

Технічні науки

УДК 621:615.015.45

Цапенко Валентин Валентинович

студент

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Терещенко Микола Федорович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри виробництва приладів

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чухраєв Микола Вікторович

кандидат технічних наук, доктор медицини, директор

Науково-методичний центр «Медичні інноваційні технології»

Цапенко Валентин Валентинович

студент

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

Терещенко Николай Фёдорович

кандидат технических наук,

доцент кафедры производства приборов

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

Чухраев Николай Викторович

кандидат технических наук, доктор медицины, директор

Научно-методический центр

«Медицинские инновационные технологии»

Tsapenko V.V.

Student

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Tereshchenko M.F.

Ph.D., assistant professor of Production Equipment

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Chuhrayev M.V.

Ph.D., MD, Director

Scientific center "Medical innovative technologies"

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ГЛИБИНИ ПРОНИКНЕННЯ
ПРЕПАРАТІВ У БІОЛОГІЧНУ ТКАНИНУ ВІД ЧАСТОТИ І ЧАСУ
ВПЛИВУ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ЕЛЕКТРОФОРЕЗУ
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ
ПРЕПАРАТОВ В БИОЛОГИЧЕСКУЮ ТКАНЬ ОТ ЧАСТОТЫ И
ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ
ЭЛЕКТРОФОРЕЗЕ
STUDY OF DEPENDENCE OF DEPTH OF INTENT PREPARATION
TO BIOLOGICAL TISSUE FROM FREQUENCY AND TIME OF
IMPULSE IN PULSED ELECTROPHORESIS**

Анотація: Біологічні тканини і організми є досить різноманітними утвореннями з різними електричними опорами, які можуть змінюватися під впливом електричного струму. Це зумовлює труднощі вимірювання параметрів, що характеризують електричні властивості органів і тканин. Перспективним напрямком для діагностики та медико-біологічних досліджень проникності біологічної тканини є вимір залежності величини електропровідності біологічних тканин від частот електричного струму. Величина електропровідності залежить від кількості вільних електричних зарядів і їх рухливості. В основу даного дослідження покладена задача створення вимірювальної системи і алгоритму знаходження найбільш оптимальної форми і параметрів електричного сигналу, для забезпечення необхідної глибини і швидкості проникнення фармакологічних препаратів в біологічну тканину, а, отже, забезпечення найбільшої ефективності лікувального ефекту. В результаті експериментів досліджено вплив частоти і часу проведення імпульсного електрофорезу на глибину введення розчину йоду та брильянтової зелені в жирову тканину. Встановлено діапазони найбільш оптимальних частот для введення фармакологічних препаратів в електрично активному стані, в поєднанні з дією електричного струму.

Ключові слова: електропровідність, проникливість біологічної тканини, фармакологічні препарати.

Аннотация: Биологические ткани и организмы являются достаточно разнообразными образованиями с различными электрическими сопротивлениями, которые могут изменяться при воздействии электрического тока. Это обуславливает трудности измерения параметров, характеризующих электрические свойства органов и тканей. Перспективным направлением для диагностики и медико-биологических исследований проницаемости биологической ткани является измерение зависимости величины электропроводимости биологических тканей от частот электрического тока. Величина электропроводимости зависит от количества свободных электрических зарядов и их подвижности. В основу данного исследования положена задача создания измерительной системы и алгоритма нахождения наиболее оптимальной формы и параметров электрического сигнала, для обеспечения необходимой глубины и скорости проникновения фармакологических препаратов в биологическую ткань, а, следовательно, обеспечения наибольшей эффективности лечебного эффекта. В результате экспериментов исследовано влияние частоты и времени проведения импульсного электрофореза на глубину введения раствора йода и брильянтовой зелени в жировую ткань. Установлено диапазоны наиболее оптимальных частот для введения фармакологических препаратов в электрически активном состоянии, в сочетании с действием электрического тока.

Ключевые слова: электропроводимость, проницаемость биологической ткани, фармакологические препараты.

