

УЧЕБНОЕ
ПОСОБИЕ

Р.Е. Калинин, И.А. Сучков,
Н.Д. Мжаванадзе,
И.И. Шитов, В.О. Поваров

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯЦИИ



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений и условных обозначений	4
Введение	5
История электрокардиостимуляции	7
Проводящая система сердца	13
Виды электрокардиостимуляции	21
Показания к электрокардиостимуляции	31
Методика проведения электрокардиостимуляции	64
Осложнения электрокардиостимуляции	78
Заключение	100
Тестовые задания	101
Рекомендуемая литература	104
Предметный указатель	106

ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА

Проводящая система сердца — комплекс сложных высокоспециализированных нейромышечных образований, способных к самостоятельной генерации электрических импульсов и осуществляющих координацию деятельности миокарда. Знание особенностей морфологии и физиологии проводящей системы — это ключ к глубокому пониманию всех связанных с ней патологических процессов и разработке наиболее эффективных методов противодействия последним.

Эмбриогенез проводящей системы сердца

На сегодняшний день существует три основных гипотезы развития проводящей системы сердца — концепция колец, концепция рекрутирования и концепция ранней спецификации.

Концепция колец — классическая, признанная большинством исследователей гипотеза формирования проводящей системы. Считается, что клетки определенных областей сердца делятся и развиваются медленнее остальных. В результате скопления этих клеток формируют сужения в виде колец на сердечной трубке, где затем будут располагаться компоненты проводящей системы (рис. 9).

Концепция рекрутирования подразумевает изначальное существование каркаса проводящей системы в развивающемся сердце. Клетки миокарда рядом с каркасом меняют свою структуру и функцию, становясь элементами проводящей системы (рис. 9).

Согласно **концепции ранней спецификации**, по сути, представляющей комбинацию описанных выше гипотез, разные клетки миокарда с самого начала развития сердца запрограммированы на экспрессию определенных генов. Исходя из этого происходит дифференцировка клеток на составляющие проводящей системы и рабочий миокард.

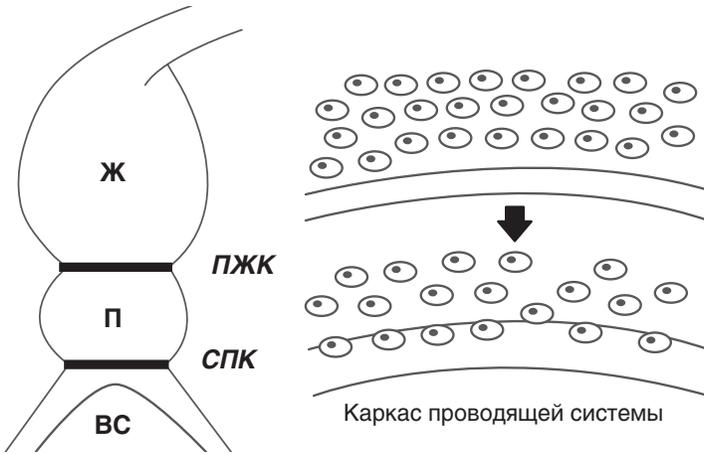


Рис. 9. Концепция колец, сердечная трубка (слева). Концепция рекрутирования, клетки миокарда преобразуются в проводящие кардиомиоциты рядом с каркасом проводящей системы (справа). ВС — венозный синус, П — предсердия, Ж — желудочки, ПЖК — предсердно-желудочковое кольцо, СПК — синусно-предсердное кольцо

Анатомия проводящей системы сердца

Синусно-предсердный узел

Синусно-предсердный узел (лат. *nodus sinuatrialis*, узел Кисса—Флека, СПУ) является первым звеном проводящей системы сердца. СПУ имеет веретенообразную форму, длину 8–26 мм, ширину 4–13 мм, толщину 1–3 мм и располагается под эпикардом правого предсердия между устьем верхней полой вены и правым ушком в верхней части разделяющей эти образования пограничной борозды (рис. 10, см. цв. вклейку). В 10% случаев СПУ подковообразно охватывает кавопредсердное соединение и гребень правого ушка.

Кровоснабжение узла происходит посредством одноименной артерии. Существует несколько морфологических вариантов артерии СПУ. Преимущественно она берет начало от правой коронарной артерии в проксимальном ее отделе до отхождения правой краевой ветви (ветви острого края). В дальнейшем артерия СПУ обходит устье верхней полой вены с левой или правой стороны либо образует вокруг него кольцевидный анастомоз. Иногда артерия ответвляется после отхождения правой краевой ветви и следует по заднебоковой поверхности правого предсердия непосредственно в сторону узла.

