

V. Kotovskyi, Y. Dzhezherya, A. Snarskii*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine***CHARACTERISTIC TIME PARAMETERS OF THE ORGANISM'S REACTION TO OXYGEN SUPPLY DYNAMICS OF TISSUES AND THEIR EXPERIMENTAL DETERMINATION**

The paper studied the dynamics of the partial pressure of oxygen in the subcutaneous tissues with a limited load and further postischemic hyperemia in healthy people and those with abnormalities of lower limbs.

On the basis of theoretical and experimental studies established criteria of optimality main parameters of the oxygen supply system of the subcutaneous tissues in a transient mode. It was noted that the transcutaneous control of pO₂ of the affected vessels of the lower extremities at different loads, makes it possible to objectively assess the oxygen status of subcutaneous tissues and judge the functional state of the peripheral blood flow of the affected vessels.

It is shown that parameters such as time and the characteristic relaxation time of self-oxygen content in the intercellular fluid, characterize the functional state of the body.

An experimental method for determining these time parameters is proposed and it is shown that they have a close connection with the stage of pathological changes in the body.

Keywords: partial pressure of oxygen sensor, simulated ischemia, relaxation time, functional status.

*Надійшла до редакції
24 січня 2017 року*

*Рецензовано
08 лютого 2017 року*

© Котовський В. Й., Джежеря Ю. І., Снарський А. О., 2017

УДК 621:615.015.45

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

¹⁾Терещенко М. Ф., ¹⁾Цапенко В. В., ²⁾Чухраєв М. В.

¹⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

²⁾Науково-методичний центр «Медичні інноваційні технології», м. Київ, Україна
E-mail: agfarkpi@i.ua, capenko.valik@ukr.net, medintech@list.ru

У статті приведено результати досліджень зміни електропровідності біологічної структури під впливом імпульсного електричного струму в різних частотних діапазонах.

В якості біозразків було використано м'язову тканину свині (лат. Suidae) та живого дощового черв'яка (лат. Lumbricina).

Ключові слова: електропровідність, електричний струм, частота, біологічна тканина, фізіотерапія.

Вступ

Велике практичне значення для медицини має прикладна біофізика, яка розглядає значне коло питань, пов'язаних з фізичними явищами, що є в основі будови та організації органів і систем організму.

Так, знання фізики поверхневих явищ має важливе значення для встановлення механізму дії лікарських речовин. На основі законів термодинаміки досліджують енергетичні зміни, що відбуваються в організмі під дією лікарських речовин, взаємоперетворення енергії в хімічних та фізико-хімічних процесах, а також вплив зовнішніх чинників на напрямок і міру перебігу

самодостатніх процесів. Формули Фіка, Нерста-Планка описують транспорт речовин через мембрани, а розповсюдження потенціалів дії описує рівняння Ходжкіна-Хакслі [1].

При біофізичних методах застосовують фізичні та фізико-хімічні фактори, які не лише дозволяють отримати кількісні залежності між змінами різних фізико-хімічних параметрів біологічної системи, а й створювати нові речовини із заданими властивостями [2].

Електропровідність g біологічних тканин обумовлена присутністю в електролітах іонів, які є вільними зарядами і створюють в організмі струм провідності під дією електричного потенціалу

(ЕлП), що випромінюють як зовнішні джерела, так і генерують живі клітини. Струм провідності в живих тканинах залежить від їх типу, виду та віку тварини, а для тканин, клітини яких являють собою волокна – від їх орієнтації відносно напрямку вектору ЕлП.

Значний вплив на електропровідність біологічних тканин має вміст води. До тканин з малим вмістом води (до 15% маси) відноситься жирова та кісткова тканина. Їхня питома електропровідність є незначною: $0,02-0,03 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$ на частотах нижче 1 кГц і біля $0,2-0,3 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$ на більш високих частотах (МГц). Для тканин з більшим вмістом води (70–80% маси тканини – в нирках, печінці, скелетних та сердечних м'язах, головному мозку), електропровідність на порядок вища – до $1 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$. Електропровідність самої води дуже незначна, так для дистильованої води – від 10^{-5} до $10^{-4} \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$, для води, перегнаної в вакуумі, – $10^{-7} \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$. Розчинення в воді солей різко підвищує електропровідність: розчин хлориду натрію при 37°C – $0,15 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$. У свою чергу, електропровідність біологічних рідин наступна: плазма крові $1,5 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$, жовч $1,7 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$, сеча $2,6-3,3 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$ [1].