Summary: Biological tissues and organisms are quite diverse formations with different electrical resistances, which can change when exposed to an electric current. This makes it difficult to measure the parameters that characterize the electrical properties of organs and tissues. A perspective direction for diagnostics

and biomedical studies of the permeability of biological tissue is the measurement of the dependence of the electrical conductivity of biological tissues on the frequencies of electric current. The amount of electrical conductivity depends on the number of free electric charges and their mobility. The basis of this study is the task of creating a measuring system and an algorithm for finding the most optimal form and parameters of an electrical signal, to provide the necessary depth and speed of penetration of pharmacological agents into biological tissue, and, consequently, to ensure the greatest effectiveness of the therapeutic effect. As a result of the experiments, the influence of the frequency and time of pulsed electrophoresis on the depth of introduction of a solution of iodine and diamond greens into adipose tissue was studied. The ranges of the most optimal frequencies for the introduction of pharmacological drugs in the electrically active state, in combination with the action of electric current, are established.

Keywords: electroconductivity, penetration of biological tissue, pharmacological preparations.

Вступ

До параметрів, які характеризують електричні властивості органів і тканин, відносять їх електропровідність, опір, ємність, діелектричну проникність, імпеданс тощо. Електропровідність – це кількісна характеристика здатності живих об'єктів проводити електричний струм, обернено пропорційна величині електричного опору системи. Вимірювання електропровідності використовують для отримання інформації про функціональний стан біологічних тканин, для виявлення 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 оцінки кровонаповнення судин органів і тканин.

Величина електропровідності залежить від кількості вільних електричних зарядів і їх рухливості. Електропровідність або опір клітин, тканин, органів і цілих організмів вимірюють при проведенні через них постійного або змінного синусоїдального струму, частота якого може змінюватися від часток Герца до 10^{10} Гц. Для вимірювання електричних характеристик біологічного об'єкта (БО) застосовують металеві або вугільні електроди, які прикладають до об'єкта за допомогою рідинного контакту - тонкого шару рідини, яка добре проводить електричний струм (фізіологічного розчину). Для полегшення інтерпретації отриманих результатів біологічну систему (тканину, суспензії клітин) часто представляють у вигляді моделі - електричної схеми, що складається з набору активних опорів і ємностей, що є еквівалентами біологічних структур (БС) клітин або тканин. У медицині та біології електропровідність найчастіше досліджують в області так званої β -дисперсії, яка спостерігається в діапазоні частот (10^2 - 10^8) Гц і визначається поляризацією границь розділу і неоднорідністю структури об'єкта. Порівнюючи дані, отримані при вимірюванні на низьких і високих частотах, можна обчислити об'єм і іонну провідність міжклітинних просторів та цитоплазми клітин, проникність мембран для іонів, ємнісні характеристики мембрани [1].

Аналіз сучасного стану проблеми

Гальванізація - це метод впливу на тканини живого організму постійним струмом до 50 мА і напругою до 80 В. Постійний струм, як лікувальний фактор, підсилює крово- і лімфообіг, вуглеводний і азотний обмін речовин, регенерацію нервових і пошкоджених тканин, надає болезаспокійливу дію.

При гальванізації необхідно враховувати явище поляризації на поверхні накладених на шкіру електродів. В результаті вторинних реакцій продукти електролізу можуть вступати в хімічну взаємодію з електродами

і утворювати з ними гальванічні пари. Щоб виключити поляризацію, застосовують електроди, які не поляризуються. Крім того, накладення металевих електродів безпосередньо на шкіру недопустимо, тому що продукти електролізу $NaCl$, що містяться в тканинах, генерують «припалюючу» дію. Тому при проведенні процедури гальванізації під електроди розміщують гідрофільні серветки, змочені звичайною водою. Дозують постійний струм за показаннями міліамперметра з урахуванням гранично допустимої щільності струму: для шкіри до $(0,1 \div 0,2) \text{ mA/cm}^2$, для слизових оболонок – $(0,02 \div 0,03) \text{ mA/cm}^2$.

