

**Механизм
образования
основных
зубцов,
интервалов и
сегментов ЭКГ**

Породистый скакун одним прыжком не сможет покрыть расстояния в тысячу ли. На кляче можно преодолеть это расстояние за десять дней, если не останавливаться на полпути.

- Сюнь-цзы

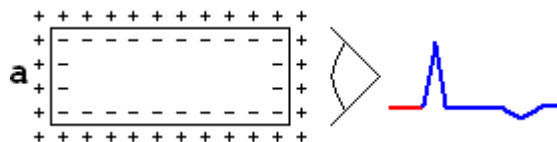
В электрофизиологическом отношении мышечному волокну миокарда свойственны три чередующихся между собой состояния:

покоя, или поляризации;

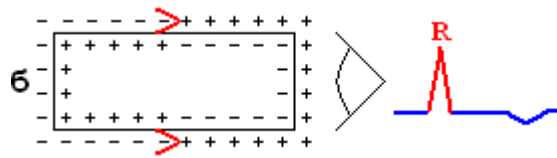
возбуждения, или деполяризации, и

восстановления покоя, или реполяризации.

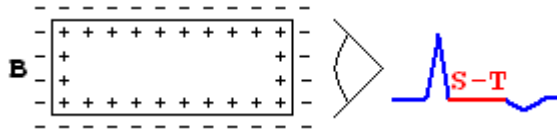
Каждое из них обусловлено колебанием величины электрического заряда внутри и вне клеточной среды вследствие миграции положительно заряженных и отрицательно заряженных ионов.



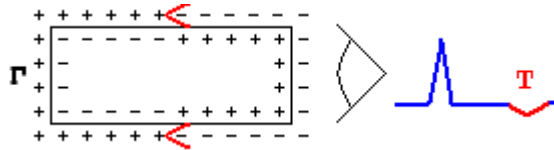
В состоянии покоя (рис. 1, а) вся наружная поверхность клеточной мембраны заряжена положительно. Между любыми двумя точками этой поверхности разность потенциалов отсутствует. На ЭКГ одиночного мышечного волокна, зарегистрированной с помощью двух электродов, расположенных на поверхности клетки, записывается горизонтальная нулевая (изоэлектрическая) линия.



При возбуждении миокардиального волокна (рис. 1, б) наружная поверхность деполяризованного участка заряжается отрицательно по отношению к поверхности участка, находящегося ещё в состоянии покоя (поляризации). Между ними появляется разность потенциалов, которая и может быть зарегистрирована на электрограмме в виде положительного отклонения, направленного вверх от изолинии, — зубца *R* на электрограмме.



Когда **всё волокно** окажется в состоянии возбуждения, и вся его поверхность будет заряжена отрицательно (рис. 1, в), разность потенциалов между электродами снова окажется равной нулю, и на электрограмме будет вновь записываться изолиния.



Процесс реполяризации (рис. 1, г) одиночного мышечного волокна начинается в *том же участке*, что и волна деполяризации. При этом поверхность реполяризованного участка заряжается положительно, и между двумя электродами, расположенными на поверхности волокна, вновь возникает разность потенциалов, которая на ЭГ проявляется новым отклонением от изолинии — зубцом *T*. Поскольку к электроду, соединенному с «+» электрокардиографа, теперь обращена поверхность с отрицательным, а не с положительным зарядом, как при распространении волны деполяризации, на ЭГ будет регистрироваться не положительный, а отрицательный зубец *T*.

Основной закон электрокардиографии:

- если вектор тока направлен в сторону активного электрода, то регистрируется колебание вверх — **положительный** зубец;
- если вектор тока направлен в противоположном направлении от активного электрода, то регистрируется колебание вниз — **отрицательный** зубец.

В целом сердце в норме деполяризация и реполяризация направлены в противоположные стороны: деполяризация происходит **от эндокарда к эпикарду**, а реполяризация — **от эпикарда к эндокарду**. Это обусловлено тем, что субэпикардиальные отделы желудочков, находясь к коронарным артериям ближе, кровоснабжаются несравненно лучше, чем субэндокардиальные участки. Поэтому процесс реполяризации раньше начнётся именно в субэпикардиальных отделах. Это так же выгодно с точки зрения динамики расслабления различных слоёв миокарда. Ведь в противном случае - при преждевременной реполяризации внутренних слоёв (а значит их расслаблении), внешние слои будут продолжать находиться в тонусе и сдавливать внутренние слои. Такое патологическое взаимоотношение будет приводить к дополнительному расходу энергии.

