

Лілія МАРТИНЮК¹, ст. викл.,
Валерій КРИВОНОСОВ¹, д-р техн. наук, проф.,
Геннадій КРУГЛЯК¹, ст. викл.,
Сергій САНДЕР², канд. мед. наук, доц.

¹ Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження НУБіП України, м. Київ, Україна,
e-mail: martyniuklilia@nubip.edu.ua

² Вінницький медичний інститут ім М.І.Пирогова, м. Київ, Україна

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ТКАНИНИ ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ

Анотація. В роботі розглянуто спосіб виявлення початкового моменту виникнення ішемії кінцівок. Гостра ішемія нижніх кінцівок загрожує життєздатності кінцівок протягом короткого періоду, оскільки колатеральні артерії не встигають утворитися, щоб компенсувати зниження перфузії. Частота гострої ішемії нижніх кінцівок становить приблизно 1,5 випадки на 10 тис. осіб на рік. Попри проведення ранньої ревазуляризації пацієнтам із цією патологією, 30-денна смертність становить від 10 % до 15 %. Для ранньої неінвазійної та інвазійної діагностики порушення перфузії кінцівок та оцінки динаміки розвитку ішемії кінцівки за допомогою вимірювання в перехідних режимах іонізації електропровідності біологічної тканини, представлено блок схему приладу який може бути використаний у медичних закладах та у біомедичних лабораторіях для дослідження властивостей біологічних тканин.

Ключові слова: Ішемія, іонізація, електропровідність, біологічна тканина.

Актуальність дослідження. В сучасній медицині, біоінженерії та приладобудуванні є необхідність у застосуванні ефективних приладів для дослідження властивостей біологічної тканини, які можуть бути використані як в медичних та діагностичних центрах, хірургічних відділеннях для ранньої неінвазійної та інвазійної діагностики порушення перфузії кінцівок, так і для оцінки динаміки розвитку ішемії кінцівки за допомогою вимірювання в перехідних режимах іонізації електропровідності біологічної тканини, а також у біомедичних лабораторіях для дослідження властивостей біологічних тканин.

Патологічні та фізіологічні процеси в живих тканинах, як правило, супроводжуються зміною властивостей їх електропровідності. Особливо це актуально при діагностиці та прогнозуванні динаміки розвитку ішемії кінцівок. Небезпека розвитку ішемічної хвороби кінцівок полягає у переростанні її в гостру ішемію.

Гостра ішемія нижніх кінцівок загрожує життєздатності кінцівок протягом короткого періоду, оскільки колатеральні артерії не встигають утворитися, щоб компенсувати зниження перфузії. Частота гострої ішемії нижніх кінцівок становить приблизно 1,5 випадки на 10 тис. осіб на рік. Попри проведення ранньої ревазуляризації пацієнтам із цією патологією, 30-денна смертність становить від 10 до 15 % [1].

У діагностичній та лікувальній медичній практиці електричні методи впливу на організм знайшли широке застосування. Біологічні тканини по-різному проводять електричний струм. Для дослідження електропровідності та імпедансу біологічної тканини відомі лабораторні установки, що містять джерело регульованого живлення, вольтметр, амперметр і два електроди, виконаних у вигляді пластин, приєднаних до джерела живлення за допомогою проводів [2].

Існують інвазійні та неінвазійні методи та прилади діагностики ішемії кінцівок такі як: пристрій для ультразвукового дуплексного сканування судів нижніх кінцівок. Це неінвазійне ультразвукове дослідження. Ультразвукове дуплексне сканування візуалізує непультуючу артерію без кольорового потоку та із закупоркою всередині просвіту. Відомий пристрій постійно-хвильового Доплера олівцевого типу. Постійно-хвильовий Доплер надає інформацію про наявність та характер артеріального кровотоку, тому можна визначити рівень артеріальної оклюзії [3]. Пристрій, що дозволяє візуалізувати просторовий розподіл

провідності (або електричного імпедансу) всередині об'єкта, зокрема, всередині тіла людини, за результатами неінвазійних електричних вимірювань [4].

