

Основы анализа ЭКГ для клинициста

 А.П. Баранов, А.В. Струтынский

*Кафедра пропедевтики внутренних болезней
Лечебного факультета РГМУ*

В рамках рубрики “Школа электрокардиографии” планируется публикация серии статей, направленных на совершенствование электрокардиологических диагностических навыков у начинающих врачей, работающих непосредственно у постели больного. В структуру публикаций входит описание принципов формирования электрокардиограммы (ЭКГ), отведений, нормальных показателей электрической активности сердца, алгоритм расшифровки ЭКГ, оценка нарушений ритма, проводимости, ЭКГ-признаки инфаркта миокарда, другие наиболее значимые ЭКГ-синдромы. По каждому из указанных разделов читателю предлагается ряд тестов для самоконтроля.

Основные принципы регистрации ЭКГ

Электрическая активность сердца может быть прослежена внешне через поверхность кожи в течение сердечного цикла: систолы (сокращения) и диастолы (расслабления). Для правильной трактовки ЭКГ необходимо иметь четкие представления о пространственных процессах формирования электрического поля в клетках миокарда и сердца в целом. Эти представления о динамике электрических процессов в сердце необходимо увязывать с определенными морфологическими структурами сердца и анатомическими ориентирами грудной клетки.

На поверхности клетки в состоянии покоя не определяется разности потенциалов, регистрируется лишь трансмембранный потенциал, постоянно поддерживаемый работой ионных насосных систем. В момент возбуждения клетки происходит деполяризация, т.е. резкое изменение

трансмембранного потенциала в очаге деполяризации. При этом между отрицательным зарядом, возникающим в точке деполяризации мембраны, и положительным зарядом на остальной поверхности клетки возникает разность потенциалов (электродвижущая сила — ЭДС), которую можно измерить, оценив величину возникшего электрического поля.

Принято обозначать не только величину возникающей ЭДС, но и направление вектора электрического поля. В электрофизиологии принято считать положительным направление от “—” к “+”. Электрическое поле, возникающее между отрицательными и положительными зарядами на поверхности клетки, определяет в значительной степени дальнейшее распространение волны деполяризации по клеточной мембране, причем направление волны деполяризации совпадает с положительным вектором электрического поля. Алгебраическая сумма векторов полей отдельных клеток дает интегральный вектор электрического поля, отражающий процесс возбуждения отдельных камер и сердца в целом. Анализ ЭКГ позволяет представить формирование электрического поля и распространение его в предсердиях, желудочках, других образованиях сердца.

Таким образом, задачу электрокардиографии можно условно обозначить как регистрацию “распространения” электрического поля по структурам сердца с учетом объема этого процесса. Чем более подробно мы можем представить особенности электрического поля сердца у данного больного, тем информативней будут данные ЭКГ для врача.

Отведения

Две точки в пространстве электрического поля, между которыми измеряют разность потенциалов, называют отведениями, а линия, соединяющая эти точки, дает представление об оси отведения. Важно отметить, что каждое из отведений имеет векторный характер, причем направление к одной определенной точке из двух, образующих отведение, условно принято за положительное. Как уже упоминалось, за положительное направление принято направление от “-” к “+”. Термин “положительное направление” для какого-либо отведения означает следующее. Электрокардиографы во всем мире устроены так, что если регистрируется волна возбуждения (разность потенциалов), которая по направлению совпадает с положительным направлением этого отведения, то пишущая часть прибора отклоняется выше изолинии. Чем большая величина ЭДС регистрируется при этом, тем больше отклонение от изолинии. Таким образом, если при записи интегрального вектора электрического поля сердца в каком-либо отведении регистрируется отклонение вверх (выше изолинии), это означает, что направление распространения возбуждения по миокарду совпадает с положительным направлением данного отведения. В частности, суммарный вектор для миокарда желудочков можно представить как алгебраическую сумму отклонений относительно изолинии в комплексе QRS (часто —

как соотношение зубцов R и S). В случае если направление движения электрического поля перпендикулярно оси отведения, то на ЭКГ отклонения от изолинии вверх и вниз будут примерно одинаковыми (алгебраическая сумма отклонений близка к нулю).

