

ЛЕКЦИЯ 20. Особенности движения крови в разных отделах сосудистого русла.

19-1. Движение крови в артериях: причины, характер, показатели (аорта, полые вены, капилляры). Пульс, свойства пульса. Сфигмограмма: схема и ее анализ, значение для клиники. скорость распространения Пульсовой волны.

- Артерии являются сосудами эластического типа.
- Существующее внутри сосудов давление создается работой сердца, нагнетающего кровь в артериальную систему в период систолы.
- Однако, и во время диастолы, когда сердце расслаблено и работы не производит, давление в артериях не падает до нуля, а лишь немного западает, сменяясь новым подъемом во время следующей систолы.
- Таким образом, давление обеспечивает непрерывный ток крови, несмотря на прерывистую работу сердца.
- Причина - в эластичности артерий.
- Аорта и крупные сосуды, богатые эластической тканью, обладают значительной упругостью.
- Конечная часть артериальных стволов, распадаясь на артериолы, представляют для крови существенное сопротивление.
- Соотношения между эластичностью артерий и величиной сопротивления таковы, что почти вся работа сердца затрачивается на поддержание запаса энергии в стенках артериальных сосудов, и лишь относительно малая часть работы расходуется на сообщение крови непосредственного ускорения.

- Пульс. Ритмические толчки, ощущаемые пальцем при прикосновении к любой доступной ощупыванию артерии (на виске, у угла челюсти, на шее, на кисти рук, в паху, у щиколотки и т.д.) называется пульсом. При записи кривой пульса (сфигмограммы) видно, что пульс представляет собой сложное колебание стенки сосуда, слагающееся из нескольких подъемов и спусков разной высоты.
- Непосредственный механизм пульса аорты и пульса артерии среднего калибра различен.
- Пульс аорты представляет собой колебания артериальной стенки, создаваемые прямым давлением на них крови, выброшенной сердцем во время систолы.
- Пульс артерий среднего калибра, напротив, не возникает в данном месте, и представляет собою волну эластического колебания сосудистых стенок, возникшую в аорте и распространяющуюся до периферической артерии.
- Скорость, с которой пульсовая волна распространяется от центра к периферии, зависит от растяжимости сосуда. В более растяжимой аорте эта скорость равна 3-5 м/сек, а в артериях конечностей - 7-15 м/сек.
- При склерозе артерий скорость пульсовой волны еще более увеличивается и достигает до 30-35 м/сек.
- Чем выше систолическое давление крови, тем быстрее будет бежать пульсовая волна. По мере удаления от сердца скорость пульсовой

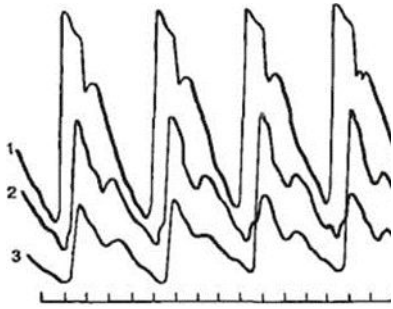
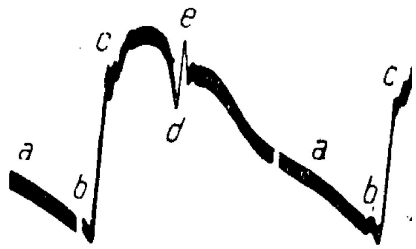


Рис. 32. Сфигмограммы сонной (слева). Справа - сфигмограммы бедренной (1), лучевой (2) и пальцевой (3) артерий, записанные синхронно.

- **Аортальный пульс.** Для детального анализа отдельного пульсового колебания производят его графическую регистрацию при помощи специальных приборов — сфигмографов. Первый сфигмограф, изобретенный Моссо, изображен на рис. 3. В настоящее время для исследования пульса используют датчики, преобразующие механические колебания сосудистой стенки в электрические изменения, которые и регистрируют. В пульсовой кривой (сфигмограмме) аорты и крупных артерий различают две основных части - анакротическое (восходящее) и катакротическое (нисходящее) колена. Кроме того, кривая аортального пульса обладает рядом зубцов (см. рисунок 32).
- Зубец А возникает в конце катакротического колена, он совпадает по времени с систолой предсердий, и его причиной является механический толчок предсердийснаружи в стенку аорты.
- Зубец В возникает перед самым началом анакроты и совпадает во времени с фазой напряжения желудочков. Обусловлен продавливанием еще закрытых полулунных клапанов в сторону аорты в тот период, когда давление в желудочке уже приближается к аортальному.
- Зубец С занимает большую часть анакроты, является выражением того мощного растяжения, которому подвергаются стенки аорты под влиянием крови, выброшенной из сердца в момент раскрытия полулунных клапанов (фаза быстрого изгнания крови). Так как кровь не успевает оттекать в артерии по мере ее дальнейшего выбрасывания сердцем, кривая аортального пульса еще некоторое время продолжает повышаться, но теперь растяжение аорты идет уже медленнее (фаза медленного изгнания).
- Зубец D. По окончании систолы желудочков, когда полулунные клапаны закрываются, кровь под давлением эластических стенок аорты устремляется не только в артерии, но и обратно к сердцу вслед за клапанами. Это выражается на кривой в виде глубокой выемки- направленного вниз зубца D.
- Зубец E. Однако, движение крови обратно к сердцу почти тотчас же встречает препятствие - полулунные клапаны, закрывшись, оказывают эластическое сопротивление крови. Волна крови отражается от них назад в аорту, снова растягивая аортальные стенки - возникает т.н. вторичный, дикротический подъем, зубец E.

Артериальный пульс.

- Кривая пульса в сосудах, более отдаленных от сердца, например, в лучевой артерии, разумеется, не имеет зубцов А,В,С,Д,Е, непосредственно отражающих события в сердце.
- В пульсовой кривой (сфигмограмме) аорты и крупных артерий различают две основные части — подъем и спад. Подъем кривой — анакрота — возникает вследствие повышения АД и вызванного этим растяжения, которому подвергаются стенки артерий под влиянием крови, выброшенной из сердца в начале фазы изгнания.
- В конце систолы желудочка, когда давление в нем начинает падать, происходит спад пульсовой кривой — катакрота. В тот момент, когда желудочек начинает расслабляться и давление в его полости становится ниже, чем в аорте, кровь, выброшенная в артериальную систему, устремляется назад к желудочку; давление в артериях резко падает и на пульсовой кривой крупных артерий появляется глубокая выемка — инцизура.
- Движение крови обратно к сердцу встречает препятствие, так как полулунные клапаны под влиянием обратного тока крови закрываются и препятствуют поступлению ее в сердце. Волна крови отражается от клапанов и создает вторичную волну повышения давления, вызывающую вновь растяжение артериальных стенок. В результате на сфигмограмме появляется вторичный, или дикротический, подъем. Формы кривой пульса аорты и отходящих непосредственно от нее крупных сосудов, так называемого центрального пульса, и кривой пульса периферических артерий несколько отличаются. На пульсовой кривой периферических артерий может появиться дополнительный, т.н. трикротический подъем на катакроте. Он зависит от того, что пульсовая волна, добежав до капилляров, до разветвления мелких артерий, отражается от них и бежит обратно по стенке артерии. Пульсовая волна, или колебательное изменения диаметра или объема артериальных сосудов, обусловлена волной повышения давления, возникающей в аорте в момент изгнания крови из желудочков. В это время давление в аорте резко повышается и стенка ее растягивается. Волна повышенного давления и вызванные этим растяжением колебания сосудистой стенки с определенной скоростью распространяются от аорты до артериол и капилляров, где пульсовая волна гаснет.

