

**Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Иркутский государственный медицинский университет
Минздрава»**

**Анатомо-физиологические и
физико-технические
основы ЭКГ
Учебное пособие**

Иркутск

2015

УДК 616-073.4-8(083.742)

ББК 53.433.8

Н82

Рекомендовано Учебно-методическим советом лечебного факультета ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава в качестве учебного пособия для студентов.

Составители:

А.В. Синьков – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой функциональной и лучевой диагностики ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет Минздрава», Г.М.Синькова – профессор кафедры функциональной и лучевой диагностики ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет Минздрава».

Рецензенты:

Калягин А.Н. – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет Минздрава»;

Карелина Н.В. – заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет Минздрава».

Н82 Анатомо-физиологические основы ЭКГ / сост.: А.В. Синьков, Г.М. Синькова. ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава. – Иркутск: ИГМУ, 2015. – 15с.

Функциональная диагностика является одной из наиболее интенсивно развивающихся областей медицины. Внедрение в клиническую практику большого количества новых высокотехнологичных методов функциональной диагностики и усиление их роли в диагностическом процессе обуславливает необходимость более тесного ознакомления с этими методами студентов лечебного профиля. Пособие подготовлено в соответствии с программой учебной дисциплины "Функциональная диагностика" ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет Минздрава». Рекомендуется студентам лечебного и педиатрического факультетов для практических занятий и самостоятельной работы при изучении учебной дисциплины "Функциональная диагностика".

УДК 616-073.4-8(083.742)

ББК 53.433.8

© ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава

Оглавление

Введение	4
Анатомо-физиологические основы ЭКГ	5
Функции сердца.....	5
Характеристика процесса возбуждения сердца на клеточном уровне.....	6
Периоды рефрактерности	8
Генерация и проведение возбуждения в сердце.....	8
Вегетативная иннервация сердца.....	10
Кровоснабжение сердца.....	12
Анатомическая ориентация сердца.....	13
Физико-технические основы ЭКГ	14
Формирование электрокардиограммы.....	14
Стандартные отведения ЭКГ.....	18
Дополнительные отведения ЭКГ.....	20
Техника регистрации ЭКГ.....	23
Параметры нормальной ЭКГ	24
Интерпретация нормальной ЭКГ.....	25
Общая схема формирования заключения по ЭКГ	30
Вопросы для самоконтроля.....	31
Список литературы	32

Введение

Функциональная диагностика является одной из наиболее интенсивно развивающихся областей медицины. Внедрение в клиническую практику большого количества новых высокотехнологичных методов функциональной диагностики и усиление их роли в диагностическом процессе обуславливает необходимость более тесного ознакомления с этими методами студентов лечебного профиля. Не будет преувеличением сказать, что сегодня профессиональный уровень врача во многом определяется его умением выбирать наиболее оптимальные дополнительные методы исследования, самостоятельно оценивать их результаты, а в ряде случаев и самостоятельно выполнять необходимые диагностические процедуры. Пособие подготовлено в соответствии с программой учебной дисциплины "Функциональная диагностика" ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет Минздрава». Рекомендуется студентам лечебного и педиатрического факультетов для практических занятий и самостоятельной работы при изучении учебной дисциплины "Функциональная диагностика".

Анатомо-физиологические основы ЭКГ

Функции сердца

Анатомически сердце представляет собой два полых мышечных органа – «левое» сердце и «правое» сердце, каждое из которых, в свою очередь, состоит из предсердия и желудочка. Лишенная кислорода кровь от органов и тканей организма поступает к правому сердцу и продвигается им далее по «малому кругу» кровообращения к легким. В легких кровь насыщается кислородом, возвращается к левому сердцу и по «большому кругу» кровообращения вновь поступает к органам.

Выделяют 4 основные функции сердца:

1. Автоматизм – способность сердца вырабатывать электрические импульсы при отсутствии внешних раздражителей;
2. Проводимость – способность к проведению возбуждения;
3. Возбудимость – способность возбуждаться под влиянием импульсов;
4. Сократимость – способность сокращаться в ответ на возбуждение.

Основной функцией сердца является насосная функция, обеспечивающая движение крови по кровеносным сосудам. Данная функция основана на чередовании сокращений (сistolы) и расслаблений (диастолы) предсердий и желудочков. В норме систола предсердий предшествует систоле желудочков.

Функциональным элементом сердца является сердечное волокно – цепочка клеток миокарда, соединенных «конец в конец» и заключенных в общую саркоплазматическую оболочку. В зависимости от морфологических и функциональных особенностей различают два типа сердечных волокон:

1. Волокна «рабочего» миокарда, состоящие из мышечных клеток, способных к активному сокращению. Составляют основную массу сердца и обеспечивают его насосную функцию.
2. Волокна проводящей системы сердца (ПСС), состоящие из несократительных клеток, отвечающих за генерацию возбуждения и проведение возбуждения к клеткам миокарда.

Мышечная ткань сердца (миокард), подобно нервной ткани и скелетным мышцам, относится к возбудимым тканям. Волокна миокарда обладают потенциалом покоя, могут отвечать на надпороговые стимулы генерацией потенциала действия и способны проводить электрические потенциалы без затухания (бездекрементно). Мышечная ткань предсердий и желудочков ведет себя как функциональный синцитий – возникшее возбуждение охватывает все без исключения невозбужденные волокна. Сердце подчиняется известному физиологическому закону «все или ничего», то есть в ответ на раздражение оно или возбуждается все или не реагирует вовсе. Этим сердце отличается от нервов и скелетных мышц, где каждая клетка возбуждается изолированно.

