## Физиология сердечно - сосудистой и

## лимфатической систем

**Физиологаческие особенности сердечной мышцы.** К основным особенностям сердечной мышцы относятся автоматия, возбудимость, проводимость, сократимость, рефрактер-ность.

*Автоматия сердца —* способность к ритмическому сокращению миокарда под влиянием импульсов, которые появляются в самом органе.

В состав сердечной поперечнополосатой мышечной ткани входят типичные сократительные мышечные клетки — *кардиомиоциты* и атипические сердечные *миоциты (пейсмекеры),* формирующие проводящую систему сердца, которая обеспечивает автоматизм сердечных сокращений и координацию сократительной функции миокарда предсердий и желудочков сердца. Первый синусно-предсердный узел проводящей системы является главным центром автоматизма сердца — пейсмекером первого порядка. От этого узла возбуждение распространяется на рабочие клетки миокарда предсердий и по специальным внутрисердечным проводящим пучкам достигает второго узла — *предсердно-желудочкового (атриовентрикулярного),* который также способен генерировать импульсы. Этот узел является пейсмекером второго порядка. Возбуждение через предсердно-желудо-ковый узел в нормальных условиях возможно только в одном направлении. Ретроградное проведение импульсов невозможно.

Третий уровень, который обеспечивает ритмичную деятельность сердца, расположен в пучке Гиса и волокнах Пуркине.

Центры автоматики, расположенные в проводящей системе желудочков, называются пейсмекерами третьего порядка. В обычных условиях частоту активности миокарда всего сердца в целом определяет синусно-предсердный узел. Он подчиняет себе все нижележащие образования проводящей системы, навязывает свой ритм.

Необходимым условием для обеспечения работы сердца является анатомическая целостность его проводящей системы. Если в пейсмекере первого порядка возбудимость не возникает или блокируется его передача, роль водителя ритма берет на себя пейсмекер второго порядка. Если же передача возбудимости к желудочкам невозможна, они начинают сокращаться в ритме пейсмекеров третьего порядка. При поперечной блокаде предсердия и желудочки сокращаются каждый в своем ритме, а повреждение водителей ритма приводит к полной остановке сердца.

*Возбудимость сердечной мышцы* возникает под влиянием электрических, химических, термических и других раздражителей мышцы сердца, которая способна переходить в состояние возбуждения. В основе этого явления лежит отрицательный электрический потенциал в первоначальном возбужденном участке. Как и в любой возбудимой ткани, мембрана рабочих клеток сердца поляризована. Снаружи она заряжена положительно, а внутри отрицательно. Это состояние возникает в результате разной концентрации Na+ и К+ по обе стороны мембраны, а также в результате разной проницаемости мембраны для этих ионов. В состоянии покоя через мембрану кардиомиоцитов не проникают ионы Na+, а только частично проникают ионы К+. Вследствие диффузии ионы К+, выходя из клетки, увеличивают положительный заряд на ее поверхности. Внутренняя сторона мембраны при этом становится отрицательной. Под влиянием раздражителя любой природы в клетку поступает Na+. В этот момент на поверхности мембраны возникает отрицательный электрический заряд и развивается реверсия потенциала. Амплитуда потенциала действия для сердечных мышечных волокон составляет около 100 мВ и более. Возникший потенциал деполяризует мембраны соседних клеток, в них появляются собственные потенциалы действия — происходит распространение возбуждения по клеткам миокарда.

Потенциал действия клетки рабочего миокарда во много раз продолжительнее, чем в скелетной мышце. Во время развития потенциала действия клетка не возбуждается на очередные стимулы. Эта особенность важна для функции сердца как органа, так как миокард может отвечать только одним потенциалом действия и одним сокращением на повторные его раздражения. Все это создает условия для ритмичного сокращения органа.

Таким образом происходит распространение возбуждения в целом органе. Этот процесс одинаков в рабочем миокарде и в водителях ритма. Возможность вызвать возбуждение сердца электрическим током нашла практическое применение в медицине. Под влиянием электрических импульсов, источником которых являются электростимуляторы, сердце начинает возбуждаться и сокращаться в заданном ритме. При нанесении электрических раздражении независимо от величины и силы раздражения работающее сердце не ответит, если это раздражение будет нанесено в период систолы, что соответствует времени абсолютного рефракторного периода. А в период диастолы сердце отвечает новым внеочередным сокращением — экстрасистолой, после которой возникает продолжительная пауза, называемая компенсаторной.

