

Кровь, например, более вязкая, чем вода. При движении по сосудистой системе она испытывает сопротивление, обусловленное внутренним трением. Чем сосуды тоньше, тем больше трение и тем больше падает давление крови.

Малое трение в суставах объясняется их гладкой поверхностью, наличием синовиальной жидкости, играющей роль своеобразной смазки. Такую же роль при проглатывании пищи играет слюна.

Трение мышц или сухожилий о кость уменьшается благодаря выделению специальной жидкости сумками, в которых они расположены. Число таких примеров можно продолжить.

Значительное трение существенно для рабочих поверхностей органов движения. Необходимым условием перемещения является надежное сцепление между движущимся телом и опорой. Сцепление достигается либо заострениями на конечностях (когти, острые края копыт, подковные шипы), либо мелкими неровностями, например щетинками, чешуйками, бугорками и т. д.

Давление жидкостей и газов.

Роль атмосферного давления в жизни живых организмов. На тело человека, площадь поверхности которого при массе 60 кг и росте 160 см примерно равна $1,6 \text{ м}^2$, действует сила 160000 Н, обусловленная атмосферным давлением. Каким же образом выдерживает организм такие огромные нагрузки?

Это достигается за счет того, что давление жидкостей, заполняющих сосуды тела, уравнивает внешнее давление.

С этим же вопросом тесно связана возможность нахождения под водой на большой глубине. Дело в том, что перенесение организма на другой уровень вызывает расстройство его функций. Это объясняется деформацией стенок сосудов, рассчитанных на определенное давление изнутри и снаружи. Кроме того, меняется при изменении давления и скорость многих химических реакций, вследствие чего меняется и химическое равновесие организма. При увеличении давления происходит усиленное поглощение газов жидкостями тела, а при его уменьшении — выделение растворенных газов. При быстром уменьшении давления вследствие интенсивного выделения газов кровь как бы закипает, что приводит к закупорке сосудов, нередко со смертельным исходом. Этим определяется максимальная глубина, на которой могут производиться водолазные работы (как правило, не ниже 50 м). Опускание и поднятие водолазов должно происходить очень медленно, чтобы выделение газов происходило только в легких, а не сразу во всей кровеносной системе.

Работа органов, действующих за счет атмосферного давления.

Механизм сосания. Мышечным усилием (сокращением мышц языка, нёба и др.) создается отрицательное давление (разрежение) в ротовой полости, и атмосферное давление вталкивает туда порцию жидкости.

Механизм действия разного рода присосок. Присоски имеют форму полушарообразной чаши с липкими краями и сильно развитой мускулатурой, прижимаются к добыче, затем объем присоски увеличивается; примером могут служить

присоски пиявок и головоногих, либо состоят из ряда складок кожи в виде узких карманов. Края прикладываются к поверхности, на которой надо держаться; при попытке оттянуть присоску глубина карманов увеличивается, давление в них уменьшается, и атмосферное давление (для водных животных давление воды) сильнее прижимает присоску к поверхности. Например, рыба-прилипала, или ремора, обладает присоской, которая занимает почти всю длину головы. Эта рыба присасывается к другим рыбам, камням, а также к лодкам и кораблям. Она присасывается так прочно, что ее легче разорвать, чем отцепить. Благодаря этому она может служить своеобразным рыболовным крючком.

Ускорения в авиации. Когда тело испытывает ускорение, то говорят, что оно подвергается перегрузке. Величину перегрузок характеризуют отношением ускорения движения a к ускорению свободного падения g :

$$k = a/g$$

При прыжке с парашютом возникают большие ускорения и, следовательно, перегрузки. Основным фактором, определяющим перегрузку при раскрытии парашюта, является скорость падения парашютиста, причем перегрузка зависит от квадрата скорости падения. Изменение плотности воздуха с высотой при данной истинной скорости падения почти не влияет на перегрузку, создающуюся при раскрытии парашюта. Однако при выполнении прыжков на больших высотах перегрузка значительно увеличивается. Если раскрыть парашют на высоте 1000 м через 15 с после падения, то перегрузка будет около 6; раскрытие парашюта после такой же задержки на высоте 7000 м вызывает перегрузку, равную 12; на высоте 11000 м при тех же условиях перегрузка будет почти втрое большей, чем на высоте 1000 м. Увеличение перегрузок на большой высоте объясняется тем, что вследствие уменьшения плотности воздуха равновесная скорость падения становится значительно больше. При приземлении с парашютом также возникают перегрузки, которые тем меньше, чем больше путь торможения. Поэтому перегрузка будет меньше при приземлении на мягкую почву. При скорости снижения 5 м/с и погашении ее на пути около 0,5 м за счет сгибания коленей и туловища перегрузка равна примерно 3,5. Максимальные, правда очень кратковременные, ускорения испытывает человек при катапультировании с самолета. При этом скорость вылета сиденья из кабины равна примерно 20 м/с, путь разгона — 1—1,8 м. Максимальное значение ускорения достигает 180—190 м/с², перегрузка — 18—20. Однако такая перегрузка не опасна для здоровья, так как она действует кратковременно, примерно 0,1 с. Рассмотрим, как влияют ускорения на организм человека. Нервные импульсы, сигнализирующие о пространственном перемещении тела, в том числе и головы, поступают в специальный орган — вестибулярный аппарат. Вестибулярный аппарат информирует головной мозг об изменении скорости движения, поэтому его называют органом акселерационного чувства. Размещается этот аппарат во внутреннем ухе.

