

Оглавление

Предисловие к изданию на русском языке	8
Предисловие к изданию на английском языке	10
Благодарности	11
Список сокращений и условных обозначений	12
Введение	13
Глава 1. Основные принципы	14
1.1. Анатомия	14
1.2. Физиология	19
1.3. Электрическая активность сердца и электрокардиограмма	23
Глава 2. Анализ нормальной электрокардиограммы	27
2.1. Введение	27
2.2. Отведения от конечностей	30
2.3. Грудные отведения	31
2.4. Ориентация отведений	32
2.5. Термины в электрокардиографии	35
Глава 3. Анализ ритма: метод «шести шагов»	41
3.1. Шаг 1: регистрируется ли электрическая активность миокарда?	42
3.2. Шаг 2: какова частота комплексов <i>QRS</i> (возбуждения желудочков)?	42
3.3. Шаг 3: правильный ли ритм?	44
3.4. Шаг 4: комплекс <i>QRS</i> узкий (нормальный) или широкий?	46
3.5. Шаг 5: регистрируется ли электрическая активность предсердий?	48
3.6. Шаг 6: имеется ли связь электрической активности предсердий с электрической активностью желудочков?	49
3.7. Словарь электрокардиографических терминов	49
Глава 4. Брадиаритмии I: нарушение функции синоatriального узла	53
4.1. Синусовая брадикардия	53
4.2. Паузы синусового ритма с выскальзывающими узловыми комплексами	54
Глава 5. Брадиаритмии II: нарушения проводимости	58
5.1. Атриовентрикулярная блокада I степени	58
5.2. Атриовентрикулярная блокада II степени с периодикой Венкебаха (тип Мобитц 1)	61
5.3. Атриовентрикулярная блокада II степени, тип Мобитц 2	63
5.4. Атриовентрикулярная блокада II степени с проведением 2:1	65

6 Оглавление

5.5. Атриовентрикулярная блокада III степени (полная) с узкими комплексами <i>QRS</i>	67
5.6. Атриовентрикулярная блокада III степени (полная) с широкими комплексами <i>QRS</i>	69
5.7. Блокада правой ножки пучка Гиса	72
5.8. Блокада левой ножки пучка Гиса	74
Глава 6. Экстрасистолия	77
6.1. Предсердная экстрасистолия	77
6.2. Желудочковая экстрасистолия	78
6.3. Экстрасистолы из атриовентрикулярного соединения	82
Глава 7. Предсердные нарушения ритма	85
7.1. Предсердная тахикардия	85
7.2. Многофокусная предсердная тахикардия	88
7.3. Трепетание предсердий	90
7.4. Фибрилляция предсердий	92
7.5. Фибрилляция предсердий с блокадой левой ножки пучка Гиса	94
Глава 8. Тахиритмии с узким комплексом <i>QRS</i> (наджелудочковые тахикардии)	97
8.1. Атриовентрикулярная узловая re-entry тахикардия	97
8.2. Атриовентрикулярная реципрокная тахикардия	98
8.3. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта с правым дополнительным проводящим путем	102
8.4. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта с левым дополнительным проводящим путем	104
8.5. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта с задним дополнительным проводящим путем	106
8.6. Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта в сочетании с фибрилляцией предсердий	108
Глава 9. Тахиритмии с широкими комплексами <i>QRS</i>	111
9.1. Мономорфная желудочковая тахикардия	112
9.2. Полиморфная желудочковая тахикардия	114
9.3. Двухнаправленная веретенообразная желудочковая тахикардия (<i>torsade de pointes</i>)	116
9.4. Фибрилляция желудочков	118
9.5. Наджелудочковая тахикардия с блокадой ножек пучка Гиса	120
Глава 10. Ишемия и инфаркт миокарда	123
10.1. Депрессия сегмента <i>ST</i> (ишемия миокарда)	125
10.2. Острая ишемия миокарда: инверсия зубцов <i>T</i> и синдром левой передней нисходящей коронарной артерии	128
10.3. Передний инфаркт миокарда с подъемом сегмента <i>ST</i>	130
10.4. Нижний инфаркт миокарда с подъемом сегмента <i>ST</i>	132
10.5. Задний инфаркт миокарда с подъемом сегмента <i>ST</i>	134
10.6. Рубцовая стадия инфаркта миокарда	136

