

Кафедра анестезиологии и реаниматологии ФПДО, реанимации и
интенсивной терапии лечебного и медико-профилактического
факультетов

КЛИНИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ И КРОВООБРАЩЕНИЯ В ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ

СОСТАВИТЕЛЬ:

кандидат медицинских наук, доцент **МИЛЬДЗИХОВ Г.К.**

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

- доктор медицинских наук, профессор **АСТАХОВА З.Т.**
- доктор медицинских наук, профессор **СЛЕПУШКИН В.Д.**

Методическая разработка утверждена и рекомендована к печати ЦКМС
СОГМА 6 февраля 2001г., протокол № 3.

1.1. ДЫХАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Основной функцией легких является обмен O_2 и CO_2 между внешней средой и организмом. Это достигается сочетанием вентиляции, диффузии газов через альвеолярно-капиллярную мембрану и легочного кровообращения (В. Д. Малышев, 1989).

Примечание. Помимо основной функции газообмена, легкие играют большую роль в эндо- и экзогенной защите, обеспечивают детоксикацию, ингибицию, депонирование многих биологически активных веществ (В. А. Гончарова, Н. В. Сыромятникова. 1975), участвуют в белковом, жировом, углеводном обмене, выполняют фибринолитическую и антикоагулянтную, кондиционирующую и выделительную функции, регулируют водный баланс (А. П. Зильбер, 1977), синтезируют поверхностно-активные вещества (И. А. Козлов, М. А. Выжигина, М. Л., Бархи. 1983).

Процесс дыхания условно можно подразделить на три этапа.

Первый этап (внешнее дыхание) включает в себя доставку кислорода из внешней среды в альвеолы.

Вторым этапом дыхания является диффузия O_2 через альвеолярно-капиллярную мембрану ацинуса и транспортировка его к тканям; движение CO_2 осуществляется в обратном порядке.

Третий этап дыхания (тканевое дыхание) заключается в утилизации кислорода при биологическом окислении субстратов и образовании, в конечном итоге, энергии в клетках.

Примечание. Регуляция дыхания осуществляется центральной (дыхательный центр) и периферической нервной системой. В кровеносных сосудах находятся хеморецепторы, реагирующие на концентрацию продуктов обмена, парциальное напряжение кислорода и углекислого газа и реакцию внутренней среды организма (pH). Через них осуществляется регуляция объема вентиляции, частоты, глубины, длительности вдоха и выдоха, силы сокращений дыхательных мышц.

Первый этап. Адекватность первого этапа зависит от многих факторов, начиная с функции верхних дыхательных путей: очищение, согревание, увлажнение воздуха. Эффективность очищения вдыхаемого воздуха зависит от количества и качественного состояния макрофагов, содержащихся в слизистых оболочках; они фагоцитируют и переваривают минеральные и бактериальные частицы. Внутренняя поверхность верхних дыхательных путей выстлана реснитчатым псевдомногослойным эпителием. Его основная функция — эвакуация мокроты из верхних дыхательных путей; в норме из трахеи и бронхов за сутки удаляется до 100 мл мокроты, при некоторых видах патологии до 100 мл/час.

Для нормальной функции верхних дыхательных путей важное значение имеет состояние кашлевого рефлекса. При его нарушении не происходит своевременного освобождения верхних дыхательных путей от патологического секрета.

Различают верхние (полость носа, рта, глотки и гортани) и нижние (трахея, бронхи) дыхательные пути. Емкость верхних дыхательных путей называется анатомическим мертвым пространством, оно приблизительно равно 150 см³ или 2.2 см³ на 1 кг массы. Воздух, заполняющий анатомическое мертвое пространство, в газообмене не участвует. Вентиляция легких зависит от дыхательного объема и частоты дыханий в 1 мин. Основные параметры вентиляции легких представлены в табл.1

Таблица 1. Нормальные величины функциональных проб легких (Comroe J. et al., 1961).

