

## РАССМОТРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ НА ЗАНЯТИЯХ БИОФИЗИКИ

### CONSIDERATION OF PHYSICAL BASES OF ELECTROCARDIOGRAPHY IN THE CLASSES OF BIOPHYSICS

L. Yantser  
K. Yantser

*Summary.* The article deals with the study of the physical fundamentals of electrocardiography in biophysics classes. The author approaches the solution of the questions posed by developing the logic of the presentation of the material implying a gradual mastery of new knowledge based on the study of the fundamentals of physical processes. The article discusses the main functions of the heart, describes these functions, characterizes the electrophysiological phenomena of polarization, depolarization, repolarization. The mechanism of ion migration through the cell membrane, leading to the creation of a membrane potential, is described. The author also pays attention to the logic of the presentation of educational material, in which the modules «Essence, functions and mechanisms of electric field generation», «Basic qualitative characteristics of the electric field», «Phenomena of intensity and potential as one of the main components of the electric field», etc. are traced. the concept of an electrocardiography method and the characteristic of its didactic and methodological foundations are given.

*Keywords:* biophysics, electrocardiography, physical bases of processes, heart, electrical phenomena in the heart, methodological bases of biophysics.

**Янцер Лилия Владимировна**

Доцент, Российский национальный исследовательский  
медицинский университет имени Н. И. Пирогова  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
iantser@yandex.ru

**Янцер Кира Евгеньевна**

Первый Московский государственный медицинский  
университет имени И. М. Сеченова Министерства  
здравоохранения Российской Федерации  
kira7075@yandex.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются вопросы изучения физических основ электрокардиографии на занятиях биофизикой. Автор подходит к решению поставленных вопросов посредством разработки логики изложения материала подразумевающий поэтапность овладения новым знанием на основе изучения фундаментальных основ физических процессов. В статье рассматриваются основные функции сердца, дается описание данных функций, характеристика электрофизиологических феноменов поляризации, деполяризации, реполяризации. Описан механизм миграции ионов через мембрану клетки, приводящий к созданию мембранного потенциала. Также автор уделяет внимание логике изложения учебного материала, в котором прослеживаются модули «Сущность, функции и механизмы возникновения электрического поля», «Основные качественные характеристики электрического поля», «Явления напряженности и потенциала как одни из основных компонентов электрического поля» и пр. В статье дается понятие метода электрокардиографии и характеристика его дидактико-методологических основ.

*Ключевые слова:* биофизика, электрокардиография, физические основы процессов, сердце, электрические явления в сердце, методические основы биофизики.

**С**ердце, являясь полым мышечным органом, основная физиологическая деятельность которого заключается в «насосном» обеспечении движения крови по сосудам, выполняет ряд присущих только ему специфических функций, среди которых принято рассматривать функцию автоматии, возбудимости, проводимости, сократимости, тоничности, рефрактерности [1; 6].

Специализированная проводящая система сердца, которая представлена многочисленной совокупностью клеток, обеспечивающих автоматию сердечной мышцы, имеет особое расположение, которое фиксируется в синусовом и АВ узлах, а также в области пучка Гиса (включая его ножки) и желудочков. Рассматривая норму работы сердца, необходимо отметить, что в рабочей автоматической системе сердца существует только один водитель ритма, который обеспечивает проведение импульса, дающего состояние возбуждения всему сердцу.

С позиций электрофизиологических характеристик, клетки сердечной мышцы (миокарда) имеют особенность последовательно обладать свойствами трех состояний, которые поочередно проявляются в их работе:

- ◆ феномен поляризации, характеризующийся состоянием покоя сердечной мышцы;
- ◆ феномен деполяризации, который характеризуется признаками устойчивого обеспечивающего возбуждения (в норме);
- ◆ феномен реполяризации, в основе которого лежит функция обеспечения паузы или покоя, которая с точки зрения биофизики определяется восстановлением потенциала клетки [5].

