

УДК: 616-71

# НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОІМПЕДАНСОМЕТРІЇ В МЕДИЦИНІ

Худецький Ігор Юліанович<sup>1,2</sup>

[khudetskyu-fbmi@iit.kpi.ua](mailto:khudetskyu-fbmi@iit.kpi.ua)

Антонова-Рафі Юлія Валеріївна<sup>1,2</sup>

[antonova-rafi@ukr.net](mailto:antonova-rafi@ukr.net)

Мельник Ганна Віталіївна<sup>1</sup>

[annamelnyk1996@gmail.com](mailto:annamelnyk1996@gmail.com)

Римар Сергій Володимирович<sup>2</sup>

[elmag@paton.kiev.ua](mailto:elmag@paton.kiev.ua)

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
м. Київ, Україна  
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України  
м. Київ, Україна

**Анотація** – Постійне збільшення тривалості життя сприяє старінню населення та зростанню поширеності хронічних захворювань. Наслідком цього є вплив на соціально-економічну структуру суспільства з точки зору збільшення медичних витрат і потреб у сфері охорони здоров'я та соціального забезпечення. Ця проблема спонукала до нових технологічних досягнень (сенсорні пристрої, переносні системи, комунікаційні технології тощо) для покращення поточних систем охорони здоров'я та якості життя населення. Досліджуються та розробляються численні технології сенсоризації для їх застосування для моніторингу стану здоров'я, як у клінічному середовищі, так і в переносних пристроях для дистанційного моніторингу вдома користувачем: варіабельність серцевого ритму, рівень глюкози у крові, артеріальний тиск, температуру, фізичну активність тощо. Серед цих технологій провідне місце займає біоімпеданс, оскільки він дозволяє отримати уявлення про внутрішні процеси організму неінвазивним шляхом. Ця стаття має на меті провести ретельний огляд систем біоімпедансу для застосування в охороні здоров'я. Описано та проаналізовано такі застосування біоімпедансу, як оцінка складу тіла, імпедансна кардіографія, трансторакальна імпедансна пневмографія та електроімпедансна томографія. Також описано особливості застосування провідності шкіри для цілей біоімпедансометрії. Розглянуто проблему портативності систем для вимірювання біоімпедансу, необхідності взаємодії лікаря/медсестри з пацієнтом, питання оптимізації розміру апаратного забезпечення, надійності та точності, а також енергоспоживання, щоб максимізувати автономність пристроїв. Визначено необхідність покращення специфічності систем біоімпедансу, розробки стандартних протоколів калібрування, дослідження нових конфігурацій електродів і методів, щоб зменшити вплив анізотропних властивостей тканин.

**Ключові слова:** біологічні тканини, імпедансометрія, імпеданс біологічних тканин, біоімпеданс, діагностика, оцінка складу тіла, імпедансна кардіографія, трансторакальна імпедансна пневмографія, електроімпедансна томографія.

## I. ВСТУП

Вимірювання біоімпедансу засноване на тому факті, що біологічні середовища залежно від їх складу поведуться як провідники, діелектрики або ізолятори електричного струму. Результатом цього явища є залежність значень біоімпедансу від частоти, що може надати інформацію про фізіологічний чи патологічний стан тканин та клітин.

Біоімпедансометрія – це набір методів, що застосовуються для оцінки складу тіла

шляхом вимірювання біоімпедансу. Основою методу є визначення опору електричного струму, який проходить через тіло, який можна оцінити на одній або декількох частотах. Аналіз результатів біоімпедансометрії став стандартизованою технікою в оцінці складу тіла людини, оскільки він забезпечує більш точні значення, ніж антропометричні методи. Крім того, це проста, безпечна та неінвазивна методика. Завдяки аналізу біоімпедансу можна отримати оцінку об'ємів рідини в організмі та складу

тіла як у нормі, так і при патології. Методи біоімпедансометрії також мають багато практичних переваг, які забезпечили їх популярність: прилади є портативними, відносно недорогими, і вимірювання можна проводити швидко з мінімальною підготовкою оператора; біоімпедансні методи вимагають незначного обслуговування, а вимірювання безпечні та прості у виконанні; це неінвазивна техніка, що вимагає лише розміщення електродів на тілі; результати отримують негайно, а вимірювання можна повторювати скільки завгодно часто, з високою відтворюваністю між спостерігачами.

Розвиток носимих технологій останнім часом різко зріс (частота серцевих скорочень, температура тіла, фізична активність тощо). Проводяться важливі дослідження, щоб інформація, яку надають ці біомедичні датчики, могла бути дійсно корисною (дистанційний моніторинг пацієнтів, раннє виявлення аномалій, сприяння самообслуговуванню тощо) для покращення здоров'я та якості життя. Відбулася зміна парадигми в охороні здоров'я, перехід від лікувальної медицини до персоналізованої, профілактичної та проактивної медицини. Ця еволюція підтримується розробкою переносних біомедичних пристроїв для управління особистим здоров'ям, які дозволяють користувачам постійно контролювати свої фізіологічні параметри протягом дня. Ця функціональність підвищує обізнаність людей про їхній поточний стан здоров'я та дозволяє їм внести корективи у свій спосіб життя або звернутися за своєчасною медичною допомогою, коли прогноз захворювання може бути більш сприятливим.