Електричний струм набув широкого поширення, в якості основного діючого фактору на біологічні тканини, у медичних системах та комплексах, представлених на ринку фізіотерапевтичних апаратів. У роботі досліджено вплив електричного струму, що генерується генератором імпульсів Г5–54, на електропровідність біологічної тканини. Фіксація ефекту змін електричної провідності біотканини залежно від впливу електричного струму заданої частоти реєструється за допомогою універсального осцилографа С1–93.

Зміна електричного опору та напруги біологічної тканини реєструється за допомогою вольтметра. В якості зразків біологічної тканини взято м'язову тканину свині (лат. Suidae), оскільки вона є найбільш схожою за фізіологічними параметрами до біотканини людини, іншим зразком виступив живий дощовий черв'як (лат. Lumbricina).

Аналіз сучасного стану проблеми

Вплив електричного струму на біологічну тканину був предметом багатьох наукових досліджень. Електропровідність тканин і органів залежить від їх функціонального стану і використовується як діагностичний показник.

Вимірювання електропровідності (кондуктометрія) широко використовується при вивченні процесів, які відбуваються в живих клітинах і тканинах під час зміни фізіологічного стану в результаті дії деяких хімічних речовин, а також за умови патологічних процесів.

На відміну від роботи [1], де проводились дослідження впливу електричного струму на електропровідність скелетних м'язів залежно від частоти впливаючого струму (на частотах від 10 до 44000 Гц), метою даної роботи є знаходження залежності зміни електропровідності (ЕП) від частоти електричного струму, з використанням частот терапевтичних інтенсивностей (22 та 44 кГц) для біологічних структур різних типів.

Постановка задачі

Кров, плазма та різні тканинні рідини – це розчини електролітів (наприклад, у плазмі крові міститься 0,32% NaCl). Можна було б стверджувати, що такі системи містять багато вільних іонів і внаслідок цього мають велику питому електропровідність. Проте, проведені дослідження показали, що опір цитоплазми, живих клітин і деяких тканин відносно великий. Це можна пояснити тим, що на електричні параметри клітин впливають властивості їх мембран, а властивості тканини зумовлені не лише властивостями електролітів, а й іншими речовинами, які входять до складу тканини: жирами, вуглеводами, другими органічними речовинами з властивостями діелектриків та напівпровідників. З цієї причини електропровідність різних тканин суттєво відрізняється. Найкраще проводять струм спинномозкова рідина, кров, лімфа, дещо гірше – м'язи, печінка, серцевий м'яз, легенева тканина і найгірше жирова, кісткова тканини та шкіра. Складними є електричні властивості клітин. Питомий опір цитоплазми знаходиться у межах від 0,1 до 300 Ом·м (для більшості клітин ссавців приблизно 1–3 Ом·м). Клітинна мембрана – це діелектрик, питомий опір 1 см^2 якого для різних клітин знаходиться у межах від 10^3 до 10^4 Ом·м [3, 7, 8, 9].

Як відомо, носії струму в електролітах – це позитивні і негативні іони, які виникають у результаті електролітичної дисоціації. Якщо густину струму j для позитивних і негативних іонів визначити як [4]:

$$j_+ = q_+ \cdot n_+ \cdot v_+ \cdot m \cdot a \cdot j_- = q_- \cdot n_- \cdot v_-,$$

$$j = q_{0i} \cdot n \cdot v, \quad (1)$$

де q_0 – заряд носія, n – кількість носіїв струму, v – концентрація позитивно та негативно заряджених іонів відповідно.

Оскільки в біологічній структурі, крім позитивно та негативно заряджених іонів, містяться також умовно нейтральні частинки, запишемо густину струму j і для них:

$$j = q_{0i} \cdot n \cdot v, \quad (2)$$

де q_{0i} – заряд умовно нейтрального носія,
 n – кількість таких носіїв струму,
 v – концентрація нейтральних іонів.

Тоді загальна густина струму буде, за умови відносної рівності $q_{0i} = q_0$,

$$j = j_+ + j_- + j = q_0 \cdot (n_+ \cdot v_+ + n_- \cdot v_- + n \cdot v), \quad (3)$$

де n_+ , n_- і n , v_+ , v_- і v відповідно концентрації та швидкості позитивних, негативних та умовно нейтральних іонів.