Характеристика процесса возбуждения сердца на клеточном уровне

В основе электрических явлений в сердце лежит возникновение тока ионов натрия внутрь клетки и тока ионов калия в обратном направлении во внеклеточную среду. В спокойном невозбужденном состоянии концентрация калия внутри клетки в 30 раз выше, чем снаружи, а концентрация ионов натрия, наоборот, снаружи в 20 раз выше, чем внутри. Разность концентраций ионов обуславливает поляризацию клеточной мембраны, то есть образование на мембране электрических потенциалов: положительного на наружной

поверхности и отрицательного на внутренней поверхности. Величина разности потенциалов составляет трансмембранный потенциал покоя (ТМПП), имеющий отрицательную величину и равный -90 мВ.

При возбуждении клетки проницаемость клеточной мембраны резко изменяется, приводя к перераспределению ионов снаружи и внутри клетки. Кривая изменения трансмембранного потенциала во время возбуждения называется трансмембранный потенциал действия (ТМПД) (рисунок 1).

Различают несколько фаз ТМПД:

Фаза 0. Фаза деполяризации – резкое увеличение проницаемости мембраны для ионов натрия, которые быстро устремляются внутрь клетки. При этом меняется заряд мембраны, внутренняя поверхность становится положительной, а наружная отрицательной.

Фаза 1. Фаза начальной быстрой реполяризации – возникновение тока отрицательных ионов хлора внутрь клетки нейтрализует избыток положительных ионов натрия.

Фаза 2. Фаза плато – величина ТМПД поддерживается примерно на одном уровне за счет медленных токов ионов натрия и кальция внутрь клетки, а ионов калия наружу.

Фаза 3. Фаза конечной быстрой реполяризации – увеличение проницаемости мембраны для ионов калия и уменьшение для ионов натрия и кальция. Восстановление ТМПП.

Фаза 4. Фаза диастолы – сохранение ТМПП.

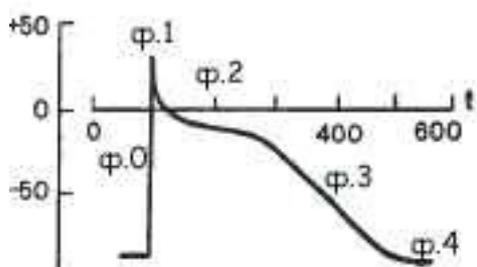


Рисунок 1. Трансмембранный потенциал действия миокардиального волокна (Ф.0-4 – фазы ТМПД).

Периоды рефрактерности

Определенным фазам цикла возбуждения в сердце, как и в других возбудимых тканях, соответствуют периоды сниженной возбудимости, называемые периодами рефрактерности. В период абсолютной рефрактерности (невозбудимости) потенциал действия не возникает ни на какие стимулы. В период относительной рефрактерности (сниженной возбудимости) потенциал действия генерируется только на очень сильные стимулы. Способность к генерации потенциала действия начинает восстанавливаться лишь после реполяризации мембраны до -40 мВ. Функциональное значение периода рефрактерности состоит в предохранении миокарда от слишком быстрого повторного возбуждения, способного нарушить нагнетательную функцию сердца, и в препятствии развитию кругового движения возбуждения в миокарде, нарушающего ритмическое чередование сокращения и расслабления сердца.

Генерация и проведение возбуждения в сердце

Ритмические сокращения сердца возникают под действием импульсов генерируемых специализированными клетками водителя ритма (пейсмекера). В норме водителем ритма является синоатриальный (СА) узел, располо-

женный в стенке правого предсердия в месте впадения верхней полой вены. СА узел называют центром автоматизма первого порядка. Частота разрядов СА узла в покое в период бодрствования составляет около 70 в 1 мин. От СА узла по проводящей системе сердца возбуждение распространяется к миокарду предсердий и желудочков.

Проводящая система сердца включает:

1. СА узел;
2. Проводящие волокна предсердий, в том числе пучок Бахмана, ответственный за быстрое проведение возбуждения к левому предсердию;
3. Атриовентрикулярный (АВ) узел, расположенный в нижней части правого предсердия вблизи межпредсердной перегородки на уровне фиброзного атриовентрикулярного кольца. Основная функция АВ узла заключается в замедлении электрического проведения, необходимого для синхронизации предсердного вклада в желудочковое наполнение;
4. Пучок Гиса, идущий от АВ узла к верхней части межжелудочковой перегородки;
5. Правую ножку пучка Гиса, идущую вдоль септальной (перегородочной) поверхности правого желудочка к свободной стенке правого желудочка;
6. Левую ножку пучка Гиса, идущую вдоль септальной стенки левого желудочка и делящуюся на две ветви: переднюю и заднюю;
7. Переднюю ветвь левой ножки пучка Гиса, направляющуюся к переднелатеральной папиллярной (сосочковой) мышце;

8. Заднюю ветвь левой ножки пучка Гиса, направляющуюся к заднемедиальной папиллярной мышце;
9. Волокна Пуркинье, представляющие конечные разветвления ножек пучка Гиса непосредственно под поверхностью эндокарда правого и левого желудочков.

Кроме СА узла потенциал действия могут генерировать и другие отделы проводящей системы, называемы центрами автоматизма второго порядка (предсердия, АВ соединение) и третьего порядка (ножки пучка Гиса, волокна Пуркинье). Физиологическая частота разрядов этих центров автоматизма ниже, чем СА узла и уменьшается от предсердий к желудочкам. При этом, чем ниже расположен центр автоматизма, тем ниже его частота. В норме автоматизм вторичных центров подавляется СА узлом, имеющим более высокую частоту и разряжающем их. Поэтому вторичные центры называют также подчиненными центрами. В состоянии покоя в период бодрствования частота генерации импульсов различными отделами ПСС составляет:

- Предсердия – 45-65 в минуту;
- АВ соединение – 40-50 в минуту;
- Пучок Гиса, волокна Пуркинье – 25-40 в минуту (идиовентрикулярный ритм).