Характеристики пороговых величин раздражения вестибулярного аппарата, доходящих до сознания человека, а также средние ускорения при разных движениях приведены в таблице 2

Таблица 2

Характер движения	Пороговое значение ускорения, ощущаемое человеком	Примеры движений и среднее значение ускорения
Неравномерное вращательное движение	Угловое ускорение:	Быстрые танцы:)
Равномерное вращательное движение	Центростремительное ускорение: $a=1 \text{ м/с}^2$	Карусель: $a=(3—4) \text{ м/с}^2$. Самолет при выполнении фигур пилотажа: $a=(20-80) \text{ м/с}^2$
Прямолинейное движение	Линейное ускорение: $a=0,1 \text{ м/с}^2$	Лифт: $a=(2-3) \text{ м/с}^2$. Разбег спортсмена на старте: $a=(8-10) \text{ м/с}^2$. Катапультирование на самолете: $a=200 \text{ м/с}^2$

Каковы воздействия ускорений? Они зависят от ускорений, продолжительности перегрузки, от состояния организма, от направления ускорений относительно осей тела человека и других факторов. Если на человека действует ускорение в направлении от головы к ногам, численно равное $2g$, то ощущается давление всего тела на сиденье, напряжение мышц, но нарушений самочувствия не наблюдается. При $a = (2 — 4)g$ требуются большие усилия для удержания головы в вертикальном положении, ощущается затруднительность дыхания, неприятные, а подчас болезненные ощущения от смещения внутренних органов. Уменьшается точность движений, увеличивается число ошибок при оценке показаний приборов самолета, из-за смещения подвижных участков кожи на лице меняется внешний облик человека. При $a = (4 — 5)g$, помимо усиления вышеуказанных явлений, часто возникают зрительные нарушения («серая пелена»), при дальнейшем увеличении ускорений возникает утрата зрения («черная пелена»). При воздействии ускорений $a = (5 — 6)g$ свыше 5 с могут возникнуть нарушения сознания. Все эти воздействия носят временный характер. Легче переносятся ускорения, направленные от спины к груди, от груди к спине и от одного бока к другому. Поэтому очень важна соответствующая поза человека. Обязательным условием является общая физическая тренировка, приводящая к хорошему развитию мышц всего тела. Кроме того, необходимо специально тренировать организм с целью увеличить выносливость к ускорениям. Такую тренировку осуществляют на специальных линейных ускорителях, в центрифугах и на других установках. Применяются также специальные противоперегрузочные костюмы, конструкция которых обеспечивает фиксацию внутренних органов. Интересно здесь вспомнить, что К. Э. Циолковский для повышения выносливости человека к действию ускорений

предлагал помещать его тело в жидкость одинаковой с ним плотности. Следует отметить, что подобная защита организма от ускорений достаточно широко распространена в природе. Так защищен зародыш в яйце, так предохраняется плод в утробе матери. К. Э. Циолковский помещал куриное яйцо в банку с раствором соли и сбрасывал ее с высоты. Яйцо при этом не разбивалось. В настоящее время есть данные о подобных опытах с рыбами и лягушками. Помещенные в воду рыбы и лягушки выдерживали ускорения ударного характера порядка 1000 g и более.

Амортизатор меч-рыбы. В природе имеют место разнообразные приспособления, которые позволяют живым организмам безболезненно переносить перегрузки, возникающие при ускорении и торможении. Известно, что толчок при прыжке смягчается, если приземляться на полусогнутые ноги; роль амортизатора играет позвоночник, в котором хрящевые прокладки являются своего рода буферами.

Интересный амортизатор есть у меч-рыбы. Меч-рыба известна как рекордсмен среди морских пловцов. Ее скорость может достигать 110—140 км/ч, а ее меч способен пробивать дубовую обшивку судна. Сама же меч-рыба от такого удара не страдает. Оказывается, в ее голове у основания меча имеется гидравлический амортизатор — небольшие полости в виде сот, наполненные жиром. Они и смягчают удар. Хрящевые прокладки между позвонками у меч-рыбы толстые, подобно буферам у вагонов, они уменьшают силу толчка.

Секрет дятла. Ускоренная киносъемка показала, что когда лесной дятел ищет насекомых или готовит дупло под гнездо, то его клюв может долбить дерево со скоростью при ударе 7 м/с. Полный цикл удара клювом длится всего 0,001 с или меньше, а перегрузка в конце каждого удара достигает 1000 g . Однако мозг птицы никогда не травмируется! Оказалось, что секрет заключается в том, что голова дятла перемещается только вперед и назад в одной плоскости, без каких-либо боковых смещений. В связи с этим у инженеров возникла идея улучшить защитные шлемы космонавтов, сконструировав их таким образом, чтобы ограничить боковые перемещения, что достигается специальными шейными скобами.

В скелете животных и человека все кости, имеющие некоторую свободу движения, являются *рычагами*. Например, у человека — кости конечностей, нижняя челюсть, череп (точка опоры — первый позвонок), фаланги пальцев. У кошек рычагами являются подвижные когти; у многих рыб — шипы спинного плавника; у членистоногих — большинство сегментов их наружного скелета; у двустворчатых моллюсков — створки раковины. Рычажные механизмы скелета обычно рассчитаны на выигрыш в скорости при потере в силе. Особенно большие выигрыши в скорости получают у насекомых. Соотношение длины плеч рычажного элемента скелета находится в тесной зависимости от выполняемых данным органом жизненных функций. Например, длинные ноги борзой и оленя определяют их способность к быстрому бегу; короткие лапы крота рассчитаны на развитие больших сил при малой скорости; длинные челюсти борзой позволяют быстро схватывать добычу на бегу, а короткие челюсти бульдога смыкаются медленно, но сильно держат (жевательная мышца прикреплена очень близко к клыкам, и сила мышц передается на клыки почти без ослабления). Рычажные элементы встречаются в разных частях тела животного и человека — это, например, конечности, челюсти. Рассмотрим условия равновесия рычага на примере черепа (рис. 8, а). Здесь ось вращения рычага O проходит через сечение черепа с первым позвонком. Спереди от точки опоры на относительно коротком плече действует сила тяжести головы R , позади — сила F тяги мышц и связок, прикрепленных к затылочной кости. Другим примером работы рычага является действие свода стопы при подъеме на полупальцы (рис. 8, б). Опорой O рычага, через которую проходит ось вращения, служат головки плюсневых костей. Преодолеваемая