Припустимо, що кожна умовно нейтральна молекула дисоціює на два іони. Тоді концентрації позитивних, негативних та умовно нейтральних іонів будуть однаковими

Звідси маємо:

$$j = \alpha \cdot n \cdot q_0 \cdot (v_+ + v_- + v), \quad (4)$$

Швидкість впорядкованого руху іонів прямо пропорційна до напруженості зовнішнього поля E_{zn} , із врахуванням значень $E_{вн}$ – напруженості внутрішнього поля:

$$v = b \cdot (\vec{E}_{zn} + \vec{E}_{вн}),$$

або в скалярній формі

$$v = b \cdot (E_{zn} + E_{вн}). \quad (5)$$

Коефіцієнт пропорційності b називається рухливістю носіїв. Рухливість b чисельно дорівнює швидкості впорядкованого руху в полі з загальною напруженістю E .

Припустимо, що $E = 1 \text{ В/м}$, тоді

$$b = v / (\vec{E}_{zn} + \vec{E}_{вн}),$$

або в скалярній формі

$$b = v / (E_{zn} + E_{вн}). \quad (6)$$

Одиниця виміру рухливості частинок (іонів) є $[b] = \text{м}^2 / (\text{В} \times \text{с})$.

Величина рухливості частинок залежить від заряду носія q_0 , його маси m , а також від часу вільного пробігу r :

$$b = \frac{q_0 \cdot r}{m} \pm \frac{q_0 \cdot r'}{m} = \frac{q_0 \cdot (r \pm r')}{m} \quad (7)$$

Значення рухливості для деяких іонів подані в таблиці 1 [4]:

Таблиця 1. Значення рухливості для деяких іонів

Вид іона	$b, \text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$
Na^+	$5,2 \cdot 10^{-8}$
Cl^-	$7,9 \cdot 10^{-8}$
K^+	$6,7 \cdot 10^{-8}$
NO_3^-	$6,4 \cdot 10^{-8}$
H^+	$67 \cdot 10^{-8}$
Ag^+	$5,6 \cdot 10^{-8}$

Для іонів різного знака:

$$v_+ = b_+ \cdot E, \quad v_- = b_- \cdot E, \quad v = b \cdot E, \quad (8)$$

Тоді для густини сумарного струму отримаємо

$$j = \alpha \cdot n \cdot q_0 \cdot (b_+ + b_- + b) \cdot E. \quad (9)$$

Бачимо, що питома електропровідність σ для електролітів:

$$\sigma = \alpha \cdot n \cdot q_0 \cdot (b_+ + b_- + b), \quad (10)$$

Якщо до живої тканини прикласти постійну різницю потенціалів, то виявляється, що сила струму змінюється в часі, при сталій напрузі. Сила струму за певний час змінюється в сотні разів, а через деякий час встановлюється на сталому рівні. Це пов'язано з виникненням електрорушійної сили (ЕРС) *е.р.с.*, поляризації під час проходження постійного струму через біологічну систему. Ця ЕРС є функцією часу і зменшує прикладену напругу [7]. Закон Ома для біологічних систем запишеться у вигляді [2]

$$I = \frac{U \cdot E(t)}{R}, \quad (11)$$

де $E(t)$ – ЕРС поляризації.

Величина $E(t)$ пов'язана з діелектричними ємнісними властивостями живих об'єктів, зумовленими поляризацією.

Біологічним тканинам властива електрична гетерогенність. Значення електропровідності для окремих біологічних тканин наведено у таблиці 2 [2]. Первинна дія постійного струму на організм пов'язана, в основному, з двома процесами: поляризацією тканин організму і рухом та перерозподілом в організмі заряджених частинок. Ці процеси викликають зміну функціонального стану клітин організму, тобто збудження або гальмування їхньої діяльності.

Через нейрогуморальні або рефлекторні регуляторні механізми це призводить до функціональних змін у відповідних тканинах і органах, що є основою лікувального ефекту. Застосування постійного струму невеликої сили (до 50 мА) і напруги (від 30 В до 80 В) з лікувальною метою називають гальванізацією. Водночас, густина струму не повинна перевищувати $0,1 \text{ мА/см}^2$ [5, 8].

