

Ю.М.ДОСИН, Е.Н.ИГОНИНА

ФИЗИОЛОГИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

КАФЕДРА МЕДИКО-
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ
ФИЗИЧЕСКОГО
ВОСПИТАНИЯ

ТЕМА ФИЗИОЛОГИЯ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Краткие теоретические сведения

Кровообращение – непрерывное движение крови по замкнутой системе полостей сердца и кровеносных сосудов, обусловленное сокращениями сердца и пульсирующих сосудов. К системе кровообращения относятся сердце, которое выполняет роль насоса, и сосуды, по которым циркулирует кровь. Кровообращение обеспечивает поступление ко всем органам и тканям кислорода, питательных веществ, солей, гормонов, воды, и выведение из них продуктов обмена, т.е. постоянство внутренней среды.

Сосудистая система состоит из двух кругов кровообращения – большого и малого. Большой круг кровообращения начинается от левого желудочка сердца аортой, которая переходит в артерии, артериолы, капилляры, через стенки которых кровь отдает питательные вещества и кислород в тканевую жидкость и забирает из нее продукты жизнедеятельности клеток. Далее она поступает в вены, которые образуют верхнюю и нижнюю полые вены, впадающие в правое предсердие, где заканчивается большой круг кровообращения. Малый круг кровообращения начинается от правого желудочка сердца легочным стволом, разделяющимся на две легочные артерии, делящихся до капилляров, оплетающих альвеолы, где происходит газообмен между венозной кровью и воздухом. От легких по четырем легочным венам артериальная кровь возвращается в левое предсердие, где заканчивается малый круг кровообращения.

Источником энергии продвижения крови является сердце, полый мышечный орган, разделенный продольной перегородкой на правую и левую половины, каждая из которых состоит из предсердий и желудочков, отделенных фиброзными перегородками. Односторонний ток крови в сердце обеспечивается клапанами (митральным – между левым предсердием и левым желудочком, трикуспидальным между правым предсердием и правым желудочком и полулунными – в устье аорты и легочного ствола). Сердечная мышца (миокард) обладает рядом свойств. К ним: автоматия, возбудимость, проводимость, сократимость и способность к расслаблению, рефрактерность.

Автоматия – способность к самовозбуждению. Автоматией обладает сердечная мышечная ткань со специальными свойствами, состоящая из атипических мышечных клеток, бедных миофибриллами, богатых саркоплазмой. Сердечная мышечная ткань со специальными свойствами образует проводящую систему – синоатриальный узел (Кис-Флекса), являющийся главным водителем ритма сердца, располагающийся в стенке правого предсердия в устьях полых вен. Далее возбуждение передается атрио-вентрикулярному узлу (Ашоф-Тавара), расположенному на границе правого предсердия и желудочка, от которого отходит пучок Гиса, разветвляющийся на правую и левую ножки и волокна Пуркинье. Способностью проводящей системы является то, что каждая клетка способна генерировать возбуждение, т.е. обладает автоматией. При этом наблюдается так называемый градиент автоматии, выражающийся в убывании способности к автоматии различных участков проводящей системы по мере их удаления от синоатриального узла. Автоматия обусловлена изменением мембранных потенциалов в водителе

ритма, связанного со сдвигом концентрации калия и натрия внутри и вне клетки, при этом важную роль играет содержание кальция в миокарде, pH внутренней среды и ее температура, гормоны – адреналин, норадреналин, ацетилхолин. Спонтанная генерация ритмических импульсов, исходящих из синоатриального узла при наличии в миокарде связей мышечных клеток, обусловленных тесными контактами (нексусами) приводит в конечном итоге к возбуждению всего миокарда.

Возбудимость – способность при действии раздражителей приходить в состояние возбуждения, при котором изменяются биохимические и биофизические свойства мышечной ткани. Сердце реагирует на раздражитель по закону «Все или ничего», т.е. отвечает или не отвечает на раздражение, или отвечает сокращением максимальной силы. Мила раздражителя должны быть пороговой.