сила R — вес всего тела — приложена к таранной кости. Действующая мышечная сила F , осуществляющая подъем тела, передается через ахиллово сухожилие и приложена к выступу пяточной кости. В растениях рычажные элементы встречаются реже, что объясняется малой подвижностью растительного организма. Типичный рычаг — ствол дерева и составляющий его продолжение главный корень. Интересные рычажные механизмы можно найти в некоторых цветах (например, тычинки шалфея), а также в некоторых раскрывающихся плодах. Рассмотрим строение лугового шалфея (рис. 8, в). Вытянутая тычинка служит длинным плечом A рычага. На ее конце расположен пыльник. Короткое плечо B рычага как бы стережет вход в цветок. Когда насекомое (чаще всего шмель) заползает в цветок, оно нажимает на короткое плечо рычага. Длинное плечо при этом пыльником ударяет по спинке. Человеческое тело испытывает достаточно большую механическую нагрузку от собственного веса и от мышечных усилий, возникающих во время трудовой деятельности. Интересно, что на примере тела человека можно проследить все виды деформации. Деформации сжатия испытывают позвоночный столб, нижние конечности и покровы ступни; деформации растяжения — верхние конечности, связки, сухожилия, мышцы; изгиба — позвоночник, кости таза, конечностей; кручения — шея при повороте головы, туловище в пояснице при повороте, кисти рук при вращении и т. д.

Для составления задач на деформации можно пользоваться данными, приведенными в таблице 3.

Таблица 3

Вид ткани или вещества	Модуль упругости на растяжение, 10^7 Н/м^2	Предел прочности на растяжение, Н/м^2	Предел прочности на сжатие, Н/м^2
Компактное вещество кости	2300	10-12	12-16
Грубоволокнистая соединительная ткань (сухожилия, связки)	100-150	5-7	—
Ткань нервных стволов	8-12	1,2-1,5	—
Мышечная ткань	0,8-1,0	0,05-0,10	—
Сталь	20000	80-100	120-150
Бетон	—	—	3-5
Дерево	1000	8-10	4-5
Каучук	1,2	5	—

Из таблицы видно, что модуль упругости для кости или сухожилия при растяжении очень велик, а для мышц, вен, артерий он очень мал. Предельное напряжение, разрушающее кость плеча, около $8-10 \text{ Н/м}^2$, предельное напряжение, разрушающее кость бедра, около $13 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$. Соединительные ткани в связках, в легких и т. д. обладают большой эластичностью, например, затылочная связка может

быть растянута более чем вдвое. Конструкции, составленные из отдельных стержней (фермы) или пластин, сходящихся под углом 120° , обладают максимальной прочностью при минимальном расходе материала.

§ 3. Элементы биофизики при изучении теплоты и молекулярных явлений. Первоначальные сведения о строении вещества

При изучении строения вещества следует проводить ту идею, что все как в неживой, так и в живой природе состоит из отдельных малых элементов. Эти элементы сами состоят из еще более мелких частиц, а те, в свою очередь, из молекул и атомов. Размеры их столь малы, что представить себе их очень трудно. Точка в обычном газетном шрифте примерно в миллион раз больше одной молекулы воды. Невооруженным глазом мы не способны увидеть ни входящие в состав крови эритроциты, размеры которых измеряются микронами, ни тем более бактерии, размеры которых гораздо меньше. Увидеть их удалось лишь в микроскоп. Много позднее биохимическими методами удалось показать, что все мельчайшие клетки и одноклеточные организмы, из которых состоит все живое, образованы из сравнительно крупных молекул (состоящих, в свою очередь, из большого числа атомов). И затем при помощи электронного микроскопа были получены фотографии наиболее крупных белковых молекул и нуклеиновых кислот

Диффузия и растительный мир. Здесь уместно привести слова К. А. Тимирязева: «Будем ли мы говорить о питании корня за счет веществ, находящихся в почве, будем ли говорить о воздушном питании листьев за счет атмосферы или питания одного

Пищеварение человека. Наибольшее всасывание пищевых продуктов происходит в тонких кишках, стенки которых специально для этого приспособлены. Площадь внутренней поверхности кишечника человека равна $0,65 \text{ м}^2$. Она покрыта ворсинками — микроскопическими образованиями слизистой оболочки высотой $0,2\text{—}1 \text{ мм}$, за счет чего площадь реальной поверхности кишечника достигает $4\text{—}5 \text{ м}^2$, т. е. в $2\text{—}3$ раза больше площади поверхности всего тела. И в процессе всасывания большую роль играет диффузия.

Дыхание — перенос кислорода из окружающей среды внутрь организма сквозь его покровы — происходит тем быстрее, чем больше площадь поверхности соприкосновения тела и окружающей среды, и тем медленнее, чем толще и плотнее покровы тела. Отсюда понятно, что малые организмы, у которых площади поверхности велики по сравнению с объемом тела, могут обходиться вовсе без специальных органов дыхания, удовлетворяясь притоком кислорода исключительно через наружную оболочку (если она достаточно тонка и увлажнена). У организмов более крупных дыхание через кожу может оказаться более или менее достаточным только при условии, что покровы чрезвычайно тонки (земноводные); при грубых покровах необходимы специальные органы дыхания. Основные физические требования к этим органам — максимум поверхности и минимум толщины, и увлажненность покровов. Первое достигается многочисленными разветвлениями или складками (легочные альвеолы, бахромчатая форма жабр). А как же дышит человек? У человека в дыхании принимает участие вся поверхность тела — от самого толстого эпидермиса пяток до покрытой волосами кожи головы. Особенно интенсивно дышит кожа на груди, спине и животе. Интересно, что по интенсивности дыхания эти участки кожи значительно превосходят легкие. С одинаковой по размеру дыхательной поверхности здесь может поглощаться кислорода на 28% , а выделяться углекислого газа даже на 54% больше, чем в легких. Однако во всем дыхательном процессе участие

кожи ничтожно по сравнению с легкими, так как общая площадь поверхности легких, если развернуть все 700 млн., альвеол, микроскопических пузырьков, через стенки которых происходит газообмен между воздухом и кровью, составляет около 90—100 м², а общая площадь поверхности кожи человека около 2 м², т. е. в 45—50 раз меньше.

