

Анатомия и физиология сердца

Только факты



В этой главе...

- ◆ локализация и строение сердца;
- ◆ из каких слоев состоит стенка сердца;
- ◆ как кровь движется к сердцу и от него и какие структуры обеспечивают циркуляцию крови;
- ◆ фазы сердечного цикла;
- ◆ свойства клеток сердца;
- ◆ детали о сердечной проводимости и ее связи с аритмией.

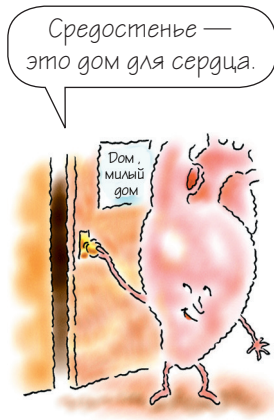
Анатомия сердца

Анатомия сердца включает в себя: локализацию, структуру, строение стенки сердца, а также камер, клапанов и структуру коронарного кровотока.

Как выглядит сердце снаружи

Сердце – орган конусовидной формы, состоящий из мышечной ткани. Сердце расположено в грудной клетке за грудиной, в средостенье между легкими и перед позвоночником и имеет вид перевернутого треугольника. Верхняя часть сердца, или основание, находится ниже второго ребра; нижняя часть сердца, или верхушка, наклонена вперед и вниз по направлению к левой части тела и опирается на диафрагму (см. врезку *Локализация сердца у детей*).

Сердце различается по размеру (прямо пропорционально росту человека), но в среднем этот важный орган достигает 12 см в длину и 9 см в ширину, что примерно равно объему нашего кулака. Вес сердца в сред-



нем достигает 255–340 г и варьируется в зависимости от роста, возраста, пола и уровня спортивной подготовки. Сердце спортсмена, например, обычно весит больше, чем у среднего человека, а сердце человека пожилого возраста, наоборот, меньше (см. врезку *Сердце человека пожилого возраста* ниже в этой главе). Имеются различия в строении сердечно-сосудистой системы как у мужчин, так и женщин. Это связано с тем, что у женщин сердце и коронарные сосуды меньше по величине, чем у мужчин. Разница в уровне эстрогена может служить причиной гендерных различий при возникновении сердечно-сосудистых заболеваний.



Возраст и здоровье

Локализация сердца у детей

Сердце у детей расположено более горизонтально в груди, чем сердце взрослого человека. В результате этого верхушка сердца у ребенка находится в четвертом левом межреберье. До четырехлетнего возраста верхушечный толчок располагается слева от среднеключичной линии, а с семи лет — так же, как и сердце взрослого человека.

Слой за слоем

Стенка сердца состоит из трех слоев: эпикарда, миокарда и эндокарда (см. врезку *Слой стенки сердца*). Эпикард, внешний слой (также являющийся висцеральным слоем серозного перикарда), состоит из плоских эпителиальных клеток, покрывающих соединительную ткань. Миокард, средний слой, занимает большую часть стенки сердца. Этот слой мышечной ткани сокращается с каждым сердцебиением. Эндокард, внутренний слой сердца, содержит эндотелиальную ткань с мелкими кровеносными сосудами и пучками гладкой мышечной ткани.

Слой соединительной ткани — *перикард* — окружает сердце и действует как

жесткий защитный мешок. Он состоит из фиброзного и серозного перикардов. Фиброзный перикард представляет собой жесткую белую волокнистую ткань, свободно прилегает к сердцу и защищает его. Фиброзный перикард прикрепляется к большим сосудам, диафрагме и груди. Серозный перикард как тонкая, гладкая, внутренняя часть имеет два слоя:

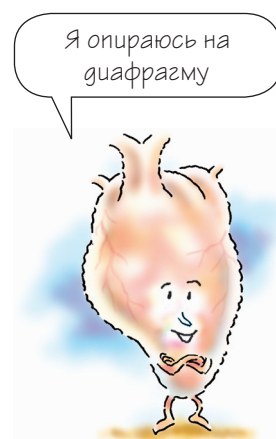
- париетальный, который выравнивает внутреннюю часть фиброзного перикарда;
- висцеральный, плотно прилегающий к поверхности сердца.

Между слоями

Перикардиальное пространство находится между висцеральным и париетальным слоями эпикарда и содержит от 10 до 20 мл жидкой прозрачной перикардиальной жидкости, которая смазывает обе поверхности, защищая ткани сердца от трения. Избыток перикардиальной жидкости называется *выпотом перикарда*: это состояние ставит под угрозу способность сердца сокращаться и обеспечивать кровообращение.

Внутри сердца

Сердце состоит из четырех камер — двух предсердий и двух желудочков (см. врезку *Здоровое сердце*). Правое и левое предсердия служат резервуарами для крови, которая поступает в желудочки. Правое предсердие получает деоксигенированную кровь, которая возвращается из организма через нижнюю и верхнюю полые вены и от сердца через коронарный синус. Левое предсердие получает оксигенированную кровь из легких через четыре легочные вены. Межпредсердная перегородка делит камеры и помогает им сокращаться. Сокращение предсердий выталкивает кровь вниз в желудочки. Если при сокращении большее усилие принадлежит левому желудочку, то правый желудочек играет ключевую роль в поддержании гемодинамической стабильности.



Возраст и здоровье

Сердце человека пожилого возраста

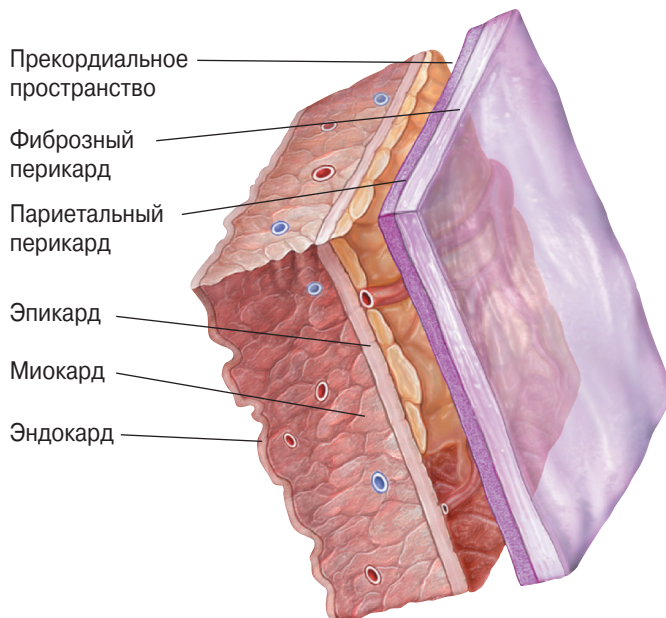
С возрастом сердце человека становится немного меньше, теряет сократительную силу и эффективность (исключения встречаются у людей с гипертонией). К 70 годам у большинства людей сердечный выброс в покое уменьшается на 30–35%.

