

Голові разової спеціалізованої
вченої ради ДФ 20.051.178
Карпатського національного
університету імені Василя Стефаника
доктору фізико-математичних наук,
професору Володимиру
Коцюбинському
(76018, м. Івано-Франківськ,
вул. Шевченка, 57)

РЕЦЕНЗІЯ

доктора фізико-математичних наук, професора, професора кафедри
фізики та астрономії Карпатського національного університету
імені Василя Стефаника Яблонь Любові Степанівни
на дисертаційну роботу

Приймака Тараса Володимировича «Трансформація імпедансних спектрів
біологічних тканин під впливом деструктивних факторів», подану на здобуття
ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю
105 Прикладна фізика та наноматеріали

Актуальність теми дослідження

Актуальність досліджень, спрямованих на вивчення механізмів деградації біологічних тканин та чинників, що зумовлюють ці процеси, визначається необхідністю забезпечення та контролю їх структурної цілісності у практичних застосуваннях, де такі впливи є критичними. У цьому контексті особливої уваги набувають підходи, орієнтовані на зменшення інвазивності досліджень, зокрема аналіз функціонування біологічних об'єктів на основі їх фізичних властивостей, передусім електричних. Електрична провідність тканин розглядається як інформативний параметр, що відображає морфофункціональний стан біологічних структур та створює можливість оперативної оцінки змін, спричинених зовнішніми чинниками, зокрема температурними впливами.

Використання таких методів дозволяє виявляти ранні ознаки деструктивних процесів, оцінювати ступінь ушкодження тканин, а також ідентифікувати залишкові патологічні зміни, у тому числі злоякісного характеру. Забезпечення збереження структурної організації біологічних тканин є одним із ключових завдань сучасної медицини, включно з такими її напрямками, як діагностика, онкологія та трансплантологія. Водночас наявність значної кількості методів оцінювання життєздатності біологічних об'єктів потребує коректного підходу до інтерпретації експериментальних даних, що зумовлено високим рівнем структурної та функціональної складності біологічних тканин.

У дисертації Т. В. Приймака представлено результати комплексного дослідження змін імпедансних характеристик біологічних тканин під дією деструктивних чинників. Робота спрямована на ідентифікацію інформативних параметрів та розроблення підходів до інтерпретації імпедансних спектрів і графічних залежностей з метою прогнозування виникнення пошкоджень у біологічних матеріалах, а також удосконалення методології проведення експериментальних досліджень. Висока практична та наукова значущість зазначеної проблематики обумовила вибір теми дисертаційної роботи: «Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів».

Метою дисертаційного дослідження є встановлення характеру комплексного опору біологічних тканин різної морфології та формування відповідних електричних еквівалентних схем; визначення особливостей зміни імпедансу експериментальних зразків під впливом деструктивних чинників і демонстрація цих змін на основі еквівалентних схем. Робота також спрямована на аналіз трансформації імпедансних характеристик тканин органів під дією додатних температур шляхом побудови відповідних електричних моделей, пояснення змін їх параметрів та зіставлення отриманих результатів з даними оптичної мікроскопії.

Окремою метою є визначення особливостей трансформації частотної дисперсії електричних параметрів тканин печінки залежно від температури зберігання, а також пояснення механізмів змін параметрів спектра