Ритмичное дыхание грудной клетки еще не есть дыхание, но оно обеспечивает дыхание. При вдохе за счет работы межреберных мышц объем грудной клетки увеличивается. При этом давление воздуха в легких падает ниже атмосферного: вследствие образовавшейся разности давления происходит вдох. Затем вследствие расслабления мышц объем грудной клетки уменьшается, давление в легких становится выше атмосферного — происходит выдох. На рисунке 16 представлена схема газообмена в легких. Здесь показана диффузия кислорода O₂ и углекислого газа CO₂ через стенки альвеол.

Кессонная болезнь. Наиболее интенсивно диффузия происходит между газами или между газом и жидкостью. Газы адсорбируются на поверхности жидкости, а затем путем диффузии распространяются по всей ее массе, иначе говоря, растворяются в ней. При не слишком высоких давлениях масса газа, растворяющегося в жидкости, прямо пропорциональна парциальному давлению газа над ней. При снижении давления газа над поверхностью жидкости растворенный в ней газ выделяется в форме пузырьков. Это явление лежит в основе кессонной болезни,

Роль процессов испарения для животных организмов. Испарение — это наиболее легко регулируемый способ уменьшения внутренней энергии. Различные условия, затрудняющие испарение, нарушают регулирование теплоотдачи организма. Так, кожаная, резиновая, клеенчатая, синтетическая одежда затрудняет регулировку температуры тела. Для терморегуляции организма важную роль играет потоотделение, оно обеспечивает постоянство температуры тела человека или животного. За счет испарения пота уменьшается внутренняя энергия, благодаря этому организм охлаждается. Нормальным для жизни человека считается воздух с относительной влажностью от 40 до 60%. Когда окружающая *среда* имеет температуру более высокую, чем тело человека, то происходит усиленное потоотделение. Обильное выделение пота ведет к охлаждению организма, помогает работать в условиях высокой температуры. Однако такое активное потоотделение является значительной нагрузкой для человека! Если еще при этом абсолютная влажность высока, то жить и работать становится еще соты. Они представляют удивительное теплотехническое сооружение! Соты надежно облицованы пчелиным клеем и воском, заделаны мельчайшие щели и трещины. Тепло, выделяемое пчелами, используется полностью. В окраинных зонах улья температура ниже, чем в центре. Эти зоны занимают соты, заполненные медом. Благодаря низкой теплопроводности воска и меда в центре поддерживается температура, необходимая для нормального развития яиц, личинок, куколок. Разница в температурах краевых участков ульев обеспечивает вентиляцию гнезда. Кроме того, имеется группа пчел-, которые, располагаясь правильными рядами, осуществляют лет на месте. Они создают тем самым воздушные потоки, достаточные для вентиляции всего гнезда.

Нормальная для человека температура окружающей среды 18—20°C. Если она становится выше 25°C, то возбуждаются кожные нервные окончания, воспринимающие тепловое раздражение, и благодаря сигналам от центральной нервной системы происходит расширение сосудов кожи. В кожу притекает больше крови из внутренних органов, и она при этом краснеет. При низкой температуре среды организм начинает отдавать большую часть теплоты путем теплопроводности и излучения. Кожа получает тепло главным образом с притекающей кровью. Для уменьшения теплоотдачи сосуды суживаются, поэтому мы бледнеем. Когда нам холодно, в нашем организме

увеличивается выделение энергии в мышцах благодаря беспорядочному сокращению отдельных групп мышечных волокон, которое мы называем дрожью. При изучении закона сохранения и превращения энергии важно подчеркнуть роль ученого Р. Майера, который первым его сформулировал с позиций врача-естествоиспытателя. Внимание его привлекали явления, происходящие в организме человека. Он заметил разницу в цвете венозной крови людей в странах умеренного и тропического поясов и пришел к выводу, что «температурная разница» между организмом и окружающей средой должна находиться в количественном соотношении с разницей в цвете обоих видов крови, т. е. артериальной и венозной. Эта разница в цвете является выражением размера потребления кислорода, или интенсивности процесса сгорания, происходящего в организме. Осмысливая эти наблюдения на основе принципа, что «ничего не происходит из ничего и ничто не превращается в ничто и что причина равна действию», уже в 1841 г. Майер высказал основную идею закона сохранения и превращения энергии. Ткани живых организмов весьма разнородны по составу. Органические вещества, из которых состоят плотные части тканей, представляют собой диэлектрики. Однако жидкости содержат, кроме органических коллоидов, растворы электролитов и поэтому являются относительно хорошими проводниками.

Удельную электропроводность различных тканей организма человека при постоянном токе можно характеризовать ориентировочными данными, приведенными в таблице 7.