Свойства пульса.

- По пульсу судят о сердечной деятельности и ее нарушениях, определяя каждый раз ряд свойств пульса. В традиционной китайской медицине их насчитывают более 200. Европейская медицина выделяет 5 основных свойств:
- 1. Частота пульса - число толчков пульса в минуту. Указывает на частоту сердечных сокращений. Бывает пульс частый (тахикардия) и редкий (брадикардия).
- 2. Ритм пульса. О ритме судят по длительности (равномерности) промежутков между пульсовыми ударами. Бывает пульс ритмичный и аритмичный.
- 3. Быстрота пульса. По скорости подъема и скорости падения пульсовой волны составляют представление о быстроте пульса. Пульс бывает быстрый и медленный. Быстрый подъем и быстрое падение пульсовой волны отмечается, например, при недостаточности клапанов аорты. Быстрота пульса зависит также от эластичности стенок сосудов - она ускоряется при падении эластичности.
- 4. Наполнение. По высоте подъема артериальной стенки (т.е. по амплитуде пульсовой волны) судят о величине, или наполнении пульса. Это свойство зависит от систолического объема крови.
- 5. Напряжение пульса. О нем судят по силе, с которой следует сдавить артерию, чтобы пульс исчез. Напряжение пульса зависит от величины кровяного давления. Различают пульс твердый и мягкий. Твердый, или напряженный пульс бывает, например, при гипертонии, мягкий - при кровотечении, снижении объема циркулирующей крови.

Скорость распространения пульсовой волны

ВОЛНЫ

- Скорость распространения пульсовой волны является одним из важных клинических и физиологических показателей гемодинамики, отражает состояние стенок сосудов и силу сокращения сердца и часто определяется в клинике. Скорость распространения пульсовой волны не зависит от скорости движения крови по сосудам. Максимальная линейная скорость течения крови по артериям не превышает 0,3—0,5 м/с, а скорость распространения пульсовой волны у людей молодого и среднего возраста при нормальном артериальном давлении и нормальной эластичности сосудов равна в аорте 5,5—8,0 м/с, а в периферических артериях — 6,0—9,5 м/с. С возрастом по мере понижения эластичности сосудов скорость пульсовой волны возрастает. В норме на участке сердце - бедренная артерия она равна 10-15 м/сек. С возрастом по мере понижения эластичности сосудов скорость распространения пульсовой волны, особенно в аорте, увеличивается.
- Для исследования скорости распространения пульсовой волны производят одновременную регистрацию сфигмограммы сонной и бедренной артерий, и по разнице времени, потраченного на прохождение волны от сердца до бедра, вычисляют скорость волны.
- Исследование пульса, как пальпаторное, так и инструментальное, посредством регистрации сфигмограммы дает ценную информацию о функционировании сердечно-сосудистой системы. Это исследование позволяет оценить как сам факт наличия биений сердца, так и частоту его сокращений, ритм (ритмичный или аритмичный пульс). Колебания ритма могут иметь и физиологический характер. Так, «дыхательная аритмия», проявляющаяся в увеличении частоты пульса на вдохе и уменьшении при выдохе, обычно выражена у молодых людей. Напряжение (твердый или мягкий пульс) определяют по величине усилия, которое необходимо приложить для того, чтобы пульс в дистальном участке артерии исчез. Напряжение пульса в определенной мере отображает величину среднего АД.

20.3. Давление крови в артериях: виды, показатели, факторы, их определяющие, кривая артериального давления.

- Если ввести в крупную артерию животного датчик манометра, то прибор обнаружит давление, колеблющееся в ритме сердечных сокращений около средней величины, равной примерно 100 мм рт ст. Существующее внутри сосудов давление создается работой сердца, нагнетающего кровь в артериальную систему в период систолы.
- Однако, и во время диастолы, когда сердце расслаблено и работы не производит, давление в артериях не падает до нуля, а лишь немного западает, сменяясь новым подъемом во время следующей систолы. Таким образом, давление обеспечивает непрерывный ток крови, несмотря на прерывистую работу сердца. Причина - в эластичности артерии.
- Величина артериального давления определяется двумя факторами: количество крови, нагнетаемой сердцем, и сопротивлением, существующим в системе:
 - $P = QR$.

- При соединении с манометром различных сосудов можно убедиться, что давление в них будет тем меньше, чем дальше отстоит исследуемый сосуд от аорты. Это соответствует гидродинамической закономерности, согласно которой при течении жидкости происходит непрерывное падение давления от начальной части трубки до ее открытого конца. Степень падения давления определяется величиной сопротивления протеканию жидкости на данном отрезке сосуда. Из сказанного ясно, что кривая распределения давления в сосудистой системе должна явиться зеркальным отражением кривой сопротивления. Так, в подключичной артерии собаки $P = 123$ мм рт. ст., в плечевой - 118 мм, в капиллярах мышц 10 мм, лицевой вене 5 мм, яремной - 0,4 мм, в верхней поллой вене - 2,8 мм рт ст.

-

- Если соединить сосуд с регистрирующим устройством, то можно записать кривую артериального кровяного давления (рис. 33). Так как уровень кровяного давления в артериях никогда не остается постоянным, то на кривой можно видеть колебания и волны трех типов. Волны первого порядка - самые частые, зависят от сокращений сердца. Во время систолы давление максимально (систолическое), во время диастолы - минимально (диастолическое). Разность между систолическим и диастолическим давлением называется пульсовым давлением. Пульсовое давление при прочих равных условиях пропорционально количеству крови, выбрасываемой сердцем при каждой систоле. По мере удаления от сердца в сосудах пульсовое давление становится меньше, а в мелких артериолах и капиллярах во время систолы и диастолы одинаково.
- Волны второго порядка - совпадают с дыхательными движениями и называются дыхательными волнами. Во время вдоха кровяное давление повышается, во время выдоха понижается. Причина - рефлекс Бейнбриджа и рефлекс с рецепторов предсердий и легких. В одной волне второго порядка - до 5-6 волн первого порядка.
- Волны третьего порядка - еще более медленные, включают 6-10 волн второго порядка и зависят от колебаний возбудимости сосудодвигательного центра. Усиливаются при гипоксии.

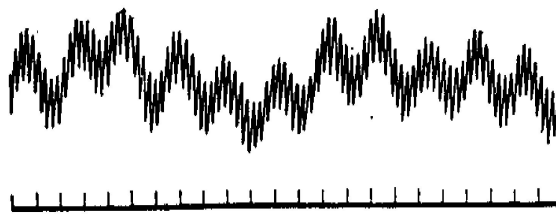


Рис. 33. Кривая артериального кровяного давления

Методы регистрации АД.

- У человека кровяное давление измеряют бескровным способом по Короткову. Он основан на измерении давления, которому нужно подвергнуть стенку данного сосуда, чтобы прекратить ток крови в нем. Для этого используются разные типы сфигмоманометров (ртутные, пружинные и др.). Перерыв в токе крови по сосуду определяют или по исчезновению пульса ниже места пережатия (Рива-Роччи) или по появлению и исчезновению так называемых тонов Короткова.
- Обследуемому накладывают на плечо полую резиновую манжету, которая соединена с резиновой грушей, служащей для нагнетания воздуха, и с манометром. При надувании манжета сдавливает плечо, а манометр показывает величину этого давления. Для измерения давления крови с помощью этого прибора, по предложению Н. С. Короткова, выслушивают сосудистые тоны, возникающие в артерии к периферии от наложенной на плечо манжеты.

