

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

АНАТОМИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов направления подготовки
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
дневной формы обучения*



Могилев 2024

УДК 611
ББК 28.706
А 64

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «27» декабря 2023 г.,
протокол № 5

Составители: канд. мед. наук, доц. С. А. Точило;
ст. преподаватель Д. С. Карпенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

В методических рекомендациях кратко изложены основные теоретические сведения, необходимые для проведения практических занятий по дисциплине «Анатомия и функциональные системы человека». Составлены в соответствии с учебной программой.

Учебное издание

АНАТОМИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

Ответственный за выпуск	А. В. Хомченко
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевнича

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2024

Содержание

1 Клетка и ткани. Биофизические процессы на клеточном и тканевом уровнях.....	4
2 Система кровообращения. Роль системы в биофизических и физиологических процессах организма.....	8
3 Структура органов дыхания. Биофизические процессы при дыхании.....	13
4 Структура системы пищеварения. Биохимические и физиологические процессы при пищеварении.....	17
5 Структура опорно-двигательной системы. Основные функции нижних, верхних конечностей, позвоночника.....	22
6 Щитовидная железа и ее роль в биологических процессах организма.....	26
7 Строение и функции вегетативной нервной системы. Мозолистое тело. Рефлекторная дуга.....	30
8 Система зрения. Передача и обработка зрительной информации. Система слуха. Передача и обработка аудиоинформации.....	32
9 Обонятельный и вкусовой анализаторы. Кожный анализатор.....	40
Список литературы.....	44

1 Клетка и ткани. Биофизические процессы на клеточном и тканевом уровнях

Основные теоретические сведения

Клетка – это основная структурно-функциональная единица живых организмов и элементарная биологическая система.

Классификация клеток (по типу развития):

- прокариоты (доядерные);
- эукариоты (ядерные).

Основные структуры и органеллы клетки:

- плазматическая мембрана (клеточная мембрана). Является полупроницаемым барьером, состоящим из белков (протеинов) и липидов, выполняет важную роль в реализации клеточных процессов (эндоцитоз, экзоцитоз, клеточная адгезия, клеточное движение, межклеточные взаимодействия и передача сигнала, транспорт веществ);

- цитоплазма – высокоупорядоченная коллоидная система (гиалоплазма) с находящимися в ней органеллами. Она пронизана элементами цитоскелета, способна к переходам из состояния золь в гель;

- цитоскелет. Цитоплазма эукариотов включает микрофиламенты, промежуточные филаменты и микротрубочки. Динамическая сеть цитоскелета обеспечивает движение клетки, поддержание формы, внутриклеточный транспорт, движение ресничек и жгутиков;

- митохондрия – органелла овальной формы. Состоит из двухслойной мембраны (первый слой – гладкий, второй слой имеет складки – кристы) и внутреннего пространства (матрикса), содержащего ДНК. Основная функция – синтез АТФ;

- ядро. Присутствует в эукариотических клетках, содержит ядрышки и хромосомы, окруженные ядерной оболочкой, которая пронизана отверстиями (порами). Через поры осуществляется обмен между ядром и цитоплазмой;

- хлоропласт – органелла растений, в которой осуществляется фотосинтез;

- рибосома – органелла клетки, осуществляющая биосинтез белка. Состоит из двух субъединиц – большой и малой;

- эндоплазматическая сеть (ЭПС) – система мелких вакуолей (пузырей, покрытых мембраной) и канальцев, соединенных друг с другом. Здесь происходит синтез углеводов, жиров (гладкая ЭПС) или белков (гранулярная ЭПС, гранулы – это рибосомы);

- пероксисомы – небольшие вакуоли на мембранах ЭПС. Играть роль в превращении жиров в углеводы, расщеплении перекиси водорода;

- комплекс Гольджи (пластинчатый комплекс). Включает в себя поляризованные органеллы и цистерны, окруженные мембраной, и систему вакуолей. Участвует в синтезе сложных белков (гликопротеинов, липопротеинов и др.) из простых, которые образуются в гранулярной ЭПС;

– лизосома – вакуоль в цитоплазме. Содержит гидролитические ферменты. Образуется в комплексе Гольджи. Функция лизосом – ферментативное расщепление попавших в них макромолекул и органелл.

Снаружи клетку окружает межклеточная жидкость. Она обеспечивает поддержание формы клетки, транспорт веществ и ионов. Основным компонентом является вода, содержащая комплекс различных гликопротеинов, глюкозаминогликанов, протеогликанов.

Основные функции клетки: проницаемость; транспорт ионов и веществ; биоэлектrogenез; рецепция; подвижность.

Строение клеточной мембраны. Плазматические мембраны представляют собой липопротеиновые структуры. Мембраны содержат *липиды* трех классов: фосфолипиды, гликолипиды и холестерол. Фосфолипиды и гликолипиды (липиды с присоединёнными к ним углеводами) состоят из двух длинных гидрофобных углеводородных «хвостов», которые связаны с заряженной гидрофильной «головкой». Благодаря гидрофобным взаимодействиям фосфолипиды спонтанно образуют бислой, разворачиваясь «хвостами» внутрь, а «головками» наружу. Холестерол придает мембране жесткость, занимая свободное пространство между гидрофобными хвостами липидов и не позволяя им изгибаться. Поэтому мембраны с малым содержанием холестерола более гибкие, а с большим – более жесткие и хрупкие.

Важную часть мембраны составляют белки, пронизывающие ее и отвечающие за разнообразные свойства мембран (структурные белки, переносчики, ферменты и др.). Они бывают поверхностные, полуинтегральные и интегральные. Их состав и ориентация в разных мембранах различаются.

Функции клеточных мембран:

- механическая – отделяют клеточное содержимое от внешней среды;
- барьерная – регуляция избирательной проницаемости веществ;
- генерация и проведение возбуждения;
- энергетическая – синтез АТФ (митохондрии, хлоропласты);
- матричная – ориентация и взаимодействие белков;
- адгезивная – обеспечивает межклеточные взаимодействия;
- двигательная – обеспечивает процесс движения клетки;
- секреторная – обеспечивает процесс экзо- и эндоцитоза;
- ферментативная – некоторые биохимические реакции протекают на самих мембранах;
- рецепторная – на мембранах располагаются рецепторные участки для распознавания гормонов и других внешних сигналов;
- компартментная – делит клетку на отсеки, предназначенные для разных биохимических реакций.

Ткани. Ткани – это совокупность клеток и межклеточного вещества, сходных по происхождению, строению и выполняемым функциям.

В организме человека выделяют четыре типа тканей: эпителиальная; соединительная; мышечная; нервная.

Свойства различных типов тканей.

Эпителиальная ткань (эпителий) образует слой клеток, из которых

состоят кожный покров тела, слизистые оболочки всех внутренних органов и полостей организма, некоторые железы. Через такую ткань происходит обмен веществ между организмом и окружающей средой. В эпителиальной ткани клетки очень близко прилегают друг к другу, межклеточного вещества мало.

Таким образом, создается препятствие для проникновения микроорганизмов, вредных веществ и надежная защита лежащих под эпителием тканей. В связи с тем, что эпителий постоянно подвергается разнообразным внешним воздействиям, его клетки погибают в больших количествах и заменяются новыми. Смена клеток происходит благодаря способности эпителиальных клеток к быстрому размножению.

Различают несколько видов эпителия – кожный, кишечный, дыхательный и др. К производным кожного эпителия относятся ногти и волосы.

Кишечный эпителий однослойный, он образует также железы. Например, поджелудочная железа, печень, слюнные, потовые железы и др. Выделяемые железами ферменты расщепляют питательные вещества. Продукты расщепления питательных веществ всасываются кишечным эпителием и попадают в кровь.

Дыхательные пути выстланы мерцательным эпителием. Его клетки имеют на поверхности подвижные реснички. С их помощью удаляются из организма попавшие с воздухом твердые частицы.

Соединительная ткань образует опорный каркас и наружные покровы всех органов. Основными функциями такой ткани являются питательная (трофическая), защитная и опорная. Особенностью соединительной ткани является сильное развитие межклеточного вещества. К соединительной ткани относятся кровь, лимфа, хрящевая, костная, жировая ткани.

Кровь и лимфа состоят из жидкого межклеточного вещества и плавающих в нем клеток крови. Эти ткани обеспечивают связь между организмами, перенося различные газы и вещества.

Волокнистая соединительная ткань состоит из клеток, связанных друг с другом межклеточным веществом в виде волокон. Волокна могут лежать плотно и рыхло. Волокнистая соединительная ткань имеется во всех органах.

На рыхлую соединительную ткань похожа и жировая ткань. Она богата клетками, которые наполнены жиром.

В хрящевой ткани клетки крупные, межклеточное вещество упругое, плотное, содержит эластические волокна. Хрящевой ткани много в суставах, между телами позвонков.

Костная ткань состоит из костных пластинок, внутри которых лежат клетки. Клетки соединены друг с другом многочисленными тонкими отростками. Костная ткань отличается твердостью.

Мышечная ткань состоит из миоцитов – клеток, которые могут воспринимать нервные импульсы и отвечать на них сокращением. В их цитоплазме находятся тончайшие нити, способные к сокращению.

Выделяют гладкую и поперечно-полосатую мышечную ткань.

Поперечно-полосатой ткань называется потому, что ее волокна имеют поперечную исчерченность, представляющую собой чередование светлых и

темных участков. Поперечно-полосатая мышечная ткань подразделяется на скелетную и сердечную.

Скелетная мышечная ткань состоит из волокон вытянутой формы, достигающих в длину 10...12 см. Сердечная мышечная ткань, так же как и скелетная, имеет поперечную исчерченность. Однако, в отличие от скелетной мышцы, здесь есть специальные участки, где мышечные волокна плотно смыкаются. Благодаря такому строению сокращение одного волокна быстро передается соседним. Это обеспечивает одновременность сокращения больших участков сердечной мышцы. Сокращение скелетных мышц обеспечивает движение тела в пространстве и перемещение одних частей по отношению к другим.

Гладкая мышечная ткань входит в состав стенок внутренних органов (желудок, кишечник, мочевого пузыря, кровеносные сосуды и др.). За счет гладких мышц происходит сокращение внутренних органов и изменение диаметра кровеносных сосудов.

Нервная ткань состоит из нервных клеток (нейронов) и межклеточного вещества (нейроглии). Нейрон состоит из тела и отростков. Тело нейрона может быть различной формы – овальной, звездчатой, многоугольной. Нейрон имеет одно ядро, располагающееся, как правило, в центре клетки. Большинство нейронов имеют короткие и толстые отростки (дендриты), передающие раздражение от рецепторов к телу клетки, и один длинный и тонкий отросток (аксон), который передает сигнал другой клетке. Аксоны нервных клеток образуют нервные волокна, часто аксон бывает покрыт миелиновой оболочкой.

Основными свойствами нейрона является способность возбуждаться и способность проводить это возбуждение по нервным волокнам. В нервной ткани эти свойства особенно хорошо выражены, хотя характерны также для мышц и желез. Возбуждение передается по аксону от тела нервной клетки к периферии и может передаваться связанным с ним другим нейронам или мышце, вызывая ее сокращение. Нервная ткань обеспечивает объединение функций всех остальных частей организма.

Задание

Ознакомиться с основными структурами и органеллами клетки. Изучить строение клеточной мембраны. Усвоить строение и свойства различных типов тканей.

Контрольные вопросы

- 1 Клетка как структурная и функциональная единица живого организма.
- 2 Классификация и функции клеток.
- 3 Основные структуры и органеллы клетки.
- 4 Строение клеточной мембраны.
- 5 Функции клеточных мембран.
- 6 Ткани – определение, типы тканей.
- 7 Эпителиальная ткань и ее виды.
- 8 Соединительная ткань и ее виды.

9 Мышечная ткань и ее виды.

10 Нервная ткань и ее строение.

2 Система кровообращения. Роль системы в биофизических и физиологических процессах организма

Основные теоретические сведения

Строение сердечно-сосудистой системы. Сердечно-сосудистая система включает сердце и кровеносные сосуды.

Выделяют два круга кровообращения:

1) малый круг кровообращения – кровь от сердца поступает к легким и обратно. Он обеспечивает внешнее дыхание (газообмен в легких);

2) большой круг кровообращения – кровь от сердца поступает ко всем другим частям тела. Он обеспечивает тканевое дыхание (газообмен в тканях).

Сосуды каждого круга кровообращения объединяют:

– артерии – это сосуды, по которым кровь движется от сердца. Они имеют большой диаметр и толстые эластичные стенки, выдерживающие высокое давление крови. От сердца отходят две крупные артерии: аорта – с нее начинается большой круг кровообращения и легочная артерия – с нее начинается малый круг кровообращения;

– артериолы – артерии делятся на более тонкие ветви, которые называются артериолами;

– капилляры – это самые мелкие кровеносные сосуды. Они соединяют артериолы с венулами. Благодаря очень тонкой стенке капилляров в них происходит поступление из крови в ткани кислорода и питательных веществ, а также выделение из тканей в кровь углекислого газа и других конечных продуктов метаболизма;

– венулы – это тонкие сосуды, соединяющие капилляры с венами;

– вены – это сосуды, по которым кровь движется обратно к сердцу. Они располагаются рядом с артериями, имеют более тонкие стенки, которые содержат меньше мышечной и эластичной ткани. Вены содержат клапаны, которые препятствуют обратному току крови.