Таблица 7

Ткань	Удельная электропроводность, Ом⁻¹ м⁻¹
Спинномозговая жидкость	1,8
Сыворотка крови	1,4
Кровь	0,6
Мышца	0,5
Внутренние органы	(2-3) · 10⁻¹
Мозговая и нервная ткани	0,07
Жировая ткань	0,03
Кожа сухая	10⁻⁹
Кость без надкостницы	10⁻¹¹

Наибольшую электропроводность имеют спинномозговая жидкость, сыворотка крови; значительно меньше электропроводность внутренних органов, а также мозговой (нервной), жировой и соединительной тканей. Плохими проводниками, которые следует отнести к диэлектрикам, являются роговой слой кожи, сухожилия и особенно костная ткань без надкостницы. Электропроводность отдельных участков тканей или областей организма, находящихся между электродами, наложенными на поверхность тела, зависит главным образом от сопротивления слоя кожи и подкожно-жировой клетчатки. Пройдя через этот слой, ток разветвляется и идет через более глубоко лежащие ткани множеством параллельных ветвей по путям наименьшего сопротивления. Эти пути лежат вдоль кровеносных и лимфатических сосудов, оболочек нервных стволов и т. д. Пути тока в живом организме могут быть очень сложными. Электропроводность кожи, через которую ток проходит главным образом по каналам потовых и отчасти сальных желез, зависит от толщины и состояния ее поверхностного слоя. Тонкая и особенно влажная кожа, а также кожа с поврежденным наружным слоем эпидермиса хорошо проводит ток. Наоборот, сухая огрубевшая кожа весьма плохой проводник. В структуре тканей имеются системы, состоящие из двух

хорошо проводящих ток сред (тканевая жидкость), разделенных плохим проводником или диэлектриком. Например, в основном структурном элементе тканей — клетке у наружного слоя протоплазмы (клеточной мембраны или оболочки) весьма низкая электропроводность, а у остальной части протоплазмы и омывающей клетку тканевой жидкости достаточно высокая проводимость. Такие системы в электрическом отношении подобны конденсаторам. При прохождении по тканям электрического тока имеют место поляризационные явления, например происходит скопление зарядов (ионов) у полупроницаемых перегородок. Это также придает тканям емкостные свойства. Таким образом, эквивалентная схема тканей организма состоит из сопротивлений и конденсатора, включенных последовательно (например, для слоя кожи и подкожной клетчатки) или параллельно (для глуболежащих тканей); например, конечность, на которую наложены электроды, имеет сопротивление R порядка 1000—3000 Ом и емкость 0,01—0,02 мкФ. Проводимость такого участка зависит от частоты тока. При действии переменного тока должен учитываться импеданс тканей. Импеданс тканей организма зависит от ряда физиологических условий, в частности от кровенаполнения. На этом основан метод исследования функции кровообращения, называемый реографией. При этом методе регистрируют изменение импеданса участка тканей (чаще на конечностях), на границы которого накладывают электроды. Электрический ток, проходя через организм человека, раздражает и возбуждает живые ткани организма. Степень возникающих изменений зависит от силы тока и частоты его. Ток 1 мА считается безопасным для человека. Прохождение по телу человека промышленного тока (частота 50 Гц) 3 мА вызывает легкое покалывание в пальцах, прикасающихся к проводнику. Ток 3—5 мА вызывает раздражающее ощущение во всей кисти руки. Токи 8—10 мА приводят к непроизвольному сокращению мышц кисти и предплечья. Максимальные токи ~ 13 мА, при которых человек в состоянии самостоятельно освободиться от контакта с электродами, называются отпускающими токами. Непроизвольные мышечные сокращения при токе порядка 15 мА приобретают такую силу, что разжатие руки становится невозможным (неотпускающий ток). При токах 0,1—0,2 А наступают беспорядочные сокращения сердечной мышцы, ведущие к гибели человека. При условиях, ослабляющих изолирующую способность кожи (мокрые руки, ранения, большие поверхности контактов), смертельными могут быть напряжения 100—120 В и даже меньшие. Поэтому в ряде производств для массовых профессий применяется низкое напряжение. Например, при электромонтаже используют паяльники, рассчитанные на напряжение 24 В. В сырых помещениях разрешается работать при напряжении не более 12 В.

Применение статического электричества

Статическое электричество применяют для очистки воздуха при устройстве пылеулавливающих фильтров. В связи с высокой напряженностью поля около коронирующего электрода воздух ионизуется и образуются тяжелые аэроионы, которые захватывают частицы пыли, а затем осаждаются вместе с ними на электроде противоположного знака. Современная физиотерапия очень разнообразна — это термотерапия, водолечение, ультразвук и т. д. В настоящем разделе мы остановимся на некоторых методах электротерапии. Это статический душ и аэроионотерапия, гальванизация и электрофорез, терапия импульсными низкочастотными токами, магнитотерапия, дарсонвализация, индуктотермия, УВЧ-терапия, ультразвуковая терапия, ультрафиолетовое облучение и т. д. Статическое электричество используется для лечебных целей в методе, называемом **статическим душем**, или франклиннизацией (в честь ученого Франклина). Больного помещают между двумя электродами,

соединенными с источником постоянного напряжения 40—50 кВ. Один электрод в виде звезды с небольшими острями, направленными к больному, располагают над головой на расстоянии 10—15 см. Второй электрод находится под ногами на изолирующей подставке. Электрическое поле имеет наибольшую напряженность около остриев головного электрода, где и возникает тихий электрический разряд. Образующийся в зоне разряда поток ионов направляется к телу больного преимущественно в области его головы и шеи. Аэроионы действуют на нервные окончания, заложенные в кожных покровах этой области, а также на рецепторы слизистых оболочек при вдыхании ионизированного воздуха.

Применение постоянного тока с лечебной целью. Посредством тока в организм можно ввести лекарственные вещества, образующие в растворе заряженные частицы. Эта процедура называется лечебным электрофорезом. При электрофорезе между электродами образуется сложная цепь, состоящая из растворов лекарственных веществ и растворов электролитов, входящих в состав тканей организма. Первичное действие электрического тока на ткани организма связано с движением имеющихся в них ионов электролитов и других заряженных частиц. Подвижность этих частиц различна, поэтому в процессе передвижения они разделяются. Кроме того, частицы могут задерживаться около полупроницаемых перегородок. При этом концентрация ионов, содержащихся в разных элементах тканей, изменяется. Изменение соотношения концентраций ионов, находящихся по обе стороны клеточной оболочки, вызывает изменение функционального состояния клетки. Это и является реакцией клетки на действие электрического тока.