Возбудимость миокарда непостоянна. В начальном периоде возбуждения сердечная мышца невосприимчива (рефрактерна) к повторным раздражениям. Это фаза абсолютной рефрактерности. Она равна по времени сокращению сердца (систоле – 0,2-0,3 с). Вследствие достаточно длительного периода абсолютной рефрактерности сердечная мышца не может сокращаться по типу тетануса, что имеет исключительное значение для координации работы сердца.

С началом расслабления возбудимость сердца начинает восстанавливаться. Наступает фаза относительной рефрактерности. Поступление в этот момент дополнительного импульса вызывает внеочередное сокращение сердца – экстрасистолу, при этом далее наступает более длительный период расслабления – компенсаторная пауза. После фазы относительной рефрактерности наступает период повышенной возбудимости.

Проводимость сердца обеспечивает распространение возбуждения от клеток водителей ритма по всему миокарду, а сократимость сердечной мышцы обуславливает увеличение напряжения или укорочение ее мышечных волокон при возбуждении.

Сила сокращения сердца прямо пропорциональна длине его мышечных волокон, т.е. степени их растяжения при изменении величины потока венозной крови. Иными словами, чем больше сердце растянуто, тем оно сильнее сокращается во время систолы. Эта особенность сердечной мышцы, установленная О. Франком и Е. Старлингом, получила название закона Франка-Старлинга. Поставщиком энергии при этом является АТФ и креатинфосфат, восстановление которых происходит гликолитическим и окислительным фосфорилированием.

Сокращение сердца называют систолой, а расслабление – диастолой (см. лаб. задание «Определение длительности сердечного цикла (ДСЦ) у человека по пульсу»).

Во время работы сердца возникают звуки, называемые его тонами. Их можно прослушать, если приложить ухо или фонендоскоп к грудной стенке. Метод аускультации. Различают два тона сердца: первый (систолический) – низкий, продолжительный, связанный с сокращением миокарда желудочков, колебаниями створок предсердно-желудочковых клапанов и вибраций сухожильных нитей; второй (диастолический) – короткий и более высокий, возникает в начале диастолы в момент захлопывания полулунных клапанов

аорты и легочного ствола. Важной особенностью тонов сердца в детском возрасте является наличие у большинства здоровых детей функционального систолического шума, который обусловлен ускоренным кровотоком через легочную артерию.

Левый и правый желудочки при каждом сокращении сердца человека изгоняют соответственно в аорту и легочные артерии примерно 60-80 мл крови. Этот объем называется систолическим объемом крови (СОК) или ударным объемом крови (УОК). Умножив УОК на ЧСС, можно вычислить минутный объем крови (МОК), который можно вычислить минутный объем крови (МОК), который составляет 4,5- 5 л. У новорожденных систолический (ударный) и минутный объем сердца значительно меньше, чем у взрослых. С возрастом, по мере роста и развития миокарда, они возрастают, особенно при занятиях спортом. Важным показателем является сердечный индекс – отношение МОК к площади тела. У взрослых людей она составляет 2,5 – 3,5 л мин/м². При мышечной деятельности систолический объем может возрасть до 100-150 л и более, а МОК – до 30-35 л.

Движение крови (гемодинамика) по сосудам обусловлено градиентом (разницей) давления в артериях и венах. Оно подчинено законам гидродинамики и определяется двумя силами: давлением, влияющим на продвижение крови, и сопротивлением, которое она испытывает при трении о стенки сосудов (см. лаб. задание «Определение кровяного давления у человека в покое»).

Давление определяется силой, с которой кровь выбрасывается в сосуды, сопротивлением – диаметром сосудов, их длиной, тонусом, а также объемом циркулирующей крови и ее вязкостью.