Сердечный цикл. Сердце играет роль насоса, перекачивающего кровь. Последовательность работы сердечной мышцы называется сердечным циклом. Он состоит из трех фаз:

1) сокращение (систола) предсердий – длится около 0,1 с. При этом желудочки расслаблены, створчатые клапаны открыты, полулунные – закрыты. Кровь из предсердий поступает в желудочки;

2) сокращение (систола) желудочков – длится около 0,3 с. При этом предсердия расслаблены, створчатые клапаны закрыты, полулунные – открыты. Кровь из желудочков поступает в легочную артерию и аорту;

3) расслабление предсердий и желудочков (диастола) – длится около 0,4 с.

При этом створчатые клапаны открыты, полулунные – закрыты. Кровь из вен попадает в предсердия и частично стекает в желудочки. При оптимальном режиме сокращений сердца (при частоте сердечных сокращений 60...80 ударов в одну минуту) отдых длится дольше, чем работа. Например, при частоте сердечных сокращений 75 ударов в одну минуту предсердия работают 0,1 с и отдыхают 0,7 с, желудочки работают 0,3 с и отдыхают 0,5 с. При увеличении частоты сердечных сокращений (тахикардии) длительность систолы предсердий и желудочков остается прежней, а продолжительность отдыха (диастолы) укорачивается.

Объемы крови левого желудочка. Левый желудочек обеспечивает поступление крови в большой круг кровообращения. Недостаточная его работа уменьшает доставку кислорода и питательных веществ к органам и тканям. В тканях существует резерв питательных веществ, поэтому лимитирующим звеном будет являться именно доставка кислорода.

Количество крови, которое выбрасывается левым желудочком за одно сокращение (ударный объем), составляет у взрослого человека 60...90 мл. В покое ударный объем составляет в норме $1/3...1/2$ от общего количества крови, содержащейся в левом желудочке к концу диастолы (65...130 мл). Оставшийся в сердце после систолы резервный объем крови (40...60 мл) является депо, обеспечивающим увеличение сердечного выброса при экстренных ситуациях (например, при физической нагрузке, эмоциональном стрессе и др.).

Фракция выброса (в норме составляет 55 %...60 %) показывает, какой объем крови выбрасывает левый желудочек сердца за время систолы относительно ее общего количества в левом желудочке в период диастолы. Снижение данного показателя свидетельствует о развитии сердечной недостаточности, т. е. о том, что сердце неэффективно перекачивает кровь.

Параметры, определяющие сокращение скелетной мышцы:

- преднагрузка – сила, растягивающая мышцу, находящуюся в состоянии покоя;
- сократимость – сила мышечного сокращения при постоянной пред- и постнагрузке;
- постнагрузка – груз, который может поднять мышца во время сокращения;
- растяжимость – длина, на которую преднагрузка растягивает мышцу.

Преднагрузка сердца – это мера напряжения стенки левого желудочка в конце диастолы. Непрямыми (косвенными) показателями преднагрузки служат центральное венозное давление, давление заклинивания легочной артерии и давление в левом предсердии. Конечного-диастолический объем левого желудочка и конечного-диастолическое давление в левом желудочке считаются более точными показателями преднагрузки. Увеличение преднагрузки сердца ведет к застою крови в венозном русле и развитию отеков.

Сократимость сердца – это мера силы сокращения миокардиальных волокон при определенных пред- и постнагрузке.

Среднее артериальное давление и сердечный выброс часто используются

как непрямые показатели сократимости.

Сердечный выброс CB , или минутный объем крови, или перфузия, – количество крови, перекачиваемое сердцем за одну минуту (5...6 л/мин). Рассчитывается по формуле

$$CB = УО \cdot ЧСС,$$

где $УО$ – ударный объем, $УО = 60...90$ мл;

$ЧСС$ – частота сердечных сокращений, $ЧСС = 60...80$ уд./мин.

Комплаинс – это мера растяжимости стенки левого желудочка во время диастолы: сильный, гипертрофированный левый желудочек может характеризоваться низким комплаинсом.

Сердечный индекс $СИ$ – это сердечный выброс с коррекцией на размеры пациента (на площадь поверхности тела). Он составляет 2,0...4,4 л/(мин·м²) и рассчитывается по формуле

$$СИ = CB / ППТ,$$

где $ППТ$ – площадь поверхности тела (в норме у взрослого человека $ППТ = 2...2,2$ м²).

Закон Франка – Старлинга (основной закон сердца). При повышении кровенаполнения сердца в диастолу и при увеличении растяжения мышцы сердца сила сердечных сокращений возрастает.

Постнагрузка сердца – это мера напряжения стенки левого желудочка во время систолы. Она определяется преднагрузкой и сопротивлением при сокращении сердца. Как не прямой показатель постнагрузки часто используется определение общего периферического сосудистого сопротивления, которое отражает степень сужения периферических кровеносных сосудов.

Увеличение постнагрузки сердца ведет к сужению периферических кровеносных сосудов и нарушению кровотока в органах и тканях.

Режимы течения крови:

– ламинарное течение – это упорядоченное движение крови, при котором она перемещается параллельными слоями ($Re < 1000$);

– турбулентное течение – движение крови, при котором происходит интенсивное перемешивание между слоями ($Re > 1000$);

– переходное течение – завихрения происходят в местах разветвления кровеносных сосудов ($Re \approx 1000$).

Характер потока крови в сосудах, подобно потоку газа в дыхательных путях, определяет число Рейнольдса, которое определяется по формуле

$$Re = (2 r / \eta) \cdot v \cdot \rho,$$

где Re – число Рейнольдса;

r – радиус сосуда;

v – скорость течения крови, средняя по поперечному сечению;

ρ – плотность;

η – динамическая вязкость. Кинетическая вязкость $\nu = \eta / \rho$.

В кровеносной системе человека в основном наблюдается ламинарное течение крови. Турбулентное течение крови чаще всего обусловлено патологическим сужением кровеносного сосуда.

Объемная скорость кровотока Q – это объем жидкости, протекающий в единицу времени:

$$Q = V / t,$$

где V – объем;

t – время.

Линейная скорость кровотока v – это путь, проходимый частицами крови в единицу времени:

$$v = l / t,$$

где l – расстояние;

t – время.

Взаимосвязь между объемной и линейной скоростью кровотока

$$Q = v \cdot S,$$

где S – площадь поперечного сечения потока жидкости.

Условие неразрывности струи. В любом сечении сердечно-сосудистой системы объемная скорость кровотока одинаковая (так формулируется в гидродинамике закон сохранения массы):

$$Q = v \cdot S = \text{const.}$$

Отсюда следует, что линейная скорость кровотока максимальная в аорте (она представлена одним сосудом, площадь поперечного сечения наименьшая) и минимальная в капиллярах (они имеют наибольшую суммарную площадь).

Артериальное давление. В крупных и средних артериях давление неодинаково в систолу и диастолу. Различают:

– систолическое (максимальное) артериальное давление P_c – в норме 100...140 мм рт. ст.;

– диастолическое (минимальное) артериальное давление P_d – в норме 60...80 мм рт. ст.;

– пульсовое артериальное давление P_n – разность между систолическим и диастолическим давлениями:

$$P_n = P_c - P_d;$$

– среднее артериальное давление – среднее давление в артерии за время сердечного цикла – в норме 70...100 мм рт. ст. Поскольку систола составляет около 1/3 сердечного цикла, среднее артериальное давление P_{cp} определяется по формуле

$$P_{cp} \approx P_d + P_n / 3.$$

Артериальное давление зависит от объемной скорости кровотока (она

определяется объемом циркулирующей крови и сократительной способностью миокарда) и общего периферического сосудистого сопротивления (особенно влияет такой компонент, как радиус сосуда).

Периферическое сосудистое сопротивление неодинаково для сосудов большого и малого круга кровообращения.

Легочное сосудистое сопротивление LCC определяется по формуле

$$LCC = (ДЛА - ДЛП) / СВ,$$

где $ДЛА$ – среднее давление в легочной артерии;

$ДЛП$ – среднее давление в левом предсердии;

$СВ$ – сердечный выброс.

Общее периферическое сопротивление сосудов в большом круге кровообращения $ОПСС$ вычисляется по формуле

$$ОПСС = (САД - ДПП) / СВ,$$

где $САД$ – среднее системное артериальное давление;

$ДПП$ – среднее давление в правом предсердии;

$СВ$ – сердечный выброс.

Гидравлическое сопротивление неодинаково для разных отделов кровеносного русла. Максимальное сопротивление кровотоку отмечается в артериолах. Благодаря изменению мышечного тонуса артериол организм способен регулировать кровоток в различных органах.

Задание

Изучить строение сердечно-сосудистой системы. Ознакомиться с последовательностью работы сердечной мышцы. Проработать такие понятия, как преднагрузка, постнагрузка и сократимость сердца, артериальное давление, периферическое сосудистое сопротивление.

Контрольные вопросы

- 1 Строение сердечно-сосудистой системы.
- 2 Сердечный цикл.
- 3 Объемы крови левого желудочка.
- 4 Преднагрузка сердца и параметры, ее определяющие. Увеличение преднагрузки.
- 5 Сократимость сердца. Сердечный выброс и сердечный индекс. Закон Франка – Старлинга.
- 6 Постнагрузка сердца. Общее периферическое сосудистое сопротивление, легочное сосудистое сопротивление, их увеличение.
- 7 Поток крови (ламинарный, переходный, турбулентный). Число Рейнольдса.
- 8 Объемная и линейная скорость кровотока. Условие неразрывности струи.
- 9 Артериальное давление и параметры, его определяющие. Систолическое, диастолическое, среднее и пульсовое давление.

3 Структура органов дыхания. Биофизические процессы при дыхании

Основные теоретические сведения

Строение дыхательных путей. Выделяют верхние и нижние дыхательные пути. Верхние дыхательные пути включают полость носа (либо полость рта), глотку и верхнюю часть гортани (до голосовых связок). Границей между верхними и нижними дыхательными путями являются голосовые связки (они расположены в гортани). Нижние дыхательные пути (или трахеобронхиальное дерево) включают нижнюю часть гортани, трахею, бронхи и заканчиваются альвеолами. Альвеолы (или легочные пузырьки) изнутри покрыты веществом, которое называется сурфактант. В альвеолах происходит газообмен.

Дыханием называют процесс газообмена между живым организмом и окружающей средой. У человека газообмен состоит из трех фаз:

- 1) внешнего дыхания (газообмен в легких);
- 2) транспорта газов кровью;
- 3) внутреннего (тканевого) дыхания.

Функции системы внешнего дыхания:

- 1) движение газовой смеси по дыхательным путям между атмосферой и альвеолами во время вдоха и выдоха;
- 2) газообмен между альвеолами и легочными капиллярами, включающий диффузию кислорода из альвеол в кровь и его связывание с гемоглобином, а также удаление растворенного в крови углекислого газа в альвеолы;
- 3) транспорт кислорода к тканям, а углекислого газа к легким.

Функции легочного сурфактанта:

- 1) снижение поверхностного натяжения альвеол (стабилизация альвеолярного объема);
- 2) профилактика спадения альвеол в конце выдоха (поддержание функциональной остаточной емкости легких);
- 3) поддержание достаточной площади газообмена;
- 4) механическая защита альвеолярного эпителия;
- 5) профилактика проникновения паров воды из альвеолярного воздуха в легочные капилляры.

Гипоксия – пониженное содержание кислорода в органах и тканях.

Виды гипоксии:

- 1) гипоксическая гипоксия – результат снижения поступления кислорода из легких;
- 2) гемическая гипоксия – результат снижения кислородной емкости крови;
- 3) циркуляторная гипоксия – результат выраженных нарушений кровообращения;
- 4) гистотоксическая гипоксия – результат нарушения восприятия кислорода тканями.

Механика дыхания. Вдох: в дыхательном центре, расположенном в про-

долговатом мозге, возникают нервные импульсы, которые поступают к дыхательным мышцам (диафрагме и наружным межреберным мышцам). При сокращении диафрагмы она уплощается и опускается вниз, грудная полость при этом увеличивается сверху вниз.

Сокращение наружных межреберных мышц поднимает ребра и отодвигает их в сторону, а грудину – вперед. Грудная клетка при этом расширяется в поперечном и переднезаднем направлениях. При расширении грудной полости в трех направлениях легкие расширяются пассивно за счет разности давлений атмосферного и внутригрудного. Согласно закону Бойля – Мариотта ($p \cdot V = \text{const}$), увеличение объема легких сопровождается понижением давления внутри них.

Оно становится ниже атмосферного (на 4...6 мм рт. ст.), и воздух засасывается в альвеолы.

Выдох осуществляется в результате расслабления дыхательных мышц.

Грудная клетка под действием силы тяжести опускается и возвращается в исходное положение. Расслабившаяся диафрагма под давлением органов брюшной полости поднимается вверх и принимает форму купола. Уменьшение легочного объема по закону Бойля – Мариотта ($p \cdot V = \text{const}$) вызывает увеличение внутрилегочного давления. Воздух выходит из легких наружу.