Применение высокочастотных колебаний с лечебной целью. В медицинской практике широко применяют три метода воздействия высокочастотных колебаний на ткани организма: 1) диатермия — используется высокочастотный ток; 2) индуктотермия — воздействие оказывает высокочастотное магнитное поле; 3) УВЧ — применяется высокочастотное электрическое поле. При диатермии на обнаженную поверхность тела накладывают металлические (свинцовые) пластинки, соединенные с контуром аппарата. Используется ток 1,0—1,5 А и частотой от 500 кГц до 1—2 МГц. Высокочастотный ток, проходя по тканям организма, находящимся между электродами, нагревает их. Степень нагревания находится в прямой зависимости от плотности тока на электродах и обратной зависимости от удельной теплопроводности тканей. При индуктотермии соответствующую область тела помещают внутри спирали (соленоида), подсоединенной к терапевтическому контуру аппарата. При этом она подвергается действию высокочастотного магнитного поля ($f \sim 10—15$ МГц), которое создает в тканях вихревые электрические токи. Вихревые токи образуются преимущественно в токопроводящих тканях, содержащих раствор электролитов. За счет электрической энергии происходит нагревание тканей. Степень нагревания зависит от напряженности магнитного поля. При терапии электрическим полем УВЧ область тела помещают между двумя изолированными электродами, подключенными к терапевтическому контуру аппарата. При этом она подвергается действию высокочастотного электрического поля ($f \sim 40—50$ МГц). Электрическое поле действует как на ткани, содержащие растворы электролитов, вызывая в них высокочастотный ток проводимости, так и на ткани-диэлектрики, вызывая в них переменную по знаку поляризацию. Ткани разного рода нагреваются по-разному. Для электролитов степень нагревания определяется удельной теплопроводностью и квадратом напряженности электрического поля, а для диэлектриков — диэлектрической проницаемостью, частотой переменного электрического поля и квадратом его напряженности. При частоте, принятой в терапевтической практике, и при относительно высоких концентрациях тканевых электролитов нагревание диэлектриков происходит более

интенсивно.

Микроволновая терапия. Для лечебных целей применяют электромагнитные волны сантиметровой длины. Направленный поток волн, которым воздействуют на соответствующий участок тела, получается с помощью излучателя, помещенного в фокусе рефлектора, расположенного на небольшом расстоянии от поверхности тела. К излучателю с помощью гибких проводов подводятся колебания соответствующей частоты от генератора, работающего на специальных электронных лампах (магнетронах). Сантиметровые волны поглощаются преимущественно в поверхностных слоях тканей организма (глубина проникновения их в среднем 6—8 см). Первичное действие волн на вещество связано с колебаниями ионов в растворах электролитов и атомов или молекул при поляризации диэлектриков. Эти колебания вызываются переменным высокочастотным электромагнитным полем, проникающим в вещество. При этом вещество нагревается. Наибольшее поглощение волн и нагревание происходят в водосодержащих тканях, например в мышечной ткани и крови.

Глазной электромагнит. Он служит для извлечения железных стружек, которые могут попасть в глаз рабочего. Электромагнит имеет форму овальной катушки, состоящей из большого числа витков толстой проволоки, по которой пропускают постоянный ток. Сердечником является тонкий стальной стержень, укрепленный в центре катушки. В нем создается сильное магнитное поле. Глаз пострадавшего помещают прямо против намагниченного стержня. Иностранное железное тело может быть извлечено при включении тока. Интересны и другие **новые применения магнитов** в медицине. Для формирования шва полых органов успешно применяются сдавливающие магнитные элементы. В биологическую систему можно искусственно вводить ферромагнетики, позволяющие осуществлять направленный транспорт лекарств, управляя перемещением препаратов в организме с помощью внешних магнитов. Но этот метод требует точного измерения магнитных полей.

В настоящее время все шире применяются **электромагнитные аппараты**. Магнитные поля различных органов человеческого организма дают большую информацию о них, например магнитограммы дают информацию о работе сердца даже более подробную, чем электрокардиограмма. Передаются тончайшие нюансы сокращения сердечной мышцы, и с помощью этого метода в ряде случаев проще найти пораженное место. А снять магнитограмму легче, чем электрокардиограмму: достаточно поднести к груди датчики магнитометра. Регистрация магнитных полей позволяет проследить за течением крови в сосудах, за ходом биохимических процессов в клетках, установить количество железа в легких людей, работающих в сталелитейной промышленности, и т. д.

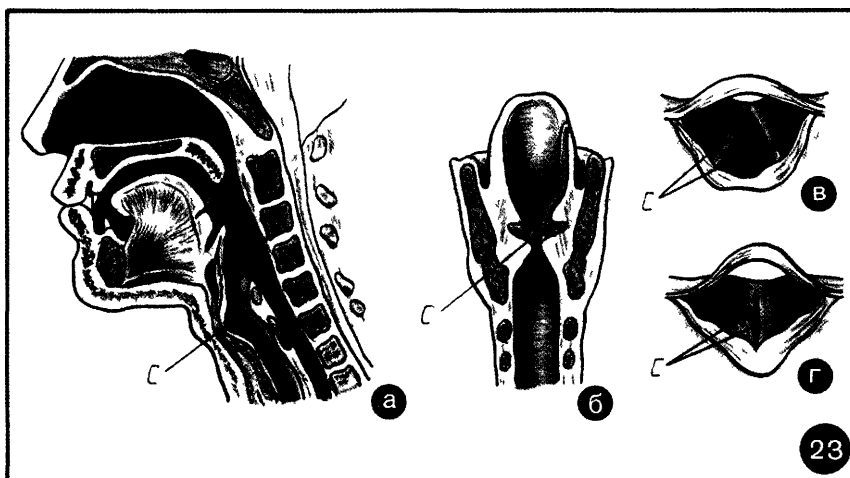
Магнитный интроскоп — помощник в диагностике. В последнее время разработан и начинает применяться в медицинской практике новый прибор — магнитный интроскоп, служащий для исследования внутренних органов человека. Он основан на явлении ядерного магнитного резонанса. С его помощью получают изображения любого нужного сечения тела без всякого ущерба организму. Магнитный интроскоп работает без всяких контрастных веществ, применяемых при обычных видах рентгеновского просвечивания. С его помощью могут быть обнаружены дефекты тканей и опухоли глубоко внутри организма. Возможен также физико-химический контроль за состоянием биологических жидкостей и тканей человека.

