

Аленова Мирам-Гуль Карипуллаевна

студентка

ГБОУ ВПО «Саратовский государственный

медицинский университет

им. В.И. Разумовского» Минздрава России

г. Саратов, Саратовская область

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

***Аннотация:** данная статья посвящена исследованию физических основ метода электрокардиографии (ЭКГ). Автор приходит к выводу о том, что ЭКГ со времен своего изобретения не потерял своей актуальности и значимости и считается основным диагностическим методом для выявления различных заболеваний сердечно-сосудистой системы.*

***Ключевые слова:** электрокардиография, диполе, электрическое поле, электрокардиограмма.*

Большое значение в клинической и теоретической медицине имеет исследование электрического поля, т. к. данный вид поля возникает в организме вследствие возбуждения клеток различных органов. Достаточно широко в медицине применяются методы исследования, основанные на регистрации электрических полей определенных органов: электрокардиография (сердце), электромиография (мышцы), электроэнцефалография (мозг), электронейрография (нервные волокна), электрогастрография (желудок) и др. Цель данной работы состоит в изучении физических основ метода электрокардиографии (ЭКГ).

Прежде всего представляется важным отметить, что большинство веществ в природе являются, с точки зрения электропроводности, либо проводниками, либо изоляторами. Под проводником понимается вещество, в котором есть некоторое число сравнительно свободных зарядов, способных перемещаться под действием электрического поля. В частности, к проводникам относятся металлы, растворы электролитов. В изоляторе все заряды сравнительно неподвижны

(например, бумага, стекло являются изоляторами). Основная особенность проводников состоит в том, что при отсутствии движения зарядов отсутствует и разность потенциалов в объекте, а следовательно, при этом одинаков электрический потенциал во всех его точках.

Далее следует отметить, что проводники бывают I и II рода. Электропроводность проводников I рода не сопровождается химическими процессами, она обусловлена электронами. К проводникам I рода относятся чистые металлы (т. е. металлы без примесей), сплавы, ряд солей, оксиды и некоторые органические вещества. На электродах, выполненных из проводников I рода, происходит процесс переноса катиона металла в раствор или из раствора на поверхность металла. В проводниках II рода прохождение тока связано с химическими процессами и обусловлено движением положительных и отрицательных ионов. Проводниками II рода являются электролиты.

Разобрав основные аспекты электропроводимости, обратимся к их приложению в отношении биообъектов. В целом можно сказать, что биологические ткани достаточно разнородны по электропроводности. Присущее мембранам клеток высокое электрическое сопротивление делает мембраны подобием изоляторов. В то же время внутриклеточная жидкость, напротив, является проводником II рода (благодаря наличию в ней положительных и отрицательных ионов).

Рассмотрим понятие диполя. Электрическим диполем называют систему, состоящую из двух точечных электрических зарядов – равных по величине, но противоположных по знаку и расположенных на некотором расстоянии l друг от друга. Расстояние l называется плечом диполя.

Многие атомы и молекулы представляют собой электрические диполи. Так, в молекуле может наблюдаться избыток отрицательного заряда (около кислородного атома) и положительного (около водородных атомов).

Основной характеристикой диполя является его электрический момент, называемый дипольным моментом и обозначаемый p . По определению, это век-

тор, равный произведению заряда q на плечо диполя l , направленный от отрицательного заряда к противоположному, т. е. $p = q \cdot l$. Единицей электрического момента диполя является кулон-метр.

Таким образом, понятие диполя схематически можно представить следующим образом (рис. 1).

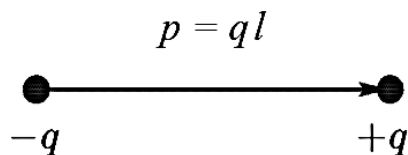


Рис. 1. Понятие диполя

Подчеркнем, что дипольный момент p является величиной векторной, т. к. имеет направление.

В том случае, если диполь помещен в однородное электрическое поле напряжённостью E , на положительный заряд будет действовать сила $q \cdot E$, а на отрицательный заряд — сила величиной, равной $(-q \cdot E)$. Сумма этих сил равна нулю, поэтому можно утверждать, что на электрический диполь, находящийся в однородном электрическом поле, действует общая сила, равная нулю. Однако общий вращающий момент, действующий на диполь, не будет равным нулю, поскольку рассматриваемый силы направлены противоположно друг другу.

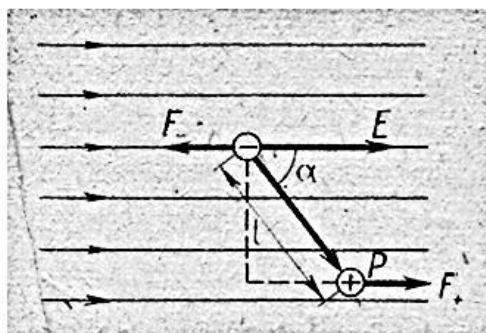


Рис. 2. Вращающий момент диполя в электрическом поле

Они стремятся повернуть диполь так, чтобы электрическая ось диполя совпала с направлением силовых линий поля. Величина вращающего момента M зависит от напряженности поля E , величины дипольного момента p и угла α между векторами P и E :

$$\vec{M} = \vec{P} \cdot \vec{E} \cdot \sin \alpha$$

На рис. 2 представлен вращающий момент диполя в электрическом поле.

