

Praktische EKG-Deutung

Einführung in die Elektrokardiografie

Cook-Sup So

4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

196 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

Клиническая интерпретация ЭКГ

Введение в электрокардиографию

Кук-Суп Со

Перевод с немецкого

2-е издание

УДК 616.12-073.97
ББК 54.101
С54

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Авторы и издательство приложили все усилия, чтобы обеспечить точность приведенных в данной книге показаний, побочных реакций, рекомендуемых доз лекарств. Однако эти сведения могут изменяться.

Информация для врачей. Внимательно изучайте сопроводительные инструкции изготовителя по применению лекарственных средств.

Книга предназначена для медицинских работников.

Перевод с немецкого: В.Ю.Халатов.

Со, Кук-Суп

С54 Клиническая интерпретация ЭКГ. Введение в электрокардиографию / Кук-Суп Со ; пер. с нем. – 2-е изд. – М. : МЕДпресс-информ, 2022. – 248 с. : ил.
ISBN 978-5-00030-956-8

Данная книга представляет собой перевод с немецкого языка 4-го дополненного и переработанного издания книги «Praktische EKG-Deutung. Einführung in die Elektrokardiografie». Важная особенность этой книги – практическая направленность. Книга написана доступным языком, в форме, облегчающей усвоение материала, и легко читается, удачно иллюстрирована многочисленными рисунками и схемами. В ней описаны все основные электрокардиографические синдромы, проявляющиеся характерными изменениями ЭКГ, а также нашли отражение новые тенденции и подходы в клинической кардиологии.

Книга предназначена, прежде всего, для студентов-медиков, но также будет полезна практикующим врачам – кардиологам, терапевтам, специалистам по функциональной диагностике и врачам других специальностей, использующим этот метод исследования в своей работе.

УДК 616.12-073.97
ББК 54.101

ISBN 978-3-13-112684-9

© 2013 of the original German language edition
by Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany.
Original title: «Praktische EKG-Deutung»,
by Cook-Sup So

ISBN 978-5-00030-956-8

© Издание на русском языке, перевод на русский язык, оформление, оригинал-макет. Издательство «МЕДпресс-информ», 2015

Предисловие к 4-му изданию

Первое издание данной книги вышло в свет в 1998 г. С тех пор появились новые данные, а прежние сведения несколько изменились. Поэтому книгу пришлось основательно переработать.

В 4-м издании книги были переработаны все главы, включены новые ЭКГ, изъяты некоторые устаревшие, чтобы привести материал в соответствие с современным уровнем знаний. В этом издании книги я с готовностью учел все замечания, сделанные читателями по предыдущим ее изданиям. Так, заново и с новых позиций написана глава о мерцании предсердий, которое последние годы широко обсуждается. При этом упомянуты возможности медикаментозной и интервенционной терапии. Материал об инфаркте миокарда помещен в главу, посвященную новому понятию – коронарному синдрому, и дополнен. Написаны новый раздел «Электрофизиологические основы электрокардиографии», а также разделы по таким клинически важным методам исследования, как ЭКГ-проба с физической нагрузкой, применяемая для диагностики ишемической болезни сердца (ИБС), и длительная регистрация ЭКГ – для диагностики нарушений ритма сердца. Оба этих метода исследования из практических соображений помещены в главу об ИБС, так как для их усвоения необходимы определенные знания по ЭКГ-диагностике и клинической картине этого заболевания. Кроме того, существенно переработана важная с клинической точки зрения глава «Нарушения ритма сердца».

Поскольку рисунки с ЭКГ способствуют лучшему пониманию материала, мы внесли в книгу много новых рисунков. Потребовалось также заменить некоторые старые рисунки новыми и добавить новые схемы и таблицы, так что каждая глава богато иллюстрирована.

Как и в предыдущих изданиях, в новом издании сохранена главная особенность книги, а именно ее практическая направленность. Поэтому мы старались писать текст легко понятным и доступным медицинским языком, избегая неопределенных или неоднозначных предложений. Иногда мы намеренно прибегали к повторениям.

Для быстрого ориентирования, как и прежде, каждой главе предпослано резюме с несколькими ключевыми словами; это позволяет читателю получить общее представление о теме.

Мы попытались дать читателю сжатую, но существенную информацию по электрокардиографии в описаниях и пояснениях, подкрепленных рисунками, облегчающими усвоение наиболее важных понятий.

Эта книга является подспорьем, прежде всего, для тех, кто интересуется электрокардиографией, но до последнего времени не сталкивался с этим методом. Книга задумана и составлена так, чтобы читатель после тщательного и подробного изучения обновленного и расширенного материала, а при необходимости и повторений, научился самостоятельно читать ЭКГ.

Таким образом, эта книга предпослана, прежде всего, студентам-медикам и молодым, еще недостаточно опытным коллегам для самостоятельного изучения ЭКГ. Эта книга может оказаться полезной и практикующим врачам, а также среднему медицинскому персоналу, например, в неотложных ситуациях.