Принцип работы прибора следующий. Пациент помещается в рабочем пространстве электромагнита. Попеременно включается и выключается ток через обмотку. При этом испускаются радиосигналы атомами водорода, содержащимися в огромном количестве во внутренних органах человека. Когда же электромагнит выключается, то происходит поворот ядра и испускается слабый радиосигнал. Радиосигналы, испускаемые ядрами, различны, так как характер сигнала зависит от его окружения. Эти сигналы обрабатываются на ЭВМ и преобразуются в изображения тех или иных органов тела человека, на которых отчетливо видны признаки заболеваний. Внедрение этого метода в клинику требует создания высокооднородных и высокостабильных полей в объеме достаточном для размещения человека.

Электроанестезия достигается путем воздействия на мозг безвредных импульсов электрического тока через электроды, при - кладываемые к коже человека. Этот метод позволяет сократить, а иногда и полностью исключить применение химических обезболивающих препаратов, избавить больного от их побочных действий. Советские специалисты разработали аппарат «Скат». В не импульсы переменного тока попеременно подаются с трех па электродов, укрепленных на голове больного. Благодаря этому под воздействием оказываются практически все структуры человеческого мозга, ответственного за блокаду болевого раздражения Частота импульсов меняется в интервале 400—1500 Гц, а амплитуда силы тока доходит до 300 мА. С помощью технического устройства можно задавать программу в форме электрических импульсов, а живой организм будет осуществлять эту программу. Такая система имеется, например, в аппарате для лечения электросном. Вырабатываемые генератором электрические импульсы действуют на мозг, вызывает торможение нервных клеток — ив организме наступает состояние сна. В новых источниках энергии могут быть использованы явления разложения и окисления органических веществ, приводящие к выработке электроэнергии. Известно, что в придонном слое океана образуется электричество, там как бы имеется гигантский топливный элемент. Принцип работы такого элемента следующий Топливный элемент состоит из двух секций, разделенных пол проницаемой перегородкой. Внутри секций — инертные катод Анодная секция содержит «топливо» — смесь морской воды органическими веществами, а также катализатор — бактериальные клетки. В катодную секцию помещают морскую воду кислородом. При работе такого элемента, как и в придонном слое океана, топливо окисляется и выделяется энергия, за счет которого во внешней цепи возникает электрический ток.

Голосовой аппарат человека

Голосовой аппарат человека состоит из легких, гортани с голосовыми связками, глоточной, ротовой и носовой полости (рис., а, б). Голосовые связки С являются звукопроизводящими частями голосового аппарата. При спокойном дыхании они вялы и между ними образуется широкая щель для свободного прохождения воздуха (рис. 23, в). При разговоре голосовые связки напрягаются и приближаются друг к другу так, что между ними остается лишь узкий промежуток, так называемая голосовая щель (рис. 23, г). Когда воздух, выдыхаемый легкими, проходит через эту щель, голосовые связки приходят в колебание, причем частота колебаний может изменяться в зависимости от степени напряжения связок, впрочем, в довольно узких границах. Звуковые волны, образующиеся в голосовой щели, весьма сложны и представляют собой наложение большого числа всевозможных тонов. Ротовая и носовая полости играют роль резонаторов. Изменяя форму этих полостей путем соответствующего расположения языка, зубов и губ, мы можем усиливать по желанию отдельные тоны звуковой волны, идущей из голосовой щели, и произносить тот или иной звук.



Голосовые связки с различно установленными резонансными полостями рта и глотки наиболее сильно колеблются при произношении гласных звуков. При образовании согласных звуков мягкое небо, кончик языка и губы приходят в самостоятельные колебания на различных участках. Эти колебания или сами по себе, или в соединении со смесью звуков, производимых голосовыми связками, образуют согласные звуки человеческой речи¹. Для речи человека достаточно 4—6 тонов октавы.

При пении диапазон значительно шире.

Таблица 8

Голоса	Частотный диапазон голоса, Гц
Мужские: бас	80-350
баритон	100-400
тенор	130-500
Женские контральто	170-780
меццо-сопрано	200-900
сопрано	250-1000
колоратурное сопрано	260-1300

-Строение и работу голосовых связок и всего голосового аппарата можно показать на препарате гортани с голосовыми связками либо на модели гортани. Для этой же цели может быть использован учебный диафильм «Строение и работа органов дыхания».

Ультразвуком называют неслышимые ухом колебания частотой свыше 15 кГц. Чувствительные приемники ультразвука показали, что ультразвук присутствует в шуме ветра и водопада, в звуках, производимых живыми существами. Выяснилось, что многие насекомые воспринимают ультразвук (сверчки, цикады, кузнечики). Восприятие ультразвука в диапазоне частот до 100 кГц обнаружено у многих грызунов. Известно, что и собаки слышат подобные колебания. Этим пользуются при подаче служебным собакам сигналов, которых не слышат окружающие люди. В последнее время обнаружено, что ультразвук излучают и воспринимают дельфины и киты.