Более возбудимый с возрастом

Поскольку миокард стареющего сердца становится более возбудимым, у пожилых людей чаще возникают экстрасистолии, синусовые аритмии и синусовые брадикардии. Кроме того, в синоатриальном узле и межузловых проводящих трактах может начать разрастаться фиброзная ткань, на этом фоне нередко возникают фибрилляция и трепетание предсердий.

Слои стенки сердца

На рисунке изображен срез сердечной стенки, на котором видны все ее слои.



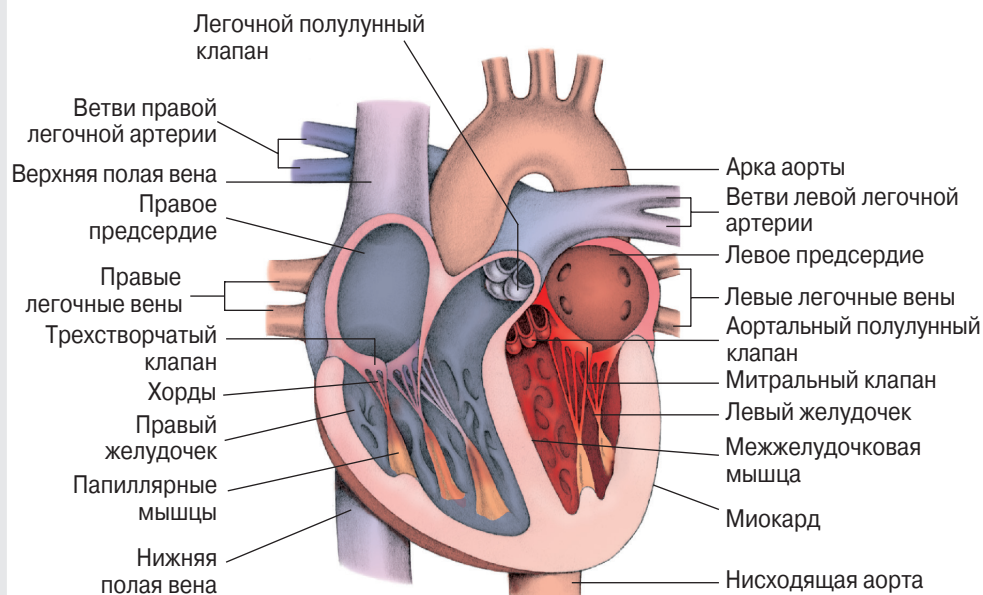
Работа насоса

Правый и левый желудочки служат насосными камерами сердца. Правый желудочек получает кровь из правого предсердия и выталкивает ее через легочные артерии к легким, где кровь насыщается кислородом и выбрасывает углекислый газ. Левый желудочек получает насыщенную кислородом кровь из левого предсердия и прокачивает ее через аорту по направлению к остальным частям тела. Межжелудочковая перегородка разделяет правый и левый желудочки, а также помогает им сокращаться.

Толщина стенок камеры сердца зависит от того, насколько сильно и под каким давлением должна работать эта камера. Так как предсердия собирают кровь для желудочков и не должны выталкивать ее с большой силой для доставки к другим органам, их стенки значительно тоньше стенок желудочков. При этом левый желудочек имеет гораздо более толстую стенку, чем правый. Это связано с тем, что левый желудочек качает кровь против очень высокого давления в русле артериального кровообращения, тогда как правый качает кровь против более низкого давления в легочном круге кровообращения.

Здоровое сердце

На иллюстрации изображена анатомия нормального здорового сердца.



Клапаны, открывающиеся только в одну сторону

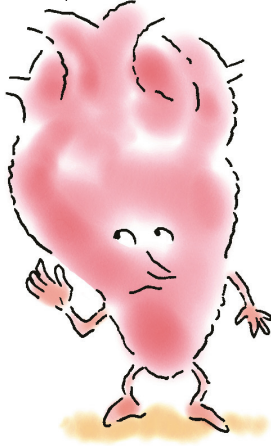
Сердце содержит четыре клапана — два атриовентрикулярных (АВ) клапана (трикуспидальный и митральный) и два полулунных клапана (аортальный и легочный). Клапаны открываются и закрываются в ответ на изменения давления в камерах, которые они соединяют. Они служат своеобразными воротами, сохраняющими одностороннее движение крови через сердце. Когда клапаны закрываются, они предотвращают обратный ток, или *реверсацию*, крови из одной камеры в другую. Закрытие клапанов создает тоны сердца, которые слышны через стетоскоп.

Два АВ-клапана, расположенные между предсердиями и желудочками, называются *трикуспидальным* и *митральным* клапанами. Трикуспидальный клапан расположен между правым предсердием и правым желудочком; митральный клапан — между левым предсердием и левым желудочком.

Хорды сердца

Митральный клапан имеет две *створки*, а трехстворчатый клапан — три. Створки клапана прикреплены к папиллярным мышцам в стенке

Когда закрываются створки клапанов, слышны тоны сердца



сердца волокнами, называемыми *сухожильными хордами*. Хорды работают синхронно, чтобы предотвратить выпячивание клапанов в предсердия во время сокращения желудочка. При повреждении хорды створки клапанов смыкаются не полностью, и кровь может затекать обратно в камеру, в результате чего возникают сердечные шумы.

Под давлением

Полулунными клапанами являются легочный и аортальный клапаны.

Они называются полулунными, потому что створки клапанов напоминают три полумесяца. Из-за высокого давления на клапаны их структура намного проще, чем у клапанов АВ.

Они открываются под давлением крови, выталкиваемой из желудочков, и закрываются из-за обратного давления крови, находящейся в легочных артериях и аорте, что приводит к закрытию клапанов. Легочный клапан, расположенный в месте, где легочная артерия встречается с правым желудочком, пропускает кровь из правого желудочка в легочную артерию и предотвращает ее обратный поток в этот желудочек. Клапан аорты, расположенный там, где слева желудочек встречается с аортой, позволяет крови поступать из левого желудочка к аорте и предотвращает отток крови в левый желудочек.