В заключение хотелось бы выразить благодарность моим сотрудникам, с которыми я работаю многие годы, Dr. Klaus Buchholz за редактирование текста, обобщение значительного нового материала и правку корректуры. Я признателен также издательству Georg Thieme за столь щедрое оформление книги.

Деггендорф, февраль 2013 г.

C.-S.So

Содержание

Предисловие к 4-му изданию	6
Сокращения	8
1 Введение	14
2 Основы электрокардиографии	16
2.1 Возбудимость и проводящая система сердца	16
2.1.1 Синусовый узел (узел Кис–Флака)	16
2.1.2 Атриовентрикулярный узел (узел Ашоффа–Тавары)	17
2.1.3 Пучок Гиса	17
2.1.4 Правая и левая ножки пучка Гиса	17
2.2 Электрофизиологические основы ЭКГ	18
2.2.1 Монофазный потенциал действия	18
2.2.2 Двухфазный потенциал действия	21
2.2.3 Рефрактерный период	22
2.3 Измерение электрокардиографических показателей	23
2.3.1 Калибровка	23
2.3.2 Скорость подачи бумажной ленты	23
2.3.3 Измерение отдельных зубцов и интервалов	23
2.3.4 Частота сокращений желудочков	25
2.4 ЭКГ-отведения	25
2.4.1 Отведения от конечностей	26
2.4.2 Грудные отведения	29
2.4.3 Особые ЭКГ-отведения	32
3 Нормальная электрокардиограмма	33
3.1 Процесс возбуждения и ЭКГ	33
3.2 Описание интервалов ЭКГ	35
3.3 Нормальные значения электрокардиографических показателей	38
3.3.1 Зубец P	38
3.3.2 Интервал PQ	38
3.3.3 Зубец Q	39
3.3.4 Зубец R	39
3.3.5 Зубец S	40
3.3.6 Комплекс QRS	40

3.3.7	Точка J	40
3.3.8	Сегмент ST	40
3.3.9	Зубец T	40
3.3.10	Интервал QT	41
3.3.11	Волна U	41
3.3.12	Время внутреннего отклонения	41
3.4	Электрическая ось сердца	45
3.4.1	Частые типы ЭКГ	45
3.4.2	Редкие типы ЭКГ	49
3.5	Описание ЭКГ	52
4	Гипертрофия предсердий	53
4.1	Нормальная электрокардиограмма предсердий	53
4.2	Гипертрофия левого предсердия	55
4.2.1	Левопредсердный зубец P (митральный P)	55
4.3	Гипертрофия правого предсердия	58
4.3.1	Правопредсердный зубец P (легочный P)	58
4.3.2	Биатриальный зубец P	62
5	Гипертрофия желудочков	63
5.1	Общие сведения	63
5.2	Гипертрофия левого желудочка	64
5.3	Гипертрофия правого желудочка	69
6	Блокада ножек пучка Гиса	74
6.1	Общие сведения	74
6.2	Полная блокада правой ножки пучка Гиса	75
6.3	Классическая блокада правой ножки пучка Гиса	80
6.4	Неполная блокада правой ножки пучка Гиса	80
6.5	Полная блокада левой ножки пучка Гиса	84
6.6	Неполная блокада левой ножки пучка Гиса	88
7	Ишемическая болезнь сердца	89
7.1	Общие сведения	89
7.2	Стабильная стенокардия	90
7.2.1	Симптомы	91
7.2.2	Диагностика	93
7.3	Атипичные формы стенокардии	95
7.3.1	Стенокардия Принцметала	95
7.3.2	Гипертрофия левого желудочка	95
7.3.3	«Немая» ишемия миокарда	96
7.4	Острый коронарный синдром	97

7.4.1	Нестабильная стенокардия	97
7.4.2	Инфаркт миокарда без подъема сегмента ST	98
7.4.3	Инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST	103
7.4.4	Инфаркт миокарда передней стенки	111
7.4.5	Инфаркт миокарда задней (нижней) стенки	119
7.4.6	Инфаркт миокарда истинной задней стенки	124
8	Электрокардиографическая проба с физической нагрузкой	125
8.1	Общие сведения	125
8.2	Показания и противопоказания	125
8.3	Осложнения	126
8.4	Методика	127
8.5	Изменения ЭКГ и их оценка	128
8.5.1	Непатологические изменения при ЭКГ-пробе с физической нагрузкой	128
8.5.2	Патологические изменения при ЭКГ-пробе с физической нагрузкой	129
8.6	Динамика артериального давления при физической нагрузке	132
8.7	Трудности интерпретации ЭКГ при пробе с физической нагрузкой	132
9	Мониторирование электрокардиограммы	138
9.1	Общие сведения	138
9.2	Методика	138
9.3	Показания	139
9.4	Расшифровка ЭКГ	140
10	Перикардит	143
11	Миокардит	148
12	Хроническое легочное сердце	151
13	Тромбоэмболия легочной артерии (острое легочное сердце)	154
14	Синдром Вольфа–Паркинсона–Уайта	158
14.1	Патофизиология	159
14.2	Симптомы	159
14.3	Диагностика	160