Важно понимать, что электрическое поле, созданное диполем, отличается от того, которое создается одиночным зарядом. Если электрическое поле создано положительным зарядом, то силовые линии начинаются на заряде и направлены в бесконечность. В случае диполя силовые линии начинаются на положительном заряде и завершаются на отрицательном заряде (рис. 3).

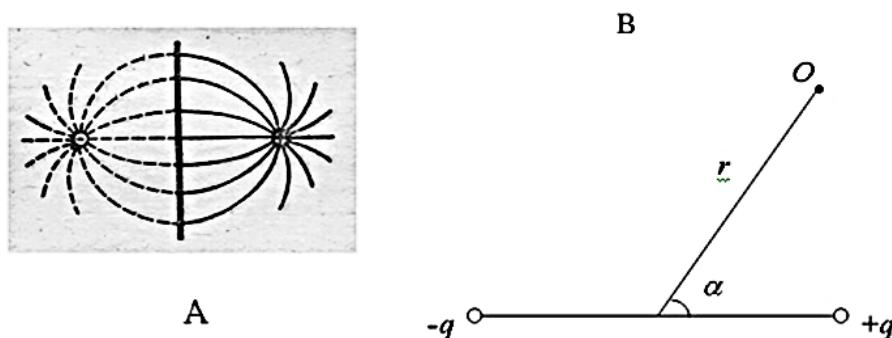


Рис. 3. Электрическое поле диполя

Каждая клетка сердечной мышцы создает электрическое поле, характеристики которого подобны в общих чертах характеристикам электрического поля других типов мышечных клеток. Однако потенциал действия (ПД) сердечных клеток отличается от ПД клеток поперечнополосатых мышц по форме и длительности. Электрическое поле сердца образуется суперпозицией электрических полей отдельных клеток.

Изменения электрического поля сердца происходят при деполяризации и реполяризации мембраны клеток сердца (рис. 4).

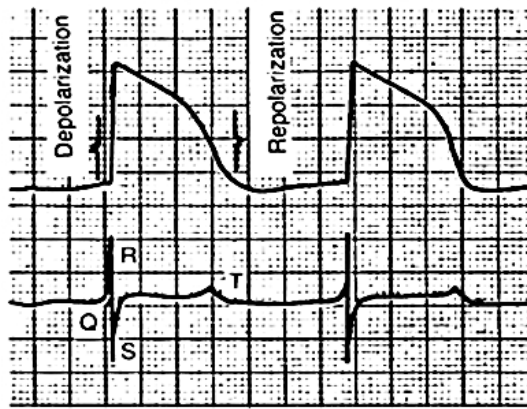


Рис. 4. Потенциал действия сердечной клетки
и соответствующие изменения электрического поля сердца

Проведенные учеными исследования показали, что указанные изменения достаточны для того, чтобы создать изменения разности потенциалов между различными точками поверхности тела и чтобы обнаружить указанные изменения на большом расстоянии от их источника. Именно в этом заключается основной подход к методу электрокардиографии.

Графическая запись электрического потенциала, созданного посредством возбуждения клеток сердца, называется электрокардиограммой. Важно отметить, что такая кривая характеризует возбуждение сердца, но не его сокращения.

Впервые электрокардиограмма была записана голландским физиологом Уильямом (Виллемом) Эйнтховеном посредством несложного инструмента – струнного гальванометра. В настоящее время для записи ЭКГ используют электронные приборы, называемые электрокардиографами.

Амплитуда электрического потенциала, записанного с поверхности тела, может составлять менее 1 мВ, поэтому он требует усиления. С этой целью применяется специальное устройство – усилитель. Электрокардиограф включает также высокочастотное «сито», не пропускающее медленные изменения электрического потенциала, и калибратор, который генерирует электрические импульсы 1 мВ, что необходимо для расчета амплитуды зубцов электрокардиограммы.

На рис. 5 показана форма нормальной электрокардиограммы, записанная в течение одного цикла возбуждения сердца.