Кровоток внутри сердца

Понимание того, как кровь течет через сердце, имеет решающее значение для того, чтобы понять общие функции сердца и то, как изменения в электрической активности сердца влияют на периферический кровоток. Дезоксигенированная кровь из тела возвращается к сердцу через нижнюю и верхнюю полые вены и поступает в правое предсердие, а оттуда через трехстворчатый клапан попадает в правый желудочек.

Движение по кругу

Правый желудочек качает кровь через легочный клапан в легочные артерии, а затем в легкие. Из легких кровь проходит через легочные вены и впадает в левое предсердие, которое завершает цикл под названием *легочный*, или *малый*, *круг кровообращения*.

Когда давление в левом предсердии поднимается до критической точки, митральный клапан открывается, и через него кровь поступает в левый желудочек. Левый желудочек сжимается и выталкивает кровь через аортальный клапан в аорту, а через нее по всему телу. Кровь возвращается к правому предсердию через вены, завершив цикл под названием *системный*, или *большой, круг кровообращения*.

Кровоснабжение сердца

Как мозг или любой другой орган, сердце нуждается в правильном кровоснабжении. Коронарные артерии, расположенные на поверхности сердца, снабжают сердечную мышцу кровью и кислородом. Хорошо зная строение коронарного кровотока, вы будете понимать, как лучше помочь пациенту с инфарктом миокарда (ИМ), потому что сможете предсказать, какие кровеносные сосуды сердца могут быть заблокированы.

Устье коронарных артерий

Коронарное устье, отверстие в аорте, с которого начинается коронарная артерия, находится вблизи аортального клапана. Во время систолы, когда левый желудочек выталкивает кровь через аорту и аортальный клапан открыт, коронарное устье частично прикрыто. Во время диастолы, когда левый желудочек заполняется кровью, аортальный клапан закрыт, а коронарное устье открыто, кровь заполняет коронарные артерии. Если период диастолы сокращается (именно это возникает во время приступа тахикардии), через устье в коронарные артерии попадает меньшее количество крови. Тахикардия также препятствует коронарному кровотоку, поскольку сокращение желудочков вызывает сдавливание коронарных артерий и уменьшает кровоток через них.

Правая коронарная артерия

Правая и левая коронарные артерии возникают как одна ветвь от восходящей аорты из области, известной как *синусы Вальсальвы*. Правая коронарная артерия снабжает кровью правое предсердие, правый желудочек и часть нижней и задней поверхностей левого желудочка. Примерно у 50% населения артерия также снабжает кровью синоатриальный (СА) узел. Пучок нервных волокон, называемый пучком Гиса, и АВ-узел также получают кровоснабжение от правой коронарной артерии.

А что слева?

Левая коронарная артерия проходит вдоль поверхности левого предсердия и расходится на две основные ветви — левая передняя нисходящая и левые огибающие артерии. Левая передняя нисходящая артерия спускается по поверхности левого желудочка к верхушке сердца и снабжает кровью переднюю стенку левого желудочка, межжелудочковую перегородку, правую ножку и левую переднюю ветвь левой ножки пучка Гиса. Ветви левой передней нисходящей артерии — септальные ветви и диагональные ветви — дополнительно кровоснабжают стенки обоих желудочков.

Знания о строении системы коронарного кровообращения помогают предсказывать, какая область сердца будет повреждена при закупорке конкретной коронарной артерии



Огибающая ветвь

Огибающая артерия поставляет оксигенированную кровь к боковым стенкам левого желудочка, левого предсердия и примерно у половины населения СА-узел. Кроме того, огибающая артерия снабжает кровью левую заднюю ветвь левой ножки пучка Гиса. Это артерия окружает левый желудочек и обеспечивает кровью заднюю часть желудочка.

Циркуляция гарантирована

Когда две или более артерий снабжают один и тот же сегмент, они обычно соединяются через анастомозы — соединения, которые обеспечивают альтернативные пути кровотока. Эта сеть более мелких артерий, имеющая название *коллатеральное кровообращение*. Из этой сети кровь поступает в капилляры, которые питают сердечную мышцу. Сеть коллатерального кровообращения настолько развита, что даже если крупные коронарные артерии закупориваются бляшками, коллатеральное кровообращение может продолжать снабжать сердце кровью.

Вены сердца

Сердце имеет вены, как и другие части тела. Сердечные вены собирают деоксигенированную кровь из капилляров миокарда. Сердечные вены соединяются, формируя увеличенный сосуд, который называется *коронарной пазухой*. Из нее кровь возвращается в правое предсердие, где она снова включается в циркуляцию.

Физиология сердца

Это обсуждение физиологии сердца включает в себя описание сердечного цикла: как иннервируется сердечная мышца (распределение/снабжение нервов), как работает цикл деполяризации-реполяризации, как проводятся импульсы и как работают ненормальные импульсы (см. врезку *Фазы сердечного цикла*).

Динамика сердечного цикла

Во время одного сердцебиения возникают желудочковая диастола (расслабление) и желудочковая систола (сокращение). Во время диастолы желудочки расслабляются, предсердие сокращается, а кровь проталкивается через открытый трехстворчатый и митральный клапаны. Аортальный и легочной клапаны при этом остаются закрытыми.

Во время систолы предсердия расслабляются и наполняются кровью. Митральный и трехстворчатый клапаны закрыты. Повышается желудочковое давление, которое заставляет открыться аортальный и легочной клапаны, при этом желудочки сокращаются, и кровь течет по кровеносной системе.

Сокращение предсердий

Сокращение предсердия составляет около 30% от сердечного выброса — количество крови, накачанное желудочками за одну минуту (см. врезку *Несколько фактов о кровообращении*). Некоторые аритмии, например мерцательная аритмия, могут вести к потере предсердного сокращения и последующему снижению сердечного выброса. Тахикардия также уменьшает сердечный выброс, сокращая диастолу и давая желудочкам меньше времени для заполнения. Меньшее время заполнения означает, что во время систолы желудочков будет выброшено меньше крови, а значит, меньше крови будет отправлено в циркуляторное русло.

