли, поскольку его предки жили в условиях её недостатка. Пересоленная пища приводит к риску нарушения водно-солевого баланса в организме. Кислый вкус входит в состав растительной пищи (незрелые фрукты), умеренно кислую еду съесть можно, сильно кислую - с риском повреждения слизистой. Микрокомпоненты питания (витамины и микроэлементы) вкусовая система человека не анализирует. Вероятно, эволюция предполагала, что при жизни в тропическом лесу или саване разнообразное питание позволяет получать их автоматически

Сладкий вкус

Наибольшее внимание наука уделяет изучению вкусовых рецепторов, реагирующих на сладкий вкус, потому что проблемы избыточного потребления пищи и диабета связаны именно с ним. Исследователи изучают находящиеся на микроворсинках рецептора белковые молекулы, присоединяющие глюкозу. В настоящее время известно, какие её части присоединяются к ОН-группам глюкозы, дальнейшая работа направлена на поиск заменителей, способных дать такой же вкус, но при этом незначительное количество калорий. Данная задача решается с трудом, потому что любые сахарозаменители обладают ненатуральным вкусом. В пищевой промышленности используются:

Название	Группа веществ	Относительная сладость
лактоза	дисахарид	0.16
глюкоза	моносахарид	0.75
сахароза	дисахарид	1.00
фруктоза	моносахарид	1.75
аспартам	метиловый эфир дипептида	250
сахаринат натрия	имид 2-сульфобензойной кислоты	500
сорбит	многоатомный спирт	0.6
стевиозид	гликозид (смесь)	200 - 300

Самым популярным сахарозаменителем является стевиозид, производимый из экстракта произрастающего в Аргентине сложноцветного растения стевия. Местные жители с древних времен используют её в качестве подсластителя, крупные пищевые гиганты - для производства низкокалорийных напитков.

Горький вкус

Многие растения выделяют токсины (горький вкус), чтобы защищаться от травоядных животных, задача которых детектировать их и запустить оборонительное поведение (выплесывание), при этом гипоталамус генерирует негативные эмоции, развивается состояние стресса. Рецепторы к горькому вкусу для запуска рвотного рефлекса сохраняются и в глубине ЖКТ. Растительные токсины очень разнообразны, поэтому существует большое количество реагирующих на них белковых молекул вкусовых рецепторов.

- **человек** – обладает 43 рецепторами для горького вкуса, 2 - для сладкого, 2 - для белкового, 1 - для кислого;
- **муха дрозофила** - 28 - для горького вкуса, 4 - для сладкого.

Каждый реагирующий на разный горький вкус рецептор использует разные белки, то есть существуют разные гены с аллелями, поэтому на уровне горького вкуса люди обладают очень индивидуальной чувствительностью. Например, 70% людей ощущает фенилтиомочевину, вкус брокколи связан со сходными молекулами, поэтому некоторое количество людей считают её не очень вкусной. Исследования говорят о том, что тонкая чувствительность к горькому вкусу определяет реакцию человека на сложные блюда, приготовленные с использованием пряностей (высокая кухня). Тонко реагирующий человек - гурман и дегустатор, если его реакция находится на среднем уровне - потребитель.

Белковый вкус

Пищевые белки содержат 20 аминокислот, 20% из них - глутаминовая кислота и глутамин, наличие которых в пище является знаком, что человек получает белок. Ими богаты многие приправы, бульонные кубики, соевый соус, сыр, морская капуста, грибы, томаты. В восточной кухне распространено использование приправ с морской капустой, содержащей глутамат. На это в начале XX века обратил внимание японский химик **Кикинаэ Икэда**, который назвал "мясной" вкус - умами и в 1909 году получил патент на использование глутамата в качестве вкусовой добавки. С тех пор молекула E 621 добавляется в самые разные продукты. С суточной нормой белков человек может съесть порядка 10 граммов глутамата, его избыток понижает чувствительность вкусовой системы и вызывает привыкание.

Проводящий путь вкусового анализатора

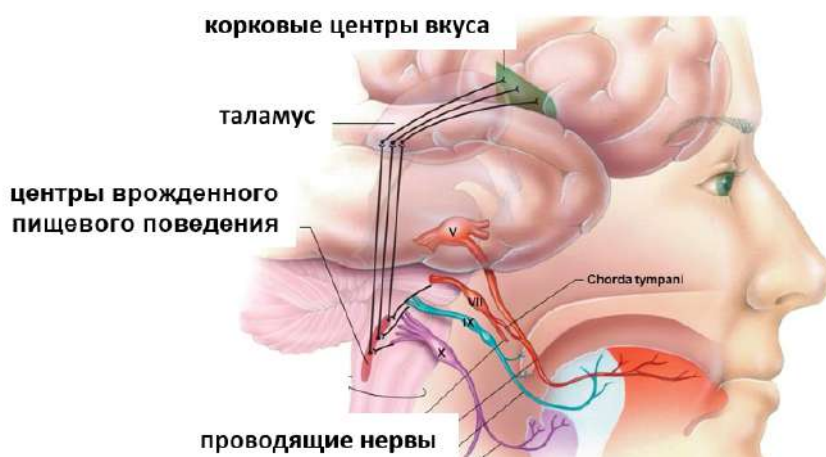


Рис. 22.3. Строение слухового анализатора

Передняя часть языка передает сигналы через VII (лицевой) нерв, задняя часть - через XIX (языкоглоточный) нерв, глотка - через X (блуждающий) нерв, информация приходит в центры врожденного пищевого поведения, которые находятся внутри продолговатого мозга и моста. В зависимости от типа вкуса запускаются реакции:

- **"хороший" вкус** - рецепторы глюкозы и белка; запуск реакций: сосание, жевание, глотание, выделение желудочного сока и густой слюны с пищеварительными ферментами (прежде всего амилаза) - парасимпатическая реакция;
- **"плохой" вкус** (вредная пища) - рецепторы горького, избыток кислоты и соли; запуск реакций: выплевывание, плач, рвота, выделение большого количества жидкой слюны - симпатическая реакция.

Вкусовые центры гипоталамуса:

- **эмоциональное восприятие пищи:**
 - **сладкая, белковая и жирная пища** - не вызывают негативных эмоций, до некоторого момента - чем её больше, тем лучше, далее восприятие выходит на

плато и начинает немного снижаться; сладкий вкус максимален, если сахара в растворе 10%, если больше - ощущения снижаются;

- **кислая и соленая пища** - первичные эмоции положительные, с усилением данных вкусов появляются отрицательные эмоции;
- **горькая** - небольшое количество вызывает вкусовое любопытство, незначительное повышение горького вкуса - мощные негативные эмоции;
- **запоминание** - создание эмоционального фона для запоминания конкретных продуктов и мест их нахождения; когда человек ест полезную и вкусную пищу, он испытывает положительные эмоции, на основе которых учится ребенок; **И.П. Павлов** на основе пищевого подкрепления вырабатывал у собак условные рефлексы; в случае вредной еды гипоталамус генерирует отрицательные эмоции, поскольку пищевая безопасность очень важна;
- **вкусовые предпочтения** - гипоталамус постоянно анализирует химический состав крови и может "намекать" о необходимости съесть что-то, например, соленое;
- **вкусовое внимание** - обеспечивает верхняя часть промежуточного мозга (таламус), вкусовая информация проходит в кору больших полушарий через его внутренние ядра, но только в том случае, если она не против: когда человек увлечен просмотром футбольного матча, то он может не заметить, какое блюдо он автоматически съел; в другом случае - специально закрыть глаза, чтобы зрительная система не мешала оценить вкус блюда, тогда вкусовые сигналы полностью проходят в кору;

Корковые центры вкуса - расположены в островковой доле на дне боковой борозды, в данной зоне формируется целостное вкусовое ощущение, то есть происходит объединение тактильных, обонятельных и вкусовых сигналов:

- **обонятельные сигналы** - запах очень украшает вкусовые ощущения человека, при насморке вкусовые ощущения теряются, пища становится безвкусной, трудно определить какой продукт человек ест;
- **кожная чувствительность от полости рта** (V тройничный нерв) - значимы температура пищи и её консистенция, через которую развивается действие многих пряностей: перец обладает молекулой капсаицин, которая действует на кожные рецепторы горячего (как и горчица), и человек ощущает жжение; ментол обладает молекулой, действующей на кожные рецепторы холодного.

Еда дает человеку много положительных эмоций, которые можно определить, как самые надежные из испытываемых людьми. Из этого вытекает риск переедания и набора избыточного веса. В свое время погоня за пряностями привела к эпохе географических открытий. Португалец **Васко да Гама** доплыл до Индии на корабле и, минуя Шелковый путь, привез пряности на родину. Пища является и объектом искусства: художники рисуют натюрморты с едой, фотохудожник **Карл Уорнер** создает с её помощью пейзажи, раскладывая продукты на столе. В высокой кулинарии профессиональные повара соревнуются в создании кулинарных шедевров.

Обонятельная система

Обоняние - важная сенсорная система, через которую очень интенсивно идет знакомство с окружающим миром, поэтому у млекопитающих она хорошо развита. У человека она обладает меньшими вычислительными ресурсами и способностями, чем у большинства млекопитающих, потому что в ходе эволюции *homo sapiens* приоритет был отдан зрению, второе место занимает слух, третье - кожная чувствительность. Обоняние - реакция на пахучие и летучие вещества - **одоранты**. Для того, чтобы молекула вызвала обонятельные ощущения, как правило, она должна быть летучей, но при этом растворяться в воде, потому что прежде чем произойдет воздействие на обонятельные рецепторы, ей необходимо раствориться в покрывающей их слизи. Обонятельные рецепторы находятся в верхней части носовой полости на уровне бровей, они являются истинными нервными клетками. Их аксоны через решетчатую кость проходят в обонятельную луковицу - структуру древней коры, которая по своим функции аналогична таламусу.

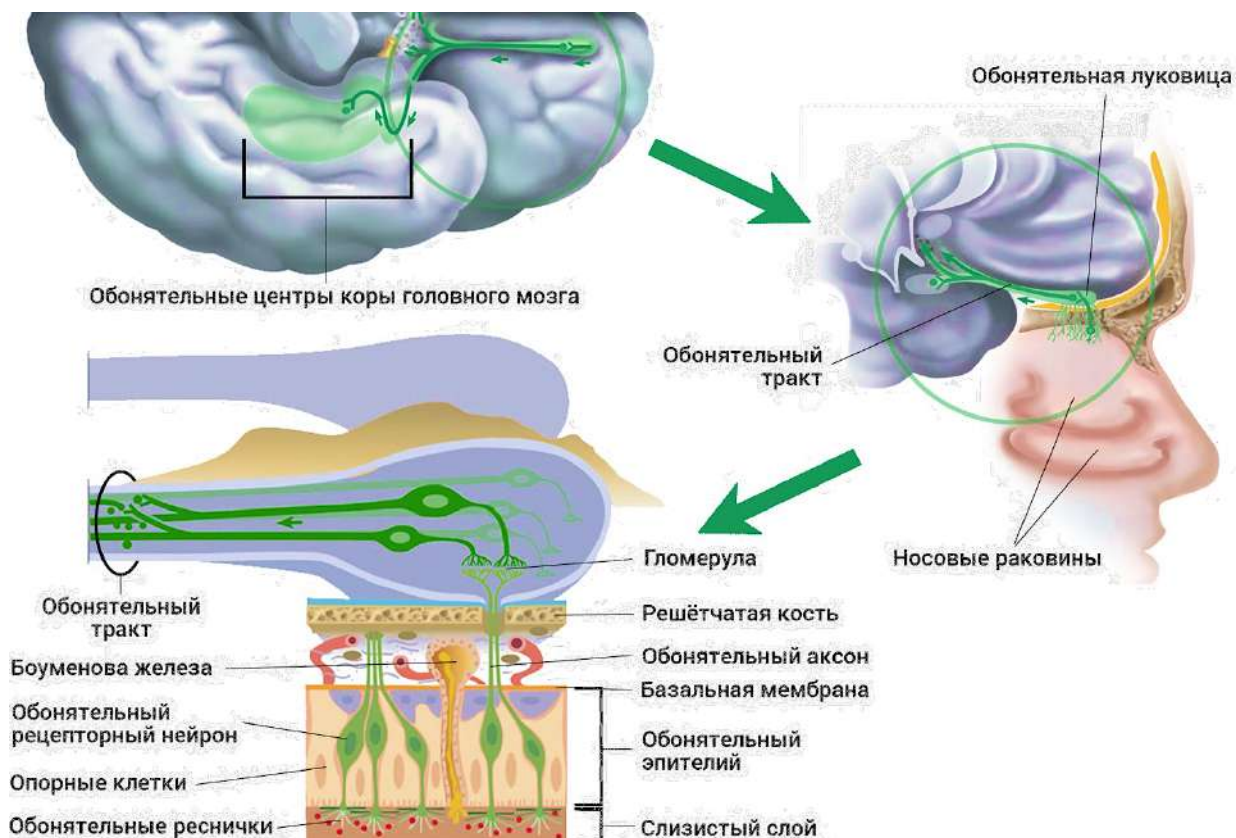


Рис. 22.4. Строение слухового анализатора

Строение обонятельного эпителия:

- **обонятельный нейрон** - состоит из тела и булабовидного отростка (ученые дискутируют - является ли он дендритом), оканчивающегося обонятельной булавой, из которой выходят 20 неподвижных ресничек, как правило, погруженных в слизь; на них находятся белки, чувствительные к своему

одоранту с определенной 3D химической структурой, кодируемые определенными генами; аксон обонятельного нейрона уходит в отверстие в решетчатой кости;

- **опорные клетки** - находятся между обонятельными рецепторами, обеспечивают электроизоляцию; повреждаются коронавирусом (временная потеря обоняния), при этом обонятельные нейроны от вируса не страдают, они выходят из строя, поскольку не работают обслуживающие их клетки;
- **базальные клетки** - каждые 2 месяца обновляют обонятельные рецепторы; являются истинными стволовыми клетками нервной системы - редким явлением, с которым активно работают ученые, потому что с их помощью будет возможно восстанавливать травмы мозга. Например, при травме спинного мозга выращенные в чашке Петри базальные клетки можно будет ввести в зону повреждения, при этом не возникнет опасность их отторжения.

Площадь обонятельного эпителия у человека составляет 2 - 4 см², что в 5 раз меньше, чем у собаки (18 см²), обонятельных рецепторов у человека - около 6 млн., у собаки - 225 млн. Волосковые клетки в улитке - одинаковы, фоторецепторов в зрительной системе - 4 типа (палочки и три типа колбочек), во вкусовой системе - только горьких вкусовых рецепторов - 43, обонятельных рецепторов у человека - 390. Таким образом, люди с помощью обонятельной системы различают почти 400 типов базовых запахов, из которых собирается **обонятельный образ**, что приводит к миллиардам сочетаний, составляющих богатство обонятельной картины мира. Макросматики - млекопитающие, для которых обоняние очень значимо, характеризуются ещё большим количеством типов рецепторов (более 1000), у слона - 2 тыс., у многих приматов - 500. Китообразные в связи с особенностями образа жизни имеют слабое обоняние.

Механизм работы обонятельного рецептора: к белку на ресничке по принципу ключ-замок присоединяется одорант, это базовый принцип деятельности белковых молекул, имеющих 3D конфигурацию, возникающую за счет взаимодействия радикалов (третичная структура белка). В результате возникает цепочка химических реакций, приводящая к электрическому возбуждению рецептора, появившийся потенциал действия уходит к обонятельной луковице. Алгоритм работы обонятельного рецептора проще, чем у вкусового, в котором содержится синапс с проводящим нейроном, обонятельный нейрон и воспринимает сигнал, и передает его. Каждая конкретная молекула одоранта может с большей или меньшей степенью подходить к нескольким ямкам белков, то есть отдельный одорант, оказывая одновременное воздействие, может вызывать сложные обонятельные ощущения. С другой стороны, даже небольшим изменениям структуры одоранта может соответствовать изменение набора стимулируемых рецепторов, соответственно, и изменение восприятия. Например, замещение гидроксильной группы октанола (апельсиновое масло) на карбоксильную приводит к тому, что вместо запаха апельсина человек ощущает запахи прогорклости и пота. Значимо количество стимулируемых рецепторов, например, одорант индол в небольшой концентрации имеет приятный цветочный аромат, в высокой - гнилостный.

Мир одорантов сложен и пока мало изучен, только на современном уровне развития науки люди начинают понимать, как действуют классические компоненты парфюмерных композиций. В течение XX века исследователи пытались определить основные запахи, их предположительное количество не превышало двух десятков. В таблице представлена теория 7 основных запахов.

первичный запах	химические соединения	пример
камфарный	камфара, гексахлорэтан	средство от моли
мускусный	бутилбензол	мускус
цветочный	этилкарбинол	роза, лаванда
мятный	ментол	перечная мята
эфирный	диэтиловый эфир	чистящее средство
едкий	муравьиная кислота	уксус
гнилостный	сероводород	тухлые яйца

На грани XX - XXI веков ученые генетически проанализировали обонятельные рецепторы, в 2004 году американские физиологи **Р. Аксел** и **Л. Бак** получили Нобелевскую премию за исследование "обонятельных рецепторов и организации системы органов обоняния". Ученые не только открыли 390 типов рецепторов и соответствующих генов, но и показали, что каждый запах в обонятельной луковице обрабатывается в отдельной зоне (**гломерула**). Обонятельная луковица является частью древней коры и аналогом таламуса, в гломеруле идет торможение слабых запахов и привыкание к ним, рецепторы одного типа передают сигналы к одной гломеруле. Выделяют следующие образующие слои луковицы типы клеток: перигломерулярные, пучковые, митральные, зернистые.

От обонятельных луковиц информация идет по обонятельному тракту в находящиеся на внутренней поверхности больших полушарий обонятельные центры, соединенные передней комиссурой, где обрабатывается в зоне, которая находится вокруг мозолистого тела. Обонятельные центры создают, запоминают, а потом опознают обонятельные образы (запах любимых духов или машинного масла). Находящиеся ниже обонятельные луковицы (ближе к миндалине и гипоталамусу) отвечают за эмоциональное восприятие запаха. С помощью обонятельной системы человек считывает из окружающей среды информацию о наличии неких объектов. Кроме того, обонятельная система ассистирует вкусовой системе, помогая избежать употребления вредной пищи. Запах гнилостного или нечистот даже в очень низких концентрациях детектируется очень четко, после чего запускается оборонительное поведение и негативные эмоции. Связанные с пищей запахи вызывают у человека положительные эмоции и пищевое поведение. Порой людям нравятся непонятные запахи, например, сандала, ладана или мускуса (по этому вопросу остается только

выстаивать гипотезы). Структура некоторых запахов похожа на половые гормоны (андрогены, эстрогены), они могут дотягиваться до центров переднего гипоталамуса, связанных с процессами размножения, и действовать на бессознательном уровне. В данном случае говорят от **феромональной системы**, которая у животных работает очень явно, у человека - слабо (специфика биологического вида).

Эмоциональное восприятие запахов интересно и с точки зрения науки, и с точки зрения практических задач, например, банкиры заказывают парфюмерам создание запаха, призванного вызвать доверие клиентов, при этом действующего на подпороговом уровне. Человек даже не осознает его наличие, но у него включаются глубинные центры мозга, связанные с положительными эмоциями. Для этого, например, используется амброксан - аналогичная андрогену молекула. В настоящее время ученые научились анализировать данные эффекты с помощью томографов, а парфюмерия из шаманства и искусства начала превращаться в науку. Духи могут содержать до 70 адорантов, собранных в обонятельную симонию, изменяющуюся с течением времени, например, аромат "Chanel N° 5" состоит из следующих парфюмерных нот:

- **верхние ноты** (фруктовые) - альдегиды, нероли, иланг-иланг, бергамот, лимон; испаряются за 20 - 30 мин.;
- **ноты сердца** (цветочные) - ирис, корень фиалки, жасмин, ландыш, роза; испаряются за 3 - 6 часов;
- **базовые ноты** (древесные) - амбра, сандаловое дерево, пачули, мускус, виверра, ваниль, дубовый мох, ветивер; испаряются за 24 часа.

Запахи, которые больше всего нравятся людям, были определены в результате опросов: цитрусовые - лайм, грейпфрут, бергамот, апельсин; мята; фрезия, молекула амилацетата (запах яблок и банана), корица, мимоза, ель. Часть наиболее популярных запахов связана с едой (фрукты), часть - намекает на структуры половых гормонов. Каждая сенсорная система человека может быть для него источником положительных эмоций и основой для произведений искусства или близкого к нему вида деятельности (высокая кухня, парфюмерия).

Лекция 23. Чувствительность тела

Кожная чувствительность

Данная лекция раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" завершает рассмотрение сенсорных систем организма человека. Чувствительность тела человека - кожная, болевая, мышечная и внутренняя сенсорные системы, помогающие считывать информацию. В античные времена про мышечную чувствительность ничего не было известно, болевая и кожная были объединены. В дальнейшем было определено, что систем несколько, критерием выделения в функциональный блок или анализатор послужило наличие специальных рецепторов, особые проводящие пути в головном и спинном мозге, на уровне коры больших полушарий мозга - обрабатывающий центр.

- **кожная чувствительность** - температура, прикосновение, давление, вибрация и др.;
- **болевая чувствительность** - реакция на повреждение клеток и тканей;
- **мышечная чувствительность** - растяжение мышц и сухожилий, углы поворота суставов;
- **внутренняя чувствительность** (интерорецепция) - температура и химический состав крови, растяжение стенок; объединяет все системы органов человека (дыхательная, пищеварительная, выделительная и др.) и рефлекторные дуги, которые помогают поддерживать гомеостаз - постоянство внутренней среды организма человека.

Пути передачи кожной чувствительности

К кожной чувствительности относят: прикосновение, давление, температуру, зуд, а также прикосновения к волоскам, которое активирует рецепторы волосных луковиц. Тема кожной чувствительности была рассмотрена в лекции N12 "Кожа, терморегуляция". В коже содержится более 2 млн. рецепторов:

- 1,5 млн. - **болевые рецепторы**;
- 500 тыс. - **рецепторы давления** (осязания): диски Меркеля (тонкая фактура предметов), тельца Пачини (давление и работа с инструментами), Руфини (растяжение кожи при сгибании суставов), Мейснера (сдвиг предмета относительно поверхности пальцев);
- около 30 тыс. - **тепловые рецепторы**;
- 250 тыс. - **холодовые рецепторы**.

Рецепторы расположены неравномерно, наибольшая плотность наблюдается в тех местах, где они считывают специфическую чувствительность: губы, кончики пальцев и язык. Сенсорные нейроны систем чувствительности туловища и конечностей находятся в спинномозговых ганглиях, чувствительности головы - в ганглиях V (тройничного) нерва. Кожная чувствительность считывается нейронами спинномозговых ганглий, отросток которых уходит в кожу и формирует рецепторы,

аксон - в задний рог серого вещества спинного мозга, где находится первый переключающий сигнал синапс. Во втором варианте аксон нейрона без переключения в спинном мозге направляется в головной - самый быстрый путь передачи чувствительности. Серое вещество спинного мозга - задние рога, боковые (вегетативные) рога, передние рога (мотонейроны), белое вещество делится на канатики (задние, боковые, передние).

- **по задним канатикам** - информация поднимается напрямую по восходящим путям от нейронов спинномозговых ганглиев в головной мозг и переключается на уровне продолговатого мозга; В составе канатиков белого вещества кожная чувствительность поднимается в продолговатый мозг, где переключается (синоптический контакт), после чего перекрещивается и к таламусу и поднимается по противоположной стороне, переключается в таламусе и уходит в кору больших полушарий, где в постцентральной извилине (сразу за центральной бороздой) находится зона кожной чувствительности.
- **задний рог серого вещества** - содержит интернейроны, реализующие первичное переключение сенсорных сигналов чувствительности тела; если чувствительность переключается в задних рогах серого вещества, то на осязательный сигнал она может запускать рефлекс спинного мозга: захват ребенком пальца взрослого человека, чесательный рефлекс в ответ на зуд;
- **три ветви тройничного нерва** - собирают информацию от лба, областей нижней и верхней челюсти, в том числе от полости рта.

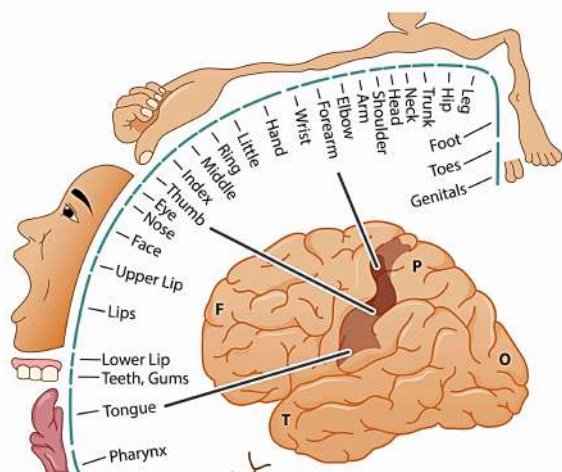


Рис. 23.1. Кортиковая проекция чувствительности (сенсорный гомункулус Пенфилда)

В передней части теменной доли находится область постцентральной коры, где отражается карта кожной чувствительности. Информация от кожной поверхности частей тела человека типически обрабатывается разными нейронами. Гомункулуса (человечка) Пенфилда создал канадский нейрохирург **У. Пенфилд** в ходе определения функциональных карт коры мозга. У гомункуса искажены пропорции, так как относительные размеры органов отражают ту площадь коры головного мозга, с которой могут быть вызваны ощущения. Человечек изображен вниз головой: сверху

располагается зона ноги, далее - туловища, руки и кисти, при этом зона чувствительности пальцев значительного размера, поскольку обрабатывается большой информационный поток (выше всего находится мизинец, ниже всего - большой палец). Далее на проекции расположена область головы со значительной зоной губ, отражена чувствительность от неба, десен, языка, глотки. Кожная чувствительность от полости рта и языка непосредственно контактирует с зоной вкусовой чувствительности.

Тонкая чувствительность

Человек ощущает прикосновение к любой точке спины или большого пальца руки, поскольку кожные рецепторы присутствуют в каждом участке кожи, но их распределение различно организовано. На рис. 23.2. слева показан см² кожи спины и большого пальца: в зонах, где чувствительность не детализирована (кожа спины и грудной клетки), в спинномозговом ганглии находится один сенсорный нейрон, чьи чувствительные отростки ветвятся на большой площади; та же площадь пальца обсуживается пятью нейронами. Если произвести двойное прикосновение (к двум точкам на коже), то в случае спины человек субъективно ощутит их как одинарное, потому что сигнал уйдет по аксону одного нейрона, в случае пальца - сработают два крайних нейрона, позволив ощутить двойное прикосновение. Таким образом, тонкая чувствительность является способностью точно локализовать место прикосновения.

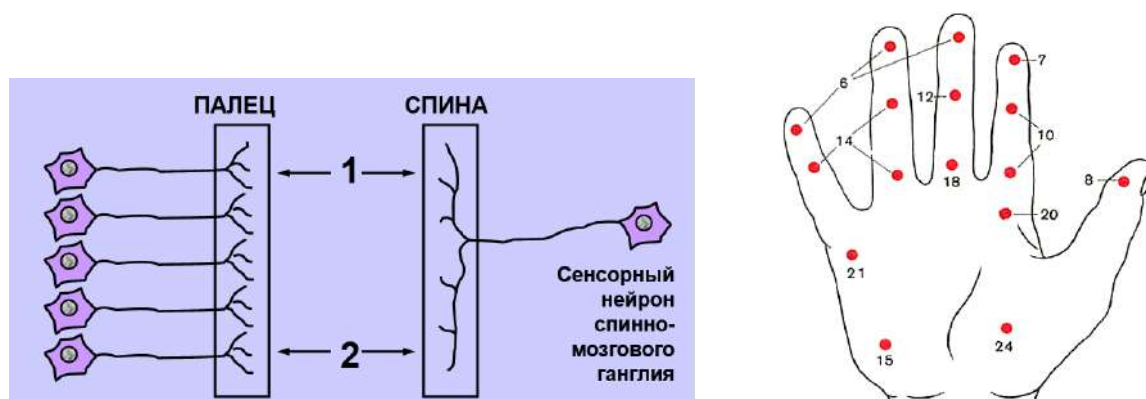


Рис. 23.2. Слева - работа сенсорных нейронов в см² кожи спины и большого пальца, справа - распределение порогов тактильной чувствительности на кож ладони в миллиньютонах

Каждый сенсорный сигнал характеризуется количественной и качественной характеристиками: громкость звука и звуковой тон, яркость света и место точки в пространстве, в случае кожной чувствительности - сила прикосновения и точность локализации. **Порог различения прикосновения:** для языка и губ достаточно, чтобы расстояние между точками прикосновения составляло 1 - 2 мм, для спины - до 6 см, то есть один нейрон обсуживает обширную площадь. Такой механизм обусловлен тем, что сенсорный поток очень велик и обработать его целиком сложно, поэтому необходимо концентрироваться на значимых зонах рецептивной поверхности. В случае зрения - центр сетчатки, где располагаются небольшие пиксели, на периферии - крупные (более

"грубое" зрение), при этом в случае необходимости человек может посмотреть на интересующий его объект центром сетчатки, переведя взгляд. Измерение порогов тактильной чувствительности на коже ладони показывает, что наиболее низкий порог (6 - 8 миллиньютонов) и высокая чувствительность у кончиков пальцев (рис. 23.2., справа).