*Проводимость сердечной мышцы* заключается в том, что волны возбуждения проходят по ее волокнам с неодинаковой скоростью. Возбуждение по волокнам мышц предсердий распространяется со скоростью 0,8—1,0 м/с, по волокнам мышц желудочков — 0,8—0,9 м/с, а по специальной ткани сердца — 2,0—4,2 м/с. По волокнам скелетной мышцы возбуждение распространяется со скоростью 4,7—5,0 м/с.

*Сократимость сердечной мышцы* имеет свои особенности в результате строения органа. Первыми сокращаются мышцы предсердий, затем сосочковые мышцы и субэндокардиальный слой мышц желудочков. Далее сокращение охватывает и внутренний слой желудочков, которое обеспечивает тем самым движение крови из полостей желудочков в аорту и легочный ствол.

Изменения сократительной силы мышцы сердца, возникающие периодически, осуществляются при помощи двух механизмов саморегуляции: гетерометрического и гомеометрического.

В основе *гетерометрического механизма* лежит изменение исходных размеров длины волокон миокарда, которое возникает при изменении притока венозной крови: чем сильнее сердце расширено во время диастолы, тем оно сильнее сокращается во время систолы (закон Франка— Старлинга). Объясняется этот закон следующим образом. Сердечное волокно состоит из двух частей: сократительной и эластической. Во время возбуждения первая сокращается, а вторая растягивается в зависимости от нагрузки.

*Гомеометрический механизм* основан на непосредственном действии биологически активных веществ (таких, как адреналин) на метаболизм мышечных волокон, выработку в них энергии. Адреналин и норадреналин увеличивают вход Са^ в клетку в момент развития потенциала действия, вызывая тем самым усиление сердечных сокращений.

*Рефрактерность сердечной мышцы* характеризуется резким снижением возбудимости ткани на протяжении ее активности. Различают абсолютный и относительный рефракторный период. В абсолютном рефракторном периоде, при нанесении электрических раздражении, сердце не ответит на них раздражением и сокращением. Период рефрактерности продолжается столько, сколько продолжается систола. Во время относительного рефракторного периода возбудимость сердечной мышцы постепенно возвращается к первоначальному уровню. В этот период сердечная мышца может ответить на раздражитель сокращением сильнее порогового. Относительный рефракторный период обнаруживается во время диастолы предсердий и желудочков сердца. После фазы относительной рефрактерности наступает период повышенной возбудимости, который по времени совпадает с диастолическим расслаблением и характеризуется тем, что мышца сердца отвечает вспышкой возбуждения и на импульсы небольшой силы.

**Сердечный цикл.** Сердце здорового человека сокращается ритмично в состоянии покоя с частотой 60—70 ударов в минуту.

Период, который включает одно сокращение и последующее расслабление, составляет *сердечный цикл.* Частота сокращений выше 90 ударов называется тахикардией, а ниже 60 — брадикардией. При частоте сокращения сердца 70 ударов в минуту полный цикл сердечной деятельности продолжается 0,8—0,86 с.

Сокращение сердечной мышцы называется *систолой,* расслабление — *диастолой.* Сердечный цикл имеет три фазы: систолы предсердий, систолы желудочков и общую паузу Началом каждого цикла считается *систола предсердий,* продолжительность которой 0,1—0,16 с. Во время систолы в предсердиях повышается давление, что ведет к выбрасыванию крови в желудочки. Последние в этот момент расслаблены, створки атриовентрикулярных клапанов свисают и кровь свободно переходит из предсердий в желудочки.

После окончания систолы предсердий начинается *систола желудочков* продолжительностью 0,3 с. Во время систолы желудочков предсердия уже расслаблены. Как и предсердия, оба желудочка — правый и левый — сокращаются одновременно.

Систола желудочков начинается с сокращений их волокон, возникшего в результате распространения возбуждения по миокарду. Этот период короткий. В данный момент давление в полостях желудочков еще не повышается. Оно начинает резко возрастать, когда возбудимостью охватываются все волокна, и достигает в левом предсердии 70—90 мм рт. ст., а в правом — 15—20 мм рт. ст. В результате повышения внутрижелудочкового давления атриовентрикулярные клапаны быстро закрываются. В этот момент полулунные клапаны тоже еще закрыты и полость желудочка остается замкнутой; объем крови в нем постоянный. Возбуждение мышечных волокон миокарда приводит к возрастанию давления крови в желудочках и увеличению в них напряжения. Появление сердечного толчка в V левом межреберье обусловлено тем, что при повышении напряжения миокарда левый желудочек (сердца) принимает округлую форму и производит удар о внутреннюю поверхность грудной клетки.