Вегетативная иннервация сердца

Деятельность сердца контролируется вегетативной нервной системой, включающей надсегментарные центры (лимбико-ретикулярный комплекс), сегментарные парасимпатические центры продолговатого мозга и сегментарные симпатические центры боковых рогов спинного мозга. Вегетативные

влияния передается по симпатическим и парасимпатическим нервам. Эти влияния касаются частоты сокращений (хронотропное действие), силы сокращений (инотропное действие) и скорости АВ проведения (дромотропное действие).

Парасимпатическую иннервацию сердца обеспечивают волокна блуждающих нервов с двух сторон. Волокна правого блуждающего нерва иннервируют преимущественно правое предсердие и СА узел. К АВ узлу подходят преимущественно волокна левого блуждающего нерва. Поэтому правый блуждающий нерв влияет преимущественно на частоту сокращений сердца, а левый блуждающий нерв – на скорость АВ проведения. Парасимпатическая иннервация желудочков выражена слабо и ее значение спорно.

Симпатическую иннервацию сердца обеспечивают симпатические нервы, отходящие от боковых рогов нижних шейных и верхних грудных сегментов спинного мозга. В ганглиях симпатического ствола эти волокна переключаются на постганглионарные нейроны. Из ганглиев симпатического ствола наибольшее значение имеет звездчатый узел.

Раздражение парасимпатических нервов приводит к снижению частоты сердечных сокращений (ЧСС) (отрицательных хронотропный эффект), а раздражение симпатических нервов – к ускорению ритма сердца (положительный хронотропный эффект).

Под действием блуждающих нервов сила сокращений уменьшается (отрицательный инотропный эффект), а под действием симпатических нервов увеличивается (положительный инотропный эффект).

Симпатические нервы ускоряют АВ проведение (положительный дромотропный эффект), а блуждающие нервы замедляют АВ проведение (отрицательный дромотропный эффект).

Кровоснабжение сердца

Кровоснабжение сердца осуществляется коронарными артериями. В норме имеются правая и левая коронарные артерии, отходящие от левого и правого коронарных синусов аорты (синусов Вальсальвы).

Левая коронарная артерия почти сразу после отхождения от аорты делится на две ветви: левую переднюю нисходящую артерию (переднюю межжелудочковую) и огибающую артерию. Проксимальный участок левой коронарной артерии до деления называют основным стволом левой коронарной артерии.

Левая передняя нисходящая коронарная артерия располагается в передней межжелудочковой борозде сердца. Эта артерия кровоснабжает переднюю свободную стенку левого желудочка и переднюю половину межжелудочковой перегородки.

Левая огибающая артерия располагается в предсердно-желудочковой борозде. Масса миокарда, кровоснабжаемого этой артерией, может варьировать. Обычно она кровоснабжает латеральную часть задней стенки левого желудочка.

Правая коронарная артерия пролегает в предсердно-желудочковой борозде. Кровоснабжает свободную стенку правого желудочка.

Задняя нисходящая коронарная артерия находится в задней борозде сердца между стенками правого и левого желудочков. Эта артерия снабжает кровью медиальную часть свободной задней стенки левого желудочка и заднюю половину межжелудочковой перегородки. Она чаще является ветвью правой коронарной артерии (при правом типе кровоснабжения), при левом типе кровоснабжения задняя нисходящая коронарная артерия отходит от левой огибающей артерии.

Отток крови осуществляется преимущественно в коронарный венозный синус, открывающийся в правое предсердие. Этим путем сбрасывается около 2/3 питающей сердце крови. Оставшаяся кровь оттекает по сердечным венам.

Анатомическая ориентация сердца

Положение сердца внутри грудной клетки определяет «проекцию» сердечной электрической активности, регистрирующейся в различных точках поверхности тела. Предсердия расположены в верхней части сердца, называемой основанием сердца, а желудочки – в нижней части сердца, называемой верхушкой сердца. Длинная ось сердца, проходящая от основания к верхушке, во фронтальной проекции расположена сверху – вниз, слева – направо и сзади – наперед. При этом правые камеры сердца располагаются впереди от левых.

Физико-технические основы ЭКГ.

Формирование электрокардиограммы

Электрокардиограмма (ЭКГ) - это графическое отображение электрических процессов, происходящих в миокарде.

Распространение возбуждения в сердце в норме происходит в следующей последовательности: СА узел, правое предсердие, левое предсердие, АВ узел, ножки пучка Гиса, перегородка, желудочки. Возбуждение миокарда (деполяризация) распространяется от эндокарда к эпикарду, а восстановление потенциала покоя (реполяризация) происходит в обратном направлении – от эпикарда к эндокарду.

Электродвижущую силу (ЭДС), возникающую при возбуждении сердца, принято представлять в виде вектора, имеющего направление и величину. При этом основание вектора соответствует отрицательному заряду, а вершина положительному заряду. Положительный полюс вектора ЭДС сердца направлен в сторону невозбужденного миокарда, а отрицательный полюс в сторону возбужденного миокарда.

Строгая последовательность электрического сердечного цикла представлена на ЭКГ рядом зубцов, обозначаемых латинскими буквами: P, Q, R, S, T, U (рисунок 2).

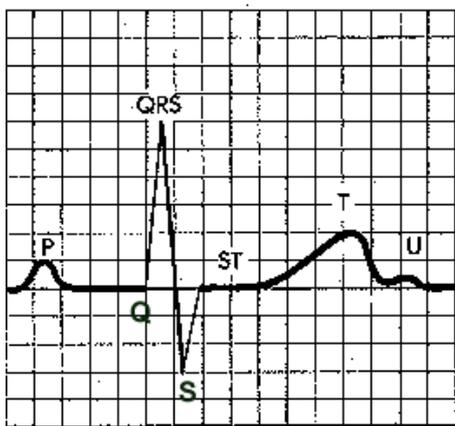


Рисунок 2. .Нормальный ЭКГ-комплекс.

