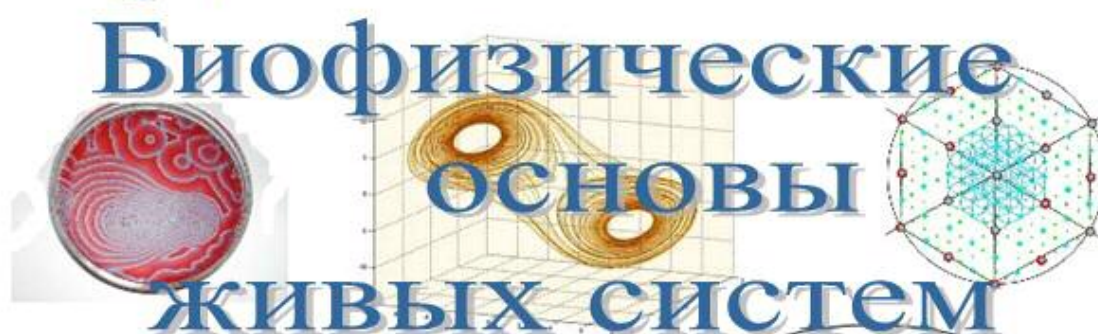


Макаров Л.М.

Биофизические ОСНОВЫ ЖИВЫХ СИСТЕМ



Хаотическое
состояние

Состояние
динамического
равновесия

Статическое
состояние

Среда обитания



Лекционный курс



Содержание	
Введение.....	3
1. Основы понимания развития живых организмов	6
1.1 Физика и биофизика.....	13
2. Клетка и вещество.....	17
3. Химические элементы клетки.....	22
4. Подсистемы организма.....	24
4.1 Почки.....	24
4.2 Осмотическое и онкотическое давление.....	25
4.3 Печень.....	33
4.4 Селезенка.....	34
4.5 Форменные элементы крови	36
4.6 Поджелудочная железа.....	44
4.7 Пищеварительная система.....	44
4.8 Дыхание. Легкие.....	49
4.9 Биофизика течения жидкости. Ламинарное и турбулентное течение	53
4.10 Мышечная и костная система	58
5. Физиологическая кибернетика.....	60
5.1 Основы функциональных систем организма.....	61
5.2 Сенсорные системы.....	66
5.3 Аварийная сигнализация в живом организме	71
6. Биологическая медицинская кибернетика.....	75
6.1 Нервная система.....	75
6.2 Электропроводность биотканей.....	77
Заключение	94
Литература	98

Введение

Организм, как природную систему, можно рассматривать в качестве сложной системы, находящейся в динамическом состоянии, с участием факторов внешней среды. Динамика смены состояний организма относительно невелика. В качестве примера можно говорить о постоянной температуре тела, частоте сердечных сокращений и объеме вентилируемого через легкие воздуха. Правда, такое замечание справедливо для покоящегося организма.

Именно эта способность живых систем сохранять стационарное состояние в условиях непрерывно меняющейся среды и обуславливает их выживание. Для обеспечения стационарного состояния у всех организмов – от морфологически самых простых до наиболее сложных – выработались разнообразные анатомические, физиологические и поведенческие приспособления, служащие одной цели – сохранению постоянства внутренней среды.

Впервые мысль о том, что постоянство внутренней среды обеспечивает оптимальные условия для жизни и размножения организмов, была высказана в 1857 г. французским физиологом Клодом Бернаром. На протяжении всей его научной деятельности Клода Бернара поражала способность организмов регулировать и поддерживать в достаточно узких границах такие физиологические параметры, как температура тела или содержание в нем воды. Это представление о саморегуляции как основе физиологической стабильности он резюмировал в виде ставшего классическим утверждения: “Постоянство внутренней среды является обязательным условием свободной жизни”.

Клод Бернар подчеркивал различие между внешней средой, в которой живут организмы, и внутренней средой, в которой находятся их отдельные клетки, и понимал, как важно, чтобы внутренняя среда оставалась неизменной. Так, например, млекопитающие способны поддерживать температуру тела, несмотря на колебания окружающей температуры. Если становится слишком холодно, животное может переместиться в более теплое или более защищенное место, а если это невозможно, вступают в действие механизмы саморегуляции, которые повышают температуру тела и препятствуют теплоотдаче. Адаптивное значение этого заключается в том, что организм как целое функционирует более эффективно, так как клетки, из которых он состоит, находятся в оптимальных условиях. Системы саморегуляции действуют не только на уровне организма, но и на уровне клеток. Организм является суммой составляющих его клеток, и оптимальное функционирование организма как целого зависит от оптимального функционирования образующих его частей. Любая самоорганизующаяся система поддерживает постоянство своего состава - качественного и количественного. Это явление называется гомеостаз, и оно свойственно большинству биологических и социальных систем. Термин гомеостаз в 1932 г. ввел американский физиолог Уолтер Кэннон.

Гомеостаз (греч. *homoios* – подобный, тот же самый; *stasis*-состояние, неподвижность) – относительное динамическое постоянство внутренней среды (крови, лимфы, тканевой жидкости) и устойчивость основных физиологических функций (кровообращения, дыхания, терморегуляции, обмена веществ и т.д.) организма человека и животных. Регуляторные механизмы, поддерживающие физиологическое состояние или свойства клеток, органов и систем целостного организма на оптимальном уровне, называются гомеостатическими.

Исторически и генетически понятие гомеостаза имеет биологические и медико-биологические предпосылки. Там оно соотносится как конечный процесс, период жизни с отдельным обособленно взятым организмом или человеческим индивидуумом как чисто биологическим явлением. Конечность существования и необходимость выполнения своего предназначения - репродукции себе подобного - позволяют определить стратегию выживания отдельного организма через понятие "сохранение". "Сохранение структурно-функциональной стабильности" - суть любого гомеостаза, управляемого гомеостатом или саморегулируемого.

Как известно, живая клетка представляет подвижную, саморегулирующую систему. Ее внутренняя организация поддерживается активными процессами, направленными на ограничение, предупреждение или устранение сдвигов, вызываемых различными воздействиями из окружающей и внутренней среды. Способность возвращаться к исходному состоянию после отклонения от

некоторого среднего уровня, вызванного тем или иным “возмущающим” фактором, является основным свойством клетки. Многоклеточный организм представляет собой целостную организацию, клеточные элементы которой специализированы для выполнения различных функций.

Взаимодействие внутри организма осуществляется сложными регулирующими, координирующими и коррелирующими механизмами с участием нервных, гуморальных, обменных и других факторов. Множество отдельных механизмов, регулирующих внутри- и межклеточные взаимоотношения, оказывает в ряде случаев взаимно противоположные воздействия, уравнивающие друг друга. Это приводит к установлению в организме подвижного физиологического фона (физиологического баланса) и позволяет живой системе поддерживать относительное динамическое постоянство, несмотря на изменения в окружающей среде и сдвиги, возникающие в процессе жизнедеятельности организма.

Как показывают исследования, существующие у живых организмов способы регуляции имеют много общих черт с регулирующими устройствами в неживых системах, таких как машины. И в том и в другом случае стабильность достигается благодаря определенной форме управления.

Само представление о гомеостазе не соответствует концепции устойчивого (не колеблющегося) равновесия в организме – принцип равновесия не применим к сложным физиологическим и биохимическим процессам, протекающим в живых системах. Неправильно также противопоставление гомеостаза ритмическим колебаниям во внутренней среде. Гомеостаз в широком понимании охватывает вопросы циклического и фазового течения реакций, компенсации, регулирования и саморегулирования физиологических функций, динамику взаимозависимости нервных, гуморальных и других компонентов регуляторного процесса. Границы гомеостаза могут быть жесткими и пластичными, меняться в зависимости от индивидуальных возрастных, половых, социальных, профессиональных и иных условий.

Особое значение для жизнедеятельности организма имеет постоянство состава крови - жидкой основы организма (fluid matrix), по выражению У. Кеннона. Хорошо известна устойчивость ее активной реакции (рН), осмотического давления, соотношения электролитов (натрия, кальция, хлора, магния, фосфора), содержания глюкозы, числа форменных элементов и т. д. Так, например, рН крови, как правило, не выходит за пределы 7,35-7,47.

Даже резкие расстройства кислотно-щелочного обмена с патологическим накоплением кислот в тканевой жидкости, например при диабетическом ацидозе, очень мало влияют на активную реакцию крови. Несмотря на то, что осмотическое давление крови и тканевой жидкости подвергается непрерывным колебаниям вследствие постоянного поступления осмотически активных продуктов межклеточного обмена, оно сохраняется на определенном уровне и изменяется только при некоторых выраженных патологических состояниях. Сохранение постоянного осмотического давления имеет первостепенное значение для водного обмена и поддержания ионного равновесия в организме. Наибольшим постоянством отличается концентрация ионов натрия во внутренней среде. Содержание других электролитов колеблется также в узких границах. Наличие большого количества осморцепторов в тканях и органах, в том числе в центральных нервных образованиях (гипоталамусе, гиппокампе), и координированной системы регуляторов водного обмена и ионного состава позволяет организму быстро устранить сдвиги в осмотическом давлении крови, происходящие, например, при введении воды в организм.

Несмотря на то, что кровь представляет общую внутреннюю среду организма, клетки органов и тканей непосредственно не соприкасаются с ней. В многоклеточных организмах каждый орган имеет свою собственную внутреннюю среду (микросреду), отвечающую его структурным и функциональным особенностям, и нормальное состояние органов зависит от химического состава, физико-химических, биологических и других свойств этой микросреды. Ее гомеостаз обусловлен функциональным состоянием гистогематических барьеров и их проницаемостью в направлениях кровь - тканевая жидкость; тканевая жидкость - кровь.

Особо важное значение имеет постоянство внутренней среды для деятельности центральной нервной системы: даже незначительные химические и физико-химические сдвиги, возникающие в цереброспинальной жидкости, глии и окологлеточных пространствах, могут вызвать резкое

нарушение течения жизненных процессов в отдельных нейронах или в их ансамблях. Сложной гомеостатической системой, включающей различные нейрогуморальные, биохимические, гемодинамические и другие механизмы регуляции, является система обеспечения оптимального уровня артериального давления. При этом верхний предел уровня артериального давления определяется функциональными возможностями барорецепторов сосудистой системы тела, а нижний предел – потребностями организма в кровоснабжении.

К наиболее совершенным гомеостатическим механизмам в организме высших животных и человека относятся процессы терморегуляции; у гомойотермных животных колебания температуры во внутренних отделах тела при самых резких изменениях температуры в окружающей среде не превышают десятых долей градуса.

Организирующая роль нервного аппарата (принцип нервизма) лежит в основе широко известных представлений о сущности принципов гомеостаза. Однако ни принцип доминанты, ни теория барьерных функций, ни общий адаптационный синдром, ни теория функциональных систем, ни гипоталамическое регулирование гомеостаза и многие другие теории не позволяют полностью решить проблему гомеостаза.

В некоторых случаях представление о гомеостазе не совсем правомерно используется для объяснения изолированных физиологических состояний, процессов и даже социальных явлений. Так возникли встречающиеся в литературе термины “иммунологический”, “электролитный”, “системный”, “молекулярный”, “физико-химический”, “генетический гомеостаз” и т.п. Предпринимались попытки свести проблему гомеостаза к принципу саморегулирования. Примером решения проблемы гомеостаза с позиций кибернетики является попытка Эшби (W.R. Ashby, 1948) сконструировать саморегулирующее устройство, моделирующее способность живых организмов поддерживать уровень некоторых величин в физиологически допустимых границах.

Перед исследователями и клиницистами на практике встают вопросы оценки приспособительных (адаптационных) или компенсаторных возможностей организма, их регулирования, усиления и мобилизации, прогнозирования ответных реакций организма на возмущающие воздействия. Некоторые состояния вегетативной неустойчивости, обусловленные недостаточностью, избытком или неадекватностью регуляторных механизмов, рассматриваются как “болезни гомеостаза”. С известной условностью к ним могут быть отнесены функциональные нарушения нормальной деятельности организма, связанные с его старением, вынужденная перестройка биологических ритмов, некоторые явления вегетативной дистонии гипер- и гипокompенсаторная реактивность при стрессовых и экстремальных воздействиях и т.д.

Для оценки состояния гомеостатических механизмов в физиологическом эксперименте и в клинической практике применяются разнообразные дозированные функциональные пробы (холодовая, тепловая, адреналиновая, инсулиновая, мезатоновая и др.) с определением в крови и моче соотношения биологически активных веществ (гормонов, медиаторов, метаболитов) и т.д.

С точки зрения химической биофизики гомеостаз – это состояние, при котором все процессы, ответственные за энергетические превращения в организме, находятся в динамическом равновесии. Это состояние обладает наибольшей устойчивостью и соответствует физиологическому оптимуму. В соответствии с представлениями термодинамики организм и клетка могут существовать и приспособляться к таким условиям среды, при которых в биологической системе возможно установление стационарного течения физико-химических процессов, т.е. гомеостаза. Основная роль в установлении гомеостаза принадлежит в первую очередь клеточным мембранным системам, которые ответственны за биоэнергетические процессы и регулируют скорость поступления и выделения веществ клетками.

1. Основы понимания развития живых организмов

Биофизика, используя известные физические законы, формирует понятия и представления о развитии живых организмов, их способности осуществлять важнейшие функции жизнедеятельности, постоянно взаимодействуя с окружающей средой. Многие процессы жизнедеятельности живых организмов «встраиваются» в окружающую среду, тем самым способствуя развитию конкретного организма и вида в целом. В таком представлении эволюционный процесс развития организма и эволюционный процесс развития видов живых организмов позволяет создать методологические правила понимания особенностей проявления жизнедеятельности отдельных представителей вида, с учетом реальных условий среды обитания.

Основу эволюционного подхода к проблеме возникновения жизни составляет идея развития, которая как методологический принцип познания живой природы начала оформляться в период XVIII-XIX вв. Именно в этот период создаются первые инструменты по изучению явлений природы, появляется практический интерес к результатам научных наблюдений, поскольку получаемые учеными суждения, как правило подкрепленные экспериментом, позволяют конструировать новые средства для преобразования Природы. Именно направленность на создание промышленности, позволяющей предоставить массовый товар, создает условия финансирования науки. Естественно первые научные результаты носили характер стихийных гениальных догадок. Наука еще не располагала достаточным естественнонаучным материалом, метафизический взгляд на природу не позволял подойти к исследованию подлинных источников развития.

Несмотря на то, что концепция развития (в особенности органического) была сформулирована древнегреческими философами, первые работы формально лишь подтверждали догадки древних ученых. Так, например, в философии Аристотеля¹ появляется диалектический результат живого развития жизни. Дальнейшая философская разработка этой идеи во многом зависела от решения целого ряда естественно-научных проблем, которое, в свою очередь, требовало эффективной методологической основы, которая появилась в конце XVIII столетия.

Такая диалектическая взаимосвязь методологии и результатов конкретных наук - принципиальное качество научного познания. История становления эволюционного учения подтверждает, какую важную роль в этом процессе играют философские взгляды естествоиспытателей.

Так, в свое время широкое распространение в биологии получила аристотелевская идея градации органического мира, завершением которой явилась натурфилософская концепция «лестницы существ». Ее сторонники представляли живую природу в виде восходящей «лестницы», ступеньками которой выступают отдельные формы органического мира, располагающиеся в порядке повышения их сложности.

Начиная с середины XVIII в. получили очень широкое распространение концепции трансформизма. Их было множество, и различались они представлениями о том, какие таксоны и каким образом могут претерпевать качественные преобразования. Наиболее распространенной была точка зрения, в соответствии с которой виды остаются неизменными, а разновидности могут изменяться. Допущение изменчивости видов в ограниченных пределах под воздействием внешних условий, гибридизации характерно для целой плеяды ученых XVIII в.

Трансформизм – это полуэмпирическая позиция, построенная на основе обобщения большого числа фактов, свидетельствовавших о наличии глубинных взаимосвязей между видами, родами и другими таксонами. Но сущность этих глубинных взаимосвязей пока еще не была понята. «Создание новых взглядов» на познание такой сущности и означал переход от трансформизма к эволюционизму.

¹ Аристотель древнегреческий философ 384 до н. э. Ученик Платона. С 343 до н. э. — воспитатель Александра Македонского.

Эти взгляды получили дальнейшее воплощение в принципе непрерывности Г.В. Лейбница² и его учении о всеобщей связи сущего. Г. Лейбниц, независимо от Ньютона, создал математический анализ — дифференциальное и интегральное исчисления, основанные на бесконечно малых. В математике создал комбинаторику как науку; только он во всей истории математики одинаково свободно работал как с непрерывным, так и с дискретным. Установил правила логики - логических процедур. Описал двоичную систему счисления с цифрами 0 и 1, на которой основана современная компьютерная техника. В механике ввел понятие «живой силы» (прообраз современного понятия кинетической энергии) и сформулировал закон сохранения энергии. В психологии выдвинул понятие бессознательно «малых перцепций» и развил учение о бессознательной психической жизни. Г. Лейбниц приходит к выводу о родстве всех живых существ и о их единстве с неорганической природой. Это была идея «вездесущая» жизни.

Так, в произведениях французского энциклопедиста Ж.Б. Робине (1735-1820) «лестница существ» получает в основе своей материалистическое объяснение. Полагая материю одушевленной, Ж. Робине всем телам природы приписывал функции живого. Французский материалист Ж.О. Ламеттри (1709-1751) высказал идею о возникновении живых форм из органических зародышей под влиянием внешней среды. Единство растительного и животного царства он рассматривал в сходстве составляющих их элементов. Ж. Ламеттри в какой-то степени подходил к идее эволюции, но делал это с крайне механистических позиций, полагая, что различия между животным, растительным миром и человеком - чисто количественного порядка.

Более развернутый характер эволюционные идеи приобрели в учении Д. Дидро (1713-1784), который прямо ставил вопрос о качественной изменчивости органического мира. Предвосхищая некоторые положения эволюционного учения, Д. Дидро считал, что человек как биологический вид имеет свою историю становления, равно как и другие живые существа.

Одним из первых философов, сделавших попытку применить современное ему естествознание для объяснения строения и развития мира, был И. Кант. Идея развития рассматривалась им как всеобщий принцип, применимый к познанию всех явлений, имеющих место на Земле. Выводы, к которым он пришел, рассматривая живую природу, способствовали проникновению идеи эволюции в умы биологов. И. Кант предугадал сущность материалистического объяснения природы наследственного материала, совершенно верно подметив независимость его от внешних причин.

В 1809 г. Ж. Ламарк (ламаркизм) опубликовал «Философию зоологии», которая содержала его основные возражения против метафизической идеи вечности и неизменности видов. Впервые в истории науки в этом труде была последовательно изложена идея о постепенном развитии всех организмов из простейших форм жизни, сделана первая попытка объяснить это развитие действием естественных сил, влияющих на организацию растений и животных. Согласно Ж. Ламарку, развитие органического мира осуществляется путем естественной «градации», как постепенный переход от простейших форм биологической организации к усложняющимся и совершенствующимся. Движущей силой такого развития выступает «постоянное стремление природы» к усложнению строения организмов. Это первый принцип эволюции. Здесь не учитывается влияние условий существования. Наоборот, в постоянной, неизменной среде градация должна обнаруживаться в чистом виде. Но в реальной природе не существует таких условий. Поэтому организмы под действием самых разнообразных факторов вынуждены изменять свои привычки, это влечет за собой изменение строения, нарушающее правильность «градации». Это - второй принцип исторического развития организмов. В дальнейшем в аргументах ламаркистов он занял главное место.

По иному пути пошла конкретизация идеи развития в учении катастрофизма (Ж. Кювье, Л. Агассис, д'Орбиньи, А. Седжвик, У. Букланд). Идея биологической эволюции в катастрофизме выступала как производная от более общей идеи развития глобальных геологических процессов. Если Ламарк старался подальше отодвинуть роль божественного «творчества», отгородить органиче-

² Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646 — 1716) немецкий философ, логик, математик, механик, физик, юрист, историк, дипломат, изобретатель. Основатель и первый президент Берлинской Академии наук, иностранный член Французской Академии наук.

ский мир от вмешательства творца, то катастрофисты, наоборот, приближают бога к природе, в свою концепцию непосредственно вводят представление о прямом божественном вмешательстве в ход природных процессов. Катастрофизм есть такая разновидность гипотез органической эволюции, в которой прогресс органических форм объясняется через признание неизменяемости отдельных биологических видов. В этом, пожалуй, главное своеобразие данной концепции.

Теоретическим ядром катастрофизма являлся принцип разграничения действующих в настоящее время и действовавших в прошлом сил и законов природы. Силы, действовавшие в прошлом, качественно отличаются от тех, которые действуют сейчас. В отдаленные времена действовали мощные, взрывные, катастрофические силы, прерывавшие спокойное течение геологических и биологических процессов. Мощность таких сил настолько велика, что их природа не может быть установлена средствами научного анализа. Наука может судить не о причинах этих сил, а лишь об их последствиях. Таким образом, катастрофизм выступает как феноменологическая концепция.

Главный принцип катастрофизма раскрывался в представлениях о внезапности катастроф, о крайне неравномерной скорости процессов преобразования поверхности Земли, о том, что история Земли есть процесс периодической смены одного типа геологических изменений другим, причем между сменяющимися друг друга периодами нет никакой закономерной, преемственной связи, как нет ее между факторами, вызывающими эти процессы. По отношению к органической эволюции эти положения конкретизировались в двух принципах

- коренных качественных изменений органического мира в результате катастроф;
- прогрессивного восхождения органических форм после очередной катастрофы.

С точки зрения Ж. Кювье, те незначительные изменения, которые имели место в периоды между катастрофами, не могли привести к качественному преобразованию видов. Только в периоды катастроф, мировых пертурбаций исчезают одни виды животных и растений и появляются другие, качественно новые. Творцы теории катастрофизма исходили из мировоззренческих представлений о единстве геологических и биологических аспектов эволюции; непротиворечивости научных и религиозных представлений, вплоть до подчинения задач научного исследования обоснованию религиозных догм. В основе катастрофизма - допущение существования скачков, прерывов постепенности в развитии.

К концепции катастрофизма в нашей литературе долгое время относились снисходительно, как к чему-то наивному, устаревшему и полностью ошибочному. Тем не менее значение этой концепции в истории геологии, палеонтологии, биологии велико. Катастрофизм способствовал развитию стратиграфии, связыванию истории развития геологического и биологического миров, введению представления о неравномерности темпов преобразования поверхности Земли, выделению качественного своеобразия определенных периодов в истории Земли, исследованию закономерностей повышения уровня организации видов в рамках общих ароморфозов и др. Не потеряло своего значения в исторической геологии и палеонтологии и само понятие “катастрофа”. Современная наука также не отрицает геологических катастроф.

Следующей обстоятельно разработанной в первой половине XIX в. концепцией развития был униформизм (Дж. Геттон, Ч. Лайель, М. В. Ломоносов, К. Гофф, Дж. Пэдж) Если катастрофизм вводил в теорию развития Земли «натуральные факторы» и отказывался от научного исследования закономерностей и причин древних геологических процессов, то униформизм, наоборот, выдвигает принцип познаваемости истории Земли и органического мира. Униформисты выступали против катастрофизма прежде всего по линии критики неопределенности представления о причинах катастроф.

Ядром униформизма являлся актуалистический метод, который по замыслу его основоположников (прежде всего Ч. Лайеля) должен был быть ключом для познания древних геологических процессов. Актуалистический метод предполагал преемственность прошлого и настоящего, тождественность современных геологических процессов с древними процессами. По характеру современных геологических процессов можно с определенной степенью приближения описать закономерности древних процессов, в том числе и образование горных пород. Пропагандируя всемогущество актуалистического метода, Ч. Лайель писал, что с его помощью человек становится

способным «не только исчислять миры, рассеянные за пределами нашего слабого зрения, но даже проследить события бесчисленных веков, предшествовавших созданию человека и проникнуть в сокровенные тайны океана или внутренностей земного шара». Вместе с тем, актуалистический метод систематически применяется Лайелем лишь к неживой природе, а в области органических процессов Лайель делал серьезные уступки катастрофизму, допуская возможность актов божественного творения органических форм.

Униформизм опирался на следующие теоретические принципы:

- однообразии действующих факторов и законов природы, их неизменяемость на протяжении истории Земли;
- непрерывность действия факторов и законов, отсутствие всяческих переворотов, скачков в истории Земли;
- суммирование мелких отклонений в течение громадных периодов времени;
- потенциальная обратимость явлений и отрицание прогресса в развитии

Но униформизм, однако, являлся достаточно ограниченной теорией развития. Униформизм свел развитие к цикличности и не видел в нем необратимости; с точки зрения униформистов Земля не развивается в определенном направлении, она просто изменяется случайным, бессвязным образом.

Накопленный длительным развитием биологической науки фактический и теоретический материал требовал своего объяснения в рамках общей концепции, диалектически отражающей противоречивые процессы развития в живой природе. Такое объяснение было дано Ч. Дарвином, который вскрыл и объяснил источники и движущие силы этой эволюции. В основе теории эволюции им были положены следующие материальные факторы: наследственность, изменчивость и естественный отбор, борьба за существование. Его учение о естественном отборе стало ключевым в решении многих проблем эволюции органического мира. В 1859 г. был выпущен главный труд всей жизни Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь».

Далее началось формирование новых отраслей эволюционной биологии на базе синтеза дарвинизма с генетикой, экологией, биоценологией и математическим моделированием. В основе этого процесса было экспериментальное изучение факторов и причин, в совокупности вызывающих адаптивное преобразование популяций.

Объединение этих направлений между собой и синтез их с ранее сложившимися отраслями эволюционной биологии, изучающими процессы макрофилогенеза, стали основой синтетической теории эволюции. Сущность синтетической теории эволюции заключается в трактовке эволюционного процесса как сложного противоречивого взаимодействия внешних и внутренних факторов, реализуемого через естественный отбор в адаптивных преобразованиях популяций. В синтетической теории эволюции преодолевалось представление об отдельном организме как поле действия законов исторического развития жизни.

Признание естественного отбора в качестве главной движущей силы эволюции окончательно утвердило идею о превращении объективно случайной, т. е. ненаправленной в сторону приспособлений, наследственной изменчивости в адаптивно направленный процесс эволюции, закономерно осуществляемый отбором.

Только в рамках синтетической теории эволюции стала возможной правильная постановка вопроса о движущих силах макроэволюции, в том числе и прогрессивного развития. Объективная трудность их познания заключается в том, что возникновение крупных эволюционных новшеств— это процессы, протекавшие в далеком геологическом прошлом. Эта особенность макроэволюции породила массу гипотез о ее причинах, которые не могут быть проверены фактическим путем.

С позиций синтетической теории эволюции было дано решение проблемы причинно-следственных связей в макроэволюции. Доказано, что основные закономерности макроэволюции (необратимость, неравномерность, направленность и др.) являются устойчивыми следствиями факторов и причин, действующих на видовом уровне.

Синтетическая теория эволюции не является застывшей системой теоретических положений. В ее рамках продолжают формироваться новые направления исследований, фундаментальные открытия в биохимии и молекулярной генетике положили начало изучению эволюции на молекулярном уровне организации живого.

Характерной чертой развития синтетической теории эволюции в последние годы стало формирование представлений об эволюции как сложном сопряженном процессе, протекающем в рамках основных уровней организации живого (молекулярном, организменном, популяционно-видовом, био-геоценотическом и биосферном). Изучение основных закономерностей этих сопряженных преобразований дает богатый материал для понимания системного характера процессов развития природы. Важнейшей практической задачей синтетической теории эволюции становится выработка рациональных способов управления эволюционным процессом в условиях все нарастающего воздействия общества на окружающую среду.

Создание такой системы возможно лишь на основе глубоких знаний о закономерностях функционирования и эволюции живого с проведением всех необходимых мероприятий по охране сложившегося разнообразия органического мира и биотического круговорота, обеспечивающих устойчивость биосферы и воспроизводство всех ее основных ресурсов.

Дальнейшее развитие научных представлений о развитии живых организмов, с точки зрения планеты Земля, получило отражение в трудах о ноосфере В.И. Вернадского.

Учение о ноосфере возникло в рамках космизма – философского учения о неразрывном единстве человека и космоса, человека и Вселенной, о регулируемой эволюции мира. Понятие ноосферы как обтекающей земной шар идеальной, «мыслящей» оболочки, формирование которой связано с возникновением и развитием человеческого сознания, ввели в оборот в начале XX века французские ученые П.Тейяр де Шарден и Э. Лерц. Заслуга В.И. Вернадского заключается в том, что он дал этому термину новое, материалистическое содержание. И сегодня под ноосферой понимается высшая стадия биосферы, связанная с возникновением и развитием человечества, которое, познавая законы природы и совершенствуя технику, начинает оказывать определяющее влияние на ход процессов на Земле и в околоземном пространстве, изменяя их своей деятельностью. Учение о ноосфере показало не только связь всех живых организмов, их зависимость от условий среды обитания, но подчиненность некоторому ритмическому процессу смены времен года и смены времени суток. В этом отношении становится понятным важность проводимых исследований живых организмов в естественных средах обитания с учетом влияния факторов внешней среды.

Наличие большого количества различных факторов внешней среды, участвующих в формировании живого организма от момента рождения, постулирует широкого использования физически обоснованных методов измерения, развитых в техническом отношении методов регистрации данных и, естественно, надежным математических методов анализа получаемых результатов.

Все современные живые существа, от микробов до человека, устроены гораздо сложнее, чем простые белковые кластеры. В основе сложного строения биологических организмов находится представление о биологической клетке.

Если рассматривать под микроскопом разные ткани растений и животных, можно видеть, что они состоят из мельчайших телец, которые и получили название клеток. Клетки каждой ткани похожи друг на друга, но не похожи на клетки других тканей. Особенно своеобразно устроена нервная клетка. От микроскопического комочка, представляющего ее тело, во все стороны отходят тончайшие отростки, волокна. Волокна разных клеток соединяются, и поэтому сигналы от одной клетки могут передаваться другой.

Как ни отличаются друг от друга разные клетки животных и растений, все они в основном построены одинаково, имея: 1) протоплазму (основная масса клетки), 2) ядро (плотная частица, лежащая в протоплазме), 3) оболочку.

Клеточная теория строения организмов была создана в 30-х годах прошлого века М. Шлейденем и Т. Шванном. Теория эта доказала, что все животные и растения возникли в результате

длительного развития от немногих простейших организмов, состоявших из одной клетки и сходных с современными микробами.

За миллионы лет, прошедшие с момента возникновения первых клеток, в ходе эволюционного процесса — через ряд бесчисленных переходных форм — возникли современные, столь сложные живые существа. Мы не имеем возможности подробно рассмотреть здесь все ступени развития.

Первые живые существа могли использовать для своего обмена с окружающей природой лишь органические соединения, растворенные в воде первичного океана. Однако в дальнейшем благодаря возникновению особого ферментного тела — хлорофилла — некоторые клетки получили возможность, используя энергию солнечных лучей, самостоятельно создавать сложные органические вещества из углекислого газа и воды (подобный процесс получил название фотосинтеза). Эти клетки и дали начало растительному царству. Остальные клетки продолжали питаться органическими веществами. Однако количество последних в воде первичного океана было ничтожным, и когда обмен веществ сложных белковых образований, а затем клеток стал достаточно интенсивным, им потребовалось во много раз больше пищи. Выжить в этих условиях могли только те клетки, которые приобрели способность поедать другие живые существа, а также растения. Так возникла биосфера.

В настоящее время животное и человек всецело зависят от растений. Растения создают все новые количества органических веществ. Кроме того, в ходе фотосинтеза они выделяют в атмосферу кислород. Животные же вынуждены поедать растения или друг друга, ибо нуждаются в готовых органических соединениях; кроме того, они потребляют выделяемый растениями кислород. Если бы царство растений погибло, современные животные и люди также не смогли бы существовать

Признаки живого по Вернадскому В. И.

В.И. Вернадский - один из первых ученых, который увидел и показал геологическую роль живого вещества на планете. Он определил его как совокупность всех живых организмов, включая человека, влияние которого на геохимические процессы отличается от воздействия остальных существ по своей интенсивности, увеличивающейся с ходом времени. Вернадский рассматривал геохимическую работу живого вещества в неразрывной связи животного, растительного царства и культурного человечества как работу единого целого. Для этого целого он разработал 10 отличительных признаков: 1. Для всего живого характерна большая свободная энергия. 2. Благодаря ферментам все хим.реакции в живом веществе ускоряются. 3.Индивидуальные хим. соединения устойчивы только в живых телах. 4. Для живого характерно движение- пассивное (разложение) и активное (собственно передвижение). 5. Живое вещество обнаруживает огромное морфологическое и химическое разнообразие. 6. Живые вещества биогенные и абиогенные имеют сущ. Отличие в содержании изомеров - в них нарушена зеркальная симметрия. 7. Живое - это отдельные дискретные тела 8. Все живое развивается в виде популяций, родов и видов. 9. Для него характерно наличие смены поколений, генетически связанных между собой 10. Характерен эволюционный процесс с накоплением полезных свойств.

Поскольку живое вещество является определяющим компонентом биосферы, постольку реально утверждать, что оно может существовать и развиваться только в рамках целостной системы биосферы. Не случайно поэтому В.И.Вернадский считает, что живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, являются огромной геологической силой, ее определяющей. Сегодня подсчитано, что совокупность всех живых организмов имеет массу $24 \cdot 10$ тонн. Обобщающие выводы: В качественном отношении живое вещество (ЖВ) - выступает как наиболее высокоразвитая часть материи Земли. В вещественном отношении - в него всегда входят высокоупорядоченные макромолекулярные орг. соединения. В структурном плане оно имеет клеточное строение. В функциональном отношении для ЖВ - характерно воспроизводство самого себя + наличие обмена веществ и способность к росту.

Признаки биологических систем – критерии, отличающие биологические системы от объектов неживой природы:

1. **Единство химического состава.** В состав живых организмов входят те же химические элементы, что и в объекты неживой природы. Однако соотношение различных элементов в живом и неживом неодинаково. В неживой природе самыми распространенными элементами являются кремний, железо, магний, алюминий, кислород. В живых же организмах 98% элементарного (атомного) состава приходится на долю всего четырех элементов: углерода, кислорода, азота и водорода.

2. **Обмен веществ.** К обмену веществ с окружающей средой способны все живые организмы. Они поглощают из среды элементы питания и выделяют продукты жизнедеятельности. В неживой природе также существует обмен веществами, однако при небиологическом круговороте они просто переносятся с одного места на другое или меняют свое агрегатное состояние: например, смыв почвы, превращение воды в пар или лед и др. У живых же организмов обмен веществ имеет качественно иной уровень. В круговороте органических веществ самыми существенными являются процессы синтеза и распада (ассимиляция и диссимиляция – см. дальше), в результате которых сложные вещества распадаются на более простые и выделяется энергия, необходимая для реакций синтеза новых сложных веществ.

Обмен веществ обеспечивает относительное постоянство химического состава всех частей организма и как следствие – постоянство их функционирования в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды.

3. **Самовоспроизведение** (репродукция, размножение) – свойство организмов воспроизводить себе подобных. Процесс самовоспроизведения осуществляется практически на всех уровнях жизни. Существование каждой отдельно взятой биологической системы ограничено во времени, поэтому поддержание жизни связано с самовоспроизведением. В основе самовоспроизведения лежит образование новых молекул и структур, обусловленное информацией, заложенной в нуклеиновой кислоте – ДНК, которая находится в родительских клетках.

4. **Наследственность** – способность организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Наследственность обеспечивается стабильностью ДНК и воспроизведением ее химического строения с высокой точностью. Материальными структурами наследственности, передаваемыми от родителей потомкам, являются хромосомы и гены.

5. **Изменчивость** – способность организмов приобретать новые признаки и свойства; в ее основе лежат изменения материальных структур наследственности. Это свойство как бы противоположно наследственности, но вместе с тем тесно связано с ней. Изменчивость поставляет разнообразный материал для отбора особей, наиболее приспособленных к конкретным условиям существования, что, в свою очередь, приводит к появлению новых форм жизни, новых видов организмов.

6. **Рост и развитие.** Способность к развитию – всеобщее свойство материи. Под развитием понимают необратимое направленное закономерное изменение объектов живой и неживой природы. В результате развития возникает новое качественное состояние объекта, изменяется его состав или структура. Развитие живой формы материи представлено индивидуальным развитием (*онтогенезом*) и историческим развитием (*филогенезом*). Филогенез всего органического мира называют *эволюцией*.

На протяжении онтогенеза постепенно и последовательно проявляются индивидуальные свойства организмов. В основе этого лежит поэтапная реализация наследственных программ. Индивидуальное развитие часто сопровождается ростом – увеличением линейных размеров и массы всей особи и ее отдельных органов за счет увеличения размеров и количества клеток. Историческое развитие сопровождается образованием новых видов и прогрессивным усложнением жизни. В результате эволюции возникло все многообразие живых организмов на Земле.

7. **Раздражимость** – это специфические избирательные ответные реакции организмов на изменения окружающей среды. Всякое изменение окружающих организм условий представляет собой по отношению к нему раздражение, а его ответная реакция является проявлением раздражимости. Отвечая на воздействия факторов среды, организмы взаимодействуют с ней и приспосабливаются к ней, что помогает им выжить.

Реакции многоклеточных животных на раздражители, осуществляемые и контролируемые центральной нервной системой, называются *рефлексами*. Организмы, не имеющие нервной системы, лишены рефлексов, и их реакции выражаются в изменении характера движения (*таксисы*) или роста (*тропизмы*).

8. **Дискретность** (от лат. *discretus* – разделенный). Любая биологическая система состоит из отдельных изолированных, то есть обособленных или отграниченных в пространстве, но тем не менее, тесно связанных и взаимодействующих между собой частей, образующих структурно-функциональное единство. Так, любая особь состоит из отдельных клеток с их особыми свойствами, а в клетках также дискретно представлены органоиды и другие внутриклеточные образования.

Дискретность строения организма – основа его структурной упорядоченности. Она создает возможность постоянного самообновления системы путем замены износившихся структурных элементов без прекращения функционирования всей системы в целом.

9. **Саморегуляция** (*авторегуляция*) – способность живых организмов поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность физиологических процессов (*гомеостаз*). Саморегуляция осуществляется благодаря деятельности нервной, эндокринной и некоторых других регуляторных систем. Сигналом для включения той или иной регуляторной системы может быть изменение концентрации какого-либо вещества или состояния какой-либо системы.

10. **Ритмичность** – свойство, присущее как живой, так и неживой природе. Оно обусловлено различными космическими и планетарными причинами: вращением Земли вокруг Солнца и вокруг своей оси, фазами Луны и т.д.

Ритмичность проявляется в периодических изменениях интенсивности физиологических функций и формообразовательных процессов через определенные равные промежутки времени. Хорошо известны суточные ритмы сна и бодрствования у человека, сезонные ритмы активности и спячки у некоторых млекопитающих и многие другие. Ритмичность направлена на согласование функций организма с периодически меняющимися условиями жизни.

11. **Энергозависимость**. Биологические системы являются «открытыми» для поступления энергии. Под «открытыми» понимают динамические, т.е. не находящиеся в состоянии покоя системы, устойчивые лишь при условии непрерывного доступа к ним веществ и энергии извне. Живые организмы существуют до тех пор, пока в них поступают из окружающей среды энергия и вещества в виде пищи. В большинстве случаев организмы используют энергию Солнца: одни непосредственно – это *фотоавтотрофы* (зеленые растения и цианобактерии), другие опосредованно, в виде органических веществ потребляемой пищи, – это *гетеротрофы* (животные, грибы и бактерии).

1. 1 Физика и биофизика

Биофизика - одна из наиболее бурно развивающихся современных наук - за последние десять лет сделала гигантский скачок в области познания биологических явлений на молекулярном и клеточном уровнях. Но несмотря на большие успехи, общий результат этих работ не позволяет пока перейти к более глубоким теоретическим выводам в познании жизненных явлений. Взглянуть на накопленные факты с целью их обобщения и постижения объективной сущности - вот одна из основных задач современного этапа развития биофизики. Для их успешного решения необходима формулировка соответствующих законов с помощью точно определяемых понятий, категорий, концепций.