електричного імпедансу внаслідок багаторазових послідовних процедур вимірювання. Додатково передбачено аналіз спектрів провідності тканин печінки з різними геометричними параметрами до та після впливу деструктивних чинників.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в оптимізації методики отримання імпедансних спектрів біологічних тканин у лабораторних умовах. Розроблено конструкцію вимірювальних комірок та обґрунтовано оптимальні геометричні розміри інтактних і експериментальних зразків, що забезпечують отримання відтворюваних та інформативних імпедансних спектрів. На основі аналізу діаграм Найквіста встановлено структуру електричних еквівалентних схем досліджуваних зразків та проаналізовано характер їх трансформації під впливом деструктивних чинників. Запропоновано ймовірну відповідність між елементами еквівалентних схем і структурними компонентами тканин. Вперше на основі експериментальних даних продемонстровано зміну імпедансних характеристик тканин органів під дією додатних температур протягом заданих часових інтервалів із використанням відповідних еквівалентних схем. Пояснено особливості зміни параметрів схем та проведено зіставлення отриманих результатів з даними оптичної мікроскопії. Показано, що зі зростанням температури та тривалості термічного впливу зменшуються значення дійсної та уявної складових комплексного опору, що супроводжується зниженням опорів і ємнісних характеристик. Встановлено, що при досягненні температур, близьких до порогів денатурації білкових компонентів, електрична еквівалентна схема втрачає одну з CPE–R ланок, що свідчить про виникнення незворотних структурних пошкоджень тканини.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у впровадженні експериментального підходу до отримання імпедансних спектрів біологічних тканин, що базується на використанні спеціально сконструйованих вимірювальних комірок та забезпечує підвищену відтворюваність і стабільність результатів. Запропонований підхід може бути використаний для лабораторного аналізу стану біологічних тканин різного походження. У ході дослідження сформовано електричні еквівалентні моделі розширеної структури

для інтактних і пошкоджених тканин, параметри яких є чутливими до змін морфологічної організації та функціонального стану біологічних об'єктів. Отримані параметри схем можуть бути використані як кількісні показники ступеня ушкодження або деградації тканин. Крім того, встановлено частотні діапазони, застосування яких може призводити до небажаного впливу на біологічні об'єкти, що є важливим з практичної точки зору для оптимізації режимів імпедансних вимірювань та підвищення безпеки використання методу у біомедичних дослідженнях.

Відповідність дисертації профілю спеціалізованої вченої ради. За результатами перевірки дисертаційної роботи та опублікованих матеріалів не виявлено ознак академічного плагіату чи фальсифікації результатів. За своїм змістом дисертація Приймака Тараса Володимировича на тему «Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії, повністю відповідає вимогам за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Аналіз змісту дисертації

Дисертаційна робота складається із вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатку. Дисертація викладена на 226 сторінках, містить 78 рисунків, 9 таблиць і 297 бібліографічних посилань.

У першому розділі здійснено критичний аналіз сучасних наукових досліджень, присвячених процесам руйнування біологічних тканин, їх різновидам, стадіям, маркерам, а також умовам і чинникам виникнення. Розглянуто електричні властивості біологічних тканин, методи їх дослідження та структурні компоненти, що визначають електричну поведінку і функціональну організацію тканин. Проаналізовано методи вивчення електричних властивостей інтактних і пошкоджених тканин на основі імпедансної спектроскопії, їх переваги та обмеження. Окрему увагу приділено змінам електричних характеристик тканин під впливом деструктивних чинників, зокрема процесам клітинної деполяризації та електричним моделям пошкоджень, що використовуються для опису реакції тканин на руйнування.

Другий розділ присвячено фізичним засадам і методиці вимірювань методом імпедансної спектроскопії, його перевагам, обмеженням і сферам застосування. Розглянуто поняття комплексного імпедансу та фізичний зміст його параметрів. Описано методи графічної інтерпретації результатів, зокрема діаграми Найквіста та електричні еквівалентні схеми, а також особливості дисперсії електричних параметрів тканин в α -, β - та γ -областях. Наведено умови проведення експериментів, методи підготовки і зберігання зразків, обґрунтовано вибір частотного діапазону та конструктивні особливості розроблених вимірювальних комірок.

У третьому розділі представлено результати імпедансної спектроскопії інтактних і експериментально пошкоджених тканин різних органів та аналіз відповідних діаграм Найквіста й електричних еквівалентних схем. Показано відмінності імпедансних спектрів тканин печінки, нирок, мозку, легень і серця, зумовлені їх морфологічними особливостями. На основі обробки даних у програмному середовищі ZView розроблено шестиелементні еквівалентні схеми, що складаються з трьох CPE–R ланок, та проаналізовано зміну їх параметрів під впливом деструктивних чинників.