Як показали дослідження, тривале застосування постійного струму може викликати морфологічні зміни в тканинах: потовщується шар епідермісу, його клітини набухають, збільшується їх кількість; сполучна тканина стає набряклогою.

Часто гальванізацію поєднують з введенням лікарських речовин в організм через шкіру або слизові оболонки шляхом електролізу. Цей метод називають **лікувальним електрофорезом**. Лікарські речовини вводяться з урахуванням знаку заряду, який набувають іони при дисоціації. З анода вводяться катіони, наприклад, іони металів, алкалоїди, а з катода - аніони (кислотні радикали солей, іони деяких органічних з'єднань - сульфідину, пеніциліну, кокаїну та ін.). Серветки під електродами змочують розчином відповідної лікарської речовини. Введені в організм іони глибоко не проникають, а затримуються в шарах шкіри і підшкірній клітковині, утворюючи «шкірно-підшкірне депо». З нього протягом тривалого часу іони поступово, шляхом дифузії, переходять в загальний потік крові і розносяться по всьому організму.

Особливістю лікувального електрофорезу є надходження в організм ліків в електрично активному стані і в поєднанні з дією електричного струму. Це обумовлює підвищену фармакологічну ефективність введених лікарських речовин. **Електрофорез** застосовують в медико-біологічних

дослідженнях: аналіз білкового складу сироватки крові, шлункового соку; поділ нуклеїнових і амінокислот, стеарину і інших біологічних речовин [2].

Дослідження електропровідності біологічних тканин може бути використано при дослідженні параметрів глибини проникності клітинних мембран і інших меж розділу в клітинах, тканинах, органах, а їх стандартизація дає можливість порівнювати дані, отримані різними дослідниками.

Постановка задачі

Багато біологічних середовищ (кров, спинномозкова рідина та інші) є електролітами. 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 [3]:

$$j_+ = q_0 \cdot n_+ \cdot v_+ \text{ та } j_- = q_0 \cdot n_- \cdot v_- , \quad (1)$$

де q_0 – заряд носія,

j – густина струму для позитивних (j_+) та негативних (j_-) іонів;

n – кількість позитивних (n_+) та негативних (n_-) носіїв струму;

v – концентрація позитивно (v_+) та негативно (v_-) 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, при умові 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_- , n і v_+ , v_- , 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:

$$v = b \cdot (\vec{E}_{zn} + \vec{E}_{вн}), \quad (5)$$

або в скалярній формі

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

Коефіцієнт пропорційності b називається рухливістю носіїв.

Рухливість b чисельно дорівнює швидкості впорядкованого руху в полі з загальною напруженістю E . Припустимо, що значення напруженості $E=1$ В/м, тоді:

$$b = \frac{v}{(\vec{E}_{zn} + \vec{E}_{вн})}, \quad (7)$$

або в скалярній формі

$$b = \frac{v}{E_{zn} + E_{вн}} \quad (8)$$

Одиниця виміру рухливості частинок (іонів): $[b] = m^2 / (V \cdot c)$.

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

$$b = \frac{q_0 \cdot r}{m} \pm \frac{q_0 \cdot r'}{m} = \frac{q_0 \cdot (r \pm r')}{m}, \quad (9)$$

де r' – час вільного пробігу для умовно нейтральних частинок.

Значення рухливості при нормальних умовах для деяких іонів наведені в таблиці 1 [3]:

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 знаку:

$$v_+ = b_+ \cdot E, \quad (10)$$

$$v_- = b_- \cdot E, \quad (11)$$

$$v = b \cdot E, \quad (12)$$

тоді для густини сумарного струму отримаємо:

$$j = \alpha \cdot n \cdot q_0 \cdot (b_+ + b_- + b) \cdot E \quad (13)$$

Бачимо, що питома електропровідність σ для електролітів:

$$\sigma = \alpha \cdot n \cdot q_0 \cdot (b_+ + b_- + b) \quad (14)$$

Видно, що провідність зростає відповідно до зростання коефіцієнта дисоціації, концентрації молекул електроліту, заряду носіїв, рухливості іонів b_+ і b_- . Із зростанням температури питомий опір електролітів зменшується.