Параллели в развитии биологии и физики, вопрос о соотношении этих наук стали предметом обсуждения во время научных революций XIX и XX веков. Революция в естествознании XIX века была вызвана открытиями закона сохранения и превращения энергии в физике и клеточной теории и эволюционного учения в биологии, которые разрушили старые представления о неизменных «силах» в неживой природе и о неизменных видах в живой природе. Методологическая основа этих открытий была общей. Общность распространялась еще дальше: и в физике, и в биологии были найдены те дискретные микрообразования, из которых, как из соответствующих еди-

ниц, строились структурно более сложные (неживые и живые) тела природы. В физике была открыта молекула как мельчайшая частица вещества, состоящая из атомов, а в биологии - клеточная теория 4 показала, как построены живые организмы из клеток и как они возникают из клетки в своем онтогенетическом развитии. Составляя общий ряд дискретных образований материи, начиная от звездной системы и кончая молекулами и атомам, Ф. Энгельс отметил, что «между земными массами и молекулами мы встречаем в органическом мире клетку» в качестве промежуточного звена. «Эти промежуточные звенья доказывают только, что в природе нет скачков именно потому, что она слагается сплошь из скачков» [2]. Здесь Ф. Энгельс сопоставил дискретный объект биологии клетку непосредственно с дискретным микрообъектом физики - молекулой. Новейшая революция в естествознании произошла на рубеже XIX и XX веков. Решающим открытием в физике было обнаружение дискретных микрообъектов, более мелких, чем атомы: электрон, квант света, ядро, протон. В сочетании идей дискретности и непрерывности возникла в начале XX века квантовая механика, воплотившая в себе новый этап новейшей революции в физике и во всем естествознании. Аналогично этому, в те самые годы развертывалась новейшая революция и в биологии. Выдвигается идея особого наследственного вещества как материального субстрата свойства наследственности: де Фриз создает теорию мутаций; рождается понятие гена как дискретного носителя наследственности; наконец, Морган создает хромосомную теорию наследственности. Проникновение идеи дискретности в области генетики вызвало революцию в биологии. Ее глубокое сходство в методологическом отношении с одновременно протекавшей революцией в физике свидетельствует не о простом случайном совпадении двух независимо совершавшихся событий, а о едином процессе революционного преобразования всего естествознания, захватившем обе основные его отрасли, изучающие неживую и живую природу и внутренне органически связанные между собой. Таким образом, сравнительный анализ научных революций XIX и XX веков показывает глубокий параллелизм развития физики и биологии, обусловленный их внутренним единством и глубокой взаимосвязью. В настоящее время наиболее распространенная в литературе постановка вопроса о соотношении биологии и физики формулируется так: 5 возможно ли на основе принципов и законов физики дать полное объяснение феномена жизни? Вопрос о сущности жизни, ее происхождении всегда был в центре внимания философов и естествоиспытателей. История этого вопроса и критика взглядов возникающих на основе идеалистических учений дана в книге А.И. Опарина «Материя - жизнь - интеллект», в которой автор приходит к утверждению, что «только на основе диалектико- материалистических представлений, рассматривающих жизнь как особую качественно новую форму организации и движения материи, возникшую когда-то в процессе эволюционного развития материи, можно рационально подойти к решению проблемы происхождения жизни».

Считается, что центральные онтологические понятия физики - это понятия материи, пространства, времени и причинности. Мир физики - это материальный мир причинных взаимодействий, расчлененный на отдельные пласты, слои, цепи и т.д. Генеральным методологическим принципом физического познания является чисто редукционистский принцип: объяснение свойств целого на основе анализа его частей и познания законов их взаимодействия. С логической точки зрения теории физики - суть гипотетико-дедуктивные построения, а их основные познавательные функции - объяснение и предсказание. В биологии уже сейчас есть области, которые неотличимы по этим признакам от физики. Однако в большинстве областей наблюдается иное положение. Исторически сложившийся мир биологии - это мир не просто причинных взаимодействий, а мир непрерывно исторически развивающейся иерархии организованных сущностей: индивидов, популяций, биоценозов и биосферы в целом. К числу фундаментальных категорий биологии относятся понятия целостности, функции, целенаправленности, Соответственно в методологии биологии важнейшее место принадлежит принципам историзма и целостности. А формы, в которые отливаются результаты биологического познания, отличаются как по своей логической структуре, так и по познавательным функциям.

Пожалуй, лучшим и наиболее конкретным ответом на вопрос о соотношении и взаимодействии биологии и физики является история формирования и развития науки биофизики, которая, можно

сказать, и возникла как результат сближения биологии и физики. Иными словами, биофизика есть общее поле научного поиска и приложения методологических принципов исследования и теоретического обобщения биологии и физики для изучения объектов живой природы.

Первое определение биофизики, которая должна была разрушить границу между познанием живой и неживой материи, появилось в конце XIX века. Оно принадлежит английскому математику и философу Карлу Пирсону, который придерживался субъективно-идеалистических взглядов на природу научных знаний, за что был подвергнут критике философов-материалистов. Развернутая критика его взглядов содержится в работе В.И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Тем не менее, в философской книге Пирсона «Грамматика науки» были высказаны положения, оказавшие влияние на последующее развитие науки, а определение биофизики можно считать справедливым и по сей день. К. Пирсон делает вывод о том, что мы не можем с полной определенностью утверждать, что жизнь есть механизм в применении к органическим телам, но представляется почти несомненным, что некоторые обобщения физики описывают по крайней мере часть нашего чувственного опыта относительно жизненных форм. Следовательно, нужна отрасль науки, имеющая своей задачей приложение законов физики к развитию органических форм. Он предлагает, такую науку, пытающуюся показать, что факты биологии образуют частные случаи приложения общих физических законов назвать биофизикой и предсказывает, что ей принадлежит крупное будущее. В первой четверти XX века границы биофизики значительно расширяются благодаря тому, что методы химии, физики и математики все глубже проникают в область биологии, появляется новая исследовательская техника, материалистический взгляд на живую природу становится основой методологии в биофизике

Определение объекта познания современной биофизики осложнено, с одной стороны, бурным развитием этой науки, сопровождающимся вовлечением все новых областей в сферу своего изучения, с другой стороны, неоднозначным толкованием биофизики как науки и различными точками зрения на соотношение физики и биологии. Но так или иначе характер объекта познания биофизики связан, прежде всего, с пониманием своеобразия физики живой материи. Он обусловлен также и сложностью наметившейся тенденции превращения биофизики в одну из основных общебиологических наук. К тому же научное формирование биофизики тесно связано с разработкой обобщающей системы понятий, призванной объединить все существенные результаты, полученные биологических науках.

Живой организм есть гетерогенная система, образованная множеством различных, больших и малых молекул. Важнейшие функциональные вещества - это биополимеры - большие молекулы белков и нуклеиновых кислот. Очевидно, что возникновение и существование систем, отвечающих приведенному определению жизни, ставит перед биофизикой множество проблем. Перечислим некоторые из них. Раскрытие общих законов поведения открытых неравновесных систем, иными словами, установление, термодинамических основ жизни. Теоретическое истолкование явлений эволюционного и индивидуального развития и, непосредственно связанное с этим объяснение явлений саморегуляции и самовоспроизведения.

Раскрытие природы биологических процессов на атомно-молекулярном уровне, т.е. выяснение связи между строением и биологической функциональностью белков, нуклеиновых кислот и других 14 веществ, действующих в клетках. Изучение физических явлений в живых системах на более высоком надмолекулярном уровне, на уровне клеток и образующих их органоидов. Создание и теоретическое обоснование физических и физико-химических методов исследования биологически функциональных веществ и надмолекулярных структур, из них построенных. Физическое истолкование обширного комплекса физиологических явлений. Все перечисленные проблемы и представляют предмет изучения биофизики. Биофизика, как и любая другая наука, состоит из областей исследования, которые отражают уровни структурной организации биологических объектов. Выделяют три основных раздела: молекулярную биофизику, биофизику клетки и биофизику сложных систем. На всех уровнях изучают физические явления, устанавливая особенности возникновения тех или иных физических закономерностей. К изучаемым явлениям относят: природу сил взаимодействия между объектами, механизмы преобразования энергии, подвижности объектов, восприятия, переработки и хранения информации и т.д. Наиболее развитые биофизические

исследования во многом ориентированы на выяснение глубинных, «первичных» физических механизмов, лежащих в основе изучаемых биологических процессов. В первую очередь на макромолекулярном и субклеточном уровнях, где достигается возможность наиболее тесной связи между биологией и физикой. Биофизика сегодня - это физика биологической структуры и функции преимущественно этих уровней, в будущем - и на более высоких уровнях пространственно-временной организации биологических систем. При этом главной стратегической проблемой биофизики становится познание биологического развития: онтогенеза и филогенеза. Вместе с тем уже теперь обнаруживается ограниченность чисто физического понимания таких объектов: их нельзя рассматривать в отрыве от специфичных для биологической системы феноменов типа «молекулярного узнавания», пространственной и временной самоорганизации, биоэнергетики и биологической информации

Биофизический процесс сравнительно проще поддается содержательному, качественному и количественному описанию, чем реальный биологический процесс. Биофизический процесс понимается здесь в плане соответствующего изменения биологической структуры и функции, организации и эволюции, в аспекте соответствующего момента биологического движения и развития. Реально биофизический процесс осуществляется в единстве с процессом биохимическим (информационно-вещественным), так как каналы связи со средой организма, живой системы в виде потоков энергии и вещества обычно совпадают с соответствующими потоками информации. Основное отличие биофизического процесса от соответствующего ему процесса физического, в том, что он осуществляется лишь в биологической системе, которая «скрепляется» присущими ей средствами приобретения, использования, хранения и передачи информации. Таким образом, биофизический процесс можно определить как регулируемый, управляемый на основе биологической информации физико-химический, физический процесс. Объект познания биофизики формируется на основе эмпирических и соответствующих теоретических концепций. При этом в современных условиях все большую методологическую актуальность приобретает необходимость выяснения вопроса о характере «элементарного» объекта познания биофизики.

Объект познания биофизики в целом, биофизический процесс, выступает в форме соответствующей, жестко и вероятно детерминированной иерархической интеграции, системных связей элементарных биофизических актов. Построение частной, и тем более общей, теории биофизического процесса представляется конструктивным лишь в форме понятийного развертывания их на основе информационно-энергетической модели элементарного биофизического акта, соответственно конкретной и абстрактной.

Пути рассмотрения свойств целого через свойства его частей приводят к системному подходу. Однако, наряду с правильными оценкам этого метода можно встретиться с двумя крайностями. Системно-структурный подход представляют иногда в виде абсолютно новой, возникшей в наше время методологии, способной дать ключ ко всем еще не разрешенным загадкам природы. При этом системно-структурный подход невольно противопоставляется материалистической диалектике. С другой стороны, этот метод отождествляется со структурализмом, рассматривается в качестве эффективного способа организации и формализации знаний. Идеи системности и организованности глубоко уходят своими корнями в философские и научные представления прошлого. Системно-структурный подход при его правильном применении в конкретных областях не противостоит диалектике, но, напротив, включает в себя ряд принципов диалектической логики. В философском плане интерес к системным идеям объясняется тем, что они дают возможность глубже проанализировать как отдельные категории и законы, так и их совокупность.

Одной из общих методологических идей, на основе которой возможен синтез разных, часто противоречивых данных в целостное представление, стала в естествознании идея дополнительности. Хотя принцип дополнительности первоначально был сформулирован Н. Бором для решения конкретной задачи квантовой физики, однако он далеко выходил за ее пределы. Н. Бор исходил из

того, что «данные, полученные при различных условиях опыта, не могут быть охвачены одной единственной картиной: эти данные должны скорее рассматриваться как дополнительные в том смысле, что только совокупность разных явлений может дать более полное представление о свойствах объекта» [4]. Возможность и необходимость использования идеи дополнительности в биологии и биофизике связаны с целостностью объекта и почти беспредельной его делимостью. Уже эта ситуация, разноуровневость относительно поставленной задачи и ее решения, предполагает употребление, по крайней мере, двух систем понятий в каждом конкретном случае. Поскольку их сведение друг к другу не всегда оказывается возможным, идея дополнительности приобретает особую значимость.

Биофизика вместе с биологией и кибернетикой решая теоретические вопросы существования и приспособленности биообъектов, должны составить в совокупности единую теорию в смысле целостного охвата рассматриваемых проблем, более полную в смысле единства идейного и методологического содержания. Сейчас уже достаточно полно осмыслена пагубность как односторонней абсолютизации, так и игнорирования какого-либо методологического подхода в развитии биофизики. Процесс диалектизации современного биологического познания требует целостного подхода к объекту исследования с учетом всех его объективных связей и зависимостей на пути применения разных методологических критериев. В связи с этим возникает задача изучения систематизации методологических подходов, их места и роли, их эвристических функций в познании, гносеологических аспектов их взаимодействия. В биофизике одной из важнейших становится задача методологического анализа биологических объектов и явлений с учетом единства взаимосвязанных и вместе с тем относительно самостоятельных аспектов - структурного, функционального и исторического. В целом научное познание жизни сегодня можно охарактеризовать как ярко выраженный процесс взаимодействия различных наук. В результате достигнуто не только более глубокое понимание сущности жизни и законов ее развития, но и трансформация, глубокое преобразование логического строения всего научного знания на пути к его единству.

2. Клетка и вещество

1. Минеральные вещества

Важным элементом живого организма является клетка. Жизненные процессы происходящие в клетке важны для всего организма в целом. Для нормальной работы клетки требуется создание и поддержка информационных и вещественных потоков, которые сопровождаются сменой энергетического состояния клетки.

Минеральные вещества составляют от 1 до 1,5% от сырой массы клетки, и находятся в клетке в виде солей диссоциированных на ионы, либо в твердом состоянии (рис. 2.1). Это усредненные показатели, выделяющие лишь главные показатели присутствия веществ.

Молекулярный состав клетки	
Неорганические вещества	
вода	70%
минеральные соли	1–1,5%
Органические вещества	
белки	10–20%
углеводы	0,2–2,0%
жиры	1–5%
нуклеиновые кислоты	1–2%
АТФ, соли и др. вещества	0,1–0,5%

Рис. 2.1. Химический состав клеток живых организмов

В цитоплазме любой клетки находятся кристаллические включения, которые представлены слаборастворимыми солями

кальция и фосфора; кроме них могут находиться оксид кремния и другие неорганические соединения, которые участвуют в образовании опорных структур клетки – в случае минерального скелета радиолярий – и организма, то есть образуют минеральное вещество костной ткани.

2. Неорганические ионы: катионы и анионы

Неорганические ионы, имеют значение для жизнедеятельности клетки (рис. 2.2).

Рассмотрим значение ионов.

Ионы, располагаясь по разные стороны клеточных мембран, образуют так называемый трансмембранный потенциал. Многие ионы неравномерно распределены между клеткой и окружающей средой. Так, концентрация ионов калия (K^+) в клетке в 20–30 раз выше, чем в окружающей среде; а концентрация ионов натрия (Na^+) в десять раз ниже в клетке, чем в окружающей среде.

Благодаря существованию градиентов концентрации, осуществляются многие жизненно важные процессы, такие как сокращение мышечных волокон, возбуждение нервных клеток, перенос веществ через мембрану.

Катионы влияют на вязкость и текучесть цитоплазмы. Ионы калия уменьшают вязкость и увеличивают текучесть, ионы кальция (Ca^{2+}) обладают противоположным действием на цитоплазму клетки.

Минеральные вещества клетки	
катионы:	K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+
анионы:	Cl^- , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-}

Рис. 2.2. Формулы основных ионов клетки

Катионы – калий, натрий, магний и кальций.

Анионы – хлорид анион, гидрокарбонат анион, гидрофосфат

анион, дигидрофосфат анион, карбонат анион, фосфат анион и нитрат анион.

Анионы слабых кислот – гидрокарбонат анион (HCO_3^-), гидрофосфат анион (HPO_4^{2-}) – участвуют в поддержании кислотно-щелочного баланса клетки, то есть pH среды. По своей реакции растворы могут быть кислыми, нейтральными и основными.

Кислотность или основность раствора определяется концентрацией в нем ионов водорода (рис. 2.3).

Эту концентрацию выражают с помощью водородного показателя pH, протяженность шкалы от 0 до 14. Нейтральная среда pH – около 7. Кислая – меньше 7. Основная – больше 7. Быстро определить pH среды можно с помощью индикаторных бумажек, или полосок.

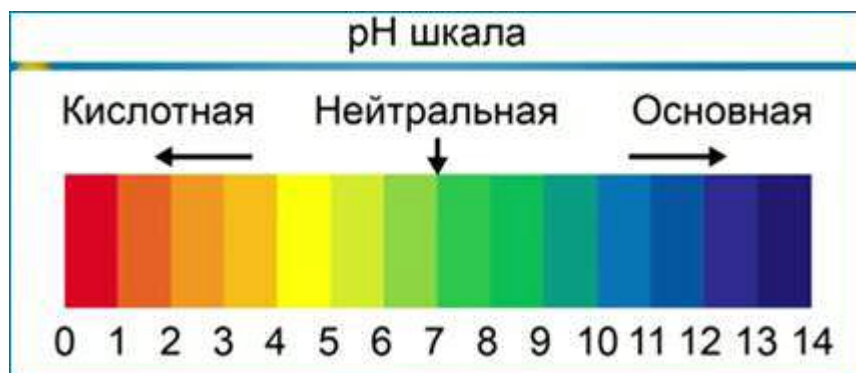


Рис. 2.3. Определение кислотности раствора при помощи универсального индикатора

3. pH среды и роль ионов в его поддержании

Значение pH в клетке примерно равняется 7. Изменение pH в ту или иную сторону губительно действует на клетку, поскольку сразу же изменяются биохимические процессы, проходящие в клетке.

Постоянство pH клетки поддерживается благодаря буферным свойствам ее содержимого.

Буферным называют раствор, который поддерживает постоянное значение pH среды.

Обычно буферная система состоит из сильного и слабого электролита: соли и слабого основания или слабой кислоты, которые ее образуют

Действие буферного раствора заключается в том, что он противостоит изменениям pH среды. Изменение pH среды может возникнуть вследствие концентрирования раствора или разбавления его водой, кислотой или щелочью. Когда кислотность, то есть концентрация ионов водорода возрастает, свободные анионы, источником которых служит соль, взаимодействуют с протонами и удаляют их из раствора. Когда кислотность снижается, то усиливается тенденция к освобождению протонов. Таким образом поддерживается pH на определенном уровне, то есть поддерживается концентрация протонов на определенном постоянном уровне.

Некоторые органические соединения, в частности белки, также обладают буферными свойствами.

Катионы магния, кальция, железа, цинка, кобальта, марганца входят в состав ферментов и витаминов

Катионы металлов входят в состав гормонов.

Цинк входит в состав инсулина. Инсулин – это гормон поджелудочной железы, который регулирует уровень глюкозы в крови.

Магний входит в состав хлорофилла.

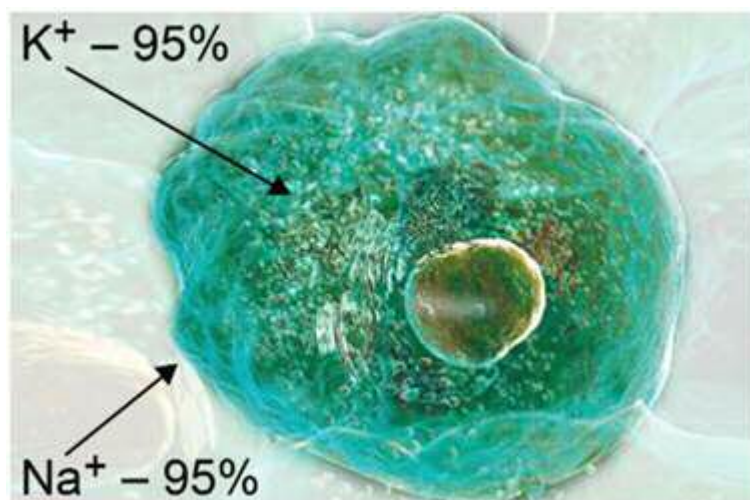
Железо входит в состав гемоглобина.

При недостатке этих катионов нарушаются процессы жизнедеятельности клетки.

4. Ионы металлов как кофакторы

Значение ионов натрия и калия

Ионы натрия и калия распределены по всему объему организма, при этом ионы натрия входят, в основном, в состав межклеточной жидкости, а ионы калия содержатся внутри клеток: 95% ионов калия содержатся внутри клеток, а 95% ионов натрия содержатся в межклеточных жидкостях (рис. 2.4).



Значение кальция в организме человека
Кальций является одним из самых распространенных элементов в организме человека. Основная масса кальция входит в состав костей и зубов. Фракция вне костного кальция составляет 1% от общего количества кальция в организме. Внекостный кальций влияет на свертываемость крови, а также нервную мышечную возбудимость и сокращение мышечных волокон.

Рис. 2.4.

С ионами натрия связано осмотическое давление жидкостей, удержание воды тканями, а также перенос, или транспорт таких веществ как аминокислот и сахара через мембрану.

5. Фосфатная буферная система

Фосфатная буферная система играет роль в поддержании кислотно-щелочного баланса организма, кроме этого она поддерживает баланс в просвете канальцев почек, а также внутриклеточной жидкости.

Фосфатная буферная система состоит из дигидрофосфата и гидрофосфата. Гидрофосфат связывает, то есть нейтрализует протон. Дигидрофосфат высвобождает протон и взаимодействует с поступившими в кровь щелочными продуктами.

Фосфатная буферная система входит в буферную систему крови (Рис. 2.5).

В организме человека всегда имеются определенные условия для сдвига нормальной реакции среды ткани, например, крови, в сторону ацидоза (закисления) или алкалоза (раскисления – смещения рН в большую сторону).



Рис. 2.5. Буферная система крови

В кровь поступают различные продукты, например, молочная кислота, фосфорная кислота, сернистая кислота, образующиеся в результате окисления фосфорорганических соединений либо серосодержащих белков. При этом реакция крови, может сдвигаться в сторону кислых продуктов. При употреблении мясных продуктов, в кровь поступают кислые соединения. При употреблении растительной пищи, в кровь поступают основания.

Тем не менее, рН крови остается на определенном постоянном уровне. В крови имеются буферные системы, которые поддерживают рН на определенном уровне. К буферным системам

Буферные системы крови
1) карбонатная буферная система (угольная кислота – H_2CO_3 , бикарбонат натрия – NaHCO_3)
2) фосфатная буферная система (одноосновный (NaH_2PO_4) фосфат натрия и двухосновный (Na_2HPO_4) фосфат натрия)
3) буферная система гемоглобина (гемоглобин – калиевая соль гемоглобина)
4) буферная система белков плазмы

крови относятся:

- карбонатная буферная система,
 - фосфатная буферная система,
 - буферная система гемоглобина,
 - буферная система белков плазмы (Рис. 2.6).
- Взаимодействие этих буферных систем создает определенное постоянное рН крови.

Рис. 2.6. Буферная система белков плазмы

Живые организмы состоят из огромного числа химических веществ, органических и неорганических, полимерных и низкомолекулярных.

Среди неорганических веществ и компонентов основное место занимает – вода. Для поддержания ионной силы и pH-среды, при которых протекают процессы жизнедеятельности, необходимы определенные концентрации неорганических ионов.

Основные элементы в живых организмах: водород; кислород; сера; азот; фосфор; углерод.

Неорганические соединения: соли аммония; карбонаты; сульфаты; фосфаты.

Неметаллы:

1. Хлор (основной). В виде анионов участвует в создании солевой среды, иногда входит в состав некоторых органических веществ.

2. Йод и его соединения принимают участие в некоторых процессах жизнедеятельности органических соединений (живых организмов). Йод входит в состав гормонов щитовидной железы (тироксина).

3. Производные селена. Селеноцестеин, входит в состав некоторых ферментов.

4. Кремний - входит в состав хрящей и связок, в виде эфиров ортокремневой кислоты, принимает участие в образовании полисахаридных цепей.

Большое число органических веществ входит в состав живых организмов:

- уксусная кислота;
- уксусный альдегид;
- этанол (является продуктами и субстратами биохимических превращений).

Много соединений в живых организмах представляют собой комплексы:

- ГЕМ - это комплекс железа с плоской молекулой парафина;
- коболамин.

Для поддержания определенной ионной силы и соединения буферной среды необходимо участие однозарядных ионов:

- аммония(NH_4^+);
- натрия(Na^+);
- калия (K^+).

Катионы не являются взаимозамещенными, существуют специальные механизмы, поддерживающие необходимый баланс между ними.

Магний и кальций – основные металлы не считая, железа – повсеместно распространены в биосистемах. Концентрация ионов магния имеет важное значение для поддержания целостности и функционирования рибосом, то есть для синтеза белков.

Магний также входит в состав хлорофилла. Ионы кальция принимают участие в клеточных процессах в том числе мышечных сокращений. Нерастворенные соли – участвуют в формировании опорных структур:

- фосфат кальция (в костях);
- карбонат (в раковинах моллюсков).

Ионы металлов 4 периода входят в состав ряда жизненно важных соединений – ферментов. Некоторые белки содержат железо в виде железосерных кластеров. Ионы цинка содержатся в значительном числе ферментов.

Марганец входит в состав небольшого числа ферментов, но играет важную роль в биосфере, при фотохимическом восстановлении воды, обеспечивает выделение в атмосферу кислорода и поступление электронов в цепь переноса при фотосинтезе.

Кобальт – входит в состав ферментов в виде – кобаламинов (витамин В 12).

Молибден – необходимый компонент фермента – нитродиназа (который катализирует восстановление атмосферного азота до аммиака, в азотфиксирующих бактериях)

Основные группы низкомолекулярных соединений живых организмов:

Аминокислоты – являются составными частями белков

Нуклеамиды – составляющая часть нуклеиновых кислот

Моно и олигосахариды – составляющие структурных тканей

Липиды – составные части клеточных стенок.

Кроме предыдущих существуют:

кофакторы ферментов - необходимые компоненты значительного числа ферментов, катализируют обменные реакции.

Коферменты – органические соединения, функционирующие в определенных системах ферментных реакций. Например: никотиноамидоданин динуклеатид (NAD⁺)

В окисленной форме – это окислитель спиртовых групп до карбонильных, при этом образуется восстановитель.

Кофакторы ферментов – сложные органические молекулы, синтезируются из сложных предшественников, которые должны присутствовать в качестве обязательных компонентов пищи. Для высших животных характерно образование и функционирование веществ управляющих нервной и эндокринной системой – гормоны и нейромедитаторы.

Гормон подпочечника – запускающий окислительную переработку гликогена в процессах стрессовой ситуации.

Во многих растениях синтезируется сложный амин обладающий сильным биологическим действием – алкалоиды.

Терпены – соединения растительного происхождения, компоненты эфирных масел и смол.

Камфара

Антибиотики – вещества микробиологического происхождения, выделяемые специальными видами микроорганизмов, подавляющих рост других конкурирующих микроорганизмов. Механизм их действия разнообразен, например замедление роста белков в бактериях .

3. Химические элементы клетки

Клетки сходны не только по строению, но и по химическому составу. Клетки всех живых организмов содержат хотя и неодинаковые, но сходные вещества в близких количествах. Сходство в строении и химическом составе у разных клеток свидетельствует о единстве их происхождения. В составе клетки обнаруживают более 80 химических элементов, при этом каких-либо специальных элементов, которые характерны только для живых организмов, не обнаружено. Однако только в отношении 27 элементов известно, что они выполняют определенные функции. Остальные 53 элемента, вероятно, попадают в организм с водой, пищей, воздухом и не участвуют в жизнедеятельности.

Элементы, входящие в состав клетки, можно разделить на три группы:

1. Макроэлементы в организме

В живых системах найдены многие химические элементы, присутствующие в окружающей среде, однако необходимы для жизни лишь около 20 из них. Эти элементы получили название биогенных. На их долю приходится около 99 % всей массы клетки. В среднем около 70% массы организмов составляет кислород, 18% - углерод, 10% - водород (вещества-органогены). Далее идут азот, фосфор, калий, кальций, сера, магний, натрий, хлор, железо. Эти так называемые универсальные биогенные элементы, присутствующие в клетках всех организмов, нередко называют макроэлементами.

2. Микроэлементы

Часть элементов содержится в организмах в крайне низких концентрациях (не выше тысячной доли процента), но они также необходимы для нормальной жизнедеятельности. Это биогенные микроэлементы. Их функции и роль весьма разнообразны. Многие микроэлементы входят в состав ряда ферментов, витаминов, дыхательных пигментов, некоторые влияют на рост, скорость развития, размножение и т. д.

К ним относятся преимущественно ионы тяжелых металлов, входящие в состав ферментов, гормонов и других у жизненно важных веществ. В организме эти элементы содержатся в очень небольших количествах: от 0,001 до 0,000001%; в числе таких элементов бор, кобальт, медь, молибден, цинк, ванадий, иод, бром и др.

3. Ультрамикроэлементы

Концентрация их не превышает 0,000001%. Физиологическая роль большинства этих элементов в организмах растений, животных и в клетках бактерий пока не установлена. К ним относятся уран, радий, золото, ртуть, бериллий, цезий, селен и другие редкие элементы.

Содержание некоторых химических элементов в клетке (в % на сухую массу):

Кислород 65-75; Углерод 15-18; Водород 8-10; Магний 0,02-0,03; Натрий 0,02-0,03; Кальций 0,04-2,00; Азот 1,5-3,0; Калий 0,15-0,4; Сера 0,15-0,2; Фосфор 0,20-1,00; Хлор 0,05-0,10; Железо 0,01-0,015; Цинк 0,0003; Медь 0,0002; Йод 0,0001; Фтор 0,0001

Особенности химического состава клетки

Обнаружено, что некоторые организмы - интенсивные накопители определенных элементов. Так, ряд морских водорослей накапливает йод, лютики накапливают литий, злаки - кремний, моллюски и ракообразные - медь, позвоночные - железо, некоторые бактерии - марганец и т. д.

Элементарный состав организмов и химический состав окружающей среды всегда существенно отличаются. Например, кремния в почве около 33%, а в растениях лишь 0,15%, кислорода в почве около 49%, а в растениях 70% и т. д. Это указывает на избирательную способность организмов использовать только определенные химические элементы, необходимые для построения и жизнедеятельности клеток.

Химические элементы, которые входят в состав клеток и выполняют биологические функции, называют биогенными.

Все химические элементы участвуют в построении организма в виде ионов либо в составе тех или иных соединений. Например, углерод, водород и кислород входят в состав углеводов и жиров. В составе белков к ним добавляются азот и сера, в составе нуклеиновых кислот - азот и фосфор; железо участвует в построении молекулы гемоглобина; магний находится в составе хлорофилла; медь обнаружена в некоторых окислительных ферментах; йод содержится в составе молекулы тироксина (гормона щитовидной железы); натрий и калий обеспечивают электрический заряд на мембранах нервных клеток и нервных волокон; цинк входит в молекулу гормона поджелудочной железы - инсулина; кобальт находится в составе витамина В12.

Ионы в клетке и организме

Многие элементы в клетке содержатся в виде ионов. Из катионов важны K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , а из анионов - $H_2PO_4^-$, Cl^- и HCO_3^- . Содержание катионов и анионов в клетке обычно значительно отличается от содержания их в среде обитания клетки. В частности, концентрация K^+ внутри клетки очень высокая, а Na^+ - низкая. Напротив, в окружающей клетку среде (крови, морской воде) очень мало K^+ и довольно высока концентрация Na^+ .

Например, в мышечных клетках содержание K^+ в 30 раз выше, чем в крови, и наоборот, содержание Na^+ в 10 раз ниже, чем в окружающей среде. Пока клетка жива, эти различия в концентрации K^+ и Na^+ между клеткой и межклеточной средой стойко удерживаются. От концентрации солей внутри клетки зависят буферные свойства цитоплазмы.

Буферностью называют способность клетки сохранять определенную концентрацию водородных ионов (рН). В клетке поддерживается слабощелочная реакция (рН 7,2). Имеющиеся в организме нерастворимые минеральные соли, например фосфат кальция, входят в состав межклеточного вещества костной ткани, в раковины моллюсков, обеспечивая прочность этих образований.

Белки мембранные транспортные

За перенос различных полярных молекул, таких как ионы, сахара, аминокислоты, нуклеотиды и другие метаболиты, которые проходят через искусственные бислои чрезвычайно медленно, ответственны специфические белки, называемые мембранными транспортными белками.

Каждый конкретный белок предназначен для транспорта химических веществ определенного класса, а не редко лишь для какой-то разновидности молекул этого класса. Специфичность транспортных белков была впервые показана, когда обнаружилось, что мутации в одном единственном гене приводят к исчезновению у бактерий способности транспортировать определенные сахара через их плазматические мембраны. Аналогичные мутации известны теперь и у людей, страдающих различными наследственными болезнями, при которых нарушается транспорт тех или иных веществ в почках или в кишечнике.

4. Подсистемы организма

4.1 Почки

Необходимое условие жизнедеятельности - постоянство внутренней среды. К ее параметрам относятся, в частности, общее содержание воды в организме и соотношение объемов водных пространств, зависящее от гидростатического и осмотического давления. Для поддержания постоянства этих параметров необходимо точное соответствие выведения воды и осмотически активных веществ их потреблению.

Эта задача усложняется тем, что прием твердой и жидкой пищи постоянно колеблется. Хотя выделительная функция отчасти осуществляется ЖКТ (желудочно-кишечный тракт), легкими и кожей, главные органы выведения - это почки.

Почки регулируют состав и объем плазмы, а тем самым - и всей внеклеточной жидкости. Кроме того, поскольку вода и многие растворенные вещества переходят через клеточные мембраны, от функции почек зависят также состав и объем внутриклеточной жидкости.

В почечной экскреции участвуют многие механизмы, обеспечивающие тонкую регуляцию выведения воды и электролитов, а также удаление экзогенных соединений и продуктов азотистого обмена - мочевины и креатинина.

Почки служат главным органом выделения и главным органом осморегуляции. Их функции включают удаление из организма ненужных продуктов обмена и чужеродных веществ, регуляцию химического состава жидкостей тела путем удаления веществ, количество которых превышает текущие потребности, регуляцию содержания воды в жидкостях тела (и тем самым их объема) и регуляцию рН жидкостей тела.

Почки обильно снабжаются кровью и гомеостатически регулируют состав крови. Благодаря этому поддерживается оптимальный состав тканевой жидкости, и следовательно, внутриклеточной жидкости омываемых ею клеток, что обеспечивает их эффективную работу.

Почки приспособливают свою деятельность к изменениям, происходящим в организме. При этом только в двух последних отделах нефрона - в дистальном извитом канальце почки и собирательной трубке почки - изменяется функциональная активность с целью регуляции состава жидкостей тела. Остальная часть нефрона вплоть до дистального канальца функционирует при всех физиологических состояниях одинаково.

Конечным продуктом деятельности почек является моча, объем и состав которой варьирует в зависимости от физиологического состояния организма. В норме отделяется большое количество разведенной мочи, но при недостатке в организме воды образуется концентрированная моча.

Почки: деятельность, механизмы

В основе деятельности почек лежат следующие механизмы:

1. Активный транспорт.

В процессах избирательной реабсорбции и секреции молекулы и ионы активно секретируются в фильтрат или всасываются из него. Так, например, осуществляется всасывание глюкозы вперитубулярные капилляры, окружающие проксимальный извитой почечный каналец, и хлористый натрий - в толстом восходящем колене петли Генле.

2. Избирательная проницаемость.

Различные участки нефрона обладают избирательной проницаемостью для ионов, воды и мочевины. Например, проксимальные извитые почечные каналцы относительно мало проницаемы по сравнению с дистальными извитыми почечными каналцами. Проницаемость дистальной почечной трубки может регулироваться гормонами.

3. Концентрационные градиенты.

В результате действия двух описанных механизмов в интерстициальном пространстве почечного мозгового вещества поддерживаются концентрационные градиенты.

4. Пассивная диффузия и осмос.

Ионы натрия и хлора и молекулы мочевины будут диффундировать в фильтрат и из него по концентрационному градиенту в тех участках нефрона, которые проницаемы для них. А молекулы воды в проницаемых для них участках нефрона будут выходить осмотически из фильтрата в тканевую (интерстициальную) жидкость почки там, где эта жидкость гипертонична.

5. Гормональная регуляция.

Водный баланс организма и экскрецию солей регулируют гормоны, действующие на дистальные извитые почечные каналцы и почечные собирательные трубки, - антидиуретический гормон, альдостерон и другие.

4.2 Осмотическое и онкотическое давление

Наличие сети капилляров и различных по строению кровеносных сосудов, осуществляющих перенос веществ по организму позволяет реализовывать процесс диффузии.

Диффузией называют неравновесный процесс самопроизвольного взаимного проникновения и перемешивания двух или более различных веществ. В смеси газов причиной диффузии является различие в концентрациях отдельных компонентов газов в разных частях объема. При этом каждый из компонентов смеси направленно переносится из тех частей объема, где ее концентрация больше, туда, где она меньше. Основные понятия о процессе диффузии сформируем на модели, например, рассматривая диффузию атомов.

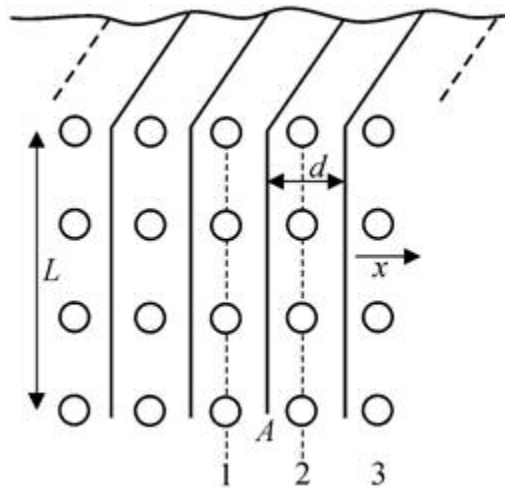


Рис. 4.1. Геометрическая схема диффузии в объеме простого кубического кристалла

Проведем оценку скорости диффузии множества атомов через определенную плоскость решетки. В качестве модели такого движения рассмотрим движение атомов в простой кубической решетке (рис. 4.1). Выделим две соседние атомные плоскости, например 1 и 2. Мысленно разделим кристалл на тонкие слои с поперечным сечением L^2 и толщиной d . Пусть некоторое количество атомов в каждой плоскости приходится на долю примеси, например N_1 в плоскости 1 и N_2 в плоскости 2 (такой примесью может быть мышьяк в германии). В процессе диффузии атомы движутся через плоскость A в обоих направлениях. В зависимости от определенных условий результирующий поток атомов направлен либо в одну, либо в другую сторону. Этот результирующий поток и требуется рассчитать.

Введем несколько допущений, а также две новые переменные C_1 и C_2 – объемные концентрации атомов примесей в плоскостях 1 и 2. Тогда $C_1 = \frac{N_1}{L^2 d}$ и $C_2 = \frac{N_2}{L^2 d}$, где $L^2 d$ – объем выделенного атомного слоя. Каждый атом примеси совершает в среднем один прыжок за $1/f$ секунд. Допустим, что атомы могут с одинаковой вероятностью совершать прыжки либо вправо, либо влево. После одного прыжка атом, находившийся прежде в плоскости 2, перейдет либо в плоскость 1, либо в плоскость 3.

Если каждый атом примеси совершит только один прыжок, то половина атомов из числа N_1 , находившихся в плоскости 1, переместится в одном направлении. Следовательно, за период времени $1/f$ плоскость A слева направо пересечет $1/2 N_1$ атомов. Аналогично за тот же период времени $1/2 N_2$ атомов пройдет через плоскость справа налево. Результирующее количество атомов

примеси $\frac{dN}{dt}$, проходящих за 1 секунду через плоскость A , точно равно разности между этими двумя потоками.

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{f}{2}(N_2 - N_1) = -\frac{f}{2}L^2 d(C_2 - C_1) \quad (4.1)$$

где dN обозначает результирующее количество атомов, движущихся в направлении слева направо,

а $C_1 > C_2$. Концентрации C_1 и C_2 можно связать друг с другом через градиент концентрации $\frac{dC}{dx}$.

Тогда $C_2 - C_1 = \frac{dC}{dx} d$, следовательно, $\frac{dN}{dt} = -\frac{f}{2} L d^2 \frac{dC}{dx}$ или $\frac{1}{L^2} \frac{dN}{dt} = -\frac{d^2}{2} \frac{dC}{dx}$. Опять при-
 мем $\frac{fd^2}{2} = D$, где $D = \text{const}$. Тогда

$$\frac{1}{L^2} \frac{dN}{dt} = -D \frac{dC}{dx} \quad (4.2)$$

Левая часть уравнения (4.1) представляет собой результирующее количество атомов, проходящих в секунду через единицу поперечного сечения плоскости A . Эта величина называется *плотностью потока диффундирующих атомов*.

Учтем теперь то, что диффундирующие атомы могут двигаться в трех направлениях. Рассмотрим простую кубическую структуру. Каждый атом может поменяться местами с любым из своих шести ближайших соседей (рис.4.2), но только один из шести прыжков переведет атом из плоскости 2 в плоскость 1.

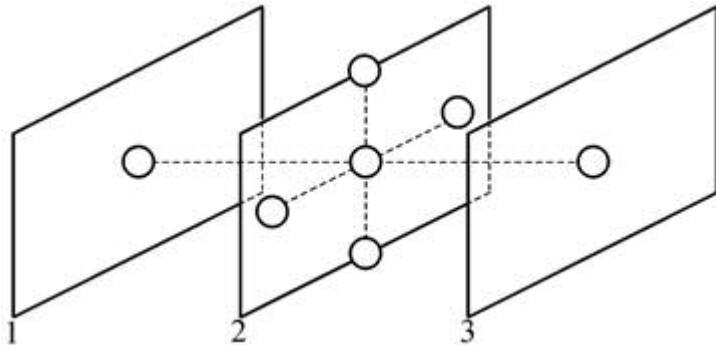


Рис. 4.2. Геометрическая схема обмена мест с шестью ближайшими соседями в простой кубической решетке

Следовательно, уравнение (3.42) преобразуется к виду

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{f}{6} L^2 d^2 (C_2 - C_1) \quad (4.3)$$

и

$$\frac{1}{L^2} \frac{dN}{dt} = -D \frac{dC}{dx}, \quad (4.4)$$

где $D = d^2 f / 6$.