Существуют два типа отведений: биполярные (двухполюсные) и униполярные (однополюсные). Биполярные отведения состоят из одного положительного и одного отрицательного электродов. Униполярные отведения состоят из одного положительного электрода и электрически нейтральной точки, которая определена средним значением электрических потенциалов двух или более стандартных отведений. Эта нейтральная точка по величине близка к нулю, поскольку образована сложением положительных и отрицательных величин и расположена в центре, между как бы “замыкаемыми” электродами. Чтобы представить положение однополюсного отведения в пространстве, надо соединить эту виртуальную точку с соответствующим электродом на поверхности тела, причем за положительное направление этого отведения будет приниматься направление к активному электроду (рис. 1).

Отведения от конечностей

Еще раз отметим, что прямая линия между двумя электродами или между контрольной точкой и электродом называется осью соответствующего отведения.

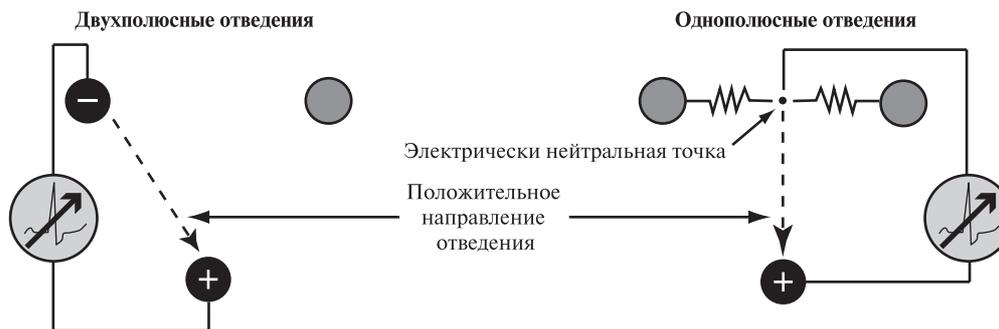


Рис. 1. Принцип формирования однополюсных и двухполюсных отведений.

Школа электрокардиографии

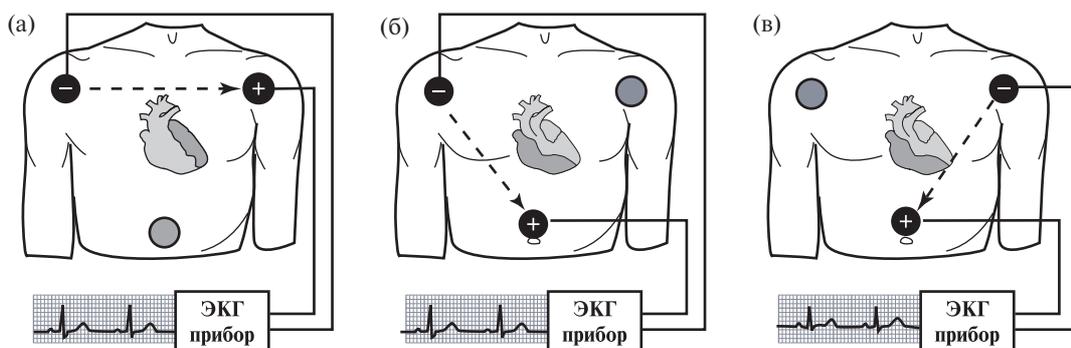


Рис. 2. Двухполюсные отведения от конечностей. а – отведение I: передне-боковая стенка, б – отведение II: преимущественно нижняя стенка, в – отведение III: нижняя стенка.