Для забезпечення ефективності фізіотерапевтичних процедур необхідно знати ЕП (електропровідність) біотканин – встановлення властивостей ЕП біотканини формує основну задачу даного дослідження.

Таблиця 2. Значення електропровідності окремих біологічних тканин і рідин

ТКАНИНА	$\Sigma, \text{См} \cdot \text{м}^{-1}$
Спинномозкова рідина	1,82
Кров	0,6
М'язи	0,5
Шкіра	10^{-4}
Кісткова тканина	10^{-7}

Основна частина

Експериментальне вимірювання електропровідності було виконано за допомогою лабораторної установки, фото якої наведено на рис.1.



Рис. 1. Лабораторна установка для вимірювання електропровідності

Напругу та частоту електричного струму на об'єкт задаємо генератором імпульсів Г5-54. Зміну амплітуди сигналу знімаємо з екрану універсального осцилографу С1-93, опір та напругу в біологічній тканині до та під час впливу фіксуємо за допомогою вольтметра.

Вплив на біооб'єкт було виконано за допомогою генератора, струм подавався через електроди, що зображені на рис. 2.

На початку дослідження, на генераторі імпульсів було задано наступні параметри електричного сигналу:

Таблиця 3. Параметри електричного струму

Параметри електричного струму	Значення
Амплітуда	30 В
Тривалість імпульсів	10^{-4} с
Часовий зсув	0
Режим	Безперервний

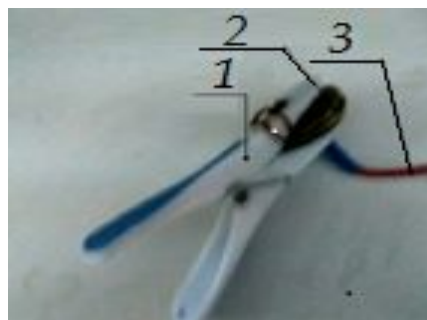


Рис. 2. Електрод для лабораторної установки, де: 1 – прищепка з пружиною (для стабільності фіксованого прижиму); 2 – металеві електроди (з заданою, постійною площею впливу); 3 – дріт (для підключення до генератора та осцилографа)

Загальну структурну схему експерименту представлено на рис. 3.

Поділений на етапи алгоритм експерименту наведено нижче. Для кожної заданої частоти повторювались всі етапи (0-4).

Етап 0 (підготовчий). Налаштування генератора імпульсів Г5-54 та універсального осцилографу С1-93, підключення електродів, осцилографу та вольтметра до біологічної тканини.

Етап 1. Виконання початкових вимірів параметрів біотканини (опір, напруга, амплітуда сигналу) до початку дії електричного струму.

Етап 2. Задання на генераторі амплітуди сигналу певної частоти.

Етап 3. Вимірювання амплітуди сигналу, опору та напруги в біотканині.

Етап 4. Фотофіксація сигналу на екрані осцилографу, та фіксація знятих показань приладів. Зняття електродів із зразка.

Етап 5. Математична обробка отриманих результатів.

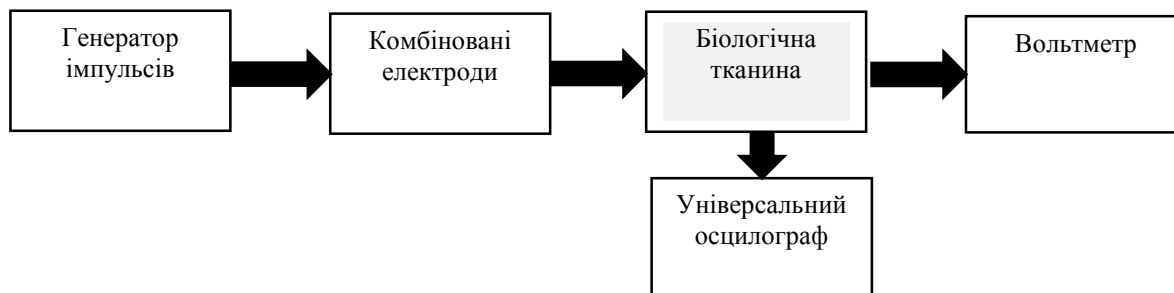


Рис. 3. Структурна схема експериментального обладнання

Результати дослідження

На графіках (рис. 4 – 6) представлені результати досліджень на м'язовій тканині свині (лат. Suidae), розмірами (60x25x5) мм, відповідно довжина, ширина, товщина.