Недоліками використання даних пристроїв є наявність складного технічного дорогого обладнання, складність у використанні та потреба у висококваліфікованих фахівцях.

Відомі апарати гальванізації та лікарського електрофорезу, наприклад, «Елфор-проф», «Потік 1М», які застосовуються для лікування та профілактики найрізноманітніших захворювань у стаціонарах та вдома, мають суттєвий недолік, вузькі функціональні можливості, через що унеможливується їх використання для дослідження електропровідності в біологічних тканинах одночасно в кількох точках, оскільки в апаратах немає функції фіксування перехідної зміни електропровідності.

Мета дослідження. Розробка пристрою для комплексного дослідження електропровідності біологічної тканини, в якому введення нових елементів, блоків та зв'язків забезпечить можливість проведення інвазійного та не інвазійного вимірювання електропровідності біологічної тканини одночасно на декількох ділянках біологічного об'єкта, що забезпечить можливість дослідження ступеню порушення перфузії у біологічній тканині та динаміки розвитку ішемічної хвороби.

Основні матеріали досліджень. Ішемія кінцівки – це раптове критичне зниження перфузії, що загрожує життєздатності кінцівки. Причинами порушення прохідності артерій можуть бути атеросклероз, ендартеріїт, діабетична ангіопатія або наслідки травм. Травми кінцівок внаслідок бойових дій, а також виробничі та побутові травми залишаються основною причиною летальних наслідків та травматизму. Частота поранень магістральних судин у сучасних воєнних конфліктах досягає 7,5...9,0 % [5]. Первинною причиною смерті при травмі залишається крововтрата. В зв'язку з цим актуальним для до госпітального етапу залишається тимчасова зупинка кровотечі тому останнім часом значно частіше почали використовувати кровоспинні джгути. Тривале накладання джгута (штучна ішемія кінцівки) може призвести до реперфузійних травм не тільки скелетних м'язів, але і життєво важливих органів, зокрема мозку, серця, легень та нирок. Термін, на який може бути накладено кровоспинний джгут, залежить від індивідуальності пацієнта, температури навколишнього середовища, виду травми та інших факторів, і може бути від 1 до 6 годин. Визначення терміну відновлення кровотоку, після періоду ішемії, має важливе значення для запобігання реперфузійного синдрому. Своєчасно виявлення ішемії, недопущення настання реперфузійного явища, контроль динаміки розвитку ішемії кінцівки та переростання хвороби на гостру ішемію дозволяє електричний метод впливу на тканину.

Основним механізмом, що характеризує протікання постійного електричного струму в живих організмах є електрична провідність, яка обумовлена іонною провідністю. Рівняння, що характеризує зміну $E_{\text{іон}}$ має вигляд:

$$\frac{dE_{\text{іон}}}{dt} + \left(\frac{1}{R_2 \cdot C} \right) \cdot E_0 = 0, \quad (1)$$

де $E_{\text{іон}}$ – електрорушійна сила процесу іонізації; R_2 – активний опір клітин тканин; E_0 – напруга прикладена до електродів.

Вхідний струм визначиться виразом:

$$I_1 = \frac{U_0}{R_1 + R_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right)} \cdot \frac{U_0}{Z}, \quad (2)$$

де $\tau_1 = C \cdot R_2$ – постійна часу процесу іонізації для біологічного об'єкту і залежить від кровотоку, R_1 – активний опір у міжклітинному просторі та струмоведучих дротах,

$$Z = R_1 + R_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right), \quad (3)$$

де Z – вхідний опір біологічної тканини.

Вираз (3) вказує, що опір в перехідному періоду змінюється по експоненціальному закону та залежить від кількості кровотоку в дослідженій ділянці.

Таким чином, досліджуєма залежність зміни вхідного опору в часі дозволяє досліджувати порушення перфузії біологічної тканини. Блок-схема пристрою дослідження провідності біологічної тканини представлено на рис. 1.