Стандартная ЭКГ состоит из 12 отведений: 6 отведений от конечностей (I, II, III, aVR, aVL, aVF) и 6 грудных отведений (V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6). Каждое отведение дает представление об электрической деятельности мышечных стенок сердца с различных углов. Все 12 отведений вместе обеспечивают общее представление о сердечной деятельности.

Отведения от конечностей регистрируют ЭДС сердца при наложении электродов на правую и левую руки и левую ногу. Из 12 отведений только отведения от конечностей I, II, и III являются биполярными (буква “V” в названии указывает на униполярное отведение). Оси отведений от конечностей проходят во фронтальной плоскости через точку, помещенную как бы в центре грудной клетки. В этой плоскости принято оценивать отклонения так называемой электрической оси сердца. Грудные отведения лежат в горизонтальной плоскости и позволяют описать смещение сердца вокруг электрической оси по или против часовой стрелки.

В отведении I (рис. 2) электрод на левой руке принят за положительный, электрод на правой руке – за отрицательный: правая рука (–) → левая рука (+). Отведение I можно представить в виде стрелки, направленной справа налево, от правого плеча к левому плечу. Принято считать, что отведение I отражает изменения в передне-боковой стенке сердца.

В отведении II электрод на левой ноге принят за положительный, электрод на правой руке – за отрицательный: правая рука (–) → левая нога (+). Отведение II можно представить в виде стрелки, направленной вниз и справа налево. Оно в основном отражает результирующие изменения, связанные с отведениями I и II, преимущественно в нижней стенке.

В отведении III электрод на левой ноге принят за положительный, электрод на левой руке – за отрицательный: левая рука (–) → левая нога (+). Отведение III можно представить в виде стрелки, направленной вниз и слева направо. Принято считать, что отведение III отражает изменения в нижней стенке сердца.

Три стандартных двухполюсных отведения от конечностей составляют стороны равнобедренного треугольника Эйнтховена и позволяют довольно подробно описать проекцию интегрального сердечного вектора на фронтальную плоскость. Для уточнения представлений об особенностях распространения электрического поля во фронтальной проекции используются однополюсные отведения aVL, aVF и aVR, предложенные Гольбергером в 1942 г. Этот метод увеличивает размер потенциалов на 50% без изменений в конфигурации прибора, что обозначает буква “a” (от augmented – усиленный) в их названиях.

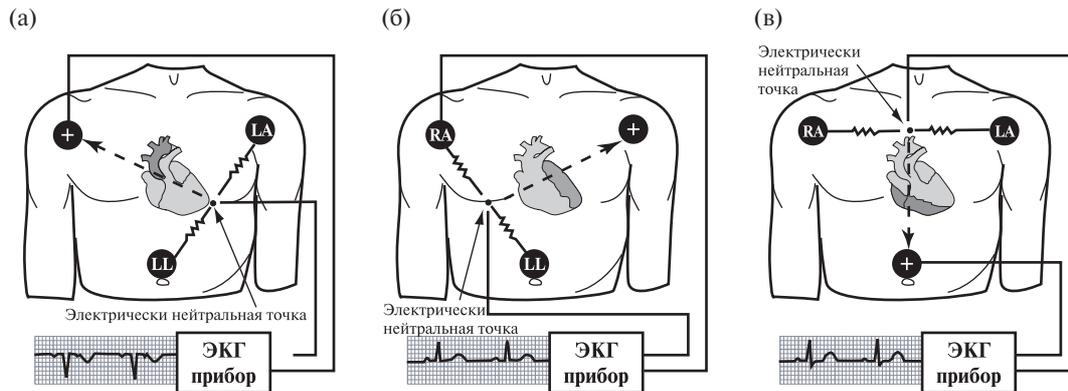


Рис. 3. Однополюсные отведения от конечностей. а – отведение aVR, б – отведение aVL, в – отведение aVF. LA – левая рука, RA – правая рука, LL – левая нога.