Болевая чувствительность

Задача системы болевой чувствительности - реакция на повреждение клеток и тканей организма человека. Кожные болевые рецепторы - свободные нервные окончания (голые) на границе дермы и эпидермы, не забраны в капсулу, как и окончания, которые воспринимают тепло. Рецепторные нейроны находятся в спинномозговых ганглиях или ганглиях V нерва. **Боль** - связанное с повреждением неприятное сенсорное и эмоциональное переживание, обусловленное химическим сигналом, который активирует деятельность близлежащих иммунных клеток и влияет на нервные окончания, далее импульсы перерабатываются мозгом.

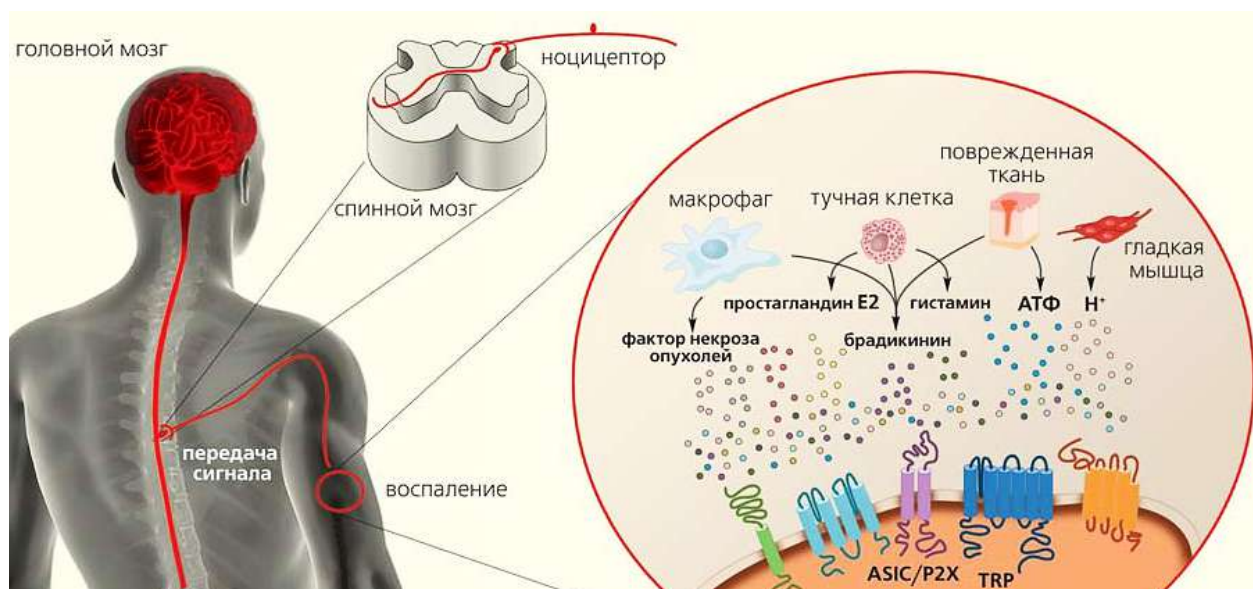


Рис. 23.3. Слева - проводящий путь болевой чувствительности, справа - выделение SOS-веществ в зоне воспаления

В ситуации острого воспаления первыми реагируют тканевые макрофаги, выделяя SOS-вещества - медиаторы воспаления:

- **простагландин** - жироподобное вещество; возникает из полиненасыщенных жирных кислот мембран поврежденных клеток; производится ферментами; основное действие - влияние на болевые рецепторы, чтобы человек заметил, например, занозу и избавился от источника воспаления; в случае легкого повреждения достаточно затормозить образование простагландина, чтобы вызвать обезболивание; блокаторами являются самые распространенные обезболивающие препараты - безрецептурные анальгетики;

- **гистамин** - производная аминокислоты, по структуре схож с адреналином и серотонином; действие - расширение сосудов для выхода гранулоцитов, вызывающее покраснение зоны повреждения, отек, жар; для снижения воспаления используются антигистаминные препараты.

Пути передачи болевой чувствительности

Отросток рецепторного нейрона в коже воспринимает болевой сигнал, импульс входит в задний рог серого вещества спинного мозга, где обязательно переключается (в отличие от кожной чувствительности), далее запускаются рефлекс или передача в головной мозг. На входе в задний рог находятся синапсы, способные задерживать и не пропускать слабые болевые сигналы. Это очень важная функция, потому что тело человека постоянно испытывает определенные повреждения и без этого механизма рутинно испытывало бы боль. Из спинного мозга сигнал поднимается в промежуточный мозг: гипоталамус отвечает за эмоциональное восприятие боли - болевые сигналы мозгу вызывают серьезный стресс и негативные эмоции, длительная боль - хронический стресс. Болевой сигнал имеет приоритет перед другими сигналами: когда у человека что-то болит, то заниматься каким-то делом ему весьма сложно. Таламус переключает сигнал, после чего он двумя потоками поднимается к коре больших полушарий:

- **в постцентральной коре** - где за зоной кожной чувствительности находится зона болевой чувствительности, осуществляющей тонкий анализ болевого ощущения: источник и субмодальности боли (острая, тянущая, колющая, жгучая);
- **в лобную кору** - влияние на поведение человека, запуск поведенческих программ, направленных на избавление от боли, и обучение.

Проблема системы болевой чувствительности состоит в том, что она порой чрезмерно активна. Болевой сигнал может длиться долгое время, поскольку человек не может сообщить системе, что он уже знает о повреждении и принимает меры. Соответственно, большое значение имеют анальгетики:

- **первый уровень обезболивания** - безрецептурные анальгетики: аспирин, ибупрофен, диклофенак, анальгин и др.;
- **второй уровень обезболивания** - местные анестетики (новокаин, лидокаин), призваны быстро прекратить острую боль, используются в ситуации незначительных вмешательств, вводятся в зону, где находятся проводящие боль нервные волокна и блокируют генерацию электрических импульсов. Чаще всего человек сталкивается с анестетиками на приеме у дантиста, при этом они выключают все импульсы, то есть исчезает кожная чувствительность, возникает паралич мимической мускулатуры. Таким образом, через блокаду не проходят сенсорные, двигательные и вегетативные сигналы.
- **третий уровень обезболивания** - введение морфиноподобных препаратов (строго рецептурные), используются в тех ситуациях, когда анальгетики не помогают, потому что в очаге воспаления кроме простагландина и гистамина

выделяется около 10 других веществ, запускающих болевые сигналы. В данном случае необходимо воздействовать на задний рог серого вещества спинного мозга, усиливая работу синапсов, которые в норме тормозят слабые болевые сигналы, чтобы они заблокировали и сильные. Морфин и его производные относятся к разряду наркотических анальгетиков, снимающих боль любой силы при тяжелых травмах, ожогах, онкологии. Одновременно эти молекулы очень мощно действуют на центры положительных эмоций человека (вызывают эйфорию), формируется привыкание и зависимость. Таким образом, современная медицина находится между двух огней: с одной стороны, морфиноподобные препараты являются важнейшими лекарственными препаратами, с другой - использовать их необходимо крайне осторожно, поскольку они являются самой серьезной группой наркотических веществ.

После полисинаптического переключения в спинном мозге болевой сигнал: доходит до мотонейронов переднего рога, что запускает ответ на болевой сигнал (например, врожденный рефлекс отдергивания конечности от источника боли), или поднимется в головной мозг в составе бокового канатика белого вещества, при этом перекрест происходит на уровне сегмента спинного мозга. Работа тормозных нейронов активируется тремя потоками сигналов:

1. **кожная чувствительность от того же участка тела, откуда исходит болевой сигнал** - в случае повреждения и возникновения параллельного кожного сигнала, он будет подтормаживать слабый болевой сигнал - повышать порог болевой чувствительности (воротная система контроля боли); из этого механизма проистекает стремление человека потереть больное место или подуть на него;
2. **стресс-вызванная анальгезия** - поток сигналов спускается из головного мозга; в состоянии стресса болевые пороги поднимаются - человек хуже чувствует боль; биологическое обоснование - боль не должна мешать в ходе схватки;
3. **фоновый уровень болевых порогов** - в первую очередь задается центральным серым веществом спинного мозга, в зависимости от активности работы данной зоны человек является более или менее чувствительным к боли.

Игнорировать боль очень сложно, поскольку она вытесняет другие нервные процессы, длительную боль - нецелесообразно, поскольку она означает серьезное повреждение. Длительная и/или сильная боль приводит к депрессии, истощению, перестройкам и повреждениям нейросетей (прежде всего таламуса и гипоталамуса). При этом она ощущается все более ярко, возникают нарушения болевой передачи, создаются патологические очаги застойного возбуждения, возникают фантомные и хронические боли. С очагами хронической боли борются так же, как с эпилептическими очагами, то есть глобально подтормаживая уровень активации мозга.

Система мышечной чувствительности

Опорно-двигательный аппарат человека содержит значительное количество рецепторов, реагирующих на растяжение мышц, сухожилий, углы поворота суставов, и

формирующих значительную сенсорную систему. Знакомство с рецепторами растяжения мышц состоялось в ходе лекции N3 "Мышцы и движения". **Коленный рефлекс** - частный случай группы рефлексов на растяжение мышцы (миотатические рефлекссы): удар молоточком по сухожилию четырехглавой мышцы активирует чувствительные нервные волокна, возникший импульс доходит до спинного мозга и передается через контакт-синапс на мотонейрон, после чего аксон мотонейрона возвращается к той же мышце, которая сокращается и разгибает коленный сустав.

Сгибательный рефлекс - один из примеров работы большой сенсорной системы, которая по общему объему является не меньшей, чем система кожной чувствительности, но при этом практически не осознается человеком, потому что её сигналы используются в основном мозжечком на уровне двигательных автоматизмов, либо на уровне спинного мозга. **Миотатические рефлекссы** необходимы, чтобы оперативно реагировать на появление дополнительной нагрузки. Когда люди в автобусе держатся за поручень, то при резком рывке транспортного средства вперед они по инерции падают назад. В этот момент растягиваются мышцы рук и ног, что запускает рефлекторные дуги, через спинной мозг возникает быстрое усиление мышечного сокращения, благодаря которому у человека появляется шанс сохранить позу. Моносинаптический механизм передачи сигнала позволяет ускорить процесс и головной мозг не успевает вмешаться. Примеры миотатических рефлекссов: ахиллово сухожилие икроножной мышцы - поясничные и частично крестцовые сегменты спинного мозга, сухожилия бицепса, трицепса - шейные сегменты.

Рецептор растяжения мышцы

Когда в конце XIX века ученые начали изучать механизмы работы мышечной чувствительности, они были поражены сложностью и объему данной сенсорной системы. Система мышечной чувствительности описывает состояние двигательного аппарата человека и включает в себя проприорецепторы, отвечающие за реакцию на движение, растяжение и вес предметов, прилагаемую силу, положение тела в пространстве (определение изгибов суставов с точностью $0,5 - 1^\circ$):

- **рецепторы Гольджи** - в сухожилиях;
- **тельца Пачини и Руфини** - устройство аналогично устройству в коже;
- **рецепторы растяжения** суставных сумок;
- **мышечные веретена**, основанные на сокращении интрафузальных волокон.

Рецептор растяжения мышцы (мышечное веретено) - довольно сложный орган - "мышца внутри мышцы", состоящая из мелких (интрафузальные) поперечнополосатых волокон, которые управляются интернейронами, как и основные рабочие мышечные волокна (экстрафузальные).

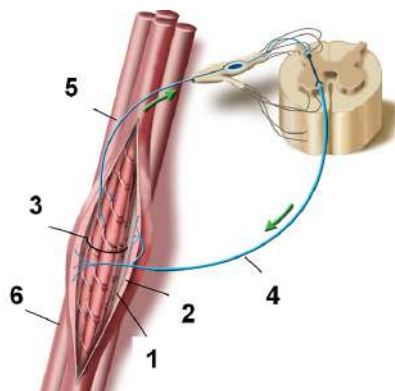


Рис. 23.4. Принцип работы рецептора растяжения: 1 - интрафузальные волокна, 2 - экстрафузальные волокна, 3 - мышечное веретено, 4 - альфа мотонейроны, 5 - гамма мотонейрон, 6 - мышца

Интрафузальные клетки оплетены чувствительными нервными окончаниями спинномозговых ганглиев, которые реагируют, если экстрафузальные волокна оказываются длиннее волокон мышечного веретена. В ходе запуска и реализации двигательных программ данная система работает следующим образом: к экстрафузальным волокнам подходят аксоны альфа-мотонейронов, в интрафузальном - гамма-мотонейронов, кроме того, они оплетены чувствительными нервными отростками, сформированными клетками спинномозговых ганглий. Если головной мозг отдает команду сократить мышцу на 20% длины, то сигнал поступает и на альфа- и гамма-мотонейроны. Зачастую присутствует внешняя нагрузка (вес конечностей + предмет в руках). В этом случае не испытывающее внешней нагрузки мышечное веретено сокращается на 20%, большая мышца - на 15% - возникает рассогласование, поскольку экстрафузальные волокна растянуты сильнее интрафузальных, что дополнительно активизирует чувствительные отростки, импульсы по моносинаптической рефлекторной дуге приходят на альфа-мотонейроны (гамма-мотонейроны держат эталонное сокращение), которые начинают генерировать импульс чаще, после чего экстрафузальные волокна сокращаются сильнее, "подгоняя" сокращение большой мышцы под эталон, создаваемый мышечным веретеном.

Таким образом, в мышцах находятся не просто рецепторы растяжения, а довольно сложный орган, по сути мышечное веретено является отдельным органом чувства, задающим эталон мышечного сокращения. При тестировании миотатического рефлекса в момент удара по сухожилию не работают оба вида мотонейронов, но он активизирует рецептор, потому что большая мышца растягивается относительно мышечного веретена, возникают импульсы, которые идут на альфа-мотонейрон, и колено разгибается.

Обратный миотатический рефлекс. Рефлекторная дуга запускается рецептором Гольджи в сухожилиях: если мышца слишком растянута при сверх сильной стимуляции, он активизирует тормозные нейроны спинного мозга и выключает миотатический рефлекс с помощью вставочного нейрона в промежуточном ядре

спинного мозга, что приводит к расслаблению мышцы. Таким образом с помощью миотатического рефлекса предупреждается возникновение травмы.

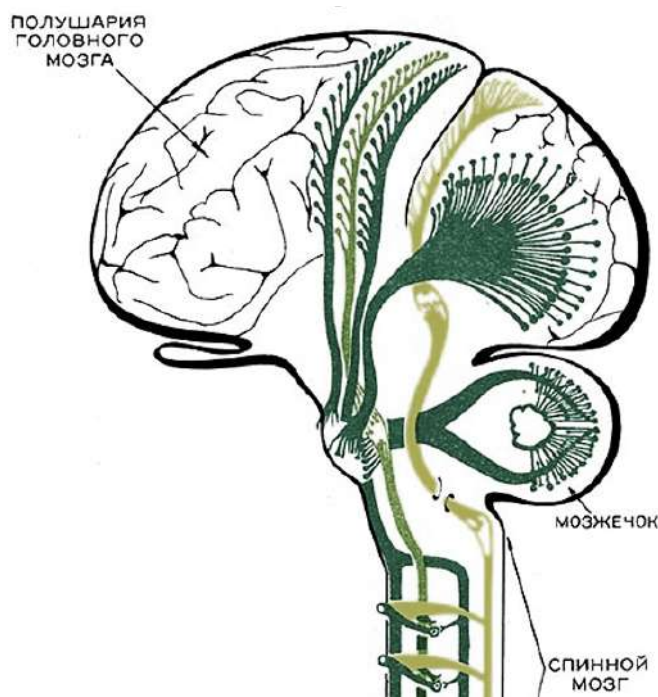


Рис. 23.5. Пути передачи чувствительности тела

Мышечная чувствительность используется:

- для запуска рефлексов - на уровне "своего" сегмента спинного мозга;
- для координации локомоции (передача в другие сегменты спинного мозга) - сигналы от отработавшей конечности запускают движения следующей по циклу;
- для передачи сигналов через таламус в кору больших полушарий и участия в организации произвольных движений;
- для передачи мощного потока чувствительности в мозжечок (автоматизированные движения).

Необходимо подчеркнуть, что это тот редкий случай, когда сенсорная система поднимает в кору больших полушарий и мозжечок практически одинаковые по мощности потоки информации. Сравнимые процессы происходят в вестибулярной системе, поскольку обе системы имеют в организации движения критическое значение. В ассоциативной лобной коре выбирается программа, в премоторной коре (поле 6) она превращается в набор движений, задняя часть лобной доли, где находится моторная кора (поле 4), содержит "карту" мышечной чувствительности. В данной области движения превращаются в мышечные сокращения и начинается кортикоспинальный (пирамидный) тракт, пути к мозжечку, красному ядру, ядрам черепных нервов. За моторной корой в стенках боковой борозды находятся центры мышечной чувствительности. Многие рефлекторные дуги замыкаются между корой внутри борозды и моторной корой.

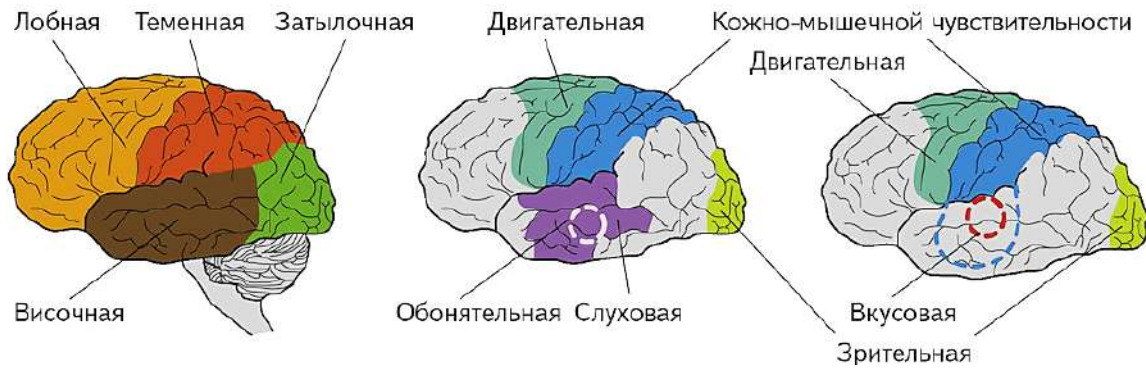


Рис. 23.6. Кора больших полушарий головного мозга: А - доли коры; Б - зоны коры

В болевой, кожной и мышечной зонах коры больших полушарий находятся практически одинаковые параллельные карты чувствительности тела: верхние области управляют мышцами ног, расположенные ниже - туловища, далее - рук, головы, в самом низу находятся области голосовых связок и языка. В спинном мозге верхняя область отвечает за болевую чувствительность, расположенная ниже - кожная, далее - мышечная. Таким образом, сохраняется взаимное пространственное соотношение связанных с чувствительностью тела человека сенсорных систем.

Система внутренней чувствительности

Необходимая для вегетативных реакций и поддержания гомеостаза система внутренней чувствительности была рассмотрена в ходе предыдущих лекций, посвященных работе внутренних органов организма человека:

- **N6 "Сердце" и N7 "Сосуды"** - на работу сердца и кровяное давление оказывают влияние: барорецепция (растяжение стенок крупных сосудов), хеморецепция (концентрация в крови углекислого газа и кислорода) и терморецепция (температура тела);
- **N8 "Дыхание"** - O_2 и CO_2 , растяжение стенок легких, запускаящее выдох;
- **N9 "Пищеварение, ЖКТ"** - рецепторы растяжения;
- **N11 "Почки, выделение"** - осморорецепторы гипоталамуса, растяжение стенок предсердия и мочевого пузыря;
- **N17 "Вегетативная нервная система"** - метасимпатическая нервная система.

Внутренняя чувствительность - различные рецепторы, измеряющие химический состав и температуру крови, степень растяжения стенок внутренних органов. Собранная ими информация в первую очередь используется для запуска рефлекторных дуг, которые приводят системы организма в оптимальное состояние. Сигнал от рецепторов внутренней чувствительности возникает в тех случаях, когда произошли изменения, например, обнаружен недостаток кислорода или слишком растянута стенка мочевого пузыря.

- **простые рефлекторные дуги** замыкаются на уровне: метасимпатической системы, ганглиев (симпатических и парасимпатических), центральных

нейронов (симпатических и парасимпатических) в спинном мозге или в ядрах блуждающего нерва;

- гипоталамус – играет значительную роль в управлении большим количеством гомеостатических процессов, а также подключает к участию в них эндокринную систему;
- **кора больших полушарий мозга** - содержит связанные с обработкой внутренней чувствительности центры: теменная кора, частично - островковая кора и поясная извилина.

Информация от внутренних органов (интерорецепция) интенсивно обрабатывается во время сна, то есть одни и те же нейросети в бодрствующем состоянии могут использоваться для обработки кожной и болевой чувствительности, в состоянии сна - внутренней. От системы внутренней чувствительности во многом зависит самочувствие и ощущение здоровья человека.

Данная лекция завершает рассмотрение 9 сенсорных систем организма человека, которыми эволюция наградила человека - датчиков и процессоров, обрабатывающих информацию: зрение, слух, равновесие, вкус, обоняние, осязание, боль, мышечная и внутренняя чувствительность тела. Отметим, что животные обладают сенсорными системами, которые у человека отсутствуют: эхолокации, терморепция, ощущение электрического и геомагнитного поля. Благодаря сенсорным системам поведение человека является сложным, что позволяет ему эффективно адаптироваться к окружающей среде.

Лекция 24. Обучение и память

Экспериментальное изучение обучения

Следующие лекции раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" будут посвящены высшим функциям мозга человека: обучению, памяти, потребностям, эмоциям, способности мыслить и принимать решения. В ходе данной лекции будет рассмотрена история возникновения физиологии поведения или физиологических основ психической деятельности человека. Для обозначения данных аспектов деятельности мозга **И.П. Павлов** использовал термин "**высшая нервная деятельность**". Данный вид деятельности подразумевает процессы адаптации человека, формирование дополнительных знаний об окружающем мире. Работы И.П. Павлова стали основой современной физиологии мозга и психофизиологии.

Физиология и психология в рамках обозначенных тем сходятся очень близко: когда речь идет о животных, то рассматриваются вопросы физиологии, те же аспекты у человека в значительной степени являются вопросами психологии. В функционировании мозга человека многое базируется на врожденных проявлениях психической деятельности - рефlekсах и биологических потребностях. Оба проявления в своей основе являются врожденными. Рассмотрим, как на их базе возникают приобретенные составляющие поведения, которые делают реакции нервной системы более разнообразными, сложными и тонко адаптированными к условиям жизни. Склонные к философскому размышлению люди наблюдали за поведением человека и животных с античных времен. Уже древнегреческие философы выделяли в нем врожденные и приобретенные компоненты. Наблюдение за тем, как ласточки лепят гнезда, показали, что молодые птицы умеют это делать, но не очень хорошо, у более зрелых особей процесс протекает более гармонично. Это привело наблюдателя к выводу, что врожденный навык может быть недостаточным, но при добавлении к нему обучения может получиться оптимальный вариант. Данная логика работы мозга человека является базовой, из нее сформировались физиология обучения и памяти. Данные процессы колоссально значимы для формирования личности человека.

На уровне экспериментов процессы обучения нейросетей начали изучаться в конце XIX века. Значительный вклад в науку внесли такие российские ученые, как Иван Михайлович Сеченов и Иван Петрович Павлов.

- **И.М. Сеченов** - в 1891 году вышла книга ученого "**Физиология нервных центров**", где рассматривались врожденные и приобретенные компоненты поведения человека, специальное внимание было уделено работе тормозных центров мозга, которые активно блокируют информационные потоки;
- **И.П. Павлов** - ученый, внесший значительный вклад в становлении физиологии и физиологии мозга на мировом уровне. В 1904 году И.П. Павлов за изучение врожденных компонентов деятельности нервной системы получил одну из первых Нобелевских премий по физиологии и медицине. 30 лет своей научной карьеры ученый занимался исследованием процессом управления вегетативной нервной системой деятельностью желудочно-кишечного тракта:

слюноотделением, выделением желудочного сока, актом глотания и т.д. В конце XIX века данные вопросы были изучены слабо, поэтому работы И.П. Павлова имели существенное значение, в том числе для медицины. В дальнейшем ученый заинтересовался процессами обучения и формирования памяти.

В лаборатории И.П. Павлова были разработаны фистульные методики изучения физиологии пищеварения и активности вегетативной нервной системы. Наложение фистул - искусственное соединение полости протока или органа ЖКТ с внешней средой для получения секрета (желудочный сок, слюна) с целью последующего измерения его количества и свойств. В ходе операции у собаки формировался малый (Павловский) желудочек, который не сообщался с основной полостью желудка. Из него получали пробы чистого желудочного сока, не смешанного с едой. Наиболее известны исследования И.П. Павлова, связанные с работой слюнной железы, проток которой выводился на поверхность кожи щеки собаки (фистула). В случае употребления животным белковой пищи выделяется богатая пищеварительными ферментами густая слюна, в случае кислой жидкости - происходит защитная симпатическая реакция, в результате которой выделяется жидкая слюна, смывающая продукт.

Когда Нобелевский лауреат получает премию, он произносит речь, в которой благодарит и формулирует планы на будущее. В своем выступлении И.П. Павлов сказал примерно следующее: "Врожденные компоненты деятельности нервной системы, позволяющие управлять деятельностью желудочно-кишечного тракта, очень важны, но нами был обнаружен эффект, который был назван **"психическое слюноотделение"**. Он кажется настолько важным, что дальнейший акцент исследований будет перенесен в данную сферу". Поскольку ученый изучал реакции ЖКТ на влияния вегетативной нервной системы, то им были использованы стимулы, запускающие врожденные рефлексy. В ходе эксперимента собаке предлагалась определенное количество питательных веществ, на которые возникает оборонительная реакция, и измерялся ответ слюнной железы или желудка. Результаты исследования показали, что слюна выделяется не только в ответ на пищу, но и на звуки, издаваемые миской, на голос лаборанта, который кормит животное, на само нахождение собаки в экспериментальной камере. Таким образом было определено, что мозг животного реагирует на то, чему он обучился. На основе наблюдений за возникновением психического слюноотделения И.П. Павлов создал экспериментальный метод, с помощью которого возможно изучать обучение и формирование памяти, впоследствии он был назван **"метод выработки условных рефлексов"**. Отметим, что понимания - как исследовать процесс обучения - до этого момента у ученых не было.

В определенном смысле И.П. Павлов осуществил примерно то же, что за полтора века до него в генетике разработал чешский моравский ученый **Грегор Мендель**. Испокон веков известно, что дети похожи на родителей, но как это явление можно изучить? Ученый редуцировал эту ситуацию до простой задачи и предложил рассмотреть, как наследуется цвет семян у гороха, и в случае успеха применить логику к более сложным явлениям. И.П. Павлов поступил похожим образом - из всего многообразия поведенческих реакций ученый оставил реакции слюной железы.