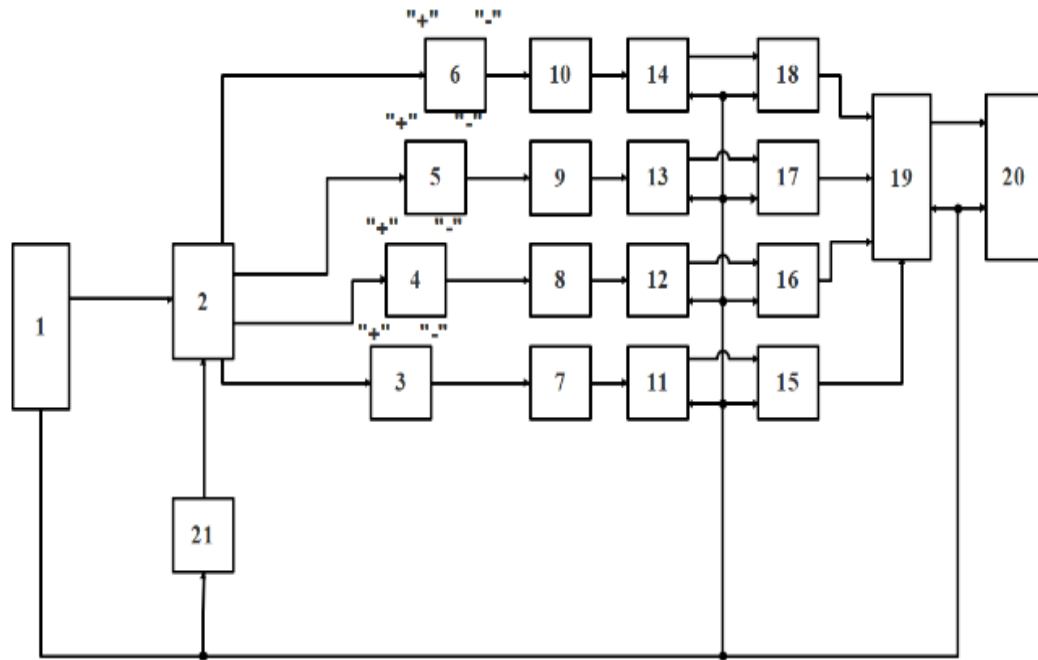


Рис. 1. Блок-схема пристрою дослідження провідності біологічної тканини

Пристрій містить блок живлення 1, що першим виходом підключений до першого входу багатоканального блоку перемикачів режимів 2, чотири виходи якого підключені до відповідних перших входів мостових схем 3, 4, 5, 6, другі виходи яких підключені до відповідної пари електродів 23, 24 струмопроводами, виходи мостових схем 3, 4, 5, 6 через перетворювачі струм-напруга 7, 8, 9, 10, підсилювачі напруги 11, 12, 13, 14 та аналого-цифрові перетворювачі 15, 16, 17, 18 підключені до відповідних чотирьох входів мікроконтролера 19, п'ятий вхід якого підключений до першого виходу блоку завдання коефіцієнтів подібності та режимів 21, а вихід мікропроцесора 19 підключений до дисплея 20, другий вихід блоку завдання коефіцієнтів подібності та режимів 21 підключений до багатоканального блоку перемикачів режимів 2, крім того підсилювачі напруги 11, 12, 13, 14, аналого-цифрові перетворювачі 15, 16, 17, 18, мікроконтролер 19, дисплей 20 та блок завдання коефіцієнтів подібності та режимів 21 підключені до другого виходу регульованого блоку живлення 1. При цьому для інвазійного дослідження, електроди 23 є голчастими і розташовані на діелектричній підставі 22, що має отвори для регулювання відстані між ними. Для інвазійного дослідження, електроди 24 виконані у вигляді пластин, покритих тканиною і попарно зв'язані пружним зв'язком.

Пристрій для комплексного дослідження електропровідності біологічної тканини працює у неінвазійному дослідженні та інвазійному.

Вимірювальні струмові сигнали перетворюються у сигнали напруги та з заданою дискретністю перетворюються на цифрові, які надходять на входи мікроконтролера, в якому обчислюється значення відносного коефіцієнта опору – k , за виразом:

$$k_1 = \frac{Z_{i1}}{Z_{i1}^*}, \quad (4)$$

де Z_{i1} – опір вимірювання у першій точці i -го виміру першої кінцівки, Z_{i1}^* – опір вимірювання в першій симетричній точці i -го виміру другої кінцівки.