В отведении aVR электрод на правой руке положителен, т.е. вектор отведения направлен в сторону правого плеча (рис. 3). Электрически нейтральная точка для этого отведения образована сложением потенциалов на левой руке и левой ноге (“замыканием” этих электродов). Отведение aVR иногда называют “сиротским”, потому что оно, в отличие от других отведений, не оценивает какую-либо отдельную стенку сердца.

В отведении aVL положителен электрод на левой руке, т.е. вектор отведения направлен в сторону левого плеча, а электрически нейтральная точка образована “замыканием” электродов правой руки и левой ноги. Это отведение отражает изменения в передне-боковой стенке сердца.

В отведении aVF положителен электрод на левой ноге (вектор отведения направлен практически вертикально), электрически нейтральная точка образована “замыканием” электродов правой и левой рук. Это отведение отражает изменения в нижней стенке сердца.

Грудные отведения

Шесть грудных (прекордиальных) отведений дополняют представление об электрической деятельности сердца. Эти отведения были предложены Вильсоном, распо-

лагаются непосредственно над сердцем и окружают прекардиальную область. Оси прекардиальных отведений лежат в горизонтальной плоскости перпендикулярно грудине и фронтальной плоскости отведений от конечностей. Отведения с V_1 по V_4 дают представления об изменениях в передней стенке миокарда. Кроме того, отведения V_1 и V_2 отражают процессы в межжелудочковой перегородке. Отведения V_5 и V_6 свидетельствуют об изменениях в боковой стенке миокарда.

Грудные отведения являются униполярными, электрически нейтральная точка для них всех образована сложением потенциалов грудных отведений (как бы “замыканием” всех электродов, наложенных на конечности) и пространственно определяется вблизи центра грудной клетки.

Правильное размещение прекардиальных электродов на поверхности грудной клетки обязательно для получения точных ЭКГ-данных. Чтобы гарантировать такое же размещение электродов при необходимости повторной регистрации ЭКГ у одного пациента в динамике, рекомендуют сделать отметки на грудной клетке больного чернилами (или использовать фиксированные электроды). Размещение прекардиальных электродов приведено на рис. 4.

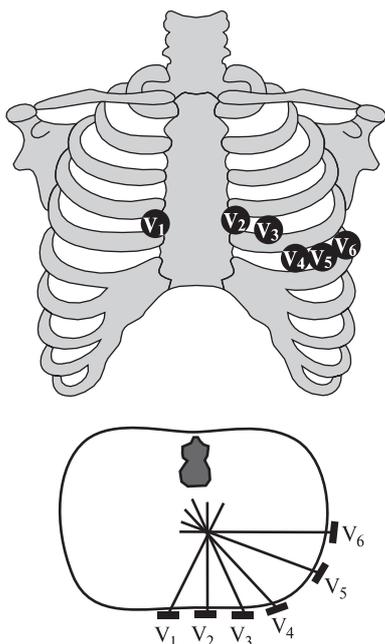


Рис. 4. Размещение прекардиальных электродов. V_1 : 4-е межреберье по правому краю грудины; V_2 : 4-е межреберье по левому краю грудины; V_3 : между V_2 и V_4 ; V_4 : 5-е межреберье по левой срединноключичной линии; V_5 : 5-е межреберье по левой передней подмышечной линии; V_6 : 5-е межреберье по левой средней подмышечной линии.

Система шестиосевых координат

Система шестиосевых (гексагональных) координат предложена Вauley в 1943 г. Она представляет собой модель из шести отведений от конечностей, пересекающихся в одной точке, и используется для описания

проекции электрического поля сердца на фронтальную плоскость — интегрального сердечного вектора. Выявление отклонения интегрального сердечного вектора (электрической оси сердца — ЭОС) может быть полезным для дифференциальной диагностики многих сердечных состояний.

Чтобы понимать и применять гексагональную систему, необходимо еще раз вспомнить концепцию векторов. Вектор — сила, обладающая величиной и направлением. Волна электрической энергии, перемещающейся через сердце, может быть представлена как ряд векторов электрического потока. Векторы можно складывать и вычитать, чтобы определить “конечный” размер и направление электрического поля. Интегральный сердечный вектор представляет собой сумму направлений и размеров всех векторов электрической деполаризации сердца в полном цикле.