Движение воздуха по дыхательным путям. Все дыхательные пути в совокупности составляют разветвленную дыхательную трубку. При движении сплошного потока воздуха по воздухоносным путям выполняется условие неразрывности струи: объёмная скорость воздушного потока одинакова во всех ее суммарных поперечных сечениях (на уровне каждой генерации).

$$\tilde{V} = V / t = \text{const},$$

где \tilde{V} – объёмная скорость воздушного потока;
 V – объем газа;
 t – время.

Между объёмной и линейной скоростями воздушного потока установлена зависимость

$$\tilde{V} = v \cdot S,$$

где v – линейная скорость воздушного потока;
 S – площадь суммарного сечения данной генерации бронхов.

Отсюда следует, что линейная скорость воздушного потока неодинакова и уменьшается по мере разветвления дыхательных путей – наибольшая в трахее и наименьшая в альвеолах.

Поток газа по дыхательным путям бывает:

- ламинарный – послойное поступательное движение газа с различной скоростью, скорость более высока в центре ($Re < 2000$);
- переходный – характеризуется завихрениями, возникающими в местах разветвления трубки ($Re = 2000...4000$);
- турбулентный – хаотичное движение молекул газа вдоль трубки

($Re > 4000$).

Характер потока газа определяет число Рейнольдса Re , которое можно рассчитать по формуле

$$Re = (2r / \eta) \cdot v \cdot D,$$

где v – линейная скорость воздушного потока;

D – плотность газа;

η – вязкость газа;

r – радиус бронха.

Легочные объемы. При спокойном дыхании за один вдох в легкие входит 0,3...0,5 л воздуха (дыхательный объем). При самом глубоком дыхании дыхательный объем может достигать 3...5 л (жизненная емкость легких). Но и тогда после выдоха в легких остается более 1 л воздуха (остаточный объем). Легочные объемы и их нормальные величины для взрослого человека представлены на рисунке 3.1.

Общая емкость легких (4,5...6,0 л)	Жизненная емкость легких (60...70 мл/кг)	Резервный объем вдоха (2,0...2,5 л)	Емкость вдоха (3,0...3,5 л)
		Дыхательный объем (7...9 мл/кг)	
	Остаточный объем (1,0...1,5 л)	Резервный объем выдоха (1,0...1,5 л)	Функциональная остаточная емкость (2,5...3,5 л)

Рисунок 3.1 – Легочные емкости и объемы

Минутный объем дыхания V_E – это количество воздуха, вдыхаемого или выдыхаемого в течение одной минуты. V_E в покое у взрослого человека составляет в среднем от 3 до 8 л/мин. При интенсивной физической нагрузке или при увеличении основного обмена он может достигать 30 л/мин. Минутный объем дыхания рассчитывается по формуле

$$V_E = f \cdot V_t,$$

где f – частота дыхания;

V_t – дыхательный объем.

Анатомическое мертвое пространство V_D – это объем газа в дыхательных путях, который не участвует в газообмене. Это тот объем, который содержится в верхних и нижних дыхательных путях (носоглотка, гортань, трахея, бронхи) и не достигает альвеол. У взрослого человека V_D составляет 2...2,2 мл/кг. Например, у человека весом 70 кг $V_D \approx 150$ мл. Физиологическое мертвое пространство представляет собой сумму анатомического мертвого пространства и альвеолярного мертвого пространства (т. е. объема альвеол, в которых не происходит газообмен).

Минутный объем альвеолярной вентиляции V_A – это количество воздуха,

вдыхаемого или выдыхаемого в течение одной минуты, которое достигает альвеол. Другими словами, минутный объем альвеолярной вентиляции – та часть V_E , которая участвует в газообмене. Минутная альвеолярная вентиляция рассчитывается по формуле

$$V_A = f \cdot (V_t - V_D),$$

где f – частота дыхания;

V_D – объем мертвого пространства.

Соотношение вентиляции и перфузии. Минутная альвеолярная вентиляция в норме у взрослого человека составляет 4...4,5 л/мин. Минутный объем крови, или перфузия Q , – количество крови, перекачиваемое сердцем за одну минуту, в норме у взрослого человека составляет 5...6 л/мин.

Газообмен зависит не столько от абсолютных величин альвеолярной вентиляции и перфузии, сколько от их отношения V_A/Q , которое в норме составляет 0,8...0,85. Различают следующие варианты соотношения вентиляции и перфузии:

– соотношение V_A/Q в норме (0,8...0,85);

– соотношение V_A/Q ниже нормы ($< 0,8$) – вызвано преимущественным снижением альвеолярной вентиляции (появлением невентилируемых альвеол).

При значительных нарушениях вентиляции происходит увеличение физиологического мертвого пространства.

Компенсаторной реакцией организма в данной ситуации является рефлекс Эйлера – Лилиестранда – сужение кровеносных сосудов легких в тех зонах, где имеются невентилируемые альвеолы. Он позволяет уменьшить венозное шунтирование;

– соотношение V_A/Q выше нормы ($> 0,85$) – вызвано преобладанием вентиляции над перфузией (появлением альвеол, в которых не происходит газообмен, т. к. они не кровоснабжаются). При значительных нарушениях перфузии также происходит увеличение физиологического мертвого пространства.

Работа дыхания. В покое совершается наружными межреберными мышцами и диафрагмой во время вдоха и описывается уравнением

$$W = P \cdot \Delta V,$$

где W – работа;

P – давление;

ΔV – изменение объема (дыхательный объем).

Энергия дыхательной мускулатуры расходуется:

– 70 % на преодоление эластического сопротивления легких (из них половина этой энергии накапливается в эластических структурах, что позволяет преодолеть сопротивление дыхательных путей на выдохе);

– 30 % на преодоление сопротивления дыхательных путей на вдохе.

Увеличение сопротивления вдоху или выдоху компенсируется дополнительной работой дыхательных мышц. Снижение растяжимости легких приводит к развитию частого и поверхностного дыхания с целью минимизации работы дыхания, однако это уменьшает минутную альвеолярную вентиляцию.

При увеличении частоты дыхания выдох укорочен, для форсированного преодоления сопротивления дыхательных путей в работу включаются резервные мышцы выдоха (внутренние межреберные мышцы).

Задание

Изучить строение дыхательных путей и функции системы внешнего дыхания. Ознакомиться с механикой дыхания и движения воздуха по дыхательным путям. Изучить легочные объемы. Проработать понятие анатомического и физиологического мертвого пространства.

Контрольные вопросы

- 1 Строение дыхательных путей.
- 2 Функции системы внешнего дыхания и легочного сурфактанта.
- 3 Понятие гипоксии, виды гипоксии.
- 4 Механика дыхания. Закон Бойля – Мариотта. Легочные объемы.
- 5 Поток газа (ламинарный и турбулентный). Число Рейнольдса.
- 6 Объемная и линейная скорость газотока.
- 7 Анатомическое и физиологическое мертвое пространство. Минутная альвеолярная вентиляция.
- 8 Соотношение вентиляции и перфузии в норме и при патологии. Рефлекс Эйлера – Лилюстранда.
- 9 Работа дыхания.

4 Структура системы пищеварения. Биохимические и физиологические процессы при пищеварении

Основные теоретические сведения

Основные части желудочно-кишечного тракта (ЖКТ):

- ротовая полость;
- глотка;
- пищевод;
- желудок;
- тонкий кишечник;
- толстый кишечник;
- поджелудочная железа;
- печень.

Основные функции желудочно-кишечного тракта:

- потребление пищи;
- переваривание – под действием пищеварительных ферментов белки расщепляются до аминокислот, жиры – до глицерина и жирных кислот, углеводы – до глюкозы (и других моносахаридов);

- продвижение по ЖКТ – осуществляется мускулатурой пищеварительного тракта;
- всасывание – осуществляется ворсинками кишечника;
- секреция – выработка железистыми клетками пищеварительных соков: слюны, желудочного, поджелудочного, кишечного соков и желчи;
- реабсорбция – обратное всасывание жидкости из ЖКТ;
- удаление непереваренных остатков.

Ротовая полость. Зубы и язык осуществляют механическое измельчение пищи и формирование пищевого комка. Язык также является органом вкуса. Слюнные железы – это экзокринные железы, выделяющие в полость рта секреты, называемые слюной. Различают малые и большие слюнные железы. Малые слюнные железы расположены в слизистой оболочке полости рта и классифицируются по их местоположению (губные, щёчные, молярные, язычные и нёбные) или по характеру выделяемого секрета (серозные, слизистые и смешанные). Большими слюнными железами называют выделяющиеся своими размерами три пары слюнных желёз: околоушные железы, подчелюстные железы, подъязычные железы. Протоки всех желез имеют выход в ротовую полость.

Состав слюны: вода, минеральные соли, муцин (формирует и склеивает пищевой комок), лизоцим (бактерицидный агент), фермент амилаза (расщепляет углеводы) и др. Слюна имеет слабощелочную реакцию. Основные функции слюны: смачивание измельченной пищи и подготовка пищевого комка к проглатыванию; начальный гидролиз углеводов амилазой слюны; нейтрализация соляной кислоты, которая может забрасываться из желудка; защитное (бактерицидное) действие.

Глотка. Находится на перекрестке пищеварительных и дыхательных путей. Она соединяет полость носа и рта с одной стороны и пищевод и гортань с другой стороны. Функции глотки: продвижение пищевого комка из полости рта в пищевод, проведение воздуха из полости носа (или рта) в гортань.

Глотательный рефлекс обеспечивает изоляцию дыхательных путей во время глотания. При этом мягкое небо оттягивается кверху и прикрывает доступ к носовой полости, а надгортанник опускается и закрывает вход в гортань. Пищевой комок проталкивается по направлению к пищеводу.

Пищевод. Соединяет глотку и желудок. В верхней части пищевод образован поперечно-полосатыми мышечными волокнами. В нижней части – гладкими мышечными волокнами. На входе в пищевод расположен верхний пищеводный сфинктер, на выходе – нижний пищеводный сфинктер. Функция пищевода – транспортировка пищевого комка.

Желудок. Отделы желудка:

- 1) дно – куполообразная верхняя часть;
- 2) тело – представляет собой основную область органа, расположено между дном и антральным отделом;
- 3) антральная часть – расположена в нижних отделах на выходе из желудка;
- 4) пилорическая часть – содержит сфинктер выхода из желудка.

Функции желудка: накопительная, ферментативный гидролиз белков и частично жиров, образование химуса.

В области дна и тела желудка располагаются железы, они образованы тремя типами клеток:

1) главные клетки вырабатывают ферменты пепсин, химозин (осуществляют переваривание белков) и фермент липазу (переваривает эмульгированные жиры, например жиры молока);

2) обкладочные (париетальные) клетки производят соляную кислоту, которая необходима для нейтрализации бактерий и денатурации белков;

3) добавочные (мукоидные) клетки выделяют слизь и бикарбонаты, которые нужны для защиты слизистой оболочки желудка.

Пища находится в желудке от 6 до 10 ч. Содержимое желудка переходит через пилорическую часть только тогда, когда его консистенция становится жидкой или полужидкой (химус).

Тонкий кишечник. Имеет длину от 1,7 до 4 м и состоит из трех отделов: двенадцатиперстной, тощей и подвздошной кишки. Функции тонкого кишечника: переваривание; транспортировка химуса; всасывание питательных веществ.

Двенадцатиперстная кишка (ДПК). Начинается сразу же за пилорическим сфинктером, имеет форму подковы, которая огибает поджелудочную железу. Длина ее составляет около 25 см (12 пальцев), но при этом она является центральным отделом ЖКТ. В процессе пищеварения в двенадцатиперстной кишке участвуют панкреатический (поджелудочный) сок, желчь и кишечный сок, которые имеют щелочную реакцию.

Поджелудочная железа. Располагается позади желудка в забрюшинном пространстве на уровне эпигастрия и левого подреберья. Является железой смешанной секреции:

– внешнесекреторная функция – выработка панкреатического сока;

– внутрисекреторная функция – выработка гормонов инсулина, глюкагона и др.

Панкреатический сок выделяется в просвет ДПК. В состав его входят: протеолитические ферменты (трипсин, химотрипсин) – осуществляют расщепление белков; амилитические ферменты (амилаза и др.) – расщепляют углеводы; липолитические (липаза и др.) – расщепляют эмульгированные жиры; бикарбонаты – нейтрализуют соляную кислоту желудка; неорганические вещества.

Желчь и ее роль в пищеварении. Желчь – это продукт секреции клеток печени, представляет собой жидкость золотисто-желтого цвета, имеет щелочную реакцию. Желчь концентрируется и депонируется в желчном пузыре, освобождается из него при сокращении и поступает в ДПК. Состав: вода; желчные кислоты; желчные пигменты (билирубин – результат деградации гемоглобина); холестерин и др.

Функции желчи: повышает активность ферментов панкреатического сока, прежде всего липазы; желчные кислоты эмульгируют нейтральные жиры (эмульгирование – смешивание жира с водой, в результате этого процесса

крупные капли жира распадаются на множество мелких); усиливает сокоотделение поджелудочной железы; обеспечивает всасывание жирных кислот и жирорастворимых витаминов А, D, Е и К; стимулирует перистальтику кишечника; оказывает бактериостатическое действие на кишечную флору.

Пищеварение в тощей и подвздошной кишке. Стенка тонкого кишечника, как и желудка, состоит из четырех слоев:

- 1) слизистая оболочка (внутренний слой);
- 2) подслизистый слой (средний);
- 3) мышечный слой (наружный слой);
- 4) серозная оболочка (самый наружный слой).