Функций миокарда

Мышца сердца обладает рядом функций, определяющих особенности его работы, это:

- автоматизм - хронотропность;
- сократимость - инотропность;
- возбудимость - батмотропность;
- проводимость - дромотропность.

Функция автоматизма — это способность сердца вырабатывать электрические импульсы при отсутствии внешних раздражений. Свойством спонтанно генерировать электрический импульс возбуждения обладают специализированные, так называемые пейсмейкерные клетки (*P*-клетки, от английского *pacemaker* [peɪsmɛɪkə] — водитель) проводящей системы сердца, широко представленные в ней от синоатриального узла (СА-узла) и до волокон Пуркинье.

Способность к самовозбуждению *P*-клеток, известная под названием автоматизма, принципиально отличает их от клеток сократительного миокарда, которые, обладая возбудимостью, активируются только под влиянием импульсов, исходящих из *P*-клеток. Наивысший автоматизм присущ СА-узлу, который является **центром автоматизма первого порядка**, подавляя автоматические потенциалы *P*-клеток в АВ-соединении (центре автоматизма **второго** порядков), а также в нижних отделах пучка Гиса, его ветвях и волокнах Пуркинье (центрах автоматизма **третьего** порядков). Центры автоматизма второго и третьего порядков в норме функционируют как пассивные проводники возбуждения.

Центры автоматизма

1. Центр автоматизма **первого** порядка — это клетки СА-узла, вырабатывающие электрические импульсы с частотой 60–90 в минуту.

2. Центр автоматизма **второго** порядка — клетки АВ-соединения (зоны перехода АВ-узла в пучок Гиса и нижние отделы предсердий), а также пучка Гиса, которые продуцируют импульсы с частотой 40–59 в минуту.

3. Центр автоматизма **третьего** порядка — конечная часть, ножки и ветви пучка Гиса. Они обладают самой низкой функцией автоматизма, вырабатывая около 25–39 импульсов в минуту.

В норме единственным водителем ритма является СА-узел, который подавляет автоматическую активность остальных (эктопических) водителей ритма.

Н.В. эктопия – от англ. *ectopia* - отдалённый, удалённый от своего места; в медицинских текстах означает врождённое или приобретённое смещение в необычное место.

Сократительный миокард **лишен** функции автоматизма.

Проводящая система сердца

Сердечные сокращения осуществляются благодаря электрическим импульсам, которые проводятся ко всем отделам сердца по специальным клеткам, называемым **проводящей системой** сердца. Эта система начинается в правом предсердии, где находится синусовый узел.

Деполаризация сердца протекает в определённой последовательности. От СА-узла волна возбуждения распространяется по короткому проводящему пути, по ответвляющимся от тракта Тореля волокнам - на правое предсердие; а по межпредсердному пучку Бахмана - на левое предсердие; по трём межузловым трактам (Бахмана, Венкебаха и Тореля) - к АВ-соединению. Общее направление движения волны возбуждения — сверху вниз и несколько влево от СА-узла к верхней части АВ-узла, где после некоторой задержки, передаётся на хорошо развитую внутрижелудочковую проводящую систему, состоящую из предсердно-желудочкового пучка (пучка Гиса), основных ветвей (ножек) пучка Гиса и волокон Пуркинье.