Обозначим плотность потока диффундирующих атомов $\frac{1}{L^2} \frac{dN}{dt} = J$, тогда уравнение (3.44) можно представить в виде

$$J_x = -D \frac{dC}{dx} \text{ или, для трехмерного случая, } J = -D \text{ grad } C \quad (4.5)$$

Выражение (4.5) широко известно как *первый закон Фика* для диффузии в изотропной среде. В общем случае диффузия анизотропна, поэтому коэффициент диффузии D зависит от направления и представляет собой тензор второго ранга.

С точки зрения термодинамики движущим потенциалом любого выравнивающего процесса является рост энтропии. При постоянных давлении и температуре в роли такого потенциала выступа-

ет химический потенциал μ , обуславливающий поддержание потоков вещества. Поток частиц вещества пропорционален при этом градиенту потенциала

$$J \sim -C \left(\frac{\partial \mu}{\partial x} \right)_{p,T}$$

$$J = -C \frac{\partial \mu}{\partial x} /_{p,T}$$

В большинстве практических случаев (биохимия, нормальная физиология) вместо химического потенциала применяется концентрация C . Прямая замена μ на C становится некорректной в случае больших концентраций, так как химический потенциал перестает быть связан с концентрацией по логарифмическому закону. Если не рассматривать такие случаи, то вышеприведенную формулу можно заменить на следующую:

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

Второй закон Фика учитывает то, что поток атомов в процессе диффузии может меняться, т. е. принимает во внимание нестационарность потока. При этом скорость накопления диффундирующего вещества в данном объеме является разностью между входящим и выходящим потоками за единичное время. Для двух параллельных плоскостей, площадь каждой из которых равна единице, а расстояние между ними dx , поток через первую плоскость будет соответствовать выражению (3.45), а через вторую –

$$J + \frac{dJ}{dx} = -D \frac{dC}{dx} - \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right) \quad (4.6)$$

Разность этих двух потоков составляет

$$\frac{dJ}{dx} = -\frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right) \quad (4.7)$$

При условии не зависящего от концентрации коэффициента диффузии получим **второй закон Фика** для одномерной диффузии в дифференциальной форме:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2 C}{dx^2} \quad (4.8)$$

Концентрация C здесь зависит от времени t и от глубины диффузии x .

Для диффузии в трех измерениях второй закон Фика принимает вид

$$\frac{dC}{dt} = D \left(\frac{d^2 C}{dx^2} + \frac{d^2 C}{dy^2} + \frac{d^2 C}{dz^2} \right) \quad (4.9)$$

Кроме диффузии имеется еще механизм, обеспечивающий обмен между внутрисосудистым и межклеточным пространством - это фильтрация и реабсорбция, происходящие в терминальном русле. Между объемами жидкости, фильтрующейся в артериальном конце капилляров и реабсорбирующейся в их венозном конце (или удаляемой лимфатическими сосудами), в норме существует динамическое равновесие. Если это равновесие нарушается, происходит довольно быстрое перераспределение внутрисосудистого и межклеточного объема жидкости. Это перераспределение оказывает существенное влияние на функции сердечно - сосудистой системы, тем более, что

внутрисосудистый объем жидкости должен поддерживаться на уровне, соответствующем потребностям организма.

В каждом органе стенка капилляров как нельзя лучше приспособлена для наиболее эффективного выполнения обменных функций. Особенности строения стенки капилляров в различных органах имеют отличия. В общем случае различия реализуются в строении мембраны. В клеточной мембране имеется большое количество мельчайших пор. Во всех органах кровообращение служит для выполнения трофической функции крови. Кроме того, во многих органах кровотока обеспечивает выполнение специфических функций этих органов. В зависимости от этого стенка капилляров имеет свои нюансы строения. В костном мозге, печени, селезенке часть капилляров имеет прерывистую стенку, через которую легко может проходить не только плазма, но и неповрежденные форменные элементы.

Различают два основных механизма, обеспечивающих обменные процессы в капиллярах: диффузия и фильтрация. Диффузия воды и ионов происходит через межклеточные соединения и поры мембраны. Движущей силой диффузии являются градиент концентрации ионов и движение растворителя вслед за ионами. Процесс диффузии в кровеносных капиллярах столь активен, что при прохождении крови по капилляру вода плазмы успевает до 40 раз полностью обменяться с жидкостью межклеточного пространства. В состоянии физиологического покоя через стенки всех капилляров *за 1 мин проходит до 60 л воды* (в среднем значении). Обычно сколько воды выходит из крови, столько же ее поступает обратно. Путем диффузии через мембраны обмениваются и газы.

Причем газы могут диффундировать и через стенку более крупных сосудов — артериол и венул. Эффективность проницаемости стенки кровеносного капилляра скелетной мышцы для различных веществ не одинакова. Эффективность обменных процессов в микрососудах в зависимости от молекулярной массы вещества.

Механизм водного обмена в капилляре. В кровеносном капилляре вода и растворимые в ней соединения обмениваются также путем фильтрации и последующей реабсорбции. Согласно теории Старлинга³, эти процессы совершаются пассивно (без использования энергии) в результате взаимодействия нескольких движущих сил.

Осмотическое давление (осмотический потенциал).

Осмоз - это движение воды через биологическую мембрану, которая пропускает воду и не пропускает растворенные в ней вещества. В отсутствие других сил осмотическое движение воды происходит из области с более низкой концентрацией растворенного вещества в область более высокой его концентрации в растворе.

Давление, которое следует приложить к раствору, чтобы остановить поступление воды, называется осмотическим давлением или осмотическим потенциалом. Растворы, развивающие равное осмотическое давление, называют изотоническими, меньшее (по отношению к другому) - гипотоническими, большее - гипертоническими.

Основы теории Старлинга. Кровь является не ньютоновской⁴ жидкостью.

- При низкой скорости кровотока вязкость может увеличиваться в 1000 и более раз.

³ Старлинг (Starling) Эрнест Генри (17.04.1866, Лондон – 02.05.1927), английский физиолог. Окончил медицинский факультет Лондонского университета (1886). Работал в Бреславле, Париже. В 1899–1923 – профессор Лондонского университета.

⁴ Ньютоновская жидкость — вязкая жидкость, подчиняющаяся в своём течении закону вязкого трения Ньютона, то есть касательное напряжение и градиент скорости в такой жидкости линейно зависимы. Коэффициент пропорциональности между этими величинами известен как вязкость

- Наблюдается обратимая и необратимая агрегация. Обратимая агрегация- образование «монетных столбиков».
 - В сосудах 500 мкм – наблюдается «феномен сигма» – снижение вязкости за счет ориентации эритроцитов в сосуде
- Сопrotивление току крови при последовательном соединении сосудов
 $RT = R1 + R2 + R3$
 $RT = 12$ Усл. Ед.
- При параллельном
 $RT = 1.94$ Усл. ед
- В норме открыто работает лишь 20-25% кровеносных сосудов, кровь протекает лишь по “дежурным” капиллярам
 - метаболическая ауторегуляция, приспособливает местный кровоток к функциональным потребностям ткани.
 - оксид углерода, угольная кислота, АДФ, АМФ, фосфорная и молочная кислоты
 - Увеличенный приток крови, соответствующий усиленному метаболизму, является обязательным условием длительной работы любого органа.
 - Образующиеся в процессе метаболизма продукты способны расширять прекапиллярные артериолы и увеличивать количество открытых функционирующих капилляров.

Интенсивность фильтрации и реабсорбции в капиллярах определяется гидростатическим давлением в капиллярах, гидростатическим давлением в тканевой жидкости, онкотическим давлением плазмы в капилляре, онкотическим давлением тканевой жидкости и коэффициентом фильтрации. Под действием гидростатического давления в капиллярах и онкотического давления тканевой жидкости жидкость выходит из капилляра в ткани, а под действием гидростатического давления в тканевой жидкости и онкотического давления плазмы в капилляре - наоборот. Коэффициент фильтрации соответствует проницаемости капиллярной стенки для изотонических растворов.

Средняя скорость фильтрации во всех капиллярах организма составляет около 14 мл в мин, или 20 л в сутки. Скорость реабсорбции равна примерно 12,5 мл в 1 мин, т.е. 18 л в сутки. По лимфатическим сосудам оттекает 2 л в сутки.

Фильтрация возрастает при общем увеличении кровяного давления, при расширении резистивных сосудов во время мышечной деятельности, при переходе в вертикальное положение, при увеличении объема крови вследствие вливаний различных растворов, при повышении венозного давления (например, при сердечной недостаточности). Реабсорбция увеличивается при снижении кровяного давления, сужении резистивных сосудов, кровопотере и т.д. Фильтрация повышается также при снижении онкотического давления плазмы (например, при гипопроотеинемии) или при накоплении осмотически активных веществ в интерстициальной жидкости. Выход жидкости в интерстициальное пространство увеличивается при повышении проницаемости капилляров, которое может быть обусловлено действием кининов, гистамина и подобных ему веществ и других агентов, выделяющихся при аллергических реакциях, воспалении, ожогах и т.д. Если в результате недостаточной реабсорбции в капиллярах тканевая жидкость начинает накапливаться, то она быстрее удаляется по лимфатическим сосудам. Поскольку при этом из интерстициального пространства выводятся белки, онкотическое давление в нем падает, а это приводит к угнетению выхода воды в ткани и тем самым способствует поддержанию равновесия между внутрисосудистым и интерстициальным объемами жидкости.

Онкотическое давление - представляет собой часть осмотического давления крови, создаваемую белками плазмы. Его величина колеблется в пределах 25—30 мм рт. ст. и на 80 определяется альбуминами вследствие их малых размеров и наибольшего содержания в плазме крови. Онкотическое давление играет важную роль в регуляции обмена воды в организме, а именно в ее удержании в кровеносном сосудистом русле.

Онкотическое давление влияет на образование *тканевой жидкости, лимфы, мочи, всасывание воды из кишечника*. При понижении онкотического давления плазмы (например, при болезнях печени, когда снижено образование альбуминов, или болезнях почек, когда повышено выделение белков с мочой) развиваются отеки, так как вода плохо удерживается в сосудах и переходит в ткани.

Реакция среды. Реакция среды определяется концентрацией в ней ионов водорода. Последние существенно влияют на степень ионизации белковых молекул и реализацию их функций: активность ферментов, процессы синтеза и расщепления органических веществ, чувствительность клеточных рецепторов. В основе современных представлений о механизмах формирования реакции среды лежит протолитическая теория, согласно которой кислотами считают вещества, освобождающие в процессе диссоциации протоны H^+ , а основаниями — вещества, связывающие их. Концентрацию H^+ принято выражать через показатель рН (от англ. power hydrogenium — Напряжение водорода) — отрицательный десятичный логарифм Молярной концентрации H^+ Показатель рН — \log . Если pH^7 , то концентрация H^+ равна 10^{-7} моль и соответствует нейтральному раствору чистой воды; pH^7 наблюдается у кислых растворах, в которых концентрация H^+ 10^{-7} моль; pH^{-7} характерен для щелочного раствора, в котором концентрация H^+ 10^{-7} моль.

Плазма крови

Всего в организме имеется 5—6 л крови — 1/13 массы тела. Состоит она из жидкой плазмы и плавающих в ней кровяных телец, называемых форменными элементами. Их три вида: красные кровяные тельца (эритроциты), белые тельца (лейкоциты) и кровяные пластинки. Кровяные тельца занимают 40—42 % объема крови.

Плазма крови состоит из воды (около 90% массы), низко молекулярных соединений органического и неорганического происхождения — солей или электролитов, углеводов, липидов, органических кислот и оснований, промежуточных продуктов обмена как содержащих азот, так и неазотистого происхождения, витаминов (около 2% массы), белков, на долю которых приходится до 8% массы плазмы.

Плазма составляет около 55% общего объема крови. Это внутрисосудистая часть общего объема внеклеточной жидкости (всей жидкости организма вне клеток).

Основная часть плазмы представлена водой — 93% и содержит растворенные белки, глюкозу, факторы свертывания крови, ионы минералов, гормоны и углекислый газ; через плазму осуществляется транспорт всех экскретируемых продуктов (шлаков). Белки плазмы служат резервом белков организма человека. Плазма играет важную роль во внутри сосудистом осмотическом эффекте, который обеспечивает электролитный баланс; плазма защищает организм от инфекций и других заболеваний.

Получают плазму крови путем осаждения клеток - центрифугированием цельной крови, к которой добавлен антикоагулянт (вещество препятствующее свертыванию крови); плазму отсасывают или сливают. Плотность плазмы составляет приблизительно 1,025 кг/л.

Плазма крови содержит более 500 индивидуальных белков, которым присущи как общие функции, так и специфические.

Транспортная функция белков плазмы крови

- Трансферин – транспорт железа;
- Церулоплазмин – транспорт меди;
- Альбумин – транспорт жирных кислот, билирубина, кальция, многих лекарств;
- Транскортин – транспорт кортизола и кортикостерона;

- Ретинол связывающий белок – транспорт ретинола;
- Липопротеины – транспорт липидов;
- Гаптоглобин – транспорт свободного гемоглобина;
- Тироксин связывающий глобулин – транспорт тироксина.

Осмотическая регуляция - функция белков плазмы крови

Плазменные белки являются коллоидами и не способны к диффузии через полупроницаемые мембраны; они способны оказывать осмотическое (онкотическое) давление, которое помогает поддерживать нормальный объем крови и нормальное содержание воды в межклеточной жидкости и тканях. Наиболее важным в регуляции осмотического коллоидного или онкотического давления является содержание альбумина. При снижении содержания альбумина уровень потери воды из крови в интерстициальное пространство увеличивается, что сопровождается отеками.

Каталитическая функция белков плазмы крови

Ряд белков плазмы крови обладают ферментативными свойствами и образуют ферментативные системы.

В норме ферменты систем циркулируют в виде зимогенов, проферментов, активация их осуществляется с использованием каскадного принципа, механизм активации - ограниченный протеолиз. Все ферменты систем - сериновые протеазы с относительной субстратной специфичностью. Это значит, что активная форма фермента одной системы может активировать профермент-субстрат другой системы.

Защитная функция белков плазмы крови

Система иммуноглобулинов распознает, связывает чужеродные антигены и удаляет их; Белки системы комплемента удаляют антигены – клетки, растворяют иммунные комплексы, опсонизируют бактерии и способствуют их фагоцитозу, организуют реакцию воспаления: продукты активации системы комплемента мощные хематрактанты;

Система ингибиторов ферментов – ингибируют активные ферменты, образуя с ними комплексы; например, α 1-антитрипсина образует комплекс с эластазой и трипсином, защищая ткани, такие как легкое, от повреждающего действия гидролазы;

Концентрация некоторых белков плазмы увеличиваются в течение острой фазы воспаления, эти белки способны защитить ткани. Например, α 1- антитрипсин, α 2- макроглобулин.

Свертывание крови - важнейшая функция белков плазмы крови.

Многие белки (факторы) плазмы участвуют в механизме свертывания крови и предотвращают потерю чрезмерного количества крови. Например факторы свертывания крови IX, VIII, тромбин, фибриноген и т.д.; нарушение в системе этих белков приводит к развитию кровотечений или тромбозов

Противосвертывающая (антикоагулянтная) активность белков плазмы крови. Свертывание крови жестко контролируется белками плазмы с функцией ингибиторов активации свертывания крови.

Фибринолитическая активность (плазмин). Растворение тромбов фибринолитической системой белков плазмы.

Буферная емкость белков плазмы.

Белки плазмы крови помогают поддерживать кислотно-щелочной баланс.

Факторы свертывания кров (общие понятия)

1. I, или фибриноген
Белок. Образуется в печени. Под влиянием тромбина переходит в фибрин. Участвует в агрегации тромбоцитов. Необходим для репарации тканей
2. II, или протромбин
Гликопротеид. Образуется в печени в присутствии витамина К. Под влиянием протромбиназы переходит в тромбин (фактор IIв)
3. III, или тромбопластин
Состоит из белка апопротеина III и комплекса фосфолипидов. Входит в состав мембран многих тканей. Является матрицей для развертывания ре-акций, направленных на образование протромбиназы по внешнему механизму
4. IV, или ион Ca²
Участвует в образовании комплексов, входит в состав протромбиназы. Способствует агрегации тромбоцитов. Связывает гепарин. Принимает участие в ре-тракции сгустка и тромбоцитарной пробки. Тормозит фибринолиз
5. V, или акцелератор-глобулин
Белок. Образуется в печени. Активизируется тромбином (фактор IIа). Создает оптимальные условия для взаимодействия фактора Xа и протромбина (фактор II)
6. (VI, исключен из классификации)
7. VII, или проконвертин
Гликопротеид. Образуется в печени под влиянием витамина К. Принимает участие в формировании протромбиназы по внешнему механизму. Активируется факторами XIв, Xа, IХа, IIа и при взаимодействии с тромбопластином (фактор III)
8. VIII, или антигемофильный глобулин (АГГ). антигемофильный глобулин А
Гликопротеид. Синтезируется в печени, селезенке, лейкоцитах. Образует комплексную молекулу с фактором Виллебранда (FV) и специфическим антигеном. Активируется тромбином. Создает оптимальные условия для взаимодействия факторов IХа и X. При его отсутствии возникает заболевание гемофилия А
9. IX, или Кристмас-фактор, антигемофильный фактор В. Гликопротеид. Образуется в печени под влиянием витамина К. Активируется факторами XIа, VIIа и IIа. Переводит фактор X в Xа. При его отсутствии возникает заболевание гемофилия В
10. X, или Стюарт Прауэр-фактор
Гликопротеид. Образуется в печени, под влиянием витамина К. Фактор Xа, являясь протромбиназой, активируется факторами VIIа и IXа. Переводит фактор II в IIа
11. XI, или плазменный предшественник тромбопластина
Гликопротеид. Предполагают, что образуется в печени. Активируется фактором XIIа калликреином совместно с высокомолекулярным кининогеном (ВМК)
12. XII, или фактор Хагемана
Белок. Предполагают, что образуется эндотелиальными клетками, лейкоцитами, макрофагами. Активируется отрицательно заряженными поверхностями, адреналином, калликреином. Запускают внешний и внутренний механизм образования протромбиназы и фибринолиза, активирует фактор XI и прекалликреин
13. XIII, или фибринстабилизирующий фактор (ФСФ), фибриназа
Глобулин. Синтезируется фибробластами и мегакариоцитами. Стабилизирует фибрин. Необходим для нормального течения репаративных процессов

4.3 Печень

Печень - самый крупный из внутренних органов, участвующих в гомеостазе. У человека печень имеет большие размеры и составляет 3 - 5% общей массы тела. Расположена она непосредственно

под диафрагмой, к которой прикреплена серповидной связкой. Она состоит из нескольких долей, причем форма может изменяться в зависимости от количества находящейся в ней крови. Снаружи печень окружена оболочкой, состоящей из двух слоев: наружный слой образует гладкая влажная брюшина печени, а внутренний - фиброзная глиссонова капсула печени, которая окружает все структуры, входящие в печень и выходящие из нее.

Волокна глиссоновой капсулы, расположенные внутри печени, поддерживают ее форму. Масса печени взрослого человека составляет около 1,5 - 2 кг, у новорожденного ребенка - около 135 г, и она занимает большую часть брюшной полости. Печень участвует в обмене белков, углеводов, жиров, витаминов и т.д. Среди многочисленных функций печени весьма важны защитная, обезвреживающая, желчеобразовательная и др. В утробном периоде печень является важным кроветворным органом.

Печень расположена справа под диафрагмой, лишь небольшая часть ее заходит у взрослого человека влево от средней линии. Край печени острый. Передне-верхняя (диафрагмальная) поверхность выпуклая соответственно вогнутости диафрагмы. Печень покрыта соединительнотканной оболочкой (Глиссонова капсула). Прослойки соединительной ткани внутри печени разделяют ее перенхиму на шестиугольные дольки призматической формы, около 1,5 мм в диаметре (классические дольки). Сложной и многогранной функции печени соответствует характер ее сосудистой системы, строение и функция клеток, образующих печеночную ткань.

Печень контролирует многие обменные процессы, играющие важную роль в поддержании постоянного состава крови. Развивается печень из выпячивания энтодермальной пищеварительной трубки, и многие ее функции связаны с переработкой всасываемых компонентов пищи.

Клетки печени называются гепатоцитами. Они содержат крупное ядро, аппарат Гольджи, многочисленные митохондрии и лизосомы, а также множество гликогеновых гранул и липидных капелек. Они плотно примыкают друг к другу и на поверхности, обращенной к кровеносным капиллярам, имеют микроворсинки, через которые и происходит обмен веществами между гепатоцитами и кровью. Кроме гепатоцитов в печени имеются нервные элементы и клетки, связанные с кровеносными и лимфатическими сосудами.

В целом внутреннее строение печени довольно сложно и до конца не изучено. Оно основано на определенном взаимном расположении гепатоцитов и двух систем кровеносных сосудов, переплетающихся с желчными канальцами печени (желчными капиллярами печени). Функциональная единица печени называется ацинусом. В нем имеются вены, от которых отходят более мелкие кровеносные сосуды, называемые синусоидами, которые образуют густую сеть капиллярных сосудов и отделены друг от друга пластинками гепатоцитов толщиной в одну клетку. В синусоидах происходит обмен веществами между кровью и гепатоцитами. Этот обмен облегчается благодаря наличию в эндотелии синусоидов пор диаметром до 10 нм и микроворсинок на поверхности гепатоцитов, обращенной к синусоидам. Желчь, образующаяся в гепатоцитах, поступает не в синусоиды, а в мельчайшие желчные капилляры, которые, перемежаясь с синусоидами, проходят между соседними слоями гепатоцитов. В желчные капилляры выступают микроворсинки гепатоцитов, через которые желчь выводится в капилляры путем активного транспорта. Желчные капилляры образуют разветвленную сеть и сливаются в мелкие желчные протоки, которые соединяются вместе в портальном тракте и образуют более крупные протоки, сливающиеся в общий желчный печеночный проток.

В печени имеются еще так называемые купферовские клетки, которые прикреплены цитоплазматическими выростами к стенкам синусоидов. Они обладают способностью к фагоцитозу и участвуют в разрушении старых, изношенных эритроцитов и в поглощении патогенных организмов.

4.4 Селезенка

Селезенка находится на пути тока крови к печени. Она располагается в брюшной полости, в левом подреберье, на уровне между IX - XI ребрами. Масса селезенки у взрослого мужчины со-

ставляет 192 г, у женщины - 153. Селезенка выполняет многочисленные функции.

Во внутриутробном периоде в ней образуются эритроциты и лимфоциты. После рождения селезенка не является кроветворным органом, лишь при некоторых патологических состояниях в ней происходит кроветворение. В селезенке осуществляются важные иммунологические реакции. Этот аспект можно трактовать как Природную программу, реализуемую на генном уровне и только на момент создания организма. Вероятно смена режима работы селезенки происходит в момент смены формы дыхания. Переход на собственное легочное дыхание организм запускает свою программу работы внутренних подсистем организма.

Антигены, циркулирующие в крови, попадают в паренхиму селезенки, активируют лимфоциты, способствуя их превращению в плазматические клетки, продуцирующие антитела. Макрофаги селезенки фагоцитируют форменные элементы крови, и в первую очередь эритроциты. При переваривании эритроцитов освобождающееся из гемоглобина железо всасывается в кровь и повторно используется в костном мозге. Часть разрушенного гемоглобина превращается макрофагами в билирубин. В селезенке депонируется кровь и накапливаются клетки крови, включая тромбоциты. Строма селезенки образована ретикулярной тканью, в петлях которой расположены клетки крови, образующие паренхиму селезенки (пульпу).

Если костный мозг и тимус - центральные органы иммунитета, то селезенка, лимфатические узлы, лимфоидные образования кишечника, миндалины, аппендикс относятся к периферическим структурам иммунитета.

Стволовые клетки содержатся во всех тканях и органах на всех этапах жизни человека – как до, так и после его рождения. Однако, количество и качество их неодинаково – чем моложе человек, тем больше в его организме таких клеток и тем «сильнее» их способность к дифференциации. Наибольший запас стволовых клеток в организме новорожденных. На протяжении жизни он постоянно расходуется в борьбе с инфекциями, болезнями, травмами и негативным влиянием окружающей среды – неизбежными факторами современной жизни. Сегодня в медицине одной из причин старения человека называют именно сокращения количества стволовых клеток с годами.

Стволовые клетки организма – «базовая ячейка», т.к. они участвуют в построении блоков тканей органов, крови и иммунной системы.

Сегодня стволовые клетки пуповинной крови успешно используются и сохранили немало жизней. Пуповинная кровь по содержанию гемопоэтических стволовых клеток превосходит костный мозг в 10 раз.

Пуповина, или пупочный канатик — особый орган, соединяющий эмбрион, а затем плод с плацентой. У человека пуповина достигает длины 50 — 70 см и более, что позволяет плоду совершать сложные движения в полости матки.

Пупочные вены (первоначально парные, затем правая облитерируется). Несут кровь от плаценты, обогащенную кислородом и питательными веществами. Объем крови, оттекающей по пупочным артериям, равен объему крови, притекающей по пупочной вене, и составляет к 20й неделе внутриутробного развития 35 мл\мин, к 40й неделе — 240 мл\мин. Для сравнения, через печень взрослого за минуту протекает 1200 мл крови (при разнице в весе тела в 20 раз, кровотоки отличаются только в 5,5 раз).

Среди множества мероприятий, которые предлагают беременным, особняком стоит забор и хранение пуповинной крови. Суть процедуры в следующем: сразу после родов из пуповины получают кровь, которая принадлежала плоду. Выделенные из неё клетки замораживают и хранят в специальном банке до тех пор, пока они не потребуются.

Ценность пуповинной крови заключается в том, что она содержит биологически активные стволовые клетки, и поэтому хорошо подходит для нужд клеточной терапии и трансплантологии.

Свойства стволовых клеток

Активность

Стволовые клетки пуповинной крови намного моложе однотипных клеток костного мозга, так как они сохранены в самом начале жизни. В течение своей жизни человек стареет и подвергается воздействию неблагоприятных факторов внешней среды – перенесенным заболеваниям, неправильному питанию, малоподвижному образу жизни и пр. Это же воздействие отражается и на свойствах стволовых клеток в нашем организме. Стволовые клетки пуповинной крови собирают на самом раннем этапе жизни человека, что и определяет их более высокую способность делиться и превращаться в нужные организму клетки. Эта способность и делает лечение стволовыми клетками настолько эффективным.

Количество

Количество и концентрация стволовых клеток в пуповинной крови выше, чем в таких источниках как костный мозг и периферическая кровь после мобилизации.

Безопасность

Сбор пуповинной крови – абсолютно простая и безболезненная процедура, которая не представляет риска для здоровья матери и ребенка. В то же время, для получения костного мозга требуется двухчасовая операция под общим наркозом, которая, как и любая другая операция, всегда влечет за собой риск дыхательных и сердечно-сосудистых расстройств.

Совместимость

Собственные стволовые клетки пуповинной крови на 100% подходят ребёнку и с 25%-ой вероятностью они подойдут его братьям и сёстрам, а, возможно, и близким родственникам.

В то же время, вероятность того, что будет найден совместимый донорский образец стволовых клеток, составляет от 1:1000 до 1: 1000 000.

Доступность

Стволовые клетки пуповинной крови при сверхнизких температурах (-196°C) сохраняют функциональную активность длительное время и могут быть изъяты по первому требованию владельца. Подготовка к выдаче собственного образца занимает менее одного дня, в то время как поиск донорского образца длится месяца, а иногда и годы.

Экономичность

Стоимость сбора, выделения и хранения собственных стволовых клеток пуповинной крови в течение всей жизни как минимум в 10 раз меньше стоимости донорского образца стволовых клеток костного мозга.

Дифференцировка кроветворных клеток носит необратимый характер. Ни в одной из систем не удалось обнаружить возврата клетки из более дифференцированного отдела в предыдущий, менее дифференцированный. Кроветворная система, которая состоит как из пролиферирующих, так и из утративших эту способность клеток, содержит элементы, обеспечивающие поддержание системы в целом. Эти элементы уже давно получили название стволовых клеток. Последние по определению должны обладать по крайней мере двумя основными свойствами: способностью к самоподдержанию, сравнимому с временем существования всего организма, и способностью к дифференцировке в более зрелые клеточные элементы.

В селезеночных колониях происходит поддержание пула стволовых клеток.

4.5 Форменные элементы крови

Все форменные элементы крови — эритроциты, лейкоциты и тромбоциты — образуются в костном мозге из единой полипотентной, или плюрипотентной, стволовой клетки (ПСК).

В костном мозге все кроветворные клетки собраны в грозди, которые окружены фибробластами и эндотелиальными клетками. Созревшие клетки пробивают себе путь среди расщелин, образованных фибробластами и эндотелием, в синусы, откуда поступают затем в венозную кровь.

Несмотря на то, что все клетки крови являются потомками единой кроветворной клетки, они несут различные специфические функции, в то же время общность происхождения наделила их и общи-

ми свойствами. Так, все клетки крови, независимо от их специфики, участвуют в транспорте различных веществ, выполняют защитные и регуляторные функции.

Эритроциты

Эритроциты, или красные кровяные диски, впервые обнаружил в крови лягушки Мальпиги (1661), а Левенгук (1673) показал, что они также присутствуют в крови человека и млекопитающих.

В крови человека эритроциты имеют преимущественно форму двояковогнутого диска. Поверхность диска в 1,7 раза больше, чем поверхность тела такого же объема, но сферической формы; при этом диск умеренно изменяется без растяжения мембраны клетки. Несомненно, форма двояковогнутого диска, увеличивая поверхность эритроцита, обеспечивает транспорт большего количества различных веществ. Кроме того, такая форма позволяет эритроцитам закрепляться в фибриновой сети при образовании тромба. Но главное преимущество заключается в том, что форма двояковогнутого диска обеспечивает прохождение эритроцита через капилляры. При этом эритроцит перекручивается в узкой средней части, его содержимое из более широкого конца перетекает к центру, благодаря чему эритроцит свободно входит в узкий капилляр. Форма эритроцитов здоровых людей весьма переменна — от двояковогнутой линзы до тутовой ягоды.

Эритроцит окружен плазматической мембраной, структура которой мало отличается от таковой других клеток. Наряду с тем, что мембрана эритроцита проницаема для катионов Na^+ и K^+ , она особенно хорошо пропускает O_2 , CO_2 , Cl^- и HCO_3^- . Цитоскелет в виде проходящих через клетку трубочек и микрофиламентов в эритроците отсутствует, что придает ему эластичность и деформируемость — столь необходимые свойства при прохождении через узкие капилляры.

Размеры эритроцита весьма изменчивы, но в большинстве случаев их диаметр равен 7,5—8,3 мкм, толщина — 2,1 мкм, площадь поверхности — 145 мкм², объем — 86 мкм³.

В норме число эритроцитов у мужчин равно 4—5*10¹²/л, или 4 000 000—5 000 000 в 1 мкл. У женщин число эритроцитов меньше и, как правило, не превышает 4,5*10¹²/л. При беременности число эритроцитов может снижаться до 3,5*10¹²/л и даже до 3,0*10¹² /л, и это многие исследователи считают нормой.

У человека с массой тела 60 кг общее число эритроцитов равняется 25 триллионам. Если положить все эритроциты одного человека один на другой, то получится «столбик» высотой более 60 км.

В норме число эритроцитов подвержено незначительным колебаниям. При различных заболеваниях количество эритроцитов может уменьшаться. Подобное состояние носит название «эритропения» и часто сопутствует малокровию или анемии. Увеличение числа эритроцитов обозначается как «эритроцитоз».

Составные части крови

Плазма крови прежде всего поставляет всем клеткам тела пищу для обмена веществ. Важное значение имеют содержащиеся в ней белки — 8% ее веса. В ней растворены также конечные и промежуточные продукты обмена веществ (метаболиты), которые она приносит к органам выделения, и вещества-регуляторы, влияющие на работу различных органов. В числе важных метаболитов плазма содержит углекислый газ (CO_2), непрерывно доставляемый кровью к легким для выделения из организма. Если бы он был просто растворен в плазме, то в 100 м³ крови его поместилось бы всего лишь 3 см³. Между тем кровь содержит в 100 м³ около 50 см³ этого газа.

В плазме содержатся вещества типа соды, способные химически связывать большие количества углекислого газа. Так, сода может существовать в двух формах. В тканях, где притекающая к ним кровь насыщается углекислым газом, сода переходит в форму NaHCO_3 ; здесь на один атом натрия

приходится одна группа углекислоты. Когда же кровь приходит в легкие, сода отдает половину своей углекислоты в виде углекислого газа, выдыхаемого нами, и превращается в форму Na_2CO_3 . Именно наличие в крови веществ типа соды, входящих в состав так называемых буферных систем, позволяет переносить от тканей к легким большие количества углекислого газа.

Эритроциты, хотя и называются порой красными кровяными шариками, на деле напоминают плоские кружочки со вдавленной серединой, т. е. двояковогнутые линзы. Размеры их ничтожны: диаметр равен 7 микронам. Это значит, что на 1 мм поместилась бы цепочка из 140 эритроцитов. В 1 мм³ крови содержится в норме 4—4,5 млн эритроцитов. В объеме булавочной головки их разместится 15 млн. Если все эритроциты одного человека поставить в ряд, цепь их трижды опояшет земной шар по экватору или займет около трети трассы Земля — Луна.

Эритроциты исключительно важны для организма — они осуществляют дыхательную функцию крови, являясь переносчиками кислорода. В них содержится особое соединение железа с белком, которое называется гемоглобином, и придает крови ее красный цвет. Замечательным свойством гемоглобина является его способность давать нестойкое соединение с кислородом. Там, где вокруг много кислорода, гемоглобин соединяется с ним. Там, где кислорода мало, гемоглобин отдает его. Благодаря гемоглобину кровь обладает совершенно исключительной «вместительностью» для кислорода. В 100 см³ растворилось бы всего 0,3 см³ кислорода. Между тем гемоглобин связывает до 20 см³ этого газа. Благодаря гемоглобину кровь содержит фактически столько же кислорода, сколько имеется его в атмосферном воздухе. Ведь и в воздухе кислорода 20—21 %. Значит, соприкосновение с кровью полностью заменяет для всех клеток тела необходимость контакта с воздухом.

Крохотные размеры эритроцитов при их огромном числе имеют огромное значение для их функции. Суммарная поверхность эритроцитов одного человека составляет 3400 м². Таким образом это облегчает насыщение кислородом крови и отдачу его в ткани. К сожалению, гемоглобин может соединяться не только с кислородом. Отравление угарным газом в том и состоит, что этот газ связывается с гемоглобином. Он больше «не отпускает» его и тем лишает кровь возможности связываться с кислородом. Поэтому угарный газ очень опасен, и необходимо при первых признаках отравления немедленно выйти на свежий воздух, чтобы спасти оставшийся гемоглобин от блокирования ядом.

Эритроциты отличаются от всех других клеток тела тем, что в зрелом состоянии не имеют ядер. В связи с этим они недолговечны. Считается, что живут они не больше 4 месяцев. Значит, каждый день умирает 1/3120 часть всех наших эритроцитов, т. е. более 175 млрд., а потому столько же должно и образовываться. Вырабатываются эритроциты в костном мозгу, которым, как и другими органами, дирижирует нервная система. При нарушениях ее деятельности, например в связи с психическими травмами, иногда отмечается нарушение образования эритроцитов.

Лейкоциты

Лейкоциты также неправильно было бы, как это еще имеет место, называть шариками, да еще белыми. Они представляют собой бесцветные, прозрачные комочки неправильной формы. Важной особенностью лейкоцитов является их подвижность. Если взять на стекло мазок крови и сразу рассматривать под микроскопом, можно видеть, как лейкоциты «ползают» по стеклу. Таким образом, они словно какие-то самостоятельные одноклеточные организмы внутри нашего тела. Однако и лейкоциты, как показали исследования учеников И. П. Павлова, управляются в своей работе нервной системой с помощью целого ряда гуморальных факторов.

Лейкоцитов в крови гораздо меньше, чем эритроцитов. В 1 мм³ содержится 5—7 тысяч лейкоцитов, т. е. белый «шарик» приходится на 700—800 красных. Однако значение лейкоцитов тоже очень велико.

Открытие роли лейкоцитов принадлежит великому русскому ученому И. И. Мечникову, который в 1882 году установил, что лейкоциты «пожирают» попавших в организм микробов, а также различные отмирающие кусочки тканей тела. Мечников назвал их поэтому фагоцитами (от греч. phages — пожиратель и kytos — вместилище, здесь — клетка). Это — одна из важнейших

защитных сил организма. Подходя к микробу, лейкоцит как бы обхватывает, обволакивает его своей протоплазмой и переваривает ферментами своего тела.

Если проникшие в организм, например через поврежденную кожу, микробы очень сильны, лейкоциты массами гибнут в борьбе с этой инфекцией. Миллионы их мертвых тел образуют всем нам известный гной. Возникает нарыв, абсцесс. Окружив проникших микробов плотным валом и защищая остальной организм от распространения инфекции, т. е. заражения крови, сепсиса, лейкоциты яростно борются с инфекцией и чаще всего побеждают ее.

Если в организм попала инфекция, грозящая вызвать заражение крови, число лейкоцитов быстро возрастает — до 10—15 и даже 25 тысяч в 1 мм^3 . Это можно наблюдать при ангине, воспалении легких, нагноениях ран и т. п. В подобных случаях в крови появляются еще не вполне созревшие лейкоциты — организм бросает на борьбу все резервы. Поэтому, наблюдая за картиной крови, можно по целому ряду признаков видеть, как протекает борьба организма с микробами. Иногда анализ крови позволяет выявить только еще начинающееся или вяло текущее заболевание, о котором больной и не знал. Не случайно современная медицина придает исследованию крови очень большое значение. Если лицо называют «зеркалом души», то кровь можно назвать «зеркалом здоровья». Между прочим, сегодня огромную информацию дают не только исследования лейкоцитов, но и тонкие биохимические исследования плазмы. Разработаны методы, позволяющие по одной капле крови изучить многие десятки ее ингредиентов.

Когда организм почему-либо лишается лейкоцитов, он быстро погибает. Так, отмечались случаи, когда люди, употреблявшие в пищу зерно, которое простояло зиму под снегом, заболели тяжелой ангиной, переходившей в смертельный сепсис. Оказалось, что перезимовавшее зерно содержит яды, которые губят лейкоциты. Организм лишается своих защитников, и первая же инфекция, даже и не очень сильная, оказывается смертельной. Одна из самых молодых болезней, появившаяся в широких масштабах после трагедии Хиросимы и Нагасаки, получила название лучевой болезни. Наиболее уязвимой мишенью для воздействия облучения также оказались лейкоциты. Поэтому при развитии лучевой болезни организм теряет способность успешно бороться с микробами.

Кровяные пластинки - третий вид кровяных телец — еще меньше, чем эритроциты. В 1 мм^3 крови их содержится около 300 тысяч. Основным свойством кровяных пластинок является их легкая разрушаемость, играющая важнейшую роль в процессе свертывания крови.

Знание механизмов свертывания крови очень важно для науки. Часто бывает необходимо ускорить процесс свертывания. Иногда, наоборот, надо иметь возможность сохранять кровь несвернувшейся (скажем, на станциях переливания крови). При некоторых болезнях кровь может свертываться внутри сосудов, образуя так называемые тромбы — комочки, закупоривающие тот или иной сосуд, часто питающий жизненно важный орган, например сердце или мозг. Поэтому во многих случаях бывает важно понизить свертывание. Для того чтобы влиять на то или иное явление, надо, естественно, знать его законы.

Механизм свертывания крови очень сложен. Мы осветим лишь основные его закономерности. Среди белков плазмы имеется белок фибриноген, который может выпадать из раствора в виде нитей — происходит его превращение в фибрин (от лат. *fibra* — волокно). В этих нитях задерживаются кровяные тельца и образуется сгусток, тромб. Значит, в основе свертывания лежит превращение фибриногена в фибрин. В обычных условиях превращение это в крови происходит настолько медленно, что практически его результат равен нулю.

Среди белков плазмы помимо фибриногена имеется в ничтожных количествах особый вырабатываемый печенью белок протромбин, который и переходит в тромбин под влиянием двух факторов: во-первых, ионов кальция, всегда имеющихся в плазме, во-вторых, специального фермента тромбокиназы. Этот-то фермент и содержится в кровяных пластинках и освобождается при их разрушении. Как только кровь вместо гладких стенок сосудов соприкасается с шероховатой поверхностью поврежденных тканей, хрупкие кровяные пластинки моментально начинают разрушаться. Появляется тромбокиназа, которая вместе с ионами кальция превращает протромбин в тромбин. На этом завершается первая, подготовительная фаза процесса свертывания. Тромбин действует на фибриноген и «свертывает» его: это — вторая, основная фаза процесса. Следова-

тельно, тромбокиназа есть «фермент фермента». У больных гемофилией наряду с другими нарушениями имеется чрезмерная устойчивость, «прочность» кровяных пластинок. Поэтому тромбокиназа освобождается слишком вяло, и процесс свертывания резко замедляется. Как ни сложна обрисованная выше схема событий, разыгрывающихся при свертывании крови, она отражает лишь самые стержневые элементы процесса, только «скелет» его. Свертывающая система содержит целый ряд дополнительных звеньев, описание которых заняло бы целую главу. Кроме того, в организме имеется многокомпонентная и многоступенчатая противосвертывающая система. Системы эти в норме сложно взаимодействуют и уравнивают друг друга. При нарушениях такого равновесия возникают нарушения как в сторону снижения свертываемости (кровоточивость), так и повышения ее (образование тромбов в сосудах).