14.4	Классификация	160
14.4.1	Тип А синдрома WPW	161
14.4.2	Тип В синдрома WPW	161
14.5	Нарушения ритма при синдроме WPW	161
14.5.1	АВ-узловая пароксизмальная тахикардия (наджелудочковая тахикардия)	161
14.5.2	Мерцание предсердий	165
14.6	Лечение	166
15	Гипокалиемия	167
16	Синдром удлинённого интервала QT	170
16.1	Врожденный синдром удлинённого интервала QT	170
16.2	Приобретенный синдром удлинённого интервала QT ...	172
17	Нарушения ритма сердца	174
17.1	Общие сведения	174
17.2	Электрофизиологическое исследование	177
17.3	Катетерная абляция	178
17.4	Предсердная экстрасистолия	179
17.5	Мерцание предсердий	182
17.6	Трепетание предсердий	188
17.7	Реципрокная АВ-узловая тахикардия (наджелудочковая тахикардия)	190
17.8	Желудочковая экстрасистолия	193
17.9	Желудочковая тахикардия	200
17.10	Пируэтная тахикардия (тахикардия типа torsade de pointes)	206
17.11	Трепетание и фибрилляция (мерцание) желудочков	207
17.12	Атриовентрикулярная блокада	211
17.12.1	АВ-блокада I степени	211
17.12.2	АВ-блокада II степени	211
17.12.3	АВ-блокада III степени (полная АВ-блокада)	214
17.13	Синоатриальная блокада	215
17.13.1	СА-блокада I степени	218
17.13.2	СА-блокада II степени	218
17.13.3	СА-блокада III степени (полная СА-блокада)	218
17.14	Антиаритмическая терапия и изменения ЭКГ	220
18	ЭКГ при имплантированном электрокардиостимуляторе	224
18.1	Общие сведения	224

18.2	Однокамерная желудочковая стимуляция «по требованию» (VVI)	225
18.3	Двухкамерная стимуляция (DDD)	230
18.4	Другие системы электрокардиостимуляции	233
18.4.1	Электрокардиостимуляция в асинхронном режиме (VOO) с фиксированной частотой	233
18.4.2	Предсердная стимуляция «по требованию» (AAI)	233
18.4.3	Частотно-адаптивная электрокардиостимуляция (VVI-R, AAI-R, DDD-R)	233
18.4.4	Бивентрикулярная электрокардиостимуляция (ресинхронизация)	233
19	Имплантируемый кардиовертер/дефибриллятор	235
	Алфавитный указатель	238

1 Введение

Последние годы ознаменовались быстрым развитием кардиологии в области как диагностики, так и лечения сердечно-сосудистых заболеваний. При этом электрокардиография, как и прежде, остается простым, но важным методом исследования.

История клинической электрокардиографии начинается с 1906 г., когда голландский физиолог Виллем Эйнтховен при помощи сконструированного им струнного гальванометра зарегистрировал у больного с патологией сердца первую ЭКГ. Тем самым Эйнтховен стал основателем современной электрокардиографии; за это достижение ему в 1924 г. была присвоена Нобелевская премия в области медицины.

Со времени гениального труда Эйнтховена объем знаний в области электрокардиографии в результате многочисленных экспериментов на животных и клинических исследований колоссально возрос. Современная электрокардиография ориентирована на новые методы прямой и инвазивной регистрации, которые убедительно доказали ее надежность и ценность.

Электрокардиография – незаменимый метод диагностики сердечных заболеваний, широкому распространению которого во всем мире способствовали следующие 3 ее особенности:

- Снять ЭКГ легко и просто. Ее можно регистрировать в любое время и так часто, насколько это необходимо. Исследование необременительно для пациента и может быть выполнено как в амбулаторных условиях, так и в стационаре.
- Регистрация ЭКГ не требует больших расходов, многочисленного персонала и специальных знаний.
- Электрокардиография отличается большими диагностическими возможностями и высокой информативностью.

ЭКГ представляет собой зарегистрированную кривую электрического тока в сердце, отражающую особенности распространения возбуждения по предсердиям и желудочкам. Сам метод регистрации этой кривой называется электрокардиографией.

Для изучения электрокардиографии необходимо сначала ознакомиться с нормальной ЭКГ. Поэтому в настоящей книге мы сначала приводим подробное и доступное описание нормальной ЭКГ и алгоритм ее распознавания. Только после того как читатель научится правильно интерпретировать нормальную ЭКГ, можно будет начать изучение патологических отклонений электрической кривой сердца, регистрируемой при помощи электрокардиографии.

