

Оглавление

| | |
|---|-----------|
| Список сокращений и условных обозначений | 7 |
| Предисловие | 8 |
| Введение | 9 |
| Глава 1. Основные понятия | 11 |
| 1.1. Анатомия | 11 |
| 1.2. Физиология | 17 |
| 1.3. Физиологические процессы внутри клетки | 20 |
| 1.4. Регистрация электрофизиологических процессов в миокарде | 21 |
| Глава 2. Анализ нормальной электрокардиограммы | 24 |
| 2.1. Введение | 24 |
| 2.2. Отведения от конечностей | 26 |
| 2.3. Грудные отведения | 28 |
| 2.4. Ориентация отведений электрокардиограммы | 29 |
| 2.5. Термины в электрокардиографии | 31 |
| Глава 3. Интерпретация данных ЭКГ: метод шести шагов | 37 |
| 3.1. Шаг 1: регистрируется ли электрическая активность миокарда? | 38 |
| 3.2. Шаг 2: с какой частотой возбуждаются желудочки? | 38 |
| 3.3. Шаг 3: регулярный ли ритм? | 40 |
| 3.4. Шаг 4: комплекс QRS узкий (нормальный) или широкий? | 41 |
| 3.5. Шаг 5: регистрируется ли электрическая активность предсердий? | 43 |
| 3.6. Шаг 6: имеется ли связь электрической активности предсердий (зубец P) с электрической активностью желудочков (комплекс QRS)? | 44 |
| 3.7. Словарь электрокардиографических терминов | 46 |
| Глава 4. Брадиаритмии, часть I: нарушение функции синоатриального узла | 50 |
| 4.1. Синусовая брадикардия | 50 |
| 4.2. Паузы синусового ритма с выскальзывающими узловыми импульсами | 52 |
| Глава 5. Брадиаритмии, часть II: нарушения проводимости | 55 |
| 5.1. Атриовентрикулярная блокада I степени | 55 |
| 5.2. Атриовентрикулярная блокада II степени с периодической Самойлова–Венкебаха, или тип Мобитц 1 | 57 |
| 5.3. Атриовентрикулярная блокада II степени, тип Мобитц 2 | 60 |
| 5.4. Атриовентрикулярная блокада II степени с проведением 2:1 | 62 |
| 5.5. Атриовентрикулярная блокада III степени (полная) с узкими комплексами QRS | 64 |
| 5.6. Атриовентрикулярная блокада III степени (полная) с широкими комплексами QRS | 66 |

6 Оглавление

| | |
|---|------------|
| 5.7. Блокада правой ножки пучка Гиса | 68 |
| 5.8. Блокада левой ножки пучка Гиса | 70 |
| Глава 6. Экстрасистолия | 73 |
| 6.1. Предсердная экстрасистолия | 73 |
| 6.2. Желудочковая экстрасистолия | 75 |
| 6.3. Экстрасистолы из АВ-соединения и основного ствола пучка Гиса | 77 |
| Глава 7. Предсердные нарушения ритма | 80 |
| 7.1. Предсердная тахикардия | 80 |
| 7.2. Многофокусная предсердная тахикардия | 83 |
| 7.3. Трепетание предсердий | 85 |
| 7.4. Фибрилляция предсердий | 87 |
| 7.5. Фибрилляция предсердий с блокадой левой ножки пучка Гиса | 89 |
| Глава 8. Тахиритмии с узким комплексом QRS (наджелудочковые тахикардии) | 91 |
| 8.1. Атриовентрикулярная узловая re-entry тахикардия | 91 |
| 8.2. Атриовентрикулярная реципрокная тахикардия | 93 |
| 8.3. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта с правым дополнительным проводящим путем | 95 |
| 8.4. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта с левым дополнительным проводящим путем | 97 |
| 8.5. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта с задним дополнительным проводящим путем | 99 |
| 8.6. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта в сочетании с фибрилляцией предсердий | 101 |
| Глава 9. Тахиритмии с широкими комплексами QRS | 104 |
| 9.1. Мономорфная желудочковая тахикардия | 105 |
| 9.2. Полиморфная желудочковая тахикардия | 107 |
| 9.3. Двухнаправленная веретенообразная желудочковая тахикардия (torsade de pointes) | 109 |
| 9.4. Фибрилляция желудочков | 111 |
| 9.5. Наджелудочковая тахикардия с блокадой ножек пучка Гиса | 113 |
| Глава 10. Ишемия и инфаркт миокарда | 116 |
| 10.1. Депрессия сегмента ST (ишемия миокарда) | 118 |
| 10.2. Острая ишемия миокарда: инверсия зубцов T и синдром левой передней нисходящей коронарной артерии | 120 |
| 10.3. Передний инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST | 122 |
| 10.4. Нижний инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST | 124 |
| 10.5. Задний инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST | 127 |
| 10.6. Период рубцевания инфаркта миокарда | 129 |
| Глава 11. Наследственные аритмии | 131 |
| 11.1. Гипертрофическая кардиомиопатия | 131 |
| 11.2. Аритмогенная дисплазия правого желудочка | 133 |
| 11.3. Синдром удлиненного интервала Q–T | 135 |
| 11.4. Синдром Бругада | 137 |