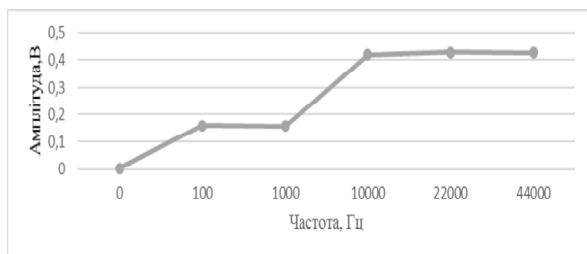


Рис. 4. Залежність амплітуди від частоти для м'язової тканини

З наведеного вище графіку (рис. 4), можна зробити припущення про прямо пропорційну залежність між прикладеною частотою та зафіксованою амплітудою сигналу.

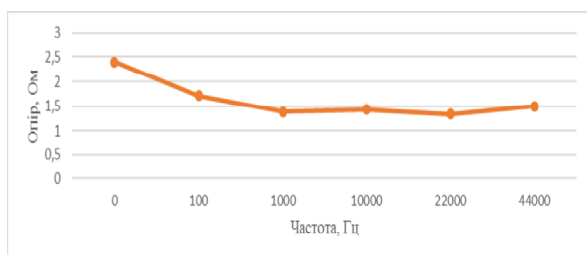


Рис. 5. Залежність електричного опору від частоти для м'язової тканини

З наведеного вище графіку (рис. 5), можна зробити припущення про обернено пропорційну залежність між прикладеною частотою та зафіксованим електричним опором неживої біологічної тканини.



Рис. 6. Залежність напруги від частоти для м'язової тканини

З наведеного вище графіку (рис. 6), можна зробити припущення про нелінійну залежність напруги в біотканині від прикладеної частоти. Пік напруги зафіксовано для частоти 1 кГц, найнижче значення – для частоти 44 кГц.

На графіках (рис. 7, рис. 8, рис. 9) представлені результати досліджень на живому дощовому черв'яку (лат. Lumbricina), розмірами (60x5) мм, відповідно довжина та діаметр.

З графіку (рис. 7) можна зробити висновок, що наведене вище припущення (для рис. 4) справедливе і для даного біооб'єкта. Фіксуємо прямо пропорційний зв'язок між частотою та амплітудою.

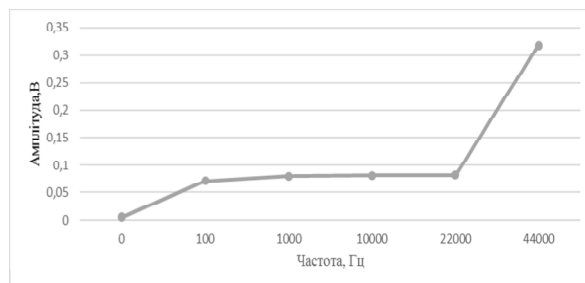


Рис. 7. Залежність амплітуди від частоти для черв'яка (лат. Lumbricina)

З даного графіку на рис. 8 можна зробити припущення – для даного біооб'єкта має місце нелінійна залежність між прикладеною частотою та опором біотканини (на відміну від залежності для неживої м'язової тканини свині).

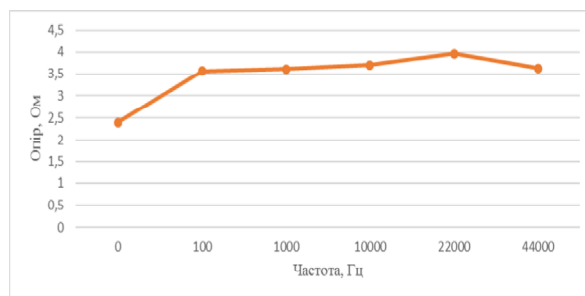


Рис. 8. Залежність електричного опору від частоти для черв'яка (лат. Lumbricina)

Найвище значення опору (4 Ом) зафіксовано для частоти впливу 22 кГц, з подальшим збільшенням частоти опір знижується.