ЭКГ позволяет диагностировать различные заболевания сердца и патологические изменения в нем, которые можно отнести к одной из следующих трех категорий:

- Во-первых, это изменения, укладываемые в понятие «острый коронарный синдром» (ОКС) и имеющие важное клиническое значение. В особенно важной главе по инфаркту миокарда (ИМ) выделен раздел, посвященный ИМ с подъемом сегмента ST (ИМпST) и ИМ без подъема сегмента ST (ИМбпST). В настоящее время в индустриальных странах ИМ является наиболее частой причиной смерти. Прогноз при этом заболевании во многом зависит от того, насколько быстро и точно поставлен диагноз. По ЭКГ ИМ можно диагностировать очень рано и с большой точностью.
- Вторая категория изменений, регистрируемых при помощи электрокардиографии, относится к нарушениям ритма сердца. Электрокардиография за весь период своего существования оказалась лучшим методом диагностики сердечных аритмий. Значение этих нарушений в повседневной практике врача в последние годы значительно возросло, что связано, прежде всего, с тем, что сейчас в связи с возможностью точной диагностики аритмий появились многочисленные новые методы лечения, например методы абляции, в том числе электрической, основанные на катетерных технологиях. Следует отметить также, что точная оценка водителей ритма без знания электрокардиографии невозможна.
- К третьей категории изменений относится гипертрофия одного или обоих желудочков. Признаки гипертрофии на ЭКГ появляются у больных с клапанной недостаточностью сердца и сердечными заболеваниями без нарушения функции клапанов, например, при артериальной гипертензии (АГ), легочном сердце и кардиомиопатии.

Некоторые электрокардиографические феномены, такие как блокады правой и левой ножек пучка Гиса (ПГ), синдром удлиненного интервала QT, синдром WPW, а также синдром Лауна–Ганонга–Левина (LGL), можно диагностировать только при помощи электрокардиографии. Кроме того, ЭКГ дает ценную диагностическую информацию и при многих внутренних болезнях, например при тромбозе легочной артерии (ТЭЛА), перикардите, миокардите, хроническом легочном сердце, гипер- и гипокалиемии и гипер- и гипокальциемии.

С одной стороны, удивительно, что столь старый и простой метод, каким является электрокардиография, сегодня дает столь богатые диагностические возможности и широко применяется в диагностике. А с другой стороны, важно, чтобы врачи интерпретировали ЭКГ правильно, так как неучтенные изменения или их завышенная оценка могут нанести непоправимый вред больному.

2 Основы электрокардиографии

2.1 Возбудимость и проводящая система сердца

Коротко о важном



- В норме возбуждение генерируется в синусовом узле. Под действием этих импульсов сердце сокращается с частотой 60–80 мин⁻¹.
- Возбуждение из синусового узла достигает сначала атриовентрикулярного (АВ) узла, затем, спустя непродолжительное время, распространяется по ПГ, его правой и левой ножкам, называемым также правой и левой ножками пучка Тавары, и далее по волокнам Пуркинью, вызывая сокращение миокарда желудочков сердца (систола желудочков).
- Если генерация возбуждения в синусовом узле нарушается, электрический импульс может генерироваться в АВ-узле или на уровне желудочков. В этом случае сердце сокращается реже, с частотой примерно 40–20 мин⁻¹.

Миокард представлен двумя типами мышечной ткани. Один тип – рабочий миокард, другой – специализированный. **Рабочий миокард** обеспечивает собственно сокращения сердца, его насосную функцию.

Функции **специализированного миокарда**:

- обеспечение ритмической автоматической генерации возбуждения (**автоматизм**);
- проведение этого возбуждения.

Специализированный миокард состоит из **центра автоматизма**, генерирующего возбуждение, и **проводящей системы** (рис. 2.1). В норме центром автоматизма является синусовый узел. Проводящая система охватывает предсердные проводящие пучки, АВ-узел, ПГ, правую и левую его ножки (или левый и правый пучки Тавары) и волокна Пуркинью.

2.1.1 Синусовый узел (узел Кис–Флака)

Синусовый узел располагается в стенке правого предсердия (ПП) между устьем верхней полой вены и ушком ПП, функционирует автономно и является **центром автоматизма первого порядка**. Возбуждение в норме генерируется в этом узле, и сердце здорового взрослого человека сокращается с частотой примерно 60–80 мин⁻¹. Возбуждение из синусового узла распространяется, с одной стороны, в левое предсердие (ЛП), с другой – по трем предсердным проводящим пучкам – в АВ-узел.