| | |
|--|---------|
| Глава 12. Другие состояния | 140 |
| 12.1. Перикардит | 140 |
| 12.2. Гипертрофия левого желудочка | 142 |
| 12.3. Гипертрофия правого желудочка | 144 |
| 12.4. Тромбоэмболия легочной артерии | 146 |
| 12.5. Электрокардиостимулятор | 148 |
| 12.6. Гиперкалиемия | 150 |
| 12.7. Гипокалиемия | 152 |
| 12.8. Гиперкальциемия | 154 |
| 12.9. Гипокальциемия | 156 |
| Предметный указатель | 158 |

Список сокращений и условных обозначений

- ♦ — торговое название лекарственного средства
- ® — лекарственное средство, не зарегистрированное в РФ
- АТФ — аденозинтрифосфорная кислота
- АВ — атриовентрикулярный
- СА — синоатриальный
- ЧСС — частота сердечных сокращений
- ЭКГ — электрокардиограмма

1.1. Анатомия

Сердце — жизненно важный орган человеческого тела. Оно состоит из специализированных мышечных волокон и обеспечивает поступление крови ко всем органам и тканям по артериальным сосудам.

Во внутриутробном периоде сердце развивается из слоя клеток мезодермы на третьей неделе гестации. Это скопление клеток, называемых мезокардиальными, формирует различные слои стенки сердца — эндокард, миокард, эпикард и перикард (рис. 1.1).

Сердце расположено немного левее центральной части грудной клетки. При проведении обследования сердце лучше пальпируется и выслушивается в левой половине грудной клетки, что обусловлено преобладанием размеров и силы сокращения левого желудочка по сравнению с правым.

Большой и малый круг кровообращения

Сердце человека состоит из четырех камер: две принимающих камеры, *предсердия*, и две нагнетающих камеры, *желудочки* (рис. 1.2).

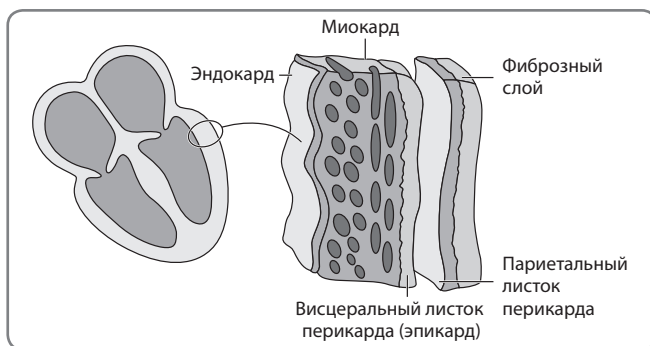


Рис. 1.1. Слои стенки сердца

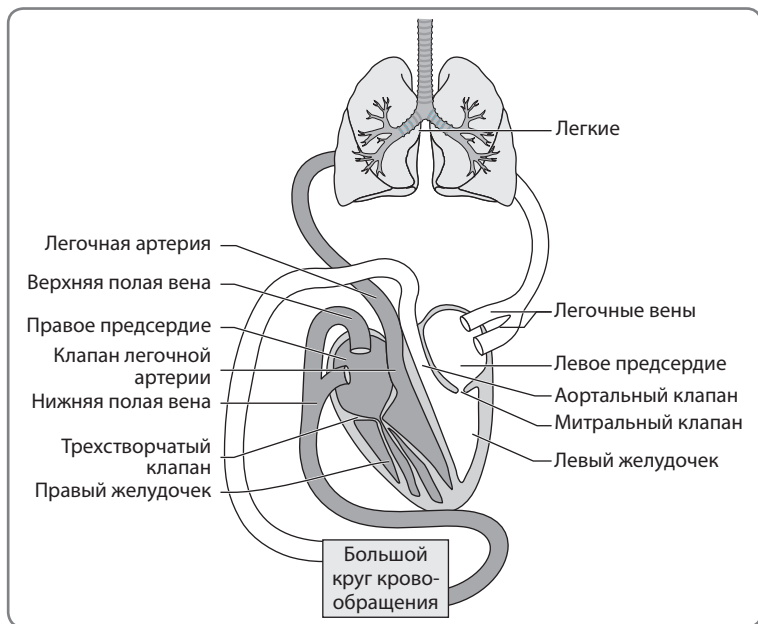


Рис. 1.2. Анатомия сердца

С участием камер сердца формируются два отдельных круга кровообращения — *малый*, кровь по которому доставляется к легким и обратно к сердцу, и *большой*, кровоснабжающий остальные части тела. Камеры сердца отделены друг от друга клапанами, препятствующими обратному току крови и обеспечивающими электрофизиологическую изоляцию предсердий и желудочков.