За отриманими даними побудовані графіки зміни – k_1 та k_2 за період дослідження, результати якого наведені на рис. 2.

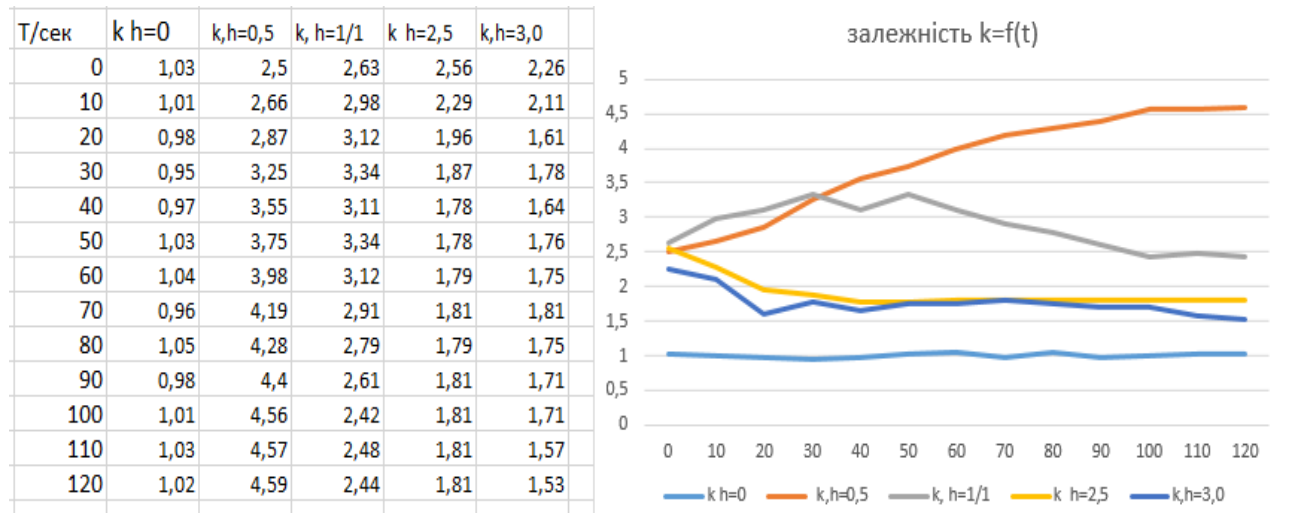


Рис. 2. Результати дослідження відносного коефіцієнту опора біологічної тканини

Висновок

Аналіз графічних залежностей дозволяє оцінити стан біологічної тканини об'єкта. Дане дослідження важливе для визначення порушення кровотоку та розвитку ішемічної хвороби. Таким чином, для досліджуваного біологічного об'єкта, початковий етап омертвіння клітин та настання реперфузійного синдрому, спостерігається при порушенні перфузії більше 1 години. Зупинка перфузії крові 2,5 години і більше, що призвело до незворотних процесів омертвіння тканини.

Література

1. Kryvonosov, V., Prudnikova, N., Martyniuk, L. (2022). Justification of the electrical scheme of biological tissue replacement under the action of DC voltage. *Machinery & Energetics*, 13(4), 60-71. Journal homepage: <https://technicalscience.com.ua/en>
2. Марценюк В.П. Медична та біологічна фізика /В.П. Марценюк. – Тернопіль: «Укрмедкнига», 2012. – 304 с.
3. Продеус А.Н. Підвищення ефективності вимірювання параметрів кровотоку в ультразвукових доплерівських системах. Київ КОНСОНАНС-2005, 2005. – 278 с.
4. S. Armstrong, D. Jennings // *Physiological Measurement*, 2004. № 25. P.79). Патент Великобританії № 2119520 А, кл. А61В5/05.
5. Заруцький Я.Л., Шудрак А.А., Вказівки з воєнно-польової хірургії. Київ : Чалчинська Н.В.; 2014. Розділ 22, Ушкодження магістральних судин; с. 351–373.