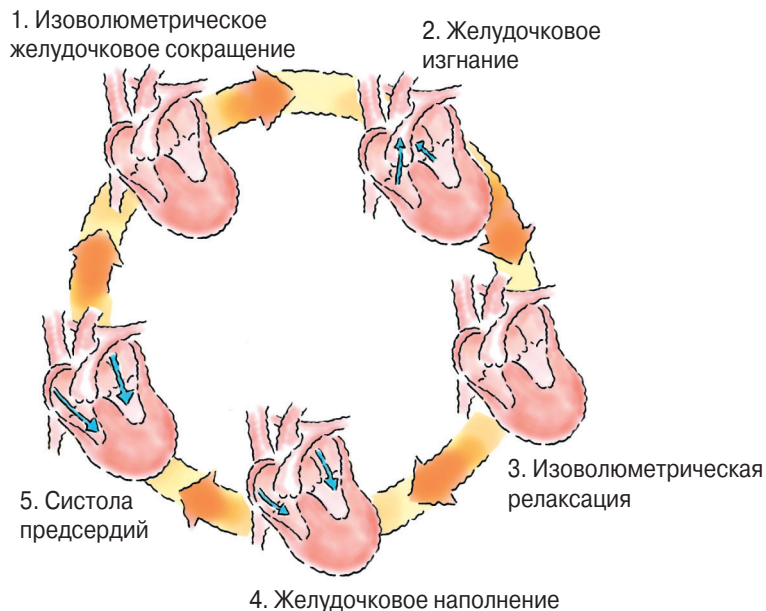
Как это работает

Сердечный цикл производит сердечный выброс, который соответствует количеству крови, перекачиваемой сердцем за одну минуту, и измеряется умножением частоты сердечных сокращений на ударный объем (врезку *Что такое преднагрузка, постнагрузка и сократительная способность*). Термин “ударный объем” обозначает количество крови, выбрасываемой при

Фазы сердечного цикла

Сердечный цикл состоит из следующих пяти фаз.

- *Изоволюметрическое желудочковое сокращение*: в ответ на деполяризацию желудочков напряжение в желудочках увеличивается. Нарастание давления внутри желудочков приводит к закрытию митрального и трикуспидального клапанов. Легочный и аортальный клапаны остаются закрытыми на протяжении всей фазы.
- *Желудочковый выброс*: когда желудочковое давление превышает аортальное давление в легочных артериях, аортальный и легочной клапаны открываются, и желудочки выталкивают кровь.
- *Изоволюметрическое расслабление*: когда желудочковое давление падает ниже давления в аорте и легочной артерии, аортальный и легочной клапаны закрываются. На этом этапе все клапаны закрыты. Предсердная диастола имеет место, когда кровь заполняет предсердие.
- *Наполнение желудочка*: предсердное давление превышает желудочковое давление, что вызывает открытие митрального и трикуспидального клапанов. Затем кровь пассивно стекает в желудочки. На этом этапе происходит около 70% желудочкового наполнения.
- *Систола предсердий*, называемая также *предсердным сокращением*, предсердная систола (совпадающая с поздней желудочковой диастолой) снабжает желудочки оставшимися 30% крови во время каждого сердечного цикла.



каждом сокращении желудочков. Нормальный сердечный выброс составляет от 4 до 8 л/мин, в зависимости от размера тела человека. Сердце качает столько крови, сколько требуется организму. Преднагрузка, постнагрузка и сократимость миокарда — это три фактора, которые влияют на объем удара, а их баланс дает оптимальный сердечный выброс.

Преднагрузка

Преднагрузка — это растяжение мышечных волокон в желудочках, которое определяется давлением и количеством крови, оставшейся в левом желудочке в конце диастолы.

Постнагрузка

Постнагрузка — это давление, которому сопротивляется левый желудочек при проталкивании крови в циркуляторное русло. Чем больше сопротивление, тем чаще сокращается сердце, чтобы перекачивать кровь.

Сократительная способность

Сократительная способность — это способность мышечных клеток сокращаться после деполяризации. Эта способность зависит от того, сколько мышечных волокон растягивается в конце диастолы: волокна изменяют сократительную способность и количество откачиваемой из желудочков крови. Чтобы лучше понять эту концепцию, представьте, что вы пытаетесь выстрелить резинкой. Если вы не растягиваете резинку достаточно, она не улетит на нужное расстояние. Если вы растянете ее слишком сильно — она порвется. Но если вы растянете ее с нужной силой, она улетит на нужное вам расстояние.

Несколько фактов о кровообращении

- Чтобы заполнить 2,5 см, потребуется примерно 25 выложенных в ряд капилляров.
- Организм человека содержит около 10 млрд капилляров.
- Чтобы преодолеть путь от сердца к капиллярам и обратно, одному эритроциту требуется в среднем меньше одной минуты.

Сократимость — это способность сердца растягиваться — как воздушный шар!

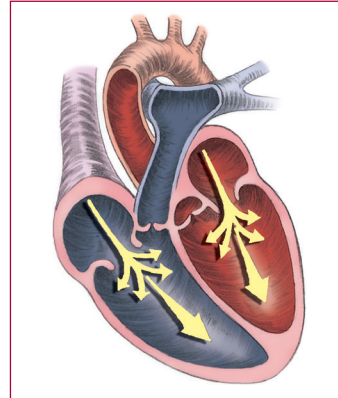


Что такое преднагрузка, постнагрузка и сократительная способность

Чтобы лучше понять, что такое преднагрузка, постнагрузка и сократительная способность, представьте сердце в виде воздушного шара.

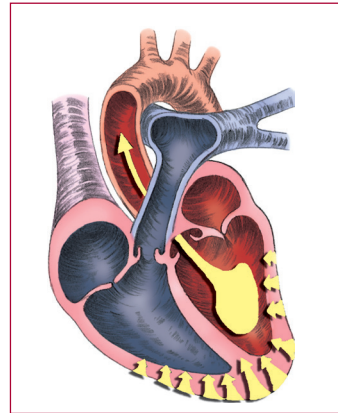
Преднагрузка

Преднагрузка — это пассивное растяжение мышечных волокон в желудочках, которое происходит из-за повышения объема крови в желудочке в конце диастолы. Согласно закону Старлинга, чем больше сердечная мышца растягивается во время диастолы, тем сильнее она сокращается во время систолы. Представьте, что преднагрузка — это растяжение воздушного шара, которое происходит, когда его надувают. Чем больше воздуха, тем больше натяжение.



Сократительная способность

Сократительная способность — это присущая миокарду способность нормально сокращаться. На сократительную способность влияет преднагрузка. Чем больше растяжение, тем сильнее сокращение (чем больше воздуха в воздушном шаре, тем больше он растянут и тем дольше шар будет летать, когда воздух позволит выйти).