## II. МЕТА РОБОТИ

Описати та проаналізувати такі застосування біоімпедансу, як оцінка складу тіла, імпедансна кардіографія, трансторакальна імпедансна пневмографія та електроімпедансна томографія. Провести аналіз проблем застосування біоімпедансометрії та нових напрямків

застосування вимірювання біоімпедансу у сфері охорони здоров'я.

## III. ЗАСТОСУВАННЯ БІОІМПЕДАНСОМЕТРІЇ В МЕДИЦИНІ

Одним із найчастіших застосувань біоімпедансометрії в сфері охорони здоров'я є оцінка складу тіла, яка зазвичай використовується для оцінки рівня внутрішньоклітинної та міжклітинної рідини, жирів та м'язової маси та корисна в багатьох клінічних сферах: акушерство [1], післяопераційний моніторинг [2], реанімація [3], вагітність і лактація [4], гастроентерологія [5], дієтологія [6], хронічні запалення [7], ожиріння [8] або спортивна наука [9]. Сферою великого інтересу є нефрологія, оскільки було показано, що методи біоімпедансометрії можуть допомогти в процесі діалізу досягти бажаного еуволемічного стану [10].

Імпедансна кардіографія (ІКГ), також відома як трансторакальна електроімпедансна плетизмографія є ще одним застосуванням біоімпедансометрії, що представляє великий клінічний інтерес, пов'язаний з неінвазивним моніторингом серцевої динаміки. Аналіз сигналів ІКГ використовується в діагностиці пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями [11, 12]. З ІКГ можна отримати ряд параметрів, пов'язаних з механічною функцією серця, таких як ударний об'єм, серцевий викид та час викиду лівого шлуночка [11]. З вимірювань біоімпедансу, а точніше за допомогою аналізу швидкості пульсової хвилі, також можна оцінити артеріальну жорсткість, яка є параметром, що представляє інтерес для діагностики станів гіпертензії або аритмії та інсульту [13]. Крім того, ІКГ можна використовувати для непрямого визначення артеріального тиску [14].

Трансторакальна імпедансна пневмографія (ТІП) є неінвазивним методом, який оцінює торакальний імпеданс і зміни, пов'язані з дихальною активністю, ставши альтернативою спірометрії або пневмотахометрії для амбулаторних і позалікарняних установ. Вона пропонує простий спосіб визначення частоти дихання разом з іншими життєво важливими

легеневими ознаками, такими як тривалість дихального циклу та дихальний об'єм. Дихальна активність змінює об'єм грудної клітини, геометрію та провідність, таким чином модулюючи імпеданс, який можна записати між двома поверхневими електродами, розміщеними на грудях. Хоча його можна отримати з тих самих електродів, що й ЕКГ, ТПІ використовує струми низької амплітуди 50-500 кГц. Конфігурація тетраполярного електрода також популярна для зменшення ефектів шкірного електрода. Завдяки провідності легеневої тканини більшість змін імпедансу відбувається через струм, що проходить через грудну клітку та спину. Під час дихальної активності збільшення та падіння напруги пов'язані з наповненням легень повітрям (вдих) та спорожненням (видих), відповідно, з лінійною кореляцією між змінами імпедансу та об'ємом вентилязованого повітря.

ТПІ використовувалася для вимірювання змін об'єму легень, для оцінки стану дихання під час нормального та глибокого дихання, оцінки ризику астми, розладів сну, оцінки витрат енергії або навіть виявлення змін пози тіла. Іншим застосуванням ТПІ є стробування зображень позитронно-емісійної томографії (ПЕТ) і однофотонної емісійної комп'ютерної томографії. Дихальні рухи є важливим джерелом помилок у дослідженнях з використанням ПЕТ-зображень грудної області. Через тривалий період часу, необхідний для отримання ПЕТ-зображення, зазвичай це хвилини, дихальні рухи можуть погіршити якість зображення, що призведе до неправильного діагнозу або неадекватного лікування. ТПІ використовувалася для компенсації несприятливих ефектів руху на онкологічних ПЕТ-зображеннях. Вона також застосовувалася для зменшення впливу дихальних рухів при аналізі зображень однофотонної емісійної комп'ютерної томографії перфузії міокарда.

Слід також виділити застосування біоімпедансометрії для отримання

медичних зображень внутрішньої частини людського тіла, яке відоме як електроімпедансна томографія (EIT). У цьому методі електричні струми прикладаються до шкіри, а отримані електричні потенціали записуються за допомогою масиву електродів [15, 16]. З отриманих вимірювань граничної напруги можна реконструювати внутрішній об'ємний розподіл провідності та зображення, пов'язані з розподілом імпедансу всередині тіла, що представляє великий клінічний інтерес, незважаючи на його низьку роздільну здатність [17, 18, 19].

У біомедичній галузі EIT застосовували для обстеження органів грудної клітки, для роботи з пацієнтами із гострим респіраторним дистрес-синдромом у відділенні інтенсивної терапії шляхом оцінки регіонарної вентиляції легень біля ліжка. Інші сфери застосування включають візуалізацію інсульту, характеристику тканин головного мозку [15], моніторинг регіонального набряку головного мозку під час клінічного лікування дегідратації, раннє попередження про травму головного мозку під час операції із заміни дуги аорти, розпізнавання жестів, виявлення раку, інтенсивну терапію в педіатрії, тканинну інженерію, термоконтроль гіпертермії або лапароскопічна хірургію.

Методи біоімпедансометрії також є основою для клінічних лабораторних інструментів, таких як вимірювачі гематокриту і системи моніторингу культур клітин