

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Терещенко Н. Ф.¹, Цапенко В. В.¹, Чухраев Н. В.²

¹ *Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

² *Научно-методический центр «Медицинские инновационные технологии», Киев, Украина*

Электропроводимость (ЭП) биологических систем - это количественная характеристика способности живых объектов (тканей) проводить электрический ток, обратно пропорциональна величине электрического сопротивления системы. Измерения электропроводимости используют для получения информации о функциональном состоянии биологических тканей (БТ), для выявления и лечения воспалительных процессов, изменения проницаемости клеточных мембран и стенок сосудов при патологии или воздействия на организм физических, химических и других факторов. Измерения ЭП лежат в основе многих методов диагностики - оценки кровенаполнения сосудов органов и тканей. [1]

Знание и понимание зависимости механизмов взаимодействия и эффектов, возникающих в биотканях, от частоты внешнего электрического поля, электромагнитного воздействия, позволяет:

- повысить точность определения биофизических и физиологических параметров исследуемых биологических объектов;
- построить физически обоснованное адекватное математическое описание механизмов взаимодействия и возникающих эффектов;
- обосновать медико-технические требования при разработке технических средств: терапевтических аппаратов, диагностических приборов, систем и комплексов;
- обеспечить соответствие допустимым безопасным уровням внешних электромагнитных воздействий, санитарным нормам.

Данные измерения направлены на изучение и экспериментальное исследование зависимости ЭП от частоты воздействующего тока, диэлектрических свойств и полного импеданса БТ при пропускании через биологическую структуру переменного электрического тока низко- и среднечастотного диапазона от 50 до 44 кГц. Практическое применение результатов нацелено на использование в научно-исследовательских работах по направлениям импедансной реографии и биоимпедансного анализа состава тела человека, для повышения точности измерений, разработки новых физиотерапевтических методик, аппаратов и модификации существующих технических средств.

Цель исследования - установление характера зависимости изменения значений ЭП и проницаемости БТ различных типов от параметров переменного электрического тока.

Объектом данного научно-практического исследования является измерения параметров биофизических процессов проникновения и

распространения электрического тока в БТ в среде действия различных физических полей.

Предметом исследования является повышение точности установки значений параметров сигналов физических полей, которые обеспечивают необходимую величину ЭП и глубину проникновения в конкретном биологическом слое, сосуде, ткани или системе.

Методы исследования. Используются методы многомерного статистического анализа, методы практической биометрии (выполнялась статистическая обработка полученных результатов измерения) и методы математического моделирования, а именно методы интерполяции и аппроксимации полученных табличных значений, с целью установления аналитической зависимости между значениями ЭП и проницаемости БТ и значениями частот воздействующего электрического тока. [2]

Кровь, плазма и различные тканевые жидкости – это, по сути, растворы электролитов (например, в плазме крови содержится 0,32% NaCl). Проведенные исследования показали, что сопротивление цитоплазмы, живых клеток и некоторых тканей относительно велико. Это можно объяснить тем, что на электрические параметры клеток влияют свойства их мембран, а свойства ткани обусловлены не только свойствами электролитов, но и другими веществами, которые входят в состав ткани: жирами, углеводами, другими органическими веществами со свойствами диэлектриков и полупроводников. По этой причине значения ЭП различных тканей существенно отличается. Лучше проводят ток спинномозговая жидкость, кровь, лимфа, несколько хуже - мышцы, печень, сердечная мышца, легочная ткань и существенно хуже жировая, костная ткани и кожа. Сложными являются электрические свойства клеток. Удельное сопротивление цитоплазмы лежит в пределах от 0,1 до 300 Ом·м (для большинства клеток млекопитающих, примерно, 1-3 Ом·м). Клеточная мембрана - это диэлектрик, удельное сопротивление 1 см² которого для разных клеток находится в пределах от 10³ до 10⁴ Ом·м.

Общая структурная схема экспериментальной установки (ЭУ) представлена на рис.1.

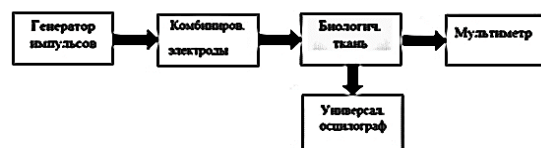


Рис. 1. Структурная схема ЭУ

В процессе работы исследовались и измерялись электрические свойства тканей животного происхождения (мышечная ткань и ткань живого дождевого червя). Сопоставлен график дисперсии электропроводимости для биологических тканей различных типов представлены на рис.2.