В меньшем количестве случаев артерия СПУ отходит в проксимальном или дистальном участке огибающей ветви левой коронарной артерии, следуя между предсердиями или обходя крышу левого предсердия соответственно.

Межузловые пути

Межузловые пути (тракты) проводящей системы сердца всегда являлись объектом дискуссии среди ученых.

Классически существовало представление о трех трактах — **переднем** (Бахмана), **среднем** (Венкебаха) и **заднем** (Тореля). Передний тракт в верхней части межпредсердной перегородки делится на ветви, следующие к предсердно-желудочковому узлу (рис. 11, см. цв. вклейку) и к левому предсердию.

Результаты многих современных исследований опровергают наличие специализированных проводящих путей в правом предсердии. Не обнаружено однозначных данных о каких-либо морфологических и гистохимических отличиях клеток миокарда правого предсердия, за исключением непосредственно клеток синусно-предсердного и предсердно-желудочковых узлов. Возможно, часть рабочих кардиомиоцитов имеет особые электрофизиологические свойства, что позволяет им передавать импульс между узлами проводящей системы.

Предсердно-желудочковый узел

Для понимания расположения **предсердно-желудочкового узла** (лат. *nodus atrioventricularis*, узел Ашоффа–Тавара, ПЖУ) следует рассмотреть важное с хирургической точки зрения образование в правом предсердии — **треугольник Коха**.

Основанием треугольника Коха служит устье коронарного синуса, сторонами — основание септальной створки трехстворчатого клапана и сухожилие Тодаро. Сухожилие Тодаро — соединившиеся волокна клапанов нижней поллой вены (евстахиев клапан) и коронарного синуса (тебезиев клапан), следующие к мембранозной перегородке (рис. 12, см. цв. вклейку). Иногда вместо сухожилия Тодаро за одну из стенок треугольника Коха принимается нижний край овальной ямки правого предсердия.

ПЖУ в хирургии проецируют на нижнюю часть ближе к вершине треугольника Коха и к основанию септальной створки трехстворчатого клапана. Точное же морфологическое расположение ПЖУ — **задний верхний отросток левого желудочка** (рис. 13, см. цв. вклейку), задняя и

нижняя часть нижней стенки левого желудочка, направляющаяся к плоскости трехстворчатого клапана. Длина ПЖУ 3–15 мм, ширина 1–7 мм, толщина 0,5–2 мм.

Кровоснабжается узел артерией ПЖУ, исходящей из правой коронарной артерии или, реже, из огибающей ветви левой коронарной артерии.

Предсердно-желудочковый пучок

ПЖУ продолжается в предсердно-желудочковый пучок (лат. *fasciculus atrioventricularis*, пучок Гиса, ПЖП). ПЖП следует к нижнему краю мембранозной части межжелудочковой перегородки, прободая последнюю, идет вдоль границы мембранозной и мышечной частей и делится на две ветви на уровне некоронарного синуса аорты. Соответственно выделяют пенетрирующую и ветвящуюся части ПЖП.

Ветви предсердно-желудочкового пучка

Ветвящаяся часть ПЖП делится на две основные ветви — правую и левую (лат. *crus dextrum*, *crus sinistrum*, правая ножка пучка Гиса, левая ножка пучка Гиса, рис. 14, см. цв. вклейку).

Левая основная ветвь вступает в миокард левого желудочка в мышечной части межжелудочковой перегородки и практически сразу разделяется на переднюю и заднюю ветви. Эти ветви идут в направлении передней и задней сосочковых мышц и заканчиваются в миокарде волокнами Пуркинье.

В структуре **правой основной ветви** выделяют три сегмента, располагающиеся вдоль трабекул (мышечных пучков) правого желудочка. Первый сегмент входит в миокард правого желудочка и направляется к основанию верхней сосочковой мышцы, второй следует вдоль септального пучка, третий — вдоль модераторного пучка к передней сосочковой мышце, где заканчивается волокнами Пуркинье (рис. 15, см. цв. вклейку).

Физиология проводящей системы сердца

Основными клетками миокарда являются кардиомиоциты. Существует три вида кардиомиоцитов — сократительные, проводящие и секреторные.

Сократительные (рабочие) кардиомиоциты образуют основную часть миокарда и способствуют сердечным сокращениям.

Проводящие кардиомиоциты — основные клетки проводящей системы сердца. Генерируют и проводят импульс к сократительным кардиомиоцитам. Пейсмейкерные (пейсмейкеры, синусные, Р-клетки), переходные, проводящие (Т-клетки) и клетки Пуркинье — разновидности проводящих кардиомиоцитов.

Секреторные (эндокринные) кардиомиоциты располагаются преимущественно в миокарде ушек предсердий и секретируют предсердный натрийуретический пептид, регулирующий обмен натрия в организме.