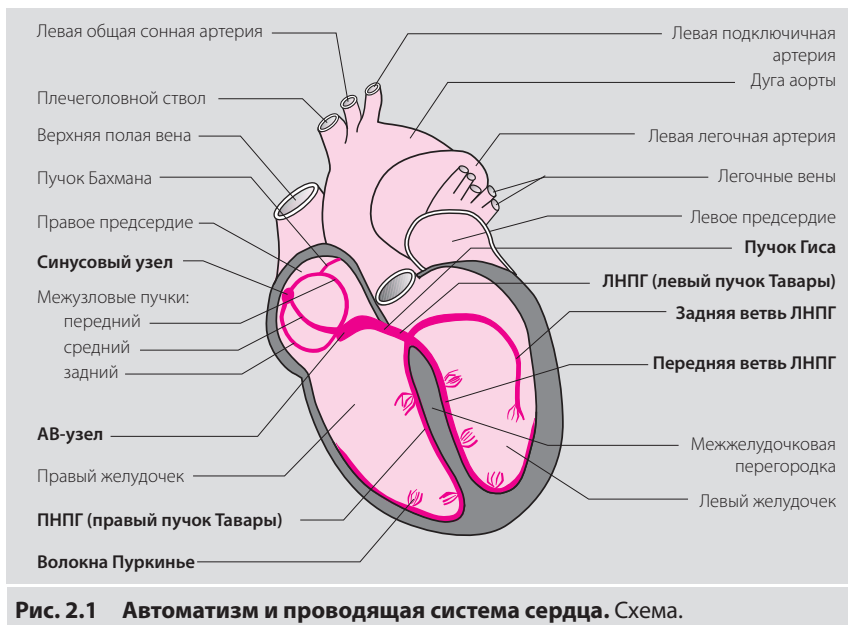


Рис. 2.1 Автоматизм и проводящая система сердца. Схема.

2.1.2 Атриовентрикулярный узел (узел Ашоффа–Тавары)

АВ-узлу присущи две важные функции. Одна из них состоит в задержке поступающего в него импульса возбуждения и дальнейшем проведении. Вторая функция заключается в генерировании возбуждения в случае, если функция автоматизма синусового узла оказывается по тем или иным причинам утраченной. В этом случае АВ-узел выполняет роль **центра автоматизма второго порядка**, но сердце под влиянием генерируемых им импульсов сокращается с меньшей частотой, равной примерно $40\text{--}60\text{ мин}^{-1}$.

2.1.3 Пучок Гиса

Возбуждение из АВ-узла проводится в ПГ и далее в каудальном направлении. ПГ в норме является единственной мышечной структурой, которая связывает предсердия с желудочками.

2.1.4 Правая и левая ножки пучка Гиса

В стенке желудочков сердца проходят два проводящих пути – ЛНПГ и ПНПГ, или правый и левый пучки Тавары. Вскоре после начала ПГ от него

отходит ЛН, которая в свою очередь разветвляется на переднюю и заднюю ветви, а затем ПН.

ЛНПГ (вместе с передней и задней его ветвями) располагается в левом желудочке (ЛЖ), а ПНПГ – в правом желудочке (ПЖ). Обе ножки ПГ следуют разобщенно, но вначале в направлении верхушки сердца, и затем разветвляются на тонкую сеть волокон Пуркинье, расположенную в субэндокардиальном слое желудочковой стенки.

В норме возбуждение, как уже говорилось ранее, генерируется в синусовом узле. Отсюда оно проводится в АВ-узел, ПГ, его левую и правую ножки и, наконец, достигает волокон Пуркинье. Это вызывает сокращение сердца, которое называется **систолой**.

Если процесс генерирования возбуждения в синусовом (**центр автоматизма первого порядка**) и АВ-узле нарушается, желудочки сердца все же сохраняют способность генерировать возбуждение за счет так называемых **центров автоматизма третьего порядка**. В этом случае желудочки сердца сокращаются с частотой, примерно равной только 20–40 мин⁻¹. Возникает опасность развития острой сердечной недостаточности, связанной с возможностью развития угрожающих жизни аритмий – желудочковой тахикардии, фибрилляции желудочков и асистолии.

2.2 Электрофизиологические основы ЭКГ

Коротко о важном



- В покое каждое волокно сердечной мышцы находится в поляризованном состоянии. Мембранный потенциал покоя при этом равен примерно –90 мВ. При возбуждении сердечной мышцы возникает потенциал действия, равный примерно 120 мВ и связанный с обменным током ионов натрия и калия.
- При помощи биполярного электрода можно зарегистрировать на полоске миокарда деполяризацию (возбуждение) и реполяризацию (исчезновение возбуждения).
- В фазу абсолютной рефрактерности, наступающей после потенциала действия, сердце утрачивает способность реагировать на раздражения.

2.2.1 Монофазный потенциал действия

Каждое волокно сердечной мышцы в покое находится в поляризованном состоянии. В этом состоянии между внутриклеточным (отрицательно заряженным) и внеклеточным (положительно заряженным) пространством поддерживается разность потенциалов. Этот так называемый **мембранный потенциал** составляет –90 мВ. Во внутриклеточном пространстве находят-

Таблица 2.1 Соответствие между потенциалом действия и ЭКГ

Фаза потенциала действия	Соответствие зубцам и интервалам ЭКГ
0	Комплекс QRS
1	Точка J (окончание комплекса QRS)
2	Сегмент ST
3	Зубец T
4	Изоэлектрическая линия

ся преимущественно ионы калия, а во внеклеточном – ионы натрия. В покое на клеточной мембране в результате селективной ионной проницаемости между натриевым и калиевым током устанавливается динамическое равновесие.