На примере первого же рассмотренного нами сложного процесса — свертывания крови мы сразу же столкнулись с противоречивостью явлений, характеризующих симфонию жизни. Свертывание крови — защитное явление. С этой точки зрения оно, безусловно, должно быть признано полезным. Однако оно же может явиться причиной закупорки сосудов сердца или мозга, вызвать инфаркт миокарда или инсульт (кровоизлияние в мозг). Поэтому на вопрос, полезно или вредно свертывание крови, нельзя ответить однозначно. Любая симфония содержит и благозвучные аккорды, консонансы, и неблагозвучные — диссонансы. Точно так же и симфония жизни включает явления, могущие быть и полезными, и вредными. Все зависит от конкретных условий. Справедливо гласит народная мудрость: нет худа без добра, добра без худа.

Изучив механизмы свертывания, наука может теперь влиять на этот процесс. Например, если надо сохранить кровь для переливания, не дать ей свернуться, можно, с одной стороны, поместить ее в банки со специально обработанными, гладкими стенками (это замедлит разрушение кровяных пластинок), с другой — убрать ионы кальция путем добавления кислоты, с которой кальций дает нерастворимую соль, выпадающую в осадок (например, лимонная кислота). Наконец, можно добавить вещества, нейтрализующие действие фермента тромбина, если он уже образовался. Сюда относятся вырабатываемый печенью и в небольших количествах имеющийся в крови человека гепарин (от греч. *hepar* — печень), а также выделяемый пиявками гирудин (от лат. *hirudo* — пиявка). Это вещество позволяет пиявкам долгое время сосать из раны жидкую, несвертывающуюся кровь.

Если у человека свертываемость крови повышена и ему грозит образование тромба внутри сосуда, так называемый тромбоз, можно дать препараты, уменьшающие выработку печенью протромбина. Препараты эти называются антикоагулянтами. Сюда относятся дикумарин, синкумар и пр. Если, наоборот, надо повысить свертываемость, можно дать вещество, усиливающее выработку протромбина печенью. Таким действием обладает, например, витамин К (содержится в капусте, шпинате, моркови). Надо также вводить в организм ионы кальция (в виде раствора хлористого кальция и т. п.).

Как ни важна кровь, она может полностью выполнить свои обязанности только с помощью тканевой жидкости, или лимфы. Несмотря на густейшие разветвления капиллярной сети, кровь не может войти в соприкосновение с каждой клеткой тела. Этот недостаток искупается наличием лимфы, заполняющей все межклеточные щели и являющейся важнейшим посредником между кровью и клетками нашего тела.

Лимфа образуется из крови. Под влиянием кровяного давления через тонкую стенку капилляра фильтруется часть плазмы крови, которая и омывает все клетки, отдавая им питательные вещества. Выделяемый клетками углекислый газ тут же — обратно через стенку капилляра — уходит в кровь, а остальные продукты жизнедеятельности забирает лимфа, которая частью отдает их в капилляры, частью уносит сама. Из межклеточных промежутков берут начало ее капилляры, которые, постепенно сливаясь, образуют сосуды, похожие на вены. Они тоже имеют клапаны. В конце концов лимфа собирается в два больших сосуда, которые впадают в главные вены, несущие кровь к сердцу. Таким образом, лимфа тоже движется, причем большую часть круговорота прodeлывает в составе крови и лишь от капилляров до крупных вен течет самостоятельно по особым сосудам.

Иногда образование лимфы превышает ее отток. Во-первых, это бывает при ослаблении правого желудочка, не успевающего откачивать приносимую по венам кровь. Во-вторых, это происходит в том случае, когда вследствие какого-нибудь болезненного процесса в вене или лежащей рядом опухоли отток крови затрудняется. В том и другом случае по артериям притекает больше крови, чем оттекает по венам. Фильтрация лимфы усиливается, и наступает отек. Бывают отеки и при некоторых почечных заболеваниях, а также отравлениях, приводящих к повышенной проницаемости капилляров (например, при укусе змеи).

По ходу лимфатических сосудов можно там и здесь видеть разрастания, утолщения, называемые лимфатическими узлами. Они представляют собой скопления одного из видов лейкоцитов — лимфоцитов — и являются как бы барьерами против инфекции, если таковая попадает в лимфу. Лимфоциты здесь и вырабатываются. Лимфатические узлы можно прощупать в подмышечной области, на границе шеи с нижней челюстью и т. д. При наличии инфекции лимфатические узлы увеличиваются, становятся болезненными.

Из лимфатической ткани состоят наши миндалины. Немало содержится ее и в аппендиксе — червеобразном отростке слепой кишки, который называют иногда кишечной миндалиной. Нередко задержанные этими органами микробы оказываются сильнее, чем лимфоциты. Миндалины и аппендикс могут тогда превратиться в очаги хронической инфекции (хроническая ангина, хронический аппендицит). В таких случаях надо прибегать к операции, ибо орган, ранее полезный, превращается в питомник инфекции, могущей вызвать серьезное заболевание сердца, суставов и пр.

Гемоглобин и его соединения

Основные функции эритроцитов обусловлены наличием в их составе особого белка хромопротеида — гемоглобина. Молекулярная масса гемоглобина человека равна 68 800. Гемоглобин состоит из белковой (глобин) и железосодержащей (гем) частей. На 1 молекулу глобина приходится 4 молекулы гема.

В крови здорового человека содержание гемоглобина составляет 120—165 г/л (120—150 г/л для женщин и 130—160 г/л для мужчин). У беременных содержание гемоглобина может понижаться до 110 г/л, что не является патологией.

Основное назначение гемоглобина — транспорт O_2 и CO_2 . Кроме того, гемоглобин обладает буферными свойствами, а также способностью связывать некоторые токсичные вещества.

Гемоглобин человека и различных животных имеет разное строение. Это касается белковой части — глобина, так как гем у всех представителей животного мира имеет одну и ту же структуру. Гем состоит из молекулы порфирина, в центре которой расположен ион Fe^{2+} , способный присоединять O_2 . Структура белковой части гемоглобина человека неоднородна, благодаря чему белковая часть разделяется на ряд фракций. Большая часть гемоглобина взрослого человека (95—98%) состоит из фракции А (от лат. *adultus* — взрослый); от 2 до 3% всего гемоглобина приходится на фракцию А2; наконец, в эритроцитах взрослого человека находится так называемый фетальный гемоглобин (от лат. *fetus* — плод), или гемоглобин F, содержание которого в норме подвержено значительным колебаниям, хотя редко превышает 1—2%. Гемоглобины А и А2 обнаруживаются практически во всех эритроцитах, тогда как гемоглобин F присутствует в них не всегда.

Гемоглобин F содержится преимущественно у плода. К моменту рождения ребенка на его долю приходится 70—90%. Гемоглобин F имеет большее сродство к O_2 , чем гемоглобин А, что позволяет тканям плода не испытывать гипоксии, несмотря на относительно низкое напряжение O_2 в его крови. Эта приспособительная реакция объясняется тем, что гемоглобин F труднее вступает в связь с 2,3-дифосфоглицерновой кислотой, которая уменьшает способность гемоглобина переходить в оксигемоглобин, а следовательно, и обеспечивать легкую отдачу O_2 тканям.

Гемоглобин обладает способностью образовывать соединения с O_2 , CO_2 и CO . Гемоглобин, присоединивший O_2 , носит наименование оксигемоглобина (HbO_2); гемоглобин, отдавший O_2 , называется восстановленным, или редуцированным (Hb). В артериальной крови преобладает содержание оксигемоглобина, от чего ее цвет приобретает алую окраску. В венозной крови до 35% всего гемоглобина приходится на Hb . Кроме того, часть гемоглобина через аминную группу связывается с CO_2 , образуя карбогемоглобин ($HbCO_2$), благодаря чему переносится от 10 до 20% всего транспортируемого кровью CO_2 .

Гемоглобин способен образовывать довольно прочную связь с CO . Это соединение называется карбоксигемоглобином ($HbCO$). Сродство гемоглобина к CO значительно выше, чем к O_2 , поэтому гемоглобин, присоединивший CO , неспособен связываться с O_2 . Однако при вдыхании чистого O_2 резко возрастает скорость распада карбоксигемоглобина, чем пользуются на практике для лечения отравлений CO .

Сильные окислители (ферроцианид, бертолетова соль, пероксид, или перекись, водорода и др.) изменяют заряд от Fe^{2+} до Fe^{3+} , в результате чего возникает окисленный гемоглобин — прочное соединение гемоглобина с O_2 , носящее наименование метгемоглобина. При этом нарушается транспорт O_2 , что приводит к тяжелейшим последствиям для человека и даже смерти.

Цветовой показатель

О содержании в эритроцитах гемоглобина судят по так называемому цветовому показателю, или фарб-индексу (Fi , от farb — цвет, index — показатель) — относительной величине, характеризующей насыщение в среднем одного эритроцита гемоглобином. Fi — процентное соотношение гемоглобина и эритроцитов, при этом за 100% (или единиц) гемоглобина условно принимают величину, равную 166,7 г/л, а за 100% эритроцитов — $5 \cdot 10^6$ /л. Если у человека содержание гемоглобина и эритроцитов равно 100%, то цветовой показатель равен 1.

В норме Fi колеблется в пределах 0,75—1,0 и очень редко может достигать 1,1. В этом случае эритроциты называются нормохромными. Если Fi менее 0,7, то такие эритроциты недонасыщены гемоглобином и называются гипохромными. При Fi более 1,1 эритроциты именуется гиперхромными. В этом случае» объем эритроцита значительно увеличивается, что позволяет ему содержать большую концентрацию гемоглобина. В результате создается ложное впечатление, будто эритроциты перенасыщены гемоглобином. Гипо- и гиперхромия встречаются лишь при анемиях. Определение цветового показателя важно для клинической практики, так как позволяет провести дифференциальный диагноз при анемиях различной этиологии.

Гемолиз

Гемолизом называется разрыв оболочки эритроцитов и выход гемоглобина в плазму, благодаря чему кровь приобретает лаковый цвет. В искусственных условиях гемолиз эритроцитов может быть вызван помещением их в гипотонический раствор. Для здоровых людей минимальная граница осмотической стойкости соответствует раствору, содержащему 0,42—0,48% $NaCl$, полный же гемолиз (максимальная граница стойкости) происходит при концентрации 0,30—0,34% $NaCl$. При анемиях границы минимальной и максимальной стойкости смещаются в сторону повышения концентрации гипотонического раствора.

Причины гемолиза. Гемолиз может быть вызван химическими агентами (хлороформ, эфир, сапонин и др.), разрушающими мембрану эритроцитов. В клинике нередко встречается гемолиз при отравлении уксусной кислотой. Гемолизирующими свойствами обладают яды некоторых змей (биологический гемолиз).

При сильном встряхивании ампулы с кровью также наблюдается разрушение мембраны эритроцитов — механический гемолиз. Он может проявляться у больных с протезированием клапанного аппарата сердца и сосудов. Кроме того, механический гемолиз иногда возникает при длительной ходьбе (маршевая гемоглобинурия) из-за травмирования эритроцитов в капиллярах стоп.

Если эритроциты заморозить, а потом отогреть, то возникает гемолиз, получивший наименование термического. Наконец, при переливании несовместимой крови и наличии аутоантител к эритроцитам развивается иммунный гемолиз. Последний является причиной возникновения анемий и нередко сопровождается выделением гемоглобина и его производных с мочой (гемоглобинурия).

Функции эритроцитов

Эритроцитам присущи три основные функции: транспортная, защитная и регуляторная.

1. Транспортная функция эритроцитов заключается в том, что они транспортируют O₂ и CO₂, аминокислоты, полипептиды, белки, углеводы, ферменты, гормоны, жиры, холестерин, различные биологически активные соединения (простагландины, лейкотриены и др.), микроэлементы и др.
2. Защитная функция эритроцитов заключается в том, что они играют существенную роль в специфическом и неспецифическом иммунитете и принимают участие в сосудистотромбоцитарном гемостазе, свертывании крови и фибринолизе.
3. Регуляторную функцию эритроциты осуществляют благодаря содержащемуся в них гемоглобину; регулируют рН крови, ионный состав плазмы и водный обмен. Проникая в артериальный конец капилляра, эритроцит отдает воду и растворенный в ней O₂ и уменьшается в объеме, а переходя в венозный конец капилляра, забирает воду, CO₂ и продукты обмена, поступающие из тканей и увеличивается в объеме.

Благодаря эритроцитам во многом сохраняется относительное постоянство состава плазмы. Это касается не только солей. В случае увеличения концентрации в плазме белков эритроциты их активно адсорбируют. Если же содержание белков в крови уменьшается, то эритроциты отдают их в плазму.

Эритроциты являются носителями глюкозы и гепарина, обладающего выраженным противосвертывающим действием. Эти соединения при увеличении их концентрации в крови проникают через мембрану внутрь эритроцита, а при снижении — вновь поступают в плазму.

Эритроциты являются регуляторами эритропоэза, так как в их составе содержатся эритропоэтические факторы, поступающие при разрушении эритроцитов в костный мозг и способствующие образованию эритроцитов. В случае разрушения эритроцитов из освобождающегося гемоглобина образуется билирубин, являющийся одной из составных частей желчи.

Эритрон. Регуляция эритропоэза

Понятие «эритрон» введено английским терапевтом Каслом для обозначения массы эритроцитов, находящихся в циркулирующей крови, в кровяных депо и костном мозге. Принципиальная разница между эритроном и другими тканями организма заключается в том, что разрушение эритроцитов осуществляется преимущественно макрофагами за счет процесса, получившего наименование «эритрофагоцитоз». Образующиеся при этом продукты разрушения и в первую очередь железо используются на построение новых клеток. Таким образом, эритрон является замкнутой системой, в которой в условиях нормы количество разрушающихся эритроцитов соответствует числу вновь образовавшихся.

Развитие эритроцитов происходит в замкнутых капиллярах красного костного мозга. Как только эритроцит достигает стадии ретикулоцита, он растягивает стенку капилляра, благодаря чему сосуд раскрывается и ретикулоцит вымывается в кровоток, где и превращается за 35—45 ч в молодой эритроцит — нормоцит. В норме в крови содержится не более 1—2% ретикулоцитов. В кровотоке эритроциты живут 80—120 дней. Продолжительность жизни эритроцитов у мужчин несколько больше, чем у женщин.

4.6 Поджелудочная железа

Поджелудочная железа представляет собой сложную альвеолярно-трубчатую железу, орган удлинённой формы серовато-розового цвета, расположенный в брюшной полости. Она лежит горизонтально на уровне тел I ÷ II поясничных позвонков забрюшинно позади желудка, отделяясь от него сальниковой сумкой. Длина поджелудочной железы 14 ÷ 18 см, ширина 3 ÷ 9 см, толщина 2 ÷ 3 см. Масса у взрослого человека ~80 г.

Поджелудочная железа - это железа внешней и внутренней секреции, выделяющая поджелудочный (панкреатический) сок и гормоны инсулин и глюкагон, поступающие прямо в кровь и регулирующие углеводный и жировой обмен. Это орган, играет важную роль в нашем организме. Поджелудочная железа создает ферменты содействующие в переваривании пищи и состоящих из не простых, сложных веществ: трипсин, липаза, амилаза и другие вещества. Их назначение в организме человека ускорять переваривание пищи, ее качественному усвоению в нашем тонком кишечнике. Пищеварительный сок поджелудочной железы (панкреатический сок) усиливает процесс усвоения пищи человеком.

Панкреатический сок - это пищеварительный сок, который выделяет поджелудочная железа. Сок поджелудочной железы представляет собой бесцветную жидкость с щелочной реакцией. Имеет в составе ферменты, расщепляющие белки, жиры и углеводы, содержит также ряд белков (в основном глобулины), креатин, мочевины, мочевую кислоту, микроэлементы и др. У человека за сутки выделяется 1,5-2 литра панкреатического сока.

За сутки поджелудочная железа выделяет 1500-3000 мл изоосмотического щелочного (рН больше 8) сока, содержащего около 20 ферментов (в том числе - в неактивной форме). Эти ферменты играют главную роль в переваривании и белков, и жиров, и углеводов. Кроме того, за счет щелочной реакции сока поджелудочной железы обеспечивается оптимальный для активности этих ферментов рН.

Поджелудочная железа - это вторая (после печени) по величине пищеварительная железа, а также железа внутренней секреции. Назначение поджелудочной железы как экзокринной железы - синтез, хранение и выведение пищеварительного сока поджелудочной железы. Назначение поджелудочной железы как эндокринной железы - синтез, хранение и выведение гормонов поджелудочной железы.

4.7 Пищеварительная система

Пищеварительная система является древнейшим эволюционным образованием. За многие тысячелетия она преобразилась и достигла апогея своего развития в человеческом организме. Пищеварительная система складывается из желудочно-кишечного тракта, группы желез, а также органов для приема и измельчения пищи. Основная функция пищеварительной системы состоит в переработки пищи с максимальным извлечением из нее питательных веществ.

Начальным участком пищеварительного тракта является ротовая полость. В ней содержатся органы, которые осуществляют функцию приема, смягчения, измельчения, определения вкусовых качеств пищи.

Язык

Язык представляет собой мышцу, которая способствует измельчению, проглатыванию пищи. На языке имеется большое количество рецепторов, благодаря которым происходит определение вкуса

продуктов. И соответственно со вкусом пищи вырабатывается слюна. В районе корня языка имеется образование иммунной системы – миндалина, которая предотвращает попадание инфекции.

Зубы

Зубы выполняют функцию пережевывания пищи. Большая часть зуба состоит из дентина, который в зоне коронки покрыт эмалью. Постоянные зубы представлены резцами, клыками, премолярами, молярами.

Слюнные железы

Слюнные железы служат для выработки слюны в ответ на пищевой раздражитель, будь это запах, или вкус. Слюна смачивает, частично обеззараживает пищу.

Пищевод

Пищевод – полый орган, который имеет форму трубки и длину 25-30 см.

Главная функция пищевода – проведение пищевой массы в желудок. Основная часть пищевода состоит из гладкой мускулатуры, которая, благодаря перистальтическим движениям, перемещает пищу или питье. В слизистой оболочке пищевода имеется множество слизистых желез, которые увлажняют внутреннюю поверхность.

Желудок

Желудок – это полый объемистый орган мешковидной формы.

Внутренняя оболочка желудка образована специфическими клетками, которые способны выделять соляную кислоту и ферменты, которые выполняют функцию расщепления белков.

Мощные мышечные стенки перемешивают пищу и подготавливают ее к дальнейшему перевариванию.

Железы пищеварительной системы

Печень производит желчь, с помощью которой эмульгируются жиры, а также способствует усилению перистальтики всего желудочно-кишечного тракта. Скапливается желчь в полости желчного пузыря, откуда по желчному протоку достигает в двенадцатиперстной кишки.

Выделение желчи происходит в зависимости от состава пищи, так как пища богатая жирами вызывает быстрый выброс желчи.

Поджелудочная железа продуцирует ферменты для двенадцатиперстной кишки. Функция ферментов поджелудочной железы состоит в расщеплении белкового, углеводного и жирового компонентов пищи.

Ферменты активируются при попадании в кишечник, так как они очень активны и могут привести к самоперевариванию железы. Поэтому панкреатит является весьма тяжелым заболеванием.

Кишечник состоит из двух кишок: тонкой и толстой. В тонкой кишке осуществляется функция всасывания питательных веществ. Длина ее около 5 метров.

Начальный отрезок тонкой кишки именуется двенадцатиперстной кишкой.

В нее внедряются протоки важнейших желез пищеварительной системы: печени и поджелудочной железы. Пройдя двенадцатиперстную кишку, пища перемещается в тощую кишку, а затем в подвздошную.

Подвздошная кишка заканчивается специальным клапаном, или заслонкой, которая не дает каловым массам двигаться в обратную сторону из толстой в тонкую кишку.

Толстая кишка также включает несколько составных частей: слепая, которая имеет червеобразный отросток, ободочная и прямая кишка. Этот отдел кишечника извлекает воду из химуса, при этом вода попадает в кровь, формирует твердые каловые массы и выделяет их из организма.

Снабжение всех клеток тела питательными веществами, без притока которых невозможен метаболизм непрерывно распадающегося и вновь синтезируемого белка, осуществляется специальной системой организма — органами пищеварения.

Для нормального хода обмена веществ, т. е. для поддержания жизни, клеткам тела необходимо шесть видов питательных веществ: белки, жиры, углеводы, вода, минеральные соли и витамины. О значении каждого вида питательных веществ и о количествах важнейших из них в нор-

мах питания будет сказано дальше. Здесь мы займемся тем, как именно изменяются эти вещества в органах пищеварения.

В тех животных и растительных продуктах, которые мы употребляем в пищу, содержатся все необходимые человеку виды питательных веществ. Однако сами по себе хлеб, мясо, молоко, масло и другие продукты, с которыми мы имеем дело, не могут усваиваться клетками тела. Больше того, если мы введем человеку непосредственно в кровь стакан молока, это будет равносильно смертной казни. Белки, жиры и углеводы пищи могут усваиваться клетками тела лишь после определенной подготовки. Она состоит в том, что в органах пищеварения сложнейшие органические вещества — белки, жиры и углеводы — расщепляются на более простые, на те «кирпичики», из которых состоят их молекулы. Только такие кирпичики могут использоваться в ходе обменных процессов клеток нашего тела.

Белки состоят из аминокислот. На эти «кирпичики» они и должны быть расщеплены в пищеварительном канале. Жиры представляют собой соединение глицерина с жирными кислотами. Одна молекула глицерина связана с тремя молекулами жирных кислот. Кислот этих имеется несколько, а потому при соединении с глицерином разных кислот получаются разные жиры. Глицерин нам хорошо известен. Что касается жирных кислот, то используемое в быту мыло представляет собой смесь натриевых или калиевых солей этих кислот. Получают мыло путем соответствующей обработки жиров животных, позволяющей отделить жирные кислоты от глицерина. Аналогичный процесс происходит и в пищеварительном канале.

Сложные углеводы — крахмал, клетчатка и др. — состоят из «кирпичиков», называемых моносахаридами. Типичным моносахаридом является глюкоза — виноградный сахар. Глюкоза, как и ряд других моносахаридов, представляет собой цепочку из 6 атомов углерода, к которым «сбоку» присоединяются атомы водорода и кислорода так, что в среднем на 1 атом углерода приходится 2 водородных и 1 кислородный атом, т. е. как бы одна молекула воды, имеющей, как мы помним, формулу H_2O . Поэтому данная группа соединений и получила название углеводов. Таким образом, если вода, минеральные соли и витамины могут использоваться клетками тела в таком виде, в каком поступают с пищей, то белки должны быть расщеплены до аминокислот, жиры — до глицерина и жирных кислот, а углеводы — до моносахаридов типа глюкозы.

В этом и состоит обязанность органов пищеварения. Пища подвергается, с одной стороны, механической обработке (размельчение, растирание, перемешивание и пр.), с другой стороны — обработке химической, т. е. собственно расщеплению на простейшие вещества. Выполняют эту функцию особые жидкости — пищеварительные соки, главным действующим началом которых являются опять-таки ферменты. Таким образом, и в органах пищеварения основные работники — это, во-первых, мышечные клетки, осуществляющие механическую обработку и передвижение пищи, и, во-вторых, клетки желез, выделяющие пищеварительные соки, богатые ферментами.

Пищеварение

Всей многообразной деятельностью органов пищеварения постоянно управляет нервная система. С одной стороны, нервная система руководит механической обработкой пищи, т. е. всеми движениями пищеварительных органов, от работы жевательных мышц до перистальтики кишечника. При этом в деятельность вовлекается ряд сложных рефлекторных механизмов. Типичным примером таких рефлексов является глотание. Происходит оно лишь в том случае, если возникает раздражение (комочком пищи, каплей слюны и т. п.) задней части неба и корня языка. Раздражение это передается в мозг, и в ответ летят импульсы, пускающие в ход сложные, согласованные движения мышц рта, неба, глотки. Если во рту нет ни капли слюны, т. е. если нам нечего проглотить, то глотание невозможно.

Когда в желудок попадает вещество, сильно раздражающее слизистую оболочку, возникает защитный рефлекс — рвота. Содержимое желудка выбрасывается обратно через рот. Возникает рвота и при некоторых болезнях желудка.

Управляя механической обработкой пищи, нервная система, с другой стороны, регулирует и химическую обработку ее. Последнее было блестяще доказано И. П. Павловым. До его исследований ученые неоднократно убеждались, что при раздражении веточек блуждающего нерва, идущих к желудку, сокоотделение не меняется. Основываясь на этом, пришли к выводу, что мозг не влияет на главные пищеварительные железы. И. П. Павлов доказал обратное и тем сделал еще один шаг к утверждению концепции нервизма. Вот его опыт. У собаки с фистулой желудка и перерезанным пищеводом Павлов находит желудочные ветви блуждающего нерва, зацепляет их ниточкой, оба конца которой выводит наружу, и зашивает рану. Теперь в любой момент, дернув за нитку, можно прервать нервный путь. И вот на лекции демонстрируется опыт «мнимого кормления». Собака жадно вновь и вновь проглатывает один и тот же кусок мяса, из желудка обильно течет сок.

Ученый подходит к животному и дергает за нитку. Собака продолжает жадно есть, но из желудка теперь не вытекает на капли сока. Значит, работой желез желудка управляет нервная система. Пища раздражает вкусовые рецепторы языка, от них бегут импульсы в мозг, возбуждающие пищевой центр. Возбуждение его — это и есть аппетит. От центра по блуждающему нерву летят сигналы, пускающие в ход железы желудка, поджелудочную железу и т. д. И здесь главенствует закон рефлекса. Значит, не оттого мы чувствуем аппетит, что в желудке появился сок (как думали до Павлова), а, наоборот, аппетит — возбуждение пищевого центра — вызывает отделение сока. Поэтому громадное значение имеют вкус, запах пищи, красивая сервировка стола — все, что способствует аппетиту, который улучшает работу желез, помогает лучше усваивать пищу. Если мы за едой занимаемся посторонним делом, это мешает возбуждению пищевого центра, ухудшает переваривание пищи. Первый, «аппетитный» сок имеет, по Павлову, огромное значение.

Помимо влияния через рецепторы полости рта, пища влияет на железы и через рецепторы желудка, кишечника, а также через кровь. Павлов подробно изучил влияние разных видов пищи на железы. Например, мясные и овощные отвары возбуждают железы желудка, жир тормозит их работу, угнетает ее. Стало ясно, почему жирное мясо — тяжелая пища. Ведь мясо — продукт белковый, требующий участия пепсина, а жир угнетает железы желудка. При этом пепсин не выделяется и вся работа ложится на поджелудочную железу, которую жир, наоборот, возбуждает. Труды И. П. Павлова по физиологии пищеварения удостоены Нобелевской премии.

В начале 1900-х годов, в возрасте свыше 50 лет, великий ученый перешел к изучению совершенно новой области, которой посвятил всю остальную жизнь. Об этих бессмертных трудах, ставших жемчужиной русской и мировой науки, мы будем говорить, когда дойдем до физиологии мозга.

Процессы обмена вещества и энергии

Основой живой материи является белок. Поэтому наше тело нуждается в непрерывном притоке белка из внешней среды взамен распадающегося в ходе диссимиляции. В отличие растений, мы, как уже говорилось, не только не можем создавать аминокислот, но не можем даже в достаточной степени превращать их друг в друга. Нам нужны готовые аминокислоты, из которых печень формирует белки, родственные белкам наших тканей. Основными видами пищи, содержащими белок, являются мясо, рыба, молоко, яйца. По характеру своих «кирпичиков», т. е. аминокислотному составу, эти белки сходны с нашими и отличаются лишь иным порядком соединения аминокислот.

Таковыми же белками, входящими в группу полноценных для нас, являются белки некоторых растений: картофеля, сои. В хлебе, крупах содержатся белки, в которых имеются не все необходимые нам аминокислоты. Однако если разнообразить питание, то несколько белков, входящих в группу неполноценных, дадут вместе полный набор нужных нам аминокислот. Важнейшей особенностью белков является то, что они не могут откладываться в организме про запас. Каждый день мы должны получать столько белков, сколько необходимо для обмена веществ. Поступающий сверх этого белок все равно разрушается и этим только раздувает пламя метаболизма. В результате этого может ускориться старение организма. Взрослому человеку в сутки требуется около 100 г белка, при тяжелом физическом труде и спортивной тренировке — до 130—140 г.

Жиры и углеводы, в отличие от белков, могут в организме превращаться друг в друга, а также формироваться из остатков белка. Они могут откладываться про запас. Жиры — в большом количестве, углеводы — лишь в количестве около 600 г, из них 300 г в печени и 300 г в мышцах. В сутки человеку физического труда нужно не более 100, а человеку умственного труда не более 90 г жиров; углеводов требуется при отсутствии выраженных физических нагрузок 400 г. Последняя цифра кажется непонятно большой, если сравнить ее с потребными количествами белков и жиров, а также учесть то, что для построения живого вещества идут в основном белки и жиры и лишь в небольшой степени углеводы. Однако надо вспомнить, что наряду с пластическим существует энергетический обмен. Самым же «легким» горючим материалом являются углеводы. Приток энергии необходим как для нормального хода метаболизма (т. е. для самого поддержания жизни), так и для многообразных видов деятельности организма, прежде всего работы мышц. Если человек спокойно лежит, не выполняя никаких движений, не шевеля ни рукой, ни ногой, с пустым желудком и кишечником (чтобы не было никаких дополнительных затрат энергии), то ему требуется в сутки в среднем около 1500 больших калорий, или 6300 килоджоулей. Система единиц СИ упразднила калории как единицы измерения энергии, но для характеристики энергетических процессов в организме они пока еще могут использоваться. Итак, если при полном покое нам требуется примерно 1500 ккал, то в связи с нашей повседневной работой, особенно физической, энергии нужно больше. В случае физической работы умеренной и средней тяжести — до 2500—4000 ккал. Значит, на самоподдержание жизни идет достаточно много энергии. При умеренной работе — половина общего энергетического расхода организма. Для наглядности укажем, что 3000 ккал — это энергия, необходимая, чтобы вскипятить 5 ведер воды.

Те количества белков, жиров, углеводов, которые приведены выше, обеспечивают нам около 3500 ккал. В случае тяжелой физической работы (например, при косьбе) организму бывает нужно до 7000 ккал, что, естественно, требует увеличения рациона. В холодное время года, когда отдача тепла повышена, надо также несколько увеличить содержание в пище углеводов. До сих пор мы говорили исключительно о белках, жирах и углеводах. Однако помимо них для жизни совершенно необходимо также поступление воды, минеральных солей и витаминов.

Вода составляет, как мы уже говорили, около 2/3 веса тела. Без нее не может жить ни одна клеточка, ибо химические реакции метаболизма могут идти только в растворах. Сухие вещества не взаимодействуют друг с другом. Даже в костях содержится до 1/4 воды. В сутки нам требуется 2—2,5 литра воды. Однако в случае выполнения большой мышечной нагрузки, а тем более в жаркое время или в горячем цехе пить требуется много больше. Рабочие горячих цехов могут за смену выделять через потовые железы до 10—12 литров воды. Убыль жидкости надо непременно восполнять, причем, как сказано в беседе 2, пить в таких случаях следует подсоленную воду. Совершенно необходимы нам и минеральные соли. Буквально каждый химический элемент менделеевской таблицы находит в организме свое место. Железо нужно для образования гемоглобина. Цинк — составная часть фермента карбоангидразы и гормона инсулина.

Фосфорнокислые соли кальция — основа костной ткани. Фосфор входит также в состав АТФ — одной из вершин биохимической эволюции, о чем уже говорилось ранее. Йод — необходимая часть гормона щитовидной железы, бром — компонент гормона мозгового придатка (гипофиза) и т. д. Наконец, в процессе эволюции все клетки тела, особенно же нервные клетки, приспособились к определенному солево-минеральному составу плазмы крови, к определенному соотношению в ней натрия, калия, кальция и магния. Если убрать из крови кальций, наступают судороги и смерть. Все это показывает, что вводимые с пищей минеральные соли для нас жизненно необходимы. Чрезвычайно важны для организма и витамины, относительно простые органические соединения, вырабатываемые животными и растениями и играющие существенную роль в процессах обмена отдельных тканей. Человек не может вырабатывать витаминов и нуждается в поступлении их с пищей. Важнейшими являются витамины А, В, С, D, Е, К и РР.

Витамины А и D хорошо растворяются в жирах и потому содержатся в рыбьем жире, животном масле, яйцах. Витамин А, кроме того, содержится в несколько измененном виде в моркови, помидорах, абрикосах. При отсутствии этого витамина прежде всего страдает зрение — о причи-

нах этого мы будем говорить, когда коснемся работы глаза. Симптомом недостатка витамина А в этих случаях является так называемая куриная слепота: человек начинает плохо видеть в сумерках. Достаточно 2—3 дня попить рыбий жир, и зрение резко улучшится, а затем постепенно возвратится к норме. Витамин D помогает организму усваивать кальций и фосфор. Поэтому недостаток витамина D прежде всего сказывается в нарушении роста и формировании костей — возникает рахит. Однако дефекты костной системы — лишь одна из сторон названного тяжелого нарушения. Поэтому надо следить за тем, чтобы дети получали достаточно витамина D. Важной особенностью данного витамина является то, что он может, хоть и в небольших количествах, синтезироваться в нашем организме под влиянием солнечных лучей. Поэтому для маленьких детей обязательно дозированное пребывание на солнце.

Остальные витамины хорошо растворяются в воде и содержатся в основном в растительных продуктах. Витамины В (представляющий собой целую группу веществ) и С играют важную роль в процессах метаболизма. Они входят в состав ряда ферментных систем. Отсутствие соединений группы витамина В вызывает нарушения роста и питания организма; может возникнуть тяжелое, кончающееся смертью поражение нервной системы — болезнь бери-бери. Поскольку витамины группы В содержатся в растительных оболочках, мы получаем их достаточно уже в хлебе, где в той или иной мере имеются оболочки зерен. Чем грубее помол, тем больше содержится в муке витаминов данной группы. В странах Азии, где основной пищей ряда групп населения являлся полированный рис, В-авитаминоз встречался нередко. О витамине С — самом популярном из витаминов — много говорить не приходится. Все знают, что недостаток его вызывает болезнь цингу, при которой прежде всего страдают десны, зубы и кровеносные сосуды; сосуды становятся хрупкими, возникает кровоточивость. Витамин С содержится в свежих фруктах и овощах. Особенно много его в шиповнике, хвое, смородине, помидорах, лимонах. Даже сырой картофель содержит вполне достаточно витамина С и является хорошим лекарством при цинге.

4.8 Дыхание. Легкие

Органы дыхания человека состоят, во-первых, из воздухоносных путей, которые только проводят воздух, очищая и согревая его, но не участвуют сами в газообмене (нос, носоглотка, гортань, трахея, бронхи), и, во-вторых, из собственно дыхательных органов (легкие), в которых протекающая от правого желудочка сердца кровь тесно соприкасается с воздухом.

Воздухоносные пути выстланы изнутри нежной слизистой оболочкой, в которой заложена масса крошечных железок, выделяющих слизь. В полости носа их насчитывается до 150 на 1 см². Клетки слизистой оболочки снабжены особыми волосками, или ресничками, которые совершают непрерывные колебательные движения. Движения их сравнивают иногда с тем, как волнуется колеблемая ветром спелая рожь. Благодаря движениям ресничек образующаяся слизь непрерывно движется в сторону носа, к выходу, увлекая частицы пыли, попавшие вместе с воздухом, но задержанные ресничками и прилипшие к увлажненным слизью стенкам воздухоносных путей. До 5 кг пыли выводят таким путем из нашего организма в течение жизни незаметные труженики — ресничные клетки дыхательных путей, называемые в связи с характером их деятельности мерцательными клетками. У рабочих цементных производств эти клетки выводят в течение жизни 40 кг пыли.

Из сказанного ясно, что дыхание через нос является единственно правильным, ибо воздух успевает в этом случае согреться, и, что очень важно, он в значительной мере очищается от пыли. Носовое дыхание надо воспитывать и совершенствовать. Дыхание через рот менее полноценно, однако у него есть одно важное преимущество — гораздо меньшее сопротивление току воздуха, а значит, возможность очень быстрого вдоха и большего объема вентиляции легких. Поэтому в спорте при интенсивных нагрузках, где объем дыхания в 10—15 раз выше, чем в покое, приходится дышать и через рот. При плавании практически используется только ротовое дыхание. После носа и носоглотки воздух попадет в гортань — орган, переднюю часть которого мы прощупываем на шее в виде «кадыка». Состоит гортань из ряда хрящей, особенно плотных у мужчин, и характеризуется тем, что благодаря наличию двух «занавесок» — правой и левой — просвет ее

может меняться. Если занавески напрягаются и сближаются, просвет гортани превращается в узкую щель. Наоборот, если занавески расслабляются и отходят друг от друга, щель становится шире. Когда занавески напряжены, они дрожат, колеблемые струей проходящего воздуха, что делает их не только частью воздухоносных путей, но и местом образования голоса, в связи с чем занавески носят название голосовых связок.

После гортани воздух попадает в трахею, или дыхательное горло, оттуда в правый и левый бронхи, направляющиеся к легким и ветвящиеся там на бронхи все меньшего и меньшего калибра. Всего бронхиальное дерево насчитывает 16 «поколений» бронхов. Состоят трахея и бронхи из множества скрепленных хрящевых колец. Мельчайшие бронхи — бронхиолы — приносят воздух к легочным пузырькам — альвеолам, где и происходит

Если человек после глубокого вдоха сделает полный выдох, из легких выйдет 3—4 литра воздуха (у женщин — 3 литра, у мужчин — 4 литра). Это количество называется жизненной емкостью легких. У спортсменов, особенно у пловцов, она гораздо выше — до 6—7 литров. Однако и после самого глубокого выдоха в легких сохраняется еще 1 — 1,5 литра так называемого остаточного воздуха. Даже у трупа этот воздух остается в легких, чем и обусловлен малый удельный вес этого органа. Поэтому и возникло название «легкие».

При обычном спокойном дыхании человек вдыхает по 500 мл воздуха. Однако до альвеол доходит лишь около 350 мл. Остальные 150 мл воздуха заполняют воздухоносные пути. Значит, к тем 3 литрам воздуха, которые содержатся в легких, обновление приходит лишь на 1/7. Иными словами, альвеолярный воздух лишь разводится свежим, а не обновляется полностью. Это имеет свой смысл: притекающая к альвеолам кровь все время соприкасается с воздухом примерно одинакового состава.

При 16 дыханиях в минуту человек совершает за сутки более 23 тысяч дыхательных движений, причем через легкие пройдет свыше 7 тысяч литров воздуха. Мышечная работа вызывает учащение и углубление дыхания. Если в покое легочная вентиляция за минуту составляет 5—6 литров, то у хорошо тренированных спортсменов она может при беге на средние дистанции достигать 140 литров, т. е. возрастает в 5 с лишним раз больше, чем минутный объем кровообращения.

Дыхательную систему составляют нос, глотка, трахея, бронхи и легкие.

Нос представляет собой структуру из кости и хряща, обтянутую мышечной тканью и кожей. Выстланная слизистой оболочкой внутренняя поверхность носа соединена с носоглоткой двумя каналами ноздрей. Вдыхаемый через нос воздух согревается, увлажняется и фильтруется, проходя через три раковины — выходы кости, покрытые слизистой оболочкой, которая состоит из клеток, способных улавливать пыль и микробы.

Далее профильтрованный воздух попадает в носоглотку, расположенную за внутренней полостью носа. Из носоглотки воздух и слизь поступают вниз, в горло, кроме того, она соединена евстахиевыми трубами с внутренним ухом, что позволяет выравнивать давление с обеих сторон ушной барабанной перепонки. Горло имеет форму «дымохода» и выполняет три функции: по нему проходят воздух и пища, кроме того, в нем расположены голосовые связки. В ротовую, среднюю часть глотки поступают изо рта пища, питье и воздух, здесь также расположены миндалевидные железы (миндалины).

Нижняя часть глотки, гортаноглотка, также пропускает через себя воздух, жидкость и пищу. От гортани ее отделяют две голосовые связки. Поток воздуха, попадая в щель между ними, создает вибрацию, поэтому мы слышим себя и окружающих.

Посредством дыхания осуществляется снабжение организма кислородом, который растворен в крови. Система дыхания и кровоснабжения связаны единой функцией поддержки жизнедеятельности организма.

Различают два круга кровообращения — большой и малый, называемый также легочным. Из левого желудочка в аорту поступает богатая кислородом артериальная кровь, которая течет по разветвлениям артерий ко всем органам и тканям тела, откуда по укрупняющимся постепенно венам возвращается, отдав клеткам тела свой кислород, в виде венозной крови и поступает в правое

предсердие. На этом заканчивается большой круг кровообращения. Далее требуется снова ввести в кровь кислород.

Поэтому перед тем, как попасть в левый желудочек и аорту, она поступает в легкие. Перейдя из правого предсердия в правый желудочек, она по легочной артерии течет в легкие, откуда, насытившись кислородом, возвращается по легочным венам в левую половину сердца — в левое предсердие.

Трасса от правого желудочка через легкие до левого предсердия называется малым кругом кровообращения. Из левого предсердия кровь переходит в желудочек — и вновь течет по большому кругу. Таким образом, совершая один «полный оборот» по организму, кровь дважды возвращается к сердцу — один раз в правую его половину (для «отправки» в легкие) и другой раз в левую (для очередного переноса кислорода к клеткам тела). Все устройство системы кровообращения, подчинено прежде всего выполнению первой и важнейшей функции крови — дыхательной.