В аритмологии важно иметь представление о функционировании проводящих и сократительных кардиомиоцитов и их взаимодействии с физиологической точки зрения.

Физиология проводящих кардиомиоцитов

Пейсмейкерным клеткам проводящей системы сердца присуща уникальная функция автоматизма — способность к генерации электрического импульса при отсутствии внешних раздражителей.

Пейсмейкерные клетки могут быть обнаружены в СПУ, ПЖУ, ПЖП и волокнах Пуркинье. Для реализации своей функции им необходимы три иона — калия (K^+), натрия (Na^+) и кальция (Ca^{2+}). Мембрана пейсмейкерного кардиомиоцита проницаема преимущественно для K^+ , который по градиенту концентрации стремится выйти из клетки. Оставшиеся в клетке отрицательно заряженные молекулы белков обуславливают общий отрицательный заряд, в связи с чем минимальные значения мембранного потенциала находятся в пределах $-60... -70$ Мв.

Ионные каналы Na^+ пейсмейкеров всегда находятся в открытом состоянии. По градиенту концентрации Na^+ проникает внутрь клетки, повышая значение мембранного потенциала. Этот процесс называется медленной диастолической деполяризацией (фаза 4, рис. 16, см. цв. вклейку).

Как только мембранный потенциал достигает значений $-40... -50$ Мв, открываются потенциал-зависимые ионные каналы Ca^{2+} . Поступление Ca^{2+} в кардиомиоциты с большей скоростью повышает мембранный потенциал, реализуется потенциал действия пейсмейкера (рис. 17, см. цв. вклейку).

На уровне $+10$ мВ потенциал-зависимые каналы Ca^{2+} закрываются и открываются потенциал-зависимые каналы K^+ . K^+ по градиенту концентрации стремится из клетки наружу, снижая мембранный потенциал до исходных $-60... -70$ Мв. Потенциал-зависимые каналы K^+ закрываются, завершая процесс реполяризации клетки (рис. 18, см. цв. вклейку).

Цикл «медленная диастолическая деполяризация — потенциал действия — реполяризация» замыкается; понятия «потенциал покоя» для пейсмейкеров не существует.

Восстановление концентрации ионов в пейсмейкерном кардиомиоците происходит при помощи ионных насосов (рис. 19, см. цв. вклейку).

$\text{Na}^+ - \text{K}^+$ насос, используя энергию аденозинтрифосфата, выводит три иона Na^+ из клетки в обмен на два иона K^+ . Так восстанавливается концентрация Na^+ и K^+ .

Ca^{2+} выводится из клетки двумя насосами: один из них использует энергию аденозинтрифосфата, второй — обменивает три иона Na^+ на Ca^{2+} .

Физиология сократительных кардиомиоцитов

Сократительные кардиомиоциты не способны к автоматизму, но активно возбуждаются проводящими кардиомиоцитами. Их работа также связана с ионами K^+ , Na^+ и Ca^{2+} .

Невозбужденные сократительные кардиомиоциты обладают потенциалом покоя. Большая проницаемость для ионов K^+ по сравнению с остальными ионами обеспечивает отрицательный мембранный потенциал $-80 \dots -90$ мВ (фаза 4, рис. 20, см. цв. вклейку).

Передача стимула на кардиомиоцит происходит путем перехода Na^+ и Ca^{2+} от возбужденной клетки к невозбужденной через щелевидные соединения. Это повышает мембранный потенциал до -70 мВ, что приводит к открытию множества потенциал-зависимых каналов для Na^+ , наступает фаза быстрой деполяризации (фаза 0, рис. 21, см. цв. вклейку).

При значении мембранного потенциала $+20 \dots +30$ мВ потенциал-зависимые Na^+ -каналы закрываются и открываются потенциал-зависимые K^+ -каналы. Это фаза быстрой начальной реполяризации (фаза 1, рис. 22, см. цв. вклейку).

Постепенное открытие Ca^{2+} -каналов клеточной мембраны и саркоплазматического ретикулума тормозит реполяризацию. K^+ и Ca^{2+} «конкурируют» в своих попытках изменить мембранный потенциал, в связи с чем последний находится на изолинии и обуславливает фазу медленной реполяризации (плато, фаза 2, рис. 23, см. цв. вклейку).

Со временем Ca^{2+} -каналы закрываются, ток K^+ из клетки начинает преобладать, а мембранный потенциал стремится к исходным значениям. Фаза быстрой конечной реполяризации (фаза 3, рис. 24, см. цв. вклейку) переходит в потенциал покоя.

Восстановление концентрации ионов происходит аналогично проводящим кардиомиоцитам. В саркоплазматический ретикулум Ca^{2+} возвращается при помощи аденозинтрифосфат-насоса (рис. 25, см. цв. вклейку).