Глава 11. Наследственные патологии	139
11.1. Гипертрофическая кардиомиопатия	139
11.2. Аритмогенная дисплазия правого желудочка	142
11.3. Синдром удлинённого интервала Q-T	144
11.4. Синдром Бругада	146
Глава 12. Расширение и перегрузка камер сердца, перикардит	149
12.1. Гипертрофия левого желудочка	149
12.2. Гипертрофия правого желудочка	151
12.3. Тромбоэмболия легочной артерии	153
12.4. Перикардит	155
Глава 13. Нарушения электролитного баланса	158
13.1. Гиперкалиемия	158
13.2. Гипокалиемия	160
13.3. Гиперкальциемия	162
13.4. Гипокальциемия	164
Глава 14. Имплантируемые кардиологические устройства	166
14.1. Однокамерный кардиостимулятор (при фибрилляции предсердий)	166
14.2. Двухкамерный кардиостимулятор	168
14.3. Бивентрикулярный электрокардиостимулятор (сердечная ресинхронизирующая терапия)	170
Глава 15. Варианты нормы и прочие состояния	173
15.1. Доброкачественная ранняя реполяризация	173
15.2. Зубцы Q как вариант нормы	175
15.3. Синусовая аритмия	177
15.4. Неполная блокада правой ножки пучка Гиса	179
15.5. Неспецифические изменения зубца T	179

Анализ нормальной электрокардиограммы

Глава

2

2.1. Введение

При возбуждении кардиомиоцитов электродвижущие силы распространяются в разных направлениях. Эти силы можно обнаружить на поверхности тела пациента с помощью электродов и зарегистрировать в виде ЭКГ.

Пара электродов, один положительный и один отрицательный, образует электрокардиографическое отведение. Каждое отведение регистрирует электродвижущие силы определенного участка миокарда (рис. 2.1). Размещая электроды на различных участках тела, можно определить электрическую активность разных отделов сердца.

Важно понимать, что каждое отведение может регистрировать только суммарную электродвижущую силу, направленную к электроду в определенный момент, поэтому, если все электродвижущие силы направлены в сторону электрода, регистрируется высокий положительный зубец. Однако, если основные электродвижущие силы направлены к электроду, но небольшая их часть отклоняется, будет зарегистрирован положительный зубец меньшей величины. Аналогичным образом при меньшей силе электрического сигнала (например, при тонкой стенке миокарда или направлении основных электродвижущих сил под углом к электроду) на ЭКГ будет регистрироваться меньший по амплитуде положительный зубец.

Таким образом, на ЭКГ влияют не только изменения формы и размера сердца, но и расположение электродов. Существует международно утвержденный стандартный способ размещения электродов (рис. 2.2), позволяющий зарегистрировать ЭКГ в 12 отведениях (рис. 2.3). Таким образом, при правильной регистрации ЭКГ ее можно надежно интерпретировать независимо от того, где она была зарегистрирована.