Если давление крови в желудочках превышает давление в аорте и легочной артерии, полулунные клапаны открываются, их створки прижимаются к внутренним стенкам и наступает *период изгнания* (0,25 с). В начале периода изгнания давление крови в полости желудочков продолжает увеличиваться и достигает примерно 130 мм рт. ст. в левом и 25 мм рт. ст. в правом. В результате этого кровь быстро вытекает в аорту и легочный ствол, объем желудочков быстро уменьшается. Это *фаза быстрого изгнания.* После открытия полулунных клапанов выброс крови из полости сердца замедляется, сокращение миокарда желудочков ослабевает и наступает *фаза медленного изгнания.* С падением давления полулунные клапаны закрываются, затрудняя обратный ток крови из аорты и легочной артерии, миокард желудочков начинает расслабляться. Снова наступает короткий период, во время которого еще закрыты клапаны аорты и не открыты атриовентрикулярные. Если же давление в желудочках будет немного меньше, чем в предсердиях, тогда раскрываются атриовентрикулярные клапаны и происходит наполнение кровью желудочков, которая снова будет выброшена в очередном цикле, и наступает диастола всего сердца. Диастола продолжается до очередной систолы предсердий. Эта фаза называется *общей паузой* (0,4 с). Затем цикл сердечной деятельности повторяется.

**Электрические явления в сердце. Электрокардиограмма.** Появление электрических потенциалов в сердечной мышце связано с движением ионов через клеточную мембрану. Основную роль при этом играют катионы натрия и калия. Известно, что внутри клетки калия значительно больше, чем в околоклеточной жидкости, концентрация внутриклеточного натрия, наоборот, значительно меньше, чем околоклеточного. В состоянии покоя наружная поверхность клетки миокарда имеет положительный заряд в результате перевеса катионов натрия; внутренняя поверхность клеточной мембраны имеет отрицательный заряд в связи с перевесом внутри клетки анионов (С1-, НСО-3 и др.). В этих условиях клетка поляризована. Под влиянием внешнего электрического импульса клеточная мембрана становится проницаемой для катионов натрия, которые направляются внутрь клетки, и переносит туда свой положительный заряд. Наружная поверхность данного участка клетки приобретает отрицательный заряд в связи с перевесом там анионов. Этот процесс называется *деполяризацией* и связан с потенциалом действия. Скоро вся наружная поверхность клетки снова приобретает отрицательный заряд, а внутренняя — положительный. Таким образом, происходит *обратная поляризация.* Если выход калия из клетки превышает поступление натрия в клетку, тогда наружная поверхность мембраны снова постепенно приобретает положительный заряд, а внутренняя — отрицательный. Этот процесс называется *реполяризацией.* Вышеперечисленные процессы происходят во время систолы. Если вся наружная поверхность снова приобретает положительный заряд, а внутренняя — отрицательный, то это соответствует диастоле. Во время диастолы происходят постепенные обратные движения ионов калия и натрия, которые мало влияют на заряд клетки, поскольку ионы натрия выходят из клетки, а ионы калия входят в нее одновременно. Эти процессы уравновешивают друг друга.

 

Схема потенциала действия:

а — местные колебания мембранного потенциала; b *—* восходящая часть пика потенциала действия (фаза деполяризации); с — нисходящая часть пика потенциала действия (фаза реполяризации); *d —* отрицательный следовый потенциал; е — положительный следовый потенциал. Стрелкой указан момент нанесения раздражения

Вышеназванные процессы относятся к возбуждению единичного мышечного волокна миокарда. Возникнув при деполяризации, импульс вызывает возбуждение соседних участков миокарда, которое постепенно охватывает весь миокард, и развивается по типу цепной реакции. Возбуждение сердца начинается в синусном узле. Затем от синусного узла процесс возбуждения распространяется на предсердия по предсердным проводящим путям. От предсердий оно идет к атриовентрикулярному узлу, где происходит задержка импульса в связи с его более медленным проведением в этом участке. Обогнув атриовентрикулярное соединение, возбуждение переходит на ствол пучка Гиса, а затем на его разветвление — на правую и левую ножки. Последние образуют сеть волокон Пуркине, которые широко анастомозируют друг с другом.