- Кровь, если артерия не сдавлена или сдавлена очень мало, течет по артерии беззвучно. Поэтому, если на руку надета не надутая манжета сфигмоманометра, то никаких звуков не слышно. Если же давление в манжете выше диастолического, то в момент систолы кровь проходит, а во время диастолы - нет, то возникает прерывистость в движении и появляются тоны Короткова, синхронные с ритмом сердца. Когда давление в манжете больше систолического - звуки вновь исчезают, так как тока крови нет. Если перед выслушиванием накачать в манжету давление заведомо больше систолического, то при выпускании воздуха тоны появляются, когда давление в манжете становится меньше систолического, но больше диастолического. В этот момент манометр показывает систолическое давление. Когда тоны исчезают вовсе - давление равно диастолическому.

- При движении крови в несдавленной артерии звуки отсутствуют. Если давление в манжете поднять выше уровня систолического АД, то манжета полностью сдавливает просвет артерии и кровоток в ней прекращается. Звуки при этом также отсутствуют. Если теперь постепенно выпускать воздух из манжеты (т. е. проводить декомпрессию), то в момент, когда давление в ней станет чуть ниже уровня систолического АД, кровь при систоле преодолевает сдавленный участок и прорывается за манжету. Удар о стенку артерии порции крови, движущейся через сдавленный участок с большой скоростью и кинетической энергией, порождает звук, слышимый ниже манжеты. Давление в манжете, при котором появляются первые звуки в артерии, возникает в момент прохождения вершины пульсовой волны и соответствует максимальному, т. е. систолическому, давлению. При дальнейшем снижении давления в манжете наступает момент, когда оно становится ниже диастолического, кровь начинает проходить по артерии как во время вершины, так и основания пульсовой волны. В этот момент звуки в артерии ниже манжеты исчезают. Давление в манжете в момент исчезновения звуков в артерии соответствует величине минимального, т. е. диастолического, давления. Величины давления в артерии, определенные по способу Короткова и зарегистрированные у этого же человека путем введения в артерию катетера, соединенного с электроманометром, существенно не отличаются друг от друга.

- Кроме этого метода у человека можно зарегистрировать АД с помощью прибора артериального осциллографа и различных датчиков, но манжета для пережатия сосуда используется во всех методах.
- В плечевой артерии здоровых людей в возрасте от 10 до 15 лет АД систолическое давление равно 103-110 мм рт. ст., в возрасте 16-40 лет - 113-126 мм рт. ст., старше 50 лет - 135-140 мм рт. ст.. У новорожденных систолическое давление 40 мм рт. ст., однако уже через несколько дней оно повышается до 70-80 мм. Диастолическое давление у взрослого равно в норме 60-85 мм рт ст. Пульсовое составляет в норме 35-50 мм.

Факторы, изменяющие артериальное давление

- На уровень артериального кровяного давления оказывает влияние ряд факторов. После приема пищи наблюдается небольшое (на 6-8 мм) повышение систолического давления. Эмоциональное возбуждение (гнев, испуг) значительно повышают АД, преимущественно систолическое. Это повышение обусловлено усиленной деятельностью сердца, а также сужением сосудистого русла. Изменения эти наступают частью рефлекторно, частью под влиянием гуморальных сдвигов - поступления адреналина в кровь.
- Артериальное давление (АД) является одним из ведущих параметров гемодинамики. Оно наиболее часто измеряется и служит предметом коррекции в клинике. Факторами, определяющими величину АД, являются объемная скорость кровотока и величина общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС).
- Объемная скорость кровотока для сосудистой системы большого круга кровообращения является минутным объемом крови (МОК), нагнетаемым сердцем в аорту. В этом случае ОПСС служит расчетной величиной, зависящей от тонуса сосудов мышечного типа (преимущественно артериол), определяющего их радиус, длины сосуда и вязкости протекающей крови.

- Кроме систолического, диастолического и пульсового артериального давления определяют так называемое среднее артериальное давление. Оно представляет собой ту среднюю величину давления, при которой в отсутствие пульсовых колебаний наблюдается такой же гемодинамический эффект, как и при естественном пульсирующем давлении крови, т. е. среднее артериальное давление — это равнодействующая всех изменений давления в сосудах.
- Продолжительность понижения диастолического давления больше, чем повышения систолического, поэтому среднее давление ближе к величине диастолического давления. Среднее давление в одной и той же артерии представляет собой более постоянную величину, а систолическое и диастолическое изменчивы.
- При физической работе давление резко возрастает, главным образом за счет усиления деятельности сердца. Систолическое давление может достигать до 180-200 мм. В большинстве случаев при этом повышается и диастолическое давление (до 100-110 мм), но в меньшей степени, чем систолическое, поэтому пульсовое давление возрастает, что служит показателем увеличения систолического объема. Практически важно то обстоятельство, что у людей с недостаточной функциональной способностью сердечно-сосудистой системы наблюдается незначительное повышение систолического и большое - диастолического, при этом пульсовое давление уменьшается. Таким людям запрещено тяжелое физическое напряжение. По окончании физической работы у здоровых людей АД быстро возвращается к норме.

- При переходе из лежачего положения в стоячее у человека кровяное давление (особенно диастолическое) несколько повышается. Падение давления в этом случае, особенно сопровождающееся тахикардией, говорит о функциональной недостаточности кровообращения. Этот способ исследования состояния системы кровообращения применяется в клинике и называется ортостатической пробой.
- У некоторых людей наблюдается стойкое изменение артериального давления (гипертензия - повышение, гипотензия - понижение).
Различают гипертензии сердечного и сосудистого происхождения. Первые обусловлены изменением интенсивности работы сердца, вторые - изменениями периферического сопротивления сосудов, особенно артериол. Гипертензии сосудистого происхождения называются гипертониями. Принято считать, что гипертония имеется в том случае, если максимальное АД превышает среднюю величину соответствующего возраста на 15 мм, а минимальное - на 8 мм в покое. О наличии гипотонии у взрослого говорят при снижении систолического АД до 110 мм.

- У взрослого человека среднего возраста систолическое давление в аорте при прямых измерениях равно 110—125 мм рт.ст. Значительное снижение давления происходит в мелких артериях, в артериолах. Здесь давление резко уменьшается, становясь на артериальном конце капилляра равным 20—30 мм рт.ст.
- В клинической практике АД определяют обычно в плечевой артерии. У здоровых людей в возрасте 15—50 лет максимальное давление, измеренное способом Короткова, составляет 110—125 мм рт.ст. В возрасте старше 50 лет оно, как правило, повышается. У 60-летних максимальное давление равно в среднем 135—140 мм рт.ст. У новорожденных максимальное артериальное давление 50 мм рт.ст., но уже через несколько дней становится 70 мм рт.ст. и к концу 1-го месяца жизни — 80 мм рт.ст.
- Минимальное артериальное давление у взрослых людей среднего возраста в плечевой артерии в среднем равно 60—80 мм рт.ст., пульсовое составляет 35—50 мм рт.ст., а среднее — 90—95 мм рт.ст.