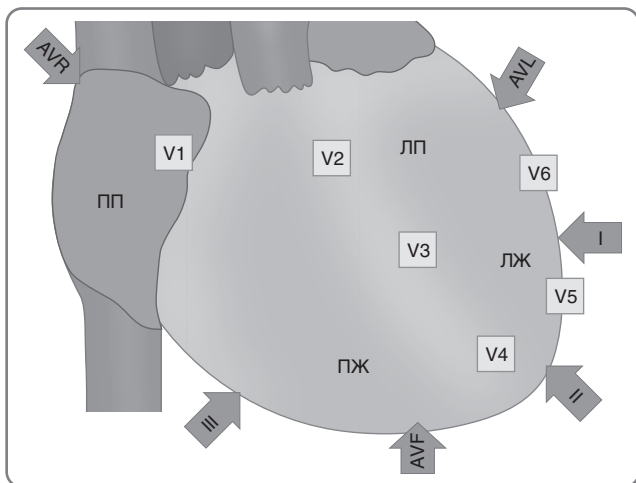


Рис. 2.1. Области сердца и отведения электрокардиограммы. V₁–V₆ — грудные отведения, регистрирующие их электроды расположены непосредственно над поверхностью сердца. V₁ и V₂ соответствуют предсердиям и межжелудочковой перегородке. V₃ и V₄ являются передними отведениями и регистрируют сигнал передней поверхности левого желудочка. V₅ и V₆ регистрируют сигнал боковой поверхности левого желудочка. Отведения от конечностей I, II, III, aVL, aVR, aVF позволяют оценить состояние миокарда, регистрируя электрические силы, распространяющиеся под разными углами: например, в отведении aVL регистрируются силы, распространяющиеся по диагонали вниз от левого плеча, а в отведениях I, II и III — силы, распространяющиеся вверх от нижней поверхности сердца

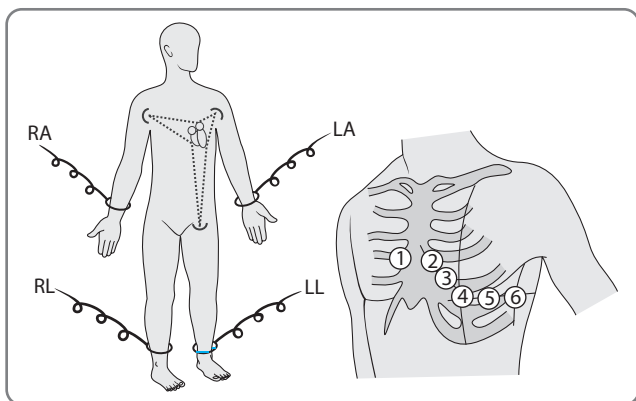


Рис. 2.2. Расположение электродов для регистрации ЭКГ. Отведения от конечностей: RA — правая рука; LA — левая рука; RL — правая нога; LL — левая нога. Грудные отведения: V₁–V₆. Пунктирные линии представляют «усиленные отведения», описанные на с. 31

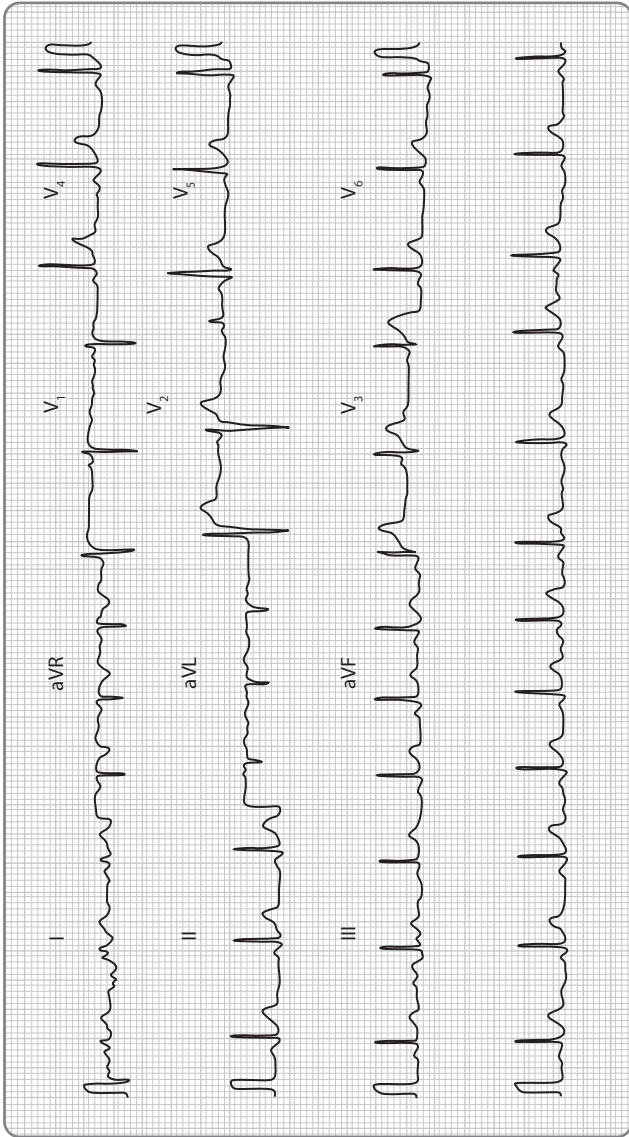


Рис. 2.3. Обычная электрокардиограмма в 12 отведениях. Нижняя кривая — так называемая rhythm strip (запись ритма), представляющая собой регистрацию отведения II в течение более длительного времени

12 отведений ЭКГ включают:

- шесть отведений от конечностей;
- шесть грудных или прекардиальных отведений.