Первый в ряду зубец P отражает деполяризацию предсердий. Начальная $\frac{1}{2}$ зубца P соответствует деполяризации правого предсердия, а конечная $\frac{1}{2}$ зубца P соответствует деполяризации левого предсердия.

Следующий за зубцом P зубец Q в норме отражает деполяризацию межжелудочковой перегородки. Процесс возбуждения начинается с деполяризации левой части межжелудочковой перегородки. Фронт возбуждения движется слева направо и вперед (вектор 1) (рисунок 3). Величина вектора ЭДС невелика, так как масса миокарда межжелудочковой перегородки небольшая.

Зубец R отражает деполяризацию стенок и апикальных (верхушечных) отделов левого и правого желудочков. Поскольку масса миокарда правого желудочка значительно уступает массе левого желудочка, то вектор ЭДС направлен справа налево (вектор 2). Это самый большой по величине вектор.

Зубец S отражает конечный этап деполяризации желудочков – возбуждение заднебазальных отделов желудочков и основания правой части межжелудочковой перегородки. Результирующая ЭДС имеет малую величину и направлена вправо и вверх (вектор 3).

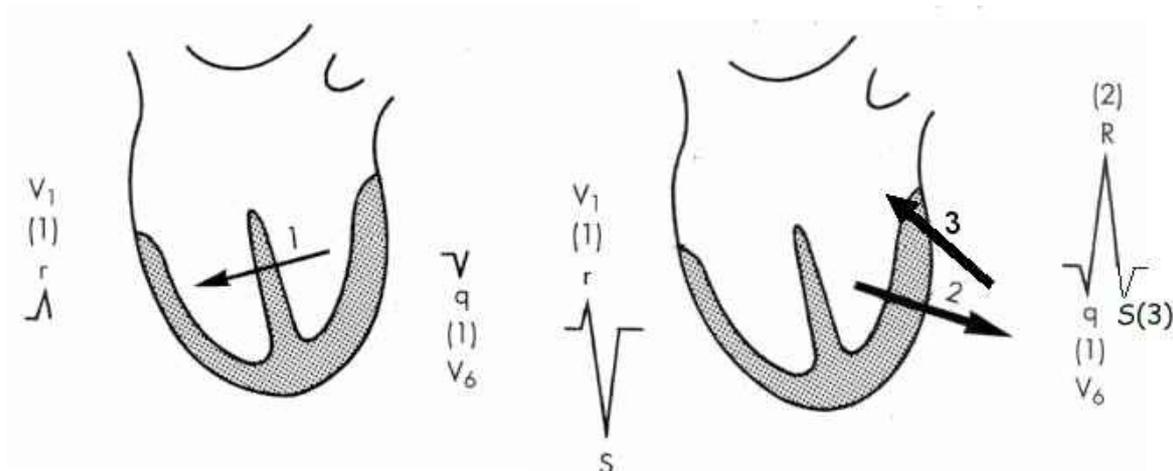


Рисунок 3. Направление векторов деполяризации желудочков и их связь с формированием зубцов комплекса QRS (по Goldberger A.L., 1999 с дополнениями).

Зубец Т характеризует реполяризацию желудочков. В некоторых случаях за зубцом Т может быть виден еще один зубец – зубец U, происхождение которого не ясно. Реполяризации предсердий не отражается на обычной ЭКГ из-за малой величины потенциала.

Зубцы, направленные вверх, называют положительными зубцами, а зубцы, направленные вниз, – отрицательными зубцами. Направление зубца зависит от направления вектора ЭДС отдела сердца, ответственного за формирование зубца. При записи ЭКГ при направлении вектора ЭДС в сторону регистрирующего (положительного) электрода отмечается отклонение кривой ЭКГ вверх, а при направлении вектора в противоположную от электрода сторону – отклонение вниз. Поэтому в разных отведениях один и тот же зубец может иметь разное направление (разную полярность). Зубец Р может быть положительным, отрицательным или двухфазным, зубец R – только положительным, зубцы Q и S – только отрицательными, зубец Т – положительным или отрицательным, зубец U – положительным. При отсутствии в сердце разности потенциалов регистрируется изоэлектрическая линия (изолиния).

Зубцы Q, R и S отражают деполяризацию миокарда желудочков поэтому их объединяют в одну структуру – комплекс QRS. В норме комплекс QRS может иметь один, два или три отдельных зубца. Положительное отклонение в комплексе QRS всегда соответствует зубцу R. При возникновении второго положительного отклонения его обозначают как зубец R' (читается как R-прим). Предшествующее зубцу R отрицательное отклонение называют зубцом Q, а следующее за зубцом R отрицательное отклонение называют зубцом S. В случае отсутствия положительного зубца R единственный оставшийся отрицательный зубец комплекса QRS называют комплекс QS.

Время от начала зубца Q или зубца R до вершины зубца R называют временем внутреннего отклонения. Время внутреннего отклонения характеризует продолжительность деполяризации сердечной мышцы от эндокарда до эпикарда.

Кроме зубцов на ЭКГ принято выделять ряд сегментов и интервалов. Интервал PQ, иногда называемый интервалом PR, это участок ЭКГ от начала зубца P до начала зубца Q или в случае отсутствия зубца Q до начала зубца R. Интервал PQ характеризует время проведения по предсердиям и АВ узлу. Сегмент PQ (сегмент PR) – это участок ЭКГ от конца зубца P до начала зубца Q (зубца R) соответствует времени активации пучка Гиса и его ножек. Сегмент ST – это участок ЭКГ от окончания зубца S (точка соединения J) до начала зубца T соответствует времени полного охвата возбуждением желудочков. Интервал QT – это участок ЭКГ от начала зубца Q до конца зубца T характеризует продолжительность электрической систолы сердца. Участок ЭКГ от конца зубца T до начала зубца P соответствует изоэлектрической линии.