Гексагональная система может быть смоделирована таким образом: стороны треугольника Эйнтховена (как векторы, имеющие заданное положительное направление) перемещают навстречу друг другу, пока они не пересекутся в одной точке (рис. 5). После этого через точку пересечения следует провести векторы отведений aVR , aVL и aVF . Когда все отведения от конечностей построены таким образом, они дают шесть направленных линий, которые пересекаются в одной точке под равными углами. Это и есть система гексагональных координат.

Описанная система отведений используется для оценки положения ЭОС. С этой

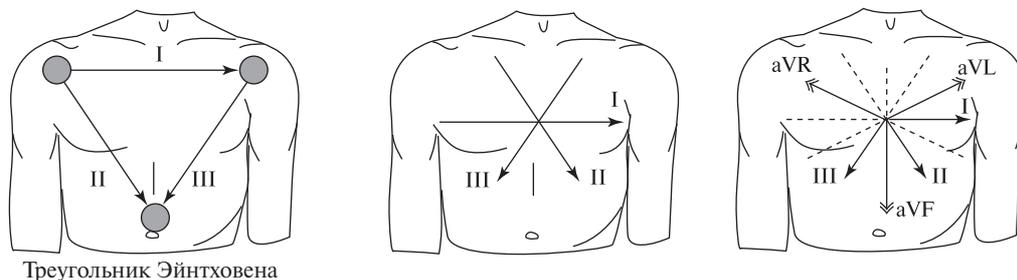


Рис. 5. Схема построения системы гексагональных координат. Объяснение в тексте.

целью от нулевой точки в сторону стрелки можно откладывать положительные значения суммарного вектора в данном отведении, а в противоположную сторону — отрицательные значения суммарного вектора. Откладывая величины суммарных векторов в каждом из отведений, можно построить контуры электрического поля во фронтальной проекции и затем алгебраическим сложением получить интегральный сердечный вектор, который будет отражать направление ЭОС во фронтальной плоскости. В норме ЭОС чаще направлена вниз справа налево (рис. 6). Варианты отклонений ЭОС от нормального положения будут представлены при описании основных электрокардиографических синдромов.

Таким образом, сформировалась привычная для нас система электрокардиографических отведений. Когда общепринятых отведений оказывается недостаточно, используются **дополнительные отведения**. Необходимость в этом возникает, например, при аномальном расположении сердца, при некоторых нарушениях сердечного ритма и т.п. В этом случае используются правые грудные отведения (симметричные по отношению к левым), высокие грудные отведения (расположенные на одно межреберье выше стандартных) и отведения V_{7-9} , являющиеся как бы продолжением основных отведений. Для оценки электрической активности предсердий используют пищеводное отведение, когда один из электродов располагают в пищеводе. Кроме общепринятой системы отведений, используются также отведения по Небу, обозначаемые буквами D (dorsalis — спинальное), A (anterior — переднее) и I (inferior — нижнее). Другие системы отведений (Лиана, Франка) в настоящее время практически не используются.

Нормальная ЭКГ

ЭКГ записывается при скорости движения ленты 50 мм/с (тогда 1 мм соответ-



Рис. 6. Нормальное положение электрической оси сердца.

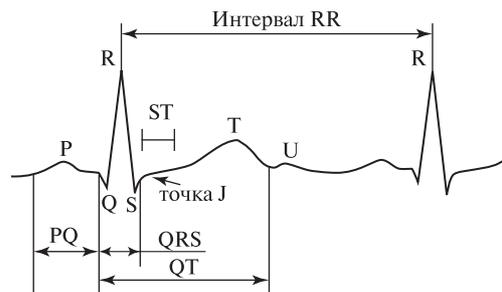


Рис. 7. Зубцы и интервалы ЭКГ. Объяснение в тексте.