Основу характерних лише для живих об'єктів властивостей (збудливість, скорочуваність) становлять ефекти, що мають електричну природу. Тому, опір живих клітин і тканин чутливий до дії електричного струму, особливо чутливі легко збудливі тканини: нерви і м'язи, а це означає, що при вимірюваннях потрібно використовувати досить низькі напруги. Електропровідність окремих ділянок залежить від опору шкіри і підшкірного шару в місцях накладання електродів. Опір шкіри, в свою чергу, визначається віком, товщиною, пітливістю тощо. Біологічні тканини мають досить неоднорідну електропровідність. В них складним чином чергуються ділянки з високою провідністю (біологічні рідини) і низькою

(шкіра, кісткова і жирова тканини, мембрани клітин та клітинних органодів). Значення питомого опору окремих тканин і рідин постійному струмові наведені в табл. 2[3]:

Таблиця 2

Значення питомого опору окремих тканин і рідин постійному струмові

Тканини	ρ [Ом·м]
Спинномозкова рідина	0,55
Кров	1,66
М'язи	2
Мозкова тканина	14
Жирова тканина	33
Шкіра суха	10^5
Кістка без надкісниці	10^7

Суттєво складною задачею є дослідження електричних властивостей клітини. Не так давно вдалося виміряти електричний опір плазматичних мембран різних клітин. Будемо позначати R_m опір одиниці мембранної поверхні незалежно від її товщини, яку інколи неможливо виміряти точно, тобто [3]:

$$R_m = \rho \cdot l \quad (15)$$

де ρ – питомий опір БС постійному струмові,

l – довжина БС,

C_m – електроємність одиниці мембранної площі.

Значення R_m та C_m для різних біооб'єктів наведені в табл. 3 [3]:

Таблиця 3

Значення R_m та C_m для різних біооб'єктів

Біооб'єкт	R_m [Ом·м ²]	C_m [Ф/м ²]
Плазмолема нейрона п'явки	$1,7 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Мотонейрон золотої рибки	$6 \cdot 10^8$	-
Гладкі м'язові волокна ссавців	10^7	$30 \cdot 10^{-2}$
Тонічне м'язове волокно	$2,9 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^{-2}$

Від величин R_m та C_m суттєво залежать основні фізіологічні властивості клітинних структур, наприклад, швидкість поширення збудження, проникність мембрани тощо [3].

Перспективним напрямом для діагностики та медико-біологічних досліджень проникливості біологічної тканини є вимірювання залежності глибини проникнення фармакологічних препаратів в біотканину від частоти та часу впливу при імпульсному електрофорезі [4]. В основу досліджень покладено завдання створення вимірювальної системи та алгоритму знаходження найбільш оптимальної форми та параметрів електричного сигналу, для забезпечення необхідної глибини та швидкості проникнення фармакологічного препарату в біологічну тканину, а отже забезпечення найбільшої ефективності лікувального ефекту.

Метою даної роботи є визначення параметрів впливу електричних сигналів на проникнення та розповсюдження різноманітних фармакологічних препаратів в БС різних типів.

Об'єктом дослідження в даній роботі є біофізичні процеси проникнення фармакологічних препаратів, в середовищі дії різноманітних фізичних полів у біологічних середовищах.

Предметом дослідження є параметри електричних сигналів, які забезпечують необхідну глибину проникності та ефективність дії ліків в конкретній біологічній тканині чи системі.