Взаимодействие кардиомиоцитов

Проводящие кардиомиоциты генерируют электрический импульс, но практически не способны к сокращению. Сократительные кардиомиоциты обладают противоположными свойствами. Для эффективной работы сердца у здорового человека происходит активное взаимодействие этих видов кардиомиоцитов.

Взаимодействие кардиомиоцитов возможно благодаря наличию между ними щелевидных соединений, за счет которых миокард формирует целостный функциональный синцитий. Когда пейсмейкерная клетка автоматически возбуждается, через щелевидные соединения ионы Ca^{2+} перемещаются в соседние проводящие кардиомиоциты, ускоряя их возбуждение. Переходя от клетки к клетке, импульс доходит до сократительного кардиомиоцита (рис. 26, см. цв. вклейку).

Сократительные кардиомиоциты выполняют две функции: во-первых, непосредственно сокращаются, во-вторых, передают волну возбуждения на соседние клетки рабочего миокарда. В данном случае, кроме ионов Ca^{2+} , через щелевидные соединения проходят и ионы Na^+ . Проводящие кардиомиоциты возбуждаются и проводят электрический импульс значительно быстрее сократительных.

В здоровом сердце генерация импульса происходит в СПУ. Так как пейсмейкерные клетки встречаются не только в СПУ, другие элементы проводящей системы тоже способны к автоматизму. Если СПУ активен, пришедшая волна возбуждения подавляет автоматизм остальных отделов. Конкуренции за ритм не происходит из-за меньшей проницаемости для ионов Na^+ и соответственно более продолжительной фазы медленной диастолической деполяризации ПЖУ, ПЖП и волокон Пуркинью.

Существует понятие физиологической задержки импульса в ПЖУ, объясняющееся особенностями его строения. Гистологически узел делится на три слоя. Проксимальный слой — преддверие ПЖУ — состоит из переходных клеток, отделенных друг от друга прослойками коллагена. Второй слой — собственно ПЖУ (компактный ПЖУ) — содержит как переходные, так и пейсмейкерные клетки. Третий слой — дистальная часть ПЖУ, непосредственно переходящая в ПЖП. Коллагеновые волокна и трехслойное строение ПЖУ обуславливают замедление проведения и возбуждения составляющих его кардиомиоцитов. Кроме этого, в ПЖУ выделяют быстрые и медленные каналы проведения, что значимо при рассмотрении патогенеза и тактики интервенционного лечения ряда тахикардий.

Патологические изменения в анатомии и физиологии проводящей системы сердца приводят к возникновению различных нарушений ритма и проводимости, а также их комбинаций. Некоторые из

них корректируются консервативными методами, остальные — только оперативным вмешательством. Чтобы ориентироваться в проблеме электрокардиостимуляции, следует иметь представление о ее видах, показаниях и методике проведения имплантации ЭКС, а также потенциальных осложнениях этой процедуры.

Контрольные вопросы

1. Какие концепции развития проводящей системы сердца вы знаете?
2. Каково расположение СПУ?
3. Что такое треугольник Коха?
4. Сколько ветвей у ПЖП?
5. Какие виды кардиомиоцитов вы знаете?
6. Существует ли понятие потенциала покоя для проводящего кардиомиоцита?
7. Как взаимодействуют кардиомиоциты?
8. В чем различие распространения волны возбуждения между проводящими и сократительными кардиомиоцитами?

ВИДЫ ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯЦИИ

ЭКС — медицинское устройство, предназначенное для стимуляции предсердий и желудочков сердца посредством генерации электрических импульсов.

Материал ЭКС фармакологически инертен, нетоксичен, легко стерилизуется и способен функционировать во внутренней среде организма человека. Его корпус изготавливается из титана или титанового сплава, электросхема — из кремниевых полупроводников. Йодно-литиевая батарея рассчитана в среднем на 7–8 лет. Предпринимались попытки использовать другие виды батарей, но они оказались неэффективны. Микропроцессор осуществляет обработку детектируемых сигналов активности проводящей системы сердца и контролирует стимуляцию в заданном режиме. Кроме того, все нарушения ритма фиксируются в памяти стимулятора, а сам ЭКС способен менять режим стимуляции в ответ на эти нарушения.

Электроды состоят из металлического сплава и по периферии изолированы полимерными материалами, например полиуретаном. Неизолированным остается только конец электрода, где он контактирует с сердцем. Проксимальная часть электрода фиксируется в гнезде коннектора ЭКС.

Отдельно стоит упомянуть о существовании электродов для моноэлектродных желудочковых ЭКС с детекцией предсердной активности (VDD). Их проксимальный конец раздвоен и внедряется в два гнезда коннектора, при этом в самом сердце располагается одиночный проксимальный конец.