Входящий натриевый ток

При возбуждении волокон сердечной мышцы возникает **потенциал действия**, обусловленный обменным током ионов натрия и калия через клеточную мембрану. В этом монофазном потенциале действия условно выделяют 5 фаз: от нулевой до четвертой (0–4) (рис. 2.2, табл. 2.1).

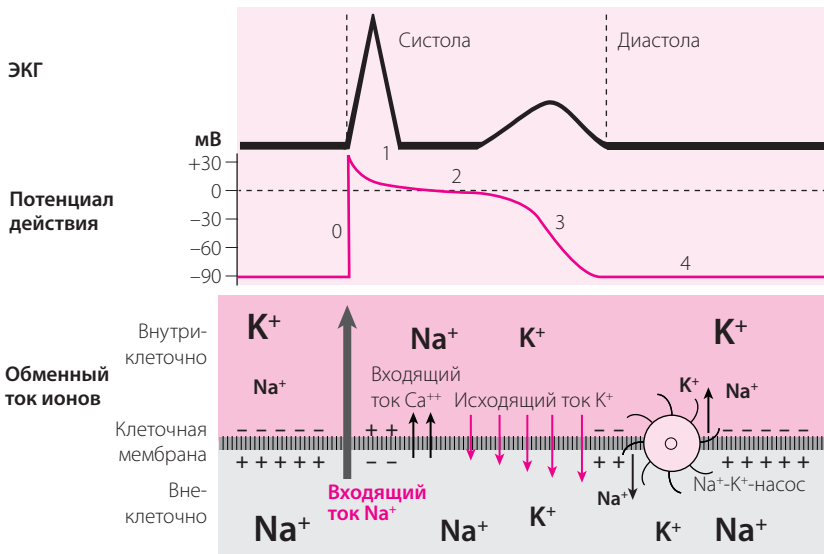


Рис. 2.2 Потенциал действия и обменный ионный ток через мембрану волокна миокарда.

С началом возбуждения (**деполяризации**) происходит быстрый массивный ток ионов натрия из внеклеточного пространства в клетку. На кривой потенциала действия при этом появляется почти вертикальная линия. Деполяризация длится совсем недолго, только несколько миллисекунд, и соответствует фазе 0. Массивный входящий натриевый ток вызывает не только деполяризацию клеточной мембраны, но и приводит к ее гиперполяризации (овершут) примерно на 30 мВ. Потенциал покоя и потенциал гиперполяризации в сумме по абсолютному значению составляют примерно 120 мВ. Эта нулевая фаза (фаза 0) соответствует примерно комплексу QRS на ЭКГ. При быстром и очень массивном натриевом токе комплекс QRS бывает узким и высоким.

Входящий кальциевый ток

После фазы гиперполяризации следует фаза восстановления возбудимости (фаза **реполяризации**). Она начинается с крутого спуска, соответствующего быстрой реполяризации (фаза 1), и следующего за ним пологого спуска кривой, соответствующего медленной реполяризации (фаза 2). В фазе 2 на кривой появляется плато, соответствующее нулевому мембранному потенциалу (0 мВ). Фаза 1 соответствует точке J на ЭКГ, а фаза 2 – примерно сегменту ST.

За быстрым и мощным входящим натриевым током следует медленный и слабый входящий кальциевый ток, который играет важную роль в сокращении мышечного волокна, так как только с его помощью макроэргические фосфаты способны вызвать сокращение мышечного волокна. Этот процесс известен как **электромеханическое сопряжение**.

Выходящий калиевый ток

В фазу быстрой реполяризации (фаза 2) во внеклеточное пространство из клетки начинают выходить все больше ионов калия. Фаза 3 соответствует зубцу T ЭКГ.

Выходящий калиевый ток достигает максимума в конце сокращения мышечного волокна. Таким образом, **электрическая систола** состоит из деполяризации и реполяризации. Она обычно длится примерно 300 мс, но ее длительность зависит от частоты сердечных сокращений (ЧСС).

Во время диастолы ионы калия подвергаются активному обратному транспорту во внутриклеточное пространство, в то время как ионы натрия выводятся во внеклеточное пространство. Эту активную систему транспорта ионов можно представить как вращающуюся дверь, благодаря которой во время диастолы вновь восстанавливается поляризация клеточной мем-

браны покоящегося мышечного волокна. Фаза 4 соответствует изоэлектрической линии ЭКГ, т.е. состоянию покоя.

2.2.2 Двухфазный потенциал действия

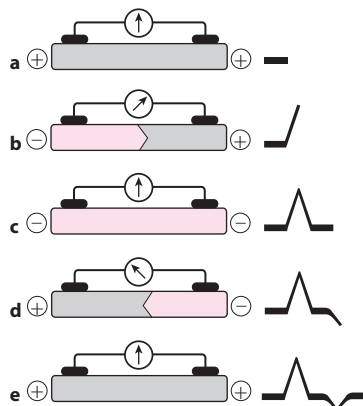
При помощи биполярного электрода на полоске сердечной мышцы можно зарегистрировать **деполяризацию** (начало возбуждения и его распространение) и **реполяризацию** (восстановление возбудимости), а при помощи гальванометра – измерить потенциал действия (рис. 2.3).