Строение слизистой оболочки тонкого кишечника (щеточная кайма): циркулярные складки; ворсинки – пальцевидные выпячивания слизистой оболочки, содержащие кровеносные и лимфатические капилляры; кишечные железы (крипты), выделяющие кишечный сок (включает в себя ферменты, обеспечивающие конечные стадии переваривания всех пищевых веществ: энтерокиназу, пептидазы, щелочную фосфатазу, нуклеазу, липазу, фосфолипазу, амилазу, лактазу, сахаразу). Благодаря этим структурам увеличивается переваривающая и всасывающая поверхность кишечника.

Полостное пищеварение в тонкой кишке осуществляется за счет пищеварительных секретов (панкреатический сок, желчь, кишечный сок). В результате расщепляются крупномолекулярные вещества и образуются в основном олигомеры. Последующий их распад происходит в зоне, прилегающей к слизистой оболочке, и непосредственно на ее поверхности (мембранное пищеварение).

Всасывание в кишечнике. Основной процесс всасывания происходит в тонком кишечнике. Углеводы всасываются в кровь в виде глюкозы и частично в виде других моносахаридов. Белки всасываются в кровь в виде аминокислот и простых пептидов. Аминокислоты и моносахариды по системе воротной вены доставляются в печень, где участвуют в метаболизме. Нейтральные жиры расщепляются до глицерина и жирных кислот. Эмульгированные жиры при всасывании попадают в лимфатические сосуды. Клетками кишечника из глицерина и жирных кислот синтезируются и секретируются в лимфатические сосуды хиломикроны (смесь жиров с холестерином, покрытые белком). Вода, минеральные соли, витамины всасываются в кровь на всем протяжении тонкого кишечника и в толстом кишечнике.

Толстый кишечник составляет в длину около 1,5 м и состоит из шести отделов: слепая кишка с аппендиксом; восходящая ободочная кишка; поперечная ободочная кишка; нисходящая ободочная кишка; сигмовидная кишка; прямая кишка.

Толстую кишку от подвздошной отделяет специальный илеоцекальный клапан. Здесь происходит всасывание в кровь воды, электролитов, некоторых витаминов и формирование твердых каловых масс. Около 95 % поступившего из тонкой кишки химуса всасывается обратно в кровоток. В толстой кишке обитает полезная микрофлора. Она препятствует размножению патогенной микрофлоры и вырабатывает некоторые витамины и аминокислоты. Прямая

кишка содержит произвольно контролируемый сфинктер, который служит для выведения непереваренных остатков.

Особенности кровоснабжения ЖКТ. Основными артериями, снабжающими ЖКТ, являются чревная артерия (кровообращает желудок, часть двенадцатиперстной кишки, часть поджелудочной железы и печень), верхняя брыжеечная артерия (снабжает кровью часть поджелудочной железы и ДПК, тощую, подвздошную и 2/3 поперечно-ободочной кишки) и нижняя брыжеечная артерия (кровообращает 1/3 поперечно-ободочной кишки, сигмовидную и прямую кишку). Венозный отток от желудка, из поджелудочной железы, кишечника происходит в воротную вену, которая впадает в «ворота» печени. В печени происходит обезвреживание различных чужеродных веществ (ксенобиотиков), аллергенов, ядов и токсинов путем превращения их в безвредные, менее токсичные или легче удаляемые из организма соединения.

Печень – это самая большая железа организма. Она расположена в брюшной полости под диафрагмой в районе правого подреберья. Функции печени:

1) детоксикация – как упоминалось, в печени происходит обезвреживание различных токсинов и чужеродных веществ, после чего продукты их распада выводятся почками;

2) метаболизм – расщепление белков до аминокислот, синтез животного крахмала (гликогена), жировой обмен, обмен витаминов и гормонов; хранение запасов – гликогена, жирорастворимых витаминов А и D, водорастворимого витамина В12, ионов железа, меди и кобальта; продукция и секреция желчи.

Реабсорбция – обратное всасывание жидкости из ЖКТ.

Поступление жидкости в ЖКТ составляет 9 л/сут: 2 л/сут – с едой и питьем; 1,5 л/сут – с выделяющейся слюной; 2 л/сут – желудочный сок; 0,5 л/сут – желчь; 1,5 л/сут – панкреатический сок; 1,5 л/сут – кишечный сок.

Удаление жидкости из ЖКТ: 7,5 л/сут – всасывание в тонком кишечнике; 1,4 л/сут – всасывание в толстом кишечнике; 0,1 л/сут – выделение с фекалиями.

Задание

Изучить основные части и функции желудочно-кишечного тракта. Ознакомиться с процессами пищеварения в ротовой полости, желудке, двенадцатиперстной кишке, тонком и толстом кишечнике. Изучить роль печени и поджелудочной железы.

Контрольные вопросы

- 1 Основные функции желудочно-кишечного тракта.
- 2 Ротовая полость (язык, зубы, три пары слюнных желез).
- 3 Строение и функции глотки и пищевода.
- 4 Желудок (строение и функции, железы желудка).
- 5 Пищеварение в двенадцатиперстной кишке.
- 6 Поджелудочная железа: расположение и внешнесекреторная функция.
- 7 Переваривание и всасывание в тонком кишечнике.

8 Толстый кишечник (строение и функции), реабсорбция.

9 Роль печени в пищеварении, выделение желчи.

5 Структура опорно-двигательной системы. Основные функции нижних, верхних конечностей, позвоночника

Основные теоретические сведения

Опорно-двигательная система образована скелетом и мышцами.

Скелет – это совокупность костей, хрящевой ткани и укрепляющих их связок. Скелет человека составляет основу тела, определяет его размеры и форму и совместно с мышцами образует полости, в которых располагаются внутренние органы. Скелет состоит примерно из 200 костей. Кости выполняют функцию рычагов, приводимых в движение мышцами, и защищают органы от травм.

Скелет человека включает шесть отделов:

- 1) череп;
- 2) позвоночник;
- 3) пояс верхних конечностей;
- 4) пояс нижних конечностей;
- 5) свободные верхние конечности;
- 6) свободные нижние конечности;

Состав и строение костей. В состав костной ткани входят неорганические и органические вещества. Эластичность кости придает органическое вещество коллаген, а твердость – минеральные соли. Кости участвуют в обмене фосфора и кальция. Снаружи кости покрыты надкостницей, обеспечивающей питание и рост костей в толщину.

Компактное вещество кости образовано микроскопическими ячейками и каналцами, по которым из надкостницы в кость проникают многочисленные кровеносные сосуды и нервы.

Различают четыре вида костей:

- 1) трубчатые;
- 2) губчатые;
- 3) плоские;
- 4) смешанные.

Трубчатые кости (плечевая, бедренная) имеют вид трубки с полостью, заполненной желтым костным мозгом. Концы этих костей утолщены и заполнены губчатой тканью, содержащей красный костный мозг. Трубчатые кости способны выдерживать большие нагрузки. Плоские кости (лопатки, ребра, тазовые, черепные) состоят из двух пластинок плотного вещества и тонкой прослойки губчатого вещества между ними.

Соединения костей. Подвижное соединение костей обеспечивается суставами. Они образованы впадиной на конце одной из сочленяющихся костей и головкой на конце другой. Суставы укреплены внутрисуставными связками, а

суставные поверхности покрыты хрящом и заключены в суставную сумку. Синовиальная жидкость, находящаяся внутри сустава, играет роль смазки, уменьшающей трение.

Полуподвижное соединение обеспечивается хрящевыми прослойками между костями. Например, между позвонками находятся хрящевые диски. Ребра с грудиной соединяются тоже посредством хряща. Эти соединения обеспечивают относительную подвижность.

Неподвижные соединения образуются благодаря срастанию костей и образованию костных швов (кости черепа).

Мышца – это орган, состоящий из ткани, способной сокращаться под влиянием нервных импульсов и обеспечивающей функцию движения.

В организме человека существует три типа мышц:

1) поперечно-полосатые скелетные – прикрепляются к костям скелета при помощи сухожилий, отвечают за произвольные движения, их характерным признаком являются поперечная исчерченность;

2) гладкие – расположены в желудочно-кишечном тракте, кровеносных сосудах и других органах, сокращаются непроизвольно, у них отсутствует исчерченность;

3) поперечно-полосатая сердечная – находится в сердце, сокращается ритмично под действием собственных импульсов (также оказывает влияние вегетативная нервная система), имеет поперечную исчерченность.

Свойства мышечной ткани: возбудимость; сократимость; проводимость; эластичность.

Строение мышц. Скелетные мышцы имеют головку, брюшко и хвост. Прикрепляясь с помощью сухожилий головкой к одной кости, а хвостом к другой кости во время своего сокращения мышцы обеспечивают движение в суставе, соединяющем эти кости. Микроскопическое строение мышц: поперечно-полосатые мышцы состоят из мышечных пучков, которые содержат большое количество мышечных волокон, а те, в свою очередь, складываются из множества миофибрилл.

Миофибрилла – это структурная единица мышечного волокна, представляющая собой особым образом организованные пучки белков, располагающиеся вдоль клетки. Миофибриллы построены из белковых нитей (микрофиламентов) двух типов – тонких (актиновых) и толстых (миозиновых). Элементарной сократительной единицей миофибриллы является саркомер – участок миофибриллы между двумя Z-пластинами (т. е. миофибрилла состоит из множества саркомеров).

Строение саркомера. Толстые (миозиновые) нити расположены в центре между двумя Z-пластинами и серединой прикреплены к так называемой M-пластине. Тонкие (актиновые) нити проходят между толстыми и прикрепляются с обеих сторон к Z-пластинам. Миозиновые нити имеют множество «головок», которые могут соединяться с актиновыми нитями. В цитоплазме мышечной клетки (саркоплазме) находится весь набор типичных для любой клетки органоидов. Особо следует подчеркнуть наличие:

– саркоплазматического ретикулула (это эндоплазматическая сеть, содер-

жащая ионы Ca^{2+});

- миоглобина (кислородосвязывающий белок мышц, функция которого заключается в создании кислородного резерва);
- большого количества митохондрий (необходимы для синтеза энергии АТФ).

Механизм мышечного сокращения. В основе сокращения мышцы лежит укорочение отдельных ее саркомеров, которое обусловлено скольжением тонких актиновых нитей вдоль толстых миозиновых по направлению к центру саркомера. Длина саркомера в покоей мышце – около 2 мкм, а в сократившейся с максимальной силой – несколько более 1 мкм.

Активация мышечной клетки начинается с деполяризации его мембраны. В результате этого из цистерн Т-системы (специфических элементов саркоплазматического ретикулула) в саркоплазму начинают выходить ионы Ca^{2+} . Они открывают активные центры на актиновой нити. Благодаря этому к нити актина присоединяются «головки» миозина, которые делают «гребок». В результате множества таких движений нити актина и миозина скользят друг относительно друга, и саркомер укорачивается. Донором энергии для этих «гребков» является АТФ (предполагается, что АТФ расщепляется миозином уже после «гребка», давая таким образом энергию для разделения актомиозинового комплекса).

Передача потенциала действия через синапс.

Нервно-мышечный синапс (рисунок 5.1) включает в себя аксон двигательной нервной клетки (мотонейрона), который содержит пузырьки с медиатором (ацетилхолином) и заканчивается пресинаптической мембраной. С другой стороны синапса мышечная клетка покрыта постсинаптической мембраной, на которой расположены рецепторы медиатора (холинорецепторы) и ионные каналы. Между пре- и постсинаптическими мембранами находится синаптическая щель. Поступление по аксону нервного импульса обуславливает следующую последовательность эффектов:

- при поступлении ПД к пресинаптической мембране в ней открываются кальциевые каналы;
- входящий Ca^{2+} взаимодействует с белком кальмодулином;
- в результате к пресинаптической мембране подтягиваются несколько пузырьков с медиатором;
- медиатор поступает в синаптическую щель;
- большая часть молекул медиатора достигает постсинаптической мембраны, где соединяется с холинорецептором;
- результатом взаимодействия медиатора с рецептором является открытие ионных каналов;
- ионы натрия по градиенту концентрации из синаптической щели поступают внутрь мышечного волокна и деполяризуют постсинаптическую мембрану;
- ацетилхолин разрушается ферментом холинэстеразой, рецептор высвобождается.

Двигательная единица включает в себя мотонейрон и группу мышечных волокон, иннервируемых разветвлениями аксона этого мотонейрона. Число

мышечных волокон в единице зависит от функции, которую выполняет данная мышца (от 10 до 30 000).