Обедненная кислородом кровь из венозных сосудов собирается в *верхнюю и нижнюю полые вены*, а затем поступает в правое предсердие. Кровь из правого предсердия в правый желудочек в начале диастолы желудочков течет пассивно, затем правое предсердие сокращается для более эффективного нагнетания крови в правый желудочек через отверстие трикуспидального клапана (рис. 1.3). В систолу правого желудочка створки *трикуспидального клапана* захлопываются, кровь выбрасывается через отверстие *клапана легочной артерии* в легочный ствол и далее поступает в легкие. В капиллярах легких происходит газообмен, и кровь насыщается кислородом. Обогащенная кислородом кровь транспортируется по легочным венам обратно к сердцу, наполняя левое предсердие.

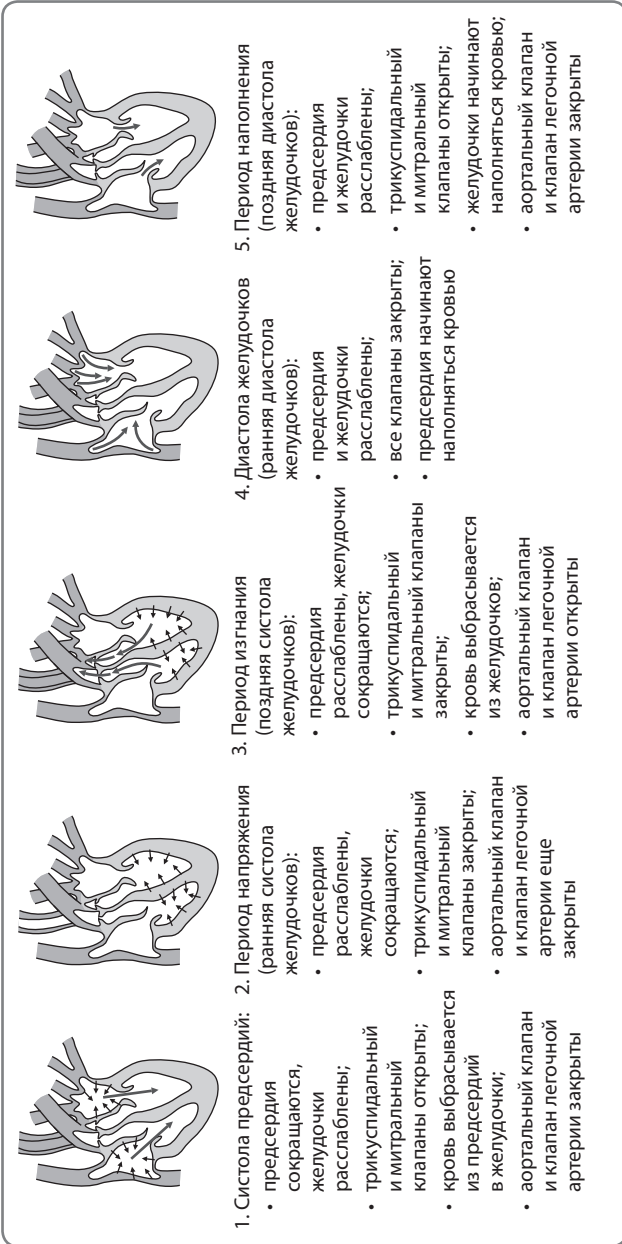


Рис. 1.3. Фазы сердечного цикла

Во время диастолы желудочков насыщенная кислородом кровь из левого предсердия пассивно перетекает в полость левого желудочка, затем происходит активное сокращение левого предсердия для более эффективного наполнения левого желудочка кровью через отверстие митрального клапана. Левому желудочку необходимо сокращаться с большой силой для нагнетания крови в кровеносные сосуды большого круга кровообращения, поэтому мышечная стенка левого желудочка развита в большей степени по сравнению с мышечной стенкой правого желудочка. Во время систолы левого желудочка створки *митрального клапана* смыкаются и кровь выбрасывается через отверстие *аортального клапана в аорту*. Из аорты насыщенная кислородом кровь распределяется по сосудам органов и тканей, в капиллярах которых происходит газообмен. Кровь, обедненная кислородом и насыщенная углекислым газом, собирается по венозным сосудам в *полые вены*, попадая затем в правое предсердие.

Коронарное кровообращение

Сердцу, как и другим мышечным органам, нужно кровоснабжение для обеспечения необходимыми веществами для сокращения и метаболических процессов. Кровь, обогащенная кислородом, поступает к сердцу по коронарным артериям (рис. 1.4).