Стандартные отведения ЭКГ

В клинической практике для регистрации ЭКГ обычно применяют 12 отведений: 6 отведений от конечностей (3 двухполюсных и 3 однополюсных) и 6 грудных отведений.

Двухполюсные отведения, называемые также стандартными отведениями, были предложены Эйнтховеном в 1908 г. Они исследуют электрическую активность сердца во фронтальной плоскости. Электроды располагаются на конечностях и подключаются парами к положительному и отрицательному полюсам электрокардиографа соответственно:

- I отведение – запястье правой руки (–) и запястье левой руки (+);
- II отведение – запястье правой руки (–) и голень левой ноги (+);
- III отведение – запястье левой руки (–) и голень левой ноги (+).

Активным (регистрирующим, информирующим) электродом всегда является положительный электрод. Электрод заземления устанавливается на голень правой ноги.

I отведение преимущественно регистрирует изменение потенциала боковой стенки левого желудочка. II отведение зондирует весь миокард вдоль продольной оси и поэтому не имеет самостоятельной ценности для топической диагностики. III отведение характеризует состояние заднедиафрагмальных (нижних) отделов левого желудочка и правого желудочка.

Усиленные однополюсные отведения от конечностей в практику электрокардиографии ввел Голдбергер в начале 40-х годов. Как и двухполюсные отведения они исследуют ЭДС сердца во фронтальной плоскости. При этом положительный электрод крепится на соответствующей конечности, а роль

отрицательного электрода выполняет электрод, объединяющий две другие конечности. В практике используют следующие усиленные отведения:

- aVR – отведение от правой руки;
- aVL – отведение от левой руки;
- aVF – отведение от левой ноги.

Для топической диагностики следует учитывать, что отведение aVL отражает изменения боковой стенки левого желудочка, главным образом, его базальных отделов. Отведение aVF, как и III стандартное отведение, характеризует активность правого и заднедиафрагмальных отделов левого желудочка и позволяет подтвердить патологический характер изменений ЭКГ, выявляемых в III отведении. Отведение aVR, подобно II стандартному отведению, просматривает весь миокард вдоль продольной оси сердца и является почти зеркальным отражением II отведения.

Грудные отведения, предложенные Вильсоном, исследуют ЭДС сердца в поперечной плоскости. Обычно используют 6 грудных отведений, расположенных в следующих позициях:

- V1 – у правого края грудины в 4 межреберье;
- V2 – у левого края грудины в 4 межреберье;
- V3 – между электродами V2 и V4;
- V4 – по левой среднеключичной линии в 5 межреберье;
- V5 – по передней аксиллярной линии на уровне электрода V4 по горизонтальной линии;
- V6 – по средней аксиллярной линии на уровне электродов V4 и V5 по горизонтальной линии.

Электроды V1, V2 и V3 характеризуют биоэлектрическую активность переднеперегородочной области левого желудочка и частично правого же-

лудочка, V3 и V4 – активность передневерхушечной области левого желудочка, V5 и V6 – активность переднебоковой области левого желудочка.

Для упрощения процедуры наложения электродов общепринято маркировать их разными цветами:

- правая рука – красный цвет;
- левая рука – желтый цвет;
- левая нога – зеленый цвет;
- правая нога (заземление) – черный цвет;
- V1 – красный наконечник;
- V2 – желтый наконечник;
- V3 – зеленый наконечник;
- V4 – коричневый наконечник;
- V5 – черный наконечник;
- V6 – синий или фиолетовый наконечник.

Дополнительные отведения ЭКГ

Стандартные отведения, в основном, отражают электрическую активность передней и нижней стенок левого желудочка. Для уточнения активности других отделов сердца применяют дополнительные отведения.

Для исследования активности правых отделов сердца применяют правые грудные отведения, представляющие собой зеркальную проекцию стандартных грудных отведений на правую половину грудной клетки:

- V1R – соответствует стандартному отведению V2;
- V2R – соответствует стандартному отведению V1;
- V3R – между электродами V2R и V4R;

- V4R – по правой среднеключичной линии в 5 межреберье;
- V5R – по передней аксиллярной линии справа на уровне электрода V4R по горизонтальной линии;
- V6R – по средней аксиллярной линии справа на уровне электродов V4R и V5R по горизонтальной линии.

Необходимость в использовании правых грудных отведений возникает при врожденном расположении сердца справа (декстрокардии), подозрении на гипертрофию и инфаркт миокарда правого желудочка. Для улучшения визуализации электрической активности правых отделов сердца можно также поменять местами электроды на правой и левой руках.

Для исследования электрической активности заднебазальных отделов левого желудочка (задней стенки) используют отведения V7, V8 и V9, расположенные на уровне электродов V4-V6 по задней аксиллярной, лопаточной и паравертебральной линиям соответственно.

Отведения по Небу являются аналогом стандартных отведений от конечностей, перенесенных на грудную клетку ближе к сердцу, что способствует увеличению амплитуды и лучшей визуализации зубцов ЭКГ:

- красный электрод с правой руки располагают во 2 межреберье справа от грудины;
- желтый электрод с левой руки располагают в позиции электрода V7;
- зеленый электрод с левой ноги располагают в позиции электрода V4.

Все отведения по Небу являются биполярными:

- Заднее отведение (Dorsalis) (D) – подключается аналогично I стандартному отведению. Исследует заднюю стенку левого желудочка.
- Переднее отведение (Anterior) (A) – подключается аналогично II стандартному отведению. Исследует переднюю стенку и верхушку левого желудочка.
- Нижнее отведение (Inferior) (I) – подключается аналогично III стандартному отведению. Исследует заднедиафрагмальные отделы левого желудочка, верхушку межжелудочковую перегородку.

Отведения по Небу чаще применяют для диагностики задних инфарктов миокарда.