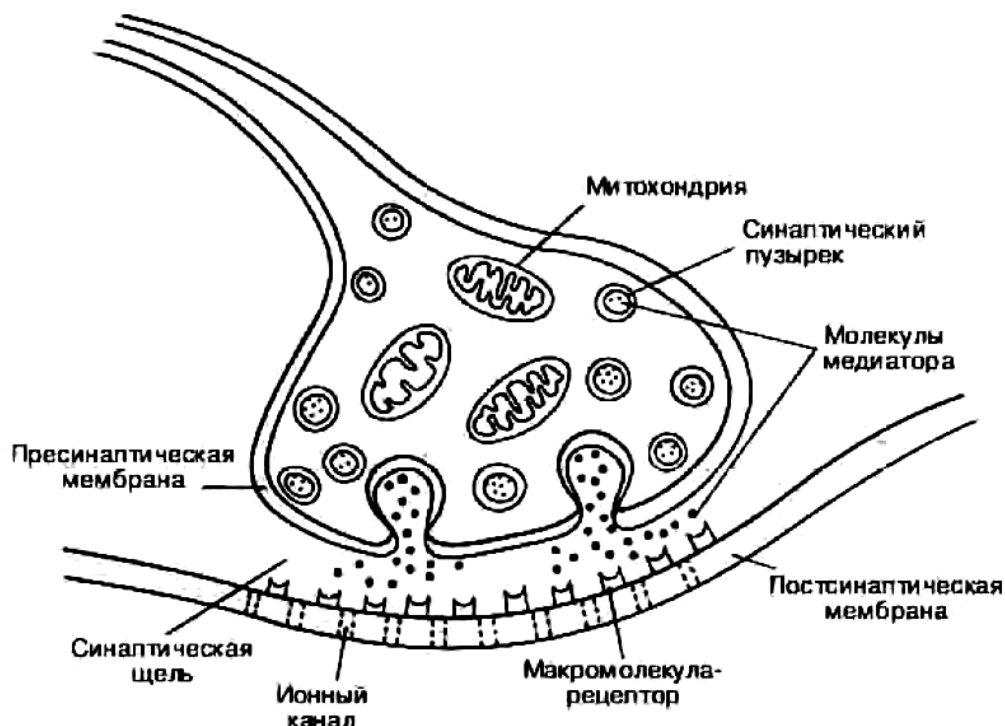


Рисунок 5.1 – Нервно-мышечный синапс

Закон «все или ничего». Одиночное мышечное волокно подчиняется этому закону. Подпороговое раздражение не вызывает сокращения, а пороговое вызывает максимально возможное сокращение: таким образом, амплитуда мышечного сокращения не зависит от силы раздражения.

Задание

Рассмотреть, чем образована опорно-двигательная система. Изучить состав и строение костей, строение мышц. Получить представление о механизме мышечного сокращения. Ознакомиться с процессом передачи потенциала действия через синапс.

Контрольные вопросы

- 1 Скелет человека (чем образован, из каких отделов состоит).
- 2 Состав и строение костей, виды костей.
- 3 Соединения костей.
- 4 Три типа мышц. Свойства мышечной ткани.
- 5 Строение мышц, элементарная сократительная единица.
- 6 Механизм мышечного сокращения.
- 7 Передача сигнала в нервно-мышечном синапсе.
- 8 Понятие двигательной единицы. Закон «все или ничего».

6 Щитовидная железа и ее роль в биологических процессах организма

Основные теоретические сведения

Гормоны (от греч. *hormao* – приводить в движение, побуждать) – биологически активные органические вещества, которые вырабатываются железами внутренней секреции, поступают в кровь, достигают органов-мишеней, связываются с рецепторами и регулируют, таким образом, деятельность органов и тканей живого организма.

Иерархия гормонов. Главенствующую роль занимает система гормонов гипоталамуса (либерины и статины), контролируемая центральной нервной системой.

Нейрогормоны с кровотоком достигают аденогипофиза, где либерины стимулируют или статины ингибируют биосинтез и секрецию тропных гормонов. Тропные гормоны воздействуют на периферические железы, стимулируя выделение соответствующих периферических гормонов. Изменение концентрации метаболитов в клетках-мишенях по механизму *отрицательной обратной связи* подавляет синтез гормонов (воздействие на эндокринные железы или гипоталамус). Синтез и секреция тропных гормонов гипофиза подавляется гормонами периферических желез также по механизму отрицательной обратной связи (рисунок 6.1).

Классификация гормонов по химическому строению.

Гормоны – производные аминокислот (адреналин, норадреналин, тироксин, трийодтиронин).

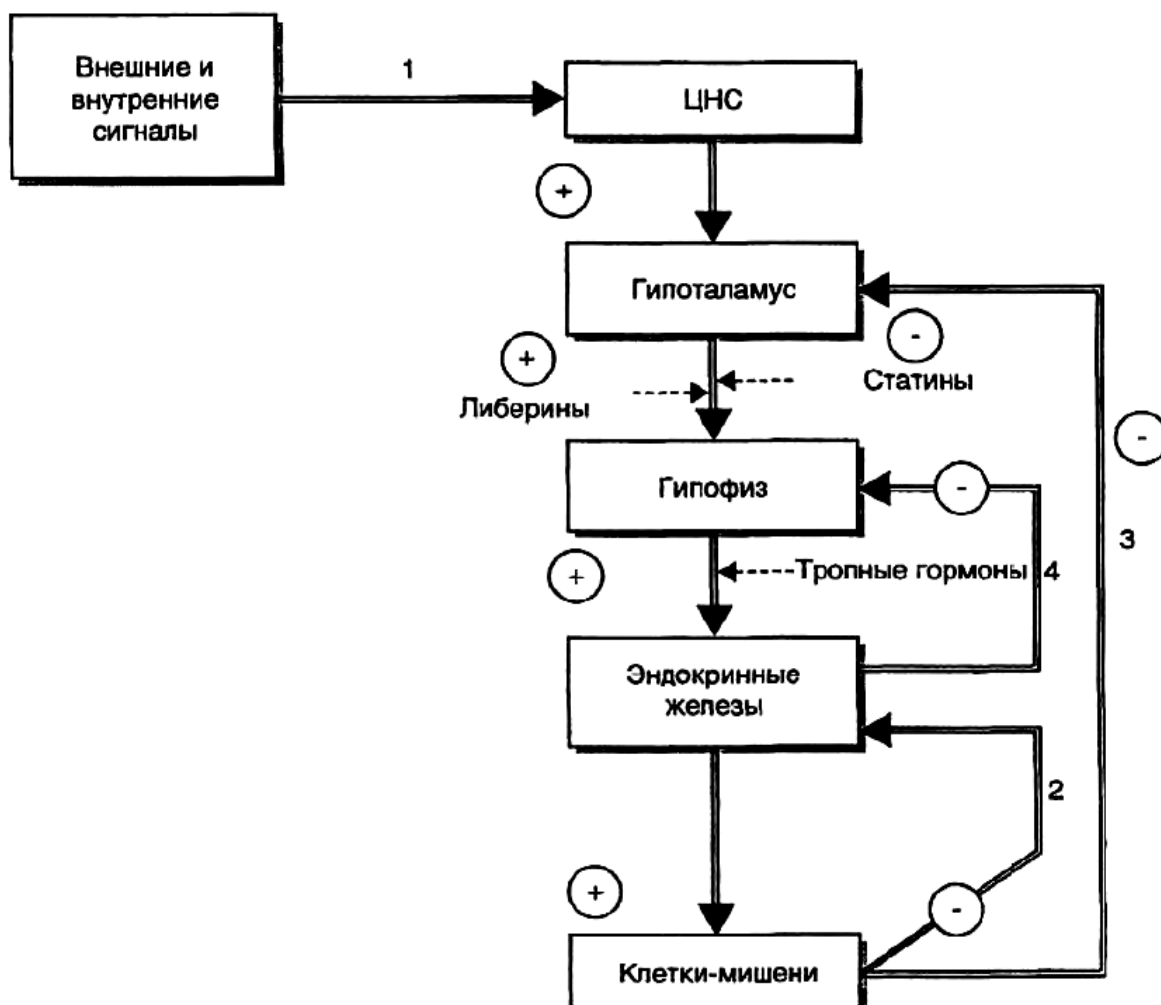
Пептидные гормоны (тропные гормоны гипофиза, антидиуретический гормон (АДГ, вазопрессин), окситоцин, кальцитонин, паратгормон, инсулин, глюкагон).

Стероидные гормоны (кортизол, альдостерон, эстрадиол, прогестерон, тестостерон, кальцитриол).

Гормоны гипоталамуса. Это небольшие пептиды, образующиеся в ядрах гипоталамуса. Доказано существование семи либеринов и трех статинов:

- кортиколиберин – стимулирует образование адренокортико-тропного гормона и липотропного гормона;
- люлиберин – стимулирует образование лютеинизирующего гормона;
- фоллилиберин – стимулирует образование фолликуло-стимулирующего гормона;
- пролактолиберин – способствует выделению пролактина;
- пролактостатин – ингибирует выделение пролактина;
- соматолиберин – стимулирует секрецию гормона роста;
- соматостатин – ингибирует секрецию гормона роста и тиреотропного гормона;
- тиролиберин – стимулирует секрецию тиреотропного гормона и пролактина;

- меланолиберин – стимулирует секрецию меланоцит-стимулирующего гормона;
- меланостатин – ингибирует секрецию меланоцит-стимулирующего гормона.



1 – синтез и секреция гормонов стимулируется внешними и внутренними сигналами; 2 – изменение концентрации метаболитов в клетках-мишенях подавляет синтез гормонов эндокринных желез; 3 – изменение концентрации метаболитов в клетках-мишенях подавляет синтез гормонов гипоталамуса; 4 – синтез и секреция тропных гормонов подавляется гормонами эндокринных желез; \oplus – стимуляция синтеза и секреции гормонов; \ominus – подавление синтеза и секреции гормонов (отрицательная обратная связь)

Рисунок 6.1 – Регуляция синтеза и секреции гормонов

Гормоны гипофиза. Передняя доля (аденогипофиз):

- адренкортикотропный гормон (АКТГ) – стимулирует выработку стероидных гормонов коркового вещества надпочечников (кортизола, а также небольших количеств андрогенов и эстрогенов);
- соматотропный гормон (СТГ), или гормон роста, – ускоряет рост костей и мягких тканей;
- тиреотропный гормон (ТТГ) – стимулирует синтез гормонов щитовидной

железы (тироксин и трийодтиронин);

- лактотропный гормон (пролактин) – вызывает и поддерживает образование молока в молочных железах;

- фолликулостимулирующий гормон (ФСГ) – у женщин стимулирует рост и созревание фолликула, а также синтез эстрогенов; у мужчин влияет на созревание сперматозоидов;

- лютеинизирующий гормон (ЛГ) – у женщин стимулирует синтез эстрогенов, запускает овуляцию, регулирует формирование желтого тела и секрецию прогестерона; у мужчин отвечает за выработку тестостерона, что способствует созреванию сперматозоидов;

- меланоцитстимулирующий гормон (МСГ) – регулирует функцию пигментных клеток кожи (меланоцитов).

Задняя доля (нейрогипофиз):

- вазопрессин (антидиуретический гормон) – стимулирует обратное всасывание воды в почках, что приводит к снижению объема выделяемой мочи (диуреза); повышает тонус артериол, что ведет к увеличению артериального давления;

- окситоцин – повышает сократительную активность мускулатуры матки, что ускоряет роды.

Гормоны щитовидной железы. Делятся на два различных класса:

- 1) йодитиронины (тироксин, трийодтиронин), регулирующие основной обмен организма;

- 2) кальцитонин, участвующий в регуляции обмена кальция и развития костной ткани (снижает содержание кальция в крови).

Гормоны щитовидной железы вырабатываются в сферических образованиях, называемых фолликулами. Клетки фолликулов вырабатывают тироксин (Т4) и трийодтиронин (Т3) под действием тиреотропного гормона гипофиза (ТТГ).

Для синтеза двух главных гормонов щитовидной железе необходим йод и аминокислота тирозин. При синтезе образуется специфический белок – тиреоглобулин, который накапливается в полости фолликула и служит своеобразным «запасом» для быстрого синтеза гормонов.

Функция йодсодержащих гормонов:

- активируют процессы выработки энергии, ускоряют катаболизм белков, жиров и углеводов (возрастает основной обмен и потребление O₂, стимулируется синтез белков и активность Na⁺-K⁺- АТФазы);

- усиливают гликогенолиз (повышается уровень сахара крови);

- усиливают действие катехоламинов (увеличивается ЧСС и сердечный выброс, появляется нервозность, раздражительность, мышечный тремор и возникает гипотрофия мышц).

Паращитовидные железы. Вырабатывают паратгормон. Он увеличивает содержание кальция в крови, является антагонистом кальцитонина.

Поджелудочная железа. Это железа смешанной секреции, содержит две группы клеток: одни вырабатывают пищеварительные ферменты, другие – гормоны.

Гормоны вырабатываются эндокринными клетками:

- глюкагон (А-клетки) – стимулирует распад гликогена и синтез глюкозы из белков и липидов, что приводит к повышению уровня глюкозы в крови;

- инсулин (В-клетки) – обеспечивает поступление глюкозы и аминокислот внутрь клетки (снижает содержание глюкозы в крови). Кроме того, он активирует основные ферменты гликолиза, ускоряет производство липидов и белков;

- соматостатин (D-клетки) – подавляет секрецию большинства известных гормонов, выработку пищеварительных ферментов поджелудочной железы и моторику кишечника (универсальное ингибирующее действие);

- панкреатический полипептид (PP-клетки) – ингибитор выработки пищеварительных ферментов поджелудочной железы и синтеза глюкозы в печени.