Эти сосуды отходят от аорты непосредственно над аортальным клапаном (рис. 1.5). У большинства людей правая и левая коронарные артерии отходят от соответствующих сторон аорты. Правая коронарная артерия снабжает кровью правый желудочек и нижнюю стенку левого желудочка. Также она отдает ветви

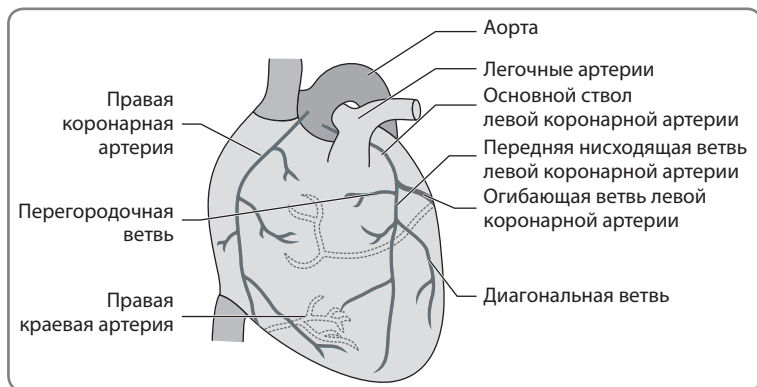


Рис. 1.4. Сердце и коронарное кровообращение

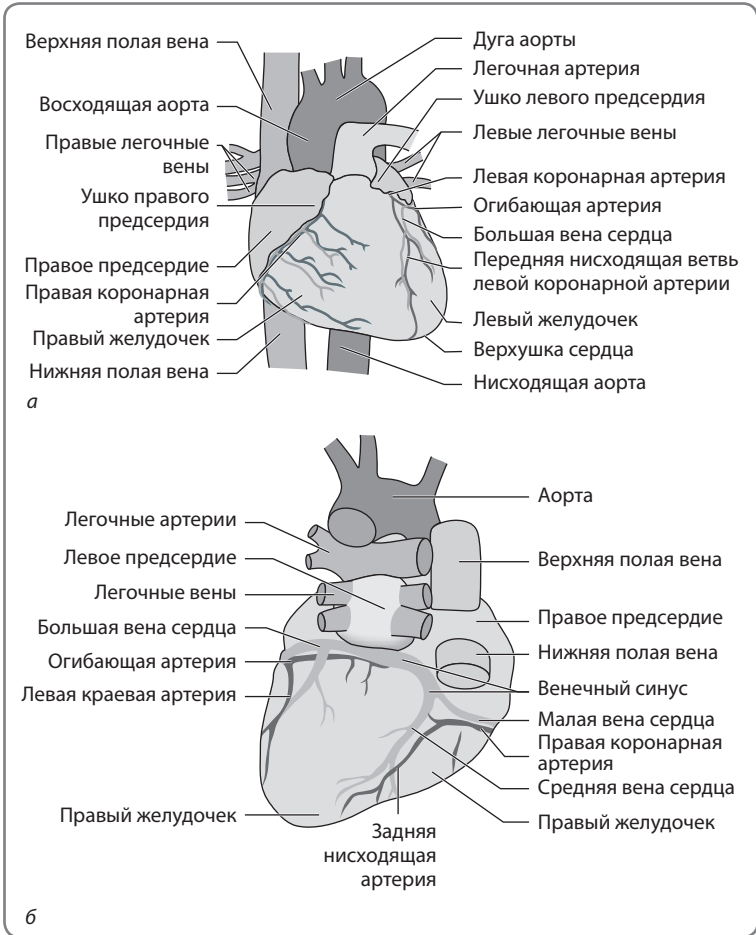


Рис. 1.5. Строение сердца, вид снаружи: *а* — передняя поверхность; *б* — задняя поверхность

к правому предсердию [в том числе к *синоатриальному (СА)* узлу], и к *атриовентрикулярному (АВ)* узлу. Основной ствол левой коронарной артерии разделяется на две большие ветви. Огибающая ветвь левой коронарной артерии кровоснабжает задние отделы левого желудочка. Нисходящая ветвь левой коронарной артерии кровоснабжает большую часть левого желудочка, включая переднюю стенку и верхушку, перегородку (перегородочные ветви) и боковую стенку (диагональные ветви).

Анатомия проводящей системы

Левое и правое предсердия расположены выше желудочков и разделены *межпредсердной перегородкой* (рис. 1.6). Правое предсердие развивается из двух эмбриологических зачатков: гладкостенная венозная (задняя) часть развивается из *венозного синуса*, мышечная передняя часть развивается из рудиментарного правого предсердия. В месте соединения обеих частей образуется вертикальный гребешок, располагающийся между устьями верхней и нижней полых вен и носящий название *пограничного гребешка*.

Синоатриальный узел расположен около пограничного гребешка ниже устья верхней полых вен. В этой области скопление специализированных кардиомиоцитов формирует собственный «водитель ритма» сердца.

В месте соединения верхней части пограничного гребешка и межпредсердной перегородки расположены проводящие пути (*пучок Бахмана*), возбуждение по которым проводится к левому предсердию.

Предсердия соединены с соответствующими желудочками посредством атриовентрикулярных клапанов: *трикуспидальный клапан* расположен между правыми предсердием и желудочком, *митральный клапан* расположен между левыми предсердием и желудочком.

Митральный и трикуспидальный клапаны и соответствующие им фиброзные кольца обеспечивают электрофизиологическую изоляцию предсердий и желудочков. Импульсы от предсердий к желудочкам проводятся по *атриовентрикулярному узлу (АВ-узлу)*, расположенному справа от нижней части межпредсердной перегородки около трикуспидального клапана.