Постнагрузка

Постнагрузка определяется давлением, которое желудочковые мышцы должны создать, чтобы преодолеть более высокое давление в аорте и вытолкнуть кровь из сердца. Сопротивление — это узелок, закрепляющий отверстие воздушного шара, который шар должен преодолеть, чтобы выпустить воздух.

Иннервация сердца

Сердце снабжается двумя отделами вегетативной нервной системы — симпатической, или *адренергической*, и парасимпатической, или *холинергической*. Симпатическая нервная система — это в основном ускоритель сердца. На эту систему влияют два химических вещества — норадреналин и адреналин, увеличивающие частоту сердечных сокращений, автоматизм, АВ-проводимость и сократительную способность.

Торможение сердца

Парасимпатическая нервная система также служит как тормоз работы сердца. Один из нервов этой системы, блуждающий нерв, несет импульсы, которые замедляют частоту сердечных сокращений и проведение импульсов через АВ-узел и желудочки. Стимулирование этой системы высвобождает нейромедиатор ацетилхолин, замедляющий сердечный ритм.

Блуждающий нерв стимулируется барорецепторами — специализированными нервными клетками, расположенными в аорте и внутренних сонных артериях. Стимуляция барорецепторов также стимулирует блуждающий нерв. Например, растяжение барорецепторов, которое может произойти в момент гипертонии или при давлении на сонную артерию, стимулирует рецепторы. При манипуляции под названием *массаж каротидного синуса* барорецепторы в сонных артериях преднамеренно активируются с целью замедления учащенного сердцебиения.



Ассоциация для запоминания

Чтобы легче отличать деполаризацию от реполяризации, запомните, что **Р** в реполяризации означает **РАССЛАБЛЕНИЕ**. Помните, что реполяризация является фазой покоя в сердечном цикле.

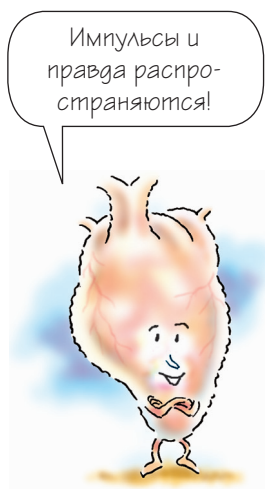
Передача электрических импульсов

Сердцебиение не возникает без электрического стимула. Генерация и передача электрических импульсов зависят от четырех характеристик сердечных клеток.

- *Автоматизм* определяется способностью клетки самопроизвольно инициировать импульс. Клетки — водители ритма обладают этой способностью.
- *Возбудимость* является результатом ионных сдвигов на клеточной мембране и показывает, насколько хорошо клетка реагирует на электрический стимул.
- *Проводимость* — это способность клетки передавать электрический импульс в другую сердечную клетку.
- *Сократительная способность* означает, насколько хорошо клетка сжимается после получения импульса.

Циклы де- и ре-

По мере передачи импульсов сердечные клетки подвергаются циклам деполяризации и реполяризации (см. врезку *Цикл деполяризации-реполяризации*). Сердечные клетки в состоянии покоя считаются поляризованными, это означает, что никакой электрической активности не происходит. По разные стороны клеточной мембраны находятся разные концентрации ионов, такие как натрий и калий, эти ионы создают больше отри-



цательного заряда внутри клетки. Это называется *потенциалом покоя*. После того как происходит стимул, ионы проходят через клеточную мембрану и вызывают потенциал действия, или деполяризацию клеток.

Когда клетка полностью деполяризована, она пытается вернуться в состояние покоя в процессе, называемом реполяризацией. Электрические заряды в клетке становятся на место и возвращаются в нормальное состояние. Цикл деполяризации-реполяризации состоит из пяти фаз – от 0 до 4. Потенциал действия представлен кривой, которая показывает изменения напряжения в течение пяти фаз (см. врезку *Кривая потенциала действия*).

Много фаз на кривой

Во время фазы 0 клетка получает импульс от соседней клетки и деполяризуется. В фазе 1 происходит быстрая реполяризация. Фаза 2, или фаза плато, является периодом медленной реполяризации.

Считается, что во время фаз 1 и 2 и в начале фазы 3 сердечная клетка находится в абсолютном рефрактерном периоде. Во время этого периода ни один стимул, независимо от того, насколько сильным он будет, не сможет возбудить клетку. Фаза 3 – фаза быстрой реполяризации – начинается, когда клетка возвращается в исходное состояние. В течение последней половины этого этапа, когда клетка находится в относительном рефрактерном периоде, только очень сильный стимул может деполяризовать ее.

Фаза 4 является фазой покоя потенциала действия. К концу фазы 4 клетка готова к другому стимулу. Вся эта электрическая активность изображена на электрокардиограмме (ЭКГ). Имейте в виду, что ЭКГ представляет только электрическую активность, а не фактическое изображение сердцебиения.

Цикл деполяризации-реполяризации

Цикл деполяризации-реполяризации состоит из следующих фаз.

Фаза 0

Быстрая деполяризация

- Натрий (Na^+) быстро заходит в клетку.
- Кальций (Ca^{++}) медленно заходит в клетку.

Фаза 1

Ранняя реполяризация

- Натриевые каналы закрываются.

Фаза 2

Фаза плато

- Кальций продолжает заходить.
- Калий (K^+) продолжает выходить из клетки.

Фаза 3

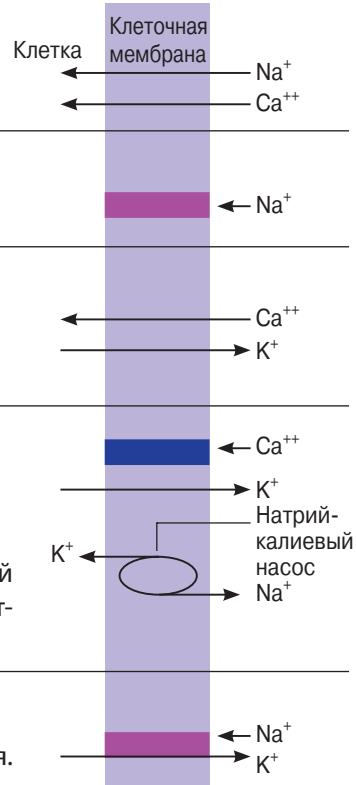
Быстрая реполяризация

- Кальциевые каналы закрываются.
- Калий быстро выходит из клетки.
- Активный транспорт через натрий-калиевый насос начинает возвращать калий внутрь клетки, а натрий наружу клетки.