Вначале в состоянии покоя на полоске миокарда разность потенциалов отсутствует. Стрелка гальванометра устанавливается на нулевом делении (рис. 2.3а). Если нанести на левый конец полоски миокарда электрическое, механическое или термическое раздражение, т.е. вызвать деполяризацию, то эта часть миокардиальной полоски по отношению к части ее, находящейся в покое, зарядится отрицательно. Возникнет разность потенциалов. Стрелка гальванометра отклонится (рис. 2.3б). Эту разность потенциалов можно зарегистрировать и в виде вектора. Вектор всегда направлен от отрицательно заряженной ткани к положительно заряженной. Когда возбуждение достигнет правого конца полоски миокарда, деполяризация завершается, и разность потенциалов исчезает. Стрелка гальванометра вновь устанавливается на нулевом делении (рис. 2.3с).

К началу реполяризации правый конец полоски миокарда по сравнению с левым заряжен еще отрицательно, поэтому вновь возникает разность потенциалов, но уже направленная в обратную сторону. Стрелка гальванометра отклоняется в другую сторону (рис. 2.3д). Вектор возбуждения также принимает противоположное направление (отрицательный зубец Т). После завершения реполяризации разность потенциалов уже отсутствует, и стрелка гальванометра вновь устанавливается на нулевом делении (рис. 2.3е).

Рис. 2.3 Схематическое изображение двухфазного потенциала действия.

- а) до возбуждения
- б) начало деполяризации
- с) распространение деполяризации
- д) начало реполяризации
- е) окончание реполяризации



Фактически зубец Т ЭКГ у людей в левых прекардиальных отведениях (V_5 и V_6) положительный, т.е. зубцы R и T конкордантны. Это объясняется тем, что возбудившийся раньше субэндокардиальный (внутренний) слой вследствие высокого внутреннего давления остается еще в возбужденном состоянии (то есть заряжен отрицательно), в то время как возбуждение субэпикардиального (наружного) слоя уже завершилось, и он заряжен положительно. Вектор зубца Т направлен наружу и положителен.

2.2.3 Рефрактерный период

Абсолютное значение потенциала действия обычно равно 120 мВ и складывается из значения мембранного потенциала покоя -90 мВ и потенциала гиперполяризации $+30$ мВ. Потенциал действия в конце фазы 3 вновь снижается до -90 мВ. Затем в фазе 4 новое возбуждение вызывает следующий потенциал действия. Так происходит в норме.

Если новая волна возбуждения возникает преждевременно, в фазе 2, то потенциал действия не возникает. Пока мембранный потенциал не снизится до -50 мВ, сердечная мышца не реагирует на импульсы такой силы. Потенциал действия не возникает. Эту фазу называют **абсолютной рефрактерной фазой**.

При дальнейшем снижении потенциала действия до -60 мВ, внеочередной импульс может вызвать новый потенциал действия, однако этот низкоамплитудный потенциал действия не может вызвать мышечного сокращения. Этот короткий период называют **эффективной рефрактерной фазой**.

При дальнейшем снижении потенциала действия от уровня -60 мВ до -90 мВ внеочередной импульс может вызвать эффективный потенциал действия, т.е. привести к мышечному сокращению. В таком случае говорят об **относительной рефрактерной фазе**. Если внеочередной импульс воздействует на мышцу в конце относительной рефрактерной фазы, то возникает почти нормальный потенциал действия.

Рефрактерная фаза в разных частях миокарда выражена по-разному. Так, в АВ-узле она очень длинная. Благодаря этой своей особенности АВ-узел препятствует одновременному сокращению предсердий и желудочков. Если бы такой задержки не было, возбуждение предсердий должно было бы происходить быстрее, чем происходит в действительности.

Иногда вслед за рефрактерной фазой следует так называемая фаза **«сверхнормальной возбудимости»**. Эта фаза характеризуется повышенной возбудимостью, вследствие которой даже слабое раздражение может вызвать нарушение ритма сердца.

2.3 Измерение электрокардиографических показателей

Коротко о важном



- При всякой регистрации ЭКГ следует сначала зарегистрировать калибровочный сигнал. Он должен соответствовать 1 мВ (1 см).
- При измерении электрокардиографических показателей высоту зубцов в миллиметрах переводят в милливольты, а ширину – в секунды.
- Толщину изоэлектрической линии в значение показателя не включают.

Методика регистрации ЭКГ в настоящее время очень проста. В прошлом при помощи электрокардиографов была возможна только непрямая регистрация потенциалов сердца. Этот процесс был очень трудоемким, утомительным для больного и дорогостоящим. В результате технического усовершенствования метода с 1950-х годов стала возможной прямая регистрация; кривые, которые можно записать с его помощью, хотя и не отражают абсолютно точно электрическую активность сердца, тем не менее, могут применяться в клинике.