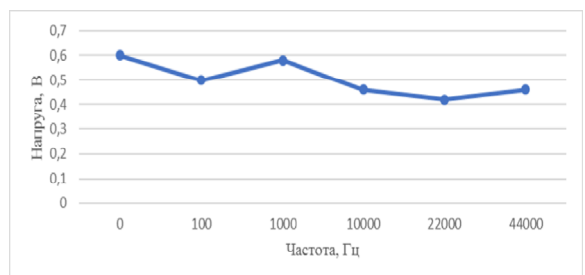


Рис. 9. Залежність напруги від частоти для черв'яка (лат. Lumbricina)

З наведеного графіку на рис. 9 можна зробити висновок, що вище зазначене припущення (рис. 6) справедливе також для даного біооб'єкта. Фіксуємо нелінійну залежність між прикладеною частотою та напругою всередині біотканини.

Водночас, найвище значення напруги зафіксовано для частоти 1 Гц (0,6 В), найнижче – для частоти 22 кГц (0,4 В).

В ході виконання даного експерименту також було встановлено:

1. Опір біологічних об'єктів змінному струмові нижче, ніж постійному.
2. Опір не залежить від величини струму, якщо ця величина нижче фізіологічної норми.
3. Опір біологічних об'єктів при даній частоті постійний, якщо не змінюється їх фізіологічний стан.
4. Опір біологічних об'єктів при даній частоті падає, якщо змінюється фізіологічний стан в сторону відмирання тканин.

Електропровідність живих тканин визначається передусім електричними властивостями крові, лімфи, ліквору, міжклітинної рідини, при чому рухливість іонів в біологічних рідинах приблизно така ж, як і в розчинах відповідних солей, приготованих на дистильованій воді [1].

В даному дослідженні вимірювався електричний опір біотканин R , який залежить від електропровідності та геометричних параметрів середовища [9]

$$R = \frac{1}{g} \cdot \frac{l}{S}, \quad (12)$$

де l – довжина зразка, S – площа поперечного перерізу досліджуваного зразка.

З виразу (12) отримуємо формулу для обчислення електропровідності біологічної тканини:

$$g = \frac{l}{R \cdot S}. \quad (13)$$

В результаті проведених моделювання та математичних розрахунків маємо графіки дисперсії електропровідності м'язової тканини свині (лат. Suidae) (рис. 10) та живого дощового черв'яка (лат. Lumbricina) (рис. 11).

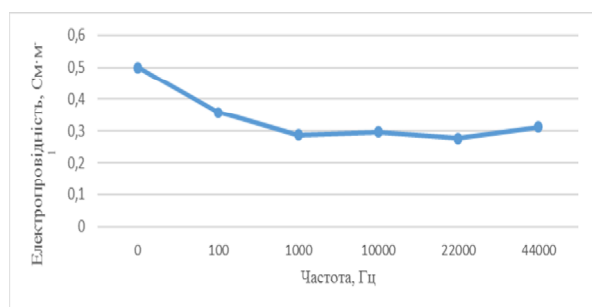


Рис. 10. Дисперсія електропровідності м'язової тканини свині (лат. Suidae)

Новими результатами в даній роботі є дослідження впливу частоти електричного струму на електропровідність біоструктури живого дощового черв'яка (лат. Lumbricina). В результаті експерименту встановлено – максимальна електропровідність досягається при частоті впливу 44 кГц і становить 0,129525 Свм·м⁻¹. Таким чином, з використанням частот терапевтичних інтенсивностей досягається максимальна

електропровідність для біотканини живого черв'яка (лат. Lumbricina).

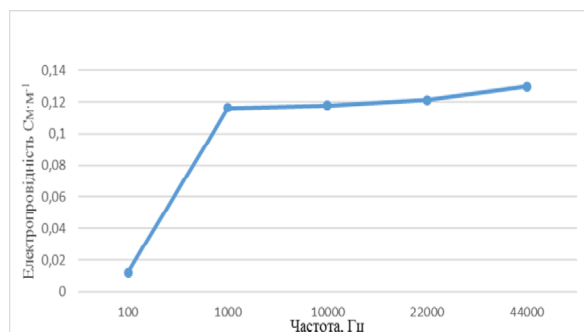


Рис. 11. Дисперсія електропровідності дощового черв'яка (лат. Lumbricina)

Порівнюючи результати, описані в роботі [1], та отримані в даному дослідженні для м'язової тканини свині (лат. Suidae), можна дійти висновку, що для частот в діапазоні від 1 до 44 кГц досягається електропровідність м'язової тканини, приблизно, рівня 0,3 Свм·м⁻¹. Новими результатами в даному дослідженні є отримана дисперсія електропровідності для терапевтичних інтенсивностей електричного струму (22 кГц та 44 кГц), яка в дослідженнях інших авторів не наводилась.