Различают объемную и линейную скорости движения крови. Объемной скоростью кровотока называют количество крови протекающей за 1 минуту через всю кровеносную систему. Таким образом, сердце обеспечивает необходимый уровень обменных процессов в тканях, что достигается, если кровь движется через капиллярную сеть с определенной объемной скоростью. Она находится в зависимости от двух взаимно противоположных по направленности влияний. С одной стороны, разности давлений в начале и конце сосудистой системы. Она тем больше, чем больше МОК. С другой стороны, ток крови испытывает определенное торможение, обусловленное сопротивлением сосудов, ее вязкостью, трением частиц о сосудистые стенки и т.д. Чем выше сопротивление, тем меньше объемная скорость. Описанное соотношение выражается простой формулой: $Q = \frac{P_a - P_v}{R}$, где Q - искомая величина, P_a и P_v — давление крови в начале артериальной и конце венозной системы, R — сопротивление кровотоку. Давление крови в крупных венах близко к атмосферному.

Линейная скорость кровотока отражает скорость движения частиц крови вдоль стенки сосуда. Она измеряется м/сек. Линейная скорость прямо пропорциональна объемной скорости кровотока и обратно пропорциональна площади сечения кровеносного русла, поэтому она наименьшая в капиллярах, сечение которых в 600-800 раз больше площади сечения аорты. Поэтому в капиллярах эффективно происходит обмен веществ между кровью и тканями. Линейная скорость больше в центре сосуда, меньше у стенки.

Линейная скорость кровотока также неоднозначна в разных участках сосудистой системы. Она модифицируется обратно пропорционально их диаметру (поскольку объемная скорость везде одинакова) и уменьшается от крупных артерий (40 см/с), к капиллярам (0,5 мм/с), чтобы вновь повыситься в венах среднего калибра (до 10 см/с) и полых (до 20 см/с).

Кровь у детей движется быстрее. Причиной этого является: высокая ЧСС, относительно большой объем циркулирующей крови, короткая протяженность кровеносных сосудов и высокая интенсивность обменных процессов. По своим свойствам артерии могут быть отнесены к сосудам сопротивления (резистентным), а вены - к емкостным. Участие дыхательных мышц в венозном кровообращении образно называется дыхательным насосом, скелетных мышц – мышечным насосом.

Сопротивление току крови в сосудах малого круга кровообращения примерно в 10 раз меньше, чем в сосудах большого круга кровообращения. Это обусловлено в значительной мере широким диаметром легочных артериол.

Кровоснабжение сердца осуществляется за счет коронарных (венечных) сосудов, в которых в отличие других органов кровотоки происходят во время диастолы. Венечные артерии являются концевыми, имеют мало анастомозов, поэтому их резкий спазм или закупорка приводят к тяжелым последствиям.

Главную роль в регуляции деятельности сердца играют нервные и гуморальные влияния. Деятельность сердца регулируется двумя парами нервов – блуждающими и симпатическими. Блуждающие нервы тормозят сердечную деятельность, уряжая ритм и уменьшая, силу сердечных сокращений (открыто братьями Вебер в 1845 г.). Под влиянием импульсов, поступающих к сердцу по симпатическим нервам, происходит обратные изменения (ускоряющее влияние изучено братьями Цион в 1867 г. в Петербурге).

Ритм и сила сердечных сокращений меняется в зависимости от эмоционального состояния человека, характера выполняемой работы. Деятельность всей системы кровообращения направлена на обеспечение организма в разных условиях необходимым количеством кислорода и питательных веществ, на выделение из клеток и органов продуктов обмена, сохранение на постоянном уровне кровяного давления. Это создает условия для сохранения постоянства внутренней среды организма.

Хронотропный эффект характеризует изменение частоты сердечных сокращений, батмотропный эффект – возбудимость сердечных сокращений, дромотропный эффект – проводимость и инотропный эффект – сократимость.

Центры блуждающих нервов находятся в продолговатом мозге. Вторые нейроны непосредственно в нервных узлах сердца. Отростки этих нейронов иннервируют синоатриальный и атриовентрикулярный узлы, мышцы предсердий, непосредственно миокард желудочков. Блуждающий нерв не иннервирует. Нейроны симпатических нервов расположены в верхних сегментах грудного отдела спинного мозга, отсюда возбуждение передается в шейные и верхние грудные симпатические узлы и далее к сердцу. Медиатором блуждающих нервов является ацетилхолин, для симпатических – норадреналин. Тонус центров блуждающих нервов превалирует над симпатическими влияниями в покое, при эмоциях и мышечной деятельности увеличивает свое влияние симпатическая нервная система.