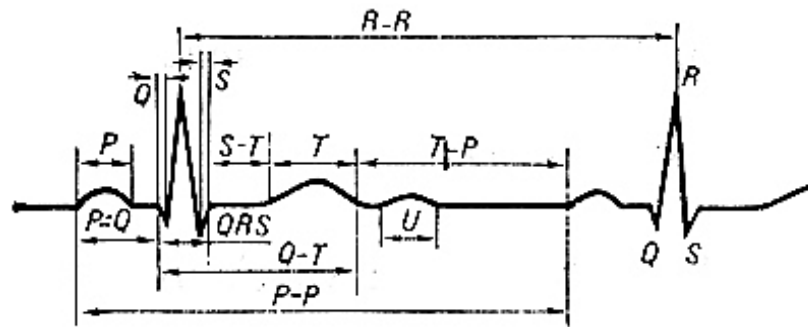


Рис. 5. Вид нормальной электрокардиограммы

На ЭКГ видны несколько отклонений от нулевой линии, которые называются зубцами ЭКГ и обозначаются латинскими буквами *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*. Зубцы могут быть положительными (направленными вверх) или отрицательными. Положительное отклонение комплекса *QRS* называют *R*-зубцом. Отрицательное отклонение, предшествующее *R*-зубцу и следующее за ним, названы соответственно *Q* и *S*. Отклонения *P* и *T* в норме положительны, но могут быть отрицательными при патологических состояниях. Расстояние между двумя отклонениями называется сегментом. Например, сегмент *PQ* представляет собой промежуток между окончанием зубца *P* и началом зубца *Q*.

Зубцы и сегменты ЭКГ возникают при деполяризации и реполяризации клеток сердца. В частности, зубец *P* отражает деполяризацию предсердий сердца. Их реполяризация совпадает с комплексом *QRS* и не видна на ЭКГ. Комплекс *QRS–T*-зубец отражает постепенное распространение деполяризации по желудочкам сердца и их реполяризацию. Сегмент *S–T* соответствует возбуждению левых и правых желудочков.



Рис. 6. Расположение электродов на теле пациента

Необходимо подчеркнуть, что форма и размер зубцов электрокардиограммы зависит от положения электродов на поверхности тела. В то время, когда ЭКГ была только изобретена, для ее записи руки и ноги пациента опускались в большие емкости с раствором электролита, подключенные к регистрирующему прибору, поэтому процесс записи был достаточно сложным. В последующем метод был модифицирован: электроды стали располагаться непосредственно на поверхности кожи пациента (рис. 6). Отметим, что электрод, расположенный на правой ноге, выполняет функцию заземления.

Таким образом, при записи ЭКГ в стандартных отведениях конечности рассматриваются как проводники электрического тока. Согласно теории Эйнтховена, потенциалы определяются в вершинах равностороннего треугольника (рис. 7).

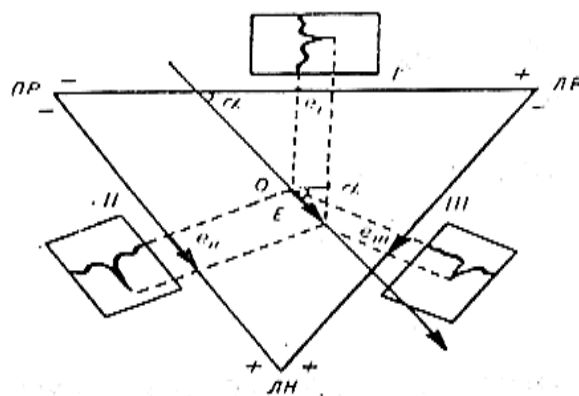


Рис. 7. Треугольник Эйнтховена:

ПР – правая рука, ЛР – левая рука, ЛН – левая нога

Таким образом, высота зубцов кардиограммы определяется величинами проекций электрического вектора сердца на стороны треугольника. Теория Эйнтховена лежит в основе метода ЭКГ, в котором сердце моделируется бесконечно малым диполем, непрерывно меняющим величину и направление вектора электродвижущей силы. Со времени своего изобретения и до настоящего момента ЭКГ считается основным диагностическим методом для выявления различных заболеваний сердечно-сосудистой системы. Сердце человека работает в организме под контролем собственного водителя ритма, вырабатывающего электрические импульсы и направляющего их в проводящую систему, именно они и регистрируются на ЭКГ. С помощью метода ЭКГ могут диагностироваться такие заболевания, как гипертрофия отделов сердца, стенокардия, аритмия, тахикардия, миокардит и др.

Список литературы

1. Задионченко В.С. Причины и клиническое значение ЭКГ-феномена элевации сегмента ST / В.С. Задионченко [и др.] // Русский медицинский журнал. – 2011. – №31. – С. 2010–2017.
2. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. М.: Физматлит, 2007. – 440 с.
3. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: Учебник. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 656 с.
4. Романовский Ю.М. Математическое моделирование в биофизике / Ю.М. Романовский, Н.В. Степанова, Д.С. Чернавский. – М.: Ин-т компьют. исслед., 2004. – 472 с.
5. Со К.-С. Клиническая интерпретация ЭКГ. Введение в электрокардиографию. – М.: МЕДпресс-информ, 2015. – 248 с.
6. Суворов А.В. Клиническая электрокардиография. – Н. Новгород, 1993. – 124 с.