Обнаружилось, что при таком упрощении общая логика обучения и формирования памяти стала более доступна для объективного исследования. Одновременно в США аналогичные исследования проводила Школа бихевиористов. Для изучения процессов обучения ученые использовали "проблемный ящик", в который в ходе эксперимента помещалась кошка. Из ящика она могла выйти с помощью воздействия на веревочки и защелки, при этом экспериментаторы измеряли время, которое необходимо животному для решения этой задачи. В каждом последующем эксперименте она решалась все быстрее. Отметим, что данная методика изучала сложное поведение, что не позволило ученым продвинуться.

Вегетативный условный рефлекс

В ходе эксперимента И.П. Павлова использовались: экспериментальное животное (собака), исходно незначимый стимул в виде звонка колокольчика и еда (мясо-сухарный порошок). На рис 24.1. показан график, где по горизонтали находится шкала времени, на которой отложены события, происходящие с собакой в ходе эксперимента.

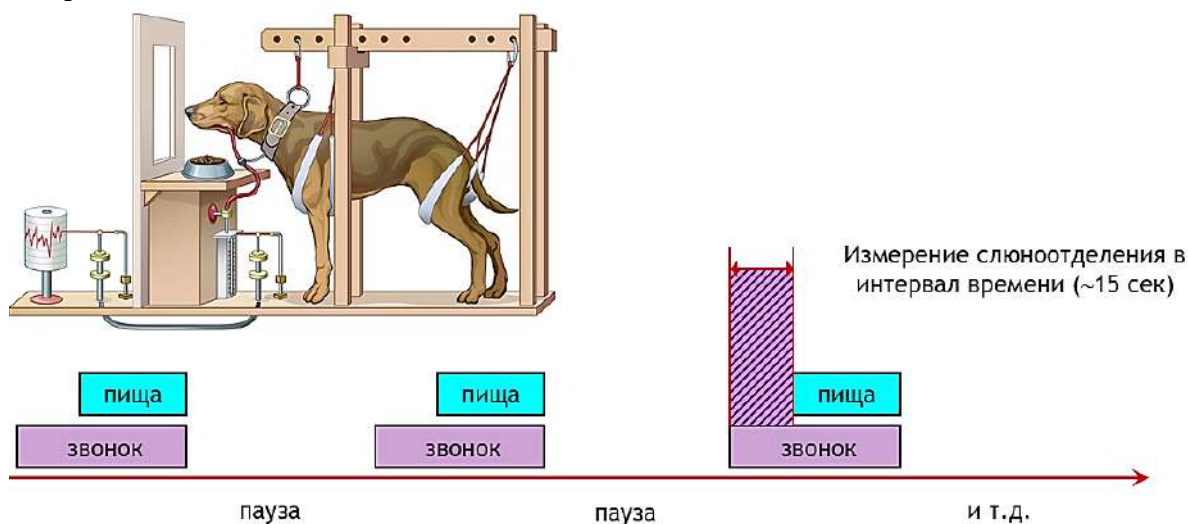


Рис. 24.1. Алгоритм проведения эксперимента И.П. Павлова по формированию обучения

- **первая фаза:** звонок звенит 15 сек., после чего появляется миска с пищей, собака ест, после того, как собака съедает первую порцию еды, исследователь выключает звонок, на несколько минут наступает пауза;
- **вторая, третья и последующие фазы:** звонок и еда, выключение звонка, пауза.

Реакция слюноотделения в эксперименте измеряется только в интервале от включения звонка до появления пищи, потому что при появлении пищи возникает врожденный рефлекс, а исследователей интересовала реакция на исходно незначимый сигнал, который никак не связан и не ассоциирован с пищей. Количество выделенной слюны позволяло оценить реакцию животного. На графике (рис. 24.2.) по горизонтали отмечен номер сочетания звонка и еды, по вертикали - количество капель слюны, выделившейся у животного. Первые две точки на графике находятся на нулевом

уровне, то есть первое и второе сочетание не вызывают у собаки реакции на звонок, что подтверждает его исходную незначимость, поскольку он не ассоциирован с пищей. С третьего и четвертого раза появляется реакция в виде отдельных капель слюны, их количество быстро нарастает и на 8 - 10 раз выходит на плато, составляя 20 - 25 капель. Полученные в ходе эксперимента результаты - первая в мире кривая анализа процесса обучения и формирования памяти, которая была названа **S - образная кривая обучения**, так как при проведении линии по точкам графика получается лежащая на боку латинская буква S.

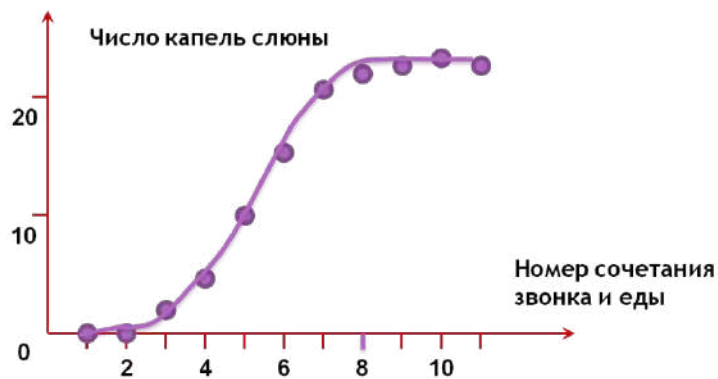


Рис. 24.2. График соотношения сочетания звонка и еды с выделением слюны у собаки

Ранее в мозге собаки существовала только врожденная рефлекторная дуга, реакцию слюноотделения запускала пища, после экспериментальной процедуры к ней добавился звонок, то есть сигнал от звукового центра присоединился к работе центров слюноотделения. И.П. Павлов назвал это явление "**условная или временная связь**", таким образом, в результате процедуры обучения (повторного сочетания исходно незначимого стимула и врожденной реакции) в мозге животного возник новый канал для передачи информации. Он появляется при определенных условиях, поэтому И.П. Павлов назвал его "**условный рефлекс**", в противовес врожденный рефлекс был наименован ученым безусловным, то есть независимым от неких дополнительных условий.

И.П. Павлов подозревал, но сегодня ученые знают точно, что новый канал для передачи информации возникает в коре больших полушарий головного мозга. Врожденные каналы: рефлекторная дуга - пища воздействует на язык, сигнал поступает во вкусовые центры продолговатого мозга и моста, происходит слюноотделение; вкусовой сигнал передается через медиальные ядра таламуса в островковую кору больших полушарий, что приводит к возникновению вкусовых ощущений. Функциональная анатомия головного мозга такова, что от продолговатого мозга и моста в таламус, а потом из таламуса в островковую кору идут обратные связи. Если продолговатый мозг и мост стимулировать, например, электрическим способом, то реакцию нейронов можно будет увидеть в островковой коре (вкусовой стимул вызывает вкусовое ощущение), если стимулировать островковую кору, то можно получить выделение слюны. Звонок является звуковым стимулом и влияет на височную кору (врожденно заданная реакция). Новый канал для передачи информации возникает между височной и островковой корой.

Двигательный условный рефлекс

Рассмотрим пример формирования приобретенного условного рефлекса, но не вегетативного (реакция внутреннего органа), а двигательного. Объектом изучения является белая крыса, стимулом - включение лампочки, цель поведения экспериментального животного - безопасность. Крысу помещают в экспериментальную камеру, где установлена полочка, на которую она может запрыгнуть, исследователь включает лампочку (исходно незначимый стимул) и через 10 секунд присоединяет электростимуляцию, которая подается на пол камеры. Незначительная сила тока вызывает неприятное покалывание в лапках животного, поэтому крыса запрыгивает на полку. Обученное животное от неё далеко не отходит и готово реализовать выученную реакцию в любой момент. Изначально для крысы данная ситуация являлась неизвестной, поэтому первые попытки избежать опасности проходили в состоянии стресса. Когда обучение завершено, животное ведет себя вполне спокойно и уверенно, в его мозге регистрируется активация центров положительных эмоций.

В коре больших полушарий крысы происходит то же, что и у собаки И.П. Павлова - объединяются две зоны коры, одна из них реагирует на исходно незначимый сенсорный сигнал (зрительный - зажигание лампочки, затылочная кора), вторая связана с запуском реакции (прыжок на полку - двигательная кора в задней части лобной доли). Для этого необходимо возникновение условной временной связи, которое происходит за счет модификации контактов (синапсов) между нервными клетками, расположенными в коре больших полушарий, где возникает некая траектория для передачи нервных импульсов из зрительной в двигательную кору. Она проходит через вставочные интернейроны, для возникновения устойчивой передачи необходимо усиление контактов, которое возникает (помимо сенсорного стимула) в результате успешного поведения, биологически полезного результата - **положительного подкрепления**. В случае собаки из эксперимента И.П. Павлова таким подкреплением является еда, в случае крысы речь идет о безопасности. Избегание опасности равно победе, то есть активизации работы структуры мозга, которая называется "голубое пятно". Данная область находится в передней верхней части моста и использует в качестве нейромедиатора симпатической нервной системы молекулу норадреналина. На каждую обучающуюся клетку мозга крысы поступает как сенсорный сигнал, так и подкрепляющий сигнал из голубого пятна (норадреналиновые аксоны напрямую распространяются в новую кору больших полушарий и доносят положительное эмоциональное состояние). На этом фоне происходит изменение контактов между нейронами, которые начинают более активно проводить сигнал, что приводит к формированию устойчивой траектории (колея). Для влияния на синапсы может выделяться не только норадреналин, но и дофамин, а также ряд других нейромедиаторов, связанных с положительными эмоциями и удовлетворением потребностей (пищевая, в безопасности, исследовательская, половая). Таким образом, в **формировании** нового канала для передачи информации участвуют: сенсорный центр; центр, запускающий реакцию; промежуточные нейроны коры; центры положительного подкрепления.

Ассоциативное обучение

Изменяются те синапсы, в которых в качестве нейромедиатора работает глутаминовая кислота (глутамат) - главный возбуждающий нейромедиатор мозга. С его помощью работают сенсорные системы организма человека: когда их синапсы начинают работать эффективнее, то сигнал (например, зрительный) более уверенно достигает двигательный центр.

- **кратковременная память** - синаптические модификации, сохраняющиеся в течение несколько минут или часов;
- **долговременная память** - устойчивая (дни, недели или месяцы) активация глутаматных синапсов - основной способ формирования долговременной памяти, значительная часть которой - ассоциации между любыми сенсорными стимулами и любыми реакциями (двигательными или вегетативными).

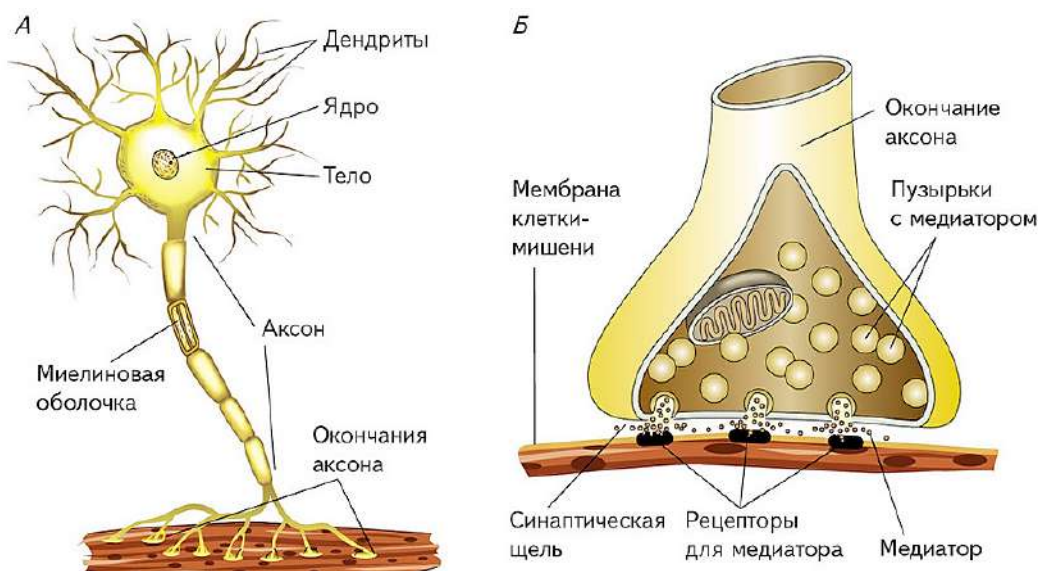


Рис. 24.3. Нейрон: А — строение нейрона; Б — строение синапса

- сигнал по нейронам передается в форме коротких (0,001 сек) электрических импульсов (потенциал действия);
- сигнал между нейронами, от нейрона к клеткам мышц и внутренних органов передается в контактах аксона - синапсах за счет выделения веществ нейромедиаторов (медиаторов) из мембранных пузырьков: ацетилхолин, норадреналин и дофамин (эмоциональная поддержка процесса обучения), глутамат; нейромедиаторы попадают в узкое межклеточное пространство (синаптическая щель) и влияют на белки-рецепторы, находящиеся на мембране следующей клетки.

Эффективность синаптической передачи повышается либо за счет выделения большего количества медиатора, либо за счет повышения чувствительности к нему рецепторов следующей клетки (механизм кратковременной памяти), а также синтеза дополнительных рецепторов (механизм долговременной памяти).

Биологический смысл обучения

Способность мозга к обучению приводит к тому, что поведение человека становится более сложным и тонко адаптированным к условиям окружающей среды. Биологический смысл приобретенных (условных) рефлексов - заглянуть в будущее, предугадать наступление важных (подкрепляющих) событий и соответствующим образом подготовиться, скорректировать поведение.

Рассмотрим ситуацию, когда нервная система брюхоногого моллюска владеет только **безусловными рефлексам**: моллюска кусает красная рыба, происходит повреждение клеток тканей, моллюск ощущает некий аналог боли и прячется в свою раковину. Если бы нервная система моллюска была способна к обучению, то ситуация выглядела бы оптимистичнее, потому что нейросеть соединила бы исходно незначимый сенсорный сигнал (красное пятно) и итоговую реакцию:

- **безусловные рефлекс**: красное пятно → приближающаяся рыба → возникновение боли и потеря части тела → моллюск прячется;
- **ассоциативное обучение и формирование рефлекс**: красное пятно → приближающаяся рыба → моллюск прячется.

Во втором случае происходит важное явление - нервная система моллюска отреагировала, не дожидаясь реального болевого воздействия, то есть по сути произошло **прогнозирование или предсказание некоего значимого события**. Иметь подобные возможности и ресурсы мозга для записи дополнительной информации (обладающие пластичностью синапсы) очень более успешно и безопасно.

Рассмотрим ситуацию, когда нервная система брюхоногого моллюска владеет только **врожденными реакциями**: моллюск питается, когда ползет и пробует на вкус все, что попадает ему на пути. Если он находит нечто съедобное (белок, углеводы), то запускается пищевая реакция. Если еды много, то он может существовать с помощью врожденных программ, но эффективнее использовать дополнительные стимулы-подсказки, например, запах еды. Исходно незначимый стимул (запах) после нескольких совпадений с пищей становится её признаком: запах → "хороший" вкус → насыщение. Подобная ассоциация оказывается полезна, так как моллюск может проползти мимо еды, но со сформированной реакцией он с большей вероятностью её найдет, то есть будет лучше питаться.

Когда в ходе эволюции появились способные к пластическим изменениям нейросети, это был колоссальный скачок: животные стали гораздо более адаптивными, началась "гонка интеллектуального вооружения". Данный процесс дополнительно подталкивает взаимодействие хищник - жертва. В качестве примера можно привести лис, которые ловят и едят зайцев. Хищнику будет легче поймать "глупую" особь, которая не сформировала ассоциацию лисы и опасности. То есть лисы, сами того не ведая, ведут отбор на "поумнение" зайцев, что делает их более "умными" на уровне популяции. Далее начинает работать обратная связь: зайцы становятся настолько сообразительными, что не всякая лиса их может поймать, то есть она перестает быть

успешной (плохо питается и не дает потомства). В итоге выживают только умные лисы, которые ловят умных зайцев. Таким образом, зайцы также работают на "поумнение" лис. Далее умные лисы продолжают влиять на популяцию зайцев, формируя "гениальных" зайцев, способствующих дальнейшему "поумнению" лис. Положительная обратная связь очень быстро усложняет поведение и в конце концов приводит к тому, что на планете Земля появляется суперхищник, который не принадлежит к числу самых сильных, опасных или быстрых, но является самым умным, то есть обучающимся верно реагировать на меняющиеся условия среды. Эволюция "делает ставки" на множество аспектов, но победила способность формировать память (условные рефлексы) и обучаться (учет дополнительных факторов). Вид *homo sapiens* стал первым разумным видом на планете Земля, именно способность к обучению сделала людей самым адаптивным существом, способным к созданию орудий труда и коммуникации.

Процесс обучения сводится к формированию новых каналов информации в коре больших полушарий мозга человека за счет модификации синапсов (пластичность) и рефлекторных дуг в целом. Если провести аналогию мозга с Интернетом, то обучение является установлением устойчивого соединения между двумя точками. В зависимости от специфики модификации синапсов выделяются типы памяти:

- **кратковременные и долговременные модификации** - кратковременная и долговременная память;
- **ассоциативная память** (И.П. Павлов) формируется на фоне положительных эмоций, **неассоциативная память** - формируется без положительного подкрепления; включает разные виды кратковременной памяти и импринтинг.

Кратковременная и долговременная память

Гиппокамп

Кратковременная память - синаптические модификации, которые сохраняются в мозге несколько минут, максимум - несколько часов. Их центром является гиппокамп - структура мозга, которая находится в глубине височных долей больших полушарий и является центром старой коры. На входе в гиппокамп находятся синапсы, которые при появлении значимого сенсорного сигнала меняют свои свойства. Рецепторы, которые воспринимают глутаминовую кислоту, начинают практически мгновенно работать более эффективно. Подобное измененное состояние способно сохраниться в течение текущего дня. Аксоны гиппокампа образуют пучок белого вещества (свод), который идет на нижнюю поверхность гипоталамуса в мамиллярные тела, далее через таламус достигает коры больших полушарий, прежде всего поясной извилины, находящейся на внутренней поверхности полушарий над мозолистым телом, и возвращается обратно в гиппокамп.

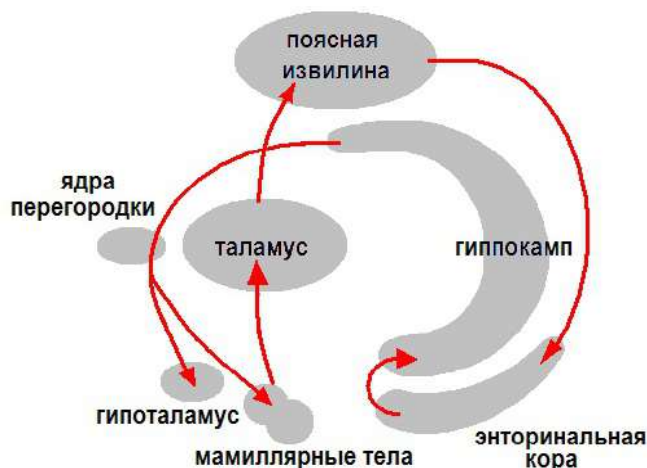


Рис. 24.4. Круг Пейпеза

В середине XX века американский нейроанатом **Джеймс Пейпез** заметил, что миллионы аксонов гиппокампа (информационные каналы) передают сигнал таким образом, что он попадает в поясную извилину, после чего миллионы аксонов возвращают информацию в гиппокамп. Ученый предположил, что вышеописанный контур является памятью человека, поскольку запуск сигнала по циклу, является способом его сохранения. Благодарные потомки назвали данный комплекс структур "**Круг Пейпеза**", он прошел длинную и непростую эволюцию, его связи позволяют записывать и воспроизводить информацию. Рассмотрим взаимодействие его ключевых структур - гиппокампа и поясной извилины, которые передают друг другу информационные потоки. В спокойном состоянии человека синапсы в контуре работают слабо, когда возникает некое значимое событие, происходит модификация синапсов с рецепторами глутамата на входе в гиппокамп, которые начинают работать более эффективно, контур замыкается и хранит информацию. Сигналы поступают либо через гиппокамп (связь с эмоциями), либо через поясную извилину, которая опоясывает большие полушария и связана с лобной, теменной, затылочной и височной долями. В течение дня с человеком происходят различные события, каждое значимое активирует на входе в гиппокамп информационные каналы, которые начинают циркулировать в круге Пейпеза. Информация способна через поясную извилину периодически возвращаться в новую кору, в этом случае человек вспоминает о новости, которую узнал утром.

Гиппокамп (морской конек) появляется в эволюции как структура, созданная для запоминания движений в пространстве. У рыб и амфибий гиппокампальные структуры работают для того, чтобы животное могло запомнить, куда оно переместилось в пространстве, а в случае опасности - быстро вернуться в убежище. **Исходная задача гиппокампа** - кратковременная память о перемещении в пространстве (формирование пространственных карт), но в ходе эволюции его функции расширились, и он становится важнейшим центром кратковременной памяти, занимающимся различными потоками сигналов: зрительными, слуховыми, тактильными и эмоционально значимыми.

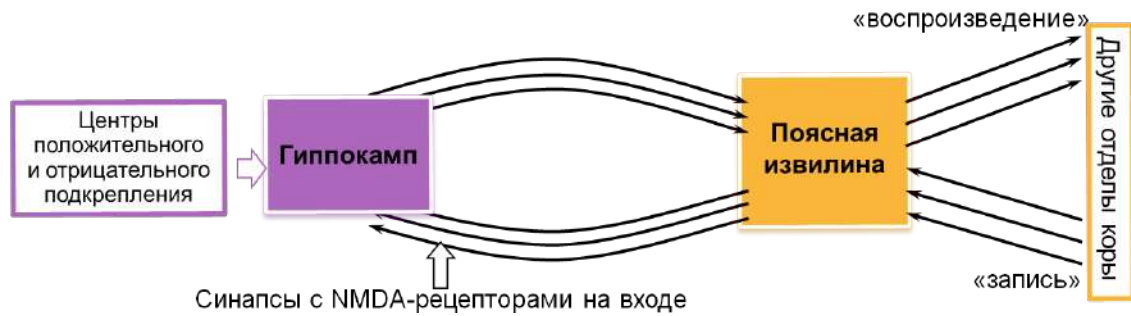


Рис. 24.5. Принцип работы "Круга Пейпеза"

Ограничения гиппокампа:

- гиппокамп имеет небольшой размер (в сравнении с другими структурами мозга человека), поэтому в течение дня может быстро заполниться информацией; его переполнение называется "эффект музея": у человека возникает состояние, когда новая информация не записывается или записывается неэффективно, как при посещении музея в течение более трех часов; помочь гиппокампу в запоминании можно сменив вид деятельности, наиболее эффективно чередовать физическую и ментальную активность;
- электрошок (электросудорожная терапия) вызывает тотальную активацию нейронов гиппокампа, что приводит к стиранию существующей в нем на данный момент информации (ретроградная амнезия), включая сам момент удара и несколько часов до него; данная процедура используется в клинике при согласии пациента и под общим наркозом в случае серьезных психологических травм, не поддающихся лечению с помощью психотерапии или антидепрессантов;
- информация хранится в течение дня, во сне она теряется или перезаписывается в долговременную память; сновидения являются отражением процесса перезаписи, с другой стороны, они дают сохранить информацию в гиппокампе, что позволяет человеку проснуться с ответами на вопросы, которые стояли перед ним вечером.

Импринтинг

Функция кратковременной памяти (текущего дня) реализуется через гиппокамп, долговременной памятью (ассоциативная) занимается практически весь неокортекс. Дорогу к её изучению проложил импринтинг или запечатление. "Впечатывание" в мозг определенной ключевой информации в строго определенный период онтогенеза на поведенческом уровне (импринтинг) открыл выдающийся австрийский зоопсихолог **Конрад Лоренц**. За свою работу в 1973 году ученый получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

Ситуации возникновения импринтинга у птиц и млекопитающих:

- **формирование образа родителя** - происходит в момент появления детеныша на свет, когда мозг запоминает ряд параметров родителя: внешний вид, голос, запах;

- **формирование образа детеныша** - родитель воспринимает ключевые сенсорные характеристики детеныша;
- **место рождения** - лососи запоминают вкус воды того ручья, где они вылупились, и через несколько лет возвращаются в него из океана, чтобы продолжить род;
- **пища детства**;
- **половой импринтинг** - потенциальный половой партнер и первый половой партнер; верность в мире животных во многом базируется на данном событии.

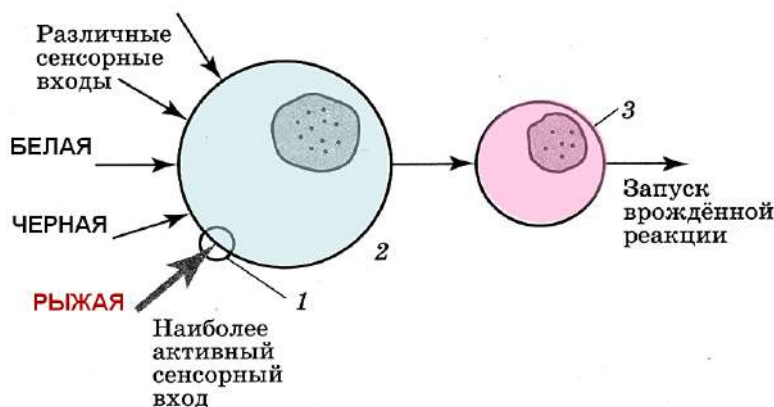


Рис. 24.6. Структуры больших полушарий цыпленка: 1 - обучающийся синапс, 2 - обучающийся нейрон, 3 - запускающий реакцию нейрон

Процедура импринтинга - особый вид очень прочной долговременной памяти с характерными перестройками синапсов. Изучение импринтинга позволило понять, что происходит с нервными клетками в процессе формирования долговременной памяти. Вылупившийся цыпленок смотрит на маму и запоминает, как она выглядит. Работая с формированием образа родителя у детеныша, К. Лоренц обнаружил, что если сидеть на корточках рядом с гусятами, то они воспринимают человека в качестве родителя и начинают адресовать ему свое детское поведение: следовать, подражать, заботиться, сообщать об опасности. Импринтинг необходим, поскольку курица может обладать разными параметрами, например, иметь определенный цвет (белый, черный, рыжий, пестрый), при этом желательно, чтобы увиденный цыпленком объект не был слишком большим или маленьким, двигался и звучал. В мозге цыпленка находятся нервные клетки, способные собирать различные сигналы и запускать детское поведение. При этом изначально они не работают, так как сенсорные входы слишком слабые, но со временем самый активный информационный канал запускает импульс, после чего инициируется врожденная реакция. Импринтинг проходит в строго определенных точках мозга, после формирования сохраняется пожизненно.

Основной механизм импринтинга

Сенсорные аксоны несут информацию на обучающийся нейрон, в котором исходно мало рецепторов к глутаминовой кислоте, поэтому синапс запускает синтез вторичного посредника - молекулы, которая после срабатывания рецептора возникает в цитоплазме и продолжает передачу сигнала внутри клетки, дотягиваясь до ядерной

ДНК (генов) рецепторов глутаминовой кислоты. Первичным посредником является сам нейромедиатор. Активация генов приводит к синтезу информационной РНК, идущей к рибосомам, которые создают дополнительные белки-рецепторы, встраивающиеся в мембрану активного синапса. Когда их оказывается много, сенсорный стимул запускает реакцию (детское поведение). Этот же механизм, открытый на примере импринтинга, работает в случае ассоциативного обучения, то есть при выработке условного рефлекса в первую очередь растет количество рецепторов в обучающемся синапсе.