В рефлекторной регуляции работы сердца участвуют центры продолговатого и спинного мозга, гипоталамуса, мозжечка и коры больших полушарий, а также сенсорные системы (зрительная, слуховая, двигательная и вестибулярная). Большое влияние в регуляции работы сердца и сосудов принимают участие сосудистые рецепторы, расположенные в рефлексогенных зонах (дуга аорты, бифуркация сонных артерий и др.). Часть этих рецепторов воспринимает изменения давления в сосудах (барорецепторы). Хеморецепторы возбуждаются в результате сдвигов химического состава плазмы крови при увеличении в ней CO_2 и снижения pH крови. На деятельность сердечно-сосудистой системы влияют импульсы от рецепторов легких, кишечника, раздражение тепловых и болевых рецепторов, эмоциональных и воздействий.

Гуморальное влияние на сердце могут оказываться гормонами, продуктами распада углеводов и белков, изменениями pH, ионами калия и кальция. Адреналин, норадреналин, тироксин усиливают работу сердца, ацетихолин – ослабляет. Увеличение молочной кислоты, мочевины, кальций повышают сердечную деятельность, калий приводит к уменьшению и даже остановке сердца в диастоле.

У новорожденных и грудных детей деятельность сердца подчинена в основном преобладающим симпатическим влияниям.

Функциональное состояние сосудистой системы регулируется нервными и гуморальными влияниями. Симпатические нервные волокна, выходящие в составе передних корешков спинного мозга, оказывают суживающее влияние на сосуды кожи, органов брюшной полости, почек, легких и мозговых оболочек, но расширяют сосуды сердца. Сосудорасширяющее влияние оказывают парасимпатические волокна, которые выходят из спинного мозга в составе задних корешков. Соотношение активности двух систем определяет сосудодвигательный центр, расположенный в продолговатом мозге и открытый в 1871 году В.Ф. Овсянниковым. Сосудодвигательный центр состоит из прессорного и депрессорного отделов. Главная роль принадлежит прессорному отделу. Кроме того, в гипоталамусе и коре головного мозга имеется высшие, а в спинном мозге низшие центры регуляции сосудов. Нервная регуляция сосудов осуществляется рефлекторным путем на основе безусловных рефлексов (оборонительных, пищевых, половых) вырабатываются условные сосудистые реакции на слова, вид объектов, эмоции. Рецептивными полями, где возникают рефлексы на сосуды, является кожа, слизистые оболочки (экстерорецептивные зоны) и сердечно-сосудистая система (интерорецептивные зоны). Интерорецептивными зонами являются синокаротидная и аортальная, в устье полых вен, сосуды легких и желудочно-кишечного тракта.

Гуморальная регуляция тонуса сосудов осуществляется сосудосуживающими (адреналин, норадреналин, вазопрессин, серотонин, ренин, гипертензиноген, гипертензин) и сосудорасширяющими веществами. К сосудорасширяющим веществам относятся медуллин, вырабатываемый мозговым слоем почек; простагландины, обнаруженные в секрете предстательной железы; брадикинин, установленный в секрете подчелюстной и поджелудочной железы, в легких и коже; ацетилхолин и гистамин; находящийся в стенках желудка, кишечника, в коже и скелетных мышцах. Все

сосудорасширяющие вещества, как правило, действуют местно, сосудосуживающие оказывают общее действие.

Задание 1

Тема: определение длительности сердечного цикла (ДСЦ) у человека по пульсу.

Цель работы: рассчитать протяженность одиночного сердечного цикла.

Объект исследования и аппаратура: исследуемый, секундомер.