Гормоны надпочечников. Корковое вещество надпочечников вырабатывает кортикостероиды:

- клубочковая зона – минералокортикоиды (альдостерон и др.) – регулируют водно-солевой обмен в организме, стимулируют всасывание Na^+ в почках, задержку воды в организме и выделение с мочой K^+ ;

- пучковая зона – глюкокортикоиды (кортизол и др.) – вырабатываются под действием АКТГ гипофиза, управляют реакцией организма на действие стресс-факторов, вызывают распад (катаболизм) углеводов, белков и жиров, увеличивают фильтрацию мочи в почках, что ведет к увеличению диуреза, участвуют в стабилизации артериального давления (усиливают действие катехоламинов), уменьшают воспалительную реакцию (подавляют иммунитет);

- сетчатая зона – половые гормоны (андрогены, которые также являются предшественниками эстрогенов).

Мозговое вещество надпочечников вырабатывает катехоламины – адреналин и норадреналин, которые являются гормонами стресса, оказывают на органы и ткани действие, подобное действию симпатических нервов, вызывают распад гликогена и синтез глюкозы из белков и липидов, увеличивают частоту и силу сердечных сокращений, суживают кровеносные сосуды, повышают артериальное давление, расширяют просветы бронхов, снижают работу желудка и кишечника, повышают возбудимость рецепторов, вызывают расширение зрачков.

Задание

Изучить иерархию и классификацию гормонов. Ознакомиться с гормонами гипоталамуса, гипофиза, щитовидной и паращитовидной желез, поджелудочной железы, надпочечников. Изучить регуляцию синтеза и секреции гормонов.

Контрольные вопросы

- 1 Гормоны. Классификация гормонов.
- 2 Иерархия гормонов.
- 3 Регуляция синтеза и секреции гормонов.
- 4 Гормоны гипоталамуса.

- 5 Гормоны гипофиза.
- 6 Гормоны щитовидной и паращитовидной железы.
- 7 Функции йодсодержащих гормонов щитовидной железы.
- 8 Гормоны поджелудочной железы.
- 9 Гормоны надпочечников.

7 Строение и функции вегетативной нервной системы. Мозолистое тело. Рефлекторная дуга

Основные теоретические сведения

Анатомически нервная система подразделяется на центральную и периферическую, к центральной нервной системе (ЦНС) относятся головной и спинной мозг, к периферической – 12 пар черепномозговых нервов, 31 пара спинномозговых нервов и нервные узлы.

Функционально нервную систему можно разделить на соматическую и вегетативную (автономную). Соматическая часть нервной системы участвует в проведении чувствительных влияний и направляет команды к скелетным мышцам. Управление работой скелетных мышц может подчиняться нашему сознанию. Вегетативная нервная система контролирует работу внутренних органов, ее еще называют автономной – она не подчиняется нашему сознанию. Вегетативная рефлекторная дуга состоит из двух звеньев – чувствительного и исполнительного.

Вегетативная нервная система подразделяется на симпатический, парасимпатический и метасимпатический отделы. В симпатическом, парасимпатическом отделах имеются центральная и периферическая части. Центральную часть образуют тела нейронов, лежащих в спинном и головном мозге. Эти скопления нервных клеток получили название вегетативных ядер (симпатических и парасимпатических).

Отходящие от ядер волокна, вегетативные узлы, лежащие за пределами центральной нервной системы, и нервные сплетения в стенках внутренних органов образуют периферическую часть вегетативной нервной системы. Метасимпатический отдел целиком расположен на периферии в стенках внутренних органов и регулирует сокращение мышц даже в изолированном органе.

Симпатические ядра расположены в спинном мозге, в боковых рогах. Отходящие от него нервные волокна заканчиваются за пределами спинного мозга в симпатических узлах. Предузловые нейроны находятся в боковых рогах грудных и поясничных сегментов спинного мозга, медиатор – ацетилхолин, постганглионарные – в узлах рядом со спинным мозгом, медиатор – норадреналин.

Парасимпатические ядра лежат в среднем и продолговатом мозге, а также в крестцовой части спинного мозга. Нервные волокна от ядер продолговатого мозга входят в состав блуждающих нервов. Медиатор, выделяемый синапсами

в обоих типах нейронов, – ацетилхолин. От ядер крестцовой части спинного мозга парасимпатические волокна идут к толстой кишке, мочевому пузырю, половым органам.

Вегетативные нервные узлы располагаются за пределами ЦНС вблизи от органов или в стенках самих этих органов. Они, так же как и вегетативные ядра, представляют собой скопления нервных клеток. Таким образом, путь из центральной нервной системы до управляемого органа всегда состоит из двух нервных клеток. Тело одной из них находится в пределах центральной нервной системы, тело второй – в одном из нервных узлов, лежащих на периферии.

Внутренние органы нашего тела имеют двойную или тройную иннервацию. В одних оканчиваются симпатические и парасимпатические нервы, в других дополнительно еще и метасимпатические. Такой контроль за внутренними органами обеспечивает надежную регуляцию их деятельности. Стимуляция симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы вызывает в органах тела противоположный эффект (рисунок 7.1).

Системы и органы	Симпатическая нервная система	Парасимпатическая нервная система
1 Зрачок	Расширение	Сужение
2 Слезная железа	–	Усиление секреции
3 Слюнные железы	Малое количество густого секрета	Обильный водянистый секрет
4 Сердечный ритм	Учащение	Урежение
5 Сократимость сердца	Усиление	Ослабление
6 Кровеносные сосуды	Сужает артериолы кишечника и гладких мышц. Расширяет артериолы головного мозга и скелетных мышц	Поддерживает постоянный тонус артериол кишечника, гладких и скелетных мышц, головного мозга.
7 Артериальное давление	Повышает	Снижает
8 Кровеносная система	Увеличивает объем крови за счет сокращения селезенки	–
9 Скелетные мышцы	Повышение тонуса	Расслабление
10 Частота дыхания	Учащение	Урежение
11 Бронхи	Расширение просвета	Сужение просвета
12 Кожа	Сокращение мышц, поднимающих волосы (волосы «встают дыбом», появляется «гусиная кожа»)	–
13 Потовые железы	Активация	–
14 Кишечник	Угнетение подвижности (перистальтики)	Усиление подвижности (перистальтики)
15 Пищеварительные железы	Угнетает секрецию пищеварительных соков	Стимулирует секрецию пищеварительных соков
16 Сфинктер прямой кишки	Сокращение	Расслабление
17 Почки	Уменьшает количество мочи	–
18 Сфинктер мочевого пузыря	Сокращение	Расслабление
19 Надпочечники (мозговое вещество)	Секреция адреналина и норадреналина	–

Рисунок 7.1 – Влияние симпатической и парасимпатической нервной системы

Задание

Изучить отделы вегетативной нервной системы, ядра и медиаторы пресинаптического и постсинаптического отделов. Выучить влияние симпатической и парасимпатической нервной системы на органы и системы.

Контрольные вопросы

- 1 Центральная и периферическая нервная система.
- 2 Соматическая и вегетативная нервная система.
- 3 Три отдела вегетативной нервной системы.
- 4 Анатомия парасимпатической нервной системы: расположение ядер, медиаторы пресинаптического и постсинаптического отделов.
- 5 Анатомия симпатической нервной системы: расположение ядер, медиаторы пресинаптического и постсинаптического отделов.
- 6 Влияние парасимпатической нервной системы на органы и системы.
- 7 Влияние симпатической нервной системы на органы и системы.
- 8 Метасимпатическая нервная система.

8 Система зрения. Передача и обработка зрительной информации. Система слуха. Передача и обработка аудиоинформации

Основные теоретические сведения

8.1 Строение глаза

Глаз – это периферический парный орган зрения (рисунок 8.1), который содержит фоторецепторы – палочки и колбочки. Он имеет шаровидную форму (глазное яблоко). Глаз состоит из трех оболочек и внутреннего содержимого.

1 Наружная оболочка. Ее передняя часть называется *роговица* – она пропускает и преломляет световые лучи, остальная часть – *склера* – непрозрачна и похожа на вареный яичный белок.

2 Сосудистая оболочка – состоит из большого количества мелких кровеносных сосудов. Передняя часть ее называется *радужка* (она определяет цвет глаз), средняя – *цилиарное тело* и задняя – *хориоидея*. В центре радужки находится круглое отверстие – *зрачок* – в темноте он увеличивается, на ярком свете уменьшается. Цилиарное тело сосудистой оболочки вырабатывает внутриглазную жидкость, которая циркулирует внутри глаза, омывает и питает роговицу, хрусталик, стекловидное тело. В толще цилиарного тела находится аккомодационная мышца, которая с помощью связок изменяет форму хрусталика.

3 Сетчатка – выстилает глазное яблоко изнутри и состоит из нескольких слоев нервных клеток. Фоторецепторные нервные клетки – палочки и колбочки

осуществляют процесс световосприятия. Палочки обеспечивают сумеречное зрение (черно-белое), колбочки работают при хорошем освещении (цветное зрение). Информация от них передается *по зрительному нерву* в головной мозг.

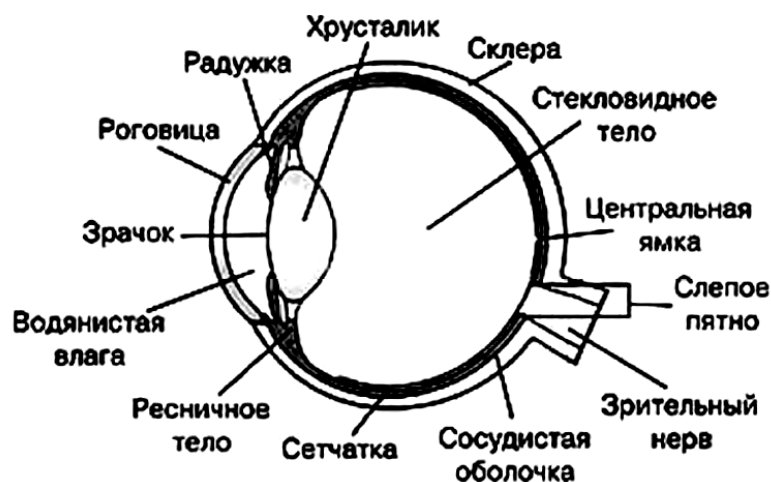


Рисунок 8.1 – Строение глаза

Наибольшее количество зрительных клеток (колбочек) расположено в центральной части сетчатки (макула). В месте выхода зрительного нерва расположено слепое пятно (не содержит фоторецепторных клеток).

4 Внутреннее содержимое глаза – включает в себя *переднюю* (пространство между роговицей и радужкой) и *заднюю* (между радужкой и хрусталиком) камеры глаза, заполненные внутриглазной жидкостью, а главное – *хрусталик* и *стекловидное тело*. Хрусталик имеет форму двояковыпуклой линзы, он пропускает и преломляет лучи света. Стекловидное тело имеет консистенцию желе и отделяет хрусталик от глазного дна.

Зрительный анализатор включает:

- глазные яблоки;
- зрительные нервы (II-я пара черепно-мозговых нервов);
- хиазму (перекрест);
- зрительные тракты;
- наружные коленчатые тела таламуса (с подкорковыми зрительными центрами);
- передние бугры четверохолмия среднего мозга (первичные зрительные центры);
- зрительную зону коры больших полушарий (затылочная доля).

Процесс зрительного восприятия состоит из следующих этапов:

- 1) формирование оптического изображения на сетчатке глаза;
- 2) трансформация оптического изображения в нервные импульсы;
- 3) передача и обработка сигналов нервными клетками центральной части зрительного анализатора.

Диоптрическая система глаза. Светопреломляющая система глаза фокусирует изображение окружающего мира на сетчатке, в которой расположены

фоторецепторные клетки. Световые лучи входят в глаз через роговицу (фокусировка), проходят через жидкость передней и задней камеры глаза, (зрачок, окруженный радужкой, обеспечивает изменение количества проходящего света), далее следуют через хрусталик (дальнейшая фокусировка), проникают через стекловидное тело и попадают на сетчатку (формируется уменьшенное и перевернутое изображение).

Рефракция – это преломление лучей оптической системой глаза. Преломляющая сила системы зависит от радиуса кривизны границы двух сред и их коэффициентов преломления. Самая большая преломляющая сила у роговицы, потому что она лежит на границе воздушной и водной сред. Единицей измерения рефракции является диоптрия (D). Она равна преломляющей силе линзы с фокусным расстоянием 1 м.

Понятие об остроте зрения. Зрительный угол α является мерой разрешающей способности глаза (остроты зрения). Разрешающая способность глаза обратно пропорциональна минимальному зрительному углу α_{\min} , при котором крайние точки предмета не сливаются. Острота зрения считается нормальной ($V = 1,0$), если человек различает крайние точки предмета, находящиеся под углом в одну минуту ($1'$). При этом размер изображения на сетчатке, где сосредоточено в среднем три колбочки, составляет 5 мкм. Это минимальное количество фоторецепторных клеток, чтобы две точки предмета не сливались, между двумя «засвеченными» колбочками должна быть одна интактная.

Аккомодация – это приспособление глаза к ясному видению разноудаленных предметов. Достигается благодаря изменению кривизны хрусталика и его преломляющей способности. Анатомически аккомодационной мышцей является ресничная (цилиарная) мышца, которая расположена в толще цилиарного тела кольцом вокруг хрусталика. Иннервация ее осуществляется парасимпатической ветвью глазодвигательного нерва. Хрусталик фиксируется к мышце с помощью цинновой связки, которая расположена радиально (как спицы в колесе).

При взгляде на близкий предмет нервный импульс поступает к ресничной мышце, которая сокращается (мышечное кольцо сжимается), натяжение цинновой связки уменьшается, эластичный хрусталик принимает форму шара, преломляющая способность его увеличивается.