ует 0,02 с) или 25 мм/с (1 мм соответствует 0,04 с). Таким образом, горизонтальная ось измеряет время, а вертикальная ось — напряжение: по высоте каждая маленькая ячейка (1 мм) представляет 0,1 милливольт (мВ).

Для определения частоты сердечных сокращений надо 60 разделить на продолжительность интервала R—R (в секундах), при этом учитывают равномерность сокращений. Можно пользоваться также специальными линейками или таблицами.

Нормальный вид ЭКГ представлен на рис. 7.

Зубец P отражает возбуждение правого и левого предсердий.

Школа электрокардиографии

Расстояние от начала зубца Р до начала зубца Q называется интервалом PQ. Клетки атриовентрикулярного узла (АВ-узла) обладают меньшей скоростью проведения импульса, и поэтому между зубцом Р и комплексом QRS имеется промежуток. Он отражает процесс проведения возбуждения между предсердиями и желудочками и в норме составляет 0,12–0,20 с.

Миоцит АВ-узла, электрический импульс быстро спускается по пучку Гиса в правые и левые проводящие ветви, расположенные в межжелудочковой перегородке. Левая ветвь пучка Гиса иннервирует межжелудочковую перегородку и затем делится на передневерхний и задненижний пучки, а правая ветвь пучка Гиса не имеет электрокардиографически значимого разделения. Левая ветвь проводит импульс быстрее, чем правая, поэтому перегородка активизируется слева направо. Из ветвей пучка деполяризация затем продолжается через разбросанную сеть быстро проводящих волокон Пуркинью, которые передают импульс непосредственно к миокардиальным клеткам желудочков. Это позволяет желудочкам сокращаться одновременно. Во время систолы желудочков предсердия расслабляются.

Возбуждение левого и правого желудочков отражает комплекс QRS. В норме длительность его составляет до 0,09 с.

Сегмент ST и зубец Т отражают процесс реполяризации желудочков. Причина появления зубца U не вполне изучена.

Общая схема расшифровки ЭКГ

I. Анализ сердечного ритма и проводимости:

- 1) оценка регулярности сердечных сокращений;
- 2) подсчет частоты сердечных сокращений;
- 3) определение источника возбуждения;
- 4) оценка функции проводимости.

II. Определение поворотов сердца вокруг передне-задней, продольной и поперечной осей:

- 1) определение положения ЭОС во фронтальной плоскости;
- 2) определение поворотов сердца вокруг продольной оси;
- 3) определение поворотов сердца вокруг поперечной оси.

III. Анализ предсердного зубца Р.

IV. Анализ желудочкового комплекса QRST:

- 1) анализ комплекса QRS;
- 2) анализ сегмента RS–T;
- 3) анализ зубца Т;
- 4) анализ интервала QT.

V. Электрокардиографическое заключение.

В следующих публикациях мы планируем представить детальный анализ наиболее важных электрокардиологических синдромов в соответствии с указанной схемой расшифровки ЭКГ.

Рекомендуемая литература

- Латфуллин И.А., Богоявленская О.В., Ахмерова Р.И. Клиническая аритмология. М.: МЕДпресс-информ, 2002.
- Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В. Лабораторная и инструментальная диагностика заболеваний внутренних органов. М.: БИНОМ, 1999.
- Струтынский А.В. Электрокардиография: анализ и интерпретация. М.: МЕДпресс, 1999.
- Benjamin E., Wolf P., D'Agostino R. et al. Impact of atrial fibrillation on the risk of death. The Framingham Heart Study // *Circulation*. 1998. V. 98. P. 946–52.