2.2. Отведения от конечностей

Отведения от конечностей регистрируют, накладывая электроды на конечности. Электроды располагаются на правой руке, левой руке и левой ноге. Дополнительный электрод на правой ноге используется в качестве заземляющего (см. рис. 2.2). Регистрируя электрические сигналы между разными парами электродов, можно получить шесть отведений:

- три стандартных отведения от конечностей;
- три усиленных отведения от конечностей.

Стандартные отведения от конечностей

Стандартные отведения от конечностей регистрируют кривую распространения электрических сил между двумя конечностями. В связи с этим их также называют биполярными отведениями. При регистрации этих отведений на одной конечности размещают положительно заряженный электрод, на другой — отрицательно заряженный (табл. 2.1). Существует три стандартных отведения: I, II и III (рис. 2.4).

Таблица 2.1. Размещение электродов

Отведение	Положительный электрод	Отрицательный электрод
I	LA	RA
II	LL	RA
III	LL	LA

Примечание. LA обозначает левую руку, LL — левую ногу и RA — правую руку.

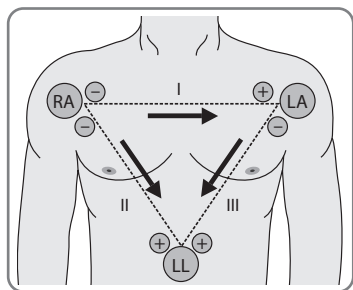


Рис. 2.4. Три стандартных (биполярных) отведения от конечностей: I—III. Стрелки указывают направление регистрируемого электрического вектора. Используемые стандартные электроды: LA — левая рука; LL — левая нога; RA — правая рука

Усиленные отведения от конечностей

Усиленные отведения от конечностей регистрируют кривую электрических сил от одной конечности в определенный момент времени и носят название униполярных. В этих отведениях на одной конечности размещен положительно заряженный электрод, в качестве отрицательно заряженного электрода выступают три остальных электрода, объединенные в электрический центр, потенциал которого равен нулю. Существует три усиленных отведения от конечностей (рис. 2.5, табл. 2.2).

Таблица 2.2. Усиленные отведения от конечностей

Отведение	Положительный электрод
aVR	RA
aVL	LA
aVF	LL

Примечание. aVR — усиленное отведение от правой руки, aVL — усиленное отведение от левой руки, aVF — усиленное отведение от левой ноги.

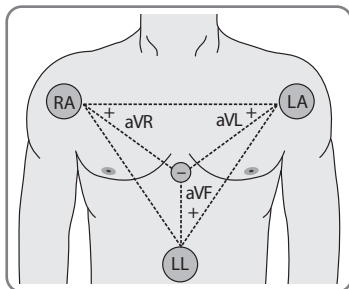


Рис. 2.5. Три униполярных отведения от конечностей: aVR, aVL и aVF. LA — левая рука; LL — левая нога; RA — правая рука

2.3. Грудные отведения

Грудные отведения получают от электродов, размещенных на поверхности груди в прекардиальной области. Электроды размещают в шести стандартных положениях на левой стороне грудной клетки, каждое положение соответствует одному отведению (см. рис. 2.1, 2.2):

- V_1 : в четвертом межреберном промежутке, справа от грудины;
- V_2 : в четвертом межреберном промежутке, слева от грудины;
- V_3 : в точке на середине расстояния между V_2 и V_4 (V_4 см. ниже);
- V_4 : в пятом межреберном промежутке по срединно-ключичной линии;

- V_5 : по передней подмышечной линии, на уровне V_4 ;
- V_6 : по средней подмышечной линии, на уровне V_4 и V_5 .