Когда артерия подходит к какому-нибудь органу, она ветвится в толще его на все более мелкие сосуды, которые в конце концов распадаются на густую сеть тончайших волосных сосудов, или капилляров (от лат. *capillaris* — волосной). Хотя капилляры называют волосными сосудами, они несравненно тоньше волоса. Так, волос имеет толщину в среднем от 1/10 до 1/20 мм; между тем толщина капилляра всего 1/100 — 1/200 мм, или 5—10 микрон. Эритроциты идут по капиллярам по одному, «гуськом» — два эритроцита поместиться рядом не могут. Пронизав своими сетями весь орган, капилляры собираются в маленькие вены, которые, сливаясь между собой, образуют все более крупные венозные стволы.

Таким образом, между артерией и веной всегда лежит капиллярная сеть. Крайне интересно, что во времена Гарвея в руках физиолога еще не было микроскопа, и потому предположение о наличии массы тончайших сосудов, соединяющих артерии с венами, оставалось гипотезой еще полвека. Только открытие капилляров окончательно доказало правильность учения Гарвея о движении крови.

Выше было подчеркнуто, что между артерией и веной всегда лежит капиллярная сеть. Однако не везде дело обстоит так просто. Особенно это касается сосудов печени. Кровь, пришедшая из артерии в кишечник, собирается из его капиллярной сети в большую, толстую вену, которая называется воротной веной. И вот вместо того, чтобы, как все другие вены, направиться к полой вене и далее к сердцу, эта вена входит в печень.

Область печени, куда входят сосуды, ее как бы парадные ворота, так и называется — воротами печени. Отсюда и название вены. Войдя в печень, вена вновь распадается на богатейшую капиллярную сеть, оплетающую печеночные клетки. Только из этой сети образуются печеночные вены, по которым кровь течет к сердцу. Таким образом, воротная вена оказывается «зажатой» между двумя капиллярными сетями. В результате кровь, оттекающая от кишечника, обязательно проходит через печень, тесно соприкасаясь с ее клетками.

Органом, который приводит кровь в движение, является сердце. Зная уже строение и основные законы движения крови, мы можем ближе познакомиться теперь с деятельностью этого замечательного органа.

В покое сердце сокращается в среднем 70—75 раз в минуту. Вначале сокращаются предсердия. Каждое из них посылает в свой желудочек очередную порцию крови. Затем сокращаются желудочки, сдавливая заключенную в них теперь кровь. Клапаны между предсердиями и желудочками при этом захлопываются и не пускают кровь обратно в предсердия. Поэтому кровь устремляется через открывающиеся клапаны легочной артерии (из правого желудочка) и аорты (из левого желудочка), в каждый из них поступает 65—70 мл крови, т. е. 1/3 стакана.

Вслед за этим сердечная мышца расслабляется. Теперь давление внутри желудочков становится несравненно меньше, чем в аорте и легочной артерии, растянутых выброшенной в них большой силой кровью. Поэтому кровь могла бы устремиться обратно в желудочки, но клапаны аорты и легочной артерии захлопываются и не пускают ее туда. Кровь направляется дальше по сосудам.

Когда сердце сокращается, оно становится плотным; сравните это с напряжением скелетной мышцы, например бицепса плеча. При сокращении сердце слегка поворачивается, прижимаясь

верхушкой к грудной стенке. Поэтому, приложив руку к груди, мы можем в области ниже левого соска ощутить сердечный толчок при каждом ударе сердца. Именно потому, что сокращение сердца сопровождается словно «ударом» изнутри по грудной стенке, мы и говорим «сердце бьется» и сокращение его называем ударом. В науке же сокращение сердца называют систолой, а расслабление — диастолой.

Работа клапанов сердца, как механических устройств, сопряжены со звуковыми эффектами. Звуки эти в основном зависят от захлопывания клапанов. Когда желудочки сокращаются и в них быстро нарастает давление, захлопываются клапаны на границе с предсердиями. Когда желудочки начинают расслабляться, захлопываются клапаны аорты и легочной артерии. Отсюда и происходят звуки, или тоны сердца.

Сердце весит около 300 г выполняет огромную работу. За сутки сердце сокращается даже в покое свыше 100 тысяч раз, причем при каждом сокращении выбрасывает кровь в аорту с такой силой, которая могла бы поднять столбик крови почти на 1,5 м. Накачивая при каждой систоле 150 см³ в сосуды (по 75 см³ из левого желудочка в аорту и из правого в легочную артерию), сердце перекачивает за сутки более 15 тысяч литров крови. Надо еще учесть, что при физической нагрузке сердце значительно увеличивает свою работу. Сердце может выбросить в аорту при одной систоле более 150 см³ крови, причем частота его сокращений может достигнуть у спортсмена на финише 240 ударов в минуту и даже больше.

Если в покое сердце выбрасывает в аорту за минуту около 4 литров крови, то у спортсмена этот минутный объем кровообращения доходит при некоторых состязаниях до 25 литров, т. е. до 3 ведер, а у отдельных выдающихся представителей спорта отмечались рекордные цифры, превышающие 40 литров в минуту, или 5 ведер.

Наивысшие показатели ударного (разового) объема и частоты сердечных сокращений более 150 см³ и более 240 ударов в минуту, собственно, и должны были бы дать минутный объем кровообращения порядка 40 литров. Однако бывает это лишь в единичных случаях. Дело в том, что рекордные величины ударного объема и частоты сокращений сердца обычно не бывают одновременно. Наибольший ударный объем отмечается при частоте сердечных сокращений порядка 150—160 ударов в минуту, при частоте же 200 ударов в минуту и выше ударный объем вновь уменьшается, ибо сердце за короткие периоды между сокращениями не успевает в должной мере наполниться кровью.

Каждая систола сменяется расслаблением, диастолой. Сократилось сердце, поработало 0,3 секунды, и тут же 0,5—0,6 секунды оно отдыхает. Значит, сердце фактически отдыхает почти 2/3 времени.

Допуская, что у спортсмена сердце при одной систоле может выбрасывать в аорту более 150 см³ крови, это значит, что такое же количество при той же систоле выбрасывается из правого желудочка в легочную артерию. Это значит также, что во время систолы предсердий, которая на 0,1 секунды предшествует систоле желудочков, указанное количество крови также «в один прием» перешло из предсердий в желудочки. Иными словами, если в аорту может выбрасываться сразу 150 см³ крови, отсюда следует, что не только левый желудочек, но и каждая из трех других камер сердца может вмещать и разом выбрасывать около стакана крови.

Если через каждую точку сосудистой системы проходит в единицу времени одинаковый объем крови, то в связи с разным суммарным просветом русла артерий, капилляров и вен скорость перемещения отдельных частиц крови, ее линейная скорость будет совершенно различна. Быстрее всего кровь течет в аорте.

Здесь скорость тока крови составляет 0,5 метра в секунду. Хотя аорта — самый большой сосуд тела, она представляет собой самое узкое место сосудистой системы. Каждая из артерий, на которые распадается аорта, в десятки раз меньше ее. Однако число артерий измеряется сотнями, и потому в сумме их просвет много шире просвета аорты. Когда же кровь доходит до капилляров, она совсем замедляет свое течение. Капилляр во много миллионов раз меньше, чем аорта, однако число капилляров измеряется многими миллиардами.

Поэтому кровь в них течет в тысячу раз медленнее, чем в аорте. Ее скорость в капиллярах составляет около 0,5 мм в секунду. Это имеет колоссальное значение, ибо, если бы кровь быстро

проносилась через капилляры, она не успевала бы отдать тканям кислород. Поскольку же она течет медленно, причем эритроциты движутся в один ряд, «гуськом», это создает наилучшие условия для контакта крови с тканями. Полный оборот через оба круга кровообращения кровь совершает у человека и млекопитающих в среднем за 27 систол, для человека это 21—22 секунды.

При каждой систоле сердца упругие стенки аорты и других артерий растягиваются, чтобы вместить новую порцию крови. Однако, подобно растянутой пружине, они сопротивляются растяжению и с силой давят обратно на кровь. Поэтому во время диастолы сердца кровь продолжает двигаться. Сила сердечного сокращения как бы передается упругим стенкам артерий, аккумулируется ими. Эта сила, с какой кровь давит на стенки артерии и сдавливается ими, называется артериальным давлением. Во время систолы сердца оно повышается, во время диастолы понижается. Поэтому говорят о систолическом (или максимальном) и диастолическом (или минимальном) давлении. С помощью специального аппарата врачи измеряют давление в плечевой артерии, которое в среднем составляет у здоровых лиц 120/75 мм рт. ст. (т. е. при систоле 120, при диастоле 75). Заставляя кровь двигаться все дальше от сердца, сила артериального давления постепенно расходуется на преодоление трения между кровью и стенками сосудов. Поэтому она становится все меньше и меньше, опускаясь в крупных венах почти до нуля. Если мышцы артерий напрягаются и суживают сосудистый просвет, сердцу приходится работать с большей силой, чтобы протолкнуть кровь. Давление повышается. Особенно большое значение имеют в этом отношении артериолы с их сильно развитым мышечным слоем. И. М. Сеченов называл их «кранами» сосудистой системы. Когда они расширяются, артериальное давление снижается, при их сужении оно начинает расти.

Каждое сокращение сердца, каждый выброс крови в аорту вызывает упругое колебание стенок всех артерий. Это колебание мы и называем пульсом. Его можно прощупать на любой артерии, близко подходящей к поверхности кожи: и на виске, и на тыле стопы, и даже на спинке носа. Чаще всего прощупывают его на лучевой артерии, возле запястья.

Оценка особенностей пульса — древнейший врачебный метод, сохраняющий большое значение и в наши дни. По данным этого простейшего исследования можно получить ценную информацию о работе сердца, о сосудистой системе, о состоянии организма в целом, ибо сердце и сосуды являются чутким индикатором общей ситуации в организме. Прежде всего по пульсу мы самым простым способом определяем частоту сокращений сердца, а она говорит об очень многом. Для врача частый пульс — свидетельство нездоровья: либо нарушена деятельность сердца, либо просто у человека повышена температура (при этом деятельность сердца учащается).

4.9 Биофизика течения жидкости. Ламинарное и турбулентное течение

Течение жидкости, показанное на рис., называется ламинарным. Слой жидкости, контактирующий с подвижной металлической пластиной, имеет ту же скорость, что и эта пластина. Слой жидкости, расположенный ниже, перемещается немного медленнее, и скорость каждого последующего слоя немного меньше, чем предыдущего. При этом каждый слой жидкости скользит по другому, и разные слои не перемешиваются.

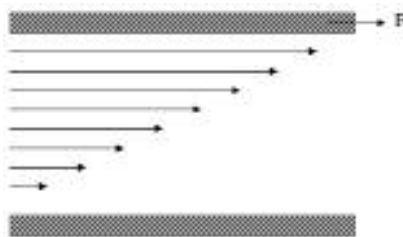


Рисунок 4.3 Схема ламинарного потока жидкости

В ламинарном потоке каждая частица жидкости следует по пути своей предыдущей частицы. Скорость течения в любой точке жидкости остается постоянной. Линии тока не пересекаются между собой. Энергия, сообщаемая жидкости для поддержания ее течения, используется, главным образом, на преодоление вязких сил между слоями жидкости.

Другой тип течения называется турбулентным. Турбулентное течение неустойчиво. Послойный характер течения жидкости нарушается. В потоке образуются местные завихрения, частицы перемещаются не только параллельно, но и перпендикулярно оси трубки, непрерывно перемешиваясь. Линии тока становятся искривленными. Скорость частиц, пересекающих конкретную точку жидкости, не является постоянной по направлению и величине: она изменяется со временем. Описание турбулентного потока должно быть статистическим: с точки зрения средних величин. Для турбулентного течения необходима большая энергия, чем для ламинарного, поскольку при турбулентном течении существенно возрастает внутреннее трение между частицами жидкости.

Английский физик Рейнольдс исследовал условия, при которых течение является ламинарным или турбулентным. Переход из ламинарного течения в турбулентное зависит от значения безразмерной величины, называемой числом Рейнольдса. Число Рейнольдса для жидкости, текущей в цилиндрической трубке определяется уравнением:

$$Re = vD\rho/\eta$$

где v - средняя скорость потока, D - диаметр трубки, η - вязкость, и ρ - плотность жидкости.

Критическая величина числа Рейнольдса для цилиндрических трубок, при котором ламинарное течение становится турбулентным - 2000 - 2400.

Критическая скорость - скорость жидкости, при превышении которой ламинарное течение переходит в турбулентное. Течение крови в сосудах является ламинарным (за исключением аорты). В аорте наблюдается турбулентное течение крови во время физической работы, которая приводит к существенному увеличению скорости течения крови. Поток крови также может стать турбулентным в артериях при уменьшении площади их поперечного сечения вследствие патологических процессов. Причиной этого феномена является повышение скорости течения крови. Описание потока жидкости, в частности, крови, проведем с использованием физического закона Пуазеля.

Закон Пуазеля представляет собой формулу для объемной скорости течения жидкости. Он был открыт экспериментально французским физиологом Пуазелем, который исследовал течение крови в кровеносных сосудах. Закон Пуазеля часто называют главным законом гидродинамики.

Закон Пуазеля связывает объемную скорость течения жидкости с разностью давления в начале и конце трубки как движущей силой потока, вязкостью жидкости, радиусом и длиной трубки. Закон Пуазеля используют в случае, если течение жидкости ламинарное. Формула закона Пуазеля:

$$Q = \frac{(P_1 - P_2) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \quad (6)$$

где Q - объемная скорость жидкости (м³/с), $(P_1 - P_2)$ - различие давления через концы трубки (Па), r - внутренний радиус трубки (м), l - длина трубки (м), η - вязкость жидкости (Па с).

Закон Пуазеля показывает, что величина Q пропорциональна разнице давления $P_1 - P_2$ в начале и конце трубки. Если P_1 равняется P_2 , поток жидкости прекращается. Формула закона Пуазеля:

зейля также показывает, что высокая вязкость жидкости приводит к снижению объемной скорости течения жидкости. Оно также показывает, что объемная скорость жидкости чрезвычайно зависима от радиуса трубки. Это подразумевает, что умеренные изменения радиуса кровеносных сосудов могут обеспечивать большие различия объемной скорости жидкости, протекающей через сосуд.

Формула закона Пуазейля упрощается и становится более универсальной при введении вспомогательной величины - гидродинамического сопротивления R , которое для цилиндрической трубки может быть определено по формуле:

$$R = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4} \quad (7).$$

Закон Пуазейля, таким образом, показывает, что объемная скорость жидкости прямо пропорциональна разнице давления в начале и конце трубки и обратно пропорциональна гидродинамическому сопротивлению:

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R} \quad (8)$$

Вязкость крови

Кровь является взвесью клеток крови в жидкости сложного состава, называемой плазмой. Различают красные клетки крови (эритроциты), белые клетки крови (лейкоциты) и тромбоциты. Плазма - водный раствор электролитов, белков, питательных веществ, продуктов метаболизма и т.п. Объем крови в организме составляет почти 7% объема человеческого тела. Эритроциты занимают около 45 % объема крови, а другие клетки крови - менее чем 1%. Относительный объем клеток крови и плазмы определяют с помощью прибора гематокрита. Это же название используют для определения результатов анализа.

Кровь является более плотной и вязкой, чем вода. В среднем относительная вязкость крови составляет почти 4,5 (3,5-5,4). Относительная вязкость плазмы - 2,2 (1,9 - 2,6). Вязкость крови измеряется в лаборатории с помощью специального прибора - медицинского вискозиметра. Кровь является неньютоновской жидкостью. Но при такой скорости течения, которая поддерживается в сосудах кровеносной системы, вязкие свойства крови можно рассматривать, как для ньютоновских жидкостей.

Вязкость крови зависит, главным образом, от концентрации эритроцитов и меньше - от концентрации белков плазмы. Она зависит также от скорости течения крови. Если скорость течения крови уменьшается, эритроциты собираются в специфические скопления, так называемые "монетные столбики". Это приводит к повышению вязкости крови. Такой феномен может наблюдаться в мелких кровеносных сосудах, где скорость течения крови небольшая.

Однако существует физиологический механизм, который способствует уменьшению вязкости крови в небольших сосудах, называемый эффектом Фареуса-Линдквиста. Этот эффект объясняется ориентацией эритроцитов вдоль оси сосуда. Эритроциты, формируя цилиндрический осевой ток, скользят по слою окружающей их плазмы крови.

Структура и некоторые биофизические свойства сердечно-сосудистой системы

Сердечно-сосудистая система состоит из сердца и разветвленной замкнутой системы кровеносных сосудов, которые перемещают кровь во все части тела и в сердце. Сосудистая система состоит из системной циркуляции и легочной циркуляции. Кровеносные сосуды включают артерии, капилляры и вены. По артериям кровь поступает в органы и ткани. Через вены перемещается обратный поток крови. Каждая большая артерия, начинающаяся с аорты, ветвится, формируя мень-

шие артерии, которые, в свою очередь, разветвляются дальше. Наименьшие артерии называются артериолами. Кровь, в конце концов, достигает капилляров, где происходит обмен веществ с окружающими тканями. Затем капилляры собираются в венулы и вены, которые собираются в полые вены, откуда кровь из тканей поступает в сердце.

Основные параметры циркуляции крови

В клинике наиболее часто исследуют давление и скорость течения крови.

Давление крови в артериях колеблется от максимального во время сокращения сердца (систола) до минимального во время расслабления (диастолы). При каждом сердцебиении давление крови поднимается до систолического уровня, а между ударами падает до диастолического уровня. Поэтому артериальное давление определяют как максимальное/минимальное значение (систолическое/диастолическое). Обычно его измеряют в миллиметрах ртутного столба. Среднее значение артериального давления для здоровых взрослых людей в состоянии покоя составляет 120/60 мм.рт.ст.

Сфигмоманометр – наиболее часто используемый прибор для измерения давления крови. Сфигмоманометр состоит из надувной манжеты, в которую с помощью резиновой груши нагнетают воздух, увеличивая в ней давление. Эта система связана с манометром, по шкале которого определяют артериальное давление пациента. Манжету фиксируют на плече, фонендоскоп устанавливают в локтевом сгибе.

Давление в манжете увеличивают до тех пор, пока в артерии не прекратится ток крови. Затем давление в манжете медленно уменьшают. Когда оно достигнет максимального (систолического) значения, артерия частично открывается. Поскольку сечение артерии в этот момент меньше, чем обычно, в ней создается высокая скорость течения крови, и это течение является турбулентным. Поэтому фонендоскопом можно услышать звуки - тоны Короткова.

Если продолжать уменьшать давление в манжете, артерия в течение некоторого периода остается еще достаточно сжатой, по сравнению с нормальным состоянием. Следовательно, тоны Короткова слышны до тех пор, пока давление в манжете не достигнет минимального (диастолического) значения. В этот момент кровь начинает свободно проходить через артерию. В артерии восстанавливается ламинарное течение крови, и тоны Короткова исчезают. Таким образом, измеряют максимальное и минимальное давление крови.

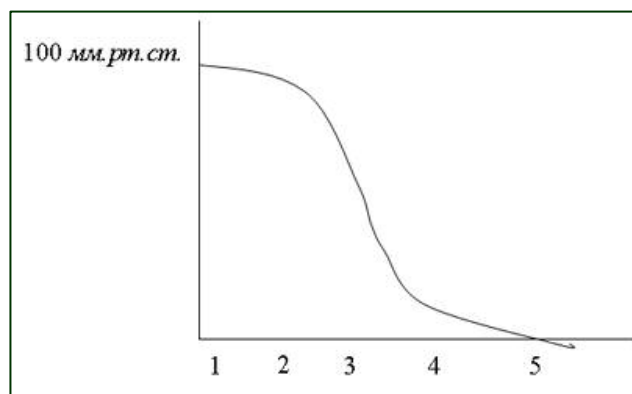


Рис. 4.4. Среднее давление крови в разных отделах кровеносной системы. 1. Аорта. 2. Артерии. 3. Артериолы. 4. Капилляры. 5. Вены.

Скорость течения крови измеряют, используя эффект эходоплерографии.

Как давление крови, так и скорость ее течения являются важными диагностическими показателями. Давление и скорость течения крови в разных отделах кровеносной системы

Самое высокое давление в кровеносной системе в сердце. По закону Пуазейля: $P_1 - P_2 = QR$.

Допустим, что P_1 – давление крови в аорте и P_2 – давление крови в полой вене, которое составляет около нуля мм.рт.ст. Следовательно, давление крови в аорте определяется двумя переменными.

- (1) Первая из них - объемная скорость жидкости (Q) в аорте, величина которой зависит от частоты, мощности сердечных сокращений и объема в кровеносной системе
- (2) Вторая – общее сопротивление (R) кровеносной системы.

Давление крови уменьшается с расстоянием от сердца из-за трения в кровеносных сосудах. Давление крови является мерой энергии, которую сообщает крови сердце. Эта энергия рассеивается при преодолении сопротивления кровеносных сосудов.

Гидродинамическое сопротивление разных частей кровеносной системы не одинаково. Сопротивление аорты и больших артерий составляет только около 19% общей величины сопротивления в системе. Самая большая доля сопротивления принадлежит артериолам (50%) и капиллярам (25%). Таким образом, на сосуды, длина которых составляет не несколько миллиметров, приходится более половины общего сопротивления циркуляторного русла. Сопротивление вены составляет около 7% общей величины сопротивления в кровеносной системе.

Величина гидродинамического сопротивления определяет падение давления крови по ходу сосудистого русла (Рис. 4.5). Среднее давление крови немного снижается в артериях (по отношению к давлению в аорте), но резкое его падение наблюдается в артериолах и капиллярах. Сопротивление артериол является одним из основных факторов, определяющих величину артериального давления. Изменения давления крови в венах очень небольшие.

Средние величины давления крови (мм.рт.ст.): 100 - в небольших артериях, 95 - при переходе из артерий в артериолы, 35-70 - при поступлении крови из артериол в капилляры, 20-35 – в больших венах, 10 и менее – в мелких венах.

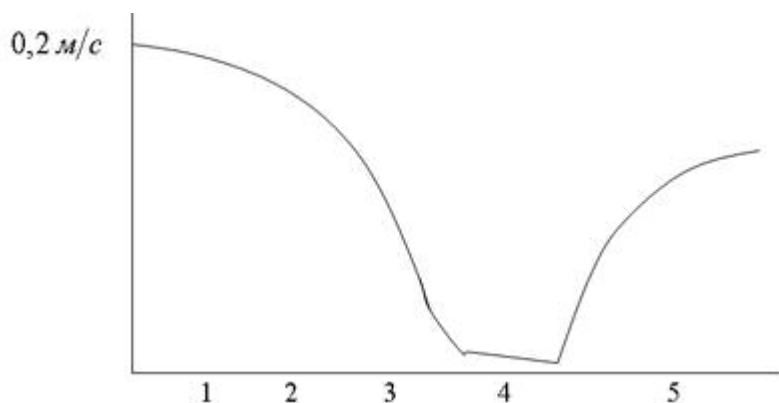


Рис. 4.5. Средняя скорость течения крови в разных отделах кровеносной системы.

1. Аорта. 2. Артерии. 3. Артериолы. 4. Капилляры. 5. Вены.

Скорость течения крови также значительно различается в разных

отделах кровеносной системы. Средняя величина скорости течения крови определяется уравнением неразрывности: она обратно пропорциональна общей площади поперечного сечения параллельно соединенных сосудов. Например, площадь поперечного сечения аорты составляет около 3,5-4,5, тогда как суммарная площадь поперечного сечения капилляров - в 600 раз большая. Поэтому средняя скорость крови составляет 0,2 в аорте и только 0,0003 в капиллярах. Небольшая скорость течения крови в капиллярах имеет большое значение для обмена веществ между кровью и окружающими тканями.

4.10 Мышечная и костная система

Существует два вида мускулатуры: гладкая (непроизвольная) и поперечно-полосатая (произвольная). Гладкие мышцы расположены в стенках кровеносных сосудов и некоторых внутренних органах. Они сужают или расширяют сосуды, продвигают пищу по желудочно-кишечному тракту, сокращают стенки мочевого пузыря. Поперечно-полосатые мышцы – это все скелетные мышцы, которые обеспечивают многообразные движения тела. К поперечно-полосатым мышцам относится также и сердечная мышца, автоматически обеспечивающая ритмическую работу сердца на протяжении всей жизни. Основа мышц – белки, составляющие 80–85% мышечной ткани (исключая воду). Главное свойство мышечной ткани – сократимость, она обеспечивается благодаря сократительным мышечным белкам – актину и миозину.

Мышечная ткань устроена очень сложно. Мышца имеет волокнистую структуру, каждое волокно – это мышца в миниатюре, совокупность этих волокон и образуют мышцу в целом. Мышечное волокно, в свою очередь, состоит из миофибрилл. Каждая миофибрилла разделена на чередующиеся светлые и темные участки. Темные участки – протофибриллы состоят из длинных цепочек молекул миозина, светлые образованы более тонкими белковыми нитями актина. Когда мышца находится в несокращенном (расслабленном) состоянии, нити актина и миозина лишь частично продвинуты относительно друг друга, причем каждой нити миозина противостоят, окружая ее, несколько нитей актина. Более глубокое продвижение относительно друг друга обуславливает укорочение (сокращение) миофибрилл отдельных мышечных волокон и всей мышцы в целом

Скелетная мускулатура. Скелетные мышцы входят в структуру опорно-двигательного аппарата, крепятся к костям скелета и при сокращении приводят в движение отдельные звенья скелета, рычаги. Они участвуют в удержании положения тела и его частей пространстве, обеспечивают движения при ходьбе, беге, жевании, глотании, дыхании и т.д., вырабатывая при этом тепло. Скелетные мышцы обладают способностью возбуждаться под влиянием нервных импульсов. Возбуждение проводится до сократительных структур (миофибрилл), которые, сокращаясь, выполняют определенный двигательный акт – движение или напряжение.

Двигательные возможности человеческого тела огромны. Чтобы оценить их в полной мере, вспомним некоторые сведения из механики. Абсолютно свободное физическое тело имеет шесть степеней свободы: три взаимно перпендикулярных направления движения (вверх-вниз, вправо-влево, вперед-назад) и три взаимно перпендикулярные оси вращения, идущие в тех же направлениях. Наличие этих шести степеней свободы дает возможность телу перемещаться и вращаться любым образом, по всем мыслимым промежуточным направлениям и осям.

Понятно, что поступательные движения одной кости относительно сочленяющейся с нею другой невозможны. Мы не в состоянии, например, отделить предплечье от плеча, разорвав локтевой сустав. Соединения наших костей предусматривают возможность только вращательных движений по тем или иным осям на определенные углы.

В разных суставах объем движений неодинаков. Различают суставы одноосные, двуосные и трехосные. Типичными одноосными суставами являются сочленения между суставами наших пальцев. К двуосным относятся, например, локтевой сустав, в котором возможны два вида движений (сгибание-разгибание и вращение внутрь-наружу), и лучезапястный сустав, обеспечивающий сгибание-разгибание кисти и приведение-отведение ее. Трехосных суставов у нас всего два — тазобедренный и плечевой. Как видим, подвижность суставов превосходит таковую в обычных технических устройствах. Шарниры в типичном случае обладают лишь одной осью вращения. Максимальной подвижностью в технике обладают двуосные соединения — шаровой шарнир, кулачковый и кулисный механизмы.

Если уже в самом устройстве суставов, имеющих подчас по 2—3 степени свободы, заложены весьма большие двигательные возможности, последние в огромной мере возрастают благодаря тому, что мы имеем в нашем теле не изолированные пары костей, а ряд кинематических цепей с несколькими последовательными звеньями.

В основном выделяют 14 главных кинематических звеньев тела: голова, туловище и по 3 на каждой из четырех конечностей (на руке — кисть, предплечье, плечо и на ноге — стопа, голень, бедро). Свойства кинематической цепи очень любопытны.

Существует правило: число степеней свободы периферического звена цепи равно сумме степеней свободы предшествующих звеньев. Отсюда можно, например, видеть, что основной наш рабочий орган — кисть руки имеет 7 степеней свободы по отношению к туловищу: по 2 оси у лучезапястного и локтевого и 3 оси у плечевого суставов. Иными словами, кисть нашей руки представляет собой не только абсолютно свободное тело (для этого достаточно 6 степеней свободы). Она имеет резервную степень свободы, т. е. определенный запас надежности и сохраняет полный объем двигательных возможностей даже при потере одного из движений в каком-то суставе.

Энергетика рабочих мышечных процессов

Работа мышцы включает два компонента: во-первых, напряжение, усилие; во-вторых, движение, перемещение. Развивая многократно большие усилия на малых отрезках, но суммарно при бесчисленных повторениях складывающихся в длинные пути, наши мышцы выполняют весьма значительную работу. Понятно, что для этой работы они должны где-то черпать энергию. Как мы уже знаем, эту энергию мышце дает окисление глюкозы, сгорание ее. Однако это еще не все. При сокращении мышцы в ней происходит цепь интереснейших химических метаморфоз. По этой цепи энергия окисляющегося сахара, глюкозы передается рабочим элементам.

Начинается цепочка с аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Расщепляясь, АТФ выделяет большое количество энергии, непосредственно передаваемой сократительным нитям мышечных волокон. Вся остальная цепь химических процессов осуществляет восстановление исходных количеств вещества. Затем происходит запуск новой порции АТФ. Так продолжается многократно. В реальности каждую секунду мышцы сокращаются 60—80 раз. По сути дела, они просто еще не успевают расслабиться, как уже следует новый приказ из мозга. Запуски АТФ происходят друг за другом, и мышца совершает непрерывное напряжение, состоящее из массы быстро сменяющихся друг друга волн.

Из сказанного ясно, что мышца представляет собой преобразователь энергии из химической формы в механическую. Всякое же преобразование характеризуется своим коэффициентом полезного действия. Типичное значение КПД 30 %. КПД мышц составляет всего 20 %. Остальные 80 % энергии — тепловые потери, которые тоже полезны для поддержки температуры тела человека на определенном уровне.

Для всех животных, имеющих сколько-нибудь сложное строение, нужна прочная основа тела, к которой бы прикреплялись различные органы. У насекомых такой основой является наружный покров тела, состоящий из очень прочного вещества — хитина. У высших животных и человека вместо этого развился внутренний костный скелет. Он несет две функции. Во-первых, он является основой, опорой для всех остальных органов и тканей тела; во-вторых, он защищает наиболее важные органы. Так, спинной и головной мозг со всех сторон заключен в костный футляр. Сердце и легкие защищены ребрами. Печень и почки, о которых мы привыкли думать как об органах брюшной полости, находятся в самой верхней ее части и также прикрыты ребрами (печень — почти целиком).

Прочность костей обеспечивается двумя факторами: химическим составом и особенностями строения. Состоит кость, во-первых, из солей кальция и фосфора (половина веса), придающих костной ткани твердость, во-вторых — из органических веществ (четверть веса), делающих кость эластичной и упругой. Остальная четверть веса костей — это, как уже знаем, вода. Если вымачивать кость в слабом растворе кислоты, соли кальция растворятся, кость станет гибкой, как лоза. Если же прокалить кость в печи, сгорят органические вещества, кость потеряет эластичность и будет при ударах раскалываться. Со временем в костях становится больше кальция и меньше органических веществ, поэтому у стариков часты переломы костей. Помимо состава кости, она, как уже сказано, имеет и определенные особенности строения. Так, большей частью кости представ-

ляют собой трубки, в центральном канале которых размещается костный мозг, вырабатывающий в раннем возрасте эритроциты. Трубчатая форма костей не случайна: трубка прочнее стержня из того же количества материала.

Скелет человека делится на скелет туловища, головы и конечностей. Состоит он из 86 парных (т. е. имеющихся и справа, и слева) и 34 непарных костей. Основные части скелета известны каждому. Мы остановимся поэтому лишь на нескольких деталях. Так, не все знают, что от щеки в верхней ее части, именуемой скулой, к костному бугорку позади уха перебрасывается костный мостик — скуловая дуга. Снаружи она покрыта кожей и ушной раковиной, а под ней залегает ряд жевательных мышц. Только под этими мышцами начинается собственно стенка черепа — костного футляра, заключающего наш мозг.

Составляющий основу костной системы, как бы скелет скелета, позвоночный столб состоит из 24 отдельных позвонков, затем крестца (сросшиеся 5 позвонков) и копчика (сросшиеся 4—5 позвонков). Между позвонками лежат пластинки хряща, что делает позвоночник гибким. К вечеру каждого дня хрящи несколько сплющиваются под тяжестью расположенных выше частей тела, и рост человека уменьшается на 1 —1,5 см. В старости хрящи значительно уплотняются и сплющиваются.

5. Физиологическая кибернетика

Физиология – это наука, изучающая процессы жизнедеятельности организма, составляющих его физиологических систем, отдельных органов, тканей, клеток и субклеточных структур, механизмы регуляции этих процессов, а так же действие факторов внешней среды на динамику жизненных процессов.

Физиология и биофизика являются основой изучения живых организмов. Биофизика - это физика сложных макроскопических молекулярных систем — клеток и организмов. Их функционирование, реализуемое в условиях относительно малых изменений температуры и давления, определяется в конечном счете химическими, молекулярными процессами. Организм - это химическая машина, управление и регуляция которой осуществляются посредством молекулярных сигналов, молекулярных источников, преобразователей и рецепторов информации.

Первоначально представление о функциях организма складывались на основе работ ученых Древней Греции и Рима: Аристотеля, Гиппократ, Галена и других, а так же ученых Китая и Индии. Физиология стала самостоятельной наукой в XVII веке, когда наряду с методами наблюдения за деятельностью организма началась разработка экспериментальных методов исследования. Этому способствовали работы Гарвея, изучающего механизмы кровообращения; Декарта, описывающего рефлекторный механизм.

В XIX-XX веках физиология интенсивно развивается. Так, исследования возбудимости тканей провели К. Бернард, Лапик. Значительный вклад внесли ученые: Людвиг, Дюбуа-Реймон, Гельмгольц, Пфлюгер, Бэлл, Пенгли, Ходжкин и отечественные ученые Овсяников, Ниславский, Цион, Пашутин, Введенский.

Начала отечественной физиологии создал Иван Михайлович Сеченов. Выдающееся значение имели его труды по изучению функций нервной системы (центральное или сеченовское торможение), дыхания, процессов утомления и другое. В своей работе «Рефлексы головного мозга» (1863г) он развил идею о рефлекторной природе процессов, происходящих в мозге, включая процессы мышления. Сеченов доказал детерминированность психики внешними условиями, т.е. ее зависимость от внешних факторов.

Экспериментальное обоснование положений Сеченова осуществил его ученик Иван Петрович Павлов. Он расширил и развил рефлекторную теорию, исследовал функции органов пищеварения, механизмы регуляции пищеварения, кровообращения, разработал новые подходы в проведении физиологического опыта «методы хронического опыта». За работы по пищеварению в 1904 году ему была присуждена Нобелевская премия. Павлов изучал основные процессы, протекающие в коре больших полушарий. Используя разработанный им метод условных рефлексов, он заложил

основы науки о высшей нервной деятельности. В 1935 году на всемирном конгрессе физиологов И. П. Павлов был назван патриархом физиологов мира.

Цель, задачи, предмет физиологии

Опыты на животных дают много сведений для понимания функционирования организма. Однако, физиологические процессы, протекающие в организме человека, имеют значительные отличия. Поэтому в общей физиологии выделяют специальную науку – физиологию человека. Предметом физиологии человека является здоровый человеческий организм.

Основные задачи физиологии:

1. Исследование механизмов функционирования клеток, тканей, органов, систем органов, организма в целом.
2. Изучение механизмов регуляции функций органов и систем органов.
3. Выявление реакций организма и его систем на изменение внешней и внутренней среды, а также исследование механизмов возникающих реакций.

Эксперимент и его роль

Физиология – наука экспериментальная и ее основным методом является эксперимент.

1. Острый опыт или вивисекция («живосечение»). В его процессе под наркозом производят хирургическое вмешательство и исследуют функцию открытого или закрытого органа. После опыта выживания животного не добиваются. Длительность таких опытов – от нескольких минут до нескольких часов. Например, разрушение мозжечка у лягушки. Недостатками острого опыта являются малая продолжительность опыта, побочное влияние наркоза, кровопотери и последующая гибель животного.

2. Хронический опыт осуществляется путем проведения на подготовительном этапе оперативного вмешательства для доступа к органу, а после заживления приступают к исследованию. Например, наложение фистулы слюнного протока у собаки. Эти опыты имеют продолжительность до нескольких лет.

3. Иногда выделяют подострый опыт. Его длительность – недели, месяцы.

Эксперименты на человеке коренным образом отличаются от классических.

1. Большинство исследований проводят неинвазивным путем (ЭКГ, ЭЭГ).
2. Исследования, не наносящие вред здоровью испытуемого.
3. Клинические эксперименты – изучение функций органов и систем при их поражении или патологии в центрах их регуляции.

Регистрация физиологических функций проводится различными методами: простые наблюдения и графическая регистрация.

5. 1 Основы функциональных систем организма

Академик П.К. Анохин в фундаментальных трудах по нейрофизиологии – механизмам условного рефлекса, онтогенезу нервной системы ввел понятие системообразующего фактора (результата системы). Под результатом системы П.К. Анохин понимал полезный приспособительный эффект во взаимодействии «организм – среда», достигаемый при реализации системы.

Поведение индивида можно описать как результат определенного взаимодействия организма с внешней средой. Причем по достижении определенного результата, исходное воздействие прекращается, что делает возможным реализацию следующего поведенческого акта. Поэтому в системной психофизиологии поведение рассматривается с позиции будущего – результата.

На основании обобщения экспериментов П. К. Анохин пришел к выводу, что для понимания взаимодействия организма со средой следует изучать не «функции» отдельных органов или структур мозга, а их взаимодействие, то есть координацию их активности для получения конкретного результата.

Суть данной концепции П.К. Анохина заключается в том, что человек не может существовать изолированно от окружающего мира. Он постоянно испытывает воздействие определенных факторов внешней среды. Воздействие внешних факторов было названо Анохиным обстановочной

афферентацией. Одни воздействия для человека несущественны или даже неосознаваемы, но другие, — как правило, необычные — вызывают у него ответную реакцию. Эта ответная реакция носит характер ориентировочной реакции.

Все воздействующие на человека объекты и условия деятельности, вне зависимости от их значимости, воспринимаются человеком в виде образа. Этот образ соотносится с информацией, хранящейся в памяти, и мотивационными установками человека. Причем процесс сопоставления осуществляется, скорее всего, через сознание, что приводит к возникновению решения и плана поведения.

В центральной нервной системе ожидаемый итог действий представлен в виде своеобразной нервной модели, названной Анохиным акцептором результата действия. Акцептор результата действия — это цель, на которую направлено действие. При наличии акцептора действия и программы действия, сформулированной сознанием, начинается непосредственное исполнение действия. При этом включается воля, а также процесс получения информации о выполнении поставленной цели.

Информация о результатах действия имеет характер обратной связи (обратной афферентации) и направлена на формирование установки по отношению к выполняемому действию. Поскольку информация проходит через эмоциональную сферу, она вызывает определенные эмоции, влияющие на характер установки. Если эмоции носят положительный характер, то действие прекращается. Если эмоции негативны, то в выполнение действия вносятся коррективы

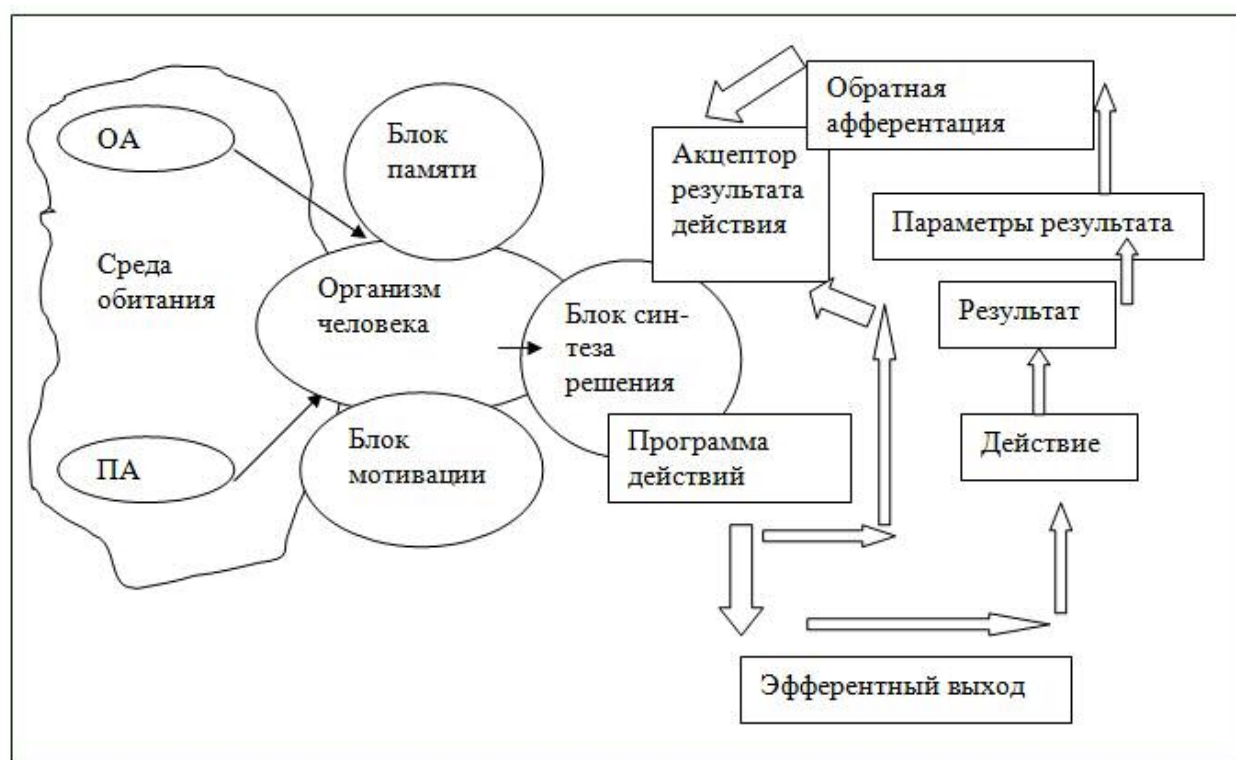


Рисунок 5.1 Схема организации процессов жизнедеятельности

Физиологические показатели

Артериальное давление

Идеальным АД, к которому необходимо стремиться, тренируясь для укрепления здоровья, является 110/70 мм рт. ст.; АД 120/80 также считается хорошим. Эти показатели АД желательно сохранять всю жизнь. Принятые нормы повышения АД (а также массы тела) в связи со старением организма следует считать неприемлемыми. Во всяком случае, эти нормы пригодны только для лиц, ведущих нездоровый образ жизни или нарушающих основные закономерности тренировки для

укрепления здоровья. Лишь в этом случае показатели АД и массы тела с возрастом увеличиваются. Но такие отклонения нельзя принимать за нормальные. Обследования лиц старших возрастных групп, длительное время постоянно занимающихся циклическими физическими упражнениями, выявили, что показатели их АД лежат, как правило, в пределах 115—125/75—80 мм рт. ст.

