

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

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора медичних наук, професора, т.в.о. завідувача кафедри біобезпеки та здоров'я людини Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Худецького Ігоря Юліановича на дисертаційну роботу Приймака Тараса Володимировича **«Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

1. Актуальність теми дослідження

Дисертаційна робота Приймака Т.В. присвячена вивченню закономірностей трансформації електричних параметрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів із використанням методу імпедансної спектроскопії.

Вивчення електрофізичних характеристик біологічних тканин є одним із важливих напрямів сучасної біофізики та медичної фізики, оскільки електричні параметри тканин безпосередньо пов'язані з їх структурною організацією, клітинною архітектурою та функціональним станом, а отже відображають стан клітинних мембран, іонний склад внутрішньо- та позаклітинного середовища, рівень метаболічної активності.

У сучасній медицині методи біоімпедансного аналізу широко використовуються для: діагностики патологічних змін тканин; оцінювання життєздатності трансплантатів; контролю некротичних процесів; визначення меж пухлинних утворень; моніторингу фізіологічного стану органів. Крім того,

є перспективи використання методу електричного імпедансу для оцінки стану біологічних тканин у судово-медичній експертизі, харчовій промисловості.

З огляду на складну структуру біологічних тканин та їх електричних властивостей, проблема коректної інтерпретації імпедансних спектрів залишається однією з актуальних у медичній фізиці. Відомо, що різні патологічні або деструктивні процеси у тканинах (ішемія, некроз, запалення, температурні ушкодження) супроводжуються зміною іонного гомеостазу, проникності клітинних мембран та електропровідності тканин.

У роботі автор досліджує трансформацію імпедансних спектрів біологічних тканин різних органів під впливом деструктивних чинників, зокрема температури, часу експозиції та умов вимірювання.

Таким чином, результати дослідження мають важливе значення не лише для фундаментальної біофізики, але й для практичної медицини, зокрема для розвитку неінвазивних діагностичних технологій.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами

Дисертаційна робота виконана у Карпатському національному університеті імені Василя Стефаника та відповідає сучасним напрямкам розвитку медичної фізики, біофізики та прикладної фізики, то ж предмета область дисертаційного дослідження повністю відповідає заявленій спеціальності.

Тематика дослідження пов'язана з вивченням електрофізичних властивостей біологічних тканин і має міждисциплінарний характер, поєднуючи методи фізики, біології та медицини.

Поставлені у роботі завдання логічно випливають із мети роботи і спрямовані на розв'язання комплексної наукової проблеми.

4. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертаційній роботі отримано низку нових наукових результатів.

1. Уперше встановлено закономірності трансформації імпедансних спектрів біологічних тканин різних органів під впливом деструктивних чинників, що проявляється у зміні структури електричних еквівалентних схем.

2. Запропоновано багатокomпонентні електричні моделі біологічних тканин, які відображають їх морфологічну структуру та дозволяють інтерпретувати імпедансні спектри.

3. Встановлено температурно-часові закономірності деградації тканин, що супроводжуються змінами резистивних та ємнісних параметрів імпедансних спектрів.

4. Показано можливість використання частотних екстремумів похідних провідності як маркерів структурної деградації тканин.

5. Виявлено вплив геометричних параметрів досліджуваних зразків на параметри комплексного опору біологічних тканин.

Отримані результати мають значну наукову цінність і розширюють сучасні уявлення про електрофізичні властивості біологічних систем.

5. Практичне значення роботи

Практична значущість дисертації полягає у можливості використання отриманих результатів для: створення систем біоімпедансного моніторингу; контролю життєздатності тканин у трансплантології; удосконалення методів біофізичних досліджень тканин; розроблення методів ранньої діагностики структурних змін тканин, що передбачає створення підходів, що дозволяють виявляти початкові етапи порушення їхньої мікроструктурної організації ще до появи виражених морфологічних або клінічних ознак патології. В основі такого підходу лежить уявлення про те, що будь-які деструктивні або патологічні процеси в біологічних тканинах розпочинаються з тонких змін на клітинному та субклітинному рівнях, зокрема порушення цілісності мембран, зміни іонного гомеостазу, перебудови міжклітинного середовища та модифікації фізико-хімічних властивостей тканини. Ці процеси ще не супроводжуються видимими структурними ушкодженнями, однак уже можуть бути зафіксовані за допомогою чутливих фізичних, хімічних або біофізичних методів.

Автором оптимізовано методику отримання імпедансних спектрів та запропоновано конструкції вимірювальних комірок, що забезпечують високу достовірність результатів експерименту.

Запропоновані у роботі частотні маркери поведінки дисперсійних кривих комплексної електричної провідності можуть бути використані для оцінювання ступеня структурної деградації біологічних тканин.