Основна частина

Поставлена задача вирішена шляхом встановлення закономірності глибини та швидкості проникнення лікувального препарату в біологічну тканину в залежності від форми та параметрів впливаючого електричного сигналу. В процесі виконання даного дослідження проведено ряд експериментів на біологічній (жировій) тканині з використанням різних фармакологічних препаратів (наприклад розчини йоду I_2 , брильянтової

зелені $C_{27}H_{34}N_2O_4S$, перманганату калію $KMnO_4$ та ін.), з використанням експериментальної установки наведеної на рис.1:

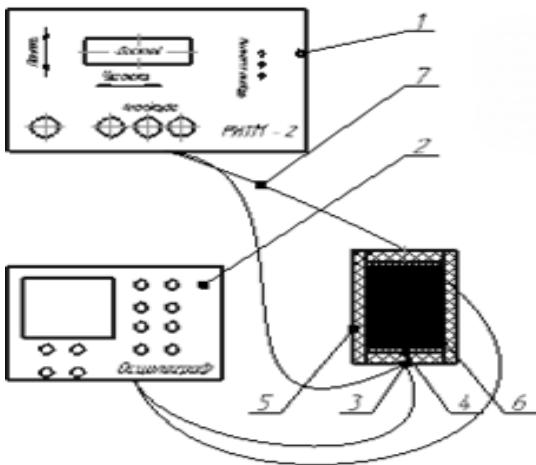


Рис.1 Схема експериментальної установки

1.Апарат «Ритм 2», 2.Осцилограф «СН-93», 3.Електрод, 4.Серветка з препаратом, 5. Циліндр (пластиковий стакан), 6.Біозразок, 7.Дроти

В якості генератора імпульсів, для даного дослідження, було обрано фізіотерапевтичний апарат («Ритм-2»), який забезпечує генерування сигналу трьох форм з регулюванням частоти, амплітуди сигналу зі збереженням його параметрів в внутрішню пам'ять апарату. Після проведення експерименту, здійснено заморожування дослідних зразків та виконання зрізів. За розмірами та глибиною проникнення плями фармакологічного препарату, складено

звіт про експериментальні дослідження та побудовані відповідні графіки залежності глибини проникнення препаратів у БТ від частоти і часу впливу.

Методика експерименту

Дане дослідження проводиться з метою встановлення залежності глибини та швидкості проникнення фармакологічного препарату від параметрів впливаючого струму.

Загальна структурна схема експерименту представлена на рис.2:

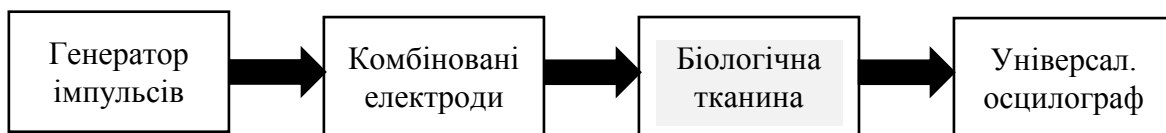


Рис.2 Структурна схема експерименту

В якості дослідного зразка було обрано жирову тканину свині (лат. Suidae). З метою максимального наближення стану даного біозразка до стану живої біотканини - протягом 30 хвилин, зразки оброблялись в

розчині $NaCl$ 0,9 % (фізіологічний розчин). В якості генератора було використано фізіотерапевтичний апарат («Ритм-2»), параметри струму, який протікає по біологічній тканині знімалися за допомогою універсального осцилографа («СН-93»). В якості генератора, для проведення досліджень, можна також використовувати комбінований фізіотерапевтичний випромінювач в поєднанні з фізіотерапевтичним апаратом («МІТ-11») [5].

Алгоритм експерименту наведено далі. Підключаються електроди до генератора та осцилографа, виконується заземлення осцилографа. Для зручності, дослідні зразки встановлюються в пластикові стакани (попередньо підготовані). Після цього наноситься по 1 краплі препаратів на серветку, яка розташовується на біологічній тканині. Прикладаються електроди до діаметрально протилежних поверхонь дослідних зразків (відповідно полярності), встановлюються відповідні параметри струму на генераторі та подається електричний струм заданої частоти на біологічну тканину, паралельно фіксуються показання осцилографа (фотофіксація). Після проведення експерименту, виконується заморожування дослідних зразків, проводяться відповідні зрізи, фіксується проникнення на фотореєстратор. Вимірюються розміри плями препарату та глибину проникнення, проводиться обробка та аналіз отриманих результатів [6].