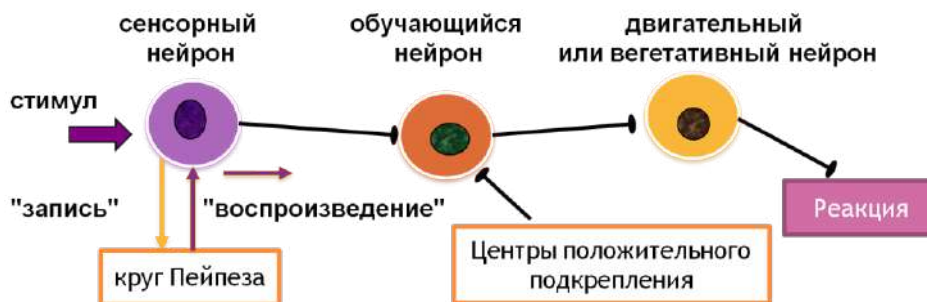


Рис. 6.5. Схема механизма ассоциативного обучения

В эксперименте с крысой, которая убегает от опасности и запрыгивает на полку, происходит следующее: для того, чтобы при появлении стимула (включение лампочки) заработал изначально неактивный обучающийся нейрон, требуется увеличить количество белков-рецепторов, при этом необходимо добавить положительный результат (еда, избегание опасности). Таким образом, на обучающемся нейроне сходятся два синапса - сенсорный и подкрепляющий, каждый из них активирует рецепторы и формирует вторичного посредника (разные вещества). Когда на ядерную ДНК глутаминовой кислоты одновременно воздействуют два посредника, вновь образованные рецепторы активно встраиваются в мембрану сенсорного синапса, повышая его эффективность. Вышеописанная схема содержит серьезную логический пробел, поскольку в случае с импринтингом события на клеточном уровне протекают не быстро (от нескольких часов до нескольких дней), обеспечивая постепенную модификацию, но в случае ассоциативного обучения исходно незначимые сенсорные стимулы поступают очень короткое время. Для запуска описанной реакции на схеме ассоциативного обучения обозначен круг Пейпеза: когда происходят значимые события (сильные сенсорные сигналы на фоне эмоций), то на входе в гиппокамп активируются синапсы, и кругу Пейпеза начинает циркулировать информация. Далее, хотя сенсорного стимула уже нет, сигналы продолжают поступать на обучающийся нейрон.

Системы кратковременной и долговременной памяти и анатомически, и по механизму синаптической модификации являются разными, но без системы кратковременной памяти долговременная не возникает, поскольку реальный сигнал необходимо подменить памятью о нем. Только тогда в обучающемся нейроне произойдут сложные и долгосрочные модификации, заключающиеся в активности генов. Это было отмечено в клинике, поскольку повреждение гиппокампа (особенно двухстороннее) ведет не только к ухудшению долговременной памяти, но и к нарушению формирования новой долговременной памяти. Например, человек помнит

все, что происходило с ним до автокатастрофы, но в результате травмы новая информация стирается в течение ночи, когда синапсы гиппокампа возвращаются в пассивное состояние. По этому вопросу существует множество научных работ и научно-популярных книг. Выдающийся американский невролог **Оливер Сакс** издал книгу "**Антрополог на Марсе**", содержащую новеллу "Последний хиппи", где повествуется о человеке, "застрявшем" в 60-х годах XX века.

В гиппокампе сохраняется далеко не вся информация, а только сопровождаемая эмоциями и повторами. Наблюдаются случаи, когда в долговременную память записывается вся информация. Ученые недостаточно хорошо понимают механизм этого явления, примером которого является сверхпамять, иногда встречающаяся у людей с аутизмом и повреждениями центральной нервной системы. Ким Пик - пациент, который стал прообразом героя фильма "Человек дождя". Он был способен прочитать телефонный справочник и помнить его содержимое в течение долгих лет. Подобная судьба не очень приятна, потому что нервная система и нейросети человека должны иметь способность выделения главного и второстепенного, запоминать и забывать, потому что активно работать со всей накопленной в течение жизни информацией невозможно.

Подчеркнем, что память является сетевым свойством нейронов коры больших полушарий мозга человека. При запоминании модифицируются каналы передачи информации между нейронами (в основном глутаматные синапсы), что приводит к соединению стимула и реакции. И.П. Павлов выделил условия формирования долговременной памяти:

1. **Чем значимее подкрепление, тем быстрее идет обучение** - самое существенное условие формирования памяти обозначает, что **долговременное запоминание идет на фоне серьезного подкрепления** - значимых эмоциональных событий и биологически полезного результата. Можно учиться, достигая приятного ("пряник"), но часто значимее оказывается избегание неприятного ("кнул"), но он не делает человека счастливым. Если информация не важна, то дальше кратковременной памяти она не пойдет, поскольку между гиппокампом и остальной корой больших полушарий находится "анти-спам система".
2. **Повторное сочетание исходно незначимого стимула и положительного подкрепления** ("повторение - мать учения") - информация плохо запоминается с одного раза, необходимо несколько раз запускать круг Пейпеза для повторной перезаписи; если у человека есть несколько часов для запоминания необходимой информации, то эффективнее использовать их в течение нескольких дней: информация поступает в кратковременную память, во время сна происходит её перезапись в долговременную, данный цикл повторяется 4 раза.
3. **Отсутствие сильных отвлекающих факторов** - должна присутствовать "явная учебная доминанта", необходимо сосредоточиться, поскольку многозадачность в данной ситуации является помехой.

4. **Мозг должен находиться в хорошем функциональном состоянии** - не быть слишком сытым или голодным, возбужденным или сонным; у каждого человека в течение суток бывает несколько часов, наиболее подходящих для процессов обучения, именно в это время стоит заниматься сложными вопросами.

Отрицательное обучение

"Положительное обучение" происходит при формировании новых каналов для передачи информации. Кора больших полушарий при определенных условиях может тормозить их, то есть мозг умеет избавляться от неэффективных программ - "отрицательное обучение". Это явление отметил ещё И.П. Павлов и назвал его "**условное торможение**". Оно запускается центрами отрицательного подкрепления, когда поведение не достигло успеха. На субъективном уровне у человека при этом возникают негативные эмоции, на уровне информационных каналов - ослабление эффективности синапсов либо подключение к каналам тормозных нейронов. Обучиться что-то не делать является непростой задачей, которая может быть сложнее, чем выработка исходного навыка. Стимуляция деятельности центров отрицательного подкрепления останавливает всю текущую деятельность. Они были открыты в 1963 году испанским нейрофизиологом **Хосе Дельгадо**, который вживил электроды в задний гипоталамус быка. Ученый в испанской манере демонстрировал эффективность своих воздействий, выступая на арене в качестве матадора. В руках у Х. Дельгадо был передатчик, при нажатии на кнопку которого бык останавливался, потому что в результате поступившего в задний гипоталамус сигнала генерировалась негативная эмоция. На основе данного сигнала кора больших полушарий в дальнейшем блокирует неудачные программы.

Лекция 25. Потребности и эмоции

Витальные потребности

Данная лекция раздела "Анатомия и физиология человека" курса "100 часов школьной биологии" посвящена теме потребностей и эмоций человека. Заключительные лекции раздела рассматривают деятельность мозга в самых сложных категориях, которые определяются как физиологические основы психической деятельности человека. В ходе предыдущей лекции были представлены процессы обучения и формирования памяти, которые требуют эмоционального фона и удовлетворения биологических потребностей. Новые каналы для передачи информации возникают в мозге в том случае, когда поведение оказывается успешным: удалось достичь нечто полезное, избежать неприятности. Сфера потребностей и связанных с ними эмоций является важнейшей сферой работы любой нервной системы. Питание, размножение и избегание опасности - три задачи, которые решает даже нейронная сеть медузы.

Потребность - избирательная зависимость организма от определенных факторов внешней или внутренней среды:

- **факторы внешней среды** - пища и болевой стимул;
- **сигналы, поступающие из внутренней среды** - падение концентрации глюкозы в крови (человек ощущает голод) или повышение концентрации NaCl (жажда); сигналы действуют на глубинные стволовые структуры мозга: гипоталамус, зоны базальных ганглиев.

Возникшее состояние потребности, поднимаясь в кору больших полушарий, может запустить поведение. **Задачей потребностей** является стимуляция деятельности человека для выживания и производства потомства, для существования в мире в адаптированной форме. Для приспособления к непрерывному изменению параметров окружающей среды людям необходимо узнавать новое, двигаться, коммуницировать. Все перечисленное также относится к сфере биологических потребностей, на которых порой базируются очень сложные проявления психической деятельности человека. Человек по врожденно заданным программ любопытен, эмпатичен или склонен к творчеству.

Человек генетически настроен на стремление удовлетворять потребности:

- **удовлетворение потребности** – приводит к возникновению положительных эмоций, поток которых в форме определенных нейромедиаторных молекул поднимается в кору больших полушарий, таким образом мозг запоминает успешное действие;
- **поведение не привело к удовлетворению потребности** - возникают отрицательные эмоции, затормаживаются неэффективные поведенческие программы.

Термин "потребности" используется для обозначения социальных, духовных и эстетических потребностей, являющихся высшими проявлениями психической деятельности человека, часто связанными с речевой сферой. Тема данной лекции более узкая - биологические потребности, которые являются результатом эволюционного процесса и врожденной основой поведения людей, а также объединяют их с высшими животными. Отобранные эволюцией программы приносят пользу как отдельному биологическому индивиду, так и биологическому виду в целом. Понятие "биологические потребности" широко используется не только в науках о физиологии и мозге человека и животных, но и в психологии, и философии. Существует множество попыток их классифицировать и параллельных терминов. **И.П. Павлов** использовал для определения биологических потребностей понятие "**группы безусловных рефлексов**" и говорил о пищевом, оборонительном и половом поведении, а также о программах свободы. Большое количество классификаций присутствует в психологии: одна из самых известных принадлежит **А. Маслоу**, классиками наук о поведении в естественных условиях (зоопсихология и этология) являются **Н. Тинберген** и **К. Лоренц**.

Классификация, которую в настоящее время используют физиологи для описания сферы биологических потребностей, была разработана в 80-е годы XX века академиком **Павлом Васильевичем Симоновым**. Ученый предложил разделить биологические потребности на три группы, основываясь не на анализе поведения, а на данных о работе мозга, то есть на наличии в нем соответствующих нервных центров, отвечающих за потребность, и объективных критериев (влияние гормонов и генов). В прикладных сферах медицины (патопсихология, оказание психологической помощи) важно понимать, как работают центры страха, агрессии, пищевого поведения.

Классификация биологических потребностей П.В. Симонова:

- **витальные потребности** (лат. Vitalis - "жизненный") - жизненно необходимые программы, которые человек обязан удовлетворять, иначе может погибнуть;
- **зоосоциальные потребности** - внутривидовое взаимодействие: сферы, связанные с размножением, лидерством и эмпатией;
- **потребности саморазвития** - программы, направленные в будущее; подталкивают организм реализовать поведение, что несет адаптивный характер.

В ходе работы мозга каждый центр биологической потребности функционирует как особая информационная сущность, которая хотела бы, чтобы мозг сосредоточился именно на ней и реализовал соответствующее поведение. Это приводит к постоянной конкуренции потребностей, победитель ведет за собой поведение и называется "**доминирующая потребность**". Примеры потребностей: пищевое и исследовательское поведение (сбор новой информации - источник положительных эмоций для мозга человека, который является очень любопытным), детско-родительское взаимодействие, движение и формирование двигательных навыков. Особой сферой является **работа зеркальных нейронов** - нейросетей мозга, которые

переносят эмоции другого человека и позволяют сопереживать им (эмпатия), кроме того, подталкивают повторять движения и поведение (обучение на чужом примере).

Витальные потребности

- **пищевые и питьевые потребности** - очень значимые сигналы от внутренней среды организма: концентрация глюкозы в крови, степень растяжения стенок желудка;
- **потребность в безопасности** - делится на активно оборонительное поведение - нападение на источник неприятности (агрессия) и пассивно оборонительное поведение - убежать, прятаться (страх, тревожность);
- **гомеостатические потребности** - являются наиболее витальными: сон, дыхание, терморегуляция; без еды и воды человек может прожить несколько дней, без воздуха - несколько минут; реализация данных программ связана с выживанием;
- **экономия сил** - многие нейросети человека организованы таким образом, что стараются достичь цели с минимальной затратой ресурсов; биологически это обосновывается тем, что ресурсы (например, калории) необходимо добыть, поэтому целесообразно их беречь; во фразе "лень - двигатель прогресса" имеется и определенный смысл, и преувеличение, поскольку экономия сил является одной из групп программ, с которой конкурируют программы новизны или радости от движений; поведение человека зависит от того, насколько активны в его мозге вышеперечисленные программы, а также от его способности ими управлять на сознательном уровне;
- **груминг** - уход за телом, данный термин пришел из области ухода за лошадьми и обозначает расчесывание гривы или хвоста, в зоопсихологии он перешел в описание поведения, связанного с уходом (умывание, вылизывание); груминг отнесен к витальным программам, поскольку без его реализации можно быстро покрыться грязью и паразитами; в условиях эпидемии груминг особенно значим.

Каждая из групп потребностей представлена множеством врожденных программ: простых и сложных, запускаемых биологически полезными и вредными стимулами. Каждая потребность в случае поведения животных, направленного на добычу пищи, поддержание постоянной температуры тела или сбрасывание кожи - источник значительного количества разнообразной и интересной информации.

- **простое и сложное пищевое поведение:**
 - **сложное поведение** - плетение сети пауком, постройка сот пчелой - программы, которые на врожденном уровне записаны в более "просто" устроенный мозг; дополнительное обучение у животных происходит в ограниченном количестве;
 - **простое поведение** - 90 млрд. нейронов мозга человека сложных врожденных программ не знает - глотание является простым поведением; при этом люди обладают способностью обучению;
- полезные и вредные стимулы:

- **положительное подкрепление** - биологически полезные сигналы, достижение которых заложено на врожденном уровне (сладкий и белковый вкус еды);
- **отрицательное подкрепление** - сигналы, которые избегаются на врожденном уровне (боль, горький вкус);

Источником положительных эмоций является достижение положительного подкрепления и избегание отрицательного. Источником отрицательных эмоций - потеря позитивного подкрепления или наличие отрицательного.

Страх и агрессия

Стимулы, врожденно вызывающие страх, агрессию (реакция "бей или беги") **и отрицательные эмоции:** боль, внезапный громкий звук и молния, темнота, высота, мимика страха и агрессии, пауки и змеи, "хищник", отвратительный запах или вкус, и др. Этологи отмечают, что все шимпанзе на врожденном уровне боятся змей. Данные реакции - результат эволюционного процесса и в современном мире они не всегда уместны (панические атаки, фобии, импульсивная агрессия). Много внимания данному вопросу уделял классик зоопсихологии **Никола Тинберген**. Ученый провел эксперимент, ставший классическим: гусята находятся в комнате, по потолку которой двигается силуэт ястреба. Когда он перемещался в сторону птенцов - они не настораживались, когда движение происходило в противоположную сторону - пугались и затаивались, потому что в первом случае у силуэта была длинная шея и короткий хвост (гусь), во втором - короткая шея и длинный хвост (хищник). Соответственно, мозг гусенка на врожденном уровне способен реагировать на сложное изображение: вычислять его пропорции и с помощью нейросетей запускать реакцию тревожности. У жабы на ползущий горизонтальный объект возникает скорее пищевое поведение, если к нему добавить вертикальную составляющую, то идет реакция на потенциальную опасность, приближенная к агрессивной, и демонстрация силы посредством выпрямления лап и надувания.

Агрессивные программы значимы для поведения человека, в лучшем своём варианте они трансформируются в соревновательность, стремление преодолеть препятствия, но избыточная агрессия весьма деструктивна. Помимо прямой опасности для организма важными причинами агрессии являются: **недостаток ресурсов** (пища, территория, партнеры для размножения), **установление иерархии**. Исходно данная программа возникает как способ преодоления опасности, но эволюция делает следующий шаг и начинает добавлять её при неудаче того или иного типа врожденно заданного поведения. Генерация негативных эмоций в ситуации, когда что-то идет не так - результат активации заднего гипоталамуса и миндалин, где центры агрессии находятся рядом с центрами страха. Причиной агрессии может быть как отобранный кусок пищи, так и вторжение на территорию или ревность, в итоге она оказалась способна образовывать комплекс со многими поведенческими программами, стала содействовать их реализации. Биологический вид *homo sapiens* прошел непростой путь, на котором ему пришлось длительно конкурировать и с хищниками, и на внутривидовом уровне, поэтому история человечества является историей непрерывных

войн и конфликтов. Контроль агрессии - ежедневная задача каждого человека. Про это много и хорошо пишет **Конрад Лоренс** в своей книге "**Агрессия**" (рекомендуется к прочтению).

Когда человек видит, как кто-то удовлетворяет потребность, то с помощью зеркальных нейронов в его мозге происходит возникает сопереживание и частичное удовлетворение собственной потребности, поэтому изображение сладко спящих панд вызывает позитивные эмоции. Когда некто слишком сильно предается удовлетворению потребности, то людям это перестает нравиться. В психологии данный феномен называется "**акцентуация**", избыточная акцентуация - маниакальное состояние, которое активно порицается. Во многих религиях манифестация потребности, ведущая за собой все поведение, именуется греховными действиями. Изображенная на картине "**Страна лентяев**" голландского художника **Питера Брейгеля** старшего ситуация является сатирическим бичеванием пороков. Любая потребность может быть для людей искусства (художники, поэты, писатели) источником вдохновения. Если в качестве объекта произведения искусства выступает некая потребность, то оно практически обречено на успех, потому что обязательно найдутся люди, для которых именно эта программа в настоящее время наиболее актуальна. Общеизвестно, что почесаться - приятно, если где-то чешется, но дотянуться до этого места невозможно, то возникают негативные эмоции. Французский импрессионист **Э. Дега** отражал в своих произведениях груминг, изображая женщин в процессе ухода за телом ("**Причесывающаяся женщина**", 1885 год).

Зоосоциальные потребности

- **половое поведение** - рассмотрено в лекции N15 "Половая система, размножение", в значительной степени поддерживаются половыми гормонами;
- **материнское (родительское) поведение** - рассмотрено в лекциях N 13 - 14 "Эндокринная система";
- **"детское" поведение** - стремление к контакту с родителями;
- **территориальное поведение** - у животных наблюдается врожденное стремление занять и удерживать территорию для гарантированного обеспечения ресурсами себя и потомство (пища, половые партнеры); территориальные программы являются защитой от перенаселения и приводят к расширению ареала, поскольку "выталкивают" часть особей, вынужденных осваивать новые пространства; в итоге территориальное поведение в разных вариантах закрепляется в эволюции продвинутых нервных систем от муравьев и коралловых рыб до человека. У людей существует личная территория, территория семьи и территория социума, которому они принадлежат (школа, рабочий коллектив, страна). Проявления патриотизма также базируются на территориальном поведении. Ещё шире оно выливается в понятие собственности.
- **иерархическое поведение** - нейросети, отвечающие за стремление к лидерству, прежде всего базируются в миндалине - структуре, которая относится к базальным ганглиям и находится в глубине височных долей мозга; там же

локализованы программы, формирующие потребность в наставнике (вожак); в случае нахождения на одном уровне иерархии работают программы, которые следят за тем, чтобы конкурент не получил преимущества (социальная справедливость или зависть), что можно наблюдать на уровне многих приматов; в продвинутых иерархиях присутствует вожак и несколько уровней подчиненных, это связано со специализацией особей внутри стаи; подобная структура является полезной для разделения функций (разведчик, носитель знаний, воспитатель); некоторые иерархии в человеческих обществах и стаях животных основаны на агрессии, в более успешных присутствуют эмпатия и сопереживание, в итоге - пониженный уровень стресса;

- **реакции сопереживания** - результат действия одной из групп зеркальных нейронов, которые переносят эмоции, испытываемые другой особью; подобная эмоциональная синхронизация является следствием стайного образа жизни, который дает множество преимуществ (больше количество еды, эффективное обнаружение хищника, совместный обогрев); синхронизация позволяет эффективно выполнять совместные функции, например, оцетиниться и напасть на хищника. В ходе эксперимента крыса помещается в камеру с темным и светлым отсеками. Крыса является небольшим норным животным, поэтому стремится уйти от света (оборонительное поведение), при этом пол темной камеры является педалью, активирующей удар током по второй крысе, которая начинает пищать и издавать обонятельные сигналы страха (феромоны). У первого экспериментального животного возникает два потока негативных эмоций: опасность нахождения на свету и боль второй крысы. Это классическая ситуация конкуренции двух потребностей в мире, где часто приходится выбирать не между хорошим и плохим, а между плохим и очень плохим ("из двух зол выбирают меньшее"). В данном эксперименте 75% крыс выбирают светлую камеру, то есть оказываются альтруистами. **Сопереживание** - одна из важнейших биологических программ, которая выливается в такие проявления человеческой культуры, как сострадание и взаимопомощь.

Зеркальные нейроны врожденно узнают невербальные коммуникативные сигналы, отражающие эмоциональное состояние другого человека. Основные мимические выражения лица зрительная система детектирует без обучения, даже самый маленький ребенок видит и понимает улыбку взрослого. Слуховая система распознает смех, плач и крик боли. В случае плохого настроения человек может подойти к зеркалу, чтобы улыбнуться самому себе, и его зрительная система и система мышечной чувствительности через 30 сек помогут его настроению стать лучше. Когда люди оказываются в большом коллективе (толпа), то эмоциональная синхронизация оказывается очень заразной. В каких-то случаях она играет положительную роль: люди вместе смотрят спектакль или фильм, слушают концерт, при этом весь зал синхронно смеется или плачет. В других ситуациях синхронизация может носить агрессивный характер: спортивные болельщики находятся на грани позитива и агрессии, особенно в случае проигрыша любимой команды; уличные беспорядки. **Эффекты толпы** - "темная сторона" эмоциональной синхронизации, которая может

носить панический или стязающе экспрессивный характер. Утрата ответственности, чувство единства и другие особенности синхронизации отдельно изучаются психологами и социологами.

Потребности саморазвития

Программы саморазвития П.В. Симонов определил, как программы, направленные в будущее. В момент их реализации польза от того или иного поведения является неочевидной, но через некоторое время (часы, дни) становится понятно, зачем мозг их активировал.

- **подражательное поведение** - работа второй группы зеркальных нейронов, подталкивающих людей повторять чужие двигательные реакции. Повтор детенышем поведения родителей позволяет ему формировать двигательные навыки; подражать можно наставнику, товарищу, вожаку. Зеркальные нейроны двигательного подражания в основном связаны с лобной корой. Программы подражания - основа культурной передачи информации. Они активно используются в рекламе, когда в качестве примера демонстрируется поведение известного актера или спортсмена. Рекламный ролик по сути является выработкой небольшого конкретного условного рефлекса: исходно незначимый стимул за время рекламы пытаются сделать значимым для человека, для чего демонстрируется удовлетворение какой-то потребности, иногда - нескольких. Например, при просмотре рекламы шампуня могут включиться программы подражательного поведения, груминга и любопытства, чтобы в дальнейшем управлять поведением покупателя. Зеркальные нейроны двигательного подражания в конце XX века были открыты итальянским нейробиологом **Джакомо Ризолатти** в лобной коре обезьян. Ученый в 2014 году выступал на "Фестивале науки" в Московском университете. Работа зеркальных нейронов является важным компонентом человеческой цивилизации. Само понятие "**культура**" обозначает обучение на примере другого человека. До возникновения нейросетей, способных повторить действия другого, передача информации от поколения к поколению передавалась только через ДНК (медленную модификацию нуклеиновых кислот). Новый механизм колоссально ускорил адаптацию на поведенческом уровне, при этом мозг современного человека анатомически не отличается от мозга древнего египтянина, но он "загружает" в него иные программы, что позволяет ему быть человеком XXI века.
- **программы свободы** - врожденно заданные программы, которые говорят, что быть ограниченным в свободе передвижения - плохо. Если олень запутается рогами в кустах, то у него генерируется поток негативных эмоций, который стимулирует его освободиться, в противном случае данная ситуация представляет угрозу для жизни животного (смерть от голода, жажды или хищника), о чем сам олень не подозревает, но предвидит программа его мозга. Важность этих программ отмечал И.П. Павлов, написавший в 2017 году очерк "**Рефлекс свободы**". В экспериментах ученого собака помещалась в

экспериментальную камеру в специальной шлейке, которая позволяла животному немного двигаться вправо и влево, но не давала возможности уйти в угол и уснуть (рис. 24.1.). Для большинства экспериментальных животных это была приемлемая ситуация. И.П. Павлов говорит о существовании таких нервных систем, для которых данное условие оказалось чрезмерным ограничением свободы, поэтому некоторым собакам пришлось долго адаптироваться к ситуации эксперимента. Подчеркнем, что активность центра биологических потребностей установлена в мозге конкретного человека индивидуальным образом: разные люди являются более или менее тревожными, агрессивными, любопытными или свободолюбивыми (основа темперамента). "Я - свободен" - позитивное переживание.

- **программы движения** - когда человек двигается, средний мозг выделяет дофамин, что делает движения приятными. Это стимулирует ребенка тренировать поведенческие навыки и социальные взаимодействия. Благодаря зеркальным нейронам красивые движения танцора или спортсмена стимулируют зрителя на подвижность и позволяют ему испытывать удовольствие. Если человек смотрит балет или матч вместе с тысячей других зрителей, испытывающих положительные эмоции, то возникает эмоциональная синхронизация, поэтому публичные зрелища являются отдельной ценностью. Когда человек реализует совместную деятельность с другими людьми, возникают особые переживания его нервной системы.
- **игровое поведение** - в ходе игры происходит обучение, но не только простым движениям, направленным на удовлетворение пищевой потребности или потребности в безопасности, но социальным навыкам: борьба котят является тестированием в безопасной среде социальных программ, которые будут работать на установление иерархии, территориальное и половое поведение (борьба за полового партнера). Таким образом игровое поведение позволяет заранее адаптироваться к множеству жизненных ситуаций.
- **исследовательское поведение** - сбор новой информации.

Мозг человека очень любопытен, поэтому новая информация для людей является отдельным источником положительных эмоций, даже если она не применяется. В случае её дальнейшего успешного использования в практической жизни поведенческая программа будет выбираться с большей вероятностью. Сбор новой информации - форма адаптации к событиям, возможным в будущем.

Программы исследовательского поведения широко распространены по нейросетям (обозначены на рис. 25.1. желтым цветом):

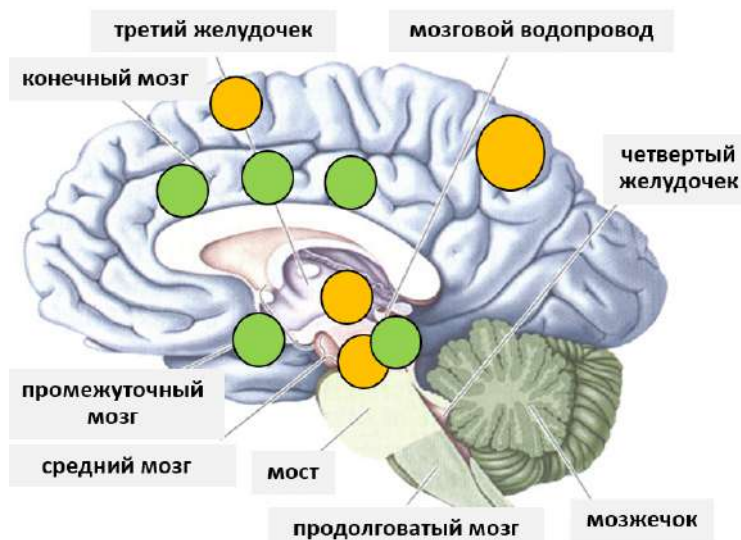


Рис. 25.1. Центры исследовательского поведения и детектирующие новизну нейросети

- **средний мозг** - реакция на возникновение новых сенсорных сигналов, запуск ориентировочного рефлекса (поворот глаз и головы в сторону источника новой информации);
- **промежуточный мозг**, субталамус - движение в сторону источника новой информации, изучение новой территории (поисковое поведение);
- **моторная кора** (задняя часть лобной доли) - сбор новой информации с мощью тонких движений пальцев в ходе изучения различных объектов; объединяет людей с высшими позвоночными;
- **теменная кора** - речевые центры, центры мышления: человек обладает специфическим уровнем - узнав что-то новое люди стремятся назвать это словом (вторая сигнальная система по И.П. Павлову);

Нейросети, сравнивающие сигналы и детектирующие новизну, находятся на "входе" в программы исследовательского поведения (обозначены на рис. 25.1. зеленым цветом):

- **четверохолмие** - на входе информации в средний мозг;
- **гиппокамп** - центр кратковременной памяти; помогает собирать во время локомоции информацию; специализирован на детекции новизны об обстановке на территории;
- **поясная извилина** - центр новой коры, находящийся над мозолистым телом; помогает мышлению и тонким манипуляциям.

На основе исследовательской деятельности у человека формируется **информационно-речевая модель мира**. Она является основой мышления и прогнозирования, а также источником положительных эмоций, поскольку служит базисом творческих процессов. Любопытство начинается с поворота головы в сторону нового сигнала, а заканчивается созданием научных теорий, картин и стихов. Это новизна, которая связана с выделением дофамина.