20.4. Движение крови по капиллярам: параметры капилляров, давление и скорость кровотока в них, механизмы обмена веществ между кровью и тканями, понятие о “дежурных” капиллярах. Рабочая гиперемия (механизм, значение).

- Микроциркуляторное русло. Капилляры – это наиболее важный в функциональном отношении отдел кровеносной системы, так как именно в них происходит обмен между кровью и интерстициальной жидкостью. Это обмен происходит также в венах. Совокупность сосудов от артериол до венул называется микроциркуляторным руслом и рассматривается как общая функциональная единица. Устройство этой системы отвечает двум главным требованиям, предъявляемым к любым обменным устройствам: кровь в капиллярах соприкасается с очень большой поверхностью в течение достаточно длительного времени.
- Стенки капилляров состоят только из одного слоя клеток эндотелия, через который происходит диффузия растворенных в крови газов и веществ. Считается, что всех капилляров в большом кругу более 160 миллиардов, поэтому в области капилляров кровяное русло весьма расширено. По данным Крога, 1 мл крови в капиллярах распластывается на поверхности 0,5-0,7 кв.м. Длина каждого отдельного капилляра составляет 0,3-0,7 мм. Форма и величина капилляров в различных тканях и органах неодинаковы, как неодинаково и общее их количество. В тканях с высокой интенсивностью обменных процессов число капилляров на единицу площади больше.

- Общая эффективная обменная поверхность микроциркуляторного русла составляет около 100 м². Если г ткани должно приходиться 1,5 м² обменной поверхности. Фактически плотность капилляров в различных тканях и органах значительно варьирует. Например, на 1 мм³ миокарда, ткани мозга, почек печени приходится от 2500 до 3000 капилляров; в фазных единицах мышечных волокон – 300–400 капилляров, в тонических – до 1000 капилляров на 1 мм³. Кроме того, часть капилляров в норме в покое не функционирует: только в 25–35 % капилляров кровь циркулирует. В каждом органе часть их (дежурные капилляры) пропускают кровь или плазму (плазматические капилляры), часть же полностью закрыта и выключена из кровообращения (резервные капилляры). В период интенсивной деятельности органов (например, при сокращении мышц или секреторной активности желез), когда обмен веществ в них усиливается, количество функционирующих капилляров значительно возрастает - т.н. рабочая гиперемия органа.
- Давление крови в капиллярах разных сосудистых областей различно. Так, у человека в мышцах оно равно на артериальном конце 35 мм Hg, на венозном - 15 мм Hg. На вершине капилляра ногтевого ложа давление 24 мм Hg. В капиллярах почечных клубочков - 65-70 мм Hg, а в капиллярах почечных канальцев - 14-18 мм Hg, а в капиллярах, оплетающих почечные канальцы, — всего 14—18 мм рт.ст.. В легких - всего 6 мм Hg. Давление крови в капиллярах измеряют прямым способом: под контролем бинокулярного микроскопа в капилляр вводят тончайшую канюлю, соединенную с электроманометром. Очень невелико давление в капиллярах легких — в среднем 6 мм рт.ст. Измерение капиллярного давления производят в положении тела, при котором капилляры исследуемой области находятся на одном уровне с сердцем. В случае расширения артериол давление в капиллярах повышается, а при сужении понижается.

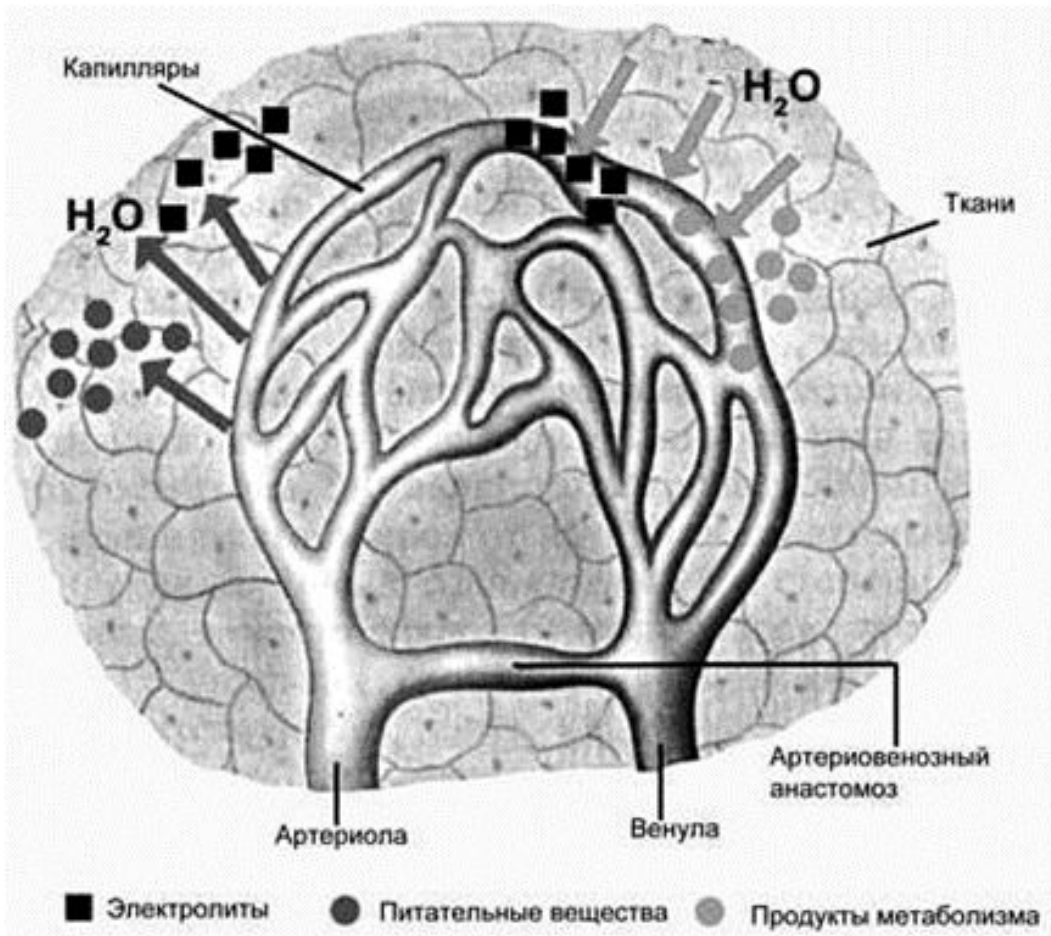


Рис. 34. Обмен веществ в пределах микроциркуляторного русла.

Скорость кровотока в капиллярах невелика и составляет 0,5— 1 мм/с. Таким образом, каждая частица крови находится в капилляре примерно 1 с. Небольшая толщина слоя крови (7—8 мкм) и тесный контакт его с клетками органов и тканей, а также непрерывная смена крови в капиллярах обеспечивают возможность обмена веществ между кровью и тканевой (межклеточной) жидкостью.

Строение микроциркуляторного русла такового, что в большинстве случаев истинные капилляры не соединяют прямо артериолы с венулами. Чаще они отходят под прямым углом от метартериол или так называемых основных каналов. В области отхождения капилляров от метартериол имеются гладкомышечные волокна, расположенные особым образом в виде прекапиллярных сфинктеров. Здесь принципиально, что от степени сокращения прекапиллярных сфинктеров будет зависеть, какая часть крови пройдет через истинные капилляры. Это в свою очередь будет вызывать изменение обменной поверхности.