Взгляд вдаль происходит пассивно – когда ресничная мышца расслаблена, то циннова связка натянута, хрусталик становится плоским, его преломляющая способность уменьшается.

Близорукость (миопия) – это нарушение рефракции глаза, при котором человек плохо различает предметы, расположенные вдали. При близорукости изображение фокусируется перед сетчаткой. Корректировать изображение (сфокусировать его на сетчатку) можно с помощью рассеивающей линзы.

Дальнозоркость (гиперметропия) – это нарушение рефракции глаза, при котором человек плохо различает предметы, расположенные вблизи. При дальнозоркости изображение предмета фокусируется за сетчаткой. Корректируется данная патология с помощью собирающей линзы, которая фокусирует изображение на сетчатку.

Строение сетчатки глаза. Структура сетчатки сложная и состоит из 10 слоев. Самый наружный слой, примыкающий к внутренней поверхности сосудистой оболочки, – это пигментные клетки. Они поглощают свет и обеспечивают восстановление зрительных пигментов. Следующие слои сетчатки включают три слоя нервных клеток (от наружного слоя внутрь):

- 1) фоторецепторы – палочки и колбочки;
- 2) биполярные клетки (соединяют синаптическими связями отростки фоторецепторных и ганглиозных клеток);
- 3) ганглиозные клетки (их отростки образуют зрительный нерв).

Строение фоторецепторной клетки (палочки). Диаметр палочки составляет около 2 мкм, а длина – около 50...60 мкм. Вся клетка делится условно на внутренний и наружный сегменты. Внутренний сегмент содержит все органоиды, особо следует отметить ядро, аппарат Гольджи, большое количество митохондрий и синаптическую зону. Наружный сегмент включает большое количество (700...1000) специализированных органелл, которые называются дисками. Они представляют собой замкнутые мембранные структуры и содержат множество молекул фоторецепторного белка родопсина. Родопсин – это сложное высокомолекулярное соединение, состоящее из двух компонентов: альдегида витамина А (ретиноль) и белковой части (опсин).

Механизмы фоторецепции палочки. В темновой фазе молекула ретиналя находится в виде неактивной изогнутой 11-цис-формы. При воздействии фотона света, молекула ретиналя переходит в активную трансформу (фотородопсин). Квант света выполняет только пусковую функцию, все последующие перестройки в молекуле родопсина происходят без участия света. Фотородопсин дает начало сложному каскаду реакций, ключевым звеном в которой является образование метародопсина II. На этом этапе возникает способность взаимодействовать с G-белком (трансдуцином). Это запускает ферментативный каскад усиления светового сигнала в зрительной клетке.

Превращение световой энергии. В ответ на квант света родопсин (распад до ретиналя и опсина) активирует трансдуцин. Трансдуцин активирует фермент фосфодиэстеразу. Фосфодиэстераза расщепляет циклический гуанозинмонофосфат (цГМФ) до гуанозинмонофосфата. Снижение концентрации цГМФ закрывает Na^+ -каналы и гиперполяризует клетку.

Усиление сигнала обеспечивают три этапа ферментативного каскада фототрансдукции. На первом каждая возбужденная светом молекула родопсина активирует множество (до двухсот) молекул трансдуцина (G-белок). На втором усиления не происходит: одна активированная молекула трансдуцина активирует одну молекулу фосфодиэстеразы. На третьем этапе одна молекула фосфодиэстеразы вызывает распад до 1000 молекул цГМФ.

Таким образом, Na^+ -ток регулируется работой фотопигментов палочек (рецепторы сумеречного зрения):

– в темноте Na^+ проникает в наружный сегмент через Na -каналы, вызывает деполяризацию клетки и выделение в синаптическую щель медиатора глутамата;

– на свету палочка гиперполяризуется вследствие прекращения Na^+ -тока и

выделение глутамата уменьшается.

Цветовое зрение человека. Глаз человека воспринимает электромагнитное излучение с длиной волны от 380 до 740 нм. При освещении предметов светом с определенными спектральными характеристиками часть волн отражается. Рецепторы глаза воспринимают это излучение, формируют нервные импульсы, которые обрабатываются в нервных клетках, размещенных в слоях сетчатки глаза, и отправляют его в мозг, где формируется цветовое ощущение человека.

Трехкомпонентная теория цветового зрения. Данная теория постулирует наличие в сетчатке глаза человека трех различных типов колбочек, которые работают как независимые приемники в едином блоке. Их максимумы чувствительности приходятся на красный, зеленый и синий участки спектра. Комбинации получаемых от рецепторов сигналов обрабатываются в нейронных системах восприятия цвета и его яркости. Равномерное раздражение всех трех элементов вызывает ощущение белого цвета. Теория подтверждается законами смешения цветов, а также результатами фотометрических измерений отдельных колбочек и регистрацией цветоспецифичных рецепторных потенциалов в сетчатке животных, обладающих цветовым зрением.

В восприятии отдельных цветов (красный, зеленый и синий) участвуют колбочки с разновидностями фотопигментов на базе опсинов:

- чувствительные к коротковолновому спектру (сине-фиолетовый цвет);
- чувствительные к средневолновому спектру (желто-зеленый цвет);
- чувствительные к длинноволновому спектру (желто-красный цвет).

8.2 Система слуха

Звук – это колебания частиц среды, распространяющиеся в виде продольных механических волн с частотой от 16 до 20 000 Гц (20 кГц). Инфразвук – колебания с частотой менее 16 Гц. Ультразвук – колебания с частотой более 20000 Гц.

Тоны и шумы. Если колебание совершается ритмично, т. е. через определенные промежутки времени повторяются одинаковые фазы звуковой волны, то образующийся при этом звук воспринимается как музыкальный тон.

Шумы представляют собой совокупность беспорядочных (хаотических) колебаний, не связанных между собой какой-либо правильной числовой зависимостью.

Строение органа слуха. Орган слуха состоит из трех частей (рисунок 8.2).

Наружное ухо включает в себя ушную раковину, наружный слуховой проход и барабанную перепонку. Функция состоит в улавливании звуковых волн, локализации источников звука. Наружный слуховой проход в небольшой степени играет роль резонатора. Барабанная перепонка находится на границе между наружным и средним ухом.

Локализация источников звука:

- при низких частотах ухо способно улавливать разность фаз звуковой волны в левом и правом ухе;

– при высоких частотах ухо главным образом реагирует на разность интенсивностей звука, достигшего левого и правого уха;

– частота 3000 Гц, лучше воспринимаемая ухом человека, плохо подходит для реализации обоих механизмов. При этой частоте трудно локализовать источник звука.

Среднее ухо состоит из трех слуховых косточек: молоточек, наковальня и стремечко, которые последовательно передают звуковые колебания от барабанной перепонки овальному окну улитки. Слуховые косточки работают по принципу рычага – они усиливают звуковые колебания для их передачи из воздушной среды среднего уха в заполненную жидкостью полость внутреннего уха. Слуховая (евстахиева) труба соединяет полость среднего уха с носоглоткой и служит для выравнивания атмосферного давления по обе стороны барабанной перепонки.

Внутреннее ухо (улитка) расположено в пирамидальной части височной кости. Оно напоминает по форме улитку, которая имеет 2,5 завитка. Внутри канала улитки на всем его протяжении имеется костный выступ (спиральная пластинка). Выступ продолжается до противоположной стенки улитки перепонкой (базиллярная мембрана). Вторая перепонка отходит от спиральной пластинки к противоположной стенке улитки под острым углом к первой (рейснерова мембрана). Таким образом, две мембраны делят просвет улитки на три канала.

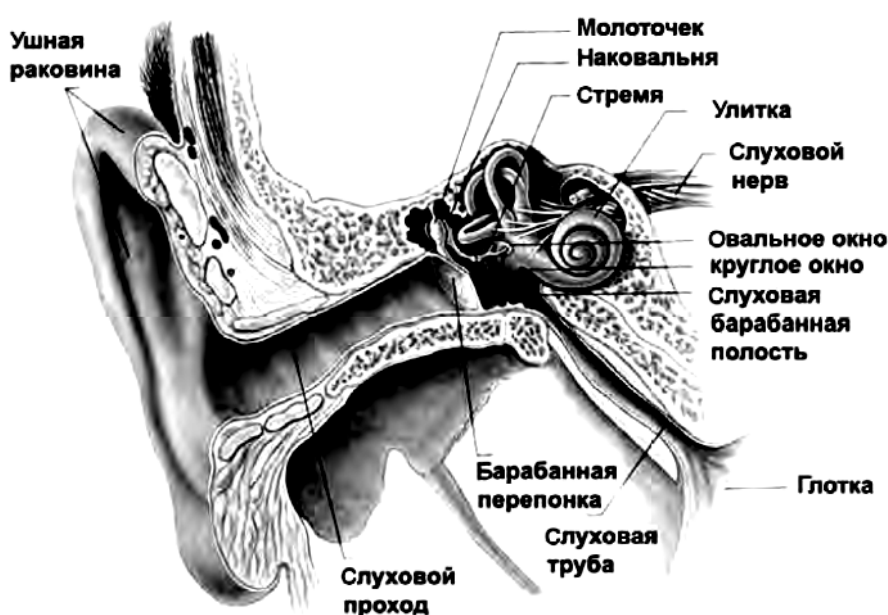


Рисунок 8.2 – Строение органа слуха

Верхний канал (вестибулярная лестница) контактирует с овальным окном. Нижний канал (барабанная лестница) контактирует с круглым окном. Вестибулярная и барабанная лестницы соединяются на верхушке улитки отверстием (геликотрема) и заполнены жидкостью – перилимфой. Третий канал (улитковый проток) находится в середине, изолированный двумя мембранами, и содержит жидкость другого состава – эндолимфу. Внутри улиткового протока

на поверхности базилярной мембраны расположен орган слуха (кортиев орган). Он содержит рецепторные клетки, которые имеют реснички (волосковые клетки). Выделяют внутренние волосковые клетки – 1 ряд (собственно сенсорные) и наружные волосковые клетки – 3 ряда (сенсорно-двигательные). Кортиев орган покрыт сверху покровной мембраной, с которой контактируют реснички волосковых клеток.

Передача сигнала в органе слуха:

- звуковые колебания;
- колебания барабанной перепонки;
- смещение слуховых косточек (молоточка, наковальни и стремечка);
- давление на овальное окошко улитки;
- колебание жидкости в канале улитки;
- раздражение волосковых клеток кортиева органа;
- выработка электрических сигналов волосковыми клетками;
- передача сигналов в слуховую зону коры больших полушарий для анализа;
- возникновение слуховых ощущений.

Слуховой анализатор включает:

- ухо (спиральный ганглий улитки);
- слуховые нервы (преддверно-улитковые);
- продолговатый мозг;
- нервные волокна латеральной петли;
- задние бугры четверохолмия среднего мозга;
- внутренние коленчатые тела таламуса;
- слуховая зона коры больших полушарий (височная доля).

Принцип работы кортиева органа. Колебания стремечка через овальное окно передаются перелимфе, поскольку жидкость вестибулярной и барабанной лестницы составляет одно целое, и заканчиваются круглым окном, мембрана которого выбухает в полость среднего уха. Раздражение волосковых клеток кортиева органа происходит опосредованно – звук вызывает смещение определенных участков базилярной мембраны относительно покровной мембраны, изгиб ресничек и возбуждение рецепторных клеток. Сигнал от волосковых клеток идет в слуховые ядра продолговатого мозга, где его пик выделяется и возвращается на наружные волосковые клетки. Наружные рецепторные клетки начинают сокращаться и «тянут на себя» покровную мембрану, усиливая колебания в зоне пика. Таким образом, происходит пространственное кодирование действующего звука.

Теории восприятия слуха. Анатомически установлено, что чем дальше от овального окна, тем шире базилярная мембрана. В связи с этим предложено две теории слуха.

1 Резонансная теория слуха. Предполагает строение базилярной мембраны как «арфы», струны которой входят в резонанс с определенной частотой колебаний перелимфы. Однако анатомически такие «струны» не обнаруживаются.

2 Теория бегущей волны. Предполагает распространение волны колебаний по базилярной мембране. Чем ниже частота колебаний, тем дальше от оваль-

ного окна оказывается пик «бегущей волны».

Эндокохлеарный потенциал. Между эндолимфой (заряжена положительно) и перилимфой (заряд около нуля) существует разность потенциалов 60...80 мВ – эндокохлеарный потенциал. В свою очередь на внутренней поверхности мембраны волосковых клеток существует потенциал минус 55...70 мВ. Таким образом, между цитоплазмой волосковых клеток и эндолимфой в покое поддерживается очень большая разность потенциалов (до 150 мВ). Предполагается, что это облегчает восприятие звуковых колебаний.

Потенциалы, связанные с действием звука.

1 Микрофонный потенциал улитки – если ввести в улитку электроды и соединить их с усилителем и громкоговорителем, а затем подвергнуть звуковому раздражению, то громкоговоритель точно производит звук. Данный рецепторный потенциал генерируется на мембране волосковой клетки в результате деформации волосков. Частота его соответствует частоте звуковых колебаний, а амплитуда – силе звука.