Результати та обговорення

В ході виконання даного експерименту були встановлені попередні оптимальні параметри електричного сигналу для проникнення індикаторних фармакологічних препаратів (брильянтової зелені та йоду).

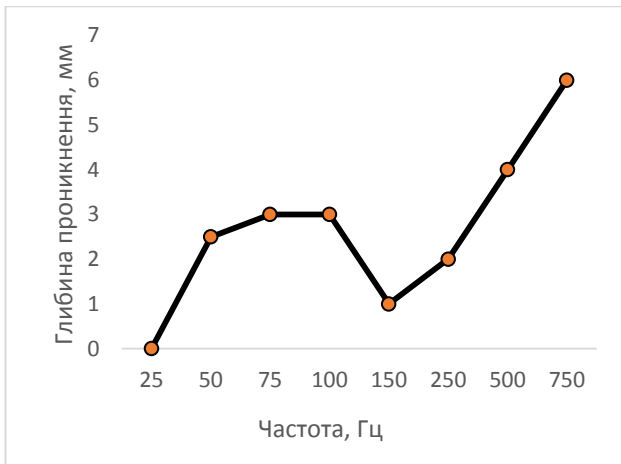


Рис. 3 Залежність глибини проникнення йоду (I) від частоти електричного струму (час впливу 30 с.)

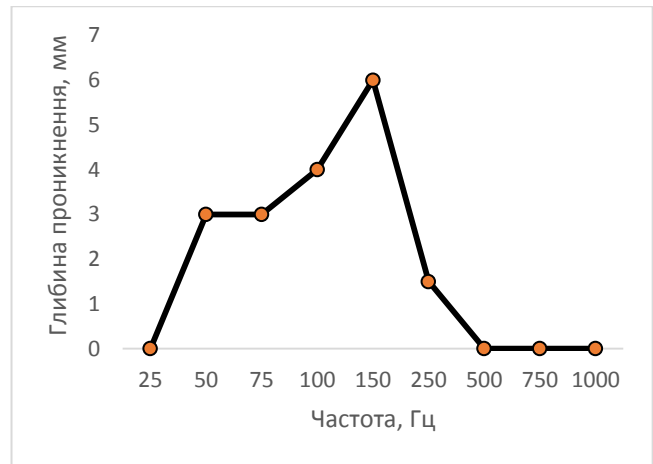


Рис. 5 Залежність глибини проникнення брильянтової зелені ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$) від частоти електричного струму (час впливу 30 с.)

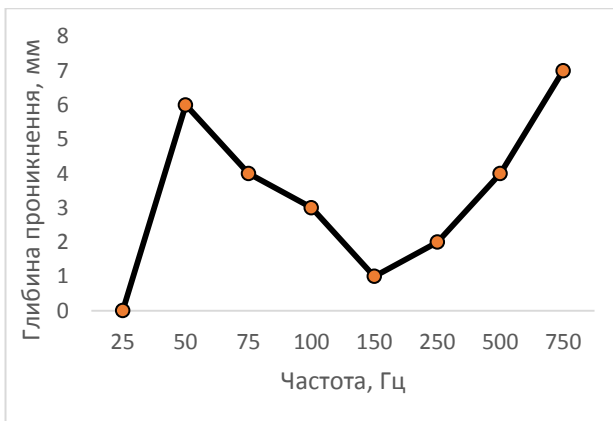


Рис. 4 Залежність глибини проникнення йоду (I) від частоти електричного струму (час впливу 60 с.)

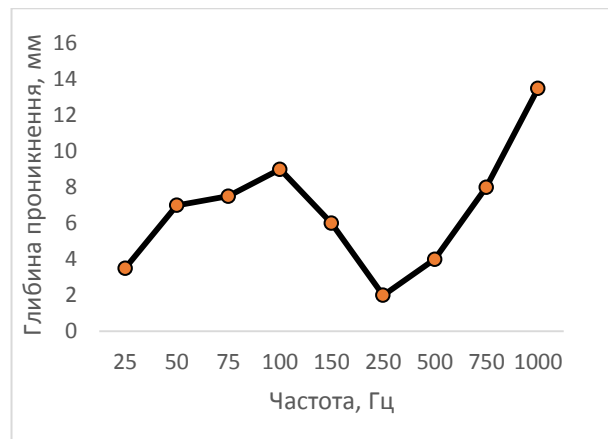


Рис. 6 Залежність глибини проникнення брильянтової зелені ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$) від частоти електричного струму (час впливу 60 с.)