- В тканях, отличающихся интенсивным обменом веществ, число капилляров на 1 мм² поперечного сечения больше, чем в тканях, в которых обмен веществ менее интенсивный. Так, в сердце на 1 мм² сечения в 2 раза больше капилляров, чем в скелетной мышце. В сером веществе мозга, где много клеточных элементов, капиллярная сеть значительно более густая, чем в белом.
- Для терминального русла характерно наличие артериовенозных анастомозов, непосредственно связывающих мелкие вены с мелкими артериями или артериолы с венулами. Стенки этих сосудов богаты гладкомышечными волокнами. Артериовенозные анастомозы имеются во многих тканях. Артериовенозные анастомозы играют роль шунтов, регулирующих капиллярное кровообращение. Примером этого является изменение капиллярного кровообращения в коже при повышении (свыше 35°С) или понижении (ниже 15°С) температуры окружающей среды. Анастомозы в коже открываются и устанавливается ток крови из артериол непосредственно в вены, что играет большую роль в процессах терморегуляции.

Обменные процессы в капиллярах.

- Капилляры – главное место сосудистого русла, где происходит обмен газами между тканью и кровью, удаляются продукты обмена, осуществляется обмен воды и солей. В капиллярах имеются два основных механизма обмена – диффузия и фильтрация-реабсорбция. Скорость двусторонней диффузии между капиллярами и жидкостью межклеточного пространства очень велика – при прохождении крови через капилляры жидкость плазмы успевает 40 раз полностью обменяться с жидкостью межклеточного пространства. Таким образом, эти две жидкости постоянно перемешиваются. При этом число молекул переходящих во взаимно противоположных направлениях примерно одинаково, поэтому объем плазмы и межклеточной жидкости практически не изменяется. Скорость диффузии через общую обменную поверхность капилляров составляет 85 000 л в сутки.
- Структурной и функциональной единицей кровотока в мелких сосудах является сосудистый модуль — относительно обособленный в гемодинамическом отношении комплекс микрососудов, снабжающий кровью определенную клеточную популяцию органа. При этом имеет место специфичность васкуляризации тканей различных органов, что проявляется в особенностях ветвления микрососудов, плотности капилляризации тканей и др. Наличие модулей позволяет регулировать локальный кровоток в отдельных микроучастках тканей.

- Путем диффузии обмениваются Na^+ , Cl^- , глюкоза, жирорастворимые вещества типа этанола, O_2 и CO_2 . Вторым механизмом – фильтрация-реабсорбция. Между объемами жидкости, фильтрующейся в артериальном конце и реабсорбирующейся в венозном, существует динамическое равновесие. Основой равновесия служит разность между гидростатическим и онкотическим давлением. В том случае если это равновесие нарушается, происходит быстрое перераспределение внутрисосудистого и межтканевого объема жидкости.
- Фильтрация воды из русла в интерстиций в конце артериального русла возможна, потому что гидростатическое давление, направленное в сторону ткани, больше онкотического давления, направленного в противоположную сторону. В венозном конце гидростатическое давление меньше онкотического, поэтому вода реабсорбируется.
- Транскапиллярный обмен совершается через стенку капилляра несколькими способами. В разных капиллярах строение стенки тоже разное - есть капилляры с "дырками", т.н. фенестрами в стенке, и через них обмен происходит в основном за счет фильтрации. Там же, где таких дыр нет, используются механизмы диффузии по градиенту концентрации, осмотические механизмы переноса и особенно механизмы активного транспорта. Но при всех этих способах важнейшее значение имеет градиент давления между капилляром и межтканевой жидкостью - т.н. фильтрационное давление (ФД), которое равно разнице между гидростатическим давлением в капиллярах и суммой онкотического давления крови и тканевого давления :
- $\text{ФД} = \text{АДкап} - (\text{ОД} + \text{ТД})$
- Если принять $\text{ОД} = 15 \text{ мм}$, $\text{ТД} = 10 \text{ мм}$, то можно вычислить величину и направление градиента давления на артериальном и венозном концах капилляра.

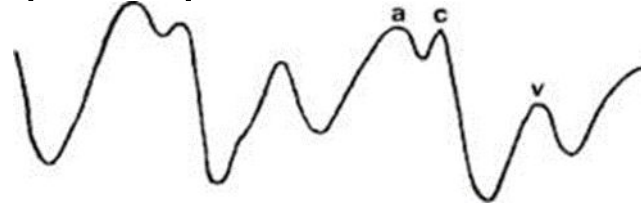
- На артериальном конце капилляра ФД составляет 30—35 мм рт.ст., а на венозном — 15—20 мм рт.ст. ОД на всем протяжении остается относительно постоянным и составляет 20 мм рт.ст. Таким образом, на артериальном конце капилляра осуществляется процесс фильтрации — выхода жидкости, а на венозном — обратный процесс — реабсорбция жидкости. Определенные коррективы вносит в этот процесс ТД, равное примерно 5 мм рт.ст., которое удерживает жидкость в тканевых пространствах.
- Эти расчеты показывают, что градиент давления, обеспечивая на артериальном конце, обеспечивает движение жидкости в ткани, а на венозном, наоборот, из тканей в кровь.
- В настоящее время установлено, что регулирование капиллярного кровообращения осуществляется нервной и гуморальной системами посредством приводящих артерий и артериол, играющих роль кранов для капилляров. Их сужение и расширение может приводить к изменениям распределения крови в ветвящейся капиллярной сети, к изменениям в крови, протекающей по капиллярам, соотношению эритроцитов и плазмы и т.п. При резком расширении артериол, например, в очаге воспаления, капилляры также резко расширяются, и линейная скорость тока крови в них уменьшается. При этом появляются агрегаты эритроцитов внутри капилляров, что повышает местное сопротивление кровотоку вплоть до стаза.
- Регулирование капиллярного кровообращения нервной системой, влияние на него физиологически активных веществ — гормонов и метаболитов — осуществляются при воздействии их на артерии и артериолы. Сужение или расширение артерий и артериол изменяет как количество функционирующих капилляров, распределение крови в ветвящейся капиллярной сети, так и состав крови, протекающей по капиллярам, т. е. соотношение эритроцитов и плазмы. При этом общий кровоток через метартериолы и капилляры определяется сокращением гладких мышечных клеток артериол, а степень сокращения прекапиллярных сфинктеров (гладких мышечных клеток, расположенных у устья капилляра при его отхождении от метаартериол) определяет, какая часть крови пройдет через истинные капилляры.
- Специального рассмотрения заслуживают процессы обмена между кровью и тканевой жидкостью. Через сосудистую систему за сутки проходит 8000—9000 л крови. Через стенку капилляров профильтровывается около 20 л жидкости и 18 л реабсорбируется в кровь. По лимфатическим сосудам оттекает около 2 л жидкости.
- Капилляры различных органов отличаются по своей ультраструктуре, а следовательно, по способности пропускать в тканевую жидкость белки. Так, 1 л лимфы в печени содержит 60 г белка, в миокарде — 30 г, в мышцах — 20 г и в коже — 10 г. Белок, проникший в тканевую жидкость, с лимфой возвращается в кровь.

20.4. Движение крови по венам: причины, скорость, венозное давление. Венозный возврат и факторы, обеспечивающие движение крови к сердцу. Лимфатическая система: ее характеристика, состав и количество лимфы, механизм ее образования, значение лимфотока, причины движения лимфы.