Виды электродов

По типу прикрепления к сердцу

- ▶ Эпикардиальные — располагаются непосредственно на сердце при открытом доступе. Возможно подшивание к миокарду, вкручивание или закрепление с помощью крючка (рис. 27, см. цв. вклейку).
- ▶ Эндокардиальные — размещаются внутри полости сердца при эндоваскулярном доступе.

По механизму фиксации (эндокардиальные электроды)

- ▶ С активной фиксацией — имеют встроенный механизм, позволяющий зафиксировать электрод в любом отделе сердца. Механизм представляет собой спираль, выдвигающуюся при вращении электрода вокруг своей оси либо, чаще, при использовании специального ключа (рис. 28).

- ▶ С пассивной фиксацией — на дистальном конце электрода располагаются «плавники» или «крючки», цепляющиеся за трабекулы в полости правого предсердия либо желудочка (рис. 29).

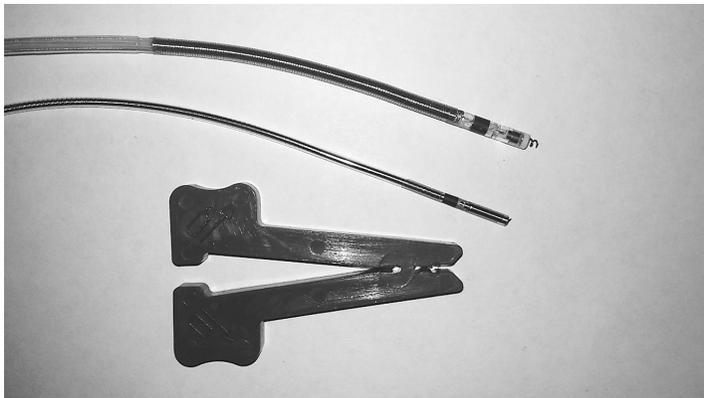


Рис. 28. Эндокардиальные электроды с активной фиксацией, сверху желудочковый электрод кардиовертера-дефибриллятора, снизу — предсердный электрод и ключ для активации механизма фиксации

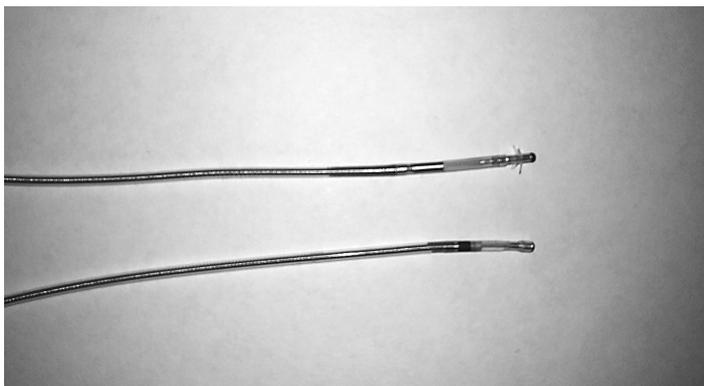


Рис. 29. Эндокардиальные электроды с пассивной фиксацией

По полярности

- ▶ Монополярные (униполярные) — дистальный конец электрода содержит катод, анод представляет собой сам ЭКС. Импульс из устройства по электроду поступает в стимулируемую камеру сердца к катоду, а к аноду возвращается по тканям организма пациента.

- ▶ Биполярные — дистальный конец содержит и катод, и анод, благодаря чему цепь замыкается на ограниченном участке электрода. Современные системы возможно переводить в стимуляцию в монополярном и биполярном режимах (рис. 30, см. цв. вклейку).
- ▶ Мультиполярные — в отличие от предыдущих способны стимулировать миокард из нескольких зон одновременно. Используются при сердечной ресинхронизирующей терапии для стимуляции левого желудочка.

Виды электрокардиостимуляторов

По продолжительности применения

- ▶ Временный — применяется в экстренных случаях, когда невозможно имплантировать постоянный ЭКС, либо при подготовке к его имплантации (рис. 31, см. цв. вклейку).
- ▶ Постоянный — применяется на длительные сроки по определенным показаниям.

По расположению

- ▶ Наружный (см. рис. 32) — ЭКС располагается снаружи тела пациента, а его электроды эпикардиально, эндокардиально или фиксируются к кожным покровам. Наружные ЭКС являются временными, постоянные наружные ЭКС представляют лишь историческую ценность.
- ▶ Существуют стационарные наружные ЭКС, применяющиеся для электрофизиологических исследований.
- ▶ Имплантируемый — располагаются в подкожной клетчатке или мышечной ткани пациента.