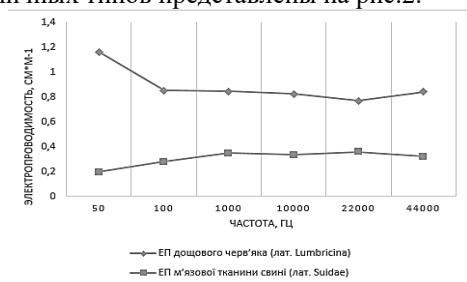


Рис.2 Дисперсия электропроводимости биологических тканей

Новыми результатами в данной работе - является установленные зависимости изменения значений электропроводимости БТ различных типов, от частоты тока, с использованием частотного диапазона 50-44000 Гц (в том числе, исследования с использованием частот терапевтических интенсивностей (22 и 44 кГц) в шести равно удаленных частотных точках). В результате эксперимента установлено - максимальная электропроводимость для живой БТ достигается при частоте воздействия 50 Гц и составляет $1,163 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$. Сравнительные результаты описаны в работах других авторов и полученные в данном исследовании для неживой БТ (мышечной ткани свиньи (лат. Suidae)), можно сделать вывод, что для частот в диапазоне от 1 до 44 кГц достигаются значения электропроводности, принадлежащие интервалу $0,32-0,36 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$.

Перспективным направлением для диагностики и медико-биологических исследований проницаемости биологической ткани является измерение зависимости глубины проникновения фармакологических препаратов (ФП) в биоткань от частоты и времени воздействия при импульсном электрофорезе. В основу исследований положена задача создания измерительной системы и алгоритма нахождения наиболее оптимальных параметров электрического сигнала, для обеспечения необходимой глубины и скорости проникновения ФП в БТ, а, следовательно, обеспечения

наибольшего лечебного эффекта. В процессе выполнения данного исследования проведен ряд экспериментов на БТ (жировой) с использованием различных ФП (например, растворы йода и бриллиантовой зелени $\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$). На рис. 3 приведена диаграмма зависимости глубины проникновения бриллиантовой зелени ($\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$) от частоты тока (время воздействия 60 с.)

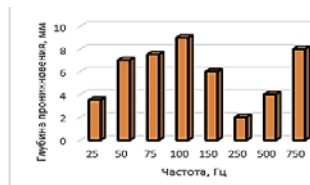


Рис. 3. Зависимость глубины проникновения бриллиантовой зелени от частоты тока

Из приведенной выше диаграммы, можно сделать вывод, что в электрически активном состоянии наибольшая глубина проникновения для раствора бриллиантовой зелени 1% ($\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$) достигается в диапазонах 75-125 Гц (макс.9 мм) и 500-750 Гц (не более 8 мм) при времени воздействия 60 с.

Таким образом, данные исследования актуальны в современной приборной биоинженерии и использованы при разработке нового комбинированного физиотерапевтического излучателя [3].

1. Терещенко Н. Ф. Исследование электропроводимости биологических тканей / Н. Ф. Терещенко, В. В. Цапенко, Н.В. Чухраев // Вестник НТУУ «КПИ» серия Приборостроение - 2017- Вып. 53 (1) / 2017 - С.87-94, Украина, Киев.
2. Цапенко В. В., Исследование зависимости глубины проникновения препаратов в биологическую ткань от частоты и времени воздействия при импульсном электрофорезе / В.В. Цапенко, Н. Ф. Терещенко, Н. В. Чухраев. // Интернаука. – 2017. – №4 (26). – Т. 1. – С. 60–66, Украина, Киев Режим доступа: <http://www.inter-nauka.com/issues/2017/4/2345>.
3. Цапенко В.В. Комплексный излучатель ультратерапии/ В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко, Н.В. Чухраев //Приборостроение: Материалы 8-й международной научно-технической конференции, Минск, 25-27 ноября 2015 г.: в 2 т. / Белорусский национальный технический университет; ред. кол.: ОК Гусев [и др.]. – Минск, 2015. – Т.1. – С. 158–159.

УДК 628.74

ГАЗОДИНАМИКА ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Голубев А.А., Невдах В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При проектировании систем противопожарной автоматики для различных помещений обоснование выбора типа пожарных извещателей

и их расположения в настоящее время обычно осуществляется на основе компьютерного моделирования динамики начальной стадии пожаров.