- Движение крови в венах обеспечивает наполнение полостей сердца во время диастолы. Ввиду небольшой толщины мышечного слоя стенки вен гораздо более растяжимы, чем стенки артерий, поэтому в венах может скапливаться большое количество крови. Даже если давление в венозной системе повысится всего на несколько миллиметров, объем крови в венах увеличится в 2—3 раза, а при повышении давления в венах на 10 мм рт.ст. вместимость венозной системы возрастет в 6 раз. Вместимость вен может также изменяться при сокращении или расслаблении гладкой мускулатуры венозной стенки. Таким образом, вены (а также сосуды малого круга кровообращения) являются резервуаром крови переменной емкости.
- Венозное давление. Давление в венах у человека можно измерить, вводя в поверхностную (обычно локтевую) вену полую иглу и соединяя ее с чувствительным электроманометром. В венах, находящихся вне грудной полости, давление равно 5—9 мм рт.ст. Для определения венозного давления необходимо, чтобы данная вена располагалась на уровне сердца. Это важно потому, что к величине кровяного давления, например в венах ног в положении стоя, присоединяется гидростатическое давление столба крови, наполняющего вены.
- В венах грудной полости, а также в яремных венах давление близко к атмосферному и колеблется в зависимости от фазы дыхания. При вдохе, когда грудная клетка расширяется, давление понижается и становится отрицательным, т. е. ниже атмосферного. При выдохе происходят противоположные изменения и давление повышается (при обычном выдохе оно не поднимается выше 2—5 мм рт.ст.). Ранение вен, лежащих вблизи грудной полости (например, яремных вен), опасно, так как давление в них в момент вдоха является отрицательным. При вдохе возможно поступление атмосферного воздуха в полость вен и развитие воздушной эмболии, т. е. перенос пузырьков воздуха кровью и последующая закупорка ими артериол и капилляров, что может привести к смерти.

- Скорость кровотока в венах. Кровяное русло в венозной части шире, чем в артериальной, что по законам гемодинамики должно привести к замедлению тока крови. Скорость тока крови в периферических венах среднего калибра 6—14 см/с, в полых венах достигает 20 см/с.
- Движение крови в венах происходит прежде всего вследствие разности давления крови в мелких и крупных венах (градиент давления), т. е. в начале и конце венозной системы. Эта разность, однако, невелика, и потому кровоток в венах определяется рядом добавочных факторов. Одним из них является то, что эндотелий вен (за исключением полых вен, вен воротной системы и мелких венул) образует клапаны, пропускающие кровь только по направлению к сердцу. Скелетные мышцы, сокращаясь, сдавливают вены, что вызывает передвижение крови; обратно кровь не идет вследствие наличия клапанов. Этот механизм перемещения крови в венах называют мышечным насосом.
- Таким образом, силами, обеспечивающими перемещение крови по венам, являются градиент давления между мелкими и крупными венами, сокращение скелетных мышц («мышечный насос»), присасывающее действие грудной клетки.

- Венный пульс. В мелких и средних венах пульсовые колебания давления крови отсутствуют. В крупных венах вблизи сердца отмечаются пульсовые колебания — венный пульс, имеющий иное происхождение, чем артериальный пульс. Он обусловлен затруднением притока крови из вен в сердце во время систолы предсердий и желудочков. Во время систолы этих отделов сердца давление внутри вен повышается, и происходят колебания их стенок. Удобнее всего записывать венный пульс яремной вены.



- Рис. 35. Флебограмма.

- На кривой венного пульса — флебограмме — различают три зубца: а, с, v (рис. 35). Зубец «а» совпадает с систолой правого предсердия и обусловлен тем, что в момент систолы предсердия устья полых вен зажимаются кольцом мышечных волокон, вследствие чего приток крови из вен в предсердия временно приостанавливается. Во время диастолы предсердий доступ в них крови становится вновь свободным, и в это время кривая венного пульса круто падает. Вскоре на кривой венного пульса появляется небольшой зубец «с». Он обусловлен толчком пульсирующей сонной артерии, лежащей вблизи яремной вены. После зубца с начинается падение кривой, которое сменяется новым подъемом — зубцом «v». Последний обусловлен тем, что к концу систолы желудочков предсердия наполнены кровью, дальнейшее поступление в них крови невозможно, происходят застой крови в венах и растяжение их стенок. После зубца v наблюдается падение кривой, совпадающее с диастолой желудочков и поступлением в них крови из предсердий.

Строение лимфатической системы.

- Все ткани, за исключением поверхностных слоев кожи, ЦНС и костной ткани, пронизаны множеством лимфатических капилляров, образующих тончайшую сеть.
- Лимфатическая система человека и теплокровных животных состоит из следующих образований:
 - 1) лимфатических капилляров, представляющих собой замкнутые с одного конца эндотелиальные трубки, пронизывающие практически все органы и ткани; 2) внутриорганных сплетений посткапилляров и мелких, снабженных клапанами, лимфатических сосудов; 3) экстраорганных отводящих лимфатических сосудов, впадающих в главные лимфатические стволы, прерывающихся на своем пути лимфатическими узлами; 4) главных лимфатических протоков — грудного и правого лимфатического, впадающих в крупные вены шеи.
- Лимфатические капилляры и посткапилляры представляют собой часть лимфатической системы; в них под влиянием изменяющихся градиентов гидростатического и коллоидно-осмотического давлений происходит образование лимфы. Стенки лимфатических капилляров и посткапилляров представлены одним слоем эндотелиальных клеток, прикрепленных с помощью коллагеновых волокон к окружающим тканям. В стенке лимфатических капилляров между эндотелиальными клетками имеется большое количество пор, которые при изменении градиента давления могут открываться и закрываться. Внутри- и внеорганные лимфатические сосуды, лимфатические стволы и протоки выполняют преимущественно транспортную функцию, обеспечивая доставку образовавшейся в лимфатической системе лимфы в систему кровеносных сосудов.
- Лимфатические сосуды являются системой коллекторов, представляющих собой цепочки лимфангионов. Лимфангион является морфофункциональной единицей лимфатических сосудов и состоит из мышечной «манжетки», представленной спиралеобразно расположенными гладкими мышечными клетками и двух клапанов — дистального и проксимального. Крупные лимфатические сосуды конечностей и внутренних органов сливаются в грудной и правый лимфатический протоки. Из протоков лимфа поступает через правую и левую подключичную вены в общий кровоток.