В отведениях по Слопаку желтый электрод с левой руки, являющийся активным электродом, располагают в позиции грудного электрода V7, а пассивный красный электрод последовательно перемещают на уровне 2 межреберья в позиции:

- S1 – слева от грудины;
- S2 – между S1 и S3;
- S3 – левая среднеключичная линия;
- S4 – передняя аксиллярная линия.

Отведения по Слопаку чаще применяют для диагностики задних инфарктов миокарда.

Техника регистрации ЭКГ

Стандартная ЭКГ регистрируется у больного в состоянии бодрствования, в покое, в положении лежа на спине. В случае невыполнения данных условий параметры ЭКГ могут существенно отличаться от нормативных и приводить к диагностическим ошибкам. Наличие особых условий регистрации, отличных от стандартных, необходимо обязательно указывать в примечаниях к ЭКГ.

При стандартной калибровке ЭКГ электрическому сигналу величиной 1 мВ соответствует пик на ЭКГ величиной 10 мм, а 1 мм по вертикали равен 0,1 мВ.

Стандартная скорость движения бумаги электрокардиографа составляет 25 или 50 мм/с. При скорости 25 мм/с 1 мм по горизонтали равен 0,04 с, а при скорости 50 мм/с – 1 мм равен 0,02 с. При скорости 50 мм/с элементы ЭКГ дифференцируются лучше, но одновременно увеличивается расход бумаги. В настоящее время чаще используют скорость движения бумаги – 25 мм/с.

Для избежания возникновения в записи ЭКГ артефактов (дрейф изолинии, наводки) необходима тщательная установка электродов, особенно электрода заземления. Электроды устанавливаются с использованием электродной пасты или смоченных физиологическим раствором прокладок непосредственно на кожу. Место установки электродов необходимо обработать специальным абразивным составом или спиртом для удаления кожного жира.

Для обеспечения безопасности пациента необходимо использовать только специально подготовленный и проверенный контур заземления.

Необходимо убедиться в правильности установки и подключения электродов в соответствии с используемыми отведениями. Неправильное расположение или подключение электродов может приводить к значительным ошибкам при интерпретации.

Параметры нормальной ЭКГ

Морфологические элементы ЭКГ (зубцы, интервалы, сегменты) характеризуются количественными показателями амплитуды, продолжительности и величины смещения от изолинии. Амплитуду принято выражать в миллиметрах (мм) или милливольтгах (мВ), продолжительность – в секундах (с), смещение от изолинии – в миллиметрах или милливольтгах. Зубцы ЭКГ характеризуются амплитудой и продолжительностью, интервалы – только продолжительностью, сегменты ЭКГ характеризуются величиной смещения от изолинии.

Количественные показатели ЭКГ в существенной степени зависят от возраста обследуемого и условий регистрации. Представленные в таблице 1 нормативные показатели ЭКГ относятся только к взрослым лицам при стандартных условиях регистрации ЭКГ.

Таблица 1. Основные нормативы ЭКГ (Хан Г., 1999 с дополнениям).

Зубец Р	Положительный в отведениях I, II, aVF, V ₂ -V ₆ .
	Отрицательный в отведении aVR.
	Амплитуда в отведениях от конечностей – до 2 мм, в грудных отведениях – до 1 мм.
	Продолжительность – до 0,1 с

Интервал PQ	Продолжительность – от 0,12 до 0,2 с		
Комплекс QRS	Продолжительность – от 0,04 до 0,1 с		
	Время внутреннего отклонения в отведениях V ₁ и V ₂ – до 0,035 с, в отведениях V ₅ и V ₆ – до 0,045 с		
Зубец Q	Амплитуда – не > 1/4 величины зубца R и не >3 мм		
	Продолжительность – не > 0,03 с (до 0,04 с в III отведении)		
Зубец R	V ₁ – от 0 до 6 мм (в возрасте старше 30 лет)		
	V ₂ – от 0,2 мм до 12 мм (в возрасте старше 30 лет)		
	V ₃ – от 1 до 20 мм (в возрасте старше 30 лет)		
	V ₅₋₆ – до 26 мм (в возрасте старше 30 лет)		
Сегмент ST	На изоэлектрической линии. Возможно смещение ± 0,5 мм. В грудных отведениях смещение вверх – меньше 2 мм.		
Зубец T	Положительный в I, II, aVF, V ₃ -V ₆ , отрицательный в aVR. Амплитуда T ₁ >T ₃ , T _{V6} >T _{V1}		
	Амплитуда в отведениях от конечностей – до 5 мм, в грудных отведениях – до 15 мм.		
	Продолжительность 0,16-0,24 с.		
Интервал QT	<u>ЧСС</u>	<u>Мужчины</u>	<u>Женщины</u>
	45-65	< 0,47 с	< 0,48 с
	66-100	< 0,41 с	< 0,43 с
	> 100	< 0,36 с	< 0,37 с
Положение оси сердца	электрической	От 0° до + 100° (в возрасте до 40 лет)	
		От -30° до + 90° (в возрасте старше 40 лет)	

Интерпретация нормальной ЭКГ

Анализ регулярности сердечных сокращений. Регулярный, или правильный, ритм диагностируется, если продолжительность интервалов RR не превышает ±15% от средней продолжительности интервалов RR. В противном случае диагностируется аритмия (неправильный ритм).

Подсчет частоты сердечных сокращений (ЧСС). ЧСС определяют по формуле $ЧСС=60/RR(c)$. Если ритм нерегулярный, указывают минимальное и максимальное значение ЧСС. Минимальную ЧСС определяют по наибольшему интервалу RR, а максимальную ЧСС, соответственно, по наименьшему интервалу RR.

ЧСС в покое у здорового взрослого человека составляет 60-90 ударов в минуту. Повышение ЧСС больше 90 ударов называют тахикардией, а урежение ЧСС меньше 60 ударов – брадикардией.