Показатель	Параметры
Дыхательный объем	0,5л
Резервный объем вдоха	1,5-2 л
Остаточный объем	1,0-1,5 л
Общая емкость легких	3,8-5,8 л
Резервный объем выдоха	1,5-2,0 л
Минутный объем дыхания	6,0-9,0 л/мин.
Жизненная емкость легких	2,8-4,3 л

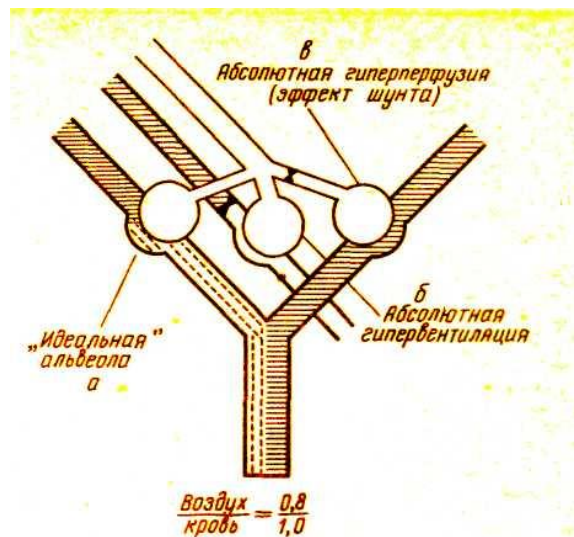
Примечание. Данные приведены для здорового человека (поверхность тела 1,7 м²) в покое лежа при дыхании воздухом.

Величина вдоха определяется разницей между силой сокращения дыхательных мышц и эластичностью легких. Эластичность легких зависит от поверхностного натяжения жидкости, покрывающей альвеолы и эластичности самой легочной ткани. Вентилируемость легких во время вдоха (по значимости): нижний отдел, передний, задний, верхушка. Работа дыхания увеличивается при заболеваниях легких, сопровождающихся повышением эластичного и неэластичного сопротивлений. Этот факт необходимо учитывать при проведении искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Вторым этапом дыхания является диффузия кислорода через **АЦИНУС** и транспортировка его к тканям; движение углекислого газа осуществляется в обратном порядке. Ацинус является структурной единицей легких. Он состоит из дыхательной бронхиолы и альвеол. Функциональная единица - **РЕСПИРОН**.

Вентиляционно-перфузионные отношения в легких.

a—нормальная вентиляция и нормальная перфузия; *б*—нормальная вентиляция и отсутствие перфузии; *в*—отсутствие вентиляции и нормальная перфузия.



Диффузия кислорода осуществляется за счет парциальной разности его содержания в альвеолярном воздухе и венозной крови, после чего незначительная часть O_2 , растворяется в плазме, а большая часть связывается с гемоглобином, содержащимся в эритроцитах, и в таком виде транспортируется к органам и тканям (см. ниже: **Кислородно-транспортная функция крови**). Соседние альвеолы сообщаются между собой порами (поры Кона) межальвеолярных перегородок. Через них возможна незначительная вентиляция альвеол с закупоренными слизью ходами, например, при астматическом статусе.

Примечание. Функция альвеолярно-капиллярной мембраны не ограничивается только диффузией газов. Она влияет на химический состав крови, участвует в процессах регуляции свертывающей системы крови и др.

Внутренняя поверхность альвеол покрыта **сложным белковым поверхностно-активным веществом — СУРФАКТАНТОМ**. Сурфактантный комплекс препятствует спадению терминальных бронхиол, играет важную роль в регуляции водного баланса, осуществляет противоотечную функцию, оказывает защитное действие за счет противоокислительной активности. Предполагается участие сурфактанта в процессах диффузии O_2 и CO_2 , через альвеолярно-капиллярный барьер за счет регулирующего влияния на динамику перикапиллярной, интерстициальной и альвеолярной жидкости (В. Б. Скобельский, 1996). Сурфактант очень чувствителен к различным эндо- и экзогенным факторам: снижение кровообращения, вентиляции, уменьшение парциального напряжения кислорода в артериальной крови (paO_2) вызывают уменьшение его количества, в результате чего нарушается стабильность поверхности альвеол, что может осложниться возникновением ателектазов.

Третий этап дыхания заключается в утилизации кислорода в цикле трикарбоновых кислот (цикл Кребса) для биологического окисления белков, жиров и углеводов, с целью выработки энергии. Молекулярной основой клеточного дыхания является окисление углерода до углекислого газа и перенос атома водорода на атом кислорода с последующим образованием молекулы воды. Данный путь получения энергии (аэробный) в организме является ведущим и наиболее эффективным. Так, если из 1 молекулы глюкозы

при анаэробном окислении образуется только 2 молекулы АТФ, то при аэробном окислении из нее образуется 36 молекул АТФ. В нормальных условиях 96—98% всей энергии, вырабатываемой в организме, образуется в условиях аэробного окисления и только 2—4% приходится на анаэробное. Отсюда ясна исключительная роль адекватного снабжения организма кислородом.