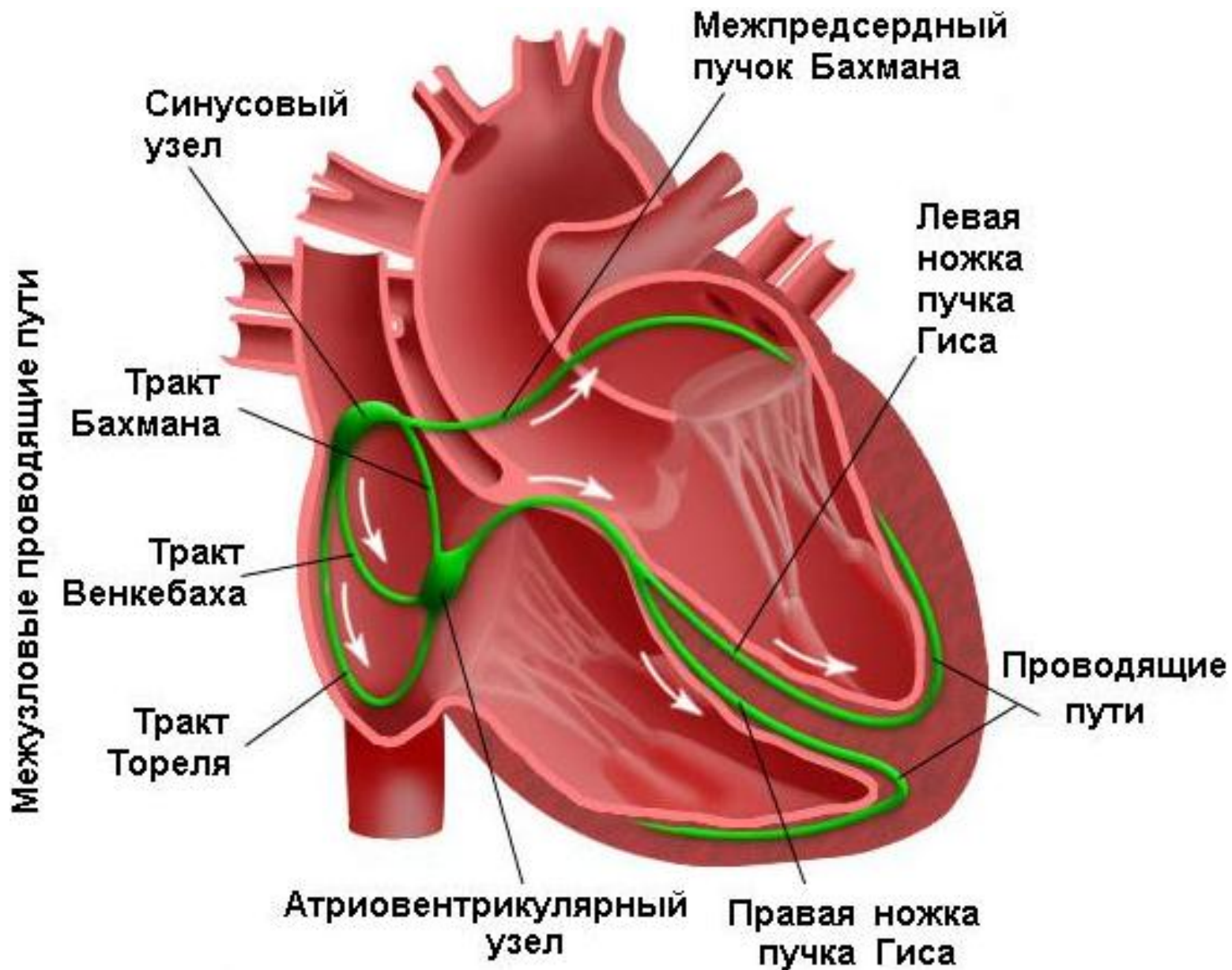


Рисунок. Проводящая система сердца.

Синусовый узел (СА-узел)

расположен в правом предсердии около устья верхней поллой вены в месте слияния полых вен.

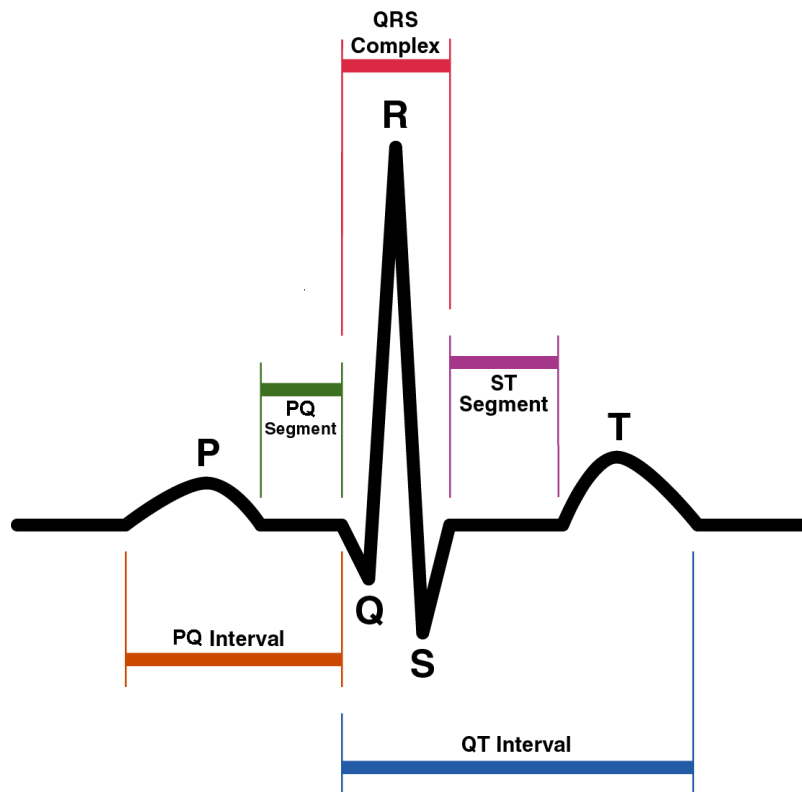
В центре узла расположены так называемые *P*-клетки (от англ. *pale* [peil] — бледный), на периферии — *T*-клетки (от англ. *transitional* [træn'ziʃənəl] — переходный, промежуточный). *P*-клетки по морфологическим и электрофизиологическим характеристикам — это типично ритмогенные, пейсмейкерные клетки.