Структуры мозга, отвечающие за реализацию поведенческих программ

Каждая группа врожденных поведенческих программ обеспечивается работой особых нервных клеток головного мозга. В случае исследовательского поведения - средний мозг, субталамус, двигательная кора, для большинства программ они расположены более локально:

- **гипоталамус** - нижняя часть промежуточного мозга, которая по праву называется "центр бессознательного"; содержит эндокринные и вегетативные центры, центры биологических потребностей:
 - **центры голода и жажды** - находятся в средней части гипоталамуса;
 - **центры страха и агрессии** - находятся в задней части гипоталамуса, работают под управлением миндалины, которая решает - драться или убежать и сбрасывает сигнал на гипоталамус, который передает его вегетативной и эндокринной нервным системам;
 - **центры полового и родительского поведения** - передняя часть гипоталамуса; откликаясь на изменения концентрации ряда гормонов, центры работают вместе с миндалиной, играющей роль контроллера, сдерживающего избыточные маниакальные проявления;
- **миндалины** - часть базальных ганглий, находящихся в глубине височной доли больших полушарий; с миндалиной также связана потребность доминирования в стае и ряд других зоосоциальных потребностей.

Центры поведенческих программ присутствуют в мозге каждого человека, но их активность зависит от групп факторов, совокупность которых является основой темперамента и характера:

- сигналы из внешней среды и внутренней среды организма;
- гены, гормональный фон;
- индивидуальный опыт человека, в том числе пренатальный и др.

Центр каждой биологической потребности в каждый момент времени активирован на некотором уровне. Возбуждение вызывают стимулы, усиливающие потребность, например, снижение в крови концентрации глюкозы, что ощущается человеком как негативная эмоция и постепенно нарастающее чувство голода. Активизированный центр передает сигнал через базальные ганглии в кору больших полушарий, которая запускает пищевое поведение, в итоге человек производит действия, чтобы поесть. Если потребность удалось удовлетворить, то появляются стимулы, квалифицированные как положительное подкрепление, и тормозят центр биологических потребностей (растяжение желудка, вкусовая система определяет жиры, белки и углеводы). Это формирует поток положительных эмоций, которые создают основу для процессов обучения. Таким образом, приведшие к успеху программы в дальнейшем будут выбираться с большей вероятностью. В случае неудовлетворенной потребности сохраняется состояние, усиливающее их, что усиливает и негативные эмоции, а также

приводит к подтормаживанию в коре больших полушарий программ, не приведших к успеху (условное торможение).

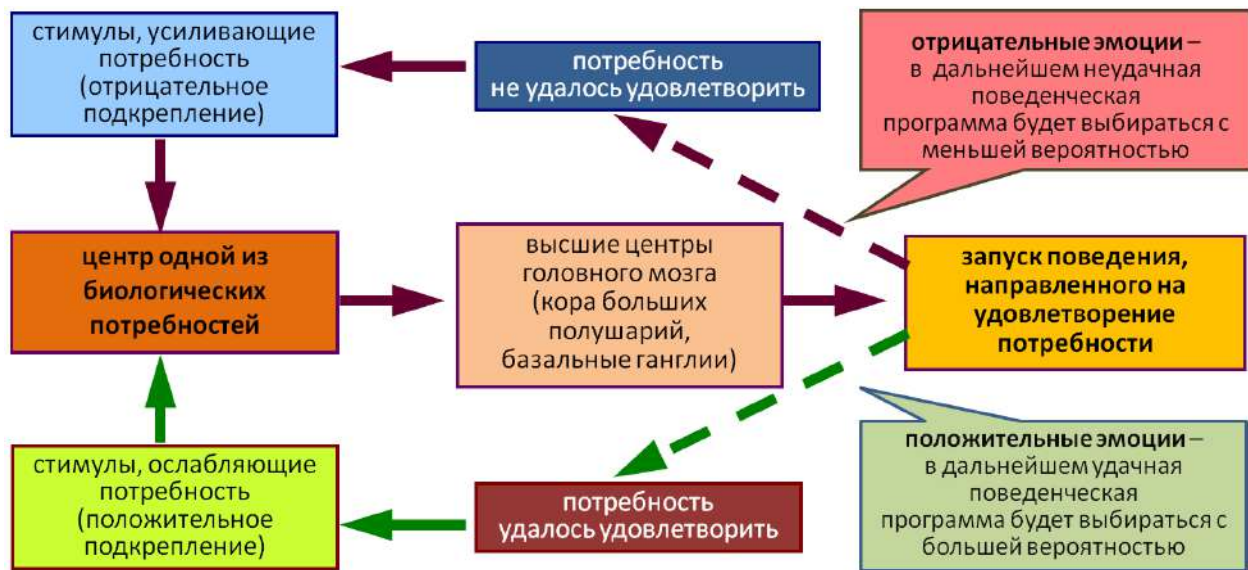


Рис. 25.2. Механизм работы центров биологических потребностей и выбора поведенческих программ

Эмоции

Эмоции являются важным компонентом психической жизни человека. Когда эмоции выражают обезьяны, то людям они хорошо понятны, поскольку совпадает мимика. Эмоции собаки - движения глаз и ушей, белой акулы - движения грудных плавников, у человека эмоции проявляются с помощью мимики и тонкой модуляции голоса. П.В. Симонов отмечал, что эмоции выполняют:

- **оценочно-отражательная роль** - получилось или нет/положительная или отрицательная эмоция; знак эмоции очень хорошо чувствует каждый человек;
- **подкрепляющая роль** - эмоция поднимается в кору больших полушарий, на этом фоне происходит обучение;
- **коммуникативная роль** - выражение эмоции для того, чтобы другой человек мог понять состояние, помочь;

Стимуляция гипоталамуса позволяет вызвать **6 базовых эмоций**: положительные - радость и удивление; отрицательные - горе, страх, гнев и отвращение. Базальные эмоции фиксируются при электрической стимуляции различных подкорковых зон мозга у животных. В психологии существует множество классификаций эмоций, одна из них принадлежит американскому психологу **Роберту Плутчику**, который выделил 8 основных эмоций в трех градациях, а также эмоции, находящиеся между ними (всего более 30). Основные эмоции: восторг, восхищение, ужас, изумление, горе, отвращение, гнев, настороженность.

Эмоция проявляется как некоторое внутреннее переживание человека (психологический компонент), на уровне вегетативной нервной системы и гормонов, на коммуникативном уровне (мимика, жесты, речь). На химическом уровне тонкой деятельности нервных клеток эмоции являются выделением конкретных нейромедиаторов из отростков нейронов:

- положительные эмоции - распространяясь по мозгу в форме нервных импульсов, используют в качестве нейромедиаторов:
 - **норадреналин** - победа в реальной или потенциально опасной ситуации; голубое пятно внутри моста;
 - **дофамин** - активные движения, новизна, творчество; выполняет главную коллекторную роль; нейроны среднего мозга, синапсы прилежащего ядра;
 - **опиоидные пептиды** - половое, родительское, пищевое поведение;
 - **ацетилхолин, анандамид** - комфорт, покой, безопасность;
- отрицательные эмоции - в случае неудачи активируются нейроны, выделяющие фрагменты гормонов **холицестокинина и кортиколиберина, эндозепины, субстанцию Р** и др.; данные молекулы являются менее изученными.

У нейромедиаторов положительных эмоций существует "темная" сторона - похожие на них вещества обладают наркотическими свойствами. Они по сути замещают реальное поведение, то есть человек будет испытывать положительные эмоции, ничего не сделав, поскольку нейросети мозга не различают причину активации синапсов. При введении наркотиков мгновенно происходит обучение коры больших полушарий, что приводит к демотивации, то есть к потере мотивации "жить в реальном мире". Это очень опасно, как и повреждение синапсов нейронов, которое зачастую носит необратимый характер.

Чтобы сделать более выраженным подкрепляющее действие сигналов, усиливающих обучение коры больших полушарий, эволюция создала отдельный центр - **прилежащее ядро прозрачной перегородки**. У высших позвоночных оно становится коллектором положительных эмоциональных сигналов (информация о получении положительного подкрепления). Такие сигналы играют важную роль в запоминании (укреплении) поведенческих программ, позволяют формировать новые навыки в более интенсивном режиме. Прилежащее ядро прозрачной перегородки находится в передней нижней части полосатого тела и активируется в ситуациях любого успешного поведения человека. Положительные и отрицательные эмоции вытекают из результатов деятельности человека, кроме того, в ситуации, когда успешный исход становится все более вероятным или менее вероятным.

Лекция 26. Безусловное и условное торможение, темпераменты

Безусловное торможение

Тема данной лекции безусловное и условное торможение, а также темпераменты или, как писал И.П. Павлов - типы высшей нервной деятельности. Две предыдущие

лекции были посвящены принципам, по которым мозг запоминает новую информацию, а также центрам потребностей и эмоций, формирующим в случае успешного поведения и удовлетворения потребности фон для образования условных рефлексов и новых каналов, проводящих информацию в коре больших полушарий мозга. Сфера обучения подразумевает, что синапсы - контакты между клетками начинают работать все эффективнее. Первые системные исследования в данной области более 100 лет назад осуществил **И.П. Павлов**, на их основе ученый сформулировал ключевые правила (условия) ассоциативного обучения (формирование условных рефлексов):

1. **Чем значимее подкрепление, тем быстрее идет обучение** - эмоциональный фон является самым существенным условием: достижение положительного подкрепления, избегание отрицательного;
2. **Повторное сочетание исходно незначимого стимула и положительного подкрепления** - информацию необходимо повторно "загружать" в кратковременную память для её перезаписи в долговременную ("повторение - мать учения");
3. **Отсутствие сильных отвлекающих факторов** - мешающих деятельности и запоминанию информации; должна присутствовать "явная доминанта";
4. **Мозг должен находиться в хорошем функциональном состоянии** - не быть слишком сытым или голодным, возбужденным или сонным и т.д.

Ранее были рассмотрены способы повышения эффективности процесса обучения, но бывают ситуации, когда информацию не стоит удерживать, поскольку это может привести к отрицательным эмоциональным переживаниям (оборонительное поведение). Значимой проблемой являются ситуации, когда мозг не записывает информацию, плохо стирает или не хранит её. В ходе экспериментов с животными И.П. Павлов заметил, что условные рефлексы не только возникают при определенных условиях, но и исчезают или тормозятся, кроме того, случается, что обучение идет неэффективно. Ученый проанализировал перечисленные ситуации, являющиеся не менее важной составляющей мозга и психической деятельности человека, чем само обучение.

- **позитивное обучение** - процессы, в ходе которых в результате появления новых контактов и укрепления синапсов возникают новые каналы информации;
- **негативное обучение** - потеря, удаление или не осуществленная запись информации; при определенных условиях кора больших полушарий может тормозить каналы передачи информации, то есть мозг умеет активно затормаживать неэффективные программы, которые не привели к успеху.

Анализируя процессы торможения условных рефлексов, И.П. Павлов определил, что их логика схожа с логикой процессов обучения. Ученый выделил приобретенные рефлексы и противопоставил им врожденные программы, поэтому тормозные процессы были разделены:

- **два типа безусловного торможения** (врожденно обусловленное) - запредельное и внешнее;
- **четыре типа условного торможения** (негативное обучение): угасательное, условный тормоз, дифференцировочное и запаздывательное.

В ходе лекции тормозные процессы будут последовательно рассмотрены в контексте поведения экспериментальных животных и человека. И.П. Павлов отмечал, что появление в ходе позитивного обучения новых каналов для передачи информации - только начало. После формирования навыка необходимо понять, в каких условиях его стоит запускать, в каких - не стоит. Часто то, что человек умеет делать, нет необходимости демонстрировать здесь и сейчас. Например, когда ребенок учится говорить, его активно поощряют, но когда он приходит в школу, то выясняется, что на уроках разговаривать не нужно, потому что важно слушать учителя. Следовательно, необходимо применить торможение и беседовать там, где это уместно. И.П. Павлов писал, что позитивное обучение в ходе формирования условного рефлекса можно сравнить с работой скульптора на этапе грубой обработки статуи, но по ходу именно негативного обучения человек тонко адаптирует свои поведенческие навыки под факторы и условия внешней среды, шлифуя статую. По-настоящему адекватное поведение подразумевает умение в разных ситуациях вовремя запускать некие программы и вовремя сдерживать (тормозить) их. Это называет воспитанием, чем воспитаннее человек, тем больше у него вариантов негативного торможения. Условное торможение зачастую представляет для нервной системы более сложную задачу, чем собственно выработка условного рефлекса.

Запредельное торможение

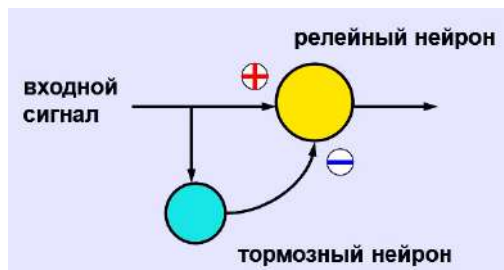


Рис. 26.1. Механизм работы тормозного нейрона

В ситуации запредельного торможения **"мозг выходит за пределы своей работоспособности"**, то есть происходит развитие утомления (накопление отходов обмена веществ, истощение запасов энергии) или включение активных тормозных процессов (возвратное торможение), при которых включаются защитные тормозные нейроны, которые предохраняют нейросеть от затрат ресурсов и последующих негативных изменений. Пример работы такого нейрона показан на рис. 26.1.: основная нервная клетка - релейный или проводящий сигнал нейрон, к аксонам подобных нейронов во многих нейросетях мозга человека присоединяются небольшие тормозные интернейроны (вставочные), которые при сигналах не слишком большой силы активируются слабо и не генерируют импульс, однако при сверхсильной и долгой

работе релейной клетки - включаются и ограничивают её возбуждение. При этом человек ощущает, что мозг стал испытывать защитное подторможенное состояние, потому что слишком перенапрягся.

Утомление может возникнуть в результате слишком длинного и интенсивного сенсорного сигнала (громкая музыка, скучная лекция), нехватки кислорода или питательных веществ, недостаток сна, легко утомляются незрелый детский или стареющий мозг, возможен эффект "переполнения" гиппокампа, объем которого ограничен, более тонким моментом является усталость тормозных нейронов, которая наступает у них быстрее, чем у активационных. Запредельное торможение на какой-то фазе может выглядеть не как торможение, а как резкое нарушение баланса возбуждения и торможения со всплеском возбуждения. Это можно наблюдать в поведении маленьких детей: сначала годовалый ребенок в гостях играет, но со временем устает, при этом он не засыпает, а начинает капризничать и плакать, потому что его тормозные клетки уже утомились, а возбуждающие активно работают. После взрыва плача ребенок все же засыпает, поскольку "утомляются" и возбуждающие нейроны. Лучшим способом помочь мозгу являются отдых, еда или смена вида деятельности. И.П. Павлов отмечал, что **запредельное торможение имеет защитный (охранительный) характер** и спасает нейроны от повреждения. Различные нервные системы утомляются с разной скоростью. Ученый квалифицировал быстро теряющий работоспособность мозг как слабый тип нервной системы. Сильный тип позволяет долго противостоять запредельному торможению.

Внешнее торможение

Внешнее торможение является **отвлечением нервной системы** по ходу реализации условного рефлекса (целенаправленной деятельности). Если в тот момент, когда экспериментальное животное реагирует на включение лампочки выделением слюны и ждет появления миски с едой, раздается резкий звонок, который оно раньше не слышало (фактор новизны), то у собаки возникает ориентировочный рефлекс (средний мозг детектирует новизну). Появившееся исследовательское поведение мешает пищевому (перестает выделяться слюна). Таким образом, разные потребности конкурируют в мозге - в каждый момент времени поведением управляет наиболее актуальная из них. Остальным приходится отойти на второй план, поскольку происходит перераспределение вычислительных ресурсов и изменение поведения. Если внешнего торможения слишком много или оно появляется слишком часто, это мешает процессам обучения, соответственно, внешнее торможение является частным случаем проявления принципа доминанты. "**Доминанта**" - важный термин в физиологии мозга, которым обозначают наиболее актуальную и сильную в данный момент времени потребность, которая ведет за собой поведенческие реакции.

Отвлечение (непроизвольное внимание) - негативное событие, которое И.П. Павлов отнес к безусловному торможению. Процессы произвольного и непроизвольного внимания конкурируют, местом конкуренции является таламус. В настоящее время исследователи говорят об этом с точки зрения многозадачности, то есть рассматривают, насколько для человека допустимо в каждый момент времени

заниматься множеством дел? Ответ: если это простые и хорошо известные задачи, то многозадачность не будет проблематичной, в случае сложных задач любое отвлечение мешает основной деятельности. В ходе исследования было проанализировано, насколько успешно ученики сдают тест при наличии у них выключенного мобильного телефона. Результаты показали, что на 15% хуже, чем в случае отсутствия телефона. Когда конфигурация доминирования потребностей в мозге недостаточно хорошо установлена, отвлечение становится ещё более значимой проблемой, приводящей к тому, что человеку тяжело сохранять произвольное внимание. У маленьких детей это выливается в синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), при котором таламус слишком легко запускает процессы внешнего торможения. В этом случае первоклассника от учебы может отвлечь любое событие, даже пролетевшая за окном ворона. Вероятно, что через несколько лет ситуация может измениться, поскольку созревают тормозные нейроны. От врожденно заданных алгоритмов запредельного и внешнего торможения перейдем к ситуации условного торможения.

Условное торможение

Наряду с центрами положительных эмоций, говорящих об успешности поведения, в задней части гипоталамуса, в островковой коре и в миндалине присутствуют центры отрицательных эмоций, открытые в середине XX века испанским нейрофизиологом **Хосе Дельгадо**, вживившем электроды в задний гипоталамус быка. Ситуации негативного обучения И.П. Павлов назвал "условное (внутреннее) торможение" и выделил 4 типа:

1. **Угасательное** - описывает процесс угашения реакции на условный стимул в ситуации отсутствия подкрепления.

Если в эксперименте И.П. Павлова после того, как у собаки был сформирован условный рефлекс, при условном стимуле (зажигающаяся лампочка) не будет выдаваться порция пищи, то на графике слюноотделения (рис. 24.1.) можно будет увидеть такую же S-образную кривую, но уже негативного обучения (зеркальную). Кривая показывает, что у собаки ещё несколько раз происходит достаточное выделение слюны, но постепенно оно начинает снижаться и уходит в ноль, поскольку происходит выключение условной связи (нового канала для передачи информации) вследствие её неэффективности. Возникает важный вопрос - произошло разрушение канала для передачи информации или его блокировка (торможение)? В ситуации разрушения канал придется формировать заново, давая собаке после стимула пищу. В ситуации блокировки его необходимо активировать, для чего на 13 раунде эксперимента нужно покормить собаку, в результате этой процедуры у неё опять выделится слюна. Это означает, что новый канал для передачи информации был не разрушен, то есть модифицированное количество синапсов с большим количеством глутаматных рецепторов сохранилось, но канал был заблокирован.

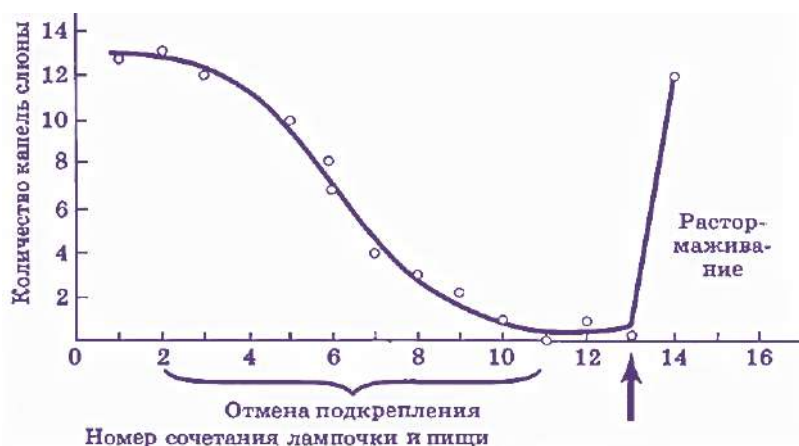


Рис. 26.2. График угашения условного рефлекса слюноотделения при отмене подкрепления и возникновения реакции на условный стимул после однократного кормления (отмечено стрелкой)

Ученые предполагают, что по ходу обучения над основным каналом надстраиваются параллельные каналы с тормозными интернейронами, с ними связаны синапсы, использующие такие глутаматные рецепторы, которые быстро включаются и выключаются. Сфера негативного обучения на данный момент исследована гораздо меньше, чем сфера положительного, например, исследователи не знают, как конкретно активируются тормозные нейроны, которые при растормаживании мгновенно исчезают. При повторном неподкреплении торможение условного рефлекса у собаки происходит все быстрее, при этом он все же самовосстанавливается после периода отдыха, но с каждым разом все хуже. В случае получения положительного подкрепления динамика угасательного торможения является типичной - мозг животного четко фиксируется на факте отмены пищи и все хуже реализует реакцию слюновыделения.

Рассмотрим случай отмены негативного подкрепления: когда ток подавался на пол экспериментальной камеры, где находилась крыса, у неё была возможность запрыгнуть на специальную полку и избежать неприятного покалывания в лапках; когда экспериментатор не подает ток, но оставляет условный стимул (лампочка) - крыса продолжает запрыгивать на полку. В этом смысле жизнь устроена "коварно": люди легко замечают потерю событий, вызывающих положительные эмоции, и убирают соответствующие поведенческие программы из своего арсенала, но программы, связанные с избеганием опасности или неприятности (оборонительные рефлексы) сохраняются очень прочно. Поэтому с увеличением возраста человека в его мозге накапливается все больше программ избегания, психологи называют данное явление **"возрастное накопление тревожности"**. Эту физиологическую ловушку мозга можно обойти с помощью активности, оптимизма, творчества и использованием новых поведенческих моделей. Процесс забывания возникает при длительном неиспользовании какого-то навыка (ассоциации), когда слабеет траектория сигнала, синапсы хуже проводят сигнал и снижается количество рецепторов. Этот процесс может занимать месяцы, годы и даже десятилетия. Когда человек хорошо что-то

выучил, то оно, скорее всего, не исчезнет окончательно. Для того, чтобы поведение оставалось активным и выбиралось с большой вероятностью, необходимо периодически использовать именно этот блок знаний. Отметим, что забывание - важный процесс, позволяющий убрать неактуальную информацию.

2. **Условный тормоз** - стимул, указывающий мозгу, что подкрепления после известного мозгу раздражителя не будет (воспитание, запреты).

В результате эксперимента И.П. Павлова у собаки уже сформирован рефлекс - в ответ на звонок с пищевым подкреплением у происходит слюноотделение. Далее перед подачей звонка экспериментатор включает лампочку, сочетание лампочка + звонок - не подкрепляется. В ходе следующего этапа эксперимента случайным образом производится чередование ситуаций: звонок → пища/лампочка и звонок → нет пищи. Мозг собаки делает вывод, что лампочка - это знак неудачи, при котором подкрепления не будет. На поведенческом уровне нервная система животного вполне способна различать эти ситуации, и через некоторое количество сочетаний (40 - 50 раз) реакция собаки на звонок сохраняется, при включении лампочки слюноотделения не происходит. И.П. Павлов назвал лампочку "**условным тормозом**" - особым стимулом, который показывает, что подкрепления после известного мозгу условного раздражителя не будет, что поведение будет неэффективным. Сигнал позволяет убрать неэффективную в конкретной ситуации поведенческую программу, но сохранить её в других. Когда учитель присутствует в классе, то ученикам разговаривать не следует, когда отсутствует - можно обсудить новости. В данном случае образ учителя выступает в роли условного тормоза. Другим примером является красный свет светофора. Установление условного тормоза - основная цель воспитания. Он вызывает мощный поток останавливающих поведение сигналов и с первого раза способен тормозить другие условные рефлексы (в случае собаки - команда "фу"). Педагоги рекомендуют родителям выбрать специальное слово для использования в потенциально опасных ситуациях, когда необходимо, чтобы ребенок замер.

- **Дифференцировочное торможение:** различение сенсорно похожих, но противоположных по биологической значимости стимулов, один из которых подкрепляется, а другой - не подкрепляется.

И.П. Павлов открыл этот вид торможения, когда стал работать с метрономами - приборами, работающими автономно. В экспериментах ученого метроном устанавливался вне поля зрения экспериментального животного, которое только слышало ритмичный тикающий звук, который он издает. Если прибор был настроен на 60 ударов в минуту и дать собаке еду, то у нее сформируется условный рефлекс.

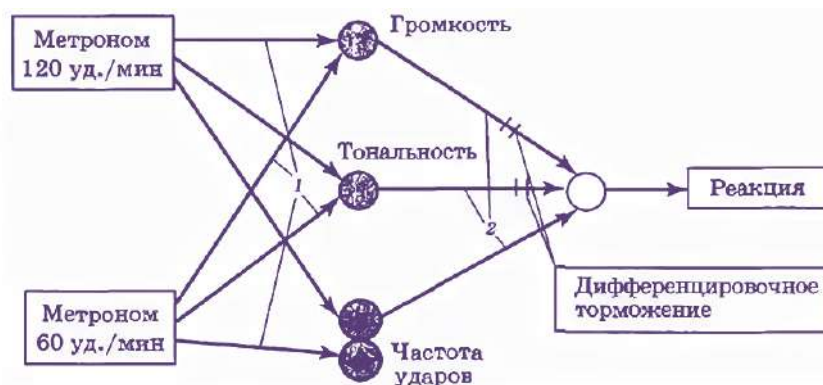


Рис. 26.3. Процесс дифференцировочного торможения: 1 - связи внутри сенсорных систем; 2 - появившиеся при обучении связи; темные круги - нейроны, осуществляющие анализ сенсорных сигналов

Если к условиям эксперимента добавить второй метроном, настроенный на 120 ударов в минуту, то реакция у животного возникнет с первого раза, поскольку совпадают другие условия (помещение и параметры звука, кроме интервала). Далее при чередовании метрономов и отсутствии подкрепления при работе второго прибора (120 ударов) исследователи пытаются обучить мозг собаки различать эти ситуации. Её мозг решает эту задачу (различает удары разных метрономов), при этом на него животного влияет целый комплекс сенсорных стимулов, потому что для звукового сигнала характерны: определенная громкость, частотные характеристики, тон, интервал между щелчками метронома. Поэтому внутри слуховой коры мозга собаки активируется несколько нейросетей, которые одновременно устанавливают связь с центром слюноотделения, находящимся в островковой коре. Фазы генерализации и специализации рефлекса: при использовании такого сложного сигнала возникает не одна условная связь, а несколько условных связей с участием разных сенсорных признаков стимула. Мозг не знает какой из них является ключевым, поэтому учитывает все параметры стимула.

При включении второго метронома (120 ударов) его громкость и тон соответствуют первому, поэтому реакция у собаки появляется (задействуются каналы, сформированные при выработке условного рефлекса), но при отсутствии подкрепления тормозятся условные связи, которые оказались неэффективными (громкость и тональность). Всегда срабатывает только тот канал, который связан с 60 ударами в мин., поскольку он приводит к правильному прогнозу (пища). В результате сочетания сенсорно похожих, но разных по физиологическому смыслу стимулов мозг животного становится способен произвести их различение - дифференцировку, выделив в ходе эксперимента интервал между щелчками метронома. При дифференцировочном торможении выделяется некая ключевая характеристика, то есть мозг начинает более детально анализировать ситуацию сенсорного воздействия. В основном данный вид торможения является задачей высших сенсорных центров, находящихся в передней части зрительной области коры, задней части височной коры.

Чем ближе сенсорные характеристики стимулов, тем сложнее их различение, при этом многое зависит от темперамента конкретного экспериментального животного. И.П. Павлов отмечал, что в случае очень похожих стимулов собака-сангвиник реагирует на все, собака-флегматик отказывается от деятельности, собака-меланхолик погружается в тревогу и депрессию, собака-холерик начинает лаять и кусаться. В ситуациях не только выработки условного рефлекса, но и его дальнейшей модификации, начинают проявляться индивидуальные различия нервных систем - типы высшей нервной деятельности, то есть темпераменты, которые для описания индивидуальных свойств психической активности были определены ещё в античные времена. Эксперименты с условным торможением позволяют определить не только сильную и слабую нервную системы (насколько легко развивается условное торможение), но и уравновешенную и неуравновешенную нервную системы. Кроме того, они позволили И.П. Павлову выделить третье свойство нервной системы:

- **уравновешенная нервная система** - легко учится и довольно легко формирует условное торможение;
- **неуравновешенная** - тяжело формирует условное торможение, поскольку процессы возбуждения преобладают;
- **подвижная** - высокая скорость смены типов деятельности, типов подкрепления, условного торможения на обычный условный рефлекс;
- **малоподвижная** - низкая скорость смены типов деятельности, типов подкрепления, условного торможения на обычный условный рефлекс.