Число дыхательных движений. Должно быть равно 16 в 1 минуту. При беге 26, прилегли — 14, но в среднем — 16. Это ритм поглощения кислорода из воздуха.

Частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое. Этот показатель позволяет оценить работу сердца. При частом пульсе нетренированное сердце совершает за 1 сутки 14 тыс. «лишних» сокращений и быстрее изнашивается. Чем реже ЧСС в покое, тем мощней сердечная мышца. В этом случае сердце работает в более экономичном режиме: за одно сокращение выбрасывается больший объем крови, а паузы для отдыха увеличиваются. 78 ударов в одну минуту. Этот показатель состояния организма — основа оптимальной скорости продвижения кислорода от легких к органам. Чем медленнее пульс — тем длиннее жизнь.

Гемоглобин — 130 мг/л. Это показатель количества кислорода в нашем организме, также является основой хорошего состояния здоровья. Если гемоглобин падает, человек может жить некоторое время, но сразу увеличивается число сердечных сокращений, число дыхательных движений, разрушается артериальное давление, потому что отклонение любого из параметров ведет за собой разрушение всей гармонии.

Билирубин — 21 мкмоль/л. Показатель токсичности крови по переработанному количеству мертвых эритроцитов. Каждый день у нас умирает 300 миллиардов эритроцитов и они должны быть расщеплены, выведены, переработаны и снова синтезированы. Количество билирубина говорит о том, как идет этот процесс.

Моча. Каждый день должно выделяться полтора литра мочи, определенных качественных свойств: удельный вес 1020 и кислотностью 5.5. Если колеблется количество, качество и т. д. значит выделительная система почек работает со сбоями.

Росто-весовой индекс. При оценке уровня здоровья вместо жизненного показателя можно использовать росто-весовой индекс, показатель которого также свидетельствует о жизнеспособности человека. Росто-весовой индекс определяется путем вычитания из роста (в см) массы тела (в кг). Любое изменение индекса в возрасте свыше 18—20 лет свидетельствует о начинающихся нарушениях в обменных процессах организма и о необходимости принятия срочных мер для стабилизации росто-весового индекса в оптимальных границах. Для расчета нормальной массы тела недопустимо делать поправки на возраст (особенно после 30 лет), которые рекомендуются некоторыми авторами. Ориентирование на такую «исправленную» массу тела приводит к снижению уровня здоровья и к «нормальным болезням старости».

Сахар крови — 5.5 ммоль/л. Этот показатель состояния организма определяет запас оперативной энергии на каждый день и безусловно является основой здорового организма. Из этого сахара печень образует гликоген, на котором человек работает.

РН. Кислотно-щелочное равновесие крови — 7.43- жизнь в щелочной среде 7.1- смерть от острой сердечно-сосудистой недостаточности. 90 % продуктов, которые мы едим и пьем кислые. Ощелачивание идет за счет вытаскивания из организма н/з щелочных материалов. Идет забор кальция из костно-мышечной системы, калия, магния и натрия.

Количество лейкоцитов. Это показатель поддержания нашей индивидуальности. Этот показатель состояния здоровья — основа сохранения нашей индивидуальности.

Норма в крови белых клеток (лейкоцитов) у детей, как правило, меняется в соответствии с их возрастом. Например, если нормой для взрослого является $4-8,8 \times 10^9$ /л, то для детей эти клетки крови весьма повышены. У малышей до года уровень белых клеток составляет $9,2-13,8 \times 10^9$ /л, детей до трех летнего возраста — $6-17 \times 10^9$ /л, а детей до десяти лет — $6,1-11,4 \times 10^9$ /л.

При таком значении все вирусы, грибы, бактерии будут уничтожены. Если количество лейкоцитов повышается, то нападение уже произошло и мы защищаемся. Если понижается, значит мы уже проигрываем эту войну, организм истощен и не в силах вырабатывать необходимое количество для защиты.

Температура тела. Считается, что нормальная температура тела — это $36,6^{\circ}\text{C}$. Тем не менее, каждый орган человеческого организма имеет свою нормальную температуру. Температура печени — 39°C , у почек и желудка — немного ниже. Более того, разные участки поверхности кожи имеют тоже неодинаковую температуру: самая низкая температура наблюдается у ступней и ладоней — $24-28^{\circ}\text{C}$, самая высокая — в подмышечной ямке — $36,3-36,9^{\circ}\text{C}$, температура в прямой кишке — $37,3-37,7^{\circ}\text{C}$, а температура в полости рта — $36,8-37,3^{\circ}\text{C}$.

Холестерин.

Менее 200мг/дл- нормальный уровень холестерина;

200 — 239 мг/дл- максимально допустимое значение, 240 мг/дл и выше- слишком высокий уровень холестерина в крови.

Примечание: мг / дл = миллиграмм на децилитр — это единица измерения, используемая, чтобы описать, сколько вещества содержится в определенном объеме крови.

Основные количественные физиологические показатели организма здорового человека.

1. Кровь

Содержание глюкозы в крови 4,44-6,66 ммоль/л(80-120 мг%)

Число эритроцитов в крови у мужчин в 1 мм^3 4500000-5000000 Число эритроцитов в крови у женщин в 1 мм^3 4000000-4500000

Содержание гемоглобина у мужчин 7,7-8,1 ммоль/л (135-140 г/л)

Содержание гемоглобина у женщин 7,0-7,4 ммоль/л (125-130 г/л)

Скорость оседания эритроцитов у мужчин 1-10мм/ч

Скорость оседания эритроцитов у женщин 2-15 мм/ч(у беременных до 45 мм/ч)

Число лейкоцитов в крови в 1 мм^3 4000-9000 базофилы 0-1% эозинофилы 2-4%

Нейтрофилы: миелоциты 0% метамиелоциты 0-1% палочкоядерные 1-5% сегментоядерные 50-70% лимфоциты 20-40% моноциты 2-10%

2. Моча

Суточное количество 1-1,5 л

Плотность 1010-1025 г/см³

Кровообращение Число сердечных сокращений (в покое) 60-80 в 1 мин

3. Артериальное давление (в возрасте 16- 45 лет) максимальное 110-126 мм рт.ст. минимальное 60-85 мм рт.ст.

4. 4. Липидный обмен Общие липиды 4-8 г/л Общий холестерин

Базофилы — это клетки крови, которые как и эозинофилы и нейтрофилы, происходят из гранулоцитарного ростка кроветворения. Как и все гранулоциты, базофилы в периферической крови, выйдя из костного мозга, циркулируют несколько часов, после чего мигрируют в ткани, где живут и функционируют в течение 8-12 дней. Базофилы вместе с другими лейкоцитами участвуют в воспалительном процессе. В воспалительном участке базофилы выделяют гепарин, серотонин и гистамин, которыми и обусловлены функции базофилов в воспалительном процессе. Базофилы в основном принимают участие в реакциях гиперчувствительности немедленного типа, хотя в совокупности с лимфоцитами также участвуют в реакциях гиперчувствительности замедленного типа. Определение базофилов входит в подсчет лейкоцитарной формулы при заборе крови на общий анализ крови.

НОРМА БАЗОФИЛОВ В КРОВИ

Нормальный уровень базофилов в крови у взрослых и детей представлен в таблице:

Базофилы	взрослые	при рождении	1 месяц	1 год	12 лет
Относительное	0,5-1	0,75	0,5	0,6	0,7

количество %					
--------------	--	--	--	--	--

Эозинофилы — это клетки крови, образующиеся в процессе лейкопоэза из гранулоцитарного ростка кроветворения. Эозинофилы являются фагоцитирующими клетками, поглощающими иммунные комплексы антиген-антитело (в основном иммуноглобулин Е). После созревания в костном мозге, эозинофилы попадают в периферический кровоток, где циркулируют около 3-4 часов, а затем мигрируют в ткани, где функционируют 8-12 суток. В отличие от своих собратьев по гранулоцитарному ряду — нейтрофилов, эозинофилы в своем составе не содержат лизоцим и щелочную фосфатазу. Эозинофилы реагируют на хемотаксические факторы, которые выделяют тучные клетки и базофилы, а также реагируют на иммунные комплексы антиген-антитело. Эозинофилы наиболее активно проявляют свои свойства в сенсibilизированных тканях. Эозинофилы участвуют в реакциях гиперчувствительности, как замедленного, так и немедленного типа.

НОРМА ЭОЗИНОФИЛОВ В КРОВИ У ВЗРОСЛЫХ И ДЕТЕЙ

Возраст	Предел колебаний, 10^9 /л	Эозинофилы, %
до 12 месяцев	0,05-0,7	1-5
от 1 года до 7 лет	0,02-0,7	1-5
от 8 лет до 16 лет	0-0,60	1-5
Взрослые	0-0,45	1-5

Как видно из таблицы, в норме относительное содержание эозинофилов в крови взрослых и детей одинаково и колеблется в пределах 1-5%. В абсолютных же цифрах количество в крови эозинофилов у детей больше, чем у взрослых, и связано это с тем, что в норме содержание лейкоцитов в крови у детей больше чем у взрослых.

Нейтрофилы — это клетки крови, развивающиеся в красном костном мозге из гранулоцитарного ростка кроветворения. *Нейтрофилы*, также как эозинофилы и базофилы, относятся к гранулоцитарным клеткам крови, так как характерной особенностью данных клеток крови является наличие зернистости (гранул) в цитоплазме. Гранулы нейтрофилов содержат лизоцим, миелопероксидазу, нейтральные и кислые гидролазы, катионные белки, лактоферрин, коллагеназу, аминопептидазу. Именно благодаря содержанию гранул, нейтрофилы выполняют свои функции. В периферической крови содержится только 1% нейтрофилов от общего их количества в организме, 60% нейтрофилов содержится в костном мозге и около 40% нейтрофилов рассредоточены по другим органам организма. В периферической крови в норме содержатся только зрелые нейтрофилы: *сегментоядерные* и *палочкоядерные*. После выхода из красного костного мозга, нейтрофил циркулирует в периферической крови в течение нескольких часов, после чего мигрирует в ткани. Продолжительность жизни нейтрофилов в тканях зависит от наличия воспалительного процесса, и составляет от нескольких часов до нескольких суток. Основной функцией нейтрофилов является защита организма от инфекции, что обусловлено способностью нейтрофилов к фагоцитозу и содержанием гранул. Определение количества нейтрофилов происходит при подсчете лейкоцитарной формулы, которая входит в общий анализ крови.

НОРМА НЕЙТРОФИЛОВ В КРОВИ

Количество *нейтрофилов в норме* в крови у взрослых относительно постоянно и колеблется в пределах от 45% до 70% от общего количества лейкоцитов в крови, или $1,8-6,5 \cdot 10^9$ /л. У детей, по мере их

роста, процентное содержание нейтрофилов в крови в норме имеет тенденцию к увеличению, хотя абсолютное количество нейтрофилов в крови при этом практически не изменяется.

Возраст	Предел колебаний, 10^9 /л	Процент нейтрофилов
1 год	1,8-8,5	30-50
7 лет	2,0-6,0	35-55
12 лет	2,2-6,6	40-60
Взрослые	1,8-6,5	45-70

Палочкоядерные нейтрофилы в норме составляют 1-5% от общего количества нейтрофилов, остальные 40-68% составляют сегментоядерные нейтрофилы.

5.2 Сенсорные системы

Информацию об окружающем мире и о собственном теле мы получаем с помощью органов чувств. Переработка сигналов, поступающих происходит с помощью различных структур нервной системы. Она превращает все, что воспринимают наши органы чувств, в чувство и восприятия, в феномены и содержание сознания. Та часть функций ЦНС, которая обеспечивает восприятие и обработку раздражений, относится к сенсорных (от лат. Sensus - чувство, ощущение). Сенсорные (по И. П. Павловым, - анализаторни) системы воспринимают и обрабатывают раздражители разной модальности. Издавна выделять пять основных видов ощущения: глаз - видит, ухо - слышит, кожа - чувствует, язык - различает вкус, нос обеспечивает обоняние. Но в то же время каждый из вышеназванных органов чувств обладает определенными свойствами. Например, кожный анализатор при соприкосновении с предметом способен различить, теплый он или холодный, гладкий или шершавый, неподвижный или вибрирующий подобное. Надо назвать еще сенсорную систему восприятия положения тела и его отдельных частей в пространстве. Кроме того, теперь стало известно, что существуют различные сенсорные системы во внутренних органах. Эти системы воспринимают давление, растяжение, химическое раздражение. Наконец, следует указать на наличие важной для человека болевой чувствительности.

Несмотря на различия раздражителей, принцип строения и функционирования воспринимающей систем одинаков. Начинаются они рецепторами и восходящими, или афферентными, нейронами. Тела этих нейронов образуют ядерные скопления (их не менее трех) в различных отделах ЦНС. В коре большого мозга выделяют первичный "центр, который воспринимает афферентные импульсы, и один или более вторичных. На уровне коры большого мозга пространственную преимущество получили наиболее значимые для организма сенсорные системы: зрительная, слуховая, кожаная, вкусовая, обонятельная, проприоцептивная.

Сигналы, поступающие в ЦНС, обрабатываются (анализируются), вследствие чего возникает субъективное отражение внешнего мира и внутренней среды организма, что служит основой для формирования адекватной эфферентной ответа - поведенческая реакция. По отношению к сенсорных стимулов поведение состоит из восприятия и реакций, которые включают узнавание, ощущение, мотивацию, сокращения скелетных мышц (движение) и изменение функций внутренних органов. В ЦНС информация, кроме афферентных систем, перерабатывается в интегративных и эфферентных. При этом для анализа сигналов, поступающих в ЦНС, привлекаются такие участки, как ассоциативные, лимбическая, двигательные и вегетативные. Сложная и еще мало исследована их взаимодействие является основой нашего сознания и поведения.

В основе субъективного феномена чувства лежат физиологические процессы, происходящие в различных отделах нервной системы и объективно регистрируются с помощью приборов. Рецепторы воспринимают раздражения и преобразуют их в потоки нервных импульсов, посылае-

мых проводящими путями (нервными клетками и их отростками) в ЦНС. Эти потоки импульсов на различных уровнях, в каждом из определенных нервных центров видоизменяются под влиянием импульсов, поступающих из других отделов ЦНС, других сенсорных систем. Вследствие этого часть информации переводится в чувство, т.е. доходит до коры большого мозга. Однако некоторую часть афферентной сигнализации мы совсем не осознаем. Это свидетельствует о том, что в коре большого мозга афферентная информация не всегда доходит. Но в то же время и неосознанная часть афферентации служит для возникновения во многих структурах ЦНС вызванных ПД и для поддержания рабочего состояния мозга и других эффектов, необходимых для обеспечения жизнеспособности организма.

Сенсорные системы

Название сенсорной системы	Периферический отдел	Проводниковый отдел	Центральный отдел
1. Зрительная	фоторецепторы (сетчатка глаза)	зрительный нерв (чувствительный, II пара черепно-мозговых нервов)	зрительная зона в затылочной доле коры больших полушарий
2. Слуховая	слуховые рецепторы (механорецепторы) кортиева органа (внутреннее ухо)	преддверно-улитковый нерв (чувствительный, VIII пара черепно-мозговых нервов)	слуховая зона в височной доле коры больших полушарий
3. Вестибулярная	рецепторы (механорецепторы) полукружных каналов и отолитового аппарата (внутреннее ухо)	преддверно-улитковый нерв (чувствительный, VIII пара черепно-мозговых нервов)	мозжечок
4. Обонятельная	обонятельные рецепторы (хеморецепторы) в полости носа	обонятельный нерв (чувствительный, I пара черепно-мозговых нервов)	обонятельный мозг, обонятельная зона в височной доле коры больших полушарий
5. Вкусовая	вкусные рецепторы (хеморецепторы) ротовой полости	лицевой и языкоглоточный нервы (смешанные, VII и IX пары черепно-мозговых нервов)	вкусная зона в теменной доле коры больших полушарий
6. Система кожной чувствительности	осязательные рецепторы (рецепторы кожи): тактильные (механорецепторы), терморецепторы и болевые рецепторы	нервы кожной чувствительности (спинномозговые нервы) - от туловища; тройничный нерв (смешанный, V пара черепно-мозговых нервов) – от головы	зона кожно-мышечной чувствительности в теменной доле коры больших полушарий (задняя центральная извилина), по-другому, соматосенсорная кора (ССК)
7. Проприоцептивная система	проприоцепторы (механорецепторы) мышц, сухожилий и суставов (по-другому, проприо-рецепторы)	нервы скелетно-мышечного аппарата	ССК

Морфофизиологических основ процессов анализа афферентных сигналов есть общие свойства и закономерности функции нервных центров. Нервные волокна, передающие сигналы к центрам головного мозга через ряд синаптических переключений, образуют основу для различия возбуждения - дивергенции. В этих нейронных структурах происходит также конвергенция сигналов от различных рецепторов. Сигналы, сюда поступают, могут усиливать возбуждение благодаря суммации или, наоборот, тормозить. Этому способствует близость нервных центров различных сенсорных систем в соответствующих отделах ЦНС.

Кроме того, при переработке афферентных импульсов на различных уровнях ЦНС могут запускаться соответствующие рефлекторные акты. Они включают как двигательный, так и вегетативный компоненты.

Учитывая подобную устройство анализаторных систем человека, можно выделить следующие основные ее принципы: а) многослойность, многоуровневость расположение нервных центров б) многоканальность (наличие на каждом уровне нейронов, связанных с разным количеством нейронов, лежащих ниже или выше); в) наличие сенсорных «воронок» - неодинаковой количества нейронов в других слоях г) дифференциация по вертикали и горизонтали, за счет чего каждый «этаж» выполняет свои функции.

Рецепторы, которые содержатся в различных внутренних органах, называются интерорецепторов (висцерорецепторы), а на наружной поверхности тела - экстерорецепторы. В зависимости от природы действующего раздражителя различают механорецепторы, (воспринимают действие при механическом смещении или деформации рецептора), хеморецепторы (активизируются различными химическими соединениями), фоторецепторы (воспринимают электромагнитное излучение в диапазоне волн от 400 да 750 нм), терморецепторы и др..

Рецепторы, воспринимающие раздражитель при непосредственном контакте с ним, называют контактными, а те, которые не требуют такого контакта, - дистантные.

Структура рецептора зависит от раздражителя, а также от значения для организма информации, получаемой с помощью конкретной сенсорной системы. Это могут быть свободные окончания дендритов чувствительных нейронов или сложные структуры, которые образуют органы чувств (глаз, ухо), к которым, помимо собственно рецептора, относятся ткани, которые обслуживают их. Сложная морфологическое строение рецептора сказывается на его функции: сложно организованные рецепторы осуществляют точную первичную обработку информации. Аналитические системы анализа обладают специфичностью.

Анализатор – это система, состоящая из трех отделов, функционально и анатомически связанных друг с другом: рецептора, проводникового отдела и центрального отдела в головном мозге. Высшим отделом любого анализатора является корковый отдел, который имеет ядро и нейроны, рассеянные в различных отделах коры. Простейшие формы анализа раздражителя происходят в рецепторах. Импульсы от них поступают в мозговой отдел по проводниковому пути, где происходит высший анализ информации.

Органы рецепции представляют собой рецепторные нервные клетки, заключенные в капсулу, или специальные дополнительные концевые образования. Виды рецепторов: контактные и дистантные. Экстерорецепторы (внешние рецепторы): зрительные, слуховые, тактильные, вкусовые, обонятельные; Интерорецепторы (внутренние): висцерорецепторы, вестибулорецепторы, проприорецепторы (мышцы, сухожилия).

Рецепторы воспринимают информацию от раздражителя, кодируют ее и передают в виде импульсов (сенсорного кода). Рецепторный орган способен не только воспринимать, но и усиливать сигнал

Для большинства рецепторов характерно свойство привыкания к постоянно действующему раздражителю. Это свойство называется адаптацией. Адаптация может быть полной и неполной, а также быстрой или медленной. Однако рецептор сохраняет способность реагировать на любое изменение параметров раздражения.

Сенсорная система (СС) – анатомически организованная в структурах мозга система ядерных образований и связей, служащая для обнаружения и кодирования информации определённой модальности. СС подразделяются на внешние и внутренние.

Конвергенция – получение импульса одним и тем же нейроном сразу от нескольких нейронов предыдущего уровня. Дивергенция – передача импульса одним и тем же нейроном сразу нескольким нейронам более высокого уровня. СС состоит из аппаратов управления процессом обработки и передачи информации с нижележащих уровней на вышележащие. И каждый уровень системы должен работать минимум на основе двух входов - входа информации и входа управления. Принцип функциональной многозначности коры состоит в том, что все корковые области – это корреляционные центры, среди которых нет чисто проекционных центров, а значит нет места абсолютной локализации.

Любая СС построена по принципу двусторонней симметрии, т.е. рецепторные аппараты, соответствующие им центральные проводники и центральные мозговые структуры – парные, и одна половина зеркально повторяет другую. Однако даже первичный сенсорный путь может быть связан с обоими симметричными мозговыми полушариями. Любая психофизиологическая функция является полисенсорной, и не может быть локализованной в ограниченных отделах мозга. Сама же СС выступает как определённая локализованная анатомическая система, выполняющая специализированную функцию обнаружения и преобразования информации в нервный код.

Первый функциональный блок составляют анализаторы, или сенсорные системы. Анализаторы выполняют функцию приема и переработки сигналов внешней и внутренней среды организма. Каждый анализатор настроен на определённую модальность сигнала и обеспечивает описание всей совокупности признаков воспринимаемых раздражителей. Модальная специфичность анализатора в первую очередь определяется особенностями функционирования его периферических образований и специфичностью рецепторных элементов. Однако в значительной степени она связана с особенностями структурной организации центральных отделов анализатора, упорядоченностью межнейронных связей всех морфологических образований от рецепторного уровня до коркового конца (проекционных зон).

Основными общими принципами построения сенсорных систем высших позвоночных животных и человека являются следующие:

- А Многослойность, то есть наличие нескольких слоев нервных клеток, первый из которых связан с рецепторами, а последний - с нейронами моторных или ассоциативных областей коры большого мозга. Это свойство дает возможность специализировать нейронные слои на переработке разных видов сенсорной информации, что позволяет организму быстро реагировать на простые сигналы, анализируемые уже на первых уровнях сенсорной системы. Создаются также условия для избирательного регулирования свойств нейронных слоев путем восходящих влияний из других отделов мозга.
- Б. Многоканальность сенсорной системы, то есть наличие в каждом слое множества (от десятков тысяч до миллионов) нервных клеток, связанных с множеством клеток следующего слоя. Наличие множества таких параллельных каналов обработки и передачи информации обеспечивает сенсорной системе точность и детальность анализа сигналов и большую надежность. Сигнал - процесс или явление, несущее сообщение о каком-либо событии и ориентирующее живую систему относительно этого события.
- В. Разное число элементов в соседних слоях, что формирует «сенсорные воронки». Так, в сетчатке глаза человека насчитывается 130 миллионов фоторецепторов, а в слое ганглиозных клеток сетчатки нейронов в 100 раз меньше («суживающаяся воронка»).
- На следующих уровнях зрительной системы формируется «расширяющаяся воронка»: число нейронов в первичной проекционной области зрительной коры в тысячи раз больше, чем ганглиозных клеток сетчатки. В слуховой и ряде других сенсорных систем от рецепторов к коре большого мозга идет «расширяющаяся воронка».

Физиологический смысл «суживающейся воронки» заключается в уменьшении избыточности информации, а «расширяющейся» - в обеспечении дробного и сложного анализа разных признаков сигнала.

- Г. Дифференциация сенсорной системы по вертикали и по горизонтали.
 1. Дифференциация по вертикали заключается в образовании отделов, каждый из которых состоит из нескольких нейронных слоев. Таким образом, отдел представляет собой более крупное морфофункциональное образование, чем слой нейронов. Каждый отдел (например, обонятельные луковицы, кохлеарные ядра слуховой системы или коленчатые тела) осуществляет определенную функцию.
 2. Дифференциация по горизонтали заключается в различных свойствах рецепторов, нейронов и связей между ними в пределах каждого из слоев. Так, в зрении работают два параллельных нейронных канала, идущих от фоторецепторов к коре большого мозга и по-разному перерабатывающих информацию, поступающую от центра и от периферии сетчатки глаза.

Функциональное назначение рецепторов заключается в выявлении и различении раздражителей с разной модальности. Поскольку раздражители внешней или внутренней среды имеют различную природу, а нервные центры «понимают только один язык», т.е. нервный импульс потенциал действия (ПД), то к вышеперечисленным функциям рецептора предстоит еще и преобразования разной модальности раздражения в ПД, или кодирования.

Несмотря на большую вариабельность рецепторов, они обладают многими общими физиологическими свойствами.

Механизм возбуждения рецепторов.

По механизму возбуждения рецепторы делят на первично и вторично чувствительные. К первично чувствительным рецепторам относятся нервные окончания чувствительных нейронов. Во время действия раздражителя в рецепторе повышается проницаемость мембраны для Na^+ , что приводит к развитию деполяризации. Эта деполяризация носит название рецепторного потенциала (РП) и является местным процессом. Ему присущи все свойства местных потенциалов, возникающих в других возбуждаемых тканях. Одним из основных свойств СП есть суммирование, в результате которой деполяризация может достичь критического уровня и СП переходит в ПД, который проходит затем афферентным нейроном.

В отличие от первично чувствительного рецептора в вторично чувствительные между окончанием чувствительного нейрона и раздражителем содержатся специальные рецепторные клетки создающие потенциал раздражения (спусковой потенциал СП). Появление СП способствует выделению медиатора с рецепторной клетки в синаптическую щель, которая есть между рецепторной клеткой и окончанием чувствительного нейрона.

Медиатор, который достигает постсинаптической мембраны, вызывает ее деполяризацию. Сначала также возникает местный потенциал, который называется генераторным (ГП). Только потом, уже при суммации, ГП переходит в ПД, который проходит аксоном

Вторично чувствительными рецепторами является зрительный, слуховой, вестибулярный. Многие рецепторы имеют фоновую активность. Они постоянно усиливают афферентные импульсы в нервные центры. Это дает ЦНС (центральной нервной системе) дополнительную возможность получать информацию. Если уменьшается фоновая импульсация от рецепторов, то ЦНС таким путем информируется об изменениях, которые возникают.

Вышеуказанными путями рецепторы превращают различную модальность раздражителя в нервный импульс. Так происходит кодирование информации. В основе кодирования лежит двойной код: либо есть ПД, или его нет.

Специфичность рецепторов.

Важнейшую роль в механизме кодирования играет специфичность рецепторов. В процессе эволюции произошла дифференциация рецепторов - резко повысилась чувствительность • их к конкретному раздражителю. Особенно высокий уровень специализированной чувствительности

дистантных рецепторов. «Свой», деквадный раздражитель воспринимается рецептором даже если он очень низкий уровень энергии.

Так, рецепторы глаза в условиях абсолютной темноты могут воспринимать свет с энергией $1 \cdot 10^{-17} - 10^{-18}$ Вт. квантов. В рецепторах слуха чувствительность меньше. В этом случае порог должен почти в 100 раз превышать статические звуковые «шумы» информации. При высокой чувствительности появились бы источники ошибок, связанные с перемещением слуховых косточек при ходьбе, беге и т.д., а это затруднило бы ориентацию в пространстве.

В рецепторе сохраняется способность генерировать ПД и при действии других раздражителей, но для этого энергия должна быть гораздо больше. Так, ощущение света возникает не только при попадании кванта электромагнитного излучения, но и при механическом или электрическом раздражении глаза.

Наконец, для кодирования информации важное значение имеет возможность различать интенсивность действующего раздражителя еще на уровне рецептора. Как правило, это делается путем генерации афферентной импульсации разной частоты. Но на уровне рецепторов это канал ограничен. И тогда используется другой путь кодирования, в частности пространственный, связанный с раздражением пространственно распределенных рецепторов. Декодирование при этом происходит уже в нервных центрах.

Адаптация рецепторов

Многим рецепторам присуща адаптация, или приспособление, к постоянно действующему раздражителю. Адаптация заключается в изменении чувствительности рецептора. Она может снижаться, если на рецептор долгое время действует сильный раздражитель, или повышаться под действием слабого. Например, чувствительность к свету снижается при ярком освещении, а в темноте, наоборот, повышается. В основе механизма развития адаптации большинства рецепторов лежит изменение проницаемости мембраны.

Кроме того, в адаптации ряда рецепторов участвуют вспомогательные механизмы. Так, в глаза при расширении или сужении зрачка попадает соответственно более или менее световых лучей.

Процесс адаптации может происходить быстро, медленно или совсем не развиваться. В зависимости от этого рецепторы делятся на такие, которые быстро адаптируются, медленно адаптируются и не адаптируются вовсе. Процессы адаптации находятся под эффекторным контролем вышележащих отделов ЦНС. Здесь можно выделить минимум два механизма действия: непосредственное влияние а нейроны или опосредованное - через изменение кровоснабжения. В определенных условиях существования большинство рецепторов подвергаются некоторому тормозному влиянию со стороны ЦНС.

Таким образом, на уровне рецептора начинается первичная обработка информации, состоит в распознавании модальности раздражителя, оценке его силы, продолжительности действия. Эта обработка завершается формированием ПД, идущие с определенной частотой в вышележащих отделах ЦНС. Введение афферентации в ЦНС от рецепторов осуществляют биполярные нейроны или аналогичные образования черепных нервов.

5.3 Аварийная сигнализация в живом организме

Человек живет в постоянном контакте с внешней средой, получая информацию об окружающем мире с помощью специализированных сенсорных систем, воспринимающих механические, термические, акустические, электромагнитные (световые) и химические сигналы. Благодаря работе этих систем мы можем, например, любоваться светом звезд, наслаждаться пением птиц, ароматом цветов и т.д. Однако всем наверняка приходилось испытывать и другое, вовсе неприятное, ощущение — боль, возникающую в результате какого-либо вредного для организма воздействия. Ответственна за это так называемая ноцицептивная система (от лат. *носео* — вредить). И хотя боль дает мало сведений об окружающем нас мире, тем не менее она столь же необходима челове-

ку для нормальной жизни, как осязание или обоняние, так как предостерегает о внешних или внутренних опасностях, грозящих нашему телу. Несмотря на то, что боль во многом сравнима с другими чувствами, она все же обладает характерными особенностями. Чтобы помочь страдающему от боли человеку, надо хорошо понимать ее специфические черты.

В отличие от избирательных сенсорных систем для ноцицепции не существует специализированного болевого стимула (боль возникает при ушибе, ожоге, укусе пчелы, и т. д.). Нет и особого, анатомически выделенного органа, подобного, например, органу слуха или зрения. Наконец, болевое ощущение может быть вызвано на любом участке тела, соответственно в организме нет каких-либо специфических болевых нервов, подобных зрительному или обонятельному. Это — своеобразная аварийная сигнализация живого организма, которая включается в критической ситуации. И организм (еще до того как мы осознаем случившееся и примем решение) немедленно реагирует — срабатывает защитный рефлекс, выражающийся в многокомпонентной оборонительной реакции. Достаточно вспомнить, как человек отдергивает обожженную руку или меняет позу при боли в позвоночнике (моторный компонент), что нередко сопровождается криком или агрессией (поведенческий компонент). При этом обычно изменяются кровяное давление и ритм дыхания, учащается пульс, расширяются зрачки (реакции вегетативной нервной системы) и т.д.

Таким образом, живой организм может распознать внешние воздействия (стимулы), способные причинить ему вред. Порог обнаружения таких воздействий весьма близок к той силе стимула, при которой действительно происходит повреждение ткани, на что впервые обратил внимание знаменитый английский физиолог Ч.С.Шеррингтон.

Казалось бы, любые вредящие стимулы должны вызывать защитный рефлекс, но, к сожалению, наш организм еще недостаточно совершенен. Существуют вредные воздействия, которые не выявляются нервной системой (например, радиация), а некоторые безвредные стимулы (электрический ток или ультразвук умеренной интенсивности), напротив, вызывают боль. Учитывая это, в физиологии принято называть ноцицептивными только те стимулы, которые вызывают защитный рефлекс. Защитный рефлекс, ноцицептивная система и вредящие стимулы — ключевые понятия теории боли.

Ноцицептивная система оказалась существенно сложнее для изучения, чем избирательные сенсорные системы. Отсутствие специфического болевого стимула, специальных болевых нервов и специализированного органа болевой чувствительности объясняет значительное отставание в исследовании механизмов работы этой системы по сравнению с другими. Раскрытие основных принципов и структурных элементов ноцицептивной системы — итог более чем столетних исследований. Оказалось, что в восприятии и обработке информации о вредящих воздействиях участвуют различные отделы нервной системы — от первичных сенсорных нейронов до определенных структур головного мозга. Мы рассмотрим только начальное, периферическое звено ноцицептивной системы, но сначала еще несколько слов о терминах и основных понятиях.

Ноцицептивные сигналы возникают в окончаниях первичных сенсорных нейронов и поступают в спинной мозг сначала по периферической, а затем центральной ветвям их аксонов. Теоретически биполярная структура первичного сенсорного нейрона допускает преобразование импульсных последовательностей на этом пути. Учитывая это, физиологи ввели понятие “сенсорная единица” (специфический рецептор в избирательной сенсорной системе и ноцицептор — в ноцицептивной), которое объединяет периферическую ветвь аксона первичного сенсорного нейрона (афферентное волокно), ее тканевое окончание (терминаль) и возможные претерминальные клетки-сателлиты, функционально связанные с терминалью. Сенсорную единицу можно представить как некий функциональный модуль, для которого входной сигнал — внешний стимул, а выходной — последовательность нервных импульсов в периферической ветви аксона первичного сенсорного нейрона.

Периферическая ноциология начала развиваться в XIX в., когда уровень техники был еще недостаточен для решения ее задач. В 1838 г. немецкий физиолог И.П.Мюллер предположил, что каждому ощущению, включая боль, соответствуют определенные специфические нервные волокна (в современных терминах — первичные сенсорные нейроны и ноцицепторы). В конце XIX в. гистолог М.Бликс обнаружил специализированные точки кожи для определенных видов стимулов,

физиолог М.Фрей установил различную чувствительность малых участков кожи к точечным механическим стимулам. Эти работы привели к представлению о сенсорной гетерогенности кожи и послужили основой для формулирования теории специфичности боли. Согласно этой теории, существуют специализированные кожные нервные волокна, чувствительные окончания (ноцицепторы) которых возбуждаются только вредящими стимулами.

В XIX в. появилась и другая, альтернативная, теория боли — теория интенсивности, согласно которой защитный рефлекс и боль возникают при чрезмерном раздражении любого нерва. Сформулировал ее в 1895 г. немецкий врач А.Гольдшайдер, заметивший, что при некоторых заболеваниях происходит пространственное и временное суммирование ноцицептивных стимулов. Теория интенсивности предполагает, что все сенсорные единицы выполняют двойную роль как специфических рецепторов (например, тепловых), так и ноцицепторов.

В XX в. обе конкурирующие теории были экспериментально проверены с помощью развитых к тому времени гистологических методов и новых электронных приборов. Английские гистологи школы Г.Уэдделла не выявили связи между структурой и функцией нервных окончаний кожи человека. Оказалось, что все разнообразие кожных ощущений передается нервными окончаниями всего двух типов — инкапсулированными и свободными.

Диссонанс между гаммой кожных ощущений и скудным набором структурных типов сенсорных терминалей особо заметен в волосистой коже, где инкапсулированных терминалей почти нет. Гистологи заметили и другой важный факт: большинство микроскопических участков кожи снабжено свободными нервными окончаниями различных аксонов. Это означает, что даже строго локализованный стимул одновременно возбуждает различные сенсорные единицы.

Результаты гистологических исследований послужили основанием как для критики теории специфичности, так и для развития теории интенсивности, что привело к созданию теории паттерна (нейроимпульсного узора) Дж.Нейфа. Согласно этой теории, ноцицептивному (как и любому другому) стимулу соответствуют определенные импульсные последовательности (паттерны) в группах нервных волокон. Как и теория интенсивности, теория паттерна не предполагает существования специализированных ноцицепторов для распознавания повреждающих стимулов. Считается, что одно и то же волокно выступает в разных ипостасях, внося вклад в суммарный импульсный узор, приводящий к тому или иному ощущению.

К сожалению, структурную однородность нервных окончаний гистологи без каких-либо оснований распространили и на их функциональную однотипность, поэтому критика теории специфичности оказалась некорректной. В действительности же внешне одинаковые нервные окончания могут резко отличаться по реакции на различные воздействия. Однако выяснилось это, лишь когда удалось зарегистрировать сигналы в нервных волокнах.

Изобретение осциллографа совершило революцию в нейрофизиологии. В 1921 г. с его помощью американские исследователи, физиолог Г.Гассер и физик Г.Ньюкомер, впервые “увидели” нервные импульсы.

Оказалось, что нерв состоит из волокон, значительно (более чем в 100 раз) отличающихся по скорости проведения нервных импульсов. Наибольшую скорость проведения имели толстые миелиновые A b -нервные волокна диаметром до 20 мкм, а самую малую — тонкие миелиновые A d -волокна и безмиелиновые (безмякотные) C-волокна диаметром около 1 мкм. Применение осциллографа позволило зарегистрировать суммарные сигналы отдельных групп нервных волокон и выявить роль этих групп в передаче ноцицептивных сообщений.

В 1926 г. англичанин Э.Эдриан и швед Ю.Цоттерман впервые получили записи сигналов в одиночных толстых миелиновых афферентах скелетной мышцы кошки [8]. Был установлен принципиальный факт: “чрезмерное раздражение” A b -афферентов кожи, вызывающее разряд импульсов с максимальной для этих волокон частотой, не стимулирует возникновение защитного рефлекса. Так на примере толстых миелиновых волокон была доказана несостоятельность теории интенсивности. Что касается тонких C-волокон, то, как оказалось, они играют особую роль в передаче ноцицептивных сигналов. Эдриан и Цоттерман выяснили, что импульсы в группе C-афферентов кожи возбуждаются при травмирующих механических, химических и температурных воздействиях [9, 10]. Д.Кларк, Дж.Хьюз и Г.Гассер установили, что при силе электрического стимула, доста-

точной для возбуждения С-афферентов, возникал защитный рефлекс, причем он развивался и при блокаде толстых миелиновых А b -афферентов .

Таким образом, в первой половине XX в. физиологи выяснили, что ноцицептивные сигналы передаются по наиболее тонким афферентным волокнам группы С. Несколько позже оказалось, что этот вывод справедлив и для самых тонких из миелиновых волокон (группы А d). Означало ли это, что тонкие афференты (волокна групп С и А d) те же специализированные проводники ноцицептивных сигналов, существование которых предполагает теория специфичности? В 1957 г. У.Дуглас и Дж.Ритчи разработали метод встречных импульсов, с помощью которого обнаружили выраженное возбуждение группы С-афферентов не только ноцицептивными, но и слабыми механическими стимулами. В связи с этим представление о том, что тонкие афференты передают информацию только о ноцицептивных стимулах, оказалось ошибочным. В результате противоборство двух классических теорий сохранилось, однако область их противостояния сузилась и стала относиться теперь только к тонким афферентам.