2.3.1 Калибровка

Перед регистрацией ЭКГ всегда необходимо записать калибровочный зубец. Аппарат настраивают таким образом, чтобы **1 см точно соответствовал 1 мВ**, в противном случае необходима коррекция по калибровочному зубцу. При анализе электрокардиографических показателей следует учитывать две величины: высоту или глубину зубцов и их ширину (рис. 2.4).

2.3.2 Скорость подачи бумажной ленты

Скорость подачи бумажной ленты в электрокардиографах в Германии обычно равна 50 мм/с (см. рис. 2.4), так как интерпретация кривой при меньшей скорости регистрации, например при 25 мм/с (которая обычно принята в США), затруднительна. Только в определенных случаях, например при диагностике нарушений ритма сердца, ЭКГ можно регистрировать со скоростью движения бумажной ленты 25 или 10 мм/с.

2.3.3 Измерение отдельных зубцов и интервалов

После регистрации калибровочного сигнала до появления кривой сердечного сокращения регистрируется прямая линия. Это так называемая **изоэлектрическая**, или **нулевая, линия** (см. с. 35). Если зубец направлен вверх, т.е. располагается над изоэлектрической линией, то он считается положительным. И, наоборот, зубец считается отрицательным, если он направлен вниз от изоэлектрической линии. Кроме того, ЭКГ-показатели, в частности

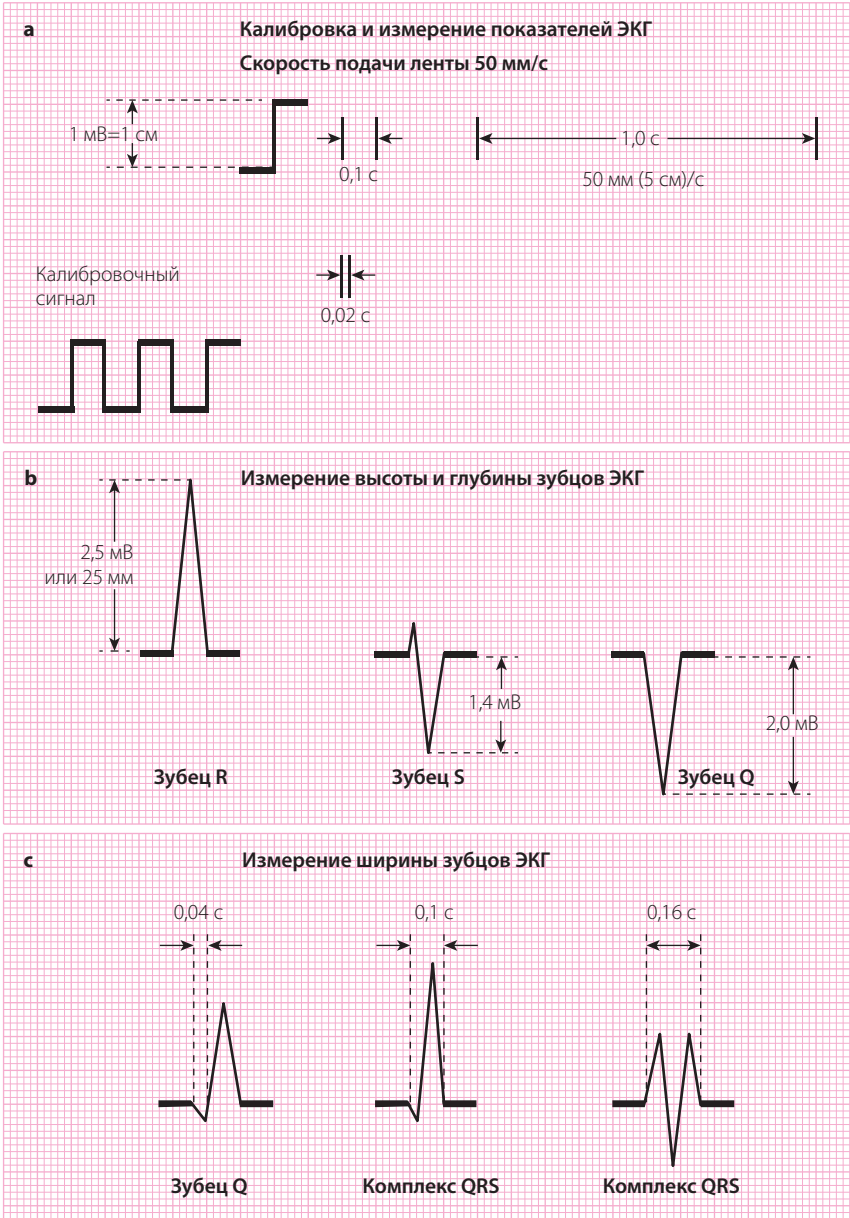


Рис. 2.4 Измерение электрокардиографических показателей.