Рис. 32. Однокамерный (слева) и двухкамерный (справа) имплантируемые постоянные электрокардиостимуляторы

По количеству стимулируемых камер сердца

- ▶ Однокамерный — ЭКС, предназначенный для изолированной стимуляции предсердий или желудочков.
- ▶ Двухкамерный — ЭКС, предназначенный для стимуляции предсердий и желудочков одновременно (рис. 32).

Трехкамерные и четырехкамерные ЭКС называют устройствами для сердечной ресинхронизирующей терапии. Кроме этого, функцией ЭКС обладает большинство имплантируемых кардиовертеров-дефибрилляторов.

Разработаны безэлектродные ЭКС, но их применение пока не разрешено в Российской Федерации.

Режимы электрокардиостимуляторов

Современный ЭКС может работать в различных режимах, которые принято обозначать буквенным кодом, состоящим из 3–5 букв, согласно номенклатуре Североамериканского общества электрокардиостимуляции и электрофизиологии (North American Society of Pacing and Electrophysiology, NASPE) и Британской группы по электрокардиостимуляции и электрофизиологии (British Pacing and Electrophysiology Group, BPEG). Номенклатура разработана в 1987 г., пересмотрена в 2001 г. (табл. 1).

Таблица 1. Номенклатура режимов электрокардиостимуляции (NASPE и BPEG, 2001 г.)

Позиция в коде режима	I	II	III	IV	V
Категория	Стимулируемая камера	Воспринимаемая камера	Вид ответа на собственную активность	Наличие частотной адаптации	Мультизонная стимуляция
Значение букв в коде режима	0 — нет. A — предсердие. V — желудочек. D — обе камеры (A+V)	0 — нет. A — предсердие. V — желудочек. D — обе камеры (A+V)	0 — нет. T — триггер. I — подавление. D — обе функции (T+I)	0 — нет. R — частотная адаптация	0 — нет. A — предсердная. V — желудочковая. D — двойная функция (A+V)
Обозначение для производителя	S — однокамерная (A или V)	S — однокамерная (A или V)			

Примечание: NASPE (North American Society of Pacing and Electrophysiology) — Североамериканское общество электрокардиостимуляции и электрофизиологии; BPEG (British Pacing and Electrophysiology Group) — Британская группа по электрокардиостимуляции и электрофизиологии.

I буква кода — стимулируемая камера сердца. Показывает, какую камеру сердца — правые предсердие («А»), желудочек («V») или обе камеры («D» или «A+V») будут стимулироваться при применении данного режима ЭКС. При отсутствии стимуляции обозначается как «0».

II буква кода — воспринимаемая (детектируемая) камера сердца. Показывает, из какой камеры осуществляется детекция собственной проводящей системы сердца и рабочего миокарда соответствующего отдела. Может производиться из правых предсердия («А»), желудочка («V») или из обеих камер («D» или «A+V»). Отсутствие детекции обозначается символом «0».

III буква кода — вид ответа ЭКС на активность собственной проводящей системы сердца. «Т» — триггерная активность ЭКС. В этом случае устройство будет генерировать импульс в ответ на активность элементов проводящей системы сердца.

«I» — подавление (ингибирование) активности ЭКС. В этом случае генерация импульса будет подавлена активностью элементов проводящей системы сердца.

Устройство, обладающее обеими функциями, на III позиции буквенного кода обозначается как «D» или «T+I». Если ЭКС не осуществляет детекцию камер сердца и, соответственно, не может выдать определенный ответ на активность сердца, он обозначается символом «0» в III позиции буквенного кода.

IV буква кода — наличие частотной адаптации. ЭКС поддерживает работу сердца с заданной при программировании частотой. Обычно она составляет 60–70 ударов в минуту. Если активность собственной проводящей системы не способна превысить эти значения, то стимуляция от ЭКС у данного пациента будет постоянной.

В покое при фиксированной частоте 60 ударов в минуту пациент будет чувствовать себя удовлетворительно, тогда как при физической активности такой частоты сокращений сердца (ЧСС) будет недостаточно. В связи с этим была разработана функция частотной адаптации.

При использовании различных сенсоров, встроенных в ЭКС, — механических сотрясений, частоты дыхания/минутного объема дыхания, изменения температуры центральной венозной крови, предшествующего интервала QT, сопротивления тканей между кончиком электрода и корпусом стимулятора — или их комбинации возможно увеличение

частоты стимуляции, то есть адаптации частоты стимуляции под нужды организма пациента.

Наличие частотной адаптации обозначается как «R», отсутствие — «0», хотя последнее чаще не обозначается, таким образом, буквенный код оканчивается тремя первыми буквами.

V буква кода — мультизональная стимуляция. Отражает один из вариантов сердечной ресинхронизирующей терапии, когда миокард камеры сердца стимулируется из разных мест. Считается, что такая стимуляция способствует более физиологичному и скоординированному сокращению сердца. Мультизональная стимуляция может быть достигнута применением большего количества электродов либо при использовании специализированных мультиполярных электродов.