Ход работы: безостановочное движение крови по сосудам обусловлено ритмическими сокращениями сердца, которые чередуются с его расслаблением. Ритм работы сердца зависит от возраста, пола, массы тела, тренированности. У молодых здоровых людей частота сердечных сокращений (ЧСС) составляет 60-80 ударов в минуту. ЧСС менее 60 ударов в минуту называют брадикардией, а более 90 – тахикардией. У здоровых людей может наблюдаться синусовая аритмия, при которой разница в продолжительности сердечных циклов в покое составляет 0,2 – 0,3 с и более. Иногда (чаще у молодых людей) наблюдается дыхательная аритмия, т.е. учащение ЧСС на высоте вдоха и замедление при выдохе.

Сокращение сердца называют систолой, а расслабление – диастолой. Период, охватывающий одно сокращение и расслабление сердца, называют сердечным циклом. Частота сердечных сокращений (ЧСС) обычно измеряется по пульсу, толчкообразным, ритмическим движениям стенок кровеносных сосудов, возникающих в такт выброса крови из сердца в аорту.

Каждый сердечный цикл включает: фазу асинхронного, последовательного сокращения предсердий и желудочков, занимающую в среднем 0,43 с, и фазу их расслабления, продолжающуюся в течение примерно 0,45 – 0,5 с, из которых 0,1 с приходится на паузу, когда мускулатура всех камер органа находится в расслабленном состоянии и они заполняются кровью. Систола предсердий длится 0,1 с и на такое же время опережает систолу желудочков, совершающуюся в течение 0,33 с. Она протекает на фоне диастолы предсердий. Поэтому под влиянием нарастающего интравентрикулярного давления крови предсердно-желудочковые клапаны закрываются, а полулунные аорты и легочных артерий раскрываются, пропуская содержимое в циркуляторное русло.

В процессе сокращения желудочков выделяют два периода: напряжения, в рамках которого (0,08 с) достигается максимальное внутреннее давление, и изгнания (0,25 с), когда полулунные клапаны распахиваются и кровь выбрасывается в аорту и легочные артерии. По их прошествии наступает диастола желудочков. Таким образом, одиночный сердечный цикл складывается из сменяющих друг друга систолы и диастолы предсердий, желудочков и общей паузы. Суммарная его протяженность обратно пропорциональна частоте сердечных сокращений (ЧСС) и рассчитывается по формуле: $ДСЦ = 60 : ЧСС$. В норме у здорового взрослого человека при бодрствовании в состоянии физиологического покоя она составляет 0,67 – 1,0с. Увеличение ДСЦ наблюдается при брадикардии ($ЧСС < 60$ уд/мин), а уменьшение – при тахикардии ($ЧСС > 90$ уд/мин). У детей отмечают половые различия частоты сокращения сердца: у мальчиков частота сердечных

сокращений, как правило, реже, чем у девочек. У детей продолжительность фаз сердечного цикла весьма вариабельна. Сердечный цикл у новорожденных длится 0,4–0,5 с и с возрастом удлиняется.

Результаты и их оформление: прощупайте пульс лучевой артерии у себя или обследуемого. Через 5 мин отдыха в положении сидя подсчитайте ЧСС за 60 с. Определите ДСЦ по вышеприведенной формуле.

Занесите полученные результаты в тетрадь согласно прилагаемой схеме:

Таблица 11.1.

ЧСС в покое, уд/мин.		ДСЦ (в норме, укорочена, удлинена)
ДСЦ, сек.		

Контрольные вопросы. Из чего складывается одиночный сердечный цикл? Какова продолжительность отдельных его фаз? Как оценивается ДСЦ по ЧСС? Чему она равна в норме и какие отклонения претерпевает?

Задание 2

Тема: определение кровяного давления у человека в покое.

Цель работы: ознакомиться с принципом регистрации артериального давления по способу И.С. Короткова, освоить данную методику и произвести расчет среднего динамического давления.

Объект исследования и аппаратура: исследуемый студент, тонометр, фонендоскоп.

Ход работы: ознакомиться с общими положениями и методикой измерения артериального давления, вычислить среднее динамическое давление.