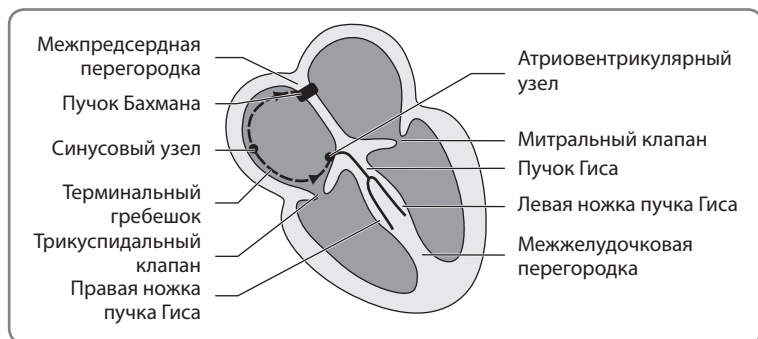


Рис. 1.6. Строение проводящей системы сердца

В АВ-узле есть два изолированных входа для электрических импульсов. *Быстрый проводящий канал* начинается в межпредсердной перегородке и соединяется с АВ-узлом в его передней части. *Медленный проводящий канал* является продолжением нижнего края терминального гребешка и соединяется с АВ-узлом в его задней части.

АВ-узел переходит в специализированный узкий проводящий путь — пучок Гиса. Этот пучок проходит через мембранозную часть межжелудочковой перегородки и затем разделяется на *правую и левую ножки*, достигающие верхушки сердца.

Левая ножка разделяется далее на *переднюю и заднюю ветви*. От ветвей ножек проводящие волокна (*волокна Пуркинье*) расходятся между волокнами сократительной мускулатуры желудочков. Клетки системы Гиса–Пуркинье обладают специализированными свойствами и способны к более быстрому проведению импульса по сравнению с обычными кардиомиоцитами.

Важно помнить!

С точки зрения электрофизиологии в сердце выделяют две, а не четыре камеры, предсердную и желудочковую, электрически изолированные друг от друга тканью фиброзных колец.

1.2. Физиология

Потенциал действия кардиомиоцита

Сердце состоит из специализированных мышечных клеток — *кардиомиоцитов*. Сокращения кардиомиоцитов обусловлены возникновением потенциала действия в этих клетках вследствие процессов *деполяризации*. Возникающие электрические заряды можно обнаружить и зарегистрировать на поверхности тела пациента.

Потенциал покоя мембраны кардиомиоцита составляет -96 мВ (рис. 1.7, а). Это означает, что мембрана внутри кардиомиоцита заряжена отрицательно. Данный заряд поддерживается работой белковых ионных каналов мембраны, регулирующих перемещение основных положительно заряженных ионов: натрия (Na^+), кальция (Ca^{2+}) и калия (K^+) (рис. 1.7, б). При возбуждении соседних кардиомиоцитов или поступлении импульса из СА-узла в мембране кардиомиоцита происходит активация ионных каналов, и при достижении порога возбуждения запускается цепочка внутриклеточных реакций. Быстрые натриевые каналы открываются, и ионы натрия входят внутрь клетки, вызывая быструю деполяризацию. Затем в сарколемме и саркоплазматическом ретикулуме открываются медленные кальциевые каналы, что

приводит к повышению содержания ионов кальция в цитозоле, и в это же время уменьшается проницаемость клеточной мембраны для ионов калия, выход калия из клетки замедляется. В результате