- Эти капилляры в отличие от кровеносных замкнуты. Лимфатические капилляры собираются в более крупные лимфатические сосуды. Последние в нескольких местах впадают в вены; главные лимфатические сосуды, открывающиеся в вены, - это грудной и правый лимфатические протоки. Стенки лимфатических капилляров образованы однослойным эндотелием, через который легко проходят растворы электролитов, углеводы, жиры и белки. В стенках более крупных лимфатических сосудов имеются гладкомышечные клетки и такие же клапаны, как в венах. По ходу этих сосудов расположены лимфатические узлы – «фильтры», задерживающие наиболее крупные частицы, находящиеся в лимфе.
- Образование лимфы. В результате фильтрации плазмы в кровеносных капиллярах вода выходит в межклеточное пространство, вынося с собой небольшие ионы. Одна часть тканевой жидкости реабсорбируется в венозном участке микроциркуляторного русла, другая часть поступает в лимфатические капилляры, образуя лимфу. Следовательно, лимфа является пространством внутренней среды организма, образуемым в тканях организма из интерстициальной (тканевой или межклеточной) жидкости. Образование лимфы и перемещение жидкости между кровяным руслом, межклеточным пространством и лимфатическими сосудами определяется соотношением между гидростатическим и онкотическим давлением.
- Лимфа — жидкость, возвращаемая в кровоток из тканевых пространств по лимфатической системе. Лимфа образуется из тканевой (интерстициальной) жидкости, накапливающейся в межклеточном пространстве в результате преобладания фильтрации жидкости над реабсорбцией через стенку кровеносных капилляров. Движение жидкости из капилляров и внутрь их определяется соотношением гидростатического и осмотического давлений, действующих через эндотелий капилляров. Осмотические силы стремятся удержать плазму внутри кровеносного капилляра для сохранения равновесия с противоположно направленными гидростатическими силами. Вследствие того что стенка кровеносных капилляров не является полностью непроницаемой для белков, некоторое количество белковых молекул постоянно просачивается через нее в интерстициальное пространство. Накопление белков в тканевой жидкости увеличивает ее осмотическое давление и приводит к нарушению баланса сил, контролирующих обмен жидкости через капиллярную мембрану. В результате концентрация белков в интерстициальной ткани повышается и белки по градиенту концентрации начинают поступать непосредственно в лимфатические капилляры. Кроме того, движение белков внутрь лимфатических капилляров осуществляется посредством пиноцитоза.
- Утечка белков плазмы в тканевую жидкость, а затем в лимфу зависит от органа. Так, в легких она равна 4%, в желудочно-кишечном тракте — 4,1%, сердце — 4,4%, в печени достигает 6,2%.

Состав и количество лимфы.

- В состав лимфы входят клеточные элементы, белки, липиды, низкомолекулярные органические соединения (аминокислоты, глюкоза, глицерин), электролиты. Клеточный состав лимфы представлен в основном лимфоцитами. В лимфе грудного протока их число достигает $8 \cdot 10^9$ /л. Эритроциты в лимфе в норме встречаются в ограниченном количестве, их число значительно возрастает при травмах тканей, тромбоциты в норме не определяются. Макрофаги и моноциты встречаются редко. Гранулоциты могут проникать в лимфу из очагов инфекции.
- Ионный состав лимфы не отличается от ионного состава плазмы крови и интерстициальной жидкости. В то же время по содержанию и составу белков и липидов лимфа значительно отличается от плазмы крови. В лимфе человека содержание белков составляет в среднем 2—3% от объема. Концентрация белков в лимфе зависит от скорости ее образования: увеличение поступления жидкости в организм вызывает рост объема образующейся лимфы и уменьшает концентрацию белков в ней.
- В лимфе в небольшом количестве содержатся все факторы свертывания, антитела и различные ферменты, имеющиеся в плазме. Холестерин и фосфолипиды находятся в лимфе в виде липопротеинов. Содержание свободных жиров, которые находятся в лимфе в виде хиломикронов, зависит от количества жиров, поступивших в лимфу из кишечника. Тотчас после приема пищи в лимфе грудного протока содержится большое количество липопротеинов и липидов, всосавшихся в желудочно-кишечном тракте. Между приемами пищи содержание липидов в грудном протоке минимально.

- Продвигаясь по лимфатическим сосудам, и пройдя через лимфатические узлы, она существенно изменяет состав, преимущественно, за счет поступления в нее лимфоцитов. Содержание белка в лимфе в среднем составляет около 20 г/л. Эта величина зависит от проницаемости кровеносных капилляров, поэтому в разных органах существенно неодинакова, составляя 60 г/л в печени, 30–40 г/л в желудочно-кишечном тракте. Лимфатические сосуды служат важнейшими путями транспорта, по которым всосавшиеся питательные вещества, в частности жиры, направляются из пищеварительного тракта.
- В норме за сутки вырабатывается около 2 л лимфы, что соответствует тем 10% жидкости, которая не реабсорбируется после фильтрации в капиллярах. Поскольку скорость образования лимфы невелика, средняя скорость тока лимфы также очень мала. В тех лимфатических сосудах, стенки которых имеют гладкомышечные клетки, лимфа продвигается благодаря ритмичным сокращениям этих клеток. Обратному току лимфы препятствуют клапаны. В лимфатических капиллярах и сосудах скелетных мышц ток лимфы обеспечивается также деятельностью так называемого лимфатического насоса, т. е. мышечными сокращениями. При этом, как и кровь в венах, лимфа передвигается по лимфатическим сосудам вследствие того, что временное повышение давления в окружающих тканях сдавливает эти сосуды. Объемная скорость тока лимфы при мышечной работе может возрасти в 10–15 раз по сравнению с покоем.

Функции лимфатической системы.

- Лимфатические сосуды - это дополнительная дренажная система, по которой тканевая жидкость оттекает в кровеносное русло (Рис.116). В целом лимфа поддерживает постоянство состава и объем интерстициальной жидкости и микросреды клеток. Более подробно основные функции лимфатической системы заключается в следующем:
 1. Удаление из интерстициального пространства тех белков и других веществ, которые не реабсорбируются в кровеносных капиллярах. Если в результате недостаточной реабсорбции в капиллярах тканевая жидкость начинает накапливаться, то она быстрее удаляется по лимфатическим сосудам. После перевязки (в результате хирургического вмешательства) или закупорки (вследствие воспаления или других причин) лимфатических сосудов в тканях, расположенных дистальнее области нарушенного тока лимфы, развивается выраженный местный отек (так называемый лимфатический отек).
 2. Обеспечение гуморальной связи между тканями и органами, лимфатической системой и кровью.
 3. Всасывание и транспорт продуктов пищеварения (особенно липидов) из желудочно-кишечного тракта в кровь.
 4. Обеспечение механизмов иммунитета путем транспорта антигенов и антител, переноса из лимфоидных органов плазматических клеток, иммунных лимфоцитов и макрофагов.
- Наиболее важной функцией лимфатической системы является возврат белков, электролитов и воды из интерстициального пространства в кровь. За сутки в составе лимфы в кровоток возвращается более 100 г белка, профильтровавшегося из кровеносных капилляров в интерстициальное пространство. Нормальная лимфоциркуляция необходима для формирования максимально концентрированной мочи в почке. Через лимфатическую систему переносятся многие продукты, всасывающиеся в желудочно-кишечном тракте, и прежде всего жиры. Некоторые крупномолекулярные ферменты, такие как гистаминаза и липаза, поступают в кровь исключительно по системе лимфатических сосудов.
- Лимфатическая система действует как транспортная система по удалению эритроцитов, оставшихся в ткани после кровотечения, а также по удалению и обезвреживанию бактерий, попавших в ткани. Лимфатическая система продуцирует и осуществляет перенос лимфоцитов и других важнейших факторов иммунитета.
- При возникновении инфекции в каких-либо частях тела региональные лимфатические узлы воспаляются в результате задержки в них бактерий или токсинов. В синусах лимфатических узлов, расположенных в корковом и мозговом слоях, содержится эффективная фильтрационная система, которая позволяет практически стерилизовать поступающую в лимфатические узлы инфицированную лимфу.