*Электрокардиограмма (ЭКГ)* представляет собой запись суммарного электрического потенциала, появившегося при возбуждении множества миокардиальных клеток, а метод исследования называется *электрокардиографией.*

Для регистрации ЭКГ у человека применяют три стандартных биполярных отведения — расположение электродов на поверхности тела. Первое отведение — на правой и левой руках, второе — на правой руке и левой ноге, третье — на левой руке и левой ноге. Кроме стандартных отведении, применяют отведения от других точек грудной клетки в области расположения сердца, а также однополюсные, или униполярные, отведения.

Типовая ЭКГ человека состоит из пяти положительных и отрицательных колебаний — *зубцов,* соответствующих циклу сердечной деятельности. Их обозначают латинскими буквами Р, Q, R, S, Т, а грудные отведения (перикардиальные) - V (V1, V2 V3, V4, V5, V6). Три зубца (Р, R, Т) направлены вверх (положительные зубцы), а два (Q, S) — вниз (отрицательные зубцы). Зубец Р отражает период возбуждения предсердий, продолжительность его равна 0,08—0,1 с. Сегмент P - Q соответствует проведению возбуждения через предсердно-желудочковый узел к желудочкам. Он продолжается 0,12—0,20 с. Зубец Q отражает деполяризацию межжелудочковой перегородки. Зубец R — самый высокий в ЭКГ, он представляет собой деполяризацию верхушки сердца, задней и боковой стенок желудочков. Зубец S отражает охват возбуждением основания желудочков, зубец Т — процесс быстрой реполяризации желудочков. Комплекс QRS совпадает с реполяризацией предсердий. Его продолжительность составляет 0,06—0,1 с. Комплекс QRST обусловлен появлением и распространением возбуждения в миокарде желудочков, поэтому его называют желудочко-вым комплексом. Общая продолжительность QRST приблизительно равна 0,36 с. Условная линия, которая соединяет две точкиЭКГ с наибольшей разностью потенциалов, называется электрической осью сердца.

Электрокардиография в диагностике заболеваний сердца дает возможность детально исследовать изменения сердечного ритма, возникновение дополнительного очага возбуждения при появлении экстрасистол, нарушение проводимости возбуждения по проводящей системе сердца, ишемию, инфаркт миокарда.

**Основные процессы гемодинамики. Кровяное давление. Пульс.** Движение крови по сердечно-сосудистой системе определяется процессами гемодинамики, которые отражают физические явления движения жидкости в замкнутых сосудах. Гемодинамика определяется двумя факторами: давлением на жидкость и сопротивлением, испытываемым при трении о стенки сосудов и вихревых движениях.

Силой, образующей давление в сосудистой системе, является сердце. У взрослого человека в сосудистую систему при каждом сокращении сердца выбрасывается 60—70 мл крови (систолический объем) или 4—5 л/мин (минутный объем). Сила, движущая кровь, — разность давлений, возникающая в начале и в конце трубки. Движение крови по сосудистой системе носит ламинарный характер (движение крови отдельными слоями параллельно оси сосуда). При этом слой, прилегающий к стенке сосуда, практически остается неподвижным, по слою скользит второй, по второму — третий и т. д. Форменные элементы крови составляют центральный осевой поток; плазма движется ближе к стенкам. Известно, что чем меньше диаметр сосуда, тем ближе располагаются центральные слои крови к стенкам и тем больше торможение. Это означает, что в мелких сосудах скорость кровотока ниже, чем в крупных. Так, в аорте она составляет 50 см/с, в артериях — 30, в капиллярах — 0,5—1,0, венах — 5—14, в полой вене — 20 см/с.

Кроме ламинарного, в сосудистой системе существует турбулентное давление с характерным завихрением крови. Ее частицы движутся не только параллельно оси сосуда, но и перпендикулярно ей. Основная кинетическая энергия, необходимая для движения крови, дается сердцем во время систолы. Одна часть энергии идет на проталкивание крови, другая — превращается в потенциальную, которая необходима для растяжения во время систолы стенок аорты, крупных и средних сосудов. Во время диастолы энергия стенок аорты и сосудов переходит в кинетическую, способствуя движению крови по сосудам.

Сосуды способны также активно реагировать на изменения в них кровяного давления. При повышении давления гладкие мышцы стенок сокращаются и диаметр сосудов уменьшается. Таким образом, пульсирующий ток крови, благодаря особенностям аорты и крупных сосудов, выравнивается и становится относительно беспрерывным. В норме отток крови от сердца соответствует ее притоку. Это означает, что объем крови, протекающий за единицу времени через всю артериальную и всю венозную системы большого и малого кругов кровообращения, одинаков.