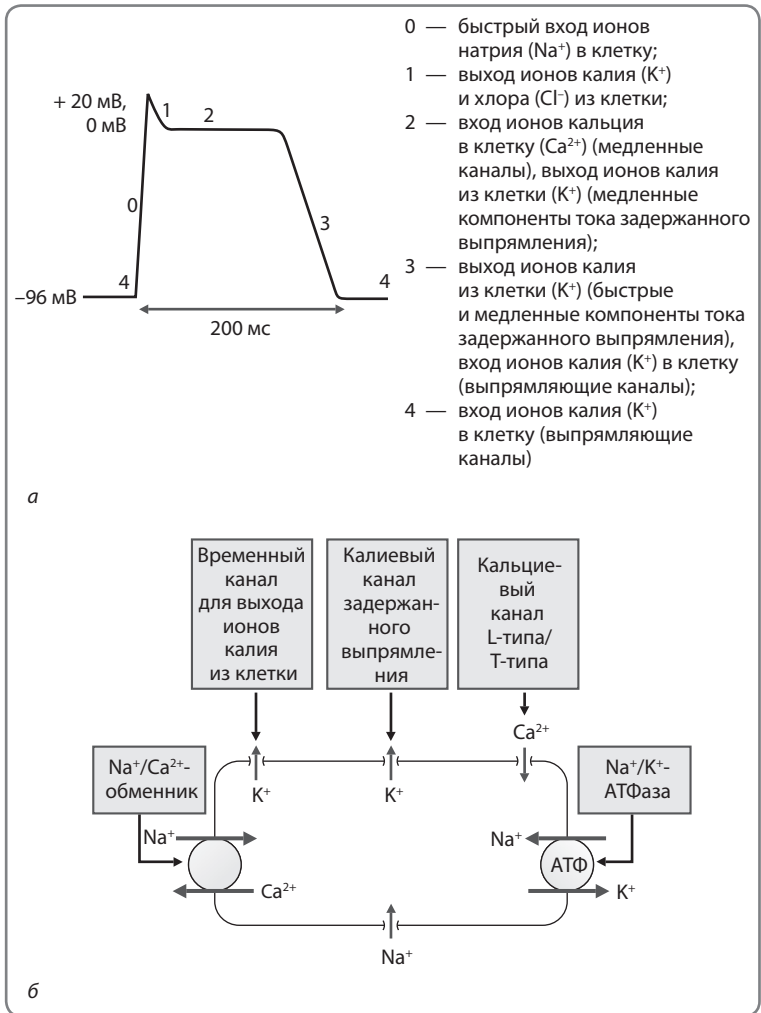


Рис. 1.7. Потенциал действия кардиомиоцита и последовательность открытия ионных каналов мембраны: *а* — потенциал действия кардиомиоцита и последовательность открытия ионных каналов мембраны; *б* — перемещение основных положительно заряженных ионов внутри клетки (Na^+ — натрий; Ca^{2+} — кальций; K^+ — калий)

этих процессов мембранный потенциал поддерживается на уровне около 0 мВ в течение продолжительной фазы «плато». Этот механизм обеспечивает способность кардиомиоцитов к возбуждению и сокращению в течение длительного времени. Затем калиевые каналы вновь открываются, кальциевые каналы закрываются, ионы калия выходят из клетки, меньше ионов кальция проникает в клетку, и отрицательный заряд внутри клеточной мембраны кардиомиоцита восстанавливается — происходит *реполяризация*.

В течение периода реполяризации повторное возбуждение клетки вызвать невозможно — в это время наступает рефрактерный период кардиомиоцита.

Проводящая система сердца

В процессе эмбрионального развития сердечной мышцы небольшая часть кардиомиоцитов приобретает свойство *автоматизма*, то есть способности к регулярной ритмичной деполяризации или генерации потенциала действия. Наибольшей способностью к автоматизму обладает СА-узел, естественный водитель ритма сердца, импульсы из которого вызывают процессы деполяризации во всей сердечной мышце.

На частоту возникновения импульсов в СА-узле оказывает влияние вегетативная нервная система: парасимпатические импульсы блуждающего нерва уменьшают частоту сердечных сокращений, а стимуляция симпатическими нервными волокнами и циркулирующими катехоламинами увеличивает частоту сердечных сокращений. В результате этих процессов число сердечных сокращений поддерживается в пределах 60–100 ударов в минуту (условная «норма»).

Возбуждение от СА-узла распространяется по трем пучкам

Важно помнить!

Регуляция работы СА-узла

- СА-узел — естественный водитель ритма сердца, способный к спонтанной деполяризации. Частота возникновения процессов деполяризации регулируется двумя основными механизмами — нервным и гуморальным.
- Нервный механизм регуляции осуществляется посредством блуждающего нерва (X пара черепных нервов), обеспечивающего парасимпатическую иннервацию. В периоды отдыха и отсутствия активности влияние блуждающего нерва уменьшает скорость процессов деполяризации в СА-узле. Симпатическую иннервацию СА-узлу обеспечивают симпатические волокна, выходящие из спинного мозга на уровне I–IV грудных позвонков. При физической нагрузке или воздействии стрессовых факторов влияние этих нервов увеличивает скорость процессов деполяризации в СА-узле и частоту сердечных сокращений.
- Циркулирующие гормоны (в особенности адреналин и тироксин) также оказывают влияние на скорость процессов деполяризации в СА-узле. Повышение уровня этих гормонов (к примеру, при физических нагрузках и патологии щитовидной железы соответственно) приводит к ускорению деполяризации в СА-узле и увеличению частоты сердечных сокращений.

проводящих путей, охватывая правое предсердие. Импульсы к левому предсердию проводятся по пучку Бахмана.

После возбуждения предсердий импульс достигает атриовентрикулярного узла и задерживается в нем на короткое время, достаточное для систолы предсердий и эффективного наполнения желудочков.

После задержки в АВ-узле импульс распространяется по пучку Гиса, который разделяется на правую ножку, охватывающую возбуждением правый желудочек, и левую ножку, охватывающую возбуждением левый желудочек и разветвляющуюся на переднюю и заднюю ветви.

Задняя ветвь левой ножки пучка Гиса — толстый пучок волокон, возбуждение по которому распространяется по задней и нижней поверхности левого желудочка. *Передняя ветвь левой ножки пучка Гиса* — узкий пучок волокон, распространяющий волну возбуждения по передней и верхней поверхности левого желудочка.

Распространившись по волокнам ножек пучка Гиса, импульс достигает терминальных разветвлений — волокон Пуркинье. Эти волокна проникают в толщу миокарда, и волна возбуждения охватывает его, распространяясь по направлению от эндокарда к эпикарду (то есть изнутри наружу).