Самыми распространенными режимами, которые применяются при электрокардиостимуляции, являются режимы DDD(R), VVI(R) и AAI(R).

Режим VVI(R)

Однокамерный режим работы ЭКС, при котором стимулируется и воспринимается правый желудочек.

Если собственные стимулы достигают миокарда правого желудочка, то электрод будет детектировать работу проводящей системы (II — «V»), ответом ЭКС послужит ингибирование генерации импульса (III — «I»), искусственная стимуляция не производится (рис. 33, см. цв. вклейку).

Если собственные стимулы не достигают миокарда правого желудочка, то электрод будет детектировать отсутствие активности проводящей системы (II — «V»), ингибирования не произойдет, ЭКС сгенерирует искусственный импульс и направит его через электрод к миокарду (I — «V», рис. 34, см. цв. вклейку).

При электрокардиографии (ЭКГ) работа ЭКС будет отражаться артефактом в виде ровной вертикальной линии перед комплексом *QRS* (рис. 35).

Сам комплекс будет напоминать таковой при блокаде левой основной ветви ПЖП (пучка Гиса). Стимул в первую очередь подается на миокард правого желудочка, а затем поступает на миокард левого. При эпикардиальной стимуляции левого желудочка, наоборот, комплекс схож с тем, что наблюдается при блокаде правой основной ветви ПЖП.



Рис. 35. Работа электрокардиостимулятора в режиме VVI(R) при электрокардиографии

Режим AAI(R)

Однокамерный режим работы ЭКС, при котором стимулируется и воспринимается правое предсердие.

Если собственные стимулы возникают в СПУ и распространяются по миокарду правого предсердия, электрод воспроизведет детекцию (II — «А»), ответом ЭКС послужит ингибирование генерации импульса (III — «I»), искусственная стимуляция не производится (рис. 36, см. цв. вклейку).

Если собственные стимулы не возникнут в СПУ, то электрод будет детектировать отсутствие активности проводящей системы (II — «А»), ингибирование не произойдет, ЭКС сгенерирует искусственный импульс и направит его через электрод к миокарду (I — «А», рис. 37, см. цв. вклейку).

При ЭКГ работа ЭКС будет отражаться артефактом в виде ровной вертикальной линии перед зубцом P. При сохранном проведении через АВ-соединение наблюдается стандартный комплекс *PQRST* (рис. 39).

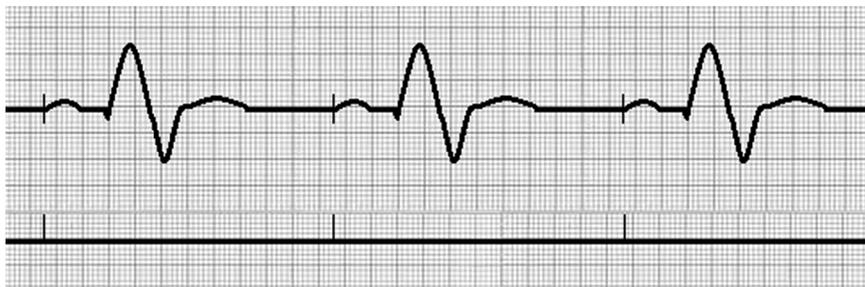


Рис. 38. Работа электрокардиостимулятора в режиме AAI(R) при электрокардиографии

Режим DDD(R)

Двухкамерный режим работы ЭКС, при котором стимулируются и воспринимаются правые предсердие и желудочек.

Если импульс сгенерирован в правом предсердии, произойдет его детекция предсердным электродом (II — «А»), ответом послужит ингибирование искусственной стимуляции предсердий (III — «I»). Далее при функционировании АВ-соединения волна возбуждения достигнет правого желудочка, где также будет осуществлена детекция (II — «V»). Ответ ЭКС будет аналогичен (III — «I», рис. 39, см. цв. вклейку).

Если импульс не возникает в правом предсердии, то ЭКС производит детекцию (II — «А»), ингибирование не произойдет, сгенерируется искусственный импульс для стимуляции (I — «А»). При нормальном проведении через АВ-соединение возбуждение перейдет на миокард желудочков, что будет воспринято желудочковым электродом (II — «V»). Дальнейшей стимуляции желудочков не произойдет, так как ответом ЭКС на активность проводящей системы в желудочке будет ингибирование (III — «I»): в данный момент устройство работает в режиме детекции обеих камер сердца и стимуляции правого предсердия (буквенный код — ADI, рис. 40, см. цв. вклейку).