6. Структура та зміст дисертації

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи становить 220 сторінок. У першому розділі наведено огляд літератури щодо процесів клітинної деструкції та електрофізичних властивостей біологічних тканин. Другий розділ присвячено фізичним основам методу імпедансної спектроскопії та методиці проведення експериментальних досліджень. У третьому розділі дисертаційної роботи подано результати комплексних експериментальних досліджень імпедансних спектрів біологічних тканин різних органів, отриманих методом імпедансної спектроскопії для інтактних та експериментально модифікованих зразків. Проведено систематичний аналіз частотних залежностей комплексного опору, побудовано та інтерпретовано діаграми Найквіста, що дозволило виявити характерні відмінності електричних властивостей тканин відповідно до їх морфологічної організації. На основі отриманих даних обґрунтовано структуру багатоелементних електричних еквівалентних схем, встановлено взаємозв'язок між їх параметрами та структурними компонентами тканин, а також досліджено закономірності зміни резистивних і ємнісних характеристик під впливом деструктивних чинників, зокрема температури та тривалості експозиції. Окрему увагу приділено аналізу процесів деградації тканин, що супроводжуються трансформацією імпедансних спектрів, втратою окремих елементів еквівалентних схем та зміною частотної дисперсії електричних параметрів.

Четвертий розділ присвячено узагальненню та систематизації отриманих експериментальних результатів із метою встановлення фізичних закономірностей трансформації імпедансних параметрів біологічних тканин різної морфології. У розділі проведено порівняльний аналіз імпедансних характеристик досліджуваних об'єктів, виявлено основні тенденції їх зміни залежно від ступеня структурної деградації та умов експерименту. Обґрунтовано інформативність таких параметрів, як провідність, тангенс кута втрат, резонансна частота та екстремуми частотної дисперсії, як потенційних маркерів деструктивних процесів. Здійснено інтерпретацію отриманих результатів у контексті електрофізичних моделей біологічних тканин, а також оцінено можливості їх використання для розроблення підходів до ранньої діагностики структурних змін. Окрім цього, визначено обмеження застосованого методу та

окреслено перспективні напрями подальших досліджень, пов'язаних із вдосконаленням методики імпедансної спектроскопії та підвищенням її чутливості до мікроструктурних змін у біологічних об'єктах.

7. Публікації за темою дисертації

Основні результати дослідження опубліковані у наукових журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, а також у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Це свідчить про достатню апробацію результатів роботи та їх наукову значущість.

8. Зауваження до дисертації

Поряд з позитивним враженням від змісту дисертації є низка зауважень та коментарів щодо можливості покращення її результатів.

1. У роботі доцільно було б більш чітко пов'язати окремі діапазони частот із конкретними біофізичними процесами — поляризацією клітинних мембран, іонною дифузією, внутрішньоклітинною провідністю. Це дозволило б перейти від описового до механістичного рівня інтерпретації.

2. Мембрана є ключовим елементом у формуванні імпедансного відгуку тканини, проте її роль у роботі розкрита недостатньо глибоко. Зокрема, доцільно було б проаналізувати, як зміна її ємності та провідності пов'язана з процесами деградації.

3. Зміни імпедансу значною мірою визначаються перерозподілом струмів у позаклітинному середовищі. У роботі цей аспект розглянуто обмежено, хоча він є критичним для інтерпретації результатів.

4. Зміна концентрації іонів (Na^+ , K^+ , Cl^-) є ключовим фактором зміни провідності тканин. Було б доцільно хоча б концептуально пов'язати отримані результати з іонною динамікою.

5. Температурні впливи супроводжуються зміною водного балансу, що безпосередньо впливає на електропровідність. Цей фактор заслуговує на окреме обговорення.

6. Деструктивні процеси можуть супроводжуватись переходами типу «структурно організована тканина \rightarrow аморфізована маса», що має чітке відображення у спектрах.

7. Тканини є анізотропними, і це може впливати на результати вимірювань. Доцільно було б оцінити цей фактор хоча б на якісному рівні.

8. Хоча робота має значний прикладний потенціал, варто було б більш чітко окреслити, які саме параметри можуть бути використані як клінічні біомаркери. Зазначені зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

9. Загальний висновок

Загалом, враховуючи актуальність обраної теми дослідження, його структуру, зміст, наукову новизну одержаних результатів, дисертаційну роботу Приймака Тараса Володимировича **«Трансформація імпедансних спектрів біологічних тканин під впливом деструктивних факторів»** є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальну наукову задачу дослідження електрофізичних властивостей біологічних тканин та встановлення закономірностей їх змін під впливом деструктивних чинників і яке відповідає всім вимогам рівня наукової кваліфікації здобувача, що зазначено у наказі Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) щодо оформлення дисертації, а також у «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. (зі змінами), що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а її автор Приймак Тарас Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Опонент:

доктор медичних наук, професор,
т.в.о. завідувача кафедри біобезпеки та
здоров'я людини Національного
технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Ігор ХУДЕЦЬКИЙ