Фаза 4

Фаза покоя

- Клеточная мембрана непроницаема для натрия.
- Калий выходит из клетки.

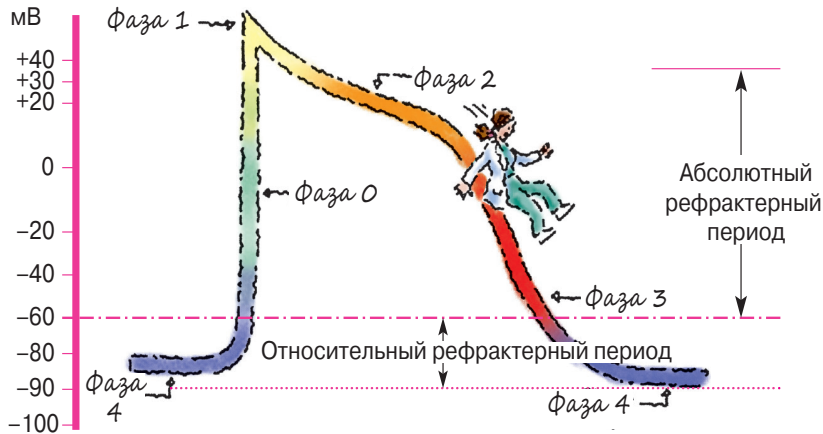


Путь через сердце

После деполяризации и реполяризации образовавшийся электрический импульс проходит через сердце по пути, называемому *проводящей системой сердца* (см. врезку *Проводящая система сердца*). Импульсы выходят из СА-узла и через межузловые тракты и пучок Бахмана идут к АВ-узлу. Оттуда они проходят через пучок Гиса и его ветви и, наконец, достигают волокон Пуркинье.

Кривая потенциала действия

Кривая потенциала действия показывает электрические изменения в клетке миокарда во время цикла деполяризации-реполяризации. На этом графике показаны изменения в кардиомиоците.



Устанавливая темп

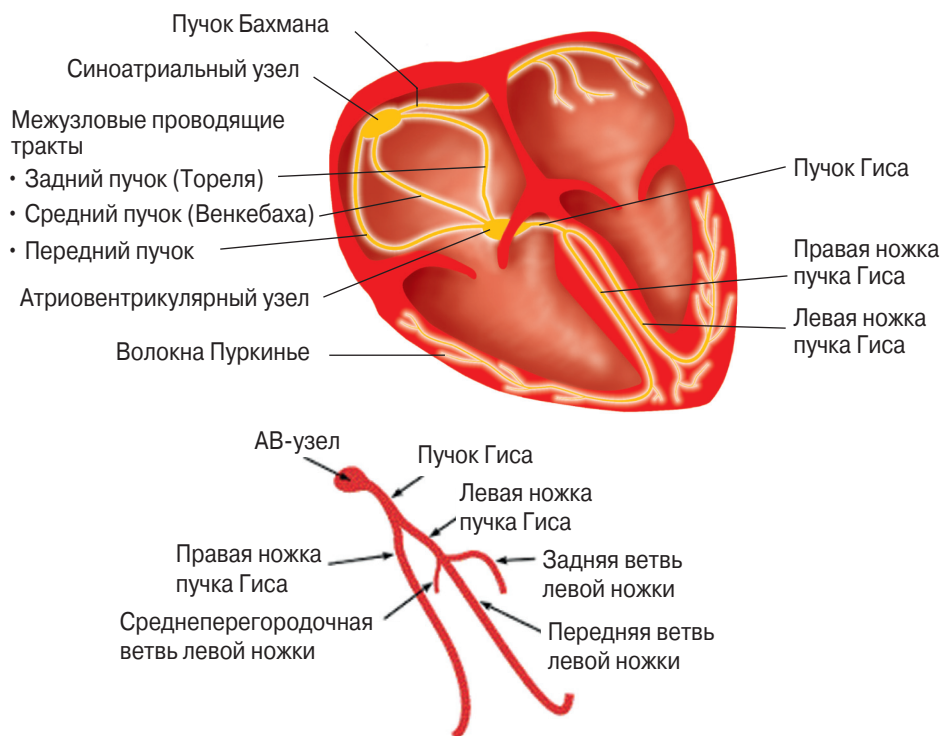
СА-узел расположен в верхнем правом углу правого предсердия, где верхняя полая вена соединяется с тканью предсердия. Это основной водитель ритма сердца, генерирующий импульсы от 60 до 100 раз в минуту. Когда импульс запущен, он следует по определенному пути через сердце. Импульсы не могут проходить в обратном направлении, поскольку клетки не могут реагировать на раздражитель сразу после деполяризации.

Пучок Бахмана

Затем импульсы от СА-узла проходят через пучок Бахмана. Это участки нервной ткани, которые тянутся от СА-узла до левого предсердия. Считается, что импульсы передаются через правое предсердие, передний, средний и задний межузловые тракты. Однако существуют ли эти пути на самом деле, непонятно. Импульс, передающийся через правое и левое предсердия, протекает так быстро, что сокращение предсердий происходит почти в то же самое время.

Проводящая система сердца

Специализированные волокна распространяют электрические импульсы по клеткам сердца, заставляя его сокращаться. На рисунке показаны элементы системы сердечной проводимости.



АВ: медленный узел

АВ-узел, расположенный в нижней части правого предсердия возле устья коронарного синуса, отвечает за задержку импульсов, которые доходят до него. Хотя сама узловая ткань не имеет пейсмейкерных клеток, окружающая его ткань (так называемая *проводящая ткань*), содержит клетки — водители ритма, которые могут генерировать импульсы со скоростью от 40 до 60 раз в минуту.

Основная функция АВ-узла — задерживать импульсы на 0,04 с для того, чтобы желудочки не сокращались слишком быстро. Эта задержка позволяет желудочкам завершить свою фазу наполнения кровью, пока сокращается предсердие. Это также позволяет сердечной мышце полностью растянуться для обеспечения максимального сердечного выброса.

Разделение ветвей

Пучок Гиса — это участок ткани, проходящей в желудочках рядом с межжелудочковой перегородкой. Он возобновляет быстрое проведение импульса через желудочки. Пучок в конечном итоге делится на правую и левую ветви, или ножки. Правая ножка пучка Гиса проходит вниз по правой стороне межжелудочковой перегородки через правый желудочек. Левая ножка пучка Гиса проходит вниз по левой стороне межжелудочковой перегородки через левый желудочек.