Иногда грудные отведения дополняют электродами, расположенными на правой стороне грудной клетки. Правые грудные отведения называют V_{1R} , V_{2R} , V_{3R} , V_{4R} , V_{5R} и V_{6R} , соответствующие электроды располагаются зеркально по отношению к электродам, регистрирующим левые грудные отведения:

- V_{1R} : в четвертом межреберном промежутке, слева от грудины;
- V_{2R} : в четвертом межреберном промежутке, справа от грудины;
- V_{3R} : в точке на середине расстояния между V_{2R} и V_{4R} ;
- V_{4R} : в пятом межреберном промежутке по срединно-ключичной линии;
- V_{5R} : по передней подмышечной линии, на уровне V_{4R} ;
- V_{6R} : по средней подмышечной линии, на уровне V_{4R} и V_{5R} .

Правые грудные отведения используют для оценки состояния правого желудочка.

Состояние задней поверхности сердца оценивают по задним отведениям V_7 – V_9 . Соответствующие им электроды накладывают в той же горизонтальной плоскости, что и электрод V_6 , и располагают следующим образом:

- V_7 по задней подмышечной линии;
- V_8 у угла лопатки;
- V_9 по околпозвоночной линии.

2.4. Ориентация отведений

На стандартной ЭКГ различают следующие 12 отведений, записываемых одновременно: I, II, III, aVR, aVL, aVF, V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6 .

Принимая во внимание строение сердечной мышцы (рис. 2.6), можно отметить, что электроды, регистрирующие большинство отведений, отражают активность левого желудочка как доминирующего и клинически более значимого. Разные отведения отражают состояние различных отделов левого желудочка, как показано в табл. 2.3.

Треугольник Эйнтховена

Стандартные отведения от конечностей регистрируются от двух конечностей в определенный момент времени. На одной конечности расположен положительно заряженный электрод, на другой — отрицательно заряженный. Три стандартных отведения от конечностей (I, II, III) образуют равносторонний треугольник, в центре которого находится сердце. Это треугольник Эйнтховена (рис. 2.7).

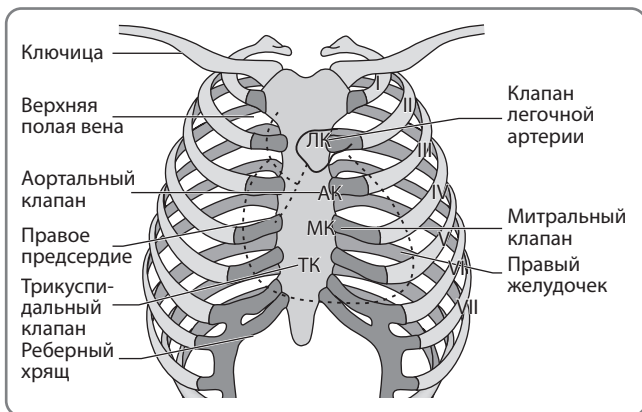


Рис. 2.6. Расположение и структуры сердца

Таблица 2.3. Стенки левого желудочка, представленные отведениями электрокардиограммы

Отведения ЭКГ	Стенки левого желудочка
V_1, V_2	Перегорочочная
V_3, V_4	Передняя
V_5, V_6	Боковая (латеральная)
V_1-V_4	Переднеперегородочная
V_3-V_6	Переднебоковая (переднелатеральная)
I, aVL	Высокая боковая
II, III, aVF	Нижняя

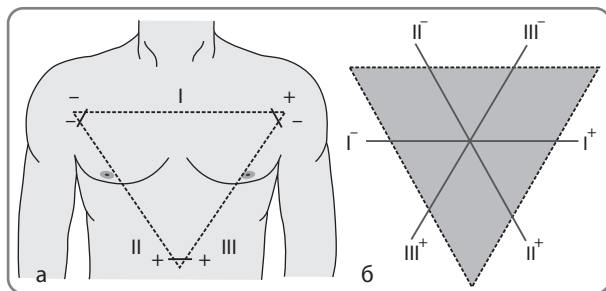


Рис. 2.7. а — треугольник Эйнтовена, образованный осями стандартных отведений от конечностей; б — трехосевая система координат

Для облегчения графического представления электродвижущих сил в миокарде три конечности можно представить в виде вершин треугольника Эйнтховена, при этом оси трех отведений разделяют друг друга пополам, проходя через общую точку в центре. В результате образуется трехосевая система координат, в которой угол между любыми двумя соседними осями составляет 60° , а полярность отведений (положительный и отрицательный полюса) и ориентация (направление) остаются прежними (см. рис. 2.7).