2 Суммационный потенциал – это сдвиг исходной разности потенциалов при действии звуков большой частоты (высокие тона). Возникает в результате наложения микрофонного потенциала на потенциал эндолимфы (эндокохлеарный потенциал). Звуки вызывают колебания эндокохлеарного потенциала, амплитуда которых составляет 0,6...0,8 мВ. Суммационный потенциал воспроизводит огибающую звуковой волны.

3 Потенциалы слухового нерва – рецепторные потенциалы волосковых клеток через синапсы передаются нервным клеткам спирального ганглия, который расположен у основания спиральной пластинки улитки. Потенциалы нервных клеток по волокнам слухового нерва (преддверно-улиткового) передаются в центральную нервную систему.

Задание

Изучить строение глаза и отделы зрительного анализатора. Ознакомиться с процессом зрительного восприятия. Изучить строение уха и отделы слухового анализатора. Составить понятие о передаче сигнала в органе слуха. Получить представление о принципах работы кортиева органа и потенциалах, связанных с действием звука.

Контрольные вопросы

- 1 Строение органа зрения.
- 2 Зрительный анализатор.
- 3 Диоптрическая система глаза. Рефракция. Разрешающая способность глаза. Понятие об остроте зрения.
- 4 Аккомодация. Механизм аккомодации. Близорукость и дальнозоркость.
- 5 Строение сетчатки глаза. Фоторецепторная система глаза. Механизмы фоторецепции.
- 6 Цветовое зрение человека. Трехкомпонентная теория цветового зрения.
- 7 Строение органа слуха.

- 8 Слуховой анализатор.
- 9 Этапы преобразования сигнала в органе слуха.
- 10 Принцип работы кортиева органа.
- 11 Теории восприятия слуха.

9 Обонятельный и вкусовой анализаторы. Кожный анализатор

Основные теоретические сведения

Хемосенсорные системы. Вкусовая сенсорная система позволяют человеку оценивать химический состав пищи, обонятельная – окружающего воздуха. Поэтому их объединяют под общим названием хемосенсорные системы. Сюда также относятся внутренностные хеморецепторы (каротидного синуса, пищеварительного тракта и др.). Химическая рецепция является филогенетически наиболее древней формой взаимосвязи организма с окружающей средой.

Классификация запахов. Классификация запахов представляет собой сложную задачу, т. к. представление о запахах у человека предметное. Попытки классифицировать известные человеку запахи предпринимались с XVIII в. К. Линней (1756) предложил семь типов запахов, Г. Цваардемакер (1895) – девять типов, призма Хеннинга (1924) включала шесть типов запахов. Однако в данных классификациях присутствует субъективность. Кроме того, ощущения запахов зависят от концентрации пахучих веществ и состояния нервной системы. Тем не менее Дж. Эймуру (1964) удалось систематизировать запахи. Согласно Эймуру, имеется семь первичных запахов (рисунок 9.1).

Первичный запах	Химические соединения	Знакомый пример
1 Камфорный	Камфора, гексахлорэтан	Средство от моли
2 Мускусный	Бутилбензол	Мускус, цибетон
3 Цветочный	Этилкарбинол	Роза, лаванда
4 Мятный	Ментол	Перечная мята
5 Эфирный	Диэтиловый эфир	Чистящее средство
6 Едкий	Муравьиная кислота	Уксус, поджаренные кофейные зерна
7 Гнилостный	Бутилмеркаптан, сероводород	Тухлые яйца

Рисунок 9.1 – Первичные запахи

Сопоставление структур веществ, обладающих этими запахами, показало, что запах определяется не химическим составом, а формой и размерами молекул.

Сtereoхимическая теория обоняния. Все пахучие вещества должны быть

летучими, чтобы поступать в носовую полость с воздухом, и растворимыми, чтобы проникать к рецепторным клеткам через слой обонятельной слизи, покрывающей эпителий носовых раковин. Таким требованиям удовлетворяет огромное количество веществ. Проанализировав химическую структуру 600 пахучих веществ, Дж. Эймур предположил, что каждому из семи типов запахов соответствует семь типов стереоспецифических активных центров на молекулярном рецепторе. Таким образом, существует соответствие между формой и размером молекул пахучих веществ и присущим им запахам.

В настоящее время удалось выявить семь классов активных центров рецепторов, в которых можно расположились вещества со сходной стереохимической конфигурацией молекул и сходным запахом. Семь указанных запахов (см. рисунок 9.1) названы первичными, а все остальные запахи объясняются различными сочетаниями первичных запахов.

Орган обоняния. В полости носа человека в области верхней носовой раковины расположены клетки обонятельного эпителия. Они занимают небольшую площадь – 2...4 см² у взрослого человека. В состав обонятельного эпителия входят три типа клеток: рецепторные, опорные и базальные.

Рецепторные клетки имеют реснички, на мембране которых расположены рецепторные белки. Они являются нервными клетками и имеют аксоны, которые собираются в обонятельные нервы. Опорные клетки не имеют жгутиков, их функциями является обеспечение опоры, питание рецепторных клеток, участие в образовании слизи. Базальные клетки расположены в глубине обонятельного эпителия, их функция барьерная и участие в образовании новых рецепторных и опорных клеток. Поверхность обонятельного эпителия покрыта слизью, которая вырабатывается боуменовыми железами. Эти железы расположены в соединительной ткани под эпителием. Благодаря наличию слизи на поверхности обонятельного эпителия поддерживается определенный ионный состав, в нем растворяются и диффундируют молекулы пахучих веществ, связываются и удаляются прореагировавшие молекулы.

Механизм обонятельной трансдукции. Молекула пахучего вещества взаимодействует с распознающим участком рецептора, который с помощью G-белка активирует ферменты синтеза внутриклеточных посредников. Первый путь состоит в активации фермента аденилатциклазы, что приводит к расщеплению аденозинтрифосфата и синтезу молекул циклического аденозинмонофосфата (цАМФ). Второй путь состоит в активации специфической фосфолипазы C, которая расщепляет в клеточных мембранах отдельные фосфолипиды и образуется инозитолтрифосфат. Указанные вторичные посредники активизируют ионные каналы, что вызывает деполяризацию клетки и отправку электрического сигнала в мозг. Прореагировавшие пахучие молекулы удаляются при помощи одорантсвязывающих белков, которые входят в состав слизи.

Обонятельный анализатор включает: рецепторные клетки (верхняя носовая раковина); биполярные клетки (продырявленная пластинка решетчатой кости); обонятельный нерв; обонятельную луковицу; обонятельный тракт; лимбиче-

скую систему; гипоталамус; обонятельный бугорок; передние ядра таламуса; префронтальную область коры больших полушарий.

Четыре первичных вкуса. Все разнообразие вкусовых ощущений принято сводить к четырем основным вкусам – соленому, кислому, горькому, сладкому. Данные вкусовые ощущения воспринимаются различными вкусовыми зонами языка: сладкий вкус ощущается на кончике языка, кислый и соленый вкус – на боковых поверхностях языка, горький вкус – у корня языка.

Строение органа вкуса. Органом вкуса человека является язык. Он содержит большое количество сосочков различной формы: листовидные, желобоватые, грибовидные. Каждый такой сосочек окружен канавкой, на дне которой находятся отверстия желез, которые выделяют секрет для растворения вкусовых агентов. По краям канавки располагаются вкусовые почки, они воспринимают вкус. Вкусовые почки содержат два типа клеток: вкусовые клетки и поддерживающие (опорные) клетки. Вкусовые клетки контактируют с чувствительными нервными волокнами, которые передают нервный импульс. Язык имеет сложную иннервацию: передние 2/3 иннервируются лицевым нервом, задняя треть – языкоглоточным нервом, корень языка – блуждающим нервом.

Механизмы вкусовой трансдукции. Клеточные механизмы восприятия вкуса сводятся к различным способам деполяризации клеточной мембраны и дальнейшему открытию потенциалзависимых кальциевых каналов. Поступление Ca^{2+} в цитоплазму вызывает дегрануляцию в синаптическую щель и высвобождение медиатора, что приводит к появлению генераторного потенциала в окончании чувствительного нерва. Каждый стимул деполяризует мембрану разными путями. Соленый стимул взаимодействует с эпителиальными натриевыми каналами, открывая их для натрия. Кислый стимул может самостоятельно открыть эпителиальные натриевые каналы или благодаря снижению pH закрыть калиевые каналы, что также приведет к деполяризации мембраны вкусовой клетки. Сладкий вкус возникает за счет взаимодействия сладкого стимула с чувствительным к нему рецептором, связанным с G-белком. Активированный G-белок стимулирует аденилатциклазу, которая повышает содержание цАМФ и далее активирует зависимую протеинкиназу, которая фосфорилирует калиевые каналы и закрывает их. Все это приводит к деполяризации мембраны. Горький стимул может деполяризовать мембрану тремя путями: закрытием калиевых каналов; путем взаимодействия с G-белком ингибировать фосфодиэстеразу, тем самым повышая содержание цАМФ, что вызывает деполяризацию мембраны; и путем связывания с G-белком, способным активировать фосфолипазу C, в результате увеличивается содержание инозитол-трифосфата, который приводит к высвобождению кальция из депо.

Глутамат связывается с глутаматрегулируемыми неселективными ионными каналами и открывает их. Это сопровождается деполяризацией и открытием потенциалзависимых кальциевых каналов.

Вкусовой анализатор состоит из:

- вкусовых почек разных отделов языка с различной иннервацией:
 - а) передние 2/3 языка → лицевой нерв → коленчатый ганглий;

б) задняя треть языка → языкоглоточный нерв → каменистый ганглий;

в) корень языка → блуждающий нерв → узловой ганглий;

- ядра одиночного пучка;
- медиального лемниска;
- вентрального таламуса;
- постцентральной извилины коры (нижние отделы).

Кожный анализатор (рецепторный отдел) включает разные виды кожной чувствительности: тактильную (прикосновение и давление), температурную (тепло и холод) и болевую (ноцицептивную). Рецепторы кожной чувствительности имеют различное строение. К ним относятся осязательные тельца Мейснера и Меркеля, тельца Гольджи-Маццони и Фатера-Пачини (рецепторы давления), концевые колбы Краузе (рецепторы холода), тельца Руффини (рецепторы тепла) и др. Считается, что болевыми рецепторами являются свободные нервные окончания. Однако чрезмерная стимуляция других рецепторов также может вызвать болевые ощущения.

Схема проводникового отдела кожного анализатора тактильной чувствительности:

- 1) осязательные тельца Мейснера, пластинчатые тельца Фатера – Пачини;
- 2) спинной мозг: пучок Голля, пучок Бурдаха;
- 3) ядра пучка Голля и пучка Бурдаха (первое переключение в ЦНС);
- 4) таламус: вентральные ядра (второе переключение в ЦНС);
- 5) от всех чувствительных путей отходят ветви в ретикулярную формацию ствола мозга;
- б) постцентральная извилина коры головного мозга (третье переключение в ЦНС).

Схема проводникового отдела кожного анализатора температурной и болевой чувствительности:

- 1) колбы Краузе, тельца Руффини, свободные нервные окончания;
- 2) спинной мозг: клетки задних рогов, формирующих спино-таламический тракт (первое переключение в ЦНС);
- 3) таламус: вентральные ядра (второе переключение в ЦНС);
- 4) от всех чувствительных путей отходят ветви в ретикулярную формацию ствола мозга;
- 5) постцентральная извилина коры головного мозга (третье переключение в ЦНС).

Ощущения кожного анализатора формируются в виде сложных целостных реакций. В интеграции восприятий принимают участие разные отделы центральной и вегетативной нервной системы. От их состояния и взаимодействия зависят характер и эмоциональная окраска ощущений.

Задание

Ознакомиться с понятием хемосенсорных систем. Изучить строение органа обоняния и механизм обонятельной трансдукции. Выучить отделы обонятельного анализатора. Ознакомиться со строением органа вкуса и механизмами

вкусовой трансдукции, с отделами вкусового анализатора. Изучить виды кожной чувствительности и строение кожного анализатора.

Контрольные вопросы

- 1 Рецепция запаха и молекулярное узнавание. Классификация запахов.
- 2 Стереохимическая теория восприятия запаха.
- 3 Строение органа обоняния.
- 4 Механизм обонятельной трансдукции.
- 5 Обонятельный анализатор.
- 6 Четыре первичных вкуса и их локализация. Строение органа вкуса, рецепторы вкусовых сосочков.
- 7 Механизмы вкусовой трансдукции.
- 8 Вкусовой анализатор.
- 9 Кожный анализатор. Тактильная, болевая и температурная рецепции.

Список литературы

- 1 **Цехмистренко, Т. А.** Анатомия человека : учебник и практикум для вузов / Т. А. Цехмистренко, Д. К. Обухов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 287 с.
- 2 **Кабанов, Н. А.** Анатомия человека : учебник для вузов / Н. А. Кабанов. – Москва : Юрайт, 2023. – 464 с.
- 3 **Кузнецов, В. И.** Анатомия и физиология человека : учебное пособие / В. И. Кузнецов, А. А. Семенович, В. А. Переверзев ; под ред. В. И. Кузнецова. – Минск : Новое знание, 2015. – 560 с.
- 4 **Прищепа, И. М.** Анатомия человека : учебное пособие / И. М. Прищепа. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2017. – 459 с.
- 5 Анатомия человека : учебник : в 2 т. / М. Р. Сапин [и др.]. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 640 с.
- 6 Физиология человека : учебник / Под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Медицина, 2003. – 656 с.