Пучок Гиса делится на ветви — правую и левую, а левая — на заднюю и переднюю



Левая ножка пучка Гиса расщепляется на две ветви: передняя ветвь левой ножки, которая проходит через переднюю часть левого желудочка и заднюю ветвь левой ножки, в свою очередь направляющейся через боковые и задние части левого желудочка. Импульсы движутся намного быстрее вниз по левой ножке пучка Гиса (которая питает больший по размеру левый желудочек с более толстыми стенками), чем по правой ножке пучка Гиса (питает меньший тонкостенный правый желудочек). Разница в скорости проведения импульсов позволяет обоим желудочкам сокращаться одновременно. Вся сеть специализированной нервной ткани, которая распространяется через желудочки, называется *системой Гиса–Пуркинье*.

Эти веселые волокна Пуркинье

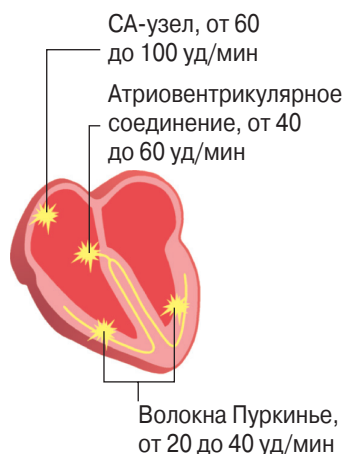
Волокна Пуркинье тянутся от ветвей пучков Гиса в эндокард и далее глубоко в ткань миокарда. Эти волокна быстро проводят импульсы через мышцу, чтобы помочь в ее деполяризации и сокращении. Волокна Пуркинье также могут служить водителем ритма и способны генерировать импульсы со скоростью от 20 до 40 раз в минуту, а иногда еще медленнее (см. врезку *Водитель ритма в сердце*). Волокна Пуркинье обычно не активируются как водители ритма до тех пор, пока проведение импульсов по пучкам Гиса не заблокируется или пока высший водитель ритма (СА- или АВ-узел) не перестанет генерировать импульсы (см. врезку *Частота импульсации водителя ритма в детском сердце*).

Водитель ритма в сердце

Клетки водителя ритма в нижних областях, такие как проводящая ткань и волокна Пуркинье, как правило, остаются бездействующими, поскольку получают импульсы от синоатриального (СА) узла. Они начинают генерировать импульсы только тогда, когда они не получают их сверху, например, когда СА узел поврежден при инфаркте миокарда.

Частота импульсации

На этой иллюстрации показана частота импульсации: скорость клеток водителей ритма, расположенных в трех критических областях сердца.



Аномальные импульсы

Теперь, когда вы понимаете, как сердце генерирует нормальный импульс, давайте посмотрим на некоторые причины аномальной импульсной проводимости, в том числе автоматизм, обратное прохождение импульсов, аномалии повторного входа и эктопию.

Когда сердце переходит на “ручной режим”

Автоматизм является особой характеристикой клеток — водителей ритма, которые генерируют импульсы автоматически, без предшествующей стимуляции. Если автоматизм клетки увеличивается или уменьшается, может возникнуть аритмия. Например, тахикардия обычно вызвана увеличением автоматичности клеток — водителей ритма ниже СА-узла. Аналогично снижение автоматизма клеток в СА-узле может вызвать развитие брадикардии или атриовентрикулярного ритма (компенсаторный ритм генерируется расположенным ниже водителем ритма).



Возраст и здоровье

Частота импульсации водителя ритма в детском сердце

У детей младше трех лет атриовентрикулярный узел может генерировать импульсы от 50 до 80 раз в минуту; волокна Пуркинье могут генерировать импульсы от 40 до 50 раз в минуту.

Нарушение синхронизации

Импульсы, начинающиеся ниже АВ-узла, могут передаваться в обратном направлении в сторону предсердия. Эта обратная, или ретроградная, проводимость обычно занимает больше времени, чем нормальная проводимость, и может нарушать синхронность сокращений предсердий и желудочков.

Иногда они возвращаются

Иногда импульсы вызывают деполяризацию клеток дважды подряд со скоростью, превышающей нормальную. Это так называемый механизм *повторного обратного входа импульса*. Импульсы проходят достаточно долго, чтобы клетки успели реполяризоваться. В этих случаях активный импульс повторно входит в ту же область и производит повторный импульс.

Повторяя самого себя

Поврежденная клетка — водитель ритма (или обычный кардиомиоцит) деполяризуется частично, а не полностью. Частичная деполяризация способна привести к спонтанной, или вторичной, деполяризации, которая проявляется в виде повторяющейся эктопической импульсации, называемой *триггерной активностью*.

В результате происходит *постдеполяризация*. Ранняя постдеполяризация развивается до полной реполяризации клетки и может быть вызвана гипокалиемией, медленными темпами стимуляции или действием токсичного препарата. Если это происходит после того, как клетка была полностью реполяризована, мы имеем дело с *задержанной постдеполяризацией*. Эта проблема может быть вызвана токсичностью дигоксина, гиперкальциемией или повышенным выделением катехоламинов. Как результат могут иметь место предсердные или желудочковые тахикардии. Вы узнаете больше об этих и других аритмиях в последующих главах.



Это надо помнить!

Обзор анатомии и физиологии сердца

Клапаны сердца

- *Трикуспидальный* — АВ-клапан между правым предсердием и правым желудочком.
- *Митральный* — АВ-клапан между левым предсердием и левым желудочком.
- *Аортальный* — полулунный клапан между левым желудочком и аортой.
- *Легочный* — полулунный клапан между правым желудочком и легочной артерией.

Кровообращение

- Дезоксигенированная кровь из организма возвращается в правое предсердие, а затем течет в правый желудочек.
- Правый желудочек качает кровь в легкие. Там она насыщается кислородом, а затем кровь возвращается в левое предсердие и течет в левый желудочек.
- Насыщенная кислородом кровь перекачивается в аорту и по всему телу левым желудочком.

Коронарные артерии и вены

- *Правая коронарная артерия* снабжает кровью правое предсердие, желудочек и часть левого желудочка.
- *Левая передняя нисходящая артерия* кровоснабжает переднюю стенку левого желудочка, межжелудочковую перегородку, правую ножку пучка Гиса и переднюю ветвь левой ножки пучка Гиса.
- *Огибающая артерия* снабжает кровью боковые стенки левого желудочка, левое предсердие и заднюю ветвь левой ножки пучка Гиса.
- *Сердечные вены* собирают кровь из капилляров миокарда.
- *Коронарный синус* возвращает кровь в правое предсердие.