Известно, что усиленные отведения от конечностей регистрируются от одной конечности в определенный момент времени, на этой конечности расположен положительно заряженный электрод, а отрицательный полюс находится в центральной точке. Три усиленных отведения от конечностей (aVR, aVL, aVF) формируют еще одну трехосевую систему координат, в которой угол между любыми двумя соседними осями составляет 60° (рис. 2.8, а).

При наложении трехосевой системы униполярных отведений на трехосевую систему отведений от конечностей мы получаем шестиосевую систему координат, в которой угол между любыми двумя соседними осями составляет 30° (рис. 2.8, б). Обратите внимание, что каждое из шести отведений сохраняет свою полярность (положительный и отрицательный полюса) и ориентацию (направление отведения).

Шестиосевая система координат важна для определения основного направления распространения электрических сил сердца. Как мы увидим далее, такое направление называют электрической осью комплекса QRS. Используя такой подход, можно определить конкретную локализацию патологических изменений, ведь ЭКГ можно рассматривать как сокращенную трехмерную карту электрической активности сердца.

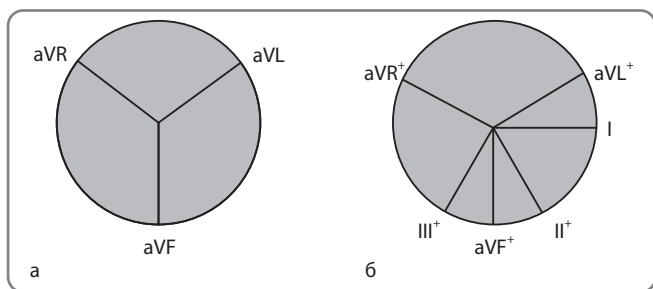


Рис. 2.8. а — трехосевая система координат униполярных отведений; б — шестиосевая система координат из осей стандартных отведений от конечностей и униполярных отведений

представлено одним зубцом, а возбуждение желудочков — одним комплексом зубцов.

Волна возбуждения синхронизирована таким образом, что предсердия и желудочки сокращаются и расслабляются в ритмической последовательности. За деполяризацией предсердий следует реполяризация предсердий, которая почти синхронна с деполяризацией желудочков; наконец, происходит реполяризация желудочков.

Сокращение (систола) и расслабление (диастола) сердца — это механические процессы, связанные с электрофизиологическими изменениями в сердечной мышце. Деполяризация непосредственно предшествует систоле, а реполяризация следует сразу за диастолой.

Зубцы электрокардиограммы

Каждый зубец на ЭКГ обозначается буквой латинского алфавита. Полный комплекс одного сердечного цикла последовательно обозначается буквами *P*, *Q*, *R*, *S*, *T* и *U* (см. рис. 2.9). Каждый зубец представляет различные части сердечного цикла:

- зубец *P*: деполяризация предсердий;
- комплекс *QRS*: деполяризация желудочков;
- зубец *Q*: первый отрицательный зубец комплекса *QRS*, предшествующий зубцу *R*;
- зубец *R*: первый положительный зубец после зубца *Q*;
- зубец *S*: первый отрицательный зубец после зубца *R*;
- зубец *T*: реполяризация желудочков;
- зубец *U*: реполяризация волокон Пуркинью (рис. 2.11).