Каждое из данных состояний обуславливается ритмически возникающей так называемой перезарядкой внешней и внутренней среды клеток, которая опосредована мигрирующей функцией ионов калия (K<sup>+</sup>), кальция

(Ca<sup>2+</sup>), натрия (Na<sup>+</sup>) и C1 через мембрану. Эта миграция является строго упорядоченным процессом, который приводит к созданию ионной основы мембранного потенциала в разные фазы электрического состояния клеток кардиомиоцита [5].

В связи с рассмотрением сущности данного феномена, в рамках изучения биофизики на начальном этапе целесообразным будет построение логики занятия следующим образом:

- ◆ освоение образовательного модуля, включающего изучение понятия, сущности, функции и механизмов возникновения электрического поля, а также основных качественных характеристик электрического поля;
- ◆ изучение явлений напряженности и потенциала как одних из основных компонентов, объясняющие возникновение и существование электрического поля;
- ◆ освоение образовательного модуля, включающего знания о таких феноменах как источники возникновения и существования электрического поля; в рамках данного модуля целесообразно и необходимо знакомство обучающихся с такими источниками электрического поля как диполь, токовый диполь, мультиполь.

В процессе теоретического освоения материала необходимо отметить, что в тот момент, когда в процессе возникновения импульса возбуждается некий участок клетки, причем это происходит либо под внешним воздействием, либо в иной другой форме, клеточная мембрана начинает приобретать свойства проницаемости для ионов натрия, в результате чего возникает необходимость приведения баланса ионов, находящихся внутри и снаружи. В результате этого возникает разность потенциалов, и сама клетка становится деполяризованной, после чего состояние само функциональное состояние клетки ретроспектирует к исходному потенциалу покоя. Данный процесс возвращения к исходному состоянию покоя клетки называется реполяризацией и обуславливается концентрацией ионов в межклеточной жидкости [1; 3; 5].

Таким же образом происходит смена потенциалов и внутри мышечного волокна, которую принято обозначать реверсией потенциала.

В рамках изучаемой темы необходимо обращать внимание обучающихся на то, что клетки миокарда представляют собой клетки продолговатой формы, в связи с чем реверсия потенциала не охватывает сразу всю площадь и объем клеточной структуры, а, соответственно, постепенно и последовательно распространяется по все поверхности. Данные изменений этого состояния фиксируются с помощью измерительных приборов.

На основе усвоенных базовых физических знаний в логике курса занятий по биофизике должно лежать дальнейшее освоение учебного материала, имеющего непосредственное отношение именно к физическим основам и методологии исследования процессов, связанных с возбуждением и электрической проводимостью сердца.

В рамках данного образовательного блока предполагается освоить следующую теоретическую базу в следующих межпредметных интегративных областях:

- ◆ биофизика прохождения электрического потенциала в сердечной мышце;
- ◆ основы дипольной теории электрического возбуждения тела клетки;
- ◆ формирование биологического потенциала сердца;
- ◆ электрические явления в сердце и методы их регистрации.
- ◆ электрокардиографические исследования [7].

Рассматривая физические основы электрокардиографии, необходимо акцентировать внимание обучающихся на том, что метод электрокардиографии (далее ЭКГ) является одним из наиболее важных методов объективного анализа и оценки сердечной деятельности. Разницу потенциалов, возникающую в процессе возбуждения сердца, регистрируют в виде электрокардиограммы.

Необходимо отметить, что с позиций дипольной теории сердце можно рассматривать как единый суммарный диполь (Pc). Происходящее в нем электрическое возбуждение можно охарактеризовать как суммарный электрический вектор (ИВС). Электрическое возбуждение, как мы уже отмечали выше, распространяется по сердечной мышце с помощью проводящей системы сердца, обеспечивая при этом сокращение мышц в соответствии с биологической программой. Помимо этого, нужно знать, что в рамках динамики электрической активности ИВС меняет свою величину, образуя достаточно сложную кривую замкнутого вида.