Динамика сердечного цикла

- *Предсердное сокращение* — сокращение предсердия, на которое приходится около 30% сердечного выброса.
- *Сердечный выброс* — количество крови, которое сердце прокачивает за одну минуту. Рассчитывается при умножении частоты сердечных сокращений на ударный объем.

Продолжение

- *Ударный объем* — количество крови, выталкиваемое при каждом сокращении желудочка (на него оказывают влияние преднагрузка, постнагрузка и сократимость).
- *Преднагрузка* — пассивное растяжение, оказываемое кровью на мышцы желудочка в конце диастолы.
- *Постнагрузка* — величина давления, с которым левый желудочек должен работать против давления крови в аорте.
- *Сократительная способность* — способность клетки сердечной мышцы сокращаться после деполяризации.

Иннервация сердца

Два отдела вегетативной нервной системы иннервируют сердце.

- *Симпатическая нервная система* увеличивает частоту сердечных сокращений, автоматичность, АВ-проводимость и сократительную способность посредством выброса норадреналина и адреналина.
- *Парасимпатическая нервная система* — стимуляция блуждающего нерва уменьшает частоту сердечных сокращений и АВ-проводимость посредством выброса ацетилхолина.

Передача электрических импульсов

Генерация и передача электрических импульсов зависит от следующих характеристик клетки.

- *Автоматизм* — способность клетки самопроизвольно инициировать импульс, что характерно для клеток — водителей ритма.
- *Возбудимость* показывает, насколько хорошо реагирует клетка на электрический стимул.
- *Проводимость* — способность клетки передать электрический импульс другой клетке.
- *Сократительная способность* демонстрирует, насколько хорошо клетка сокращается после получения стимула.

Цикл деполяризации-реполяризации

Сердечные клетки подвергаются следующим циклам деполяризации и реполяризации во время передачи импульсов.

- *Фаза 0: быстрая деполяризация* — клетка получает импульс от ближайшей клетки и деполяризуется.
- *Фаза 1: ранняя реполяризация* — во время этой фазы возникает быстрая ранняя реполяризация.
- *Фаза 2: фаза плато* — во время этой фазы происходит медленная реполяризация.

Окончание

- *Фаза 3: быстрая реполяризация* — клетка возвращается в исходное состояние.
- *Фаза 4: фаза покоя* — клетка отдыхает и готовится к другому стимулу.

Сердечная проводимость

- Электрический импульс начинается в СА-узле и проходит через межузловые тракты и пучок Бахмана к АВ-узлу.
- От АВ-узла импульс проходит вниз по пучку Гиса, по ветвям пучка и через волокна Пуркинье.

Внутренняя частота импульсации водителя ритма

- *СА-узел* — от 60 до 100 уд/мин.
- *АВ-узел* — от 40 до 60 уд/мин.
- *Волокна Пуркинье* — от 20 до 40 уд/мин.

Аномальные импульсы

- *Автоматизм* — способность кардиомиоцита инициировать импульс самостоятельно.
- *Ретроградная проводимость* — импульсы, которые передаются назад к предсердию.
- *Повторный обратный вход* — когда импульс передается по круговому, а не нормальному пути проводимости.

**Вопросы для самопроверки**

1. Термин *автоматизм* относится к способности клетки:
 - а) инициировать импульс самостоятельно;
 - б) посылать импульсы во всех направлениях;
 - в) блокировать импульсы, сформированные в областях, отличных от узла SA;
 - г) генерировать импульс при стимуляции.
2. Парасимпатическая стимуляция сердца приводит к:
 - а) учащению пульса и снижению сократимости;
 - б) учащению пульса и ускорению АВ-проводимости;

- в) снижению частоты сердечных сокращений и замедлению АВ-проводимости;
- г) снижению пульса и увеличению сократимости.

Ответ: в) парасимпатическая стимуляция сердца снижает частоту сердечных сокращений и замедляет проведение импульсов по АВ-проводнику.

3. Нормальным водителем ритма сердца является:

- а) СА-узел;
- б) АВ-узел;
- в) пучок Гиса;
- г) волокна Пуркинье.

Ответ: а) узел СА — нормальный водитель ритма сердца, дающий импульсы 100 раз в минуту.

4. Задержка импульса, создаваемая АВ-узлом, позволяет предсердиям:

- а) реполяризовать одновременно;
- б) сокращаться перед желудочками;
- в) посылать импульсы в пучок Гиса;
- г) завершить их заполнение.

Ответ: б) задержка в АВ-узле с помощью предсердия сокращаются, что позволяет им реполяризоваться полностью до поступления импульса в желудочки.

5. Коронарные артерии наполняются кровью во время:

- а) предсердной систолы;
- б) предсердной диастолы;
- в) желудочковой систолы;
- г) желудочковой диастолы.

Ответ: г) коронарные артерии наполняются кровью, когда желудочки расслаиваются и происходит обратный ток крови по коронарным артериям. В это время, поэтому он блокирует кровотока через коронарные артерии.

6. При стимуляции барорецепторы влияют на частоту сердечных сокращений таким образом:

- а) увеличивают;
- б) уменьшают;
- в) не меняют;
- г) делают нерегулярной.

Ответ: б) барорецепторы при стимуляции уменьшают частоту сердечных сокращений.

Рекомендованные ссылки

1. Buddiga, P. (2014). Cardiovascular system anatomy. *Medscape Reference*, <http://emedicine.medscape.com/article/1948510-overview>.
2. Ellis, K. (2012). *EKG plain and simple* (3rd ed.). Pearson.
3. Mohrman, D. E., & Hellen, L. (2014). Overview of the cardiovascular system. In D. H. Mohrman (Ed.), *Cardiovascular physiology* (8th ed., Ch. 1). New York, NY: McGraw Hill. Получено 13.11.2014 по адресу <http://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?bookid=843§ionid=48779649>.
4. Rigolin, V. H., Robiolio, P. A., Wilson, J. S., Harrison, J. K., & Bashore, T. M. (1995). The forgotten chamber: the importance of the right ventricle. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, 35(1), 18–28.
5. Wingate, S. (1997). Cardiovascular anatomy and physiology in the female. *Critical Care Nursing Clinics of North America*, 9(4), 447–452.
6. Zamorano, J. L., González-Gómez, A., & Lancellotti, P. (2014). Mitral valve anatomy: implications for transcatheter mitral valve interventions. *EuroIntervention*, 1–6. Europepmc.org/abstract/med/25256321.