Висновки

Електропровідність біологічних систем – це кількісна характеристика здатності живих об'єктів (тканин) проводити електричний струм, обернено пропорційна величині електричного опору системи. Вимірювання електропровідності використовують для отримання інформації про функціональний стан біологічних тканин, для виявлення та лікування запальних процесів, зміни проникності клітинних мембран і стінок судин при патології або дії на організм фізичних, хімічних та інших факторів. Вимірювання електропровідності лежить в основі багатьох методів діагностики – оцінки кровонаповнення судин органів і тканин.

За отриманими результатами досліджень можна зробити висновок про те, що частота електричного струму, яким здійснюється вплив на біологічну структуру, знаходиться в прямо пропорційній залежності з амплітудою сигналу, знятого з м'язової тканини. Опір має нелінійний характер і змінюється на обраному інтервалі частот від 1,5 до 2,5 Ом для неживої м'язової тканини свині (лат. Suidae); та від 2,5 до 4 Ом – для біоструктури живого дощового черв'яка (лат. Lumbricina). Значення різниці потенціалів знятої з біооб'єктів також має нелінійний характер, та коливається в межах 0,4–0,6 В на дослідженому інтервалі частот.

Новим результатами в даній роботі, є дослідження дисперсії електропровідності для живого дощового черв'яка (лат. Lumbricina) в

інтервали частот 100 – 44 000 Гц, та дисперсії електропровідності неживої м'язової тканини свині (лат. Suidae) з використанням частот терапевтичних інтенсивностей 22 та 44 кГц. Для інтервалу частот 22–44 кГц зафіксовано найбільшу амплітуду сигналу та значення електропровідності біотканини, що знаходить відображення у прийнятих інтервалах частот для проведення фізіотерапевтичних процедур за загальноприйнятими методиками [6]. Дані дослідження можуть бути використані при розробці нових апаратів і методик лікування електричним струмом у фізіотерапії.

Література

1. Самойлов В. О. Медицинская биофизика: Учебник / В. О. Самойлов. СПб.: Спец. Лит., 2004.– 196 с.: ил. С.252–254.
2. Марценюк В. П. Медична та біологічна фізика / В. П. Марценюк. –Тернопіль: "Укрмедкнига", 2012.–304 с.–(ISBN 978–966–673–193–0).
3. Вивчення дії постійного і змінного струму на біологічні об'єкти [Електронний ресурс]. –2015. –Режим доступу до ресурсу: – URL: http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/distance/classes_stud/українська/1%20курс/Біофізика%20та%20медична%20апаратура/03_Фізичні%20основи%20електрографії.htm.
4. Постоянный электрический ток низкого напряжения – Преформированные лечебные

факторы в лечении болезней [Електронний ресурс]. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: <http://lekmed.ru/info/arhivy/preformirovany-lechebnye-factory-v-lechenii-serdechno-sosudistyh-bolezney-2.html>.

5. Электропроводность биологических тканей и ридин [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://helpiks.org/2–88263.html>.
6. Боголюбов В. М. Техника и методики физиотерапевтических процедур / В. М. Боголюбов., 2001 –352 с.
7. David S. Holder, "Brief Introduction to bioimpedance" in *Electrical Impedance Tomography. Methods, History and Applications*. D. Holder. London, USA: IOP Publishing, 2005, pp.411–422.
8. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation / John G. Webster. - John Wiley & Sons, 2006. –Н. Hutten. Impedance plethysmography. – Vol.4, pp.120-132. [Електронний ресурс]. – URL: <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/mrwhome/112102158/HOME?CRETRY=1&SRTRY=0>.
9. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation / John G. Webster. - John Wiley & Sons, 2006. – B.F. de Blasio, J. Wegener. Impedance spectroscopy. – Vol.4, pp.132–144. [Електронний ресурс]. – URL:<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/mrwhome/112102158/HOME?CRETRY=1&SRTRY=0>.