Ультразвук называют дробящим звуком, так как его действие приводит к образованию эмульсий (если само раздробленное вещество является жидкостью) или суспензий (если раздробленное вещество—твердое тело). При помощи ультразвука можно «смешать» ртуть с водой, масло с водой. Особенно большое значение приобрело ультразвуковое измельчение в фармакологии — для приготовления лекарственных веществ. Ультразвук оказывает значительное физиологическое действие на живые организмы. Маленькие рыбки, головастики, инфузории погибают под действием ультразвукового излучения. Установлено, что воздействие ультразвуком на семена некоторых растений стимулирует их развитие, сокращает вегетационный период и увеличивает урожайность. —

Миллионы слепых людей, ощупывающих дорогу своей палкой, нуждаются в более совершенных способах ориентации. Однако, несмотря на то, что в конструкции акустических очков для слепых заложен тот же принцип ориентации по слуху, который используется дельфинами и летучими мышами, разрешающие возможности этих систем все же невелики. Одна из основных трудностей заключается в отсутствии у человека ультразвукового слуха. В одном из приборов этого типа, называемого «Ориентир», эхо ультразвукового луча преобразуется в звуковые сигналы. Эхо от разных препятствий имеет различный тембр, а разная высота его говорит слепому о расстоянии до препятствия. Однако эти приборы очень сложны, громоздки и далеки от совершенства.

Биологическое действие ионизирующих излучений

Человек и все живое на Земле в течение миллионов лет подвергались воздействию проникающей радиации: космические излучения и радиоизотопы, находящиеся в воздухе, в почве, горных породах и воде, создают постоянный природный радиационный фон. Единицей измерения его служит рад. Один рад — поглощенная доза ионизирующего излучения, при которой облучаемое вещество массой 1 кг поглотит 0,01 Дж энергии. Доза ионизирующей радиации, которая «достается» живым организмам от природного фона, ничтожно мала: в среднем 0,1 рада в год. Однако в некоторых районах нашей планеты природный фон гораздо выше. Природный радиационный фон оказывается постоянно действующим фактором, влияющим на эволюционный процесс. В состав ионизирующих излучений входят л- и у-лучи, нейтроны и т. д. Проходя через вещество, эти излучения вызывают его ионизацию. При этом происходит и обратный процесс — объединение ионов, т. е. их рекомбинация.

Биологический эффект от разных видов излучения различен. По сравнению с рентгеновскими лучами или электронами биологическое действие л-лучей в 10 раз сильнее, тепловых нейтронов — в 5 раз, а быстрых нейтронов — в 10—20 раз.

Ионизирующие излучения при действии на живые организмы прежде всего, приводят к ионизации молекул воды, всегда присутствующей в живых тканях, и молекул различных белковых веществ. При этом в живых тканях образуются свободные радикалы — сильные окислители, обладающие большой токсичностью, меняющие течение жизненных процессов. Если человек подвергается систематическому воздействию даже очень малой дозы излучений или в его организме

откладываются радиоактивные вещества, то может развиваться хроническая лучевая болезнь. В случаях нарушения техники безопасности она может возникнуть у врачей-рентгенологов, у исследователей радиоактивных веществ, у рабочих, имеющих дело с урановой и радиевой рудами, и т. д. Для лечебных целей применяют радиоактивные изотопы фосфора, иода и пр. Принятые через рот, эти вещества концентрируются в соответствующих органах и тканях организма, где, распадаясь, действуют своим излучением на близлежащие ткани. Например, радиоактивный фосфор концентрируется в компактном веществе трубчатых костей. Распадаясь с излучением электронов, он облучает находящийся в костях костный мозг и этим нормализует нарушенное при некоторых заболеваниях кроветворение. При лечении злокачественных опухолей в качестве источника у-лучей используется радиоактивный кобальт. В последнее время достигнут существенный прогресс в технологии лучевой терапии. В частности, разрабатываются средства защиты от ионизирующей радиации здоровых тканей, окружающих опухоль. Изучаются вещества, которые повышают чувствительность клетки к облучению. Избирательное повышение уязвимости раковых клеток поможет больным при лучевой терапии. В настоящее время в онкологической практике для облучения начали применять пучки протонов. Этот метод был предложен в СССР и имеет ряд достоинств. Гамма-лучи и электроны поглощаются организмом и до и после «мишени», при этом, естественно, ткани, расположенные ближе к источнику, получают большие дозы, чем собственно мишень. Протонные же пучки, как и пучки других заряженных частиц (тяжелых ионов, л-мезонов), обладают определенным пробегом в тканях организма и могут быть полностью остановлены в мишени. Они гораздо слабее повреждают лежащие на пути и более глубоко лежащие участки тела. Глубины, на которых останавливаются протоны, и размеры поражаемой ими области легко регулируются. Протоны легко формируются в узкие (доли миллиметра) или широкие (10 см и более) пучки, они не рассеиваются в тканях и не повреждают участки тела, лежащие сбоку от пути излучения. Применение метода протонной терапии является важным при заболеваниях центральной нервной системы. При этом производится облучение пучком протонов различных участков головного мозга. Наиболее оптимальная область применения — дистанционная радиохирургия, т. е. бескровная операция на головном мозге. Метод применяется и тогда, когда больные ослаблены или вообще неоперабельны, или обычные хирургические методы оказались неэффективными. Изучая влияние радиоактивности на растения, ученые применяли следующие способы воздействия: предпосевное облучение семян, предпосевное замачивание семян в радиоактивных растворах, внесение в почву радиоактивных веществ в качестве микроудобрений, непрерывное облучение растущих растений. В ряде случаев эти методы давали положительный эффект. Ионизирующие излучения могут стать также мощным средством полезного преобразования наследственных свойств организма.