Четвертий розділ присвячено узагальненню та інтерпретації отриманих результатів, а також обговоренню перспектив подальшого розвитку досліджень із використанням методу імпедансної спектроскопії.

Зауваження до змісту тексту дисертації:

1. Перший розділ дисертації містить ґрунтовний та широкий огляд літературних джерел щодо морфологічних особливостей процесів руйнування біологічних тканин і їх електричних властивостей. Водночас, розділ дещо перевантажений біологічними та біохімічними деталями (зокрема, описом сигнальних шляхів апоптозу), що лише опосередковано пов'язані з подальшим фізичним аналізом імпедансних спектрів. Доцільним було б більш чітко акцентувати увагу на фізичних механізмах, які безпосередньо впливають на формування електричного імпедансу тканин, та скоротити опис аспектів, що не використовуються у подальших розділах.

2. У роботі детально аналізується вплив температури як деструктивного чинника на імпедансні характеристики тканин. Разом з тим, у низці випадків бракує кількісного обґрунтування вибору саме досліджуваних температурних інтервалів і часових режимів витримки. Варто було б більш чітко співвіднести експериментальні умови з конкретними фізіологічними або патологічними станами тканин, що підвищило б прикладну інтерпретацію отриманих результатів.

3. Інтерпретація змін параметрів еквівалентних електричних схем (зокрема, елементів СРЕ та резистивних складових) є загалом логічною та послідовною. Водночас у деяких випадках зроблені висновки мають переважно якісний характер і не завжди підкріплені достатнім статистичним аналізом експериментальних даних. Залучення елементів кількісної оцінки похибок або варіацій параметрів дозволило б підвищити надійність інтерпретацій.

4. У третьому розділі дисертації наведено значний обсяг експериментальних результатів для різних типів тканин і деструктивних чинників. Разом з тим, порівняльний аналіз між окремими видами тканин подекуди має фрагментарний характер. Доцільним було б узагальнити отримані результати у вигляді зведених таблиць або узагальнюючих схем, що дозволило б чіткіше простежити універсальні та специфічні закономірності змін імпедансних характеристик.

5. Оформлення дисертаційної роботи загалом відповідає встановленим вимогам і справляє позитивне враження. Водночас у тексті зустрічаються окремі стилістичні та термінологічні неточності, а також поодинокі граматичні помилки, що потребують редакційного уточнення. Зазначені недоліки мають несуттєвий характер і не впливають на загальний науковий рівень та цінність дисертаційної роботи.

Висновок

Аналіз дисертаційної роботи Приймака Т. В. на тему «Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів» свідчить про те, що представлена робота є завершеним науковим дослідженням, виконаним на належному теоретичному та експериментальному рівні, і має

істотну наукову та практичну цінність. У дисертації послідовно розв'язано комплекс актуальних наукових завдань, пов'язаних із дослідженням змін електричних характеристик біологічних тканин під дією деструктивних чинників та вдосконаленням методології імпедансної спектроскопії для аналізу їх структурно-функціонального стану.

Отримані результати є науково обґрунтованими, логічно структурованими та підтвердженими експериментальними даними. Основні положення роботи достатньо повно відображені в публікаціях автора у фахових наукових виданнях, що відповідає вимогам, які висуваються до дисертацій такого рівня.

Дисертація відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами), «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами) За змістом, обсягом та науковим рівнем дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали, а її автор Приймак Тарас Володимирович заслуговує присудження ступеня доктора філософії (Phd) з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Рецензент:

доктор фізико-математичних наук,
професор, професор кафедри фізики та астрономії
Карпатського національного університету
імені Василя Стефаника

Любов ЯБЛОНЬ