Определение источника возбуждения. В норме водителем ритма является синоатриальный (синусовый) узел, а сам ритм называют синусовым ритмом. При синусовом ритме зубцы P в отведениях I, II, aVF, V₂-V₆ должны быть положительными, а в отведении aVR – отрицательными. Все зубцы P одинаковые, предшествуют комплексам QRS, интервалы PP одинаковые и равны интервалам RR. Если параметры зубцов P не соответствуют перечисленным условиям, то вероятен несинусовый (эктопический) ритм.

Оценка функции проводимости. Продолжительность зубца P характеризует скорость проведения по предсердиям. В норме продолжительность зубца P составляет не более 0,1 с. При увеличении продолжительности зубца P больше нормы диагностируют предсердную блокаду. Продолжительность интервала PQ отражает скорость АВ проведения. В норме продолжительность интервала PQ составляет 0,12-0,2 с. При увеличении продолжительности интервала PQ диагностируют АВ блокаду, а при укорочении интервала PQ – синдром предвозбуждения желудочков. Продолжительность комплекса QRS характеризует проведение по системе ножек пучка Гиса. В норме продолжительность комплекса QRS не должна превышать 0,1 с. При увеличении

продолжительности комплекса QRS диагностируют блокаду левой или правой ножки пучка Гиса.

Определение положения электрической оси сердца (ЭОС) и поворотов сердца. ЭОС – это проекция результирующего вектора QRS на фронтальную плоскость. В норме ЭОС, примерно, совпадает с анатомической осью сердца. Для определения положения ЭОС необходимо систему отведений ЭКГ от конечностей представить в виде шестиосевой системы координат (рисунок 4).

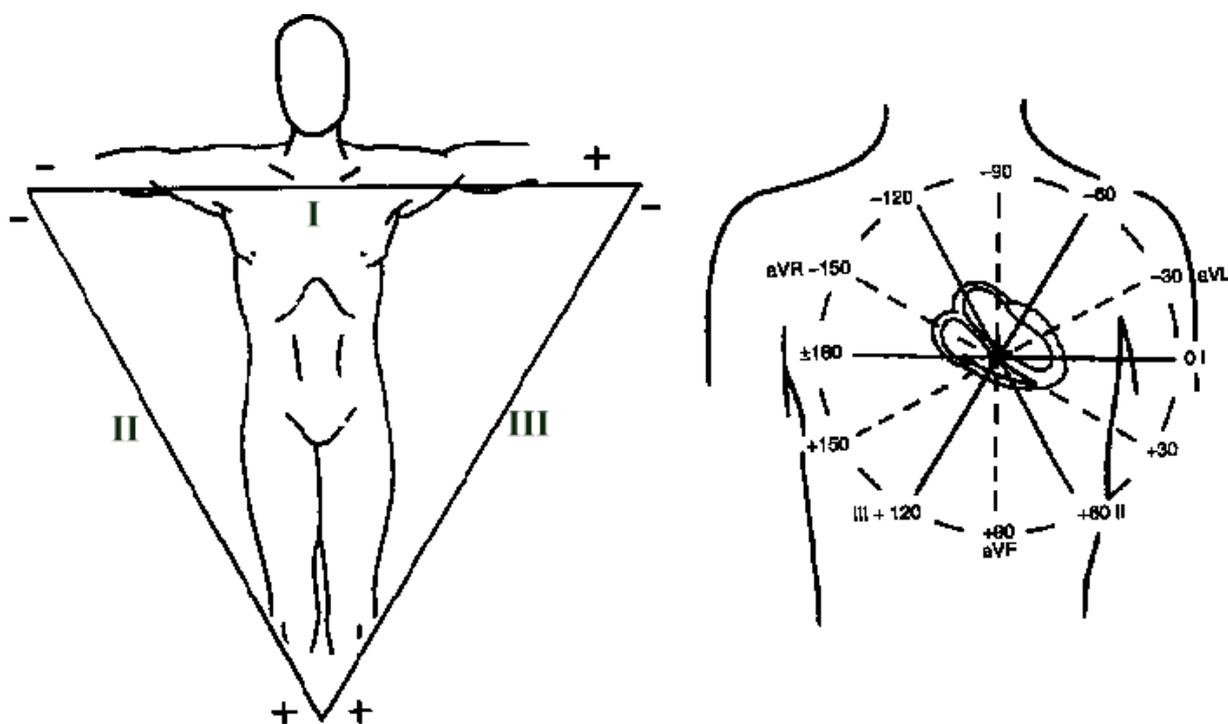


Рисунок 4. Шестиосевая система отведений от конечностей.

Простейшим методом определения ЭОС является визуальный метод. Для определения положения ЭОС визуальным методом необходимо помнить два правила:

1. Если комплексы QRS в отведениях I и aVF преимущественно обращены вверх от изолинии, то ЭОС расположена нормально.

2. ЭОС перпендикулярна к линии отведения, в котором положительные и отрицательные зубцы комплекса QRS равны по амплитуде (синфазные) или имеют наименьшую амплитуду (изоэлектричные).

Более точно положение ЭОС можно определить графическим методом с вычислением угла α (альфа). Угол α , образованный ЭОС и положительной половиной оси I стандартного отведения, является количественной характеристикой положения ЭОС.

Для определения положения ЭОС графическим методом вычисляют алгебраическую сумму отрицательных (Q и S) и положительных (R) зубцов в I и III стандартных отведениях, а затем по таблице определяют точное значение угла α .