Сосудистое русло легких состоит из 2-х систем: легочной и бронхиальной. Давление в легочной артерии в среднем равно 17—23 мм рт. ст. Общая поверхность стенок капилляров составляет 30—60 м², а при физической нагрузке увеличивается до 90 м². Диастолическое давление в левом желудочке равно 0,2 мм рт. ст. Нормальный кровоток в системе легочной артерии зависит от величины венозного возврата крови к сердцу, сократительной способности миокарда, функционирования клапанов, тонуса артериол и прекапиллярных сфинктеров. В зависимости от конкретных условий, емкость малого круга может значительно меняться, т. к. он относится к системе сосудов с низким давлением.

1.2. СЕРДЕЧНО- СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА

Взаимосвязь между внешней средой и различными анатомо-физиологическими структурами организма обеспечивает сердечно-сосудистая система (ССС). Рассмотрим основные составляющие СССР: **1.2.1. Кровь; 1.2.2. Сердце; 1.2.3. Сосуды.**

1.2.1. Кровь

Основные показатели крови: плотность 1,055—1,065, вязкость в 5—6 раз больше, чем у воды, объем приблизительно равен 8% массы тела (5—6 л). Гематокрит: мужчины — 0,45—0,48, женщины — 0,42—0,45. Основная функция эритроцитов — транспорт кислорода к тканям; лейкоцитов — фагоцитоз, иммунные процессы, пирогенные реакции; тромбоцитов — процессы свертывания.

Плазма крови представляет собой коллоидно-электролитно-белковый раствор, в котором взвешены форменные элементы. Она имеет большое значение в осуществлении гемо- и гидродинамики.

Плазма составляет большую часть ОЦК. Содержащийся в ней белок обеспечивает значительную часть коллоидно-осмотического давления крови. Белки плазмы, особенно альбумины, связывают лекарственные вещества, токсины и транспортируют их к местам разрушения.

Для крови характерно увеличение вязкости в зависимости от градиента скорости. В свою очередь, от вязкости зависит еще одно свойство крови — текучесть, величина, обратная вязкости. Вязкость возрастает при сахарном диабете (на 20%), при коматозных состояниях, коронарной недостаточности, дегидратации, шоке и т. д. При этом основной причиной снижения текучести является увеличение гематокрита и возрастание концентрации глобулинов и

фибриногена. Уменьшение вязкости наблюдается при гипертермии, лечении антикоагулянтами, декстранами. Кроме этого, текучесть крови зависит от физико-химических свойств форменных элементов (их концентрации, взаимодействия между собой и сосудистой стенкой).

Кислородно-транспортная функция крови

Кровь осуществляет свою кислородно-транспортную функцию благодаря наличию в ней гемоглобина, разности парциального давления газов на этапе их транспортировки и ряда некоторых других факторов. Состав вдыхаемого, альвеолярного и выдыхаемого воздуха представлен в табл. 2, парциальное давление газов на различных этапах транспортировки — в табл. 3.

Таблица 2. Состав вдыхаемого, альвеолярного и выдыхаемого воздуха (по Уайту и др., 1981).

Газ	Вдыхаемый	Альвеолярный (об. %)	Выдыхаемый (об. %)
O ₂	20,95	14,0	16,1
CO ₂	0,04	5,6	4,5
N ₂	79,0	80,0	79,2
Сумма	99,99	99,6	99,8

Таблица 3. Парциальное давление дыхательных газов на различных участках их транспортировки у здоровых людей в покое (Сиггаард-Андерсен, 1960).

Давление газа, в мм.рт. ст.	Вдыхаемый воздух	Альвеолярный воздух	Артериальная кровь	Капиллярная кровь	Венозная кровь
PO ₂	158	103	100	100>40	40
PCO ₂	0,3	40	40	40<46	46

Примечание. При обычных условиях различные газы смешиваются друг с другом в любых соотношениях. При этом каждый газ, входящий в состав смеси, характеризуется своим парциальным давлением. Оно представляет собой то давление, которое производило бы имеющееся в смеси количество

данного газа, если бы оно одно занимало при той же температуре весь объем, занимаемый смесью. Установленный Дальтоном закон парциальных давлений гласит: «Давление смеси газов, химически не взаимодействующих друг с другом, равно сумме парциальных давлений газов, составляющих смесь».