1.3. Физиологические процессы внутри клетки

Внутри кардиомиоцита расположены сотни *миофибрилл* — длинных, тонких образований, состоящих из нитей разной толщины. Тонкие нити образованы белком *актином*, толстые нити — белком *миозином*.

При развитии потенциала действия в кардиомиоците (рис. 1.8) ионы кальция из саркоплазматического ретикулума выходят во внутриклеточное пространство. В присутствии ионов кальция головки нитей миозина соединяются с нитями актина, что приводит к их взаимному перемещению и, как следствие, укорочению миофибрилл. Так, в результате электрохимических процессов (развития потенциала действия) происходит сокращение каждой мышечной клетки. Потенциал действия возникает в близкорасположенных кардиомиоцитах за счет распространения волны возбуждения по *щелевым соединениям*, и сокращением охватывается вся толща миокарда.

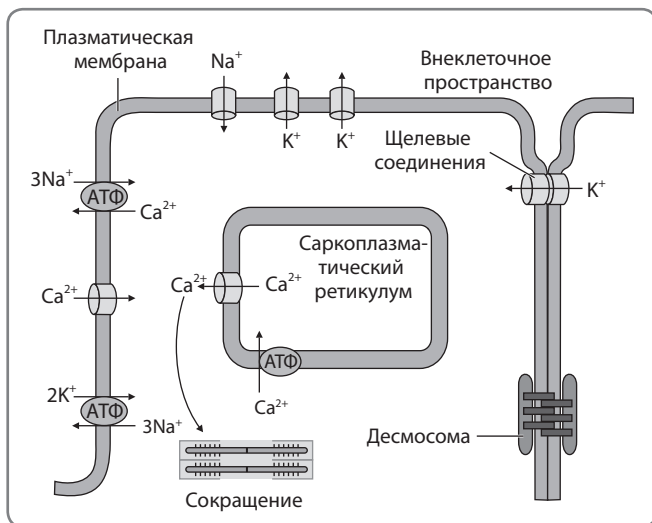


Рис. 1.8. Физиология кардиомиоцита

1.4. Регистрация электрофизиологических процессов в миокарде

Электрокардиография

Электрофизиологические процессы в сердечной мышце могут быть зарегистрированы при помощи электродов, расположенных на коже пациента. Запись этих процессов носит название *электрокардиографии* (ЭКГ).

ЭКГ регистрируется при наложении на участки тела пациента клейких одноразовых электродов, для записи используется бумага со стандартной разметкой.

Аппарат для регистрации ЭКГ, как правило, калибруется таким образом, что сигнал величиной в 1 мВ записывается в виде отклонения пера регистрирующего устройства на 1 см (два больших квадрата) на электрокардиограмме. Сигнал калибровки должен присутствовать при каждой записи ЭКГ. Скорость движения бумаги составляет 25 мм/с. Если электрический сигнал отсутствует, записывается прямая линия — *изолиния*.

Расположение зубцов по отношению к изолинии на электрокардиограмме зависит от двух факторов — направления движения электрических импульсов и расположения регистрирующего

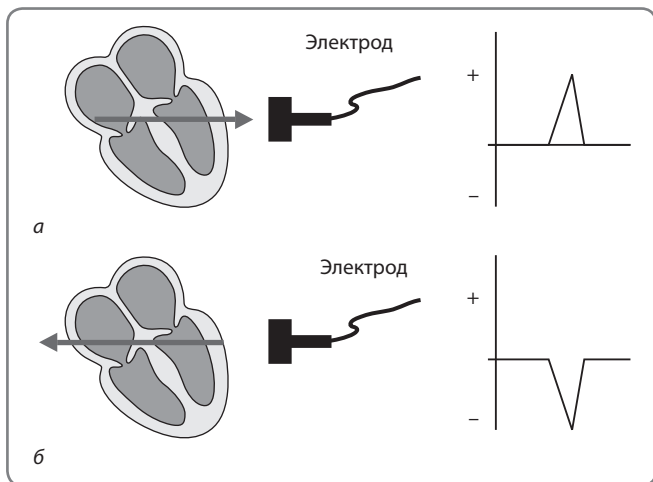


Рис. 1.9. Электрические импульсы, направляющиеся к электроду (а) и от него (б), проявляются на ЭКГ в виде положительных и отрицательных зубцов соответственно

электрода. Электрический импульс, направляющийся к электроду, регистрируется в качестве положительного зубца на ЭКГ (выше изолинии); электрический импульс, направляющийся от электрода, — отрицательного зубца (ниже изолинии) (рис. 1.9).

Электрическая активность — векторная величина, характеризующаяся определенным направлением и амплитудой. Амплитуда положительного или отрицательного зубца на ЭКГ зависит от сочетания двух этих свойств. К примеру, желудочки сердца обладают большей мышечной массой по сравнению с предсердиями, и величина генерируемого ими электрического потенциала (и, как следствие, амплитуда зубцов желудочкового комплекса на ЭКГ) также больше. Следует отметить, что амплитуда зубцов на ЭКГ будет варьировать в зависимости от расположения электрода на теле пациента.