Различают следующие варианты положения ЭОС:

1. нормальное – угол α от $+30^\circ$ до $+69^\circ$
2. вертикальное – угол α от $+70^\circ$ до $+90^\circ$
3. горизонтальное – угол α от 0° до $+29^\circ$
4. отклонение ЭОС вправо – угол α от $+91^\circ$ до $\pm 180^\circ$
5. отклонение ЭОС влево – угол α от 0° до -90°

Нормальное, вертикальное и горизонтальное положение ЭОС встречаются у здоровых лиц и зависят от телосложения человека. Горизонтальное положение ЭОС отмечается у гиперстеников, а вертикальное – у астеников. У здоровых лиц ЭОС может располагаться в пределах от -30° до $+100^\circ$. Отклонение ЭОС влево или вправо отражает повороты сердца вокруг переднезадней оси.

Повороты сердца вокруг продольной оси характеризуются сдвигом переходной зоны. Переходной зоной называют грудное отведение, в котором

зубцы R и S имеют одинаковые амплитуды. В норме переходная зона расположена в отведении V3, при этом в отведении V1 комплекс QRS имеет вид типа rS (маленький r и глубокий S), а в отведении V6 – вид типа qRs (маленький q, большой R, маленький s) (рисунок 5).

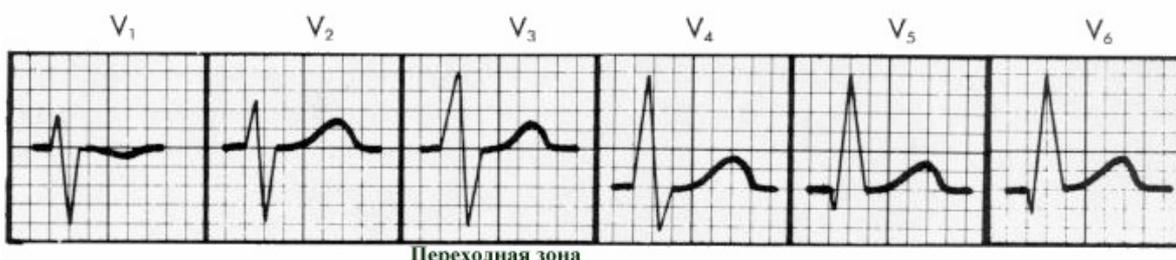


Рисунок 5. Нормальное нарастание амплитуды зубцов R в грудных отведениях.

При смещении переходной зоны в отведения V4 и V5 диагностируют поворот сердца по часовой стрелке, если смотреть со стороны верхушки, при этом правый желудочек выдвигается вперед (рисунок 6). При смещении переходной зоны в отведения V2 и V1 диагностируют поворот сердца против часовой стрелки, то есть левым желудочком вперед (рисунок 7). Крайнюю степень поворота сердца по часовой стрелке характеризуют комплексы QS в отведении V1 и отсутствие начального зубца q в отведении V6. Крайнюю степень поворота сердца против часовой стрелки характеризуют комплексы QRS типа qR в отведениях с V1 до V6, но в этом случае зубцы q не патологические.



Рисунок 6. Поворот сердца по часовой стрелке.

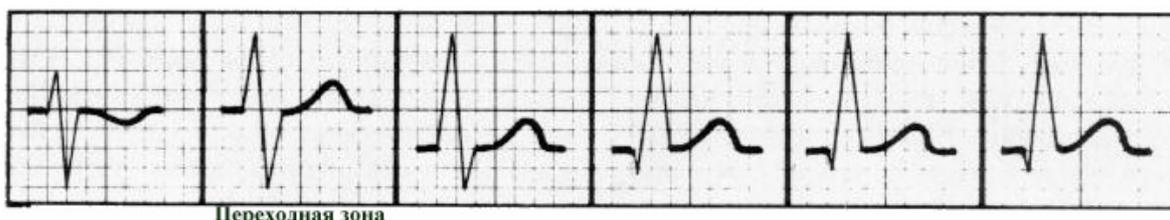


Рисунок 7. Поворот сердца против часовой стрелки.

Возможны также повороты сердца вокруг поперечной оси верхушкой вперед или назад. В норме зубцы Q или S одновременно могут регистрироваться только в двух из трех стандартных отведений (например, в I и II, II и III). При расположении сердца верхушкой вперед комплекс QRS в отведениях I, II и III приобретает форму qR (исчезает зубец S). При расположении сердца верхушкой назад комплекс QRS приобретает форму RS (исчезает зубец Q).

Общая схема формирования заключения по ЭКГ

1. Анализ сердечного ритма и проводимости:

- 1.1 оценка регулярности сердечных сокращений;
- 1.2 подсчет ЧСС;
- 1.3 определение источника возбуждения;
- 1.4 оценка функции проводимости.

2. Определение поворотов сердца вокруг переднезадней, продольной и поперечной осей:

- 2.1 определение положения ЭОС во фронтальной плоскости;
- 2.2 определение поворотов сердца вокруг продольной оси;

2.3 определение поворотов сердца вокруг поперечной оси.

3. Анализ предсердного зубца Р.

4. Анализ желудочкового комплекса QRST.

4.1 анализ комплекса QRS;

4.2 анализ сегмента ST;

4.3 анализ зубца Т;

4.4 анализ интервала QT.

5. Электрокардиографическое заключение.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные функции сердца?
2. Сколько фаз имеет трансмембранный потенциал действия?
3. Что такое период рефрактерности?
4. Что является основным водителем ритма в сердце?
5. Что такое гетеротопные источники возбуждения?
6. Какие отведения ЭКГ называются стандартными?
7. Какие дополнительные отведения ЭКГ вы знаете?
8. Каковы основные морфологические элементы ЭКГ?
9. Что такое электрическая ось сердца и как ее определить?
10. Чем отличается ЭКГ ребенка от ЭКГ взрослого?

Список литературы

1. Мурашко В., Струтынский А. Электрокардиография. М., 2007;
2. Вагнер Г.С. Практическая электрокардиография Марриотта. СПб, 2002;
3. Хан Г.М. Быстрый анализ ЭКГ. СПб, 1999.