Вернемся к эксперименту с крысой, которая запрыгивает на полку в ответ на включение лампочки, поскольку формирование большого количества каналов для передачи информации присутствует и в этом случае. На первом этапе выработки условного рефлекса у экспериментального животного возникает "обстановочный" рефлекс на все разнообразие сигналов, в первую очередь - на помещение его в экспериментальную камеру. Крыса помнит об ударе током и сразу прыгает на полку, не дожидаясь включения лампочки. Таким образом, у крысы формируются новые каналы информации не только с центром, реагирующим на стимул (лампочка), но и с центрами, реагирующими на всю обстановку эксперимента, то есть появляется условный рефлекс, но не тот, который необходим экспериментатору. Для того, чтобы у крысы осталась реакция только на лампочку, её необходимо снимать с полки для появления угасательного торможения "обстановочного" рефлекса. **фаза**

- **генерализации условного рефлекса** - формирование большого количества каналов для передачи информации;
- **специализация условного рефлекса** - специализированные каналы, четко определяющие стимул, на который необходимо реагировать.

Когда идет процесс обучения, мозг создает избыточное количество каналов для передачи информации, особенно если оно проходит на фоне стресса. По принципу "обстановочных рефлексов" складываются суеверия, поэтому важно фильтровать собранную информацию, чтобы остались действительно значимые стимулы.

Дифференцировочное торможение - тонкая работа сенсорных систем. Когда мама отводит ребенка в детский сад, до которого идет трамвай N10, то сначала он учится отличать трамвай от автобуса, но оказывается, что для поездки годится не любой трамвай, а только тот, который обладает определенным номером. Соответственно, из всего множества сенсорных стимулов ребенку в результате дифференцировки необходимо выделить значимый. На первый взгляд он может казаться незначительным, что является серьезной задачей для сенсорных систем.

4. Запаздывательное торможение - проявляется при наличии паузы между условным стимулом и подкреплением.

В ходе эксперимента соблюдаются стандартные условия: звонок, через 15 сек. еда, у собаки вырабатывается условный рефлекс. Далее после звонка делается пауза и только после неё дается еда. На следующем этапе эксперимента продолжительность паузы увеличивается, что приводит к более позднему времени начала слюноотделения у экспериментального животного, то есть формируется задержка реакции. Ученые и во времена И.П. Павлова, и в настоящее время ещё не понимают алгоритм работы данных "биологических часов", вероятно наличие замкнутых контуров нервных клеток, способных проводить сигнал с определенным ритмом и отсчитывать время. В случае мозга собаки паузу между звонком и пищей можно увеличивать до 2 - 3 мин., если проходит большее количество времени, то животное считает события (звонок и пищу) независимыми, что приводит к угашению реакции на звонок. В интервале, когда собака ждет еду, у неё возникает заторможенное состояние, вплоть до засыпания и пробуждения за 5 сек. до появления пищи. Похожее состояние торможения можно увидеть у человека, ожидающего поезда в метро, который придет в ближайшее время, или засыпающего в вагоне на 20 минут поездки до своей станции. У кошек оно может длиться 2 - 3 часа, так как запаздывательное торможение для них является естественным, поскольку данный вид охотится из засады, что предполагает долгое и терпеливое ожидание. Совы, собаки и волки - догоняющие охотники, поэтому для них длительное ожидание является проблемой.

Типы высшей нервной деятельности

На основе работ с обычными условными рефлексам, с условным торможением И.П. Павлов выделил **свойства нервной системы**:

- **сила** = работоспособность;
- **уравновешенность** = баланс положительного и негативного обучения;
- **подвижность** = способность к быстрой смене видов деятельности, в том числе обычных условных рефлексов и условного торможения.

Каждое лабораторное животное, участвующее в экспериментах И.П. Павлова, было проклассифицировано по перечисленным параметрам. Первая дихотомия (разветвление) - сильный и слабый тип. Слабый быстро утомляется, поэтому он дальнейшей классификации не подвергался, то есть второй критерий применялся только к сильному типу, среди которого выделялся сильный уравновешенный и

сильный неуравновешенный. Неуравновешенный - возбудимый тип (по И.П. Павлову - безудержный) - хорошо учится, но плохо держит условное торможение (нехватка терпения). Третий критерий применялся только к сильному уравновешенному типу, дальнейшее деление происходит на сильных уравновешенных подвижных (более любопытные и легко меняющие тип деятельности) и уравновешенных малоподвижных (медленно меняющих тип деятельности).

Когда И.П. Павлов получил разделение на четыре типа высшей нервной деятельности, то отметил, что оно соответствует античной классификации, предложенной древнегреческим врачом **Гиппократом** в IV веке до нашей эры. Гиппократ разделял людей на сангвиников, флегматиков, холериков и меланхоликов, исходя из фантастической теории о том, что в теле человека текут четыре основные жидкости: сангва, флегма, жёлтая желчь и чёрная желчь:

- слабый тип - сопоставлен с меланхоликами ("поставщики психиатрических клиник" по И.П. Павлову);
- сильный неуравновешенный – с холериками (агрессивный);
- сильный уравновешенный и подвижный - с сангвиниками (любопытный);
- сильный уравновешенный, но малоподвижный - с флегматиками (стабильность).



Рис. 26.4. Классификация видов высшей нервной деятельности И.П. Павлова

Психологические классификации темперамента, появившиеся в течение XX века, совпали с классификацией И.П. Павлова. Немецко-британский психолог **Ганс Айзенк** в 1947 году предложил двумерную шкалу, где имелось две оси:

- **экстравертная/интровертная** - человек, ориентированный внутрь себя/человек, ориентированный на внешнюю среду;
- **эмоциональная стабильность/эмоциональная нестабильность (нейротизм)** - шкала отражает эмоциональность, связанную с оценкой опасности окружающей среды: при высоком нейротизме легко возникают реакции тревожности и агрессии, при исходной позитивности для человека характерна эмоциональная стабильность.



Рис. 26.5. Модель Г. Айзенка

Четыре зоны плоскости соответствуют классификациям Гиппократов и И.П. Павлова: опасливые и подозрительно относящиеся к жизни интроверты - меланхолики, опасливые и подозрительно относящиеся к жизни интроверты - холерики, люди, воспринимающие мир как прекрасный, могут быть интровертами - флегматики или экстравертами - сангвиники. У конкретного человека наблюдаются акценты на тот или иной тип поведения, что проявляется, когда он занимается профессиональной деятельностью или общается. Лидеры зачастую обладают заметным компонентом холерического темперамента, творцы часто являются интровертами с меланхолическим компонентом, для реализации "коротких" процессов больше подходят сангвиники, длительных - флегматики. При профессиональной ориентации, выборе профессии и рабочего коллектива данные вопросы полезно учитывать. В настоящее время ими занимаются разделы психологической науки.

Датский художник-карикатурист **Херлуф Бидstrup** иллюстрировал темпераменты людей в очень ярких формах. В реальной жизни чистые темпераменты встречаются редко, они очень утомительны для окружающих, даже если это сангвиник (оптимизм). В основном с ними можно познакомиться в книгах и мультипликационных фильмах. Когда автор создает образ персонажа, то для него заманчиво прописать яркий чистый темперамент, который будет понятен зрителю, поскольку в таком герое нет чеховской сложности. Например, герои книги Р. Милна являются смесью двух темпераментов: Винни-Пух - флегматик и сангвиник, Пятачок - маленькое и пугливое существо, совершающее подвиг, то есть смесь сангвиника и меланхолика, Иа-Иа - меланхолик и флегматик.

Другой подход к темпераментам и типам поведения человека делает акцент на его биологические потребности: насколько для конкретного человека значимо пассивно-оборонительное, активно-оборонительное или исследовательское поведение. Темперамент рассматривается с точки зрения конкретных нейронных структур, гормонов и нейромедиаторов. Опора на биологические потребности позволяет дать очень детальную классификацию, современные тесты способны определять врожденную структуру личности уже в возрасте 2 - 3 лет.

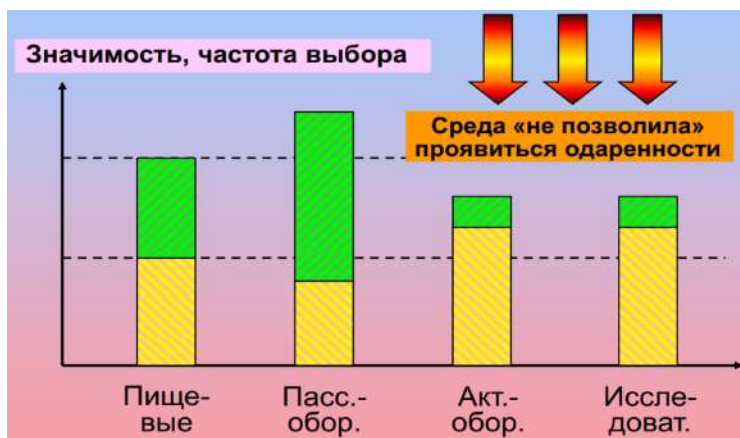


Рис. 26.6. Параметры личности в зависимости от врожденных (желтый сектор) и приобретенных (зеленый сектор) биологических программ

На графике из множества биологических потребностей отмечено четыре программы: пищевое, исследовательское, пассивно-оборонительное и активно-оборонительное поведение. Для того, чтобы поместить на данную систему координат конкретные параметры личности человека, возьмем абстрактного мальчика в возрасте 3 лет и проанализируем с точки зрения выраженности у него биологических потребностей, то есть насколько мозг ребенка ориентирован на еду, реакции страха, агрессию и любопытство. По вертикали находятся два пунктира, которые показывают для некой популяции: нижний - средний врожденный уровень (темперамент); верхний - средний приобретенный уровень (характер, возникший в результате обучения). График показывает, что в три года программа пищевого поведения находится на среднем уровне (ребенок хорошо питается), остальные три программы у мальчика отклоняются от среднего значения, следовательно, про него можно сказать, что он любопытен и бесстрашен - готов отстаивать свои права, бороться с препятствиями. Из подобного анализ исходной структуры личности ребенка возможно сделать вывод, что из него вырастет исследователь или лидер, поскольку что он ориентирован на новизну и готов вкладывать много энергии в реализацию своих идей.

Через 30 лет мальчик вырос, получил образование, профессию, завел семью, и над каждой из врожденно заданной потребностью выросло то, что И.П. Павлов назвал "условные рефлексы", то есть приобретенные программы или приобретенные навыки (зеленый сектор), которые также можно назвать характером человека. У выросшего мальчика в области питания все осталось в пределах нормы, но в других сферах жизнь не позволила ему приобрести многие из программ поведения, включая

исследовательские и активно-оборонительные. Отметим, что уворачиваться и уходить от опасности он научился хорошо (пассивно-оборонительное поведение). Таким образом, рассмотренный человек в 33 года не добирает положительных эмоций, то есть он не очень счастлив. Люди устроены таким образом, что основной поток положительных эмоций получают от тех программ, которые ярко заданы врожденно, благодаря родительским генам. Выросший мальчик именно их не реализовал, поэтому у него отмечается дисбаланс позитивных и негативных эмоций (депрессия), который приводит его к психотерапевту. Внимательный доктор проведет анализ жизни пациента и попытается помочь ему, предложив сменить профессию или эксплуатировать то, к чему предрасположен его мозг (преодоление препятствий, экстремальный спорт, исследования). Каждому человеку необходимо стремиться почувствовать, что для него является главным и заниматься тем, к чему предрасположен его мозг. Отметим, что психологи и социологи рекомендуют человеку 2 - 3 раза в жизни менять профессию, так как это поможет уровню новизны оставаться высоким, что будет создавать позитивный эмоциональный фон.

Одаренность

Врожденная составляющая (темперамент) является важнейшей частью личности человека, частично её можно подкорректировать за счет самонаблюдения, самоконтроля. В одаренность (от слова "дар") врожденно заданные свойства психики и организма в целом вносят существенный вклад. Они обусловлены характеристиками нервной и эндокринной систем, особенностями обмена веществ:

- **простые характеристики:** скорость реакции, утомляемость мышц, особенности работы сенсорных систем;
- **сложные интегральные характеристики:** особенности памяти и мышления, интеллект, темперамент; за каждый параметр отвечает до 500 генов.

В той или степени свойства человека связаны с генами, гормонами и индивидуальной историей. В настоящее время этими вопросами занимается активно развивающаяся наука **психогенетика**. Наиболее активно для оценки используется уровень интеллекта человека, который измеряется с помощью **коэффициента IQ**:

- выше 130 баллов - одаренность и модификационная изменчивость в пределах 15 - 20 баллов;
- 100 - 110 баллов – средний уровень;
- ниже 80 баллов - "затруднения".

Анализ дизиготных и монозиготных близнецов (уровень генетического сходства 50% и 100% соответственно) показывает, что наследуемость (H, степень зависимости признака от генотипа) для IQ составляет около 60%; 25 - 30% дает семейная среда, 10 - 15% - социальная (обучение, воспитание). Сходные результаты наблюдаются и при анализе отдельных компонентов интеллекта.

В развитии одаренности ребенка большую роль играют внимательные родители и педагоги, которые могут вовремя заметить, какой вид деятельности ему интересен.

Педагогическая психология отмечает способствующие и препятствующие развитию одаренности факторы:

- **способствуют:** ориентированность на новизну (любопытство), экстраверсия, компоненты иерархического поведения - стремление лидировать, ориентированность на успех в какой-либо сфере (одобрение родителя, педагога, лидера);
- **препятствуют:** недостаточная уверенность в себе и высокая тревожность;

Когда к способствующим факторам добавляется трудолюбие, то человек многого способен достичь. Выраженность каждой потребности (как и в случае с IQ) - это результат взаимодействия генов и окружающей среды. Если человек не обладает голосом, то он сможет при должном старании достичь высокого среднего уровня как певец, но не вершин мастерства. В целом в основе одаренности лежит сумма удачных вариантов (аллелей) генов, это явление объясняет **теория эмергенеза**. Выпадение "хорошей" суммы во многом случайно (по аналогии с комбинацией игральных карт) и обеспечивается десятками генов, что обычно приводит к снижению (отсутствию) одаренности уже в следующем поколении либо у сиблингов. Не менее важна окружающая среда, позволяющая развить генетически заданные способности. От дополнительных факторов зависит очень многое, в том числе от тех, которые могут поменять жизненный путь человека - в физиологии это называется импринтинг, в психологии - имперессинг. Примером может послужить история **С. Ковалевской** - женщины-математика и выдающегося профессора Московского университета. В детстве С. Ковалевская не очень интересовалась математикой, пока в возрасте 10 лет её не поселили на даче в комнату, все стены которой были обклеены страницами из учебников по математике. Формулы и графики так понравились девочке, что она заинтересовалась наукой. Человеку необходимо прислушиваться к своим интересам, приносящим положительные эмоции.

Лекция 27. Сон и бодрствование

Необходимые параметры сна

Тема данной лекции - центры сна и бодрствования головного мозга человека, особенности их работы и влияние на деятельность организма. Последние лекции раздела "Анатомия и физиология человека" курса лекций "100 часов школьной биологии" посвящены функциям центральной нервной системы, содержащей несколько базовых блоков: ЦНС = головной мозг + спинной мозг

Основные блоки ЦНС:

1. высшие центры теменной и лобной коры, "главный процессор" мозга человека, принимающий решения, и обеспечивающий **мышление, волю и сознание**;
2. **сенсорные центры**;
3. **потребности и эмоции**;
4. **обучение и память**;
5. **двигательные и вегетативные центры**;
6. **сон и бодрствование**.

Высшим центрам для выбора и запуска эффективных поведенческих программ необходимо несколько входных информационных потоков. Три основных потока: сенсорные системы, центры потребностей и эмоций, обучения и памяти. Они отражают происходящее в окружающем мире, определяют, потребности человека и что он знает о путях их реализации. Запуск поведенческой программы приводит к активации двигательных и вегетативных центров. За баланс сна и бодрствования отвечает совокупность структур мозга человека, которая задает тонус для остальных базовых блоков. Если в работе центров сна и бодрствования наблюдаются проблемы, то нарушается деятельность всего организма.

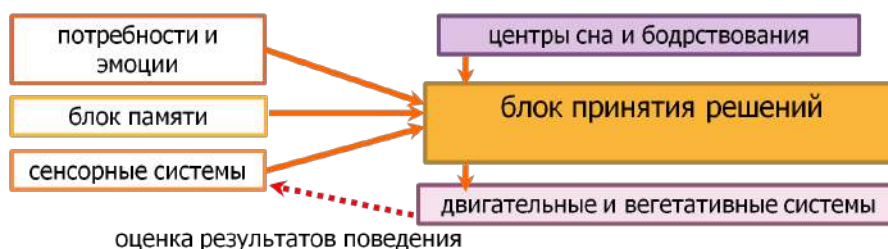


Рис. 27.1. Схема взаимодействия базовых блоков мозга

С состоянием бодрствования разобраться не так сложно, поскольку человеку можно задать вопрос о его самочувствии или оценить его поведенческие реакции. 25 - 30% времени жизни люди находятся в состоянии сна, и вопрос о том, чем в это время занят организм и мозг человека, давно интересовал исследователей. Сон - состояние неоднородное, в нем можно выделить две четкие фазы:

- **сон для отдыха**;

- **сон для переработки накопленной информации** (парадоксальный сон, с которым в значительной степени связаны сновидения).

Эту особенность сна хорошо понимали уже в Древней Греции, поэтому в греческом пантеоне богов сосуществовало два бога сна: **Гипнос** - навевающий сон-отдых (благосклонен к людям) и его сын **Морфей** - отвечает за сновидения, неоднозначное божество, которое может навевать прогностические сны, помогающие человеку выстроить поведение, или пугающие и сложные (кошмары).

Ответ на вопрос "сколько человеку необходимо спать?" является результатом совместного размышления большого количества ученых, занимающихся сном (сомнологи). Американское общество сомнологов (National Sleep Foundation) предложило **рекомендации по длительности сна** для людей разного возраста:

- новорожденные и груднички (0 - 3 месяца): 14 - 17 часов, более 50% от продолжительности суток
- младенцы (4 - 11 месяцев): 12 - 15 часов
- дети ясельного возраста (1 - 2 года): 11 - 14 часов
- дошкольники (3 - 5 лет): 10 - 13 часов
- дети младшего и среднего школьного возраста (6 - 13 лет): 9 - 11 часов
- подростки (14 - 17 лет): 8 - 10 часов
- юноши и девушки (18 - 25 лет): 7 - 9 часов
- взрослые (26 - 64 года): 7 - 9 часов
- пожилые люди (старше 65 лет): 7 - 8 часов

Представленные цифры являются важной точкой отсчета, но сон корректнее считать не в часах и минутах, а в циклах, длительность которых составляет примерно 1,5 часа. Именно за этот период времени сменяются две фазы сна. У многих людей отмечаются проблемы с засыпанием, поэтому рекомендации Российского общества сомнологов касаются гигиены сна:

- **соблюдение режима дня** - позволяет мозгу человека приспособиться и привыкнуть засыпать в одно и то же время (+/- 1 час); для биологических часов мозга крайне важна стабильность;
- **наличие "ритуала" перехода ко сну** - определенная последовательность действий (умывание, чистка зубов, небольшие физические нагрузки, дыхательная гимнастика) позволяет организму человека настроиться на переход ко сну. И.П. Павлов отмечал, что сон способен выступать в качестве условного рефлекса. Если человека мучают мысли, которые не дают заснуть, то рекомендуется их записать ("оторвать" от себя) и заняться монотонной деятельностью, при этом классический "счет овец" - не самый эффективный способ, лучше положить рядом с кроватью учебник иностранного языка для заучивания новых слов.
- **удобная постель** - длительное нахождение в состоянии сна отражается на состоянии позвоночника, сердечно-сосудистой и других системах организма;

важны комфортная температура в спальне, свежий воздух (проветривание), тишина ("белый шум");

- **снижение освещенности и общей сенсорной нагрузки** - биологические часы человека реагируют в первую очередь на засветку окружающей среды; во время утреннего сна свет даже через закрытые веки доходит до сетчатки глаза, что мешает человеку выспаться, поэтому необходимы плотные шторы; плохой идеей является просмотр перед сном новостей в смартфоне, потому что яркий экран мобильного устройства активирует работу мозга и мешает перейти в сонное состояние;
- **ограничение приема пищи** - осознанный прием пищи перед сном, предполагающий некий интервал времени; не рекомендуется употреблять содержащие кофеин продукты (крепкий чай, кофе, шоколад, кока-колу);
- **ограничение дневного сна до 20 - 30 мин** - слишком продолжительный дневной сон отражается на глубине и легкости наступления ночного сна, непродолжительный дневной сон является полезным, потому что за 20 - 30 мин. нейросети мозга подтормаживаются, а шум и избыточное возбуждение, которые накопились за первую половину дня, уходят и не мешают человеку работать.

Отношение организма и мозга ко сну является индивидуальным и описывается понятием "**хронотип**", применяемым наряду с понятиями "генотип" и "фенотип". Названия, которые ранее использовались на уровне психологических описаний ("совы", "жаворонки"), постепенно выливаются в понимание работы центров сна и бодрствования на генетическом уровне. В зависимости от генетической установки одни люди легко просыпаются даже рано утром, другие - просыпаются медленно, по-разному (легко или тяжело) переносят недосып.

Биологические часы

Биологические часы человека были рассмотрены в лекциях N13 - 14 "Эндокринная система" и N20 "Зрительная чувствительность" в процессе знакомства с работой эпифиза и гормона мелатонин. Вторым гормоном, явно реагирующим на суточный ритм, является кортизол (гормон коры надпочечников).

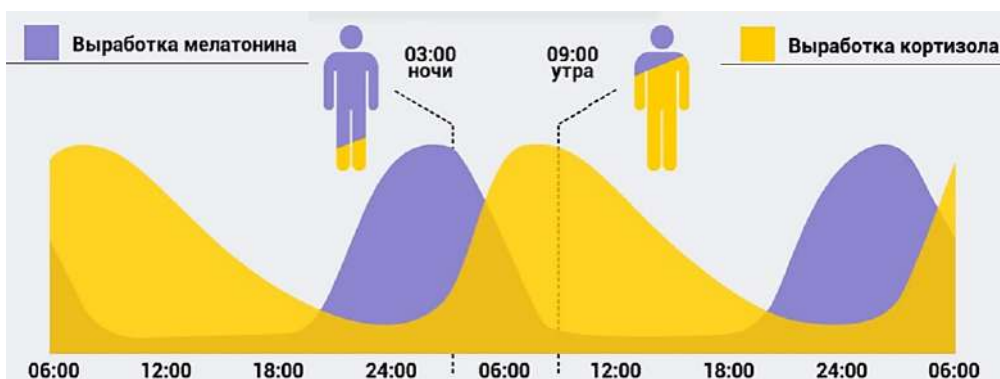


Рис. 27.2. Графики суточных колебаний уровня кортизола и мелатонина

На графике показаны суточные колебания уровня кортизола и мелатонина в ситуации равноденствия (20 сентября или 20 марта), когда солнце всходит в 7 часов утра, закат наступает в 19.00. Привязка к суточным ритмам фатальна для всех обитателей нашей планеты, живущих на её поверхности. Планета Земля вращается вокруг своей оси, совершая полный оборот за 24 часа. День и ночь - суточные, циркадные или циркадианные ритмы. Супрахиазмальные ядра находятся в передней части гипоталамуса и более глубоких стволовых структурах мозга (мост, продолговатый и средний мозг), именно они настраиваются на суточный ритм освещенности и содержат две популяции нервных клеток:

- **активная днем популяция** - передает сигналы к центрам бодрствования на надпочечники, что приводит к изменению количества кортизола;
- **активная ночью** - передает сигналы на управляющие сном центры и на эпифиз, что приводит к изменению выделения мелатонина.

Супрахиазмальные ядра (SCN) - водители ритма, настраивающиеся на освещенность в окружающей среде. После настройки нервные клетки даже в условиях равномерной освещенности долгое время удерживать суточный ритм. В явной форме они проявляют себя тогда, когда человек при перемещении на самолете в другую точку планеты резко меняет часовой пояс. Данное явление называется "джетлаг". В этой ситуации организм длительное время продолжает жить в привычном ритме, пока биологические часы не перевели стрелки. Интересен по своему механизму ритм супрахиазмальных ядер. Дыхательный ритм или ритм работы сердца связаны с мембранными процессами на нервных или мышечных клетках и изменениями проницаемости для различных ионов (прежде всего Na^+), которые приводят к появлению электрических импульсов раз в 1 сек или 5 сек. В супрахиазмальных ядрах ритмы многочасовые (суточные), представить, что это следствие мембранных процессов ученым было довольно сложно, поэтому они предполагали, что их работа обусловлена внутриклеточными биохимическими процессами, возможно, и молекулярно-биологическими, то есть затрагивающими уровень ядерной ДНК.

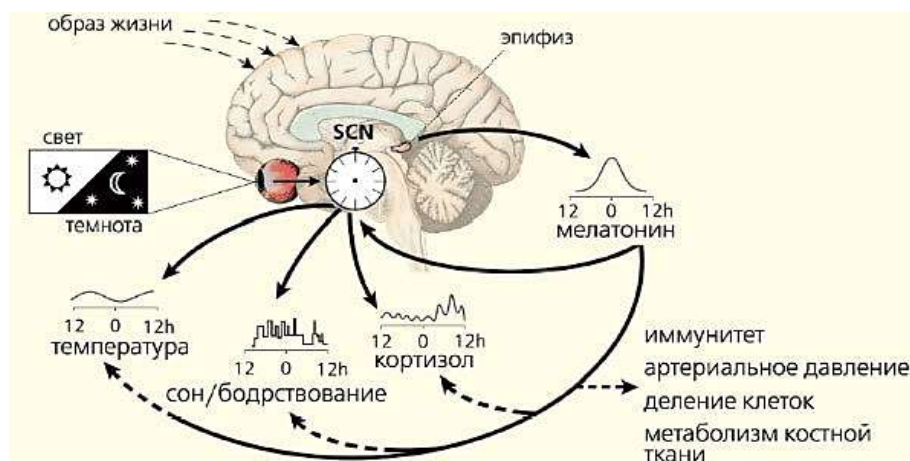


Рис. 27.3. Механизм работы супрахиазмальных ядер (SCN)

Гипотеза подтвердилась - исследователям за описание управляющих циркадианными ритмами молекулярных механизмов в 2018 году была вручена Нобелевская премия по физиологии и медицине. В ходе исследований было показано, что существует отвечающая за данный процесс совокупность генов. Сначала она была обнаружена у мухи дрозофилы, в дальнейшем - у млекопитающих и человека. Гены создают молекулярный цикл, поддерживающий суточный ритм нейронов супрахиазмальных ядер. Активация от супрахиазмальных ядер идет на центры сна и бодрствования, на эндокринную систему, а через нее на весь обмен веществ в организме человека (секреция кортизола, температура тела, цикл сон-бодрствование). Через данный механизм можно дотянуться до любого органа, после чего у него возникнет суточный ритм работы.

В событиях, происходящих в нейронах супрахиазмальных ядер, ключевую роль играют гены *per1*, *per2*, *per3*, вырабатывающие белки, объединяющиеся в комплекс. Высокая концентрация белков обеспечивает активность нейронов супрахиазмальных ядер, в результате они посылают сигнал, например, на центр бодрствования. Для активной работы генов *per 1 - 3* по производству белков, необходимо чтобы к ним присоединился постоянно вырабатывающийся молекулярный комплекс из нескольких белков, включая белок *clock* и *BMAL1*. Особенность работы молекулярного механизма заключается в том, что комплекс белков не только активирует клетку, но и тормозит активность *clock/BMAL1* комплекса, что приводит к падению активации генов *per 1 - 3*. Они перестают действовать на гены, сокращают производство информационной РНК, белков становится всё меньше, что высвобождает *clock/BMAL1* комплекс и вновь включаются гены *per 1 - 3*. Данный цикл занимает 24 часа.