В условиях покоя организм потребляет 250 мл O_2 в 1 мин., а при значительной физической нагрузке эта величина может возрасти до 2500 мл/мин. Каков механизм доставки O_2 к тканям?

Кислород в крови находится в двух видах — физически растворенный в плазме и химически связанный с гемоглобином (НЬ). Для определения клинической значимости каждого из этих двух видов существования O_2 требуется провести несложные расчеты.

Нормальный минутный объем сердца (МОС) равен 5 л/мин., из этой величины примерно 60% (3 л) приходится на плазму. Коэффициент растворимости кислорода в плазме при $t = 38^\circ C$ и при 760 мм. рт. ст. равен 0,024 мл/мл, следовательно, в 3 л плазмы может быть растворено ($3000 \times 0,024$) 72 мл кислорода. В крови парциальное давление O_2 , во много раз меньше и составляет 80—90 мм рт. ст., а так как известно, что любой газ растворяется в жидкостях пропорционально своему парциальному давлению, то несложно рассчитать, что в 3 л циркулирующей в организме плазмы крови будет находиться не 72, а 8 мл растворенного кислорода, что составляет приблизительно всего 3% от минимальной потребности организма, равной 250 мл/мин. Полученная нами расчетная величина полностью совпадает с данными, выявленными Cuenter С. А. (1977). Эта величина (3%) настолько мала, что ею в дальнейшем можно пренебречь и не обсуждать значение физически растворенного O_2 для жизнедеятельности организма.

Исходя из вышеизложенного, становится ясным, что единственным реальным переносчиком кислорода в организме может быть только гемоглобин. Его молекула состоит из четырех полипептидных цепей, каждая из которых связана с гемом (сложное небелковое соединение, содержащее в своем составе железо). При присоединении кислорода к гемоглобину последний превращается в оксигемоглобин. Объем переносимого кислорода зависит, в свою очередь, от суммарного количества циркулирующего гемоглобина и его кислородной емкости, что, в конечном итоге, определяет **кислородную емкость крови — это то количество кислорода, которое одновременно находится в связанном виде с НЬ в артериальной крови.**

Кислородная емкость 1 г гемоглобина при условии 100% насыщения крови кислородом составляет 1,34 мл, следовательно, должная величина кислородной емкости крови будет равна НЬ - 1,34, или при НЬ, равном 150 г/л, 150 г умножаем на 1,34 мл и получается, что **в одном литре крови будет находиться 201 мл связанного кислорода, или 20,1% по объему. Это и есть величина кислородной емкости крови.**

Приведенные цифры носят академический характер. На самом деле в нормальных условиях кислородная емкость артериальной крови составляет 18—19, а венозной крови — 12—14% по объему. Разница между этими

величинами носит название артериовенозной разницы по кислороду (А—В). В норме эта величина равна 5—6% по объему. Исходя из приведенных цифр, можно легко рассчитать, что **организм в нормальных условиях утилизирует только 25% имеющегося в артериальной крови кислорода. Оставшиеся не востребуемыми 75% служат для обеспечения так называемого «запаса прочности» организма по кислороду.**

Уровень насыщения гемоглобина кислородом (sO_2) зависит не только от суммарного количества гемоглобина, но и от парциального давления кислорода в крови (pO_2), pH внутренней среды и температуры тела. Графическая зависимость между sO_2 и pO_2 носит характер S-образной кривой и отражает степень насыщения гемоглобина кислородом; иначе она называется кривой диссоциации оксигемоглобина (КДО) (см. рис. 1). S-образный характер КДО имеет важное физиологическое значение. Такой характер кривой

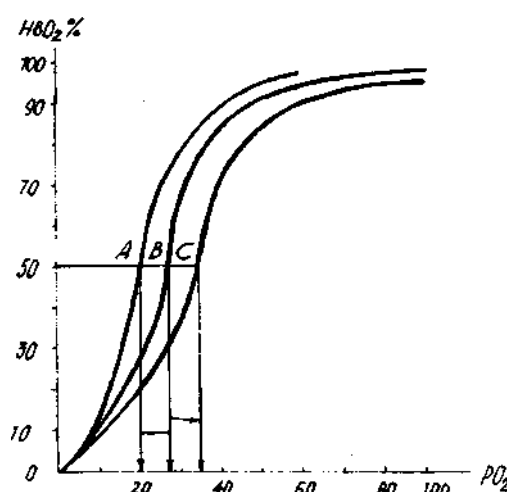


Рис. 1. Смещение кривой диссоциации гемоглобина.