В примере, показанном на рис. 1.10, а, расположение электрода совпадает с направлением процессов деполяризации в миокарде.

Важно помнить!

Размер зубцов на электрокардиограмме определяется абсолютной величиной электрического заряда и направлением его движения по отношению к регистрирующему электроду.

Амплитуда вектора деполяризации по направлению к электроду равна его суммарной величине, и амплитуда зубца на ЭКГ максимальна (10 мВ).

На рис. 1.10, б и 1.10, в электроды размещены таким образом,

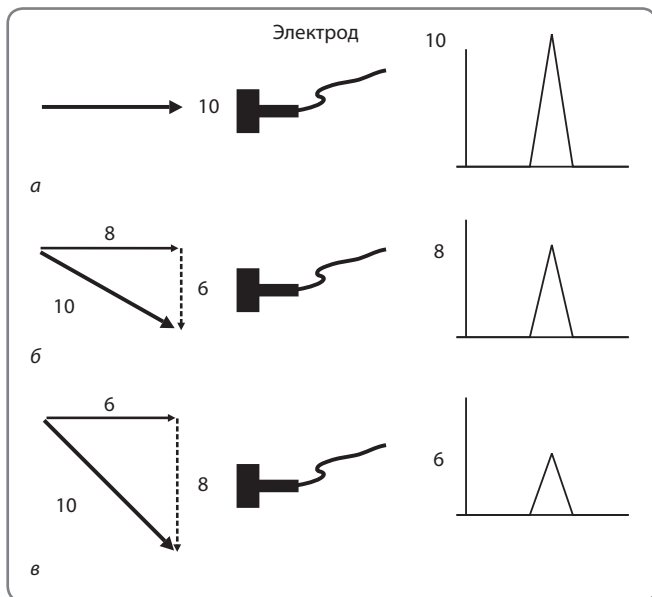


Рис. 1.10. Суммарный вектор деполяризации по отношению к расположению регистрирующего электрода: *a* — расположение электрода совпадает с направлением процессов деполяризации в миокарде; *б* — вектор деполяризации меньшей амплитуды, расположенный под углом к электроду; *в* — вектор деполяризации большей амплитуды, расположенный под углом к электроду

что вектор деполяризации расположен под углом к регистрирующему электроду. Результирующий вектор формируется из двух векторов, расположенных под углом друг к другу. В таких случаях амплитуда вектора деполяризации, направленного к регистрирующему электроду, меньше, что проявляется зубцами меньшей амплитуды на ЭКГ. Чем больше угол наклона, тем меньше амплитуда зубцов на ЭКГ.

Значение взаимного расположения регистрирующего электрода и векторов деполяризации в миокарде объясняется далее в главе 2.

Электрокардиограмма предоставляет данные об электрофизиологических процессах в миокарде в разные периоды сердечного цикла. При использовании большого числа электродов для регистрации ЭКГ можно оценить электрофизиологическую активность разных участков миокарда, при этом каждое отведение дает представление о состоянии определенной части сердечной мышцы.

Анализ нормальной электрокардиограммы

2.1. Введение

При возбуждении кардиомиоцитов электродвижущие силы (потенциалы действия) распространяются в разных направлениях. Эти электродвижущие силы можно обнаружить на поверхности тела пациента с помощью электродов и зарегистрировать в виде электрокардиограммы.

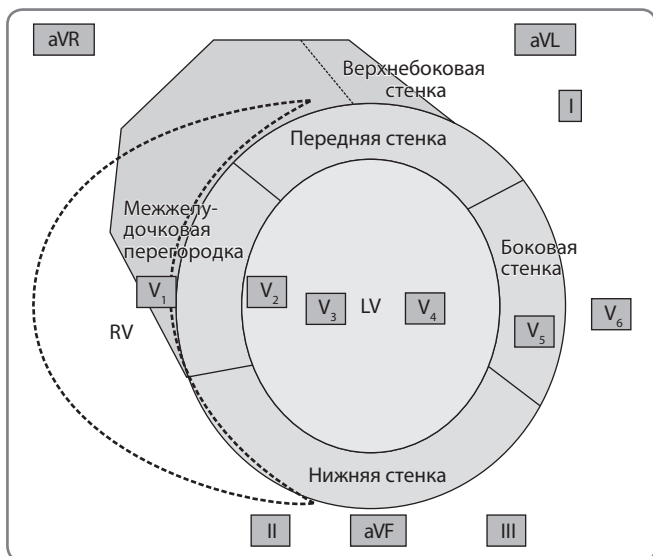


Рис. 2.1. Расположение 12 отведений ЭКГ: V_1 – V_6 — грудные отведения; LV — левый желудочек; RV — правый желудочек, I–III — стандартные отведения от конечностей. Усиленные отведения от конечностей: aVF — усиленное отведение от левой ноги; aVL — усиленное отведение от левой руки. Обратите внимание: усиленное отведение от правой руки aVR на данной схеме представлено быть не может