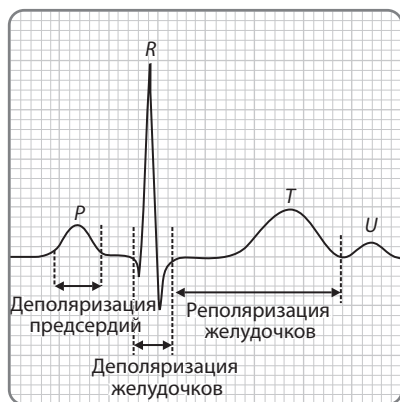


Рис. 2.11. Отражение процессов деполяризации и реполяризации на электрокардиограмме. Примечание: зубец реполяризации предсердий скрыт в комплексе *QRS*

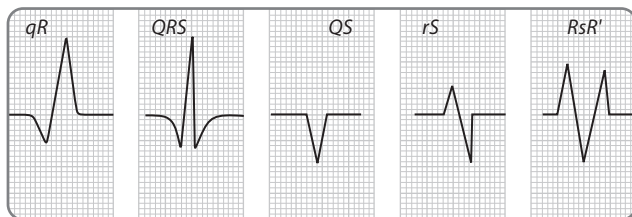


Рис. 2.12. Различные конфигурации комплекса QRS

Реполяризация предсердий не регистрируется на ЭКГ, поскольку совпадает по времени с деполяризацией желудочков и скрывается в большем по амплитуде комплексе QRS.

Зубцы *P*, *T* и *U* всегда обозначают заглавными буквами. Зубцы *Q*, *R* и *S* обозначают заглавными или строчными буквами в зависимости от их абсолютной или относительной величины. Зубцы, амплитуда которых больше 5 мм, обозначают заглавными буквами *Q*, *R*, *S*, зубцы с амплитудой менее 5 мм — строчными буквами *q*, *r*, *s*.

Таким образом, комплекс QRS с маленьким зубцом *q*, за которым следует высокий зубец *R*, обозначают как комплекс *qR*, с глубоким зубцом *Q* и следующим за ним маленьким зубцом *r* — комплекс *Qr* (рис. 2.12). Аналогично комплекс QRS с маленьким зубцом *r* и следующим за ним глубоким зубцом *S* обозначают как комплекс *rS*, с большим зубцом *R* и маленьким зубцом *s* — комплекс *Rs*.

Если все зубцы комплекса QRS отрицательные, то его обозначают как комплекс *QS*.

Кроме того, если в комплексе QRS присутствуют два положительных зубца, второй положительный зубец обозначают как *R'*, и комплекс носит название *rSR'* или *RsR'* в зависимости от величины положительных зубцов (*r* или *R*) и отрицательных зубцов (*s* или *S*).

Интервалы и сегменты

Расстояния между определенными зубцами ЭКГ отражают продолжительность различных фаз сердечного цикла. Участки изоэлектрической линии (изолинии) между определяемыми зубцами называют сегментами. Ниже описаны клинически значимые интервалы и сегменты ЭКГ.

Интервал $P-R$ ¹

Интервал $P-R$ измеряют от начала зубца P до начала комплекса QRS , независимо от того, является ли первый зубец комплекса QRS положительным или отрицательным (рис. 2.13). Продолжительность зубца P включают в это измерение.

Измерение интервала $P-R$ позволяет оценить время проведения возбуждения от предсердий к желудочкам. Продолжительность интервала включает время деполяризации предсердий (зубец P), задержку проведения в АВ-узле и время, необходимое импульсу для прохождения по волокнам проводящей системы желудочков до начала их деполяризации (начало комплекса QRS).

Сегмент $P-R$ ²

Сегмент $P-R$ представляет собой участок изоэлектрической линии между окончанием зубца P и началом комплекса QRS (рис. 2.14). Этот сегмент не включает зубец P . Воспалительные процессы (например, перикардит) могут привести к изменениям расположения сегмента $P-R$ по отношению к изолинии.

Интервал $Q-T$

Интервал $Q-T$ измеряют от начала зубца Q до окончания зубца T (см. рис. 2.13). Если измерение интервала $Q-T$ проводится до окончания зубца U , интервал обозначают как интервал $Q-U$. В интервал $Q-T$ входит общая продолжительность комплекса QRS , сегмента ST и зубца T .

Поскольку комплекс QRS отражает деполяризацию желудочков, а зубец T — реполяризацию желудочков, интервал $Q-T$ можно считать отражением электрической систолы желудочков. В норме продолжительность интервала $Q-T$ зависит от частоты сердечных сокращений, деполяризации и реполяризации желудочков и увеличивается при более низкой частоте. В связи с этим интервал $Q-T$ корректируют по частоте сердечных сокращений, при этом «нормальная» частота сердечных сокращений (при которой коррекция не требуется) составляет 60 уд/мин.