Следующий шаг в споре двух теорий мог быть сделан только на основе опытов с регистрацией сигналов индивидуальных С-афферентов. Сложность подобных опытов связана с исключительно малым диаметром этих нервных волокон (около 1 мкм) и их слабыми электрическими сигналами. Методические проблемы были решены в 30—50-х годах благодаря развитию микрохирургии нервов, а также совершенствованию техники регистрации электрических сигналов от микропучков нервных волокон. Значительный вклад в решение этих проблем внесли европейские (Эдриан и Цоттерман), японские (Дж.Като и И.Тасаки) и индийские (школа А.Пайнтала) нейрофизиологи. В 1955 г. британский физиолог А.Игго получил устойчивые записи сигналов индивидуальных С-афферентов, применив для изоляции микропучков нервов жидкий диэлектрик (вазелиновое масло) вместо воздуха.

В 1969 г. американские физиологи П.Бессу и Э.Перл зарегистрировали сигналы таких индивидуальных кожных С-афферентов кошки, чувствительные окончания которых возбуждались различными, но исключительно ноцицептивными (механическими, термическими и химическими) стимулами . Полиmodalность этих сенсоров и их избирательная чувствительность к ноцицептивным стимулам идеально соответствовали предполагаемым свойствам ноцицепторов. Открытие ноцицепторов подвело итог длительному этапу в развитии ноциологии, и теория специфичности одержала убедительную победу.

Выяснение характеристик ноцицептивных сигналов имеет исключительно важное значение для медицины, поскольку именно эти сигналы должны подавляться при обезболивании. Казалось бы, нейрограммы помогают ответить на этот вопрос, однако различные виды вредящих стимулов вызывают в ноцицептивных афферентах разные паттерны разрядов. Так, разряды в ноцицепторах, вызываемые давлением на кожу, продолжаются всего 1—3 с, в то время как тепловые или химические стимулы (например, ацетилхолин или гистамин) вызывают разряды, длящиеся около минуты. Означает ли такое разнообразие ответов, что любой разряд в ноцицептивных афферентах — болевой сигнал? Если так, местное обезболивание может быть достигнуто только при полной блокаде сигналов практически во всем нервном стволе, поскольку существующие местные анестетики “не отличают” С-волокна ноцицепторов от волокон других сенсорных единиц. Такой вид местного обезболивания действительно применяется при хирургических операциях. Однако полная блокада требует весьма высоких концентраций анестетика, что недопустимо, например, при длительном обезболивании. Можно ли осуществить местное обезболивание без тотального блокирования нервных проводников? Если допустить, что любой разряд импульсов в ноцицептивных афферентах — болевой сигнал, тогда для обезболивания нужны были бы анестетики, способные избирательно и полностью блокировать ноцицепторы, что пока практически невыполнимо. Напротив, если в ноцицептивных афферентах возможна импульсная активность, не ведущая к боли, то обезболивания можно было бы достичь частичным угнетением ноцицептивных нейронов (соответственно применяя анестетик в меньших концентрациях). При этом проводимость сигналов в других сенсорных единицах была бы также частично угнетена — однако не подавлена полностью, что очень важно. Дело в том, что во многих случаях сохранение связи пораженного органа с центральной нервной системой имеет принципиальное значение для лечения.

Сравнительно недавно нам удалось, пока еще в эксперименте, решить эту проблему. Принципиальную возможность возбуждения ноцицепторов заведомо ненотицептивными воздействиями нельзя выяснить с помощью тепловых или механических стимулов, поскольку они возбуждают ноцицепторы лишь при такой силе, когда их трудно отличить от ноцицептивных. Исходя из этого, мы выбрали химические воздействия, о которых было заведомо известно, что они ненотицептивные: например, внутриартериальное введение калия в малой концентрации и мехолина — агониста М-холинорецепторов. Согласно теории специфичности, подобные вещества не должны возбуждать ноцицепторы. Однако в результате эксперимента выяснилось, что не только эти, но и некоторые другие неболевые раздражители, например остановка кровотока в подкожной артерии (ишемия) и его возобновление (реперфузия), способны возбудить кожные С-ноцицепторы кошки. Любопытно, что ноцицептивные химические стимулы (например, высокие концентрации ацетилхолина — агониста N-холинорецепторов) вызывали в тех же сенсорных единицах более интенсивные разряды, чем неболевые агенты (например, мехолин в любых концентрациях). Таким образом, стала понятна природа ноцицептивного сигнала: им оказалось высокочастотное возбуждение (вплоть до 20 Гц) ноцицепторов. Примерная частотная граница, отделяющая ноцицептивные разряды от субноцицептивных, составляет 2 Гц.

Итак, теория специфичности одержала лишь промежуточную победу, и исторический спор двух теорий приостановлен лишь на время. Если будет установлена физиологическая роль низкочастотных (неболевых) разрядов ноцицепторов и, возможно, определено ощущение, вызываемое этими разрядами, то в этом случае придется вернуться к теории интенсивности, теперь уже только для многофункциональных сенсорных единиц. В качестве кандидатов на роль специфических (неболевых) стимулов для полимодальных афферентов могут выступать тканевые метаболиты (в соответствии с теорией тканевых интероцепторов знаменитого российского физиолога В.Н.Черниговского). Ощущения, вызываемые субноцицептивными разрядами тканевых интероцепторов, могли оказаться зудом или мышечной усталостью. “Чрезмерное” (высокочастотное) возбуждение тканевых интероцепторов являлось бы ноцицептивным сигналом. Подобное развитие ноциологии стало бы триумфом теории интенсивности. В то же время возможен и менее увлекательный сценарий дальнейшего развития теории боли: субноцицептивные разряды ноцицепторов могут оказаться всего лишь низкочастотным информационным шумом, не играющим никакой сенсорной роли. В этом случае вновь “победит” теория специфичности.

6. Биологическая медицинская кибернетика

6.1 Нервная система

Нервная система регулирует деятельность всех органов и систем, обуславливая их функциональное единство, и обеспечивает связь организма как целого с внешней средой

Структурной единицей нервной системы является нервная клетка с отростками - нейрон. Нервная система представляет собой совокупность нейронов, которые контактируют друг с другом при помощи специальных аппаратов - синапсов. По структуре и функции различают три типа нейронов:

- рецепторные, или чувствительные;
- вставочные, замыкательные (кондукторные);
- эффекторные, двигательные нейроны, от которых импульс направляется к рабочим органам (мышцам, железам).

Нервная система условно подразделяется на два больших отдела - соматическую, или анимальную, нервную систему и вегетативную, или автономную, нервную систему. Соматическая нервная система осуществляет преимущественно функции связи организма с внешней средой, обеспечивая чувствительность и движение вызывая сокращение скелетной мускулатуры. Так как функции движения и чувствования свойственны животным и отличают их от растений, эта часть нервной системы получила название анимальной (животной).

Вегетативная нервная система оказывает влияние на процессы так называемой растительной жизни, общие для животных и растений (обмен веществ, дыхание, выделение и др.), отчего и происходит ее название (вегетативная - растительная). Обе системы тесно связаны между собой, однако вегетативная нервная система обладает некоторой долей самостоятельности и не зависит от нашей воли, вследствие чего ее также называют автономной нервной системой. Ее делят на две части симпатическую парасимпатическую.

В нервной системе выделяют центральную часть - головной и спинной мозг - центральная нервная система и периферическую, представленную отходящими от головного и спинного мозга нервами, - периферическая нервная система. На разрезе мозга видно, что он состоит из серого и белого вещества.

Серое вещество образуется скоплениями нервных клеток (с начальными отделами отходящих от их тел отростков). Отдельные ограниченные скопления серого вещества носят названия ядер.

Белое вещество образуют нервные волокна, покрытые миелиновой оболочкой (отростки нервных клеток, образующих серое вещество). Нервные волокна в головном и спинном мозге образуют проводящие пути.

Периферические нервы в зависимости от того, из каких волокон (чувствительных либо двигательных) они состоят, подразделяются на чувствительные, двигательные и смешанные. Тела нейронов, отростки которых составляют чувствительные нервы, лежат в нервных узлах вне мозга. Тела двигательных нейронов лежат в передних рогах спинного мозга или двигательных ядрах головного мозга.

И.П. Павлов показал, что центральная нервная система может оказывать три рода воздействий на органы:

- 1) пусковое, вызывающее либо прекращающее функцию органа (сокращение мышцы, секрецию железы);
- 2) сосудодвигательное, изменяющее ширину просвета сосудов и тем самым регулирующее приток к органу крови;
- 3) трофическое, повышающее или понижающее обмен веществ и, следовательно потребление питательных веществ и кислорода. Благодаря этому постоянно согласуется функциональное состояние органа и его потребность в питательных веществах и кислороде. Когда к работающей скелетной мышце по двигательным волокнам направляются импульсы, вызывающие ее сокращение, то одновременно по вегетативным нервным волокнам поступают импульсы, расширяющие сосуды и усиливающие обмен веществ. Тем самым обеспечивается энергетическая возможность выполнения мышечной работы.

Центральная нервная система воспринимает афферентную (чувствительную) информацию, возникающую при раздражении специфических рецепторов и в ответ на это формирует соответствующие эфферентные импульсы, вызывающие изменения в деятельности определенных органов и систем организма.

Вся поверхность тела и все его внутренние органы пронизаны чувствительными окончаниями нервных волокон — рецепторами (от лат. *receptio* — воспринимаю). Малейшие изменения внешних условий или внутренней среды прежде всего влияют сеть рецепторов, специально приспособленные к восприятию различных раздражителей. От рецепторов по волокнам сигналы переходят к телам нервных клеток, расположенным в спинном и головном мозгу, а также в ближайших к мозгу образованиях. По другим, двигательным волокнам мозг посылает ответные сигналы к тем или иным органам. Таков основной закон работы нервной системы, носящий название рефлекса, что значит по-латыни «отражение»; вспомним слово «рефлектор». В самом деле, все действия нашего организма являются отражением тех или иных влияний, изменений во внешней или внутренней среде.

Обладая развитой функцией возбудимости, нервная система осуществляет связь организма с внешним миром и наряду с этим объединяет деятельность всех органов. Работа нервной системы осуществляется совместно с гуморальной системой. Это железы внутренней секреции.

Железы внутренней секреции выделяют в кровь вещества-регуляторы — гормоны; кроме того, в тканях образуется много других физиологически активных веществ, участвующих в управлении симфонией жизни.

Исполняя симфонию собственной жизни, организм должен и защищать ее — как в настоящем, так и в будущем. Первая из этих задач — оборона организма от болезнетворных микробов. Специальная защитная служба организма берет на себя эту оборону. Другой задачей является продолжение жизни вида. Это выполняется специальной системой органов размножения.

6.2 Электропроводность биотканей

Электропроводность - свойство вещества проводить электрический ток под действием электрического поля называют электропроводностью. Электропроводность различных веществ зависит от концентрации свободных (т. е. не связанных с атомами, молекулами или кристаллической структурой) электрически заряженных частиц. Чем больше концентрация этих частиц, тем больше электропроводность данного вещества. Все вещества в зависимости от электропроводности делят на три группы: проводники, диэлектрики (изолирующие материалы) и полупроводники.

Проводники обладают очень высокой электропроводностью. Существуют два рода проводников, которые различаются физической природой протекания электрического тока. К проводникам первого рода относятся металлы. Прохождение по ним тока обусловлено движением свободных электронов, вследствие чего их называют проводниками с электронной проводимостью. Проводниками второго рода являются растворы кислот, щелочей и солей (в основном водные), называемые электролитами. Прохождение тока через электролиты связано с движением электрически заряженных частей молекул — положительных и отрицательных ионов, т. е. электролиты являются проводниками с ионной проводимостью.

Имеются также вещества со смешанной проводимостью, в которых ток переносится электронами и ионами. К ним относятся, например, газы и пары в ионизированном состоянии. Физическая природа электропроводности металлов. Высокая электропроводность металлов хорошо объясняется на основе электронной теории.

Согласно этой теории валентные электроны сравнительно слабо связаны с их ядрами. Поэтому они свободно перемещаются между атомами, переходя из сферы действия одного атома в сферу действия другого и заполняя пространство между ними наподобие газа. Эти электроны принято называть свободными.

Свободные электроны / находятся в состоянии беспорядочного движения (рис. 10, а). Однако если внести металлический проводник в электрическое поле, то свободные электроны под действием сил поля начнут перемещаться в сторону положительного полюса (рис. 10, б), создавая электрический ток. Таким образом, электрическим током в металлических проводниках называется упорядоченное (направленное) движение свободных электронов.

Электропроводность растворов электролитов

Электропроводность ("Каппа") раствора - величина, обратная его сопротивлению R , имеет размерность Ом^{-1} . Для проводника постоянного сечения имеем

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{S}{l} = \kappa \cdot \frac{S}{l}$$

где ρ - удельное сопротивление; S - площадь сечения проводника; l - длина проводника; κ - удельная электропроводность.

Удельной электропроводностью ("каппа") раствора называется электропроводность слоя раствора длиной 1 см, заключенного между электродами площадью 1 см^2 . Она выражается в $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. В системе СИ удельная электропроводность измеряется в $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Эквивалентной электропроводностью ("лямбда") называется электропроводность такого объема раствора, в котором содержится 1 г-экв растворенного вещества; при условии, что электроды находятся на расстоянии 1 см друг от друга, она выражается в $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$.

$$\lambda = \frac{\kappa}{C} = \kappa \cdot V$$

где $V = 1/C$ - разведение (или разбавление) раствора, т.е. объем, в котором содержится 1 г-экв растворенного вещества, а C - эквивалентная концентрация (нормальность) раствора. В системе СИ эквивалентная электропроводность выражается в $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг-кв}^{-1}$.

Эквивалентная электропроводность λ растворов электролитов возрастает с ростом разбавления раствора и при бесконечном разбавлении (т.е. при бесконечно малой концентрации) достигает предельного значения, которое называется эквивалентной электропроводностью раствора при бесконечном разведении.

Электропроводность живых тканей определяется концентрацией ионов и их подвижностью. В межклеточной жидкости с максимальным содержанием носителей тока - ионов - удельная электропроводность достаточно высока - $1 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$. Напротив, в межклеточном пространстве, содержащем органеллы и крупные белковые макромолекулы, электропроводность понижается до $0,003 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$. Удельная электропроводность плазмолеммы и внутриклеточных мембран, составляющих до 50 % массы клетки, еще ниже - $(1 - 3) \times 10^{-5} \text{ См} \times \text{м}^{-1}$.

Удельная электропроводность целых органов и тканей существенно меньше, чем составляющих их сред. Ее наибольшие величины ($0,6 - 2,0 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$) имеют жидкие среды организма (кровь, лимфа, желчь, спинномозговая жидкость, моча), а также мышечная ткань ($0,2 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$). Напротив, удельная электропроводность костной, жировой, нервной ткани, а в особенности, грубо волокнистой соединительной ткани и зубной эмали значительно ниже - $10^{-3} - 10^{-6} \text{ См} \times \text{м}^{-1}$.

На сегодняшний день в клиническую практику прочно входят медицинские аппараты и системы, имеющие в своем составе, аппаратно-программные модули для определения значений импеданса биотканей. Среди них как диагностические (реографы, маммографы, томографы), так и терапевтические и хирургические системы.

Основной задачей любой системы измерения является представление достоверных данных об измеряемом объекте. Для систем измерения импеданса биологических тканей, степень этой достоверности, в свою очередь, определяется типом и состоянием биотканей, шумовой обстановкой и параметрами самой измерительной системы.

При измерении импеданса биотканей *in vivo* приходится говорить не только о базовом его значении, но и о некотором градиенте, связанном с функциональным состоянием биоткани и условиями проведения измерений (попадание в зону измерения физиологических жидкостей и других биотканей). Как правило, градиент импеданса, связанный с физиологическим состоянием биоткани, принимается во внимание при регистрации биологического процесса, вызывающего это изменение. Градиент, определяемый условиями измерения, признается артефактным и в расчет не принимается.

Таким образом, суть метода электро импеданс метрии состоит в определении характерных для данного типа биоткани значений параметров поляризации, которые выражены через физические величины электропроводности и диэлектрической проницаемости, определяемые в свою очередь ее структурным (базовым) и градиентным (функциональным) физиологическими состояниями.

Кардинальной особенностью организма человека является дисперсия электрических свойств его тканей, связанная с состоянием заряженных частиц при действии электромагнитных полей различной частоты.

Шкала электромагнитных волн

Как известно в состав различных биотканей и сред организма входят ионы, пространственно ориентированные полярные и неполярные макромолекулы различных линейных размеров и диполи воды. Разные ткани содержат их неодинаковой пропорции, поэтому каждая из них обладает различными диэлектрическими свойствами и электропроводностью.

Электропроводность живых тканей определяется концентрацией ионов и их подвижностью. В межклеточной жидкости с максимальным содержанием носителей тока – ионов – удельная электропроводность достаточно высока – $1 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$. Напротив, в цитозоле, содержащем органеллы и крупные белковые макромолекулы, она понижается до $0,003 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$. Удельная электропроводность плазмолеммы и внутриклеточных мембран, составляющих до 50 % массы клетки, еще ниже – $(1 - 3) \times 10^{-5} \text{ См} \times \text{м}^{-1}$.

Удельная электропроводность целых органов и тканей существенно меньше, чем составляющих их сред. Ее наибольшие величины ($0,6 - 2,0 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$) имеют жидкие среды организма (кровь, лимфа, желчь, спинномозговая жидкость, моча), а также мышечная ткань ($0,2 \text{ См} \times \text{м}^{-1}$). Напротив, удельная электропроводность костной, жировой, нервной ткани, а в особенности, грубоволокнистой соединительной ткани и зубной эмали значительно ниже – $10^{-3} - 10^{-6} \text{ См} \times \text{м}^{-1}$.

Диэлектрическая проницаемость характеризует поляризацию биологических тканей, обусловленную преимущественно связанными зарядами – полярными и неполярными макромолекулами различных линейных размеров и диполями воды. Ее величина для различных биологических тканей составляет $10^3 - 10^6$.

Таблица 6.1 Шкала электромагнитных волн

Вид излучения		Длина волны и частота	Применение
Радиоволны	Длинные, средние, короткие, ультракороткие	1 мм - 10 км 30 кГц-300 ГГц	Радиосвязь
	Микроволны (поддиапазон ультракоротких радиоволн)	1 мм - 1 м 300 МГц - 300 ГГц	Компьютер, Интернет, Микроволновая печь
Инфракрасное излучение		1 мм - 780 нм 300 ГГц — 429 ТГц	Отопление, приготовление пищи, стерилизация продуктов
Видимое излучение		780-380 нм 429 ТГц — 750 ТГц	Освещение
Ультрафиолетовое излучение		380 - 10 нм $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц} - 3 \cdot 10^{16} \text{ Гц}$	Лампы для загара, дезинфекция, стерилизация
Рентгеновское излучение		10 нм - 5 пм $3 \cdot 10^{16} - 6 \cdot 10^{19} \text{ Гц}$	Рентген
Гамма лучи		менее 5 пм более $6 \cdot 10^{19} \text{ Гц}$	Лучевая терапия

Исследования показали, что с увеличением частоты фонового электромагнитного поля (ЭМП) уменьшается емкостное сопротивление и импеданс мембраны клеток. Вследствие этого ЭМП частотой $10^4 - 10^8 \text{ Гц}$ воздействуют и на внутриклеточные структуры, что определяет участие в суммарной электропроводности биотканей как ионов внеклеточных и внутриклеточных структур. На более высоких частотах ионы не успевают следовать за изменениями ЭМП. Значительное увеличение удельной электропроводности происходит здесь, вероятно, за счет ориентаци-

онной поляризации молекул свободной воды, вклад которой в суммарную проводимость тканей экспериментально определить весьма сложно.

В дисперсионной зависимости диэлектрической проницаемости также выделяют несколько областей дисперсии, что указывает на различие механизмов поляризации тканей в разных частотных диапазонах ЭМП. Каждый из механизмов поляризации характеризуется своей частотой, вблизи которой запаздывание смещения (поворота) различных клеточных и субклеточных структур и биологических молекул относительно динамики ЭМП минимально.

Наличие в живых системах границ раздела с разной проводимостью делает необходимым при описании электрических свойств живых объектов пользоваться понятием емкости (C). То есть, биологические структуры обладают как активным сопротивлением R_a , так и реактивным сопротивлением R_x . Последнее в этом случае зависит от частоты и описывается формулой:

$$R_x = \frac{1}{2\pi f C}$$

Таким образом, полное сопротивление биообъекта называется его импедансом и при последовательном соединении i -го числа микрообъектов, обладающим активным сопротивлением (R_a) и реактивным, зависящим от емкости (C) определяется по формуле:

$$Z = R_a - i \frac{1}{\omega C}$$

А при параллельном соединении элементов:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_a} - i\omega C$$

Определив эквивалентные составляющие полного импеданса биотканей, представим эквивалентную импедансную схему биологического объекта.

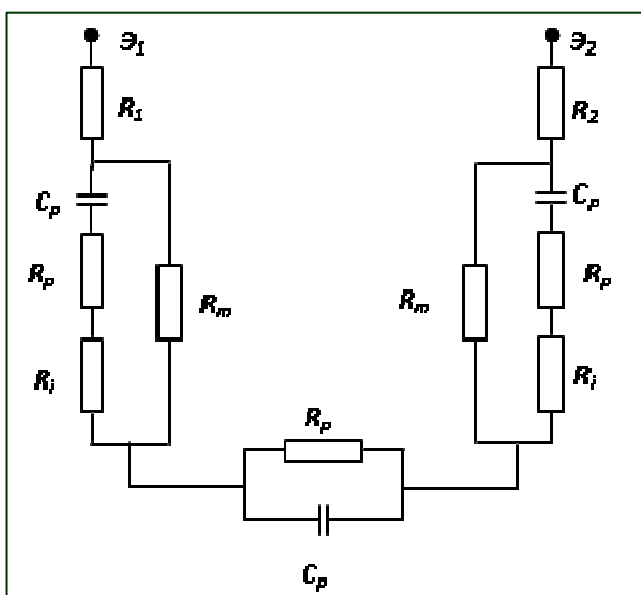


Рис. 6.1. Эквивалентная схема биологического объекта
 R_1, R_2 — активные сопротивления измерительных электродов;
 R_p, C_p — реактивные составляющие импеданса; — сопротивление цитоплазмы;
 R_m — сопротивление межклеточной жидкости.

Схемные устройства, применяемые на практике для измерения импеданса биологических объектов, весьма разнообразны и принципы их работы различны.

На постоянном токе контактные ячейки для измерения параметров жидкостей чаще всего представляют собой компенсационные схемы. Однако в этом случае сильны артефакты за счет поляризации электродов и нагрева объекта. Поэтому измерения на постоянном токе не получили широкого распространения.

Наиболее распространены приборы и устройства на переменном электрическом токе различных частот.

Схемное устройство приборов на переменном токе сложнее, чем на постоянном, однако они обладают неоценимым преимуществом, поскольку позволяют в значительной степени избавиться от влияния поляризации электродов.

Проведение измерений *in vivo*, в реальных условиях аппаратного лечебного процесса в ЛПУ (реанимация, операционная), а так же размещение измерителя в составе медицинской аппаратной системы или аппарата, всегда сопряжено с наличием широкополосного помехового фона, значения которого на частотах близких к частотам измерения, могут вносить погрешность, обусловленную как изменением реактивной составляющей полного импеданса биоткани, и дополнительными физиологическими изменениями в организме (области измерения), так и влиянием непосредственно на кабели и элементы самой измерительной системы.

Рассмотрим некоторые подходы к увеличению помехоустойчивости системы измерения импеданса биологических тканей. Одним из подходов может быть увеличение амплитуды полученного сигнала генератора.

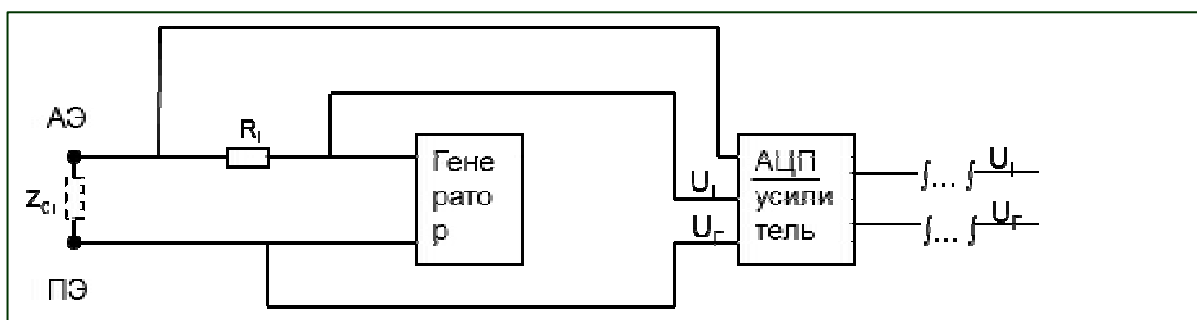


Рисунок 6.2 . Схема определения значений импеданса биотканей $Z_{бт}$ через измерение значений напряжения и тока через эти биоткани.

Измерительная система на базе приведенной схемы является самой распространенной и позволяет получать достоверные данные в классических шумовых условиях, то есть при уровне шума значительно меньшем уровня полезного сигнала. При увеличении уровня шумов, попадающих в тракт $Z_{бт}$, даже при использовании на следующих этапах дополнительных алгоритмов обработки сигнала, результаты измерения будут иметь значительный уровень погрешности, определяемый уровнем помех и их частотным распределением. Реальная помеховая обстановка может быть усугублена наличием шумов и аппаратных помех на частотах близких к частотам на которых проводятся измерения. В этом случае дальнейшая математическая обработка сигнала с целью снижения погрешности измерения является бессмысленной без внесения изменений в аппаратную часть самого измерителя. Использование приведенной на рис.2 схемы в измерительной системе предполагает использование мощных измерительных устройств ПЛИС (DSP) для обработки сигнала по двум каналам с большими значениями частоты дискретизации (до 50 МГц), а так же проведения дальнейших вычислений Z .



Рисунок 6.3 . Схема подключения аппаратного делителя к схеме определения значений импеданса биотканей $Z_{бт}$.

Введение аппаратного вычислителя Z , делителя мгновенных значений напряжения и тока, (рис. 6.3) несколько улучшит положение. Схема останется также проста в реализации и использовании, как и предыдущая, и в месте с тем, появится возможность упростить требования к используемым вычислительным устройствам в результате перехода на одноканальную обработку данных.

Изменения в схеме, показанные на рис. 6.3, не обеспечивают для системы главного – помехоустойчивости к шумам, спектр которых находится в спектре сигнала генератора. Кроме того, шумовые электромагнитные поля, воздействующие на измеряемые биоткани, могут изменять их функциональное состояние и, тем самым, приводить к девиациям биоимпеданса, что приводит к погрешности всего измерения.

Подходы реализованные на базе следующей схемы (рис. 6.4) позволят определить направление для решения задач уменьшения погрешности измерения и добиться исключения сигнала помехи на этапе перед делителем.

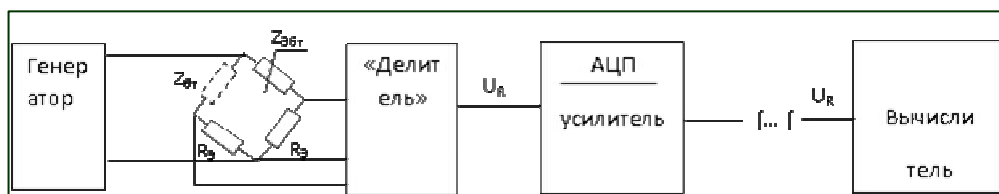


Рисунок 6.4. Схема измерения импеданса биотканей $Z_{вт}$ с компенсацией наводок

Принцип, предложенный в схеме на рис. 6.4, состоит в компенсации наводок, поступающих в тракт $Z_{вт}$ и изменяющих картину истинных значений электропроводности и диэлектрической проницаемости биотканей за счет учета одновременного изменения уровня этих наводок на эквивалентной схеме биоткани ($Z_{Эвт}$), настроенной эквивалентно в соответствии с электрическими параметрами и импедансом измеряемой биоткани. Делитель в этой схеме играет роль не вычислителя импеданса, а выполняет функцию нормализации полезного сигнала. На последующих этапах реализации алгоритмов математической обработки сигнала, может быть исключена фильтрация сигнала, являющейся рутинной для вычислителя и в этом случае он выполняет лишь расчет линейной функции импеданса.

Таким образом, как мы показали принцип компенсации, аппаратная реализация которого показана на рисунке 6.4, является предпочтительным при реализации схем измерения биоимпеданса на базе медицинских систем, работающих в сложных помеховых условиях (когда сигнал помехи по уровню и полосе частот может быть соизмерим с уровнем и частотами полезного сигнала).

Ткани организма по электрическим свойствам представляют собой весьма разнородную среду. Органические вещества (белки, жиры, углеводы и др.), из которых состоят плотные части тканей, являются по существу диэлектриками. Однако все ткани и клетки в организме содержат жидкости или омываются ими (кровь, лимфа, различные тканевые жидкости). В состав этих жидкостей кроме органических коллоидов входят растворы электролитов, поэтому они являются относительно хорошими проводниками. Примерные значения удельного сопротивления различных тканей организма по постоянному току при температуре $t=37^{\circ}\text{C}$ приведены в таблице 6.2. Наименьшим сопротивлением обладают жидкости организма (кровь, лимфа и др.), а также ткани, обильно пропитанные тканевой жидкостью, например, мышечная. Ткани с малым содержанием тканевой жидкости, уплотненные структуры (соединительная, жировая, костная ткани, сухая кожа) имеют высокое сопротивление и, соответственно, низкую электропроводность.

Таблица 6.2 Удельное сопротивление (ρ) некоторых тканей организма

Биологическая ткань	ρ [Ом. м]
Спинно мозговая жидкость	0,55
Кровь	1,66
Мышечная ткань	2,09
Мышечная ткань	14,3
Жировая ткань	33,3
Сухая кожа	10^5
Кость без надкостницы	10^7

При действии постоянного электрического тока на ткани организма, он проходит по путям с наименьшим сопротивлением, называемыми «петлями тока». Такими путями являются межклеточная жидкость, кровеносные и лимфатические сосуды и т.п. Поэтому «петли тока» в тканях организма могут быть очень сложными и захватывать отдаленные области. Ткани организма состоят из структурных элементов - клеток, которые омываются хорошо проводящей электрический ток тканевой жидкостью.

Цитоплазма, находящаяся внутри клетки, также является хорошим проводником. Они разделены между собой плохо проводящим слоем клеточной мембраны. Такая система обладает электрической емкостью. Рассмотрим процессы, происходящие в биоклетке под действием постоянного тока. При наложении внешнего электрического поля напряженностью ($r E$) в клетках происходит направленное перемещение и накопление по обе стороны мембраны ионов противоположного знака (рис. 6.5). Они создают внутреннее электрическое поле напряженностью ($r E_0$), направленное противоположно внешнему, и уменьшают его. Это внутреннее поле называется поляризационным, а явление образования поляризационного поля - поляризацией клетки.

Явление поляризации наблюдается не только в клетках, но и в макроскопических тканевых образованиях из-за наличия в них соединительнотканых оболочек и перегородок, плохо проводящих электрический ток. Под действием внешнего электрического поля происходит перераспределение обычной концентрации ионов, обусловленное различной подвижностью, задержкой и накоплением их у полупроницаемых перегородок.

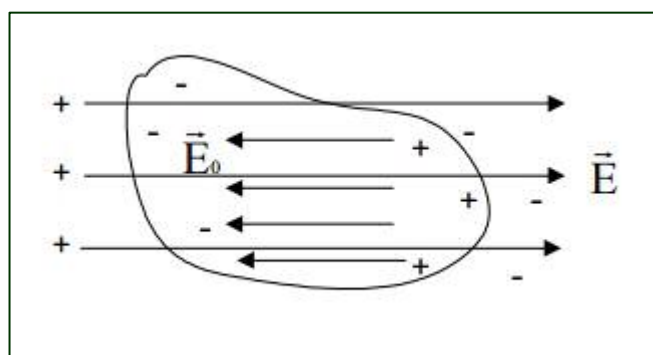


Рисунок 6.5 Схема поляризации

Таким образом, в основе первичного действия постоянного тока на ткани организма лежат преимущественно поляризационные явления, связанные с движением ионов, их разделением и изменением концентрации в разных элементах тканей.

Для биологических объектов с учетом явления поляризации закон Ома имеет вид:

$$I = \frac{U - \varepsilon(t)}{R}$$

где U - напряжение, подаваемое на биологический объект; $\varepsilon(t)$ – э. д. с. поляризации, R – сопротивление биоткани.

Э.Д.С. поляризации является функцией времени, поэтому сила тока через биологический объект устанавливается на постоянном уровне через некоторое время после наложения внешнего электрического поля. Происходящее при этом изменение тока во времени представлено на рис.6.6, где а) - значение тока при отсутствии поляризации, б) - при наличии поляризации

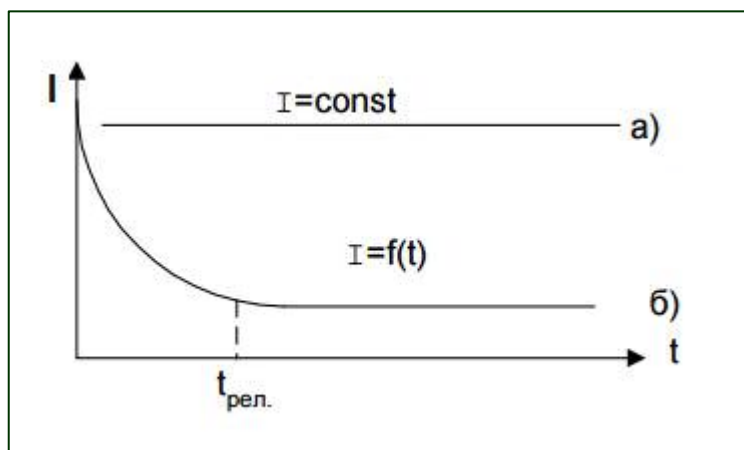


Рисунок 6.6 Схема «формирования эффекта» поляризации

Поляризация по своей природе делится на несколько видов.

1. Электронная поляризация наблюдается у диэлектриков с неполярными молекулами, не обладающими дипольным моментом в отсутствие внешнего поля. В таких молекулах (рис.6.7,а) «центры масс» положительных и отрицательных зарядов совпадают. Если неполярную молекулу поместить в электрическое поле, то электронное облако и положительное ядро несколько сместятся в противоположные стороны и молекула приобретет дипольный момент (рис 6.7,б). Время установления электронной поляризации после наложения внешнего электрического поля (время релаксации) составляет $(10-15 \div 10^{-14})$ с.

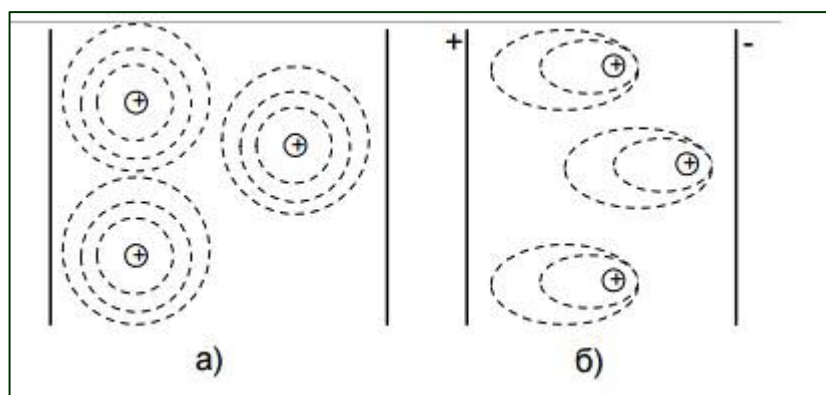


Рисунок 6.7 Электронная поляризация

2.Ионная поляризация обусловлена смещением ионов относительно кристаллической решетки во внешнем электрическом поле. Время релаксации ионной поляризации ($10^{-14} \div 10^{-12}$)с.
 3.Ориентационная поляризация характерна для диэлектриков с полярными молекулами, представляющими собой диполь (рис. 6.8 ,а.). Во внешнем электрическом поле дипольные моменты молекул будут стремиться ориентироваться вдоль силовых линий. (Рис.6.8,б). +

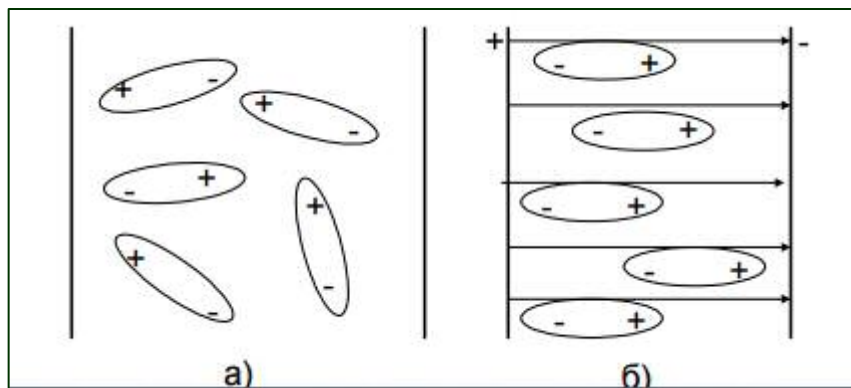


Рисунок 6.8 Ориентационная поляризация

Этот вид поляризации имеет большое значение для веществ, молекулы которых обладают большим дипольным моментом (вода, спирт, высокомолекулярные соединения). Для этого вида поляризации время релаксации изменяется в пределах ($10^{-13} \div 10^{-7}$)с.

4.Макроструктурная поляризация возникает вследствие неоднородности электрических свойств вещества. Для ее возникновения необходимо наличие слоев с различной электропроводностью. При действии электрического поля свободные ионы и электроны, находящиеся в таких слоях, перемещаются до его границы.

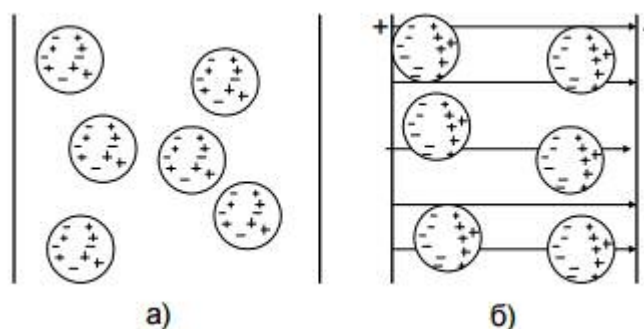


Рисунок 6.9 Схема макроструктурной поляризации

Дальнейшее их перемещение невозможно из-за низкой проводимости соседних слоев. В результате проводящая область приобретает дипольный момент и ведет себя подобно гигантской полярной молекуле (рис.6.9). Биологические объекты представляют собой гетерогенные по электрическим свойствам структуры, в основном из-за наличия мембран, обладающих очень большим сопротивлением, поэтому макроструктурная поляризация играет основную роль для биологических объектов. Время релаксации макроструктурной поляризации сравнительно невелико и составляет ($10^{-8} \div 10^{-3}$) с.

5. Поверхностная поляризация происходит на поверхностях, имеющих двойной электрический слой. При наложении внешнего поля происходит перераспределение ионов диффузной части двойного электрического слоя. Время релаксации поверхностной поляризации лежит в пределах от 10^{-3} до 1с.

6. Электролитическая поляризация возникает между электродами, опущенными в раствор электролита, при пропускании через них электрического тока. В результате электрохимических реакций в приэлектродных областях происходит перераспределение ионов и возникает э.д.с. поляризации, направленная против внешней э.д.с. Чтобы исключить электролитическую поляризацию, применяют неполяризующиеся электроды. Их изготавливают из металла, и покрывают солью того же металла. В практике часто используют свинцовые электроды, т.к. тяжелые ионы свинца, обладая малой подвижностью, почти не участвуют в образовании тока между электродами. Каждый из этих видов поляризации сводится в конечном счете к тому, что при наложении внешнего поля в тканях возникает противоположно направленное электрическое поле, которое значительно уменьшает величину внешнего поля, тем самым обуславливая высокое удельное сопротивление тканей постоянному току ($10^6 \div 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). При этом в начале возникают те виды поляризации, у которых время релаксации меньше.

Нервный импульс

Нервный импульс - волна возбуждения, которая распространяется по нервному волокну и служит для передачи информации от периферических рецепторных (чувствительных) окончаний к нервным центрам, внутри центр. нервной системы и от неё к исполнительным аппаратам - мышцам и железам. Прохождение нервного импульса сопровождается переходными электрическими процессами, которые можно зарегистрировать как внеклеточными, так и внутриклеточными электродами.

Генерацию, передачу и переработку нервного импульса осуществляет нервная система. Осн. структурным элементом нервной системы высших организмов является нервная клетка, или нейрон, состоящий из тела клетки и многочисленных отростков - дендритов (рис. 1). Один из отростков у кальмара нейрона имеет большую длину - это нервное волокно, или аксон, протяжённость которого ~ 1 м, а толщина от 0,5 до 30 мкм.

Различают два класса нервных волокон: мякотные (миелинизированные) и безмякотные. У мякотных волокон имеется миелиновая оболочка, образованная спец. мембраной, которая подобно изоляции накручивается на аксон. Протяжённость участков сплошной миелиновой оболочки составляет от 200 мкм до 1 мм, они прерываются т. н. перехватами Ранвье шириной 1 мкм. Миелиновая оболочка играет роль изоляции; нервное волокно на этих участках пассивно, электрически активна только мембрана в перехватах Ранвье. Безмякотные волокна не имеют изолированных участков; их структура однородна по всей длине, а мембрана обладает электрической активностью по всей поверхности.