А — влево; В — норма; С — вправо.

обеспечивает возможность адекватного насыщения крови при изменениях pO_2 в довольно широких пределах.

Так, при снижении pO_2 во вдыхаемом воздухе до 60-70 мм рт. ст. (это соответствует подъему на высоту 3-3,5 км над уровнем моря), кривая КДО смещается влево, и значительных признаков гипоксемии у человека не наблюдается.

С другой стороны, даже при значительном увеличении pO_2 выше 80 мм рт. ст. (например, в условиях эксперимента в барокамере создали p_{aO_2} , равное 600 мм рт. ст.), sO_2 достигает своего верхнего физиологического предела, но не превышает его. Другое дело, что при таком высоком давлении возрастет примерно на 11% содержание физически растворенного в плазме кислорода (с 1,6 до 1,8 мл/л), но это имеет весьма косвенное отношение к КДО.

Численно сродство гемоглобина к кислороду принято выражать величиной P50. Она равна такому парциальному напряжению кислорода, при котором весь гемоглобин, имеющийся в артериальной системе организма (при pH 7,4 и 37°C), на 50% насыщается кислородом.

В норме P_{50} равно 30 мм рт. ст. (см. рис. 1). Смещение кривой насыщения НЬ вправо означает уменьшение способности гемоглобина связывать кислород и, следовательно, сопровождается повышением P_{50} . Напротив, смещение кривой влево свидетельствует о повышенном сродстве гемоглобина к кислороду, и величина P_{50} будет снижена.

Помимо вышеуказанных факторов, КДО зависит и от рН. На тканевом уровне чем дальше от легких, тем рН тканей становится меньше (один из компонентов закисления — накопление избытка углекислого газа), а это уменьшает сродство гемоглобина к кислороду; благодаря этому артериальная кровь легко отдает его тканям на уровне системы микроциркуляции. Обратным током кровь, ставшая к этому моменту уже венозной, попадает в сеть легочных капилляров, где рН значительно выше, чем в венозной сети. В результате этого сродство гемоглобина к кислороду восстанавливается, и процесс переноса кислорода возобновляется.

Характер КДО зависит и от температуры тела. Чем она выше, тем меньше будет сродство гемоглобина к кислороду и наоборот. Знание этого фактора дает объяснение одной из причин возникновения признаков острой дыхательной недостаточности у больных с высокой температурой. Кроме вышеуказанных факторов, на транспортную функцию кислорода существенную роль оказывает и внутриклеточный органический фосфат — 2, 3-дифосфоглицерат (2, 3-ДФГ). Он непосредственно образуется в эритроцитах, находится в молекуле гемоглобина и влияет на ее сродство к кислороду. Повышение уровня 2, 3-ДФГ в эритроцитах уменьшает сродство гемоглобина к кислороду, а понижение концентрации 2, 3-ДФГ приводит к увеличению его сродства к O_2 .

Ряд патологических синдромов может сопровождаться выраженными изменениями уровня 2, 3-ДФГ как в сторону его увеличения, так и снижения. При наличии легочных заболеваний, сопровождающихся развитием хронической гипоксии, содержание 2, 3-ДФГ повышается и, соответственно, уменьшается сродство НЬ к O_2 , что вызывает улучшение снабжения тканей кислородом. При кетоацидотической коме наблюдается обратный процесс. Осложняющий ее течение декомпенсированный метаболический ацидоз нарушает образование 2, 3-ДФГ в эритроцитах, вследствие чего сродство гемоглобина к кислороду возрастает и нарушаются условия его отдачи на тканевом уровне. В консервированной крови, особенно с длительным сроком хранения, уровень 2, 3-ДФГ снижается, поэтому при ее переливании нарушается отдача кислорода тканям.