Данные ЭКГ при работе в таком режиме аналогичны режиму AA1(R) — артефакт в виде вертикальной линии, зубец *P* от стимулированного предсердия и стандартный комплекс *QRST* (см. рис. 38).

Если импульс возник в правом предсердии, произойдет его детекция предсердным электродом (II — «А») и ингибирование стимуляции предсердий (III — «I»). При нарушении проведения к желудочкам будет детектировано отсутствие активности проводящей системы желудочковым электродом (II — «V»), ЭКС сгенерирует импульс для их стимуляции (I — «V», рис. 41, см. цв. вклейку). Другой вариант — в ответ на детекцию собственного импульса в предсердии сразу произойдет генерация искусственного импульса для желудочков (III — «Т»). В этом случае устройство работает в режиме детекции обеих камер сердца, но стимулирует только желудочки (буквенный код — VDD), что характерно для моноэлектродных желудочковых ЭКС с детекцией предсердной активности.

Данные ЭКГ аналогичны таковым при работе ЭКС в режиме VVI(R) — артефакт в виде вертикальной линии и стимулированный комплекс по типу блокады левой или правой основной ветви ПЖП

при стимуляции правого либо левого желудочка соответственно (см. рис. 35).

В случае когда ни СПУ, ни АВ-соединение не функционируют, ЭКС полностью заменяет проводящую систему сердца. После детекции предсердным и желудочковым электродом (II — «А» и «V») происходит стимуляция правых отделов сердца (I — «А» и «V»). Таким образом, в данный момент ЭКС будет работать в режиме DDD(R) (рис. 42, см. цв. вклейку).

При ЭКГ стимуляция в режиме DDD(R) похожа на комбинацию режимов AAI(R) и VVI(R) — артефакт в виде вертикальной линии, стимулированный зубец P, вновь артефакт и стимулированный комплекс Q_RST (рис. 43). Как и ранее, вид комплекса зависит от стимулируемого желудочка. Применение соответствующих видов фильтров на электрокардиографе делает артефакты заметными в большей или меньшей степени, вплоть до полного отсутствия таковых.



Рис. 43. Работа электрокардиостимулятора в режиме DDD(R) при электрокардиографии

Другие режимы электрокардиостимуляции

Прочие виды режимов электрокардиостимуляции носят скорее историческое значение, хотя в редких случаях находят свое применение. При использовании некоторых из них может возникнуть ряд осложнений. Эти осложнения будут описаны ниже в соответствующем разделе.

Асинхронные режимы стимуляции (A00, V00 и D00) — первые режимы, в которых работали ЭКС. Исходя из буквенного кода, детекция и соответственно ответ ЭКС на активность проводящей системы отсутствуют (II — «0», III — «0»). Генерация импульса и стимуляция сердца происходят постоянно, независимо от собственных сокращений (I — «А», «V» или «D», рис. 44).

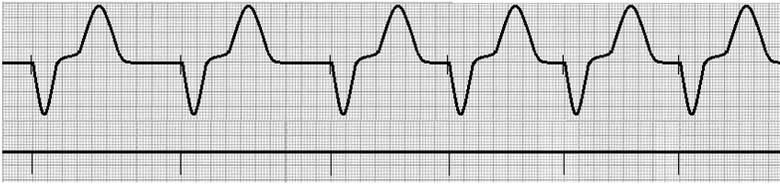


Рис. 44. Переход электрокардиостимулятора в асинхронный режим при поднесении магнита

В настоящее время ЭКС переходит в асинхронный режим при поднесении к нему магнита. Это скрининговый метод проверки работы устройства и заряда батареи, при постоянном использовании существует риск развития жизнеугрожающих желудочковых аритмий при навязанной стимуляции в фазу уязвимости сердечного цикла. Иногда режим используется при миопотенциальном ингибировании на фоне редкого собственного ритма.

Режимы моноэлектродных систем (VDD и VAT) применяются в соответствующих устройствах. Детекция желудочков осуществляется классически (в VDD), предсердий — прямо из полости правого предсердия. Стимулироваться могут только желудочки (I — «V»).

Режимы AAT и VVT применяются при миопотенциальном ингибировании при наличии собственного ритма с достаточной частотой; в ответ на собственную активность наносится «страшующий» стимул от ЭКС (III — «T»).

Режим DVI используется при нарушении детекции предсердного электрода или при частом возникновении предсердных аритмий. В последнем случае может применяться режим DDI.

Контрольные вопросы

1. Какие виды электродов вы знаете?
2. В чем различие между биполярным и монополярным электродами?
3. В чем различие между однокамерными и двухкамерными ЭКС?
4. Что такое частотная адаптация?
5. Какая камера сердца стимулируется при режиме VVI?
6. Какой способ позволит перевести ЭКС в асинхронный режим?