Нервные волокна заканчиваются на телах или дендритах др. нервных клеток, но отделены от них промежутком шириной ~ 10 нм. Эта область контакта двух клеток наз. синапсом. Входящая в синапс мембрана аксона наз. пресинаптической, а соответствующая мембрана дендритов или мышцы - пост-синаптической.

В нормальных условиях по нервному волокну постоянно бегут серии нервных импульсов, возникающих на дендритах или теле клетки и распространяющихся по аксону в направлении от тела клетки (аксон может проводить нервный импульс в обоих направлениях). Частота этих периодических разрядов несёт информацию о силе вызвавшего их раздражения; напр., при умеренной активности частота ~ 50 -100 импульсов/с. Существуют клетки, которые разряжаются с частотой ~ 1500 импульсов/с.

Скорость распространения нервного импульса u зависит от типа нервного волокна и его диаметра d , $u \sim d^{1/2}$. В тонких волокнах нервной системы человека $u \sim 1$ м/с, а в толстых волокнах $u \sim 100$ -120 м/с.

Каждый нервный импульс возникает в результате раздражения тела нервной клетки или нервного волокна. Н. и. всегда имеет одни и те же характеристики (форму и скорость) независимо от силы раздражения, т. е. при подпороговом раздражении нервный импульс не возникает совсем, а при надпороговым - имеет полную амплитуду.

После возбуждения наступает рефракторный период, в течение которого возбудимость нервного волокна снижена. Различают абсолютный рефракторный период, когда волокно нельзя возбудить никакими раздражителями, и относительный рефракторный период, когда возбуждение возможно, но его порог оказывается выше нормы. Абсолютный рефракторный период ограничивает сверху частоту передачи нервного импульса. Нервное волокно обладает свойством аккомодации, т. е. привыкает к постоянно действующему раздражению, что выражается в постепенном повышении порога возбудимости.



Рисунок 6.10 Схема нейрона (нервная клетка)

Это приводит к снижению частоты нервных импульсов и даже к их полному исчезновению. Если сила раздражения нарастает медленно, то возбуждения может не произойти даже после достижения порога.

В основе всех физиологических реакций лежит способность живых клеток реагировать на раздражитель. Раздражитель – любое изменение внешней или внутренней среды, которое действует на клетку или многоклеточную систему (ткань, организм).

Раздражители

По природе раздражители подразделяют на:

- физические (звук, свет, температура, вибрация, осмотическое давление), особое значение для биологических систем имеют электрические раздражители;
- химические (ионы, гормоны, нейромедиаторы, пептиды, ксенобиотики);
- информационные (голосовые команды, условные знаки, условные стимулы).

По биологическому значению раздражители подразделяют на:

- адекватные – раздражители, для восприятия которых биологическая система имеет специальные приспособления;
- неадекватные – раздражители, не соответствующие природной специализации рецепторных клеток, на которые они действуют.

Раздражитель вызывает возбуждение только в том случае, если он достаточно силен. Порог возбуждения – минимальная сила раздражителя, достаточная для того, чтобы вызвать возбуждение клетки. Выражение «порог возбуждения» имеет несколько синонимов: порог раздражения, пороговая сила раздражителя, порог силы.

Возбуждение как активная реакция клетки на раздражитель

Реакция клетки на внешнее воздействие (раздражение) отличается от реакции небиологических систем следующими особенностями:

- энергией для реакции клетки служит не энергия раздражителя, а энергия, образующаяся в результате метаболизма в самой биологической системе;
- сила и форма реакции клетки не определяется силой и формой внешнего воздействия (если сила раздражителя выше пороговой).

В некоторых специализированных клетках реакция на раздражитель проявляется особенно интенсивно. Такую интенсивную реакцию называют возбуждением. Возбуждение – активная реакция специализированных (возбудимых) клеток на внешнее воздействие, проявляющаяся в том, что клетка начинает выполнять присущие ей специфические функции.

Возбудимая клетка может находиться в двух дискретных состояниях:

- состоянии покоя (готовность к реагированию на внешнее воздействие, совершение внутренней работы);
- состоянии возбуждения (активное выполнение специфических функций, совершение внешней работы).

В организме существует 3 типа возбудимых клеток:

- нервные клетки (возбуждение проявляется генерацией электрического импульса);
- мышечные клетки (возбуждение проявляется сокращением);
- секреторные клетки (возбуждение проявляется выбросом в межклеточное пространство биологически активных веществ).

Возбудимость – способность клетки переходить из состояния покоя в состояние возбуждения при действии раздражителя. Разные клетки имеют различную возбудимость. Возбудимость одной и той же клетки меняется в зависимости от ее функционального состояния.

Возбудимая клетка в состоянии покоя

Мембрана возбудимой клетки поляризована. Это означает, что имеется постоянная разность потенциалов между внутренней и наружной поверхностью клеточной мембраны, которую называют мембранный потенциал (МП). В состоянии покоя величина МП составляет $-60 \dots -90$ мВ (внутренняя сторона мембраны заряжена отрицательно относительно наружной). Значение МП клетки в состоянии покоя называют потенциалом покоя (ПП). МП клетки можно измерять, разместив один электрод внутри, а другой снаружи клетки (рис. 6.11 А).

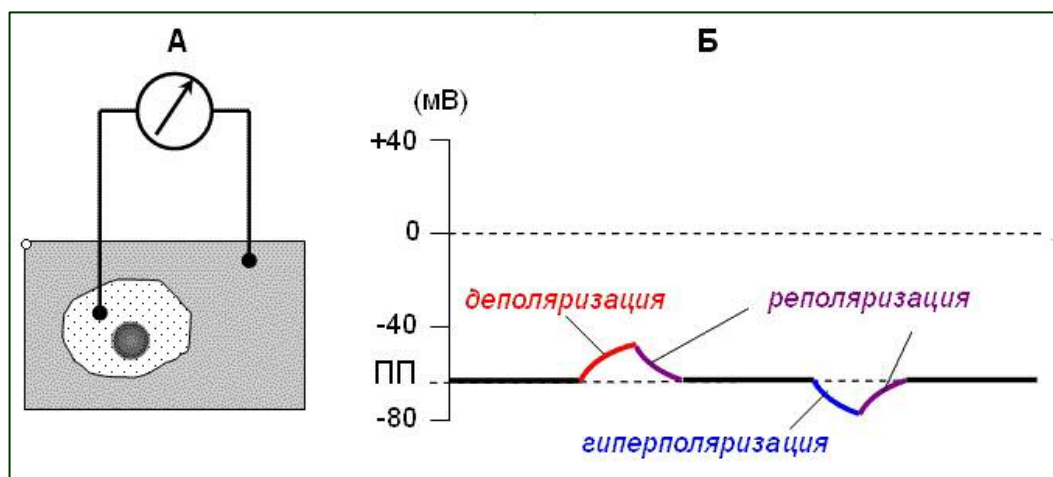


Рисунок 6.11 Схема организации возбуждения

При действии слабых (подпороговых) импульсов электрического тока в клетке развивается электротонический потенциал. Электротонический потенциал (ЭП) – сдвиг мембранного потенциала клетки, вызываемый действием постоянного электрического тока. ЭП есть пассивная реакция клетки на электрический раздражитель; состояние ионных каналов и транспорт ионов при этом не изменяется. ЭП не проявляется физиологической реакцией клетки. Поэтому ЭП не является возбуждением.

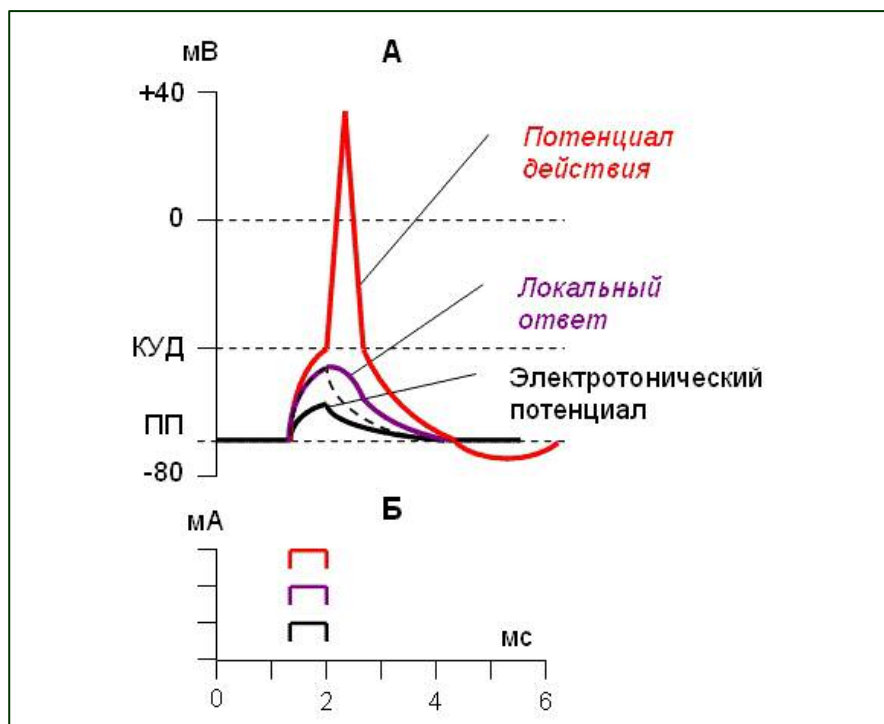


Рисунок 6.12 Схема изменения мембранного потенциала

При действии более сильного подпорогового тока возникает более пролонгированный сдвиг МП – локальный ответ. Локальный ответ (ЛО) – активная реакция клетки на электрический раздражитель, однако состояние ионных каналов и транспорт ионов при этом изменяется незначительно. ЛО не проявляется заметной физиологической реакцией клетки. ЛО называют местным возбуждением, так как это возбуждение не распространяется по мембранам возбудимых клеток. При действии порогового и сверхпорогового тока в клетке развивается потенциал действия (ПД). ПД характеризуется тем, что значение МП клетки очень быстро уменьшается до 0 (деполяризация), а затем мембранный потенциал приобретает положительное значение (+20...+30 мВ), т. е. внутренняя сторона мембраны заряжается положительно относительно наружной. Затем значение МП быстро возвращается к исходному уровню. Сильная деполяризация клеточной мембраны во время ПД приводит к развитию физиологических проявлений возбуждения (сокращение, секреция и др.). ПД называют распространяющимся возбуждением, поскольку, возникнув в одном участке мембраны, он быстро распространяется во все стороны.

Механизм развития ПД практически одинаков для всех возбудимых клеток. Механизм сопряжения электрических и физиологических проявлений возбуждения различен для разных типов возбудимых клеток (сопряжение возбуждения и сокращения, сопряжение возбуждения и секреции).

Устройство клеточной мембраны возбудимой клетки

В механизмах развития возбуждения участвуют 4 вида ионов: K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Cl^- (ионы Ca^{++} участвуют в процессах возбуждения некоторых клеток, например кардиомиоцитов, а ионы Cl^- – важны для развития торможения). Мембрана клетки, представляющая собой липидный бислой, непроницаема для этих ионов. В мембране существуют 2 типа специализированных интегральных белковых систем, которые обеспечивают транспорт ионов через клеточную мембрану: ионные насосы и ионные каналы.

Ионные насосы и трансмембранные ионные градиенты

Ионные насосы (помпы) – интегральные белки, которые обеспечивают активный перенос ионов против градиента концентрации. Энергией для транспорта служит энергия гидролиза АТФ. Различают Na^+ / K^+ помпу (откачивает из клетки Na^+ в обмен на K^+), Ca^{++} помпу (откачивает из клетки Ca^{++}), Cl^- помпу (откачивает из клетки Cl^-).

В результате работы ионных насосов создаются и поддерживаются трансмембранные ионные градиенты:

- концентрация Na^+ , Ca^{++} , Cl^- – внутри клетки ниже, чем снаружи (в межклеточной жидкости);
- концентрация K^+ внутри клетки выше, чем снаружи.

Ионные каналы

Ионные каналы – интегральные белки, которые обеспечивают пассивный транспорт ионов по градиенту концентрации. Энергией для транспорта служит разность концентрации ионов по обе стороны мембраны (трансмембранный ионный градиент).

Неселективные каналы обладают следующими свойствами:

- пропускают все типы ионов, но проницаемость для ионов K^+ значительно выше, чем для других ионов;
- всегда находятся в открытом состоянии.

Селективные каналы обладают следующими свойствами:

- пропускают только один вид ионов; для каждого вида ионов существует свой вид каналов;
- могут находиться в одном из 3 состояний: закрытом, активированном, инактивированном.

Избирательная проницаемость селективного канала обеспечивается селективным фильтром, который образован кольцом из отрицательно заряженных атомов кислорода, которое находится в самом узком месте канала.

Изменение состояния канала обеспечивается работой воротного механизма, который представлен двумя белковыми молекулами. Эти белковые молекулы, так называемые активационные ворота и инактивационные ворота, изменяя свою конформацию, могут перекрывать ионный канал.

В состоянии покоя активационные ворота закрыты, инактивационные ворота открыты (канал закрыт) (рис. 6.13). При действии на воротную систему сигнала активационные ворота открываются и начинается транспорт ионов через канал (канал активирован). При значительной деполяризации мембраны клетки инактивационные ворота закрываются и транспорт ионов прекращается (канал инактивирован). При восстановлении уровня МП канал возвращается в исходное (закрытое) состояние.

В зависимости от сигнала, который вызывает открытие активационных ворот, селективные ионные каналы подразделяют на:

- хемочувствительные каналы – сигналом к открытию активационных ворот является изменение конформации ассоциированного с каналом белка-рецептора в результате присоединения к нему лиганда;
- потенциалчувствительные каналы – сигналом к открытию активационных ворот является сни-

жение МП (деполяризация) клеточной мембраны до определенного уровня, который называют критическим уровнем деполяризации (КУД).

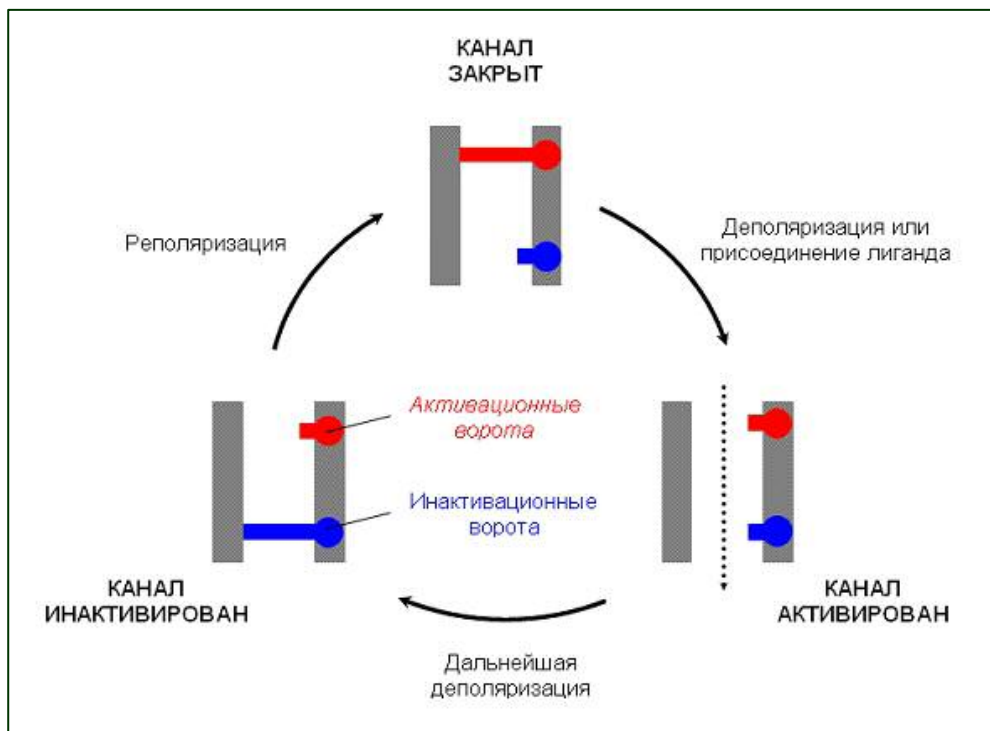


Рисунок 6.13. Схема состояния селективного ионного канала

Механизм формирования потенциала покоя

Мембранный потенциал покоя образуется главным образом благодаря выходу K^+ из клетки через неселективные ионные каналы. Утечка из клетки положительно заряженных ионов приводит к тому, что внутренняя поверхность мембраны клетки заряжается отрицательно относительно наружной.

Мембранный потенциал, возникающий в результате утечки K^+ , называют «равновесным калиевым потенциалом» (E_K). Его можно рассчитать по уравнению Нернста

$$E_K = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_{нар}}{[K^+]_{вн}}$$

где R – универсальная газовая постоянная,

T – температура (по Кельвину),

F – число Фарадея,

$[K^+]_{нар}$ – концентрация ионов K^+ снаружи клетки,

$[K^+]_{вн}$ – концентрация ионов K^+ внутри клетки.

ПП, как правило, очень близок к E_K , Эта разница объясняется тем, что свой вклад в формирование ПП вносят:

- поступление в клетку Na^+ и Cl^- через неселективные ионные каналы; при этом поступление в клетку Cl^- дополнительно гиперполяризует мембрану, а поступление Na^+ – дополнительно депо-

лярирует ее; вклад этих ионов в формирование ПП невелик, так как проницаемость неселективных каналов для Cl^- и Na^+ в 2,5 и 25 раза ниже, чем для K^+ ;

- прямой электрогенный эффект Na^+/K^+ ионного насоса, возникающий в том случае, если ионный насос работает асимметрично (количество переносимых в клетку ионов K^+ не равно количеству выносимых из клетки ионов Na^+).

Механизм развития потенциала действия

В потенциале действия выделяют несколько фаз (рис. 6.14):

- фаза деполяризации;
- фаза быстрой реполяризации;
- фаза медленной реполяризации (отрицательный следовый потенциал);
- фаза гиперполяризации (положительный следовый потенциал).

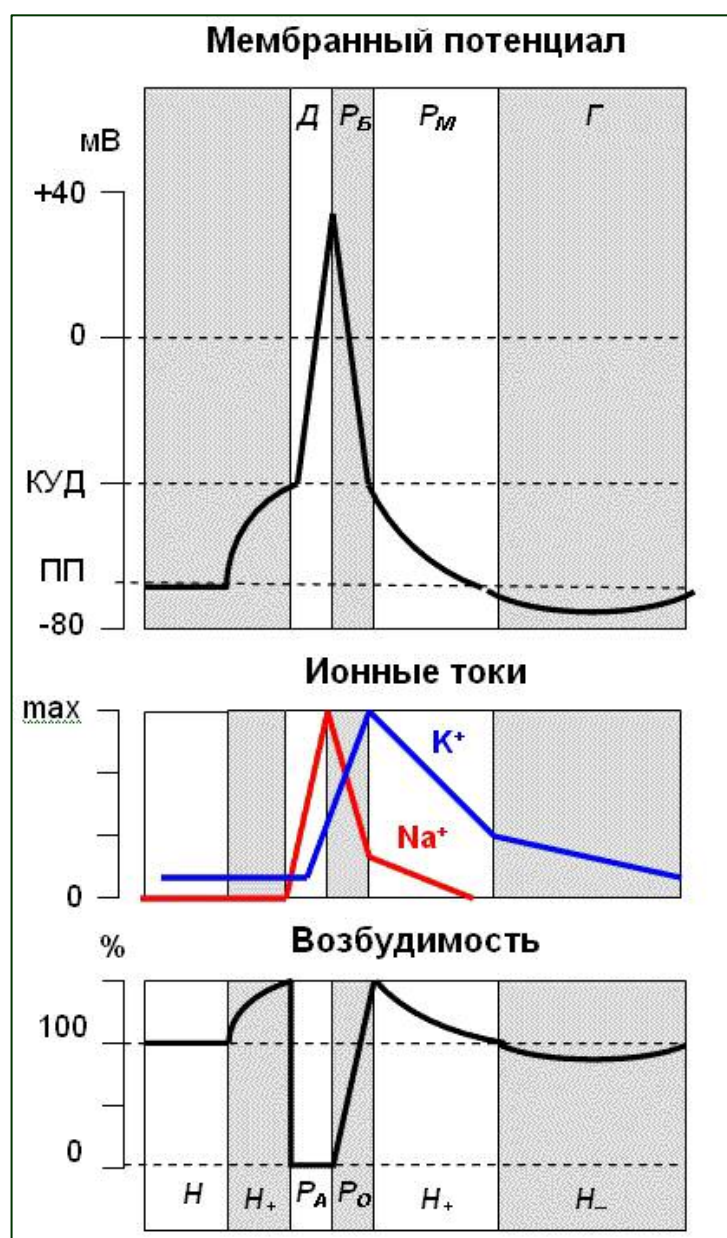


Рисунок 6.14 Изменение мембранного потенциала

Изменение мембранного потенциала, интенсивности калиевого и натриевого трансмембранного тока и возбудимости клетки в разные фазы потенциала действия.

Д – фаза деполяризации, Рб – фаза быстрой реполяризации, Рм – фаза медленной реполяризации, Г – фаза гиперполяризации;

Н – период нормальной возбудимости, Ра – период абсолютной рефрактерности, Ро – период относительной рефрактерности, Н+ – период супернормальной возбудимости, Н- – период субнормальной возбудимости

Фаза деполяризации. Развитие ПД возможно только при действии раздражителей, которые вызывают деполяризацию клеточной мембраны. При деполяризации клеточной мембраны до критического уровня деполяризации (КУД) происходит лавинообразное открытие потенциалчувствительных Na⁺-каналов. Положительно заряженные ионы Na⁺ входят в клетку по градиенту концентрации (натриевый ток), в результате чего мембранный потенциал очень быстро уменьшается до 0, а затем приобретает положительное значение. Явление изменения знака мембранного потенциала называют реверсией заряда мембраны.

Фаза быстрой и медленной реполяризации. В результате деполяризации мембраны происходит открытие потенциалчувствительных K⁺-каналов. Положительно заряженные ионы K⁺ выходят из клетки по градиенту концентрации (калиевый ток), что приводит к восстановлению потенциала мембраны. В начале фазы интенсивность калиевого тока высока и реполяризация происходит быстро, к концу фазы интенсивность калиевого тока снижается и реполяризация замедляется.

Фаза гиперполяризации развивается за счет остаточного калиевого тока и за счет прямого электрогенного эффекта активировавшейся Na⁺ / K⁺ помпы.

Овершут – период времени, в течение которого мембранный потенциал имеет положительное значение.

Пороговый потенциал – разность между мембранным потенциалом покоя и критическим уровнем деполяризации. Величина порогового потенциала определяет возбудимость клетки – чем больше пороговый потенциал, тем меньше возбудимость клетки.

Изменение возбудимости клетки при развитии возбуждения

Если принять уровень возбудимости клетки в состоянии физиологического покоя за норму, то в ходе развития цикла возбуждения можно наблюдать ее колебания. В зависимости от уровня возбудимости выделяют следующие состояния клетки

- Супернормальная возбудимость (экзальтация) – состояние клетки, в котором ее возбудимость выше нормальной. Супернормальная возбудимость наблюдается во время начальной деполяризации и во время фазы медленной реполяризации. Повышение возбудимости клетки в эти фазы ПД обусловлено снижением порогового потенциала по сравнению с нормой.
- Абсолютная рефрактерность – состояние клетки, в котором ее возбудимость падает до нуля. Никакой, даже самый сильный, раздражитель не может вызвать дополнительного возбуждения клетки. Во время фазы деполяризации клетка невозбудима, поскольку все ее Na⁺-каналы уже находятся в открытом состоянии.
- Относительная рефрактерность – состояние, в котором возбудимость клетки значительно ниже нормальной; только очень сильные раздражители могут вызвать возбуждение клетки. Во время фазы реполяризации каналы возвращаются в закрытое состояние и возбудимость клетки постепенно восстанавливается.
- Субнормальная возбудимость характеризуется незначительным снижением возбудимости клетки ниже нормального уровня. Это уменьшение возбудимости происходит вследствие возрастания порогового потенциала во время фазы гиперполяризации.

Заключение

Условием существования живых организмов является постоянство внутренней среды. Гомеостазис (от греческого «гомео» – тот же, «стазис» – состояние) рассматривается биологами как способность биологических систем противостоять изменениям внешней среды и сохранять состояние равновесия. Например, только благодаря механизмам поддержания гомеостаза некоторые растения могут жить на ядовитых отвалах рудников. Есть растения – концентраторы металлов – алюминия, молибдена, никеля, свинца, стронция. При этом для предотвращения отравления тканей в растениях синтезируются специфические белки (определяющие устойчивость к высоким концентрациям металлов), изменяются количество и качество корневых выделений, тяжелые металлы связываются в клетках дубильными веществами и органическими кислотами. Механизмы поддержания гомеостаза исторически закреплены и направлены на повышение устойчивости организма в онтогенезе, что обеспечивает успех в воспроизведении потомства.

Развитие – это борьба двух противоположных тенденций – сохранение гомеостаза и поиск новых организационных форм, уменьшающих локальную энтропию.

Этапность развития органического мира, на которой в значительной мере базируется периодизация геологической истории, – твердо установленный факт. Однако общая теория этапности разработана еще очень слабо, особенно это касается наиболее принципиального ее раздела «О закономерностях перехода от одного этапа к другому». До сих пор обычно недооцениваются изменения биоценологических связей в экосистемах прошлого, вызывавшиеся появлением новых групп организмов. Вместе с тем чрезвычайно большое внимание уделяется возможной роли глобальных катастроф.

Согласно концепции прерывистого равновесия, разработанной американскими исследователями С.Гоулдом, Н.Элдриджем и С.Стэнли, эволюция, во всяком случае на видовом уровне, по крайней мере в 95% случаев идет не непрерывно, а своего рода скачками. Предполагается, что виды остаются практически неизменными на протяжении буквально миллионов лет, а затем за несколько десятков или сотен лет происходит формирование новых видов. Переход от вида к виду совершается в ее свете не посредством скачка в одном поколении, а путем накопления мутации и отбора. Всякое значительное изменение экологических условий влечет за собой перестройку всей организации сообщества животных.

Например, у животных, ведущих одинокий образ жизни, в случае необходимости возникает строгая иерархическая структура. В период нехватки корма такая организация сообщества определяет очередность доступа к пище. Доминирование может не только разделять, но и объединять животных, оно способствует процессу локализации, образованию структуры в сообществе взамен агрессивных взаимодействий особей.

Биологические системы обладают способностью сохранять и передавать информацию в виде структур и функций, возникших в прошлом в результате длительной эволюции.

Открыты подвижные генетические элементы, которые оказались замешаны в таких общебиологических явлениях, как азотфиксация, злокачественный рост клеток, работа иммунной системы и приспособление бактерий к антибиотикам, нестабильные мутации, материнская наследственность.

Нестойкое, нестабильное состояние гена, когда он начинает мутировать в десятки, сотни раз чаще обычного, связано не с изменениями внутри самого гена, а с введением в район его расположения определенного «контролирующего» элемента, способного блуждать по хромосомам. Эти элементы влияют на «включение» и «выключение» генов, т.е. на темп наследственной изменчивости. Одно из самых удивительных открытий для генетиков в последние 15-20 лет состояло в осознании повсеместности подвижных элементов, общности их строения и причастности к самым разным генетическим явлениям. Подвижные гены имеют на одном и другом конце повторы. Такие генетические тексты, обрамленные повторами, начинают вести свою отдельную от общей наследственной системы жизнь.

Именно такого рода структуры получают возможность увеличивать число своих копий в хромосомах. Они подчиняют своему звучанию близлежащие гены, которые либо замолкают, либо

усиливают активность, либо начинают работать в другом режиме. Включив в свой состав участок ДНК, отвечающий за самоудвоение, подвижный элемент превращается в плазмиду, которая самостоятельно размножается вне дочерней хромосомы у бактерий и вне ядра в клетках высших организмов.

В классической генетике: мутация возникает случайно; им подвержены единичные особи; их частота очень мала. В «подвижной генетике» изменения не случайны, зависят от типа подвижного элемента; им подвержены много особей; их частота велика, может достигать десятка процентов.

Именно с мобильностью активных элементов связывают обнаруженные в природных популяциях дрожифил регулярные вспышки мутации определенных генов. Темп мутационного процесса непостоянный, так, время от времени популяции или виды вступают в «мутационный» период. Самое поразительное открытие в генетике за последнее время – это возможность с помощью мобильных элементов переносить гены или группы генов от одних видов к другим (иногда к самым далеким), т.е. благодаря перемещающимся элементам генофонды всех организмов объединены в общий генофонд всего живого мира. Это особенно ярко продемонстрировали плазмиды с детерминантами устойчивости к антибиотикам в колоссальном эксперименте, невольном поставленном человеком на бактериях.

С помощью генсектицидов человек расширяет эксперимент на насекомых, и в ответ их популяции, вероятно, охватываются определенными, быстро распространяющимися генетическими элементами, повышающими устойчивость организма («генетическая экспансия»). Предполагается, что когда-то в клетках насекомых поселились бактерии – симбионты, которые постепенно передали большинство своих генов в ядро и превратились в митохондрии и пластиды. Это замечательный пример переноса генов от про- к эукариотам. Способность клеток одного вида воспринимать ДНК от других, иногда эволюционно далеких видов, возможность горизонтального переноса генов считается «одним из главных чудес XX века». Классическая генетика гласит: каждый ген располагается на своей хромосоме и занимает на ней строго фиксированное положение. Сейчас известно много вариантов перемещающихся элементов, которые могут менять свое место на хромосоме и даже перемещаться с хромосомы на хромосому. Таким образом могут рождаться новые признаки организма.

Однако способность системы обмениваться информацией с внешней средой, увеличивать или уменьшать число элементов-признаков, сохранять устойчивость еще не делает эту систему развивающейся. Порождаемая неравновесными внешними условиями неустойчивость приводит к увеличению интенсивности диссипации, вследствие чего создаются условия возникновения новой неустойчивости. Иными словами, в системе увеличивается интенсивность протекания некоторых необратимых процессов, благодаря чему и отклонение системы от равновесия становится еще большим. Это означает, что вероятность существования такого класса флуктуаций, по отношению к которым новые процессы становятся неустойчивыми, возрастает.

С другой стороны, если бы в результате возникновения неустойчивости интенсивность диссипации снижалась, то система по своим свойствам приблизилась бы к некоторой равновесной замкнутой системе, т.е. к состоянию, в котором затухают любые флуктуации. Такой механизм можно изобразить следующим образом (И.Р.Пригожин, И.Стенгерс):

Интенсивность диссипации, т.е. увеличение энтропии, можно связать с интенсивностью роста числа новых элементов-признаков в системе. Если флуктуации вызывают интенсивный рост новых элементов и между ними не успевают образовываться связи, организация системы нарушается, энтропия возрастает, система становится структурно неустойчивой.

Существование неустойчивости можно рассматривать как результат флуктуации, которая сначала была локализована в малой части системы, а затем распространилась и привела к новому макроскопическому состоянию.

Исследования школы Пригожина показали, что понятия структурной устойчивости и порядка через флуктуации применимы к системам различной природы, в том числе экономическим, социальным: «Пределов для структурной устойчивости не существует. Неустойчивости могут возникать в любой системе, стоит лишь ввести подходящие возмущения. Мутации и «новорож-

денные» элементы возникают стохастически и собираются в единую систему господствующими в данный момент детерминистическими принципами. Это позволяет нам надеяться на непрерывную генерацию «новых типов» и «новых идей», которые могут быть включены в структуру системы, обеспечивая тем самым ее непрерывное развитие».

Удаленность от равновесия, нелинейность может служить причиной возникновения упорядоченности в системе. Биологическая упорядоченность, генерация когерентного света лазером, возникновения пространственной и временной упорядоченности в химических реакциях и гидродинамике, автоволны в различных средах, наконец, функционирование экосистем в животном мире или жизнь человеческого общества – все эти примеры являются поразительной иллюстрацией явлений самоорганизации, образования диссипативных структур. Эти структуры наряду с замечательными регуляторными свойствами проявляют необычайную гибкость и разнообразие. Как показали работы школы Пригожина, важнейшей общей чертой широкого класса процессов самоорганизации является потеря устойчивости и последующий переход к устойчивым диссипативным структурам. В точке изменения устойчивости в результате ветвления должны возникнуть по меньшей мере два решения, соответствующие устойчивому, близкому к равновесному состоянию и диссипативной структуре.

Для диссипативных структур характерна устойчивость, которая одновременно является структурной и функциональной.

Эволюцию можно рассматривать как проблему структурной устойчивости. Система не всегда является структурно устойчивой, причем эволюция диссипативной структуры определяется последовательностью событий в соответствии со схемой (Г.Николис, И.Р.Пригожин).

Шмальгаузен в качестве одного из факторов эволюции выделял борьбу за существование. Согласно теории конкуренции, близкие виды могут населять район лишь в том случае, если они эффективно делят между собой необходимые ресурсы.

Хатгинсон провозгласил принципиально новую программу изучения неравновесных сообществ, чьи принципы организации коренным образом отличаются от тех, к которым привыкли экологи, рассматривающие сообщество как жестко организованную совокупность видов.

В альтернативном подходе прямая конкуренция за пищу подменяется сложными и динамичными информационными связями. В зависимости от условий метаболиты (продукты жизнедеятельности) данного вида либо угнетают, либо, наоборот, стимулируют размножение других видов. При этом возможны как негативные, так и позитивные межвидовые отношения. Разные виды не только не стремятся окончательно вытеснить друг друга, но как бы «удерживают» в сообществе те виды, численность которых падает ниже определенного уровня.

В теории конкуренции выражена концепция детерминизма; конкуренция определяет численность, облик и эволюцию существующих видов, потребляющих одну и ту же пищу. Другая парадигма: близкие виды, расположенные в экосистеме на одном трофическом уровне, всегда живут среди избытка пищи, поскольку их численность эффективно ограничивается сложным комплексом причин, в том числе и конкуренцией.

Согласно этой парадигме биологическое сообщество можно рассматривать как диссипативную структуру, которая, находясь в неравновесном состоянии, постоянно ведет обмен с внешней средой.

В исходной неупорядоченной системе за счет последовательно реализующихся неравновесных неустойчивостей, за счет когерентного поведения элементов может возникнуть функциональная организованность.

Приведем пример из нового быстро развивающегося научного направления – адаптологии. Клод Бернар назвал приспособление адаптационно-итоговой проблемой всей физиологии. Адаптация человека и животных представляет собой процесс, в течение которого организм приобретает отсутствовавшую ранее устойчивость к определенным факторам среды и в результате решает задачи, ранее несовместимые с жизнью.

При всем разнообразии приспособительных процессов в них есть сходство. На первом этапе адаптации к любому новому фактору организм подходит к максимуму своих возможностей, к критической (бифуркационной) точке. Если человек или животное не погибает, а фактор по-

прежнему действует, то возможности живой системы возрастают, и на смену аварийной стадии в большинстве случаев приходит стадия эффективной и устойчивой привычки (возникает диссипативная структура).

Согласно учению Ухтомского, формирование систем, обеспечивающих адаптацию, происходит следующим образом. Под влиянием внешних раздражителей в организме формируются, сменяя друг друга, созвездия возбужденных нервных центров – доминанты. Именно доминанты обеспечивают приспособление организма к среде, его выживание, а если надо – и преобразующее влияние на среду. В доминирующей системе образуется структура, которая увеличивает мощность системы и становится материальной основой долговременной адаптации (например, после перенесенных заболеваний сердца – рост сердца в целом, соотношение структур в клетках сердца меняется так, что орган в целом становится более мощным и эффективным). Стресс – реакция (флуктуация) нужна для того, чтобы возникла доминирующая в адаптации система и образовался структурный след (новая структура, обеспечивающая новый способ функционирования).

Доминирующая система работает под нагрузкой, в ее клетках возрастает производство нуклеиновых кислот и белков, строятся новые структуры. Смотря по тому, к какому фактору приспособляется организм, доминирующая система и ее след выглядят по-разному. Но этот след всегда увеличивает мощность системы, материально обеспечивает переход к долговременной адаптации. Как и любая другая архитектура, архитектура системного структурного следа есть отражение задачи, которую среда выдвигает перед организмом.

Перед современным человеком чаще возникают задачи, требующие не физической, а умственной адаптации. При обучении – формировании условных рефлексов, навыков, идей возбуждение нейронов в высших отделах мозга активизирует в них производство нуклеиновых кислот и белков. Белки из тела нейронов поступают в отростки, которыми нервные клетки контактируют между собой. Так, перестраиваются межнейронные связи, возникают новые нейронные сети.

Сегодня модели нейронных и иммунных сетей строятся в рамках представлений о диссипативных структурах. Переход системы после критической точки из неустойчивого состояния к устойчивому (к диссипативной структуре) можно рассматривать как качественный скачок в развитии системы, в результате которого возросла организованность, упорядоченность системы. Место нервной клетки в структуре мозга определяется очень рано – у млекопитающих и человека в основном до рождения, и это место далеко не случайно. Это не значит, что структура мозга генетически полностью предопределена. Связи формируются преимущественно после рождения, а следовательно, в различной мере зависимы от внешней среды. Некоторые связи будут обязательно, другие могут быть, а могут и не быть, третьи могут оказаться патологическими. Поэтому нормальное развитие мозга зависит от гармонии усложнения внутренней и внешней среды организма. При этом для человека наиболее существенным фактором внешней среды, гармонизирующим внутреннюю структуру мозга, являются другие люди.

Работы нейрофизиологов в области исследования пространственной организации как отдельных образований, так и целых систем мозга показали, что структурно-функциональной единицей мозга служит не отдельный нейрон, а популяция нейронов, пространственно организованная в виде вертикальной колонки, расположенная в одном или нескольких слоях коры. Эволюционные преобразования мозга в определяющей мере зависят от изменений взаиморасположения элементов, т.е. от изменений конструкций, как отдельных структур мозга, так и мозга в целом. И в меньшей степени – от изменений самих элементов.

Выявлена зависимость между увеличением вертикальной упорядоченности и усложнением функций мозга. Максимальная величина упорядоченности соответствовала наиболее новым и сложноорганизованным формациям коры мозга человека, имеющим отношение к восприятию речи, ее воспроизводству.

До сих пор ведущим фактором эволюции мозга считается амаболия, т.е. количественное накопление или надбавка элементов. В подтверждение этого приводятся данные о том, что эволюционно новейшие образования – новая кора и ассоциативные области новой коры – максимально представлены в мозге человека. Но дело в том, что по мере относительного увеличения новейших формаций в мозге млекопитающих происходило столь же значительное относительное уменьше-

ние эволюционно более старых образований, и они минимально представлены именно в мозге человека. Этот факт показывает, что значение того или иного образования определяется не его массой, а мерой взаимодействия с другими образованиями (структурой). Несмотря на чрезвычайную сложность реконструкции эволюции мозга, можно предположить, что увеличение массы мозга и эволюционно новых образований сопровождалось не столько накоплением элементов, сколько увеличением вариантов взаиморасположения (степенью упорядоченности элементов). Именно одновременное относительное увеличение новых и уменьшение старых образований в конечном счете и решали одинаковую для всех видов задачу взаимодействия со средой.

Литература

1. Анохин П.К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979. Kryukov V.I. An attention model based on the principle of dominantia. // *Proceedings in Nonlinear Science. Neurocomputers and Attention I: Neurobiology, Synchronization and Chaos*. 1989. Ed. by A.Y. Holden and V.I. Kryukov. PP. Функциональные системы организма / Под ред. К.В. Судакова. М.: Медицина, 1987.
2. Умрюхин Е.А. Механизмы мозга: информационная модель и оптимизация обучения. М. 1999. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986, 288 с.
3. Powers W. T. (1973): «Behavior: the Control of Perception», (Aldine, Chicago).
4. Powers W. T. (1989): »Living control systems», (Control Systems Group, Gravel Switch: KY).
5. Соколов Е.Н. Концептуальная рефлекторная дуга // *Вопросы кибернетики: нейрокибернетический анализ механизмов поведения* / Под. Ред. Е.Н. Соколова, Л.А. Шмелева. М.: Научный АН СССР «Кибернетика», 1985. Чернавский Д.С. Ссылка будет добавлена позднее.
6. Жданов А.А. Метод автономного адаптивного управления. Изв. РАН. Теория и системы управления, 1999. N.5.
7. Пригожин И., М. Стенгерс Порядок из хаоса М., Прогрес 1986
8. Белик Д.В., Белик К.Д. Контрактивная биоэлектрокинетика. Аспекты лечебного применения физиовоздействий. Научное издание. – Новосибирск: Сибирское книжное издательство, 2005. Белик Д.В. Импедансная электрохирургия. – Новосибирск: Наука, 2000.
9. Ратнер В.А. Блочно-модульный принцип организации и эволюции молекулярно-генетических систем управления (МГСУ) // *Генетика*. 1992. Т.28. N.2. Ратнер В.А. Молекулярно-генетическая система управления // *Природа*, 2001, N.3,
10. Редько В.Г. Адаптивный сайзер // *Биофизика*. 1990. Т.35. Вып.6.
11. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991, Аулик И.В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте. М.: Медицина, 1999.
12. Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. М.: МГУ, 1992.
13. Физическая культура студента. Учебник для студентов вузов/ Под общ. Ред. В.И. Ильинича. – М.: Гардарики, 2003.