Движение лимфы

- . Скорость и объем лимфообразования определяются процессами микроциркуляции и взаимоотношением системной и лимфатической циркуляции. Так, при минутном объеме кровообращения, равном 6 л, через стенки кровеносных капилляров в организме человека фильтруется около 15 мл жидкости. Из этого количества 12 мл жидкости реабсорбируется. В интерстициальном пространстве остается 3 мл жидкости, которая в дальнейшем возвращается в кровь по лимфатическим сосудам. Если учесть, что за час в крупные лимфатические сосуды поступает 150—180 мл лимфы, а за сутки через грудной лимфатический проток проходит до 4 л лимфы, которая в дальнейшем поступает в общий кровоток, то значение возврата лимфы в кровь становится весьма ощутимым.
- Движение лимфы начинается с момента ее образования в лимфатических капиллярах, поэтому факторы, которые увеличивают скорость фильтрации жидкости из кровеносных капилляров, будут также увеличивать скорость образования и движения лимфы.
- Факторами, повышающими лимфообразование, являются увеличение гидростатического давления в капиллярах, возрастание общей поверхности функционирующих капилляров (при повышении функциональной активности органов), увеличение проницаемости капилляров, введение гипертонических растворов.
- Роль лимфообразования в механизме движения лимфы заключается в создании первоначального гидростатического давления, необходимого для перемещения лимфы из лимфатических капилляров и посткапилляров в отводящие лимфатические сосуды.

- В лимфатических сосудах основной силой, обеспечивающей перемещение лимфы от мест ее образования до впадения протоков в крупные вены шеи, являются ритмические сокращения лимфангионов. Лимфангионы, которые можно рассматривать как трубчатые лимфатические микросердца, имеют в своем составе все необходимые элементы для активного транспорта лимфы: развитую мышечную «манжетку» и клапаны. По мере поступления лимфы из капилляров в мелкие лимфатические сосуды происходит наполнение лимфангионов лимфой и растяжение их стенок, что приводит к возбуждению и сокращению гладких мышечных клеток мышечной «манжетки». Сокращение гладких мышц в стенке лимфангиона повышает внутри него давление до уровня, достаточного для закрытия дистального клапана и открытия проксимального. В результате происходит перемещение лимфы в следующий центрипетальный лимфангион

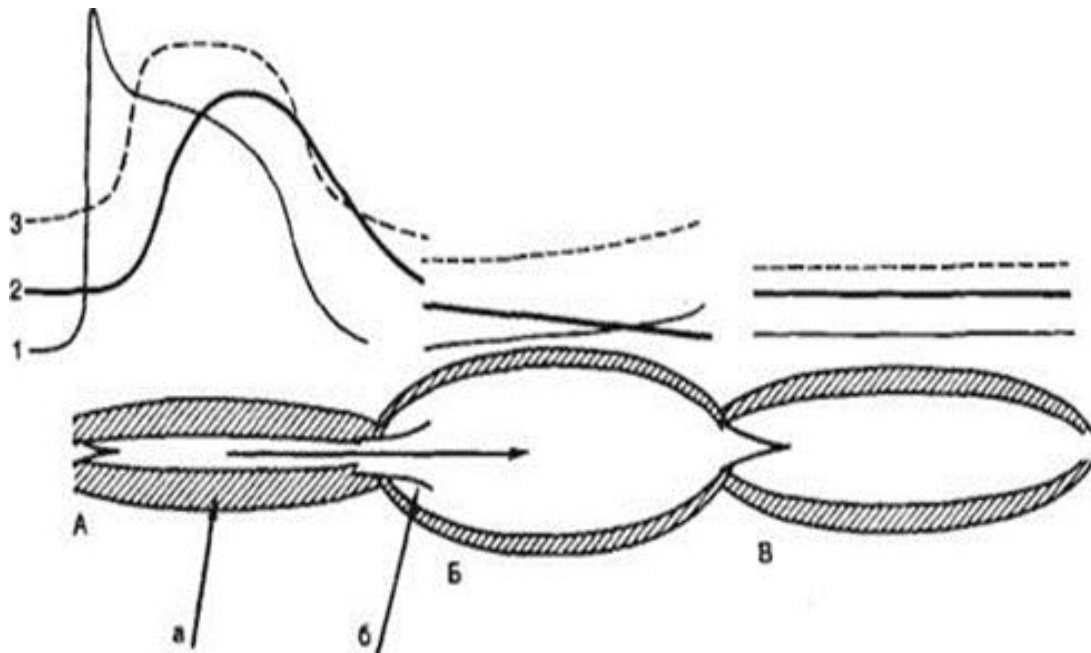


Рис.36. Механизм движения лимфы по лимфатическим сосудам (по Г. И. Лобову). А — лимфангион в фазе сокращенна; Б — лимфангион а фазе заполнения; В — лимфангион в состоянии покоя; а — мышечная манжетка лимфангиона; б — клапан; 1 — мембранный потенциал и потенциал действия миоцитов лимфангиона; 2 — сокращение стенки лимфангиона; 3 — давление в проекте лимфангиона. Стрелкой показано направление движения лимфы.

- Заполнение лимфой проксимального лимфангиона приводит к растяжению его стенок, возбуждению и сокращению гладких мышц и перекачиванию лимфы в следующий лимфангион. Таким образом, последовательные сокращения лимфангионов приводят к перемещению порции лимфы по лимфатическим коллекторам до места их впадения в венозную систему. Работа лимфангионов напоминает деятельность сердца. Как в цикле сердца, в цикле лимфангиона имеются систола и диастола. По аналогии с гетерометрической саморегуляцией в сердце, сила сокращения гладких мышц лимфангиона определяется степенью их растяжения лимфой в диастолу. И, наконец, как и в сердце, сокращение лимфангиона запускается и управляется одиночным платообразным потенциалом действия (рис. 36).
- Стенка лимфангионов имеет развитую иннервацию, которая в основном представлена адренергическими волокнами. Роль нервных волокон в стенке лимфангиона заключается не в побуждении их к сокращению, а в модуляции параметров спонтанно возникающих ритмических сокращений. Кроме этого, при общем возбуждении симпатико-адреналовой системы могут происходить тонические сокращения гладких мышц лимфангионов, что приводит к повышению давления во всей системе лимфатических сосудов и быстрому по-ступлению в кровяной ток значительного количества лимфы. Гладкие мышечные клетки высокочувствительны к некоторым гормонам и биологически активным веществам, таким, как гистамин. Миоциты лимфангиона реагируют также на изменения концентрации метаболитов, pO_2 и повышение температуры.
- В организме, помимо основного механизма, транспорту лимфы по сосудам способствует ряд второстепенных факторов. Во время вдоха усиливается отток лимфы из грудного протока в венозную систему, а при выдохе он уменьшается. Движения диафрагмы влияют на ток лимфы — периодическое сдавливание и растяжение диафрагмой цистерны грудного протока усиливает заполнение ее лимфой и способствует продвижению по грудному лимфатическому протоку. Повышение активности периодически сокращающихся мышечных органов (сердце, кишечник, скелетная мускулатура) влияет не только на усиление оттока лимфы, но и способствует переходу тканевой жидкости в капилляры. Сокращения мышц, окружающих лимфатические сосуды, повышают внутрилимфатическое давление и вы-давливают лимфу в направлении, определяемом клапанами. При иммобилизации конечности отток лимфы ослабевает, а при активных и пассивных ее движениях — увеличивается. Ритмическое растя-жение и массаж скелетных мышц способствуют не только механи-ческому перемещению лимфы, но и усиливают собственную сократительную активность лимфангионов в этих мышцах.