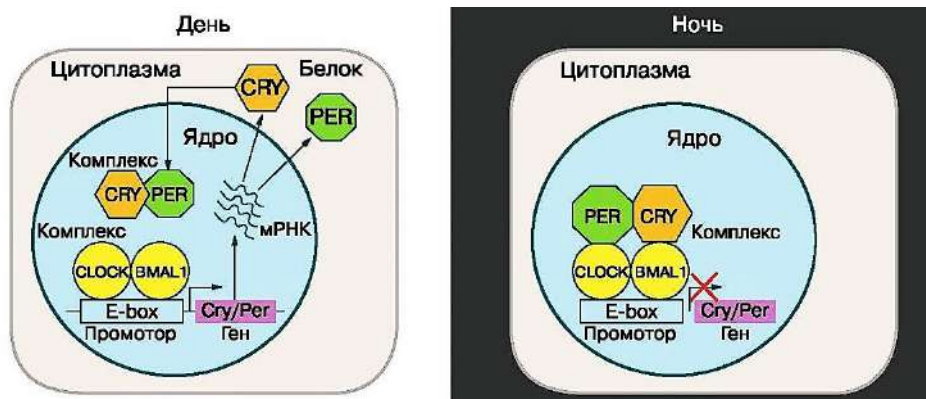


Рис. 27.4. Схема циклической активации генов *per* и *cry* в клетке

Фазы сна

Объективные научные данные, оценивающие активность коры больших полушарий мозга человека, были получены в середине XX века при помощи метода электроэнцефалограммы (ЭЭГ), широко используемого в мировой практике. При регистрации ЭЭГ на поверхности головы в строго определенных точках устанавливаются электроды: расстояния от переносицы до затылка и от одного ушного прохода до другого приняты за 100%, далее прямая разбивается на отрезки по 10 и 20%

и проводится сетчатая система координат, в перекрестьях которой располагаются датчики. Они считывают суммарную электрическую активность миллионов нервных клеток. Сигнал при записи на поверхности головы является очень слабым и измеряется малых величинах (микровольты). Если ЭЭГ демонстрирует волны, похожие на синусоиды, это означает, что большое количество нейронов работает одновременно и одинаково, то есть они, вероятно, ничем не занимаются.

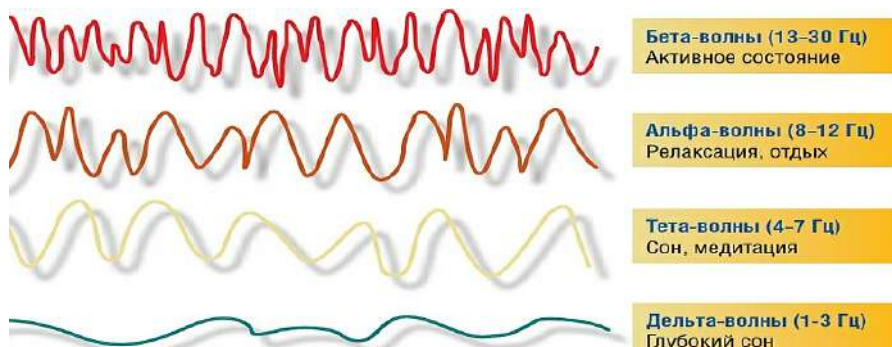


Рис. 27.5. Основные ритмы ЭЭГ

Парадокс электроэнцефалограммы заключается в том, что четкие и большие волны несут меньше всего информации ("холостой ход" нейронов). Когда нейроны работают, то каждый из них начинает делать это в свой момент времени, поэтому синхронность не наблюдается. ЭЭГ интенсивно работающего мозга математика, напряженно решающего сложную задачу, выглядит как прямая линия с низкоамплитудными и короткими волнами.

Основные ритмы ЭЭГ:

- **альфа-ритм** (средняя частота 8 - 12 Гц) - ритм, обнаруженный первым, характеризуется как базовый ритм спокойного бодрствования; отражает взаимодействие коры больших полушарий и таламуса;
- **бета-ритм** (частота 13 - 30 Гц) - отражает активную работу мозга или состояние после значительной умственной нагрузки, так как участвующие в этом процессе нейронные контуры некоторое время продолжают сохранять связь; взаимодействие между локальными зонами коры больших полушарий;
- **тета-ритм** (частота 4 - 7 Гц) - возникает, когда человек погружается в подторможенное состояние; в основном связан с взаимодействием новой коры и гиппокампа;
- **дельта-ритм** (частота < 4 Гц) - сонное состояние при переходе к глубокому сну; взаимодействие коры, старого и среднего мозга; в бодрствующем мозге является признаком патологии;

Неврологическим заболеванием эпилепсия болеет 1 из 200 человек. Оно характеризуется очагами патологической активности - сходными с дельта-ритмом комплексами "пик-волна", которые показывают место нахождения очага и степень его активности (вероятность возникновения припадков и судорог). В ходе лечения эпилепсии, которое начинают с раннего детства (2 - 3 года), осуществляется

постоянный ЭЭГ мониторинг, позволяющий оценить эффективность действия препаратов, усиливающих торможение очагов.

На основе анализа данных ЭЭГ во время сна выделяют следующие стадии:

- **стадия 0** - человек в спокойном состоянии находится в тихой и темной комнате с закрытыми глазами, не двигается, а также не осуществляет напряженную мыслительную деятельность, при этом отмечается альфа-ритм и небольшие фрагменты бета-ритма; В этот момент нейронные контуры, например, между корой больших полушарий и таламусом практически не обрабатывают информацию, поскольку отсутствуют движения, стимулы и др. С периодичностью около 10 раз в секунду кора посылает запрос таламусу. В случае появления зрительных сигналов альфа-ритм в затылочной коре исчезнет, на ЭЭГ появятся более высокочастотные волны, при появлении слуховых сигналов - альфа-ритм исчезнет в височной коре, двигательных - в лобной.
- **стадия 1 - 2** - дремота, засыпание и появление тета-ритма;
- **стадии 3 и 4** - сон-отдых, дельта-ритм становится медленней, в этом состоянии мозг человека находится 70 - 80% времени от всей длительности сна;
- **REM-сон** - занимает около 20% времени от длительности сна, нервная система человека отдыхает, но в коре больших полушарий мозга регистрируются высокочастотные альфа- и бета-волны и плоские участки (десинхронизация). Человек спит, пороги пробуждения высокие, мышцы полностью расслаблены, но его мозг активно работает. Если на этой стадии человека разбудить, то с большой вероятностью он скажет, что видел сновидение. В данном состоянии под веками активно двигаются глаза, поэтому его называли "фаза быстрых движений глаз"/"rapid eye movement" (REM-сон), а также **"парадоксальный сон"** и **"фаза сновидений"**. Парадокс заключается в том, что человек спит, а его мозг активно работает.

На графике 8-часового сна человека по горизонтали отложены часы, по вертикали - уровень активации. Стадии 1 - 4 - физиологический отдых мозга разной глубины (фиолетовые зоны), чем ниже фиолетовый столбик, тем ниже ритмы ЭЭГ, самые низкие из них - это состояние медленноволнового сна, при котором больше всего дельта-волн. График показывает, что после этапа засыпания (через час) ЭЭГ начинает активироваться, возникает участок фазы REM-сна (желтые столбики). За время 8-часового сна человек проходит 5 фаз последовательной смены медленноволнового сна на REM-сон, то есть сон цикличен: **медленноволновой сон** → **быстроволновой сон** = **1,5 часа**. Отметим, что циклы сна существенно различаются, изменяется длительность и соотношение фаз сна:

- **1 и 2 циклы** - преобладает медленноволновой сон, первые 3 часа мозг восстанавливает ресурсы, потраченные за предыдущий день;
- **3 и 4 циклы** - фазы REM-сна становятся длиннее, медленноволнового сна - короче, силы восстановлены, происходит обработка накопленной информации; чем большее информации поступило в течение насыщенного событиями дня,

тем дольше стадия сновидений; у детей REM-сон длиннее, чем у взрослых: 50% времени сна у младенца, 30 - 50% у ребенка 4 - 5 лет.

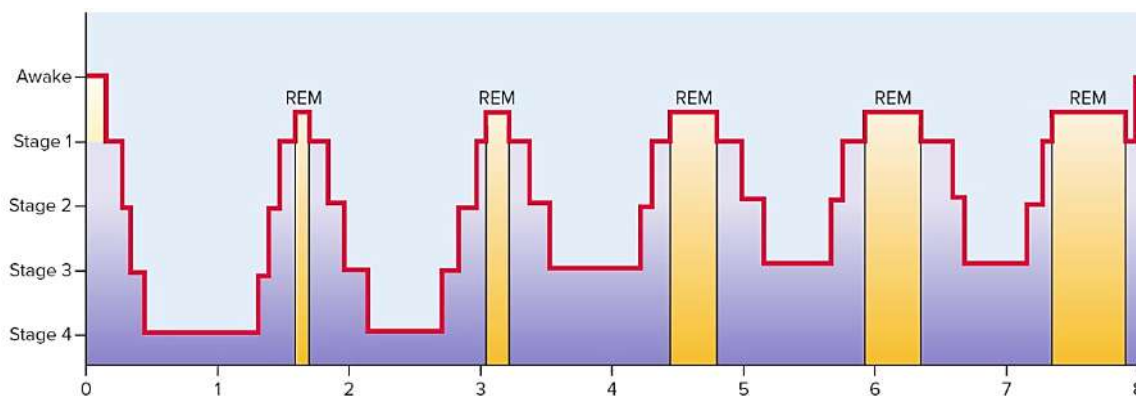


Рис. 27.6. График 8-часового цикла сна

Центры сна и бодрствования

- **центры бодрствования** - находятся в ретикулярных ядрах моста, собирающих различные сигналы (сенсорные, от центров мышления и эмоций). Центры сна интегрируют их и рассылают активированные импульсы по всей ЦНС: в кору больших полушарий и двигательную систему. Спинной мозг находится под тормозным контролем, чтобы не запускались лишние движения, поэтому в тот момент, когда при засыпании выключаются центры бодрствования, человек может вздрагивать, поскольку снимается тормозной контроль мозга, и спинной мозг может запустить сокращение некоторых мышц.
- **центр медленноволнового сна** - находится в центральном сером веществе среднего мозга и ядра шва, которые используют нейромедиатор серотонин. Когда запускается сон, центры сна подтормаживают центры бодрствования, но не окончательный сброс мышечного тонуса, поэтому на фазе сна-отдыха человек может совершить 25 - 30 движений за ночь;
- **центр парадоксального сна** - находящееся в передней верхней части моста-голубое пятно, нейроны которого для передачи сигналов выделяют норадреналин, запускающий парадоксальный сон; он переконфигурирует систему таким образом, что блокируется мышечный тонус, но в коре больших полушарий сохраняется высокая активность. Существует гипотеза, что исчезновение тонуса во время парадоксального сна является необходимым, потому что в этот момент мозг видит яркие сновидения, где происходят активные события (бег, схватка). В противном случае сны могут сопровождаться резкими движениями, которые могут нанести вред человеку и окружающим. Для предотвращения подобного развития событий и происходит максимальное снижение тонуса, хотя сигналы порой прорываются, тогда кошка или собака во сне перебирает лапами и покусывают. **Сомнабулия** (хождение во сне) возникает в случае недостаточной заторможенности коры больших полушарий. Движения человека при этом замедленные и вялые, его достаточно легко развернуть и направить в постель. 10 - 15% детей проявляют подобные реакции,

но с возрастом они проходят. Появление сомнамбулизма у взрослого человека - тревожный признак патологических процессов, которые начали нарастать в мозге.

Медленноволновой сон

Медленноволновой сон - фаза отдыха, во время которой нейроны работают менее активно и производят меньше отходов, поэтому кровеносной системе легче очищать от них организм. В 2012 году учеными был открыт дополнительный механизм **"глимфатическая система мозга"**. Его название происходит от терминов **"глиальные клетки"** (находящиеся между нейронами вспомогательные клетки) и **"лимфатическая система"**. В ходе медленноволнового сна в мозге отмечается низкая концентрация норадреналина, высокая - на фазе парадоксального сна и бодрствования. Обычно в нервной ткани межклеточного пространства немного, во время медленноволнового сна объем нейронов уменьшается на 20 - 30%, особенно глиальных клеток (астроциты), возникают просветы, возрастают дренажные способности нервной ткани, усиливается ток тканевой жидкости из артериол и начальных зон капилляров в вены и конечные зоны части капилляров.

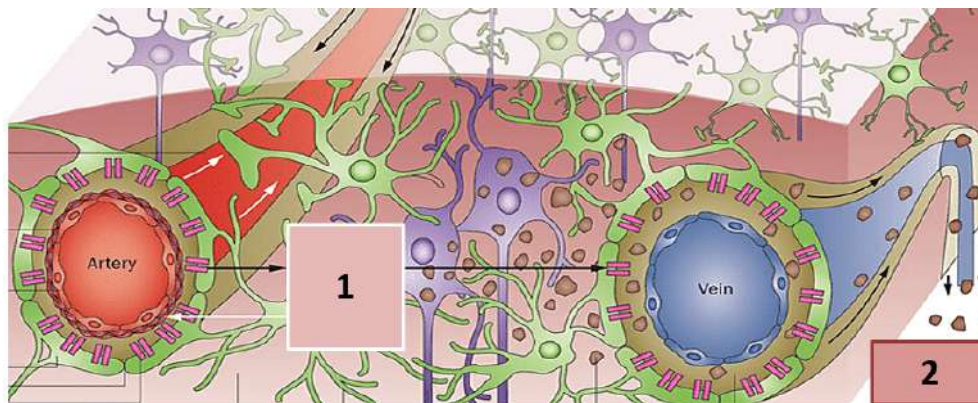


Рис. 27.7. Глимфатическая система: 1 - поток тканевой жидкости, 2 - удаление отходов веществ

Благодаря описанному процессу находящиеся в межклеточной жидкости отходы веществ лучше удаляются из нервной ткани: аденозин - молекула, возникающая при глубоком распаде АТФ, говорящая об утомлении человека, обломки белковых молекул, например, бета-амилоидов, связанных с нейродегенерацией и болезнью Альцгеймера. Таким образом, мозг во время медленноволнового сна отдыхает по причине не очень активной работы нейронов, но и потому, что включается глимфатическая система.

Когда человек бодрствует, в мозг поступают разнообразные сенсорные потоки, которые ему необходимо обрабатывать, принимать решения и запускать движения, поэтому проблемы гомеостаза оказываются на втором плане, то есть сигналы от внутренних органов практически не доходят. Когда человек засыпает, мозг может обратить внимание на организм, поскольку закрываются каналы зрительной и слуховой информации. В период медленноволнового сна нервная система начинает

взаимодействовать с внутренними органами и давать дополнительные гомеостатические команды, направленные на улучшение деятельности ЖКТ, сердечно-сосудистой и выделительной систем. Данную функцию очень активно изучал профессор **Иван Николаевич Пигарев**, развивающий "**Висцеральную теорию сна**". Ученый отмечал: "Главный парадокс сна состоит в том, что последствия его лишения проявляются прежде всего в висцеральной сфере организма, тогда как наиболее яркие изменения при переходе от бодрствования ко сну наблюдаются в работе коры головного мозга". Таким образом, при серьезном недосыпе катастрофически страдает не мозг (неэффективная работа системы памяти и принятия решений), а глобальный обмен веществ, то есть ухудшаются: терморегуляция, работа иммунитета, ЖКТ и эндокринной системы.

Депривация сна. В середине XX века проводились эксперименты, в ходе которых животных депривировали, лишая сна до того момента, пока они не погибали. Смерть наступала не вследствие гибели мозга (инсульта), а в результате глобального нарушения обмена веществ. Самым опасным событием оказался "прорыв" кишечной микрофлоры в кровоток, происходящий в результате воспаления в кишечнике, отчего возникал сепсис, приводящий к гибели организма. В настоящее время такие жестокие опыты не проводятся, но в 70-е годы прошлого века использовались "карусельные методики": в эксперименте участвуют две крысы - подопытная и контрольная, животные находятся на специальных площадках, установленных над водой, для объективной оценки сна у них записывается ЭЭГ. В тот момент, когда подопытная крыса засыпает, площадки поворачиваются, обе крысы падают в воду и просыпаются. За счет этого подопытная крыса практически лишается сна (на 90%), при этом контрольная крыса может спать в те моменты, когда не спит другое животное (снижение сна на 30%). Исследователями были проанализированы сбои в работе внутренних органов животных: у подопытной крысы нарушаются процессы регенерации, терморегуляции, движения, страдает иммунитет, возникают отеки и сепсис. Патологические процессы проходят на фоне высокого уровня норадреналина, то есть на высоком уровне стресса. Подчеркнем, что длительный хронический недосып вреден не только для мозга человека, но и для всего организма. Сон в течение 4 циклов (минимум) позволит мозгу работать эффективнее, а организму лучше себя чувствовать. Депривация сна без последствий для человека составляет до 4 суток. Чем больше ученые узнают про организацию описанных процессов, тем очевидней становится вклад в их работу различных генов, в том числе аллелей генов *Per3*, отвечающих за хронотип человека, устойчивость к острой и хронической депривации сна и легкость пробуждения.

Гиппокамп участвует в основных событиях парадоксального сна: - процессах переработки информации, изначально является структурой, предназначенной для пространственной кратковременной памяти (текущего дня), обеспечивает её перезапись в долговременную на фазе REM-сна, а также очищается от не востребованной информации. **Сновидения** - отражение работы гиппокампа и перезаписи информации в долговременную память, кроме того, системной работы мозга в REM-фазе. В сновидениях отражаются наиболее значимые блоки информации, накопленные за

предыдущий день, месяц и ранее, поэтому человек может проснуться со вчерашними проблемами, особенно если видел сны. Поговорка "утро вечера мудренее" отражает связанный с состоянием парадоксального сна физиологический процесс. Существует гипотеза о том, что механизм сновидений возник до того момента, как появилась долговременная память, чтобы пронести информацию через сонное состояние, реактивируя её каждые полтора часа. Во сне продолжают процессы анализа информации и мышления, сновидения могут быть творческими, прогностическими, фантастическими. Парадоксальный сон очень ценят художники и поэты: **Пабло Пикассо** и **Марк Шагал** создали картины "Сон, навеянный полетом пчелы вокруг граната, за миг до пробуждения" и "Полеты во сне и наяву". Таким образом, деятельность мозга во время REM-сна - в значительной степени работа с накопленной информацией, более надежное и быстрое формирование долговременной памяти. Развитый парадоксальный сон можно увидеть у птиц и млекопитающих, намеки - у рептилий и головоногих моллюсков, у рыб присутствует только медленноволновой сон.

Механизмы системы сна и бодрствования

1. **ретикулярные ядра моста** - главный центр бодрствования, ядра собирают и интегрируют различные сенсорные потоки, поступающие от всех сенсорных систем; благодаря этому свойству ретикулярных ядер человек может проснуться от разных сигналов (звонок будильника, прикосновение, яркий свет); вместе с ними работает латеральный (боковой) гипоталамус, где находятся центры бодрствования, перехватывающие сигнал от супрахиазмальных ядер;
2. **ядра шва, центральное серое вещество среднего мозга** и вентролатеральная преоптическая область гипоталамуса (**VLPO**) - главный центр сна, VLPO подтормаживает мозг и конкурирует с центрами бодрствования;
3. **голубое пятно** - центры сна подтормаживают центр бодрствования, который может нанести "ответный удар", используя голубое пятно (вспомогательный центр бодрствования), выделяющее норадреналин, который способствует пробуждению и работает в состоянии REM-сна. Поэтому при стрессе и приближении потенциально опасной ситуации человеку трудно заснуть (экзамен, соревнования);
4. **супрахиазмальные ядра переднего гипоталамуса** - биологические часы человека;
5. **ретикулярные ядра продолговатого мозга** - вспомогательный центр сна, оценивающий химический состав крови; в ситуациях, когда человек плотно поел (резкое повышение концентрации глюкозы и инсулина), устал или заболел (аденозин, токсины), появившиеся в плазме крови химические изменения активируют способствующие засыпанию ядра, которые передают сигнал к центральному серому веществу среднего мозга.



Рис.27.8. Взаимодействие механизмов системы сна и бодрствования

Рассмотренные центры являются комплексом конкурирующих структур, которые в идеальном случае должны удерживать человека либо в состоянии бодрствования, либо в состоянии сна. На схеме механизмов взаимодействия системы сна и бодрствования можно проследить следующие процессы: ретикулярные ядра моста, латеральный гипоталамус активируют ЦНС и реагируют на сенсорные входы; VLPO гипоталамуса и ядра шва и подтормаживают ЦНС и центры бодрствования, которые используют для торможения центров сна голубое пятно (реагирующее на стресс); супрахиазмальные ядра настраиваются на общий уровень освещенности, с их активностью связано выделение мелатонина (гормон эпифиза); ретикулярные ядра продолговатого эпифиза активируется в результате изменения состава крови; сенсорные сигналы прежде всего влияют на ретикулярные ядра моста. В норме человек должен засыпать достаточно быстро, но не мгновенно, поскольку тогда он мог бы уснуть в неподходящем месте. **Нарколепсия** (внезапное засыпание) является отдельной проблемой, например, уснувший за рулем водитель может стать причиной автокатастрофы. Просыпаться лучше быстро, потому что в некоторых ситуациях может потребоваться активировать все системы организма сразу.

Вещества, связанные с балансом сна и бодрствования:

- **глутамат** (глутаминовая кислота) - главный возбуждающий нейромедиатор мозга, препятствующие его действию вещества могут использоваться для наркоза; один из мало травматичных видов наркоза происходит с помощью инертного газа ксенона, затормаживающего работу выделяющих глутамат синапсов;
- **ГАМК** (гамма-аминомасляная кислота) - главный тормозный нейромедиатор мозга; активно проявляет себя в таламусе, блокируя потоки информации, поднимающиеся в кору больших полушарий; активирующие систему ГАМК вещества могут использоваться для наркоза, а также как рецептурные успокаивающие и снотворные препараты;
- **гистамин** - на периферии является нейромедиатором воспаления, в ЦНС - вспомогательным возбуждающим медиатором; модифицированные и хорошо проходящие в мозг антигистаминные препараты могут вызывать сонливость, что используется в создании успокаивающих лекарств;
- **кофеин** - антагонист аденозина - вещества, возникающего при распаде АТФ и выполняющего функцию сигнала об утомлении; кофеин и кофеиноподобные

молекулы содержат такие напитки, как чай, кофе, какао, шоколад; в сутки человеку рекомендуется употреблять 100 - 200 мг кофеина (одна - две чашки кофе); пробуждать мозг утром с помощью кофеина является странной идеей, которая означает, что человек устал уже в это время суток.

Основные виды расстройства сна: **гиперсомния** - избыток сна, который может происходить в любое время; **парасомния** - нарушения сна (лунатизм, сонный паралич - слишком долгая фаза REM-сна; **бессонница** - трудности с засыпанием. Лечение: устранение причин возникновения (включая стресс), следование гигиеническим рекомендациям, помощь специалистов (включая психотерапию), лекарства. Сомнологи отмечают, что самая большая ошибка в случае бессонницы - попытки человека заставить себя заснуть, и рекомендуют вместо этого заняться рутинной деятельностью (учить иностранные слова).

Современные методики оценки состояния мозга

- **функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ)** - последние три десятилетия все активнее применяются томографические методы, особенно, фМРТ которая не использует рентгеновские лучи и не травмирует мозг человека. Метод позволяет увидеть активацию не только коры больших полушарий, но и глубинных центров мозга. В наиболее интенсивно работающих зонах мозга происходит расширение кровеносных сосудов, становится больше гемоглобина, ионы железа реагируют на мощное магнитное поле, генерируемое томографом.
- **оптогенетика** - современный метод нейровизуализации и управления состоянием нейронов. В тот момент, когда возникает новый канал для передачи информации, в нейронах синтезируются дополнительные рецепторы к глутамату, что при определенной модификации вирусного вектора позволяет с его помощью внести в мозг лабораторного животного ген опсина хламидомонады, который не только ловит солнечные лучи, но и создает отверстие в мембране нервной клетки для ионов натрия (Na^+). Помеченные опсиновыми белками нейроны при засветке особыми лазерными лучами возможно активировать, что позволяет изучать функции определенных зон мозга или увидеть, какие из них участвовали в формировании условного рефлекса. Таким образом можно помочь лабораторной крысе вспомнить некий навык. Прицельная работа с конкретными центрами памяти и каналами для передачи информации - область, которая интенсивно развивается в XXI веке.

Лекция 28. Мышление, принятие решений

Механизмы работы ассоциативной теменной коры

Лекция, завершающая раздел "Анатомия и физиология человека" курса лекций "100 часов школьной биологии", посвящена головному мозгу и физиологическим основам психической деятельности человека. Психология - современная и полезная

наука, рассказывающая о конкретных алгоритмах психики человека. Выдвигаемые философами, социологами, психологами, культурологами и экономистами гипотезы важно связать с работой нейросетей. В настоящее время это стало возможно, поэтому существует большое количество синтетических дисциплин: нейропсихология, нейроэкономика, сопрягающие методы программирования и работы мозга нейрокомпьютерные интерфейсы и т.д. В ходе данной лекции будут рассмотрены самые сложные проявления высшей психической деятельности человека и их физиологические основы: **мышление, принятие решений, феномен сознания.**

Кора больших полушарий - высший "процессор" мозга человека, который включает в себя зоны:

- ассоциативная теменная кора - **процессы мышления;**
- ассоциативная лобная (префронтальная) кора - **процессы принятия решений;**
- поясная извилина - оказывает коре помощь в организации эффективного **поведения человека**, приводящего к удовлетворению потребностей и адаптации к окружающему миру;
- тракты белого вещества - для активного взаимодействия вышеперечисленных зон мозга существует большое количество ассоциативных волокон, проходящих внутри больших полушарий.

Роль условного рефлекса на комплексный стимул

Речевая деятельность человека, как и другие проявления психики человека, является результатом долгого эволюционного процесса. Откуда появилась способность мозга оперировать словами? Анализ поведения животных, в том числе в условиях выработки приобретенных рефлексов, показывает, что предпосылкой речевой деятельности является формирование условных рефлексов на комплексный стимул. Например, в ходе эксперимента с собакой И.П. Павлова он возникает, когда на мозг экспериментального животного одновременно действуют два сенсорных сигнала: слуховой сигнал (звонок) и зрительный (лампочка). После предъявления стимулов собака осуществляет двигательную реакцию - нажимает лапой на педаль для получения пищи. В начале подобных исследований экспериментатор помогает собаке и сам ставит лапу животного на педаль, чтобы показать ей, что после этого действия появится порция пищи. Мозг животного формирует ассоциацию между стимулами и пищей, при этом в нем возникает два канала информации: из зрительной коры (лампочка) и слуховой (звонок) - в двигательный центр, расположенный в задней части лобной доли. Это только начало процесса обучения, после того, как у собаки возникла условная реакция на совместное предъявление звонка и лампочки ключевым моментом является алгоритм:

- экспериментатор включает только звонок, но не подкрепляет нажатие на педаль;
- включает только лампочку, но не подкрепляет нажатие на педаль;
- иногда включает звонок и лампочку - подкрепляет нажатие на педаль пищей.

Таким образом исследователь пытается объяснить мозгу экспериментального животного, что реагировать необходимо не на отдельные компоненты комплексного стимула, а на предъявление всего комплекса (звонок + лампочка). Чередование предъявлений происходит в случайном порядке, мозг собаки довольно долго решает такую непростую задачу (может понадобиться до 100 сочетаний). В результате у нее пропадает реакция только на лампочку и только на звонок, что обозначает, что произошло торможение ранее сформированных каналов для передачи информации. Полученные в ходе исследований данные объясняет существование на стыке теменной, затылочной и височной коры совокупности нервных клеток, которая собирает сигналы от зрительной и слуховой систем и отдельно устанавливает связь с двигательным центром. Данная задача является более сложной, чем работа только со зрением или слухом, поэтому данную зону называют ассоциативной.