УДК 621:615.015.45

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

¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина

²⁾Научно-методический центр «Медицинские инновационные технологии», г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Проблематика. Большое практическое значение для медицины имеет прикладная биофизика, которая рассматривает значительный круг вопросов, связанных с физическими явлениями, которые лежат в основе строения и организации органов и систем организма. Влияние электрического тока на биологическую ткань было предметом многих научных исследований. Электропроводимость тканей и органов зависит от их функционального состояния и используется как диагностический показатель. Измерения электропроводности (кондуктометрия) широко используется при изучении процессов, происходящих в живых клетках и тканях при изменении физиологического состояния в результате действия некоторых химических веществ, а также при условии патологических процессов. Для обеспечения эффективности физиотерапевтических процедур необходимо знать ЭП (электропроводность) биотканей - установление свойств ЭП биоткани формирует основную задачу данного исследования.

Цель исследования. Установление зависимости изменения электропроводности (ЭП) биологических тканей различных типов от параметров электрического тока, с использованием частот терапевтических интенсивностей.

Методика реализации. Поставленная задача решена путём сборки лабораторной установки, её юстировки, выполнения соответствующих экспериментальных исследований с последовательными математическими расчётами и анализом полученных результатов, помогающими выполнить цель исследования.

Результаты исследования. Установлена величина электропроводности биологических тканей в зависимости от приложенного электрического тока, с использованием частот терапевтических интенсивностей. Также установлены величины сопротивления, напряжения внутри биоткани и величина амплитуды сигнала, при

проходженні електричного тока соответствующих частот. По результатам исследований построены соответствующие графики, сделаны выводы.

Выводы. Частота электрического тока, которым осуществляется воздействие на биологическую структуру, находится в прямо пропорциональной зависимости с амплитудой сигнала и значением электропроводности. Для интервала частот 22-44 кГц зафиксировано наибольшую амплитуду сигнала и значение электропроводности биоткани, что находит отражение в принятых интервалах частот для проведения физиотерапевтических процедур по общепринятым методикам. Данные исследования могут быть использованы при разработке новых аппаратов и методик лечения электрическим током в физиотерапии.

Ключевые слова: физиотерапия, электропроводность, электрический ток, частота, сопротивление, напряжение, амплитуда, биологическая ткань.

¹⁾N. F. Tereshchenko, ¹⁾V. V. Tsapenko, ²⁾N. V. Chuhrayev

¹⁾*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

²⁾*Scientific center "Medical innovative technologies", Kyiv, Ukraine*

RESEARCH CONDUCTIVITY OF BIOLOGICAL TISSUES

Problems. Biophysics applies a great practical importance for medicine, dealing a significant number of issues related to the physical phenomena underlying the structure and organization of organs and body systems. An effect of electric current on biological tissue has been the subject of much research. Electrical tissues and organs depends on their functional status and it has been used as a diagnostic indicator. Electrical conductivity measurement is been widely used in the study of processes occurring in living cells and tissues when changing physiological state as a result of certain chemical substances, and subject to pathological processes. It is necessary to know the DC (conductivity) of biological tissues to ensure the effectiveness of physical therapy - DC set properties biological tissue forms the main task of this study.

The aim of the study. Setting changes depending conductivity (DC) biological tissues of different types of the electrical current, using frequency therapeutic intensities.

Methods of implementation. The problem is solved by means of a laboratory setting, its alignment, and implementation of relevant experimental studies with consistent mathematical calculations and analysis of the results, helping to fulfill the purpose of the study.

Research results. During researches it was established a value of the electrical conductivity of biological tissues, depending on the applied electric current frequencies therapeutic intensities. Also, it was set the value of electrical resistance, voltage inside biological tissue and the value of the amplitude of the signal at an electric current of appropriate frequencies. It was corresponded graphics and made conclusions according to the researches.

Conclusions. Frequency impacted on the biological structure is directly proportional to the amplitude of the signal value and conductivity. For the frequency range 22-44 kHz signal amplitude recorded the highest value and conductivity biological tissue, which is reflected in the frequency range accepted for physical therapy by conventional methods. These studies can be used to develop new devices and electric shock treatments in physiotherapy.

Keywords: physiotherapy, electrical conductivity, electrical current, frequency, resistance, voltage, amplitude, biological tissue.

*Надійшла до редакції
29 грудня 2016 року*

*Рецензовано
15 січня 2017 року*

© Терешенко М. Ф., Цапенко В. В., Чухраєв М. В., 2017