Скорость кровотока в сосудистом русле разная и зависит от общей суммы площади просветов сосудов этого калибра на данном участке тела. Наименьшее сечение у аорты, а скорость движения крови в ней самая большая — 50—70 см/с. Наибольшей суммарной площадью поперечного сечения обладают капилляры — в 800 раз больше, чем у аорты. Соответственно и скорость крови в них около 0,05 см/с. В артериях она составляет 20—40 см/с, в артерио-лах — 0,5 см/с.

Уровень *артериального давления* состоит из трех главных факторов, таких, как нагнетающая сила сердца, периферическое сопротивление сосудов, объем и вязкость крови. Однако главным из них является работа сердца. При каждой систоле и диастоле в артериях кровяное давление колеблется. Подъем его во время систолы характеризуется как систолическое (максимальное) давление. Падение давления во время диастолы соответствует диастолическому (минимальному) давлению. Его величина зависит главным образом от периферического сопротивления кровотоку и частоты сердечных сокращений. Разницу между систолическим и диастолическим давлением называют *пульсовым давлением.*

Повышение артериального давления по сравнению с нормой называется *артериальной гипертензией,* понижение — *артериальной гипотензией.*

*Периферическое сопротивление —* это второй фактор, который определяет давление и зависит от диаметра мелких артерий и артериол. Изменение просвета артерий ведет соответственно к повышению систолического и диастолического давления, ухудшению местного кровообращения.

*Объем и вязкость крови —* третий фактор, от которого зависит уровень артериального давления. Значительная кровопотеря ведет к снижению кровяного давления, а переливание большого количества крови повышает артериальное давление.

Величина артериального давления зависит и от возраста. У детей артериальное давление ниже, чем у взрослых, потому что стенки сосудов более эластичны.

В норме систолическое (максимальное) давление у здорового человека составляет 110—120 мм рт. ст., а диастолическое (минимальное) — 70—80 мм рт. ст.

Величина кровяного давления служит важной характеристикой деятельности сердечно-сосудистой системы.

Кровяное давление определяют двумя способами: прямым (кровавым), который применяется в экспериментах на животных, и косвенным (бескровным), с помощью сфигмоманометра Рива-Роччи и прослушиванием сосудистых звуков в артерии ниже манжеты (метод И. С. Короткова).

Под *пульсом* понимают периодические колебания стенки сосудов, связанные с динамикой их кровенаполнения и давления в них на протяжении одного сердечного цикла. В момент изгнания крови из сердца давление в аорте повышается и волна этого давления распространяется вдоль артерий до капилляров, где пульсовая волна угасает. Соответственно пульсирующим изменениям давления пульсирующий характер приобретает и движение крови по артериям: ускорение кровотока во время систолы и замедление во время диастолы. Амплитуда пульсовой волны затихает по мере движения от центра к периферии. Скорость распространения пульсовой волны в аорте человека составляет 5,5—8,0 м/с, в крупных артериях — 6,0—9,5 м/с.

Пульс можно определять непосредственным прощупыванием через кожу пульсирующей артерии (височной, лучевой, тыльной артерии стопы и др.). В клинике при исследовании пульса обращают внимание на следующие его свойства: частоту, ритм, напряжение, наполнение, величину и форму пульсовой волны. В норме число пульсовых колебаний в 1 мин у взрослого человека составляет 70—80 ударов. Уменьшение частоты пульса называется *брадикардией,* учащение — *тахикардией.* Частота пульса зависит от пола, возраста, физической нагрузки, температуры тела и др. Ритм пульса определяется деятельностью сердца и бывает ритмичным и аритмичным. *Напряжение пульса* характеризуется силой, которую надо приложить, чтобы сдавить артерию до полного исчезновения пульса. *Наполнение —* это степень изменения объема артерии, устанавливаемая по силе пульсового удара. Для более детального изучения пульса используют сфигмофаф. Кривая, полученная при записи пульсовых колебаний, называется сфигмограммой. На сфигмограмме аорты и крупных артерий различают начальный резкий подъем кривой — *анакроту.* Этот подъем связан с открытием полулунных клапанов, когда кровь с силой выталкивается в аорту и растягивает ее стенки. Спад пульсовой кривой называется *катакротой.* Она возникает в конце систолы желудочка, когда давление в нем начинает падать. Пульсирующий характер крови имеет большое значение для регуляции кровообращения в целом.