З наведених вище графіків, можна зробити висновок, що в електрично активному стані найбільша глибина проникнення для йоду (I), спостерігається в діапазоні частот (500-750) Гц при часі впливу 60 с (макс. 7 мм). Для розчину брильянтової зелені 1% ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$) - в діапазоні частот (125-175) Гц при часі впливу 30 с, та в діапазоні (75-100) Гц (макс. 9 мм), (800-1000) Гц (макс. 13,5 мм) при часі впливу 60 с.

Таким чином, найбільш оптимальною частотою для проникнення в БС йоду (*I*) в електрично активному стані, в поєднанні з дією електричного струму – є частота 750 Гц (час впливу – 60 с.), брильянтової зелені ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$) – 1000 Гц (час впливу – 60 с.).

Новими результатами в даній роботі, є дослідження впливу частоти електричного струму на глибину проникнення фармакологічних препаратів («індикаторів») йоду (*I*) та розчину 1% брильянтової зелені ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$) в біологічну тканину (БТ).

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 оцінки кровонаповнення судин органів і тканин.

Проблемна ситуація даного методу полягає в тому, що в більшості літературних джерел за даною темою відсутні належна клініко-функціональна характеристика; докази специфічної дії лікарського засобу, введеного струмом; порівняння ефективності лікування при цьому та інших способах введення медикаменту; ефективність лікування оцінювалася недостатньо інформативними методами дослідження. В результаті проведених досліджень, встановлено, що найбільш оптимальною частотою для надходження в організм йоду (*I*) в електрично активному стані, в поєднанні з дією електричного струму – є частота 750 Гц (час впливу струму – 60 с.), брильянтової зелені ($C_{27}H_{34}N_2O_4S$) – 1000 Гц (час впливу струму – 60 с.).

Таким чином, проведенні дослідження актуальні в сучасній медицині та біології, а результати проведених експериментів є досить необхідними у сучасній біоінженерії та будуть використані при розробці нових апаратів і методик лікування електричним струмом у фізіотерапії.

Література

1. Цапенко В.В. Електропровідність біологічних систем / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко // IX науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування»: Матеріали конференції. - Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». - 2016. - 180 с, С.156.
2. Самосюк И.З. Энергетические параметры электротерапевтического воздействия и их расчёты / И.З. Самосюк, А.А. Владимиров, Н.В. Чухраев, А.П. Гнездовский // ФИЗИОТЕРАПЕВТ. - 2011. №7., С.47-48.
3. Електропровідність біологічних тканин і рідин [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://2psk.ru.669544.helpiks.org/3-92386.html>
4. Цапенко В.В. Дослідження електропровідності біологічних тканин / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко // XV Міжнародна науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів»: Матеріали конференції. - Кременчук: КрНУ, 2016. – 180 с., С. 92-93.
5. Цапенко В.В. Комплексный излучатель ультратонотерапии / В.В. Цапенко, Н. Ф. Терещенко, Н.В. Чухраев // Материалы 8-й Международной научно – технической конференции «Приборостроение-2015» в 2 томах. Том 1. 25-27 ноября 2015 г / Минск, 2015, БНТУ- 265 с., С. 158 – 159.
6. Цапенко В.В. Исследование параметров влияния электрических сигналов на эффективность введения фармакологических препаратов

в биологическую ткань / В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко // Новые направления развития приборостроения. Материалы 9–й Международной научно-технической конференции молодых учёных и студентов в 2 томах, 20 – 22 апреля 2016 г., г. Минск, БНТУ. - 2016. - Том 1. - С.135.