Контрольные вопросы

1. Выберите правильное утверждение:
 - a. биполярными являются только грудные отведения;
 - b. при ЭКГ в 12 отведениях 9 отведений являются биполярными;
 - c. только отведения I, II и III являются биполярными.
2. В III отведении регистрируется разность потенциалов между:

- a. правой и левой руками;
 b. правой рукой и левой ногой;
 c. левой рукой и левой ногой.
3. Отведение II в большей степени отражает электрическую активность:
 a. боковой стенки;
 b. нижней стенки;
 c. передней стенки.
4. Состояние межжелудочковой перегородки оценивается по отведениям:
 a. V_3, V_4 ;
 b. V_5, V_6 ;
 c. V_1, V_2 .
5. Положение отведения V_1 соответствует:
 a. четвертому межреберью по правому краю грудины;
 b. четвертому межреберью по левому краю грудины;
 c. пятому межреберью по левой срединно-ключичной линии.
6. Состояние нижней стенки оценивается по отведениям:
 a. I, aVL;
 b. II, III, aVF;
 c. II, III, aVL.
7. Какое из следующих утверждений относительно шестиосевой системы отведений верно:
 a. она позволяет определить положение электрической оси сердца;
 b. она образуется при пересечении осей отведений от конечностей;
 c. оба утверждения верны.
8. Грудные (прекордиальные) отведения:
 a. отражают состояние нижней стенки;
 b. лежат в горизонтальной плоскости грудной клетки;
 c. могут быть использованы для определения положения электрической оси сердца во фронтальной плоскости.
9. Волна деполяризации проходит по левой ножке пучка Гиса:
 a. раньше правой ножки;
 b. позже правой ножки;
 c. одновременно с правой ножкой.
10. Какое из следующих утверждений относительно атриовентрикулярного узла верно:
 a. сокращение предсердий происходит после деполяризации АВ-узла;
 b. в АВ-узле происходит ускорение проведения волны деполяризации;
 c. оба утверждения верны.
11. Каждая маленькая клеточка на ЭКГ-бумаге при скорости движения 50 мм/с соответствует:
 a. 0,02 с по горизонтали и 0,5 мВ по вертикали;
 b. 0,4 с по горизонтали и 0,1 мВ по вертикали;
 c. 0,04 с по горизонтали и 0,1 мВ по вертикали.
12. QRS комплекс отражает:
 a. сокращение предсердий;
 b. деполяризацию желудочков;
 c. расслабление желудочков.
13. Сегмент ST на нормальной ЭКГ должен быть:
 a. приподнят;
 b. опущен;
 c. изоэлектричен.
14. Нормальный зубец Р должен быть округлым и не превышать:
 a. 0,3 мВ и 0,11 с;
 b. 0,5 мВ и 0,11 с;
 c. 0,5 мВ и 0,05 с.
15. В каких отведениях в норме комплекс QRS направлен преимущественно вверх:
 a. I, II, aVR;
 b. II, aVR, V_1 ;
 c. I, II, aVF.
16. В каких отведениях наиболее часто присутствует зубец Q (вертикальное положение ЭОС):
 a. II, III, aVF;
 b. I, aVL;
 c. I, aVF.
17. Какое из следующих утверждений относительно формы QRS в отведениях V_1, V_2 верно:
 a. низкий зубец R и глубокий зубец S;
 b. комплекс имеет форму QR;
 c. оба утверждения неверны.
18. Сегмент ST отражает время:
 a. между расслаблением предсердий и сокращением желудочков;
 b. между сокращением и расслаблением желудочков;
 c. одного полного сердечного цикла.
19. Какое из следующих утверждений относительно формы QRS в грудных отведениях верно:
 a. величина зубца R увеличивается, а величина зубца S уменьшается от V_1 к V_6 ;
 b. обратная динамика формы комплекса QRS может свидетельствовать о переднеперегородочном инфаркте миокарда;
 c. оба утверждения верны.
20. Комплекс QRS направлен вниз в I отведении и вверх во II отведении, когда:
 a. электрическая ось сердца нормальная;
 b. электрическая ось сердца отклонена вправо;
 c. электрическая ось сердца отклонена влево.