На рис. 2.15 показан пример расчета скорректированного интервала $Q-T$:

¹ В России чаще употребляется словосочетание «интервал PQ ». — Прим. ред.

² В России чаще употребляется словосочетание «сегмент PQ ». — Прим. ред.

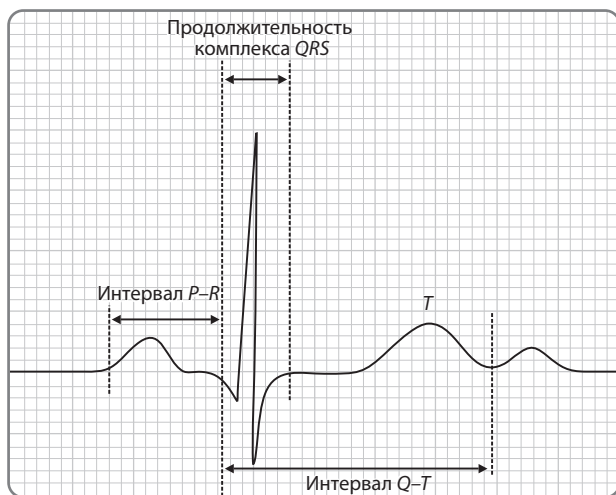


Рис. 2.13. Интервалы электрокардиограммы в норме

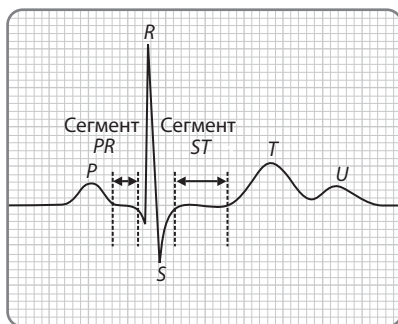


Рис. 2.14. Сегменты электрокардиограммы в норме

- Интервал $Q-T$ в данном случае составляет 14 маленьких квадратов (длительность маленького квадрата — 40 мс), то есть 560 мс (см. рис. 1.9).
- Интервал $R-R$ составляет 10 больших квадратов, то есть 2 с¹.

$$Q-Tc = \frac{Q-T}{\sqrt{R-R}} = \frac{560}{\sqrt{2}} = \frac{560}{1,4} = 400 \text{ мс.}$$

¹ Данную формулу (Базетта) используют при частоте сердечных сокращений 60–100 уд./мин, в других случаях применяют формулу Sagie (Саги) $QTc = QT + (0,154(1-RR)) \times 1000$, где RR измеряется в мс. — Прим. ред.

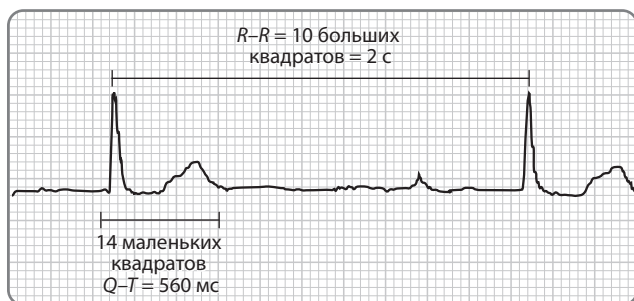


Рис. 2.15. Расчет продолжительности интервала $Q-T$

Таким образом, в приведенном примере интервал $Q-T$ удлиннен, но при коррекции с учетом очень медленного сердечного ритма (у данного пациента полная АВ-блокада с числом сокращений желудочков 30 уд./мин) его продолжительность составляет 400 мс и находится в пределах нормы.

Зубец U отражает процессы реполяризации волокон Пуркинье, поэтому анализ интервала $Q-U$ позволяет дополнительно определить время реполяризации волокон системы Пуркинье.

Сегмент ST

Сегмент ST — это отрезок изолинии между окончанием зубца S и началом зубца T (см. рис. 2.14). Точку, в которой заканчивается комплекс QRS и начинается сегмент ST , называют точкой соединения, или точкой J (см. рис. 2.9). Изменения сегмента ST могут встречаться при различных патологических состояниях, включая ишемическую болезнь сердца.