С позиций концепции Эйнтховена, сердце имеет расположение, заключенное в центр равностороннего треугольника, между любыми двумя вершинами которого регистрируется разность потенциалов, пропорциональная проекции суммарного электрического вектора на сторону равностороннего треугольника. (Рис. 1а, б).

В связи с этим, в процессе использования метода электрокардиографии регистрация потенциалов осуществляется не в вершинах рассматриваемого треугольника, а в точках, которые принято определять, как эквипотенциальные.



Рис. 1. Электрическая ось сердца, эквипотенциальные линии и треугольник Эйнтовена

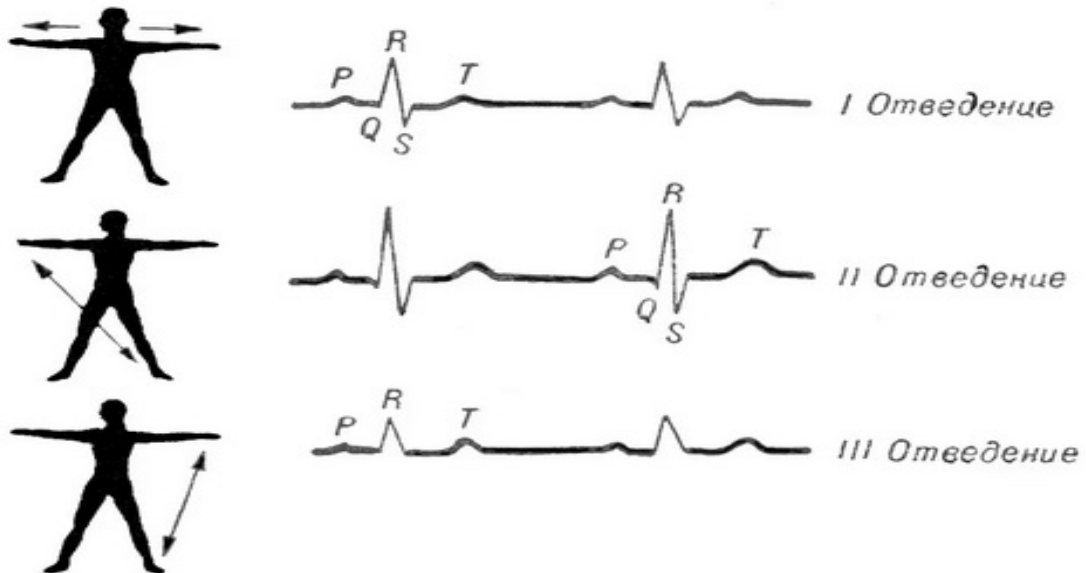


Рис. 2. Схема расположения стандартных отведений электрокардиограммы и регистрируемые при этих отведениях кривые электрических явлений в сердце

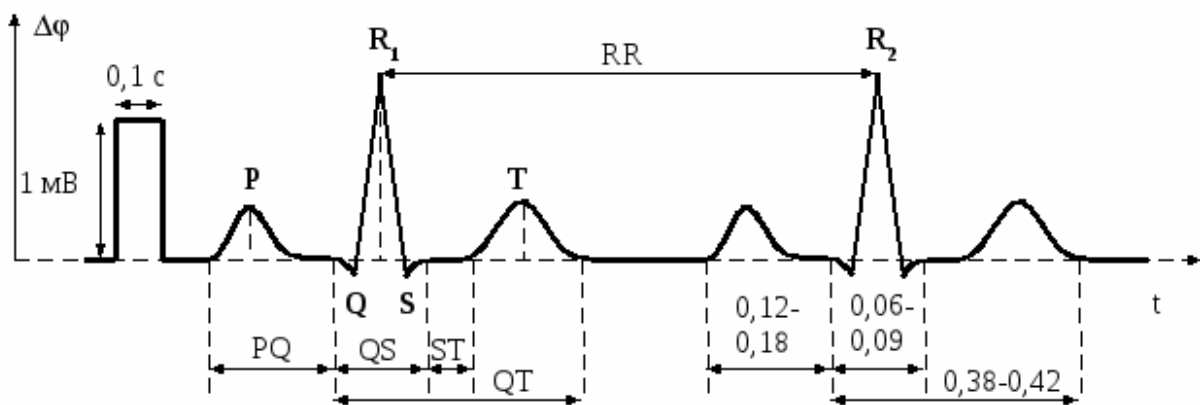


Рис. 3. Схема калибровочного сигнала на электрокардиограмме

Таким точка являются:

- ◆ поверхность правой руки (R-электрод);
- ◆ поверхность левой руки (L-электрод);
- ◆ поверхность левой ноги (F-электрод) [2; 5].

Разность потенциалов регистрируется между двумя соответствующими парами электродов, которые определяют понятием «отведение» (Рис. 2).

В сердце здорового человека на электрокардиограмме различают отчетливо видимые пять зубцов. Некоторые из этих зубцов обращены вверх — это зубцы P, R и T (Рис. 3).

Два зубца обращены вниз — это зубцы Q и S.

Так, зубец P отражает электрические явления, регистрируемые в предсердиях, а зубцы Q, R, S и T характеризуют динамику электрической волны в процессе возбуждения в желудочках сердца.

Грамотно и правильно записанная электрокардиограмма представляет собой достаточно серьезную цен-

ностную оценку функциональной сердечной деятельности человека. Это позволяет вовремя выявить имеющиеся отклонения, поставить правильный диагноз, предотвратить некоторые заболевания сердца. И хотя в 30–40% случаях метод электрокардиографии не позволяет с максимальной точностью отразить патологии сердца, он помогает диагностировать так называемые «предикторы» заболеваний (например, горизонтальная ST-депрессия позволяет выявить утрату способности сердца к нагрузкам анаэробного характера, что позволяет вовремя принять меры профилактического воздействия).

Также, необходимо отметить, что в процессе освоения физических основ электрокардиографии нужно направлять внимание обучающихся на учет всевозможных помех, которые возможны при реализации данного метода. Помимо этого, доведение до обучающихся полезности межпредметного естественнонаучного знания, используемого в процессе интегративного подхода к преподаванию биофизики, будет способствовать наиболее полноценному освоению материала и критическому его осмыслению при решении практико-ориентированных профессиональных задач [3; 4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аленова, М. К. Физические основы электрокардиографии / М. К. Аленова // Научное сообщество студентов: сборник материалов VII Международной студенческой научно-практической конференции. — Чебоксары, 2016. — С. 196–202.
2. Баранов, А. П. Основы анализа ЭКГ для клинициста / А. П. Баранов, А. В. Струтынский // Лечебное дело. — 2004. — № 1. — С. 70–77.
3. Камалова, Ю. Б. Алгоритмы оцифровки электрокардиограмм с бумажных носителей / Ю. Б. Камалова // Научно-исследовательские публикации. — 2016. — № 3 (35). — С. 29–32.
4. Максимов, А. В. Метод цифровой обработки ЭКГ-сигналов / А. В. Максимов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2002. — № 2. — С. 305–307.
5. Нестерова, Е. А. Основы электрокардиографии. Нормальная ЭКГ / Е. А. Нестерова // Кардиология: Новости. Мнения. Обучение. — 2016. — № 2 (9). — С. 77–85.
6. Федоров, В. Н. Анализ состояния основных функций биоэлектрической активности миокарда у студентов в процессе обучения / В. Н. Федоров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. — 2014. — № 4. — С. 44–52.
7. Хрипкова, А. Г. Возрастная физиология и школьная гигиена: Пособие для студентов / А. Г. Хрипкова, М. В. Антропова Д. А. Фарбер. — М.: Просвещение, 1990. — 319 с.

© Янцер Лилия Владимировна ( iantser@yandex.ru ), Янцер Кира Евгеньевна ( kira7075@yandex.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»