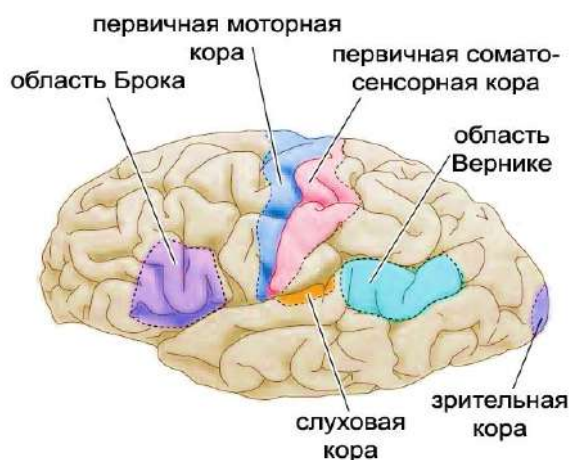


Рис. 28.1. Области мозга, связанные с речью

Формирование речевых центров

Для того, чтобы научить ребенка в возрасте до года словам, ему показывают некий объект (игрушка) и называют его словом. Этот процесс интересен и ребенку, и родителям, любопытство в данном случае работает как источник положительных эмоций (выделение дофамина), который лежит в основе обучения. Слово необходимо произносить четко, потому что слуховая область Вернике в этом возрасте еще недостаточно развита. Мозг ребенка формирует зрительно-слуховую ассоциацию, то есть в его ассоциативной теменной коре происходят модификации синапсов (дополнительный синтез рецепторов к глутаминовой кислоте и др.). Это только начало процесса формирования речевых центров, поскольку, например, в реальном мире присутствует не только игрушечный заяц - существует живой заяц в зоопарке, его изображение в книге, красный пластмассовый заяц. Зрительная кора мозга ребенка начинает выделять у зайцев ключевой признак, скорее всего, это будут два длинных уха. Нейроны зрительного обобщения находятся в третичной зрительной коре на стыке с ассоциативной теменной корой. Примерно такая же процедура протекает в зоне Вернике, которая у разных вариантов произнесения слова "заяц" обнаруживает общие характеристики, поскольку оно может звучать по-разному: медленно или быстро,

громко или тихо, мужским или женским голосом. Тонкий частотно-амплитудный анализ слов приводит к слуховому обобщению, нейроны которого устанавливают связь с речевым центром, связывая слово вообще и некий обобщенный зрительный образ. В задней височной доле находятся нейроны слухового обобщения, которые устанавливают связь с речевым центром, связывая слово и его обобщенный зрительный и слуховой образы.

- **мозг собаки** - способен к обобщениям; при команде "принеси палку" она может принести человеку одну из многих палок, представляющую обобщенный объект: пахнет деревом, длинный, желательно большой (добыча). Речевых центров в мозге собаки может возникнуть ограниченное количество (несколько десятков).
- **мозг обезьяны** (горилла, шимпанзе) - способен сформировать несколько десятков речевых центров (500 - 1000), на это придется затратить много времени и использовать языки глухонемых людей "амслен" и "йоркиш", так как у обезьян не развиты голосовые связки, из-за чего они не могут говорить. Для достижения результатов взаимодействие необходимо начинать с самого раннего возраста детеныша обезьяны и несколько лет выращивать его по аналогии с ребенком: показывать различные объекты, произносить их названия и признаки, описывать события, сопровождая все языком жестов и ожидая, что детеныш начнет повторять их. В результате обучения детеныш может выучить около 100 слов в год, при этом не только понимать их, но и показать жестами, например, "Я хочу пить, дай мне апельсиновый сок". Альтернативным способом обучения является использование обширной клавиатуры с большим количеством клавиш, каждая из которых обозначает нечто конкретное: красный квадрат - банан, желтый ромб - бежать, и т.д. Экспериментатор произносит слова и нажимает на кнопки, которые им соответствуют, и на экране появляется изображение. Мозг обезьяны способен усвоить подобный алгоритм и сформировать ассоциацию, при этом приобретенный таким образом словарный запас составляет несколько сотен слов. В данной области учеными осуществляются подвижнические работы, принимающие участие в экспериментах обезьяны являются практически разумными существами. Шимпанзе Ушо (1967 - 2007) вошла в историю как первая говорящая обезьяна, она знала 350 слов, горилла Коко - 1000 слов. Это говорит о том, что речевые возможности человека являются результатом длительной эволюции.

Между мозгом человека и мозгом животного отмечаются различия:

- **количественные** - число речевых центров: 1 тыс. слов для обезьяны является пределом, для ребенка - началом, к трем годам его словарный запас составляет около 2 тыс. слов, далее последовательно нарастает по ходу всей жизни;
- **качественные** - связаны со способностью мозга к речевому обобщению, возникающим наряду со зрительным и слуховым. Словом высокого порядка объединяются слова более низкого порядка, обобщение может иметь несколько уровней: кубики и мячик = игрушки → игрушки, мебель, одежда = предметы → предметы, дома и деревья = объекты окружающего мира. Еще несколько шагов

и появляются физические, математические и философские понятия. Подобного уровня процедура речевого обобщения у "говорящих обезьян" была зафиксирована зоопсихологами всего несколько раз: одна из шимпанзе использовала понятие "бэби", которое включало щенка, человеческого или обезьяньего детеныша; второе животное умело использовать понятие "фрукты".

Информационно-речевая модель мира

Процедура речевого обобщения является специфической для мозга *homo sapiens*, она позволяет человеку не просто накопить 1000 речевых центров, но и связать их, создав единую систему, названную "информационно-речевая модель мира" и являющуюся основой процессов мышления. Человек имеет значительную зону ассоциативной коры, поэтому он способен к многоуровневому речевому обобщению, в ходе которого формируется множество новых нервных связей, что является не простой задачей, требующей серьезных усилий, мотивации и любопытства. Классик возрастной психологии **Жан Пиаже** связывал стадии развития ребенка именно с уровнями речевого обобщения, при этом ученый отмечал, что высшие стадии обобщения проходит не каждый взрослый.

- возраст 2 года – в мозге ребенка формируется около 500 речевых центров;
- возраст 3 года - 2 тыс. речевых центров, в ассоциативной теменной коре происходит постепенное формирование модели окружающего мира - возникает информационно-речевая модель окружающего мира.

К возрасту 3 года в мозге ребенка в качестве речевых центров отражаются существенные параметры объектов того мира, который находится вокруг него: предметы, их признаки, события и действия, связанные вместе за счет ассоциаций и речевого обобщения. Модель создается в том случае, когда характеристики сложного объекта или явления отражаются с помощью простой аналогии. Например, глобус - модель Земли, которая отображает её круглую форму, способность вращаться и наличие материков и океанов. Сформированная в мозге человека информационно-речевая модель мира не отражает гораздо более сложный реальный мир, но это лучшее, что есть у каждого из людей.

Компоненты, составляющие личность человека:

- **потребностная основа** - определяет значимые явления, темперамент и центры потребностей (любопытство, забота о других людях, лидерство);
- **информационно-речевая модель мира** - ложится в основу мышления, прогнозирования и творчества, аккумулирует жизненный опыт человека; центры памяти являются источником информации, которую модель может запросить.

С помощью сформированной модели человек может не только прогнозировать события в окружающем мире, но и последствия своего поведения, в итоге оно становится более адаптированным. Таким образом, информационно-речевая модель дает человеку возможность заглянуть в будущее и так выстроить поведение, чтобы с

большей вероятностью достичь успеха. Речевой деятельности человека значительное внимание уделял И.П. Павлов. Ученый ввел понятие **"вторая сигнальная система"**.

- **первая сигнальная система** - возникновение новых нервных связей (условные рефлексы), образующихся с участием незначимых, но реальных стимулов;
- **вторая сигнальная система** - в тот момент, когда человек называет стимулы словами, происходит событие более высокого уровня, И.П. Павлов писал, что слово является сигналом сигналов.

В ассоциативной коре больших полушарий находятся десятки тысяч центров, соединенных друг с другом либо по принципу одновременности появления, то есть ассоциаций (например, заяц, серый, прыгает, ест морковь, растет на грядке, оранжевая, содержит каротин, полезна для зрения), либо по принципу многоуровневого обобщения. Человек вносит в модель исходные данные и на выходе получает результат в виде прогнозируемых последствий своего поведения, не реализуя его. Физик **Стивен Хокинг** для описания этих процессов использовал понятие **"модельезависимый реализм"**. Суть существования человека - жизнь в мире, воспринимаемом через призму модели в головном мозге. Люди могут использовать её с помощью следующих алгоритмов:

- **интуитивный режим** - более быстрый, предполагает ввод исходных данных и получение практически мгновенного ответа (доли секунды); используется для решения простых и стандартных задач (выбор продуктов на завтрак в магазине); быстрый выбор экономит время и объясняется тем, что система человека уже хорошо знакома со свойствами разных продуктов;
- **проговаривание** - более медленный алгоритм; в случае новой и сложной задачи лучше проследить - какие ассоциативные ходы предпринимает модель; эффективнее всего буквально проговаривать или записывать каждый шаг таким образом, чтобы сигналы из ассоциативной коры перешли в речедвигательный центр (зона Брока), который находится в нижней задней части лобной доли и отвечает за управление дыханием, голосовыми связками, языком.

Вопрос психолога "Вы хотите поговорить об этом?" является предложением перейти от быстрого, не очень четкого, но зато экономного интуитивного режима к более медленному, затратному, но ориентированному на анализ новых данных и поиск новых путей решения задачи. Когда человек проговаривает или пишет письмо самому себе, то многие проблемы с непростым выбором становятся более очевидными. Чем сложнее модель - тем лучше прогноз и адекватнее поведение, поэтому люди в течение жизни накапливают количество существующих в модели центров и таким образом повышают свою информированность. Кроме того, стараются, чтобы они были соединены адекватными связями, которые можно охарактеризовать как мудрость. Зачастую человеку приходится набить немало шишек, чтобы определить, что эффективной стратегией является не конфликт, а договоренность. Важно не торопиться, о чем говорит и русская поговорка "утро вечера мудренее", которая относится и к работе данной системы, поскольку, когда человек спит, она продолжает функционировать (особенно на фазе REM-сна). Парадоксальный сон - не только

перезапись информации из гиппокампа в долговременную память, поэтому в сны могут вовлекаться не только данные текущего дня, но и события, происходящие за весь период жизни человека. Мышление по сути возможно продолжать во сне, что порой приводит к творческим сновидениям, способствующим решению проблем. При наличии действительно сложной задачи важно не спешить решать её сразу (что маркетологи называют "эффект закрывающихся дверей"), стоит перед сном загрузить её в ассоциативную теменную кору и лечь спать. В ходе работы с ассоциациями педагог или психотерапевт действует как программист и, как правило, формирует новые дополнительные связи. Затормозить неверную связь очень сложно, гораздо проще построить в обход дополнительные связи, которые дадут дополнительные возможности. Это приведет к увеличению степени свобод человека, он сможет в аналогичной ситуации использовать не один алгоритм, а несколько, что сделает его поведение более эффективным. Для увеличения центров в информационно-речевой модели необходимо наращивать долговременную память, что приводит к необходимости серьезно учиться. Обучение проходит успешно только в том случае, когда человеку интересно, именно такие виды деятельности необходимо найти.

Про две системы мышления в своих книгах пишет психолог и лауреат Нобелевской премии по экономике 2002 года **Даниэль Канеман**. В книге "**Думай медленно ... решай быстро**" автор выделяет:

- **система мышления 1 – автопилот** - осуществляется без усилий, ассоциативная, быстрая, интуитивная, медленное обучение;
- **система мышления 2 - пилот** - медленная, трудозатратная, контролируемая, гибкая, подчиненная правилам, но позволяющая решать новые и сложные задачи.

В простых случаях человеку рекомендуется не предаваться длительным размышлениям, а довериться интуиции. В сложных ситуациях - не принимать первое пришедшее в голову решение, а подумать. Особой простоты нет и тут, так как в сложных случаях порой необходимо реагировать и принимать решение быстро. Данную сферу активно изучает промежуточная наука **нейроэкономика**, разрабатывающая методы исследований мозга покупателя, повышение эффективности продажи товаров, особенности производства рекламы. Отметим, что мозг человека сложная система, которая в значительной степени функционирует предсказуемо.

Механизмы работы ассоциативной лобной коры

Процесс принятия решений

В лобной (префронтальной) коре происходит выбор поведенческих программ. В алгоритмах, применяемых лобной корой, можно выделить три этапа:

1. **выбор доминирующей потребности** - из всего многообразия программ поведения выбираются удовлетворяющие именно её (игра на компьютере или сон, шоколад или салат);

2. **этап учета сигналов внешней среды** - на основе предоставляемой сенсорными системами информации программа рассматривается с точки зрения удовлетворения потребности, одновременно из памяти извлекаются эффективные ранее программы; в соответствии с условиями окружающей среды выбираются те, которые наиболее вероятно приведут к желаемому результату;
3. **учет "индивидуальной истории" программы** (её вес) - общее число и доля успешных реализаций.

Последовательно рассмотрим три этапа выбора поведенческой программы. Первая задача - выбрать доминирующую потребность, которая наиболее актуальна здесь и сейчас, то есть ту, которая в наибольшей степени не удовлетворена. Этим занимается вентромедиальная префронтальная кора передней части лобной доли, куда приходят сигналы из миндалины, являющейся важнейшим коллектором сигналов от центров различных биологических потребностей (содержит центры лидерства и эмпатии). В таблице представлен процесс выбора доминирующей потребности из трех потребностей. В ситуации 1 самой актуальной является пищевая потребность. О том, что она не удовлетворена на 60%, сообщает центр голода, поэтому в ближайшем будущем лобная кора запустит поведение, направленное на поиск пищи.

Потребность	Степень неудовлетворенности, ситуация 1	Степень неудовлетворенности, ситуация 2
пищевая	60%	60%
половая	20%	20%
в безопасности	5%	змея : 95% - оборонительная доминанта (смена доминанты)

Поскольку окружающий человека мир постоянно изменяется, существует необходимость в обновлении "рейтинга" потребностей, что и делает лобная кора 4 - 6 - 8 раз в сек. Многие исследователи связывают тета-ритм электроэнцефалограммы с работой миндалины. Представим ситуацию, когда человек испытывает голод, но в ту же секунду замечает, что в его сторону ползет крупная змея. В этом случае потребность в безопасности теперь составит 95%, в этот момент происходит смена доминанты с пищевой на оборонительную, после чего миндалины должна помочь в выборе решения - убежать или драться.

В коре больших полушарий находится множество поведенческих программ. Лобная кора определяет наиболее актуальные из них, оценивая сигналы внешней среды и осуществляя учет предыдущего опыта (2 и 3 этапы выбора программы). Продолжим рассматривать данный процесс на примере пищевого поведения. Каждая программа в памяти человека является результатом предыдущего обучения, по сути сложным условным рефлексом, то есть запускается определенными стимулами.

	Варианты реализации		Условия	Вес программы
программа 1	купить еду в буфете	стимул 1	есть деньги	90%
		стимул 2	недалеко находится буфет	
программа 2	попросить бутерброд у товарища	стимул 3	у товарища есть бутерброд	50%
		стимул 4	он доброжелателен	
программа 3	отнять бутерброд у товарища	стимул 5	у товарища есть бутерброд	25% × 3 бала = 75
		стимул 6	он не хочет делиться	
		стимул 7	бутерброд с рыбой	

В процессе реализации каждая программа набирает баллы с помощью сенсорных систем (зрительной, слуховой и др.) в соответствии с условиями окружающей среды. Пусть в данный момент на организм действуют стимулы 1, 3, 5, 6 и 7, а стимулы 2, 4 - отсутствуют. На данном этапе вперед выходит программа 3, но все будет решаться на третьем этапе, на котором учитывается предыдущий опыт реализации программы, который зависит от двух факторов: общее число реализации программы и доля успешных реализаций. Речь идет о механизмах положительного и отрицательного обучения, чем больше раз происходит повтор программы, тем значимее и стабильнее синаптические модификации, а сигнал увереннее попадает из пункта А в пункт Б. Доля успешных реализаций - условное торможение делает вероятность дальнейшего запуска программы меньше. Подведем итог:

- **программа 1** - "старая добрая" программа, которая много раз реализовывалась и практически всегда приводит к успеху, коэффициент её надежности - 90%;
- **программа 2** - не очень надежная, так как примерно в половине случаев приводит к неудаче; большой вклад условного торможения - неудачное поведение приводит к угашению условного рефлекса, её вес - 50%;
- **программа 3** - недавно сформированная программа, её синаптические модификации невелики, ассоциации только начали формироваться, память не очень прочна, поэтому надежность - 25%.

Таким образом, несмотря на набранные на втором этапе третьей программой два балла, побеждает программа 1. Именно так в упрощенном виде выглядит алгоритм принятия решений ассоциативной лобной корой. Данный пример показывает, что нервная система человека при прочих равных (и даже без них) предпочитает известные пути новым, то есть присутствует **проблема стереотипизации поведения**. Вроде бы для решения задачи лучше остальных подходила программа 3, обладающая недостатком в виде неизвестности - параметра, неизбежного в процессе набора жизненного опыта и требующего использования новых поведенческих алгоритмов, тем не менее, выбор падает на программу 1. Подобных историй в жизни человека случается множество, что подтверждают поговорки: "от добра добра не ищут", "самая короткая

дорога - знакомая дорога". Программы лени позволяют человеку экономить силы, идти привычным путем или вообще ничего не предпринимать. Это не очень хорошо с точки зрения адаптивности поведения человека и его способности гибко реагировать на изменения. Важно на сознательном уровне контролировать процесс выбора программ и осуществлять коррекцию в случае стереотипизации.

Представим ситуацию, когда человек ищет новое место работы и рассматривает следующие варианты:

- **вариант 1** - должность в надежной фирме с отличным коллективом, но с небольшой зарплатой;
- **вариант 2** - высокая зарплата, сложный начальник, сложные рабочие задачи;
- **вариант 3** - собственный проект, для запуска и реализации которого пока недостаточно опыта; предполагает усиленную мобилизацию.

Теменная кора содержит представление человека об окружающем мире, в том числе представления о самом себе. Она может добавить в любой из перечисленных вариантов 20 баллов, в результате чего человек выберет именно его. Это называется волей и сознанием: окончательный выбор и запуск поведенческой программы определяется не только ассоциативной лобной корой, но и её взаимодействием с теменной, которая вмешивается в процесс по причине того, что в ней находится знание человека о том, что он способен решать новые задачи и использовать новые пути. Поэтому он выберет не самый надежный вариант 1, то есть проявит волю и скажет "нет" программе, предлагаемой лобной корой. В случае повреждения ассоциативной лобной коры качество выбора существенно падает, а серьезные повреждения могут привести к тому, что мозг перестанет генерировать инициативы, или к невозможности осуществить выбор. В этой ситуации мозг "зависает" до получения команды извне либо до появления сильной внутренней потребности.

В середине XX века была изобретена операция, которую называли "**лоботомия**". Она была направлена на повреждение лобных долей путем перерезания волокон белого вещества, соединяющих ассоциативную лобную кору с остальным мозгом. Данная процедура использовалась для лечения тяжелых психических больных, появившиеся лекарственные препараты (нейролептики) делают это гораздо адекватнее, поэтому необходимость в этой необратимой операции отпала. Нейролептики в основном "мешают" дофаминовой системе и позволяют на несколько часов изменить функциональное состояние человека, убрать тяжелые психотические изменения (маниакальные, шизофренические).

Механизмы работы поясной извилины

Поясная извилина опоясывает большое полушарие изнутри, проходит над мозолистым телом, соединена со всеми зонами коры, является частью круга Пейпеза, работает вместе гиппокампом и кратковременной памятью. Данная структура очень эффективно помогает ассоциативной лобной коре, которая выбирает поведенческую программу и отправляет её на двигательную кору, запускающую сигнал в спинной

мозг, мозжечок и базальные ганглии для активизации поведенческих реакций. Поясная извилина вносит большой вклад в случае характерных для мозга и психики человека длинных программ, которые приводят к результату не здесь и сейчас, а через неделю, месяц, год и даже годы. Соответственно, важно контролировать успешность реализации многоэтапной программы не только в целом (получено или нет положительное подкрепление), но и каждого из её этапов. Помочь удержаться в рамках программы очень непросто, поясная извилина способна оценивать результативность этапов и генерировать промежуточные эмоции. Это помогает человеку ощутить радость от достижений и оставаться в процессе. Примером может послужить ситуация, когда люди весной сажают картошку и ожидают, что осенью соберут урожай и будут есть её в течение года. Для достижения цели растение необходимо поливать, окучивать, собирать колорадских жуков. Ни одно животное не способно запустить и реализовать подобный алгоритм.

На каждом этапе поясная извилина сравнивает **реальные результаты поведения** - информацию от сенсорных систем и **ожидаемые результаты** - память о предыдущих успешных реализациях поведения, сформированную либо на основе собственного опыта человека, либо на основе полученной информации.

- **в случае совпадения реальных и ожидаемых результатов** - человек видит, что картошка взошла, есть её предстоит ещё не скоро, но поясная извилина детектирует совпадение и выдает положительные эмоции. Результаты сравнения передаются в ассоциативную лобную кору и используются для коррекции выполняемых поведенческих программ. Психологи рекомендуют при достижении даже небольшого успеха остановиться и ощутить положительные эмоции, чтобы идти дальше, опираясь на положительный результат.
- **при несовпадении реальных и ожидаемых результатов** - поясная извилина передает информацию о наличии проблемы в лобную кору, которая принимает решение о коррекции программы; если несовпадение не устраняется, может произойти смена программы; параллельно сигнал поступает в центры отрицательного подкрепления, поэтому человек испытывает негативные эмоции;

Легкость и быстрота смены программы, а также смены доминанты - важнейшая индивидуальная характеристика нервной системы человека (подвижность, импульсивность). Выраженность эмоций, связанных с деятельностью поясной извилины, очень индивидуальна: у холериков, сангвиников и меланхоликов – эмоции яркие, у флегматиков - слабые. В случае повреждений в данной зоне (микроинсульт) генерируемые поясной эмоции серьезно снижаются, а темперамент человека становится более флегматичным.

Люди испытывают два типа эмоций:

- **эмоции в ходе реализации поведенческой программы** - "быстрые" эмоции; генерируются поясной извилиной, показывают степень приближенности к успеху; эмоции украшают жизнь человека, данный аспект описывал **П.В.**

Симонов в работе "**Информационная теория эмоций**"; если человек обладает ярким эмоциональным темпераментом, то у него много эмоций, что приводит к сильным негативным или позитивным переживаниям по поводу даже незначительных событий;

- **эмоции в конце реализации программы** - окончательные эмоции; возникают по итогам деятельности, генерируются центрами биологических потребностей; на их фоне меняется "рейтинг" поведенческих программ: происходит условное торможение или более частый выбор успешных действий. Психологи рекомендуют людям ставить перед собой очень далекие цели, чтобы на их достижение потребовалась вся жизнь. При этом человек все время будет стремиться к их осуществлению, испытывать положительные эмоции и не заскучает.

Сознание

Попытаемся пояснить такой сложнейший феномен и понятие, как сознание. Говоря о сознании, часто подразумевают его работу с центрами теменной коры (мышление), лобной коры (выбор поведенческой программы), поясной извилины (эмоции), но определить и изучать это явление очень сложно. И.П. Павлов писал о сознании: "Если бы можно было видеть сквозь черепную коробку и если бы место с оптимальной возбудимостью светилось, то мы увидели бы на думающем сознательном человеке, как по его большим полушариям передвигается постоянно изменяющееся в форме и величине причудливо меняющихся очертаний светлое пятно". Можно говорить о центрах кратковременной и долговременной памяти, голода, мышления, но центра сознания не существует (как нет и центра внимания). **Сознание** - это функция, которая здесь и сейчас может быть присуща разным отделам коры больших полушарий мозга: если человек к чему-либо прислушивается, то оно находится в височной коре; внимательно и вовлечено смотрит кино - в затылочной; выполняет произвольные движения - в моторной и премоторной; думает - в ассоциативной теменной. По сути сознание вливает дополнительную энергию в различные нервные процессы и активизируется в том случае, когда возникает проблема. Если лобная кора "предлагает" теменной нечто не вызывающее у неё протеста, то действительность соответствует представлению человека о мире, о других людях и о самом себе, поэтому теменная кора не вмешивается в происходящие процессы. Человек на диете мечтает с помощью теменной коры о том, как он похудеет, при этом лобная кора "ведет" его к холодильнику, чтобы съесть бутерброд с маслом. В тот момент, когда он практически оказывается во рту, в процесс вмешивается лобная кора и останавливает действие (присутствие наблюдателя). Структуры мозга в некотором количестве ситуаций действуют заодно, но иногда лобная кора предлагает неадекватные программы поведения, поэтому задачей теменной коры становится предотвращение их реализации (воля). Принципы поведения и высшие морально-этические принципы человека прежде всего находятся именно в этой зоне мозга, в модели мира, а точнее - в представлении человека о самом себе. Поэтому важно иногда говорить себе "я - трудолюбивый, я готов заботиться о других людях". Подобные ментальные упражнения эффективны вследствие формирования в теменной коре связей-

ассоциаций, на которые в дальнейшем можно опираться, когда лобная кора начнет "лениться" или предлагать неэффективные программы поведения. Для того, чтобы описанный механизм сработал, человеку необходимо остановиться, расслабиться и задуматься, потому что любой стресс и дополнительная активация работают на производство импульсивных решений, которые принимаются здесь и сейчас без учета удаленных серьезных перспектив.

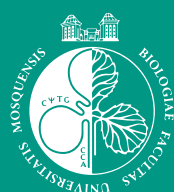
Классическим примером подобных ситуаций является **прокрастинация**, которая означает, что человек не бездельничает или ленится, а занимается незначительными делами вместо долговременной и сложной задачи, получая краткосрочную выгоду. При этом, важная и тяжелая работа не двигается с места. В настоящее время психологи много пишут про такое явление, как **активная прокрастинация**: небольшое количество потраченного зря времени приводит к тому, что в организме человека нарастает уровень стресса, на фоне которого он может успеть выполнить задачу за короткое время. Подобное поведение может привести человека в состояние хронического стресса, поэтому злоупотреблять им не стоит. Оптимально планировать деятельность заранее, чтобы поясная извилина успевала отслеживать её этапы и приносить дополнительные положительные эмоции.

Полезные для человека в обыденной жизни навыки:

- **не быть слишком упрямым** - иллюзия полного знания: важно понимать, что информационная модель мира любого человека является несовершенной, в нее можно добавить знания и мудрость (и изменить поведение); когда человек упорно отстаивает свои идеи, скорее всего, он потерпит поражение, потому что игнорирует важные детали;
- **отслеживать стереотипизацию поведения и накопление негативных программ** (тревожность) - мозг склонен использовать "привычные пути", поэтому во всех серьезных ситуациях человеку следует задать себе вопрос о том, действительно ли он принял решение, обдумав его, или поступил так, как поступает всегда. Мозг помнит программы избегания лучше, чем программы достижения цели, поэтому с возрастом программы избегания начинают накапливаться ("обжегшись на молоке - дует на воду");
- **не реагировать на то, что маркетологи называют "эффект закрывающихся дверей"** - отслеживать желание принять решение немедленно, а также прокрастинацию, то есть выбирать наиболее актуальную деятельность.
- **помнить про пользу и вред зеркальных нейронов** - две группы зеркальных нейронов отвечают за эмпатию и двигательное подражание, они позволяют людям получить массу положительных эмоций, учиться на чужом опыте, при этом важно делать это осмысленно, потому что избыточное подражание (конформизм) не полезно;
- **контролировать степень утомления и вовремя переключаться** с одного вида деятельности на другой, чтобы не войти в состояние запредельного торможения; не забывать про здоровый, своевременный и достаточно длинный сон;

- **использовать способы контроля стресса** - острый стресс в определенной степени полезен, потому что активизирует человека; слишком сильный стресс - мешает нормальному поведению; человеку важно уметь расслабляться, лучшим способом расслабления является дыхательная гимнастика, так как дыхание является витальной функцией, при концентрации на которой центры стресса снижают свою активность; в случае возникновения хронического стресса необходимо пересмотреть задачи, которые тяжело реализовать, и искать дополнительные источники положительных эмоций (спорт, хобби, общение).

Рассмотренные "правила безопасности" работы с мозгом помогут более эффективно решать разнообразные задачи, стать более успешным и более позитивным человеком.



БИОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
Л Е К Ц И И У Ч Е Н Ы Х М Г У