В дальнейшем импульс распространяется по основным проводящим путям:

- пучку Бахмана - межпредсердному пути, по которому происходит очень быстрое распространение возбуждения от правого к левому предсердию;
- межузловым трактам Бахмана, Венкенбаха и Тореля соединяющим синусовый узел с атриовентрикулярным узлом.

У здорового человека синусовый узел вырабатывает 60-90 электрических импульсов минуту и равномерно посылает их по проводящей системе сердца. Следуя по ней, эти импульсы охватывают возбуждением прилегающие к проводящим путям отделы миокарда, что регистрируется графически на ленте как кривая линия ЭКГ.

Прохождение импульса по проводящей системе сердца записывается по вертикали в виде пиков (подъёмов и спадов) кривой линии. Эти пики принято называть зубцами электрокардиограммы. Эйнтховен обозначил зубцы ЭКГ взятыми подряд буквами латинского алфавита: P, Q, R, S, T.



Помимо регистрации зубцов, на электрокардиограмме по горизонтали записывается время, в течение которого импульс проходит по определённым отделам сердца.

Атриовентрикулярный узел (АВ-узел)

расположен в правой задненижней части межпредсердной перегородки сразу над трикуспидальным кольцом и спереди от коронарного синуса.

АВ узел отличается крайне низкой скоростью проведения, в среднем 0,05 м/сек, что и определяет его основные функции.

Функции АВ узла заключаются в следующем:

- 1) физиологическая задержка передачи возбуждения от предсердий к желудочкам, что обеспечивает синхронизацию их деятельности - сокращение предсердий предшествует сокращению желудочков;
- 2) защита желудочков от возможной слишком частой импульсации со стороны предсердий. АВ узел является своего рода преградой, "фильтром" на пути между предсердиями и желудочками;
- 3) защита желудочков от возможных слишком ранних предсердных импульсов, которые могли бы застать желудочки в уязвимой фазе;
- 4) защита желудочков от возможной длительной асистолии. Когда предсердный импульс слишком запаздывает, АВ узел становится генератором желудочкового ритма.

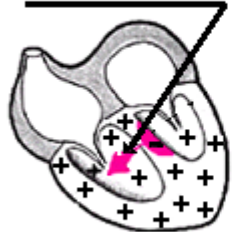
Пучок Гиса (His)

Общий ствол состоит из множества продольных пучков, отделённых друг от друга коллагеновыми прослойками. Пучок Гиса разделяется на две ножки — правую и левую. Правая ножка пучка Гиса состоит из волокон, распространяющихся на правый желудочек и правую половину межжелудочковой перегородки. Левая ножка, идущая к левому желудочку и левой половине межжелудочковой перегородки, разделяется на две ветви — передневерхнюю и задненижнюю.

Терминальные веточки обеих ножек распадаются на **волокна Пуркинье** (*Purkinje*), составляющие конечные разветвления специализированной проводящей системы сердца.

Распространение возбуждения по сократительному миокарду желудочков

Вектор возбуждения
межжелудочковой
перегородки



Регистрирующий
электрод

Возбуждение
межжелудочковой
перегородки
(образование зубца Q)

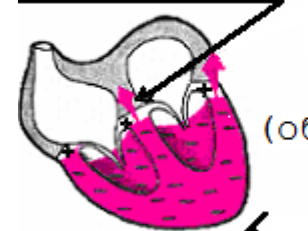
Вектор возбуждения
верхушки сердца



Регистрирующий
электрод

Возбуждение
левого
желудочка
(образование зубца R)

Суммарный вектор
возбуждения
основания сердца



Регистрирующий
электрод

Возбуждение
основания
левого
желудочка
(образование зубца S)

Зубцы *Q*, *R* и *S* образуют единый желудочковый комплекс ***QRS***.

Запомните!
Общая продолжительность
деполяризации желудочков
составляет
0,06–0,09 сек (= 60-90 мс).