Переменное давление, под которым кровь находится в кровеносном сосуде, называют кровяным давлением. Во время систолы желудочков кровь с силой выбрасывается в аорту, давление крови при этом называется систолическим артериальным давлением (САД) или максимальным. Оно возникает в связи с тем, что во время систолы из сердца в крупные сосуды притекает больше крови, чем ее оттекает на периферию. В фазу диастолы (расслабления) сердца артериальное давление понижается и становится диастолическим артериальным давлением (ДАД), или минимальным. Разность между систолическим и диастолическим давлением называют пульсовым артериальным давлением (ПАД). Чем меньше величина пульсового давления, тем меньше поступает крови из желудочка в аорту во время систолы. Уровень САД зависит от сократительной способности миокарда, уровень ДАД определяется в большей степени сопротивлением сосудов.

Артериальное давление у человека может быть измерено прямым (при введении в артерии иглы соединенной с манометром) и косвенным методом, манжеточным методом Рива-Роччи, усовершенствованным Н.С. Коротковым. Он основан на определении величины давления, которое необходимо для полного сжатия плечевой артерии манжетой, соединенной с манометром и прекращения в ней тока крови. Для этого на плечо накладывается полая манжета, соединенная с манометром, в которую с помощью груши нагнетается воздух до полного отсутствия пульса на лучевой артерии. Далее с помощью

винта на груше в манжете снижается давление. Далее фонендоскопом в локтевой ямке прослушиваются тоны, обусловленные появлением движения крови в сосудах. Появление первого тона означает преодоление кровью сопротивления манжеты – это САД, затухание тонов означает отсутствие сопротивления манжете, т.е. соответствует тону сосудов – ДАД. В состоянии покоя у взрослых здоровых людей САД в плечевой артерии составляет 110-120 мм. рт. ст., ДАД - 60-80 мм. рт. ст. Давление 140/90 мм. рт. ст. считается по данным ВОЗ нормотоническим, его превышение гипертоническим, а ниже 100/60 мм.рт.ст. – гипотоническим. Разница между систолическим и диастолическим давлением (ПАД) составляет 40 – 50 мм. рт. ст. Указанные показатели претерпевают суточные колебания, будучи максимальными в дневное время. При этом САД может меняться на 30, а ДАД – на 10 мм. рт. ст. Они нарастают после физической, эмоциональной нагрузки, курения, с наступлением менопаузы и при ряде форт патологии, включая ожирение. Помимо перечисленных, выделяют среднее динамическое давление (СДД). Оно показывает ту среднюю величину давления, при котором в отсутствие пульсовых изменений наблюдается такой же гемодинамический эффект, как и при естественном пульсирующем кровотоке. СДД вычисляется по формуле Хикэма: $СДД = \frac{ПАД}{3} + ДАД$; по формуле Вецлера и Рогера: $СДД = 0,42 \cdot САД + 0,58 \cdot ДАД$. В норме СДД у взрослых колеблется в рамках 90-100 мм. рт. ст.

Артериальное кровяное давление детей значительно ниже, чем взрослых, что объясняется меньшей нагнетательной силой детского сердца, относительно более широкими артериями, большой эластичностью сосудов: у новорожденного 70/40 мм.рт.ст., до 7 лет до 110/60 мм.рт.ст., 17-20 лет до 120/80 мм.рт.ст. СДД у новорожденных 50–58 мм. рт. ст., у детей 8–14 лет – 81–85 мм.рт.ст.

Результаты и их оформление: итоги произведенного измерения, вычисления ПАД и СДД по одной из предложенных формул запишите в тетрадь согласно прилагаемой схеме, сопоставьте с нормативными показателями и сделайте выводы.

Таблица 11.2.

Схема заполнения протокола

Артериальное давление	Фактические значения, мм. рт. ст.	Норма, мм. рт. ст.
САД		
ДАД		
ПАД		
СДД		

Контрольные вопросы. Что такое максимальное, минимальное, пульсовое и среднее динамическое давление? На чем основан аускультативный метод оценки артериального давления?