Следовательно, смещение КДО является важнейшим физиологическим процессом, обеспечивающим транспорт кислорода в организме. К факторам, приводящим к возрастанию сродства НЬ к O_2 и смещению КДО влево при падении P_{50} , относятся:

- увеличение рН;
- уменьшение pCO_2 ;
- уменьшение концентрации 2, 3-ДФГ и неорганического фосфата;
- снижение температуры тела;
- алкалоз.

С другой стороны, уменьшение рН, увеличение рСО₂, концентрации 2, 3-ДФГ и неорганического фосфата, а также повышение температуры и ацидоз приводят к уменьшению сродства НЬ к О₂, и смещению КДО вправо при возрастании Р₅₀.

Потребление кислорода, кроме функционального состояния гемоглобина, в определенной мере отражает компенсаторную роль гемодинамики. Увеличение минутного объема кровообращения (МОК) может компенсировать недостаток кислорода в крови.

Транспорт углекислого газа (СО₂). Конечным продуктом аэробного гликолиза является углекислый газ. Он образуется в клетках и реагирует с водой, в результате чего получается угольная кислота, которая, в свою очередь, диссоциирует на ионы водорода и НСО³⁻. Эта реакция происходит во всех водных секторах и эритроцитах. Катализирует ее карбоангидраза. Далее углекислота диффундирует через клеточные мембраны и попадает в венозную кровь. В состоянии покоя за 1 мин. в тканях образуется и выделяется легкими примерно 180 мл СО₂. Данную величину легко рассчитать. Ввиду того, что дыхательный коэффициент (ДК — отношение количества выведенной углекислоты к количеству поглощенного кислорода) в норме составляет 0,85, при поглощении организмом за одну мин. 250 мл О₂, должно будет выделяться 210 мл СО₂. Каковы механизмы выведения углекислого газа из организма? Часть углекислого газа физически растворена в плазме крови. Хотя растворимость СО₂ в плазме в 40 раз выше растворимости О₂, тем не менее, небольшая артериовенозная разница по парциальному напряжению углекислого газа между венозной и артериальной кровью делает возможным перенос физически растворенного газа не более 6-7% от его суммарного количества. Примерно 3—10% углекислого газа из тканей к легким транспортируется в виде карбаминовой формы. Что это такое? Рядом исследований было доказано, что СО₂ может присоединяться к гемоглобину посредством карбаминовой связи, образуя карбгемоглобин (синоним — карбаминогемоглобин). Данное соединение химически очень нестойко и в системе легочных капилляров легко диссоциирует с отщеплением СО₂.

Основное количество углекислого газа (более 80%) транспортируется из тканей к легким в форме бикарбоната, важнейшая роль в этом механизме принадлежит гемоглобину и его способности к процессам оксигенации и деоксигенации. Оксигенированный гемоглобин (НЬО₂) является более сильной кислотой, чем деоксигенированный, благодаря этому обеспечивается связывание СО₂ в тканевых капиллярах и освобождение его в легочных.

Показатели газов крови

Для знания точного содержания газов нужно одновременно исследовать артериальную, венозную и капиллярную кровь. Однако если у больного нет существенных нарушений газообмена, о состоянии газов вполне адекватно можно судить по динамике их содержания в «артериализированной»

капиллярной крови. Для ее получения необходимо предварительно согреть или хорошо в течение 5 мин. отмассировать мочку уха или палец кисти.

Исследование pO_2 и pCO_2 проводят при помощи анализаторов микрометодом Аструпа. Каждый такой прибор оборудован микро-ЭВМ, и все расчеты содержания кислорода в крови осуществляются в автоматическом режиме по нижеприведенным формулам.

$$CaO_2 = Hb (\text{г}\%) \times 1,39 \times SaO_2/100 + 0,0031 \times PaO_2$$

$$CvO_2 = Hb (\text{г}\%) \times 1,39 \times SvO_2/100 + 0,0031 \times PvO_2$$

где: CaO_2 — содержание O_2 в артериальной крови,
 CvO_2 — содержание O_2 в смешанной венозной крови,
 SaO_2 — насыщение кислородом артериальной крови,
 SvO_2 — насыщение кислородом смешанной венозной крови,
 PaO_2 — парциальное напряжение кислорода в артериальной крови,
 PvO_2 — парциальное напряжение кислорода в смешанной венозной крови,
1,39 — константа Гюффнера,
0,0031 — коэффициент растворимости кислорода.

Нормальные показатели газов крови представлены в табл. 4.

Таблица 4. Показатели газов крови у здорового человека (Сиггаард-Андерсен, 1960).

Показатель	Артериальная кровь	Смешанная кровь
PaO_2 , мм рт. ст.	80-100	37-42
SaO_2 , %	96-98	60-70
PCO_2 , мм рт. ст.	35-45	42-48

Примечание. Приведенные данные касаются лиц молодого и среднего возраста. С возрастом происходит снижение pCO_2 и SaO_2 .

1.2.2. Сердце

Основные электрофизиологические характеристики сердца: возбудимость, сократимость, проводимость, автоматизм. Функция сердца, как насоса, зависит от состояния эндокарда, миокарда, перикарда, состояния клапанного механизма, ЧСС и ритма.

Основной путь выработки энергии для сердца — аэробный. Одно из важнейших свойств сердца — возбудимость, которая обусловлена периодическим изменением трансмембранного потенциала. Сумма этих изменений в виде биотоков регистрируется на ЭКГ.

Ведущий показатель адекватной работы сердца — ударный объем (УО; синоним — систолический объем, норма: 60—80 мл) и производная от него величина: минутный объем сердца (МОС); равен $УО \cdot ЧСС$, норма 5-6 л).

1.2.3. Сосуды

Привязка кровотока к органам и тканям осуществляется при помощи пяти видов кровеносных сосудов:

1. Сосуды-буферы, или артерии.
2. Сосуды-ёмкости, или вены.
3. Сосуды распределения (сопротивления) — это артериолы и венулы.
4. Сосуды обмена — капилляры.
5. Сосуды-шунты.

Структурной единицей системы микроциркуляции является КАПИЛЛЯРОН, состоящий из артериолы, венулы, капилляров и артерио-венозного анастомоза.

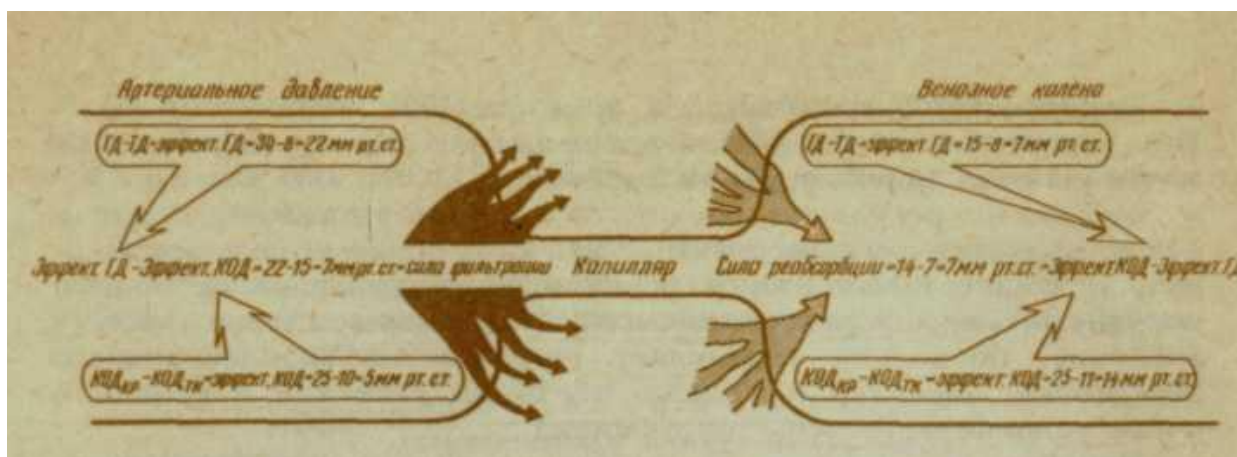


Схема фильтрации и реабсорбции воды на уровне капилляров.

Д— гидростатическое давление; ГД—тканевое давление;
КОД— капиллярно-осмотическое давление. Слева—артериальный отдел;
справа — венозный.

Тонус артериол в головном мозге и сердце регулируется через хеморецепторы, реагирующие на рН, $раСО_2$, а в других органах и системах еще и симпатической нервной системой.

Движущая сила обмена веществ на уровне капилляров — гидродинамическое (ГД) и коллоидно-осмотическое давление (КОД).

Лимфатическая система обеспечивает постоянство плазмы крови и межклеточной жидкости. Объем лимфы приблизительно 2 л, скорость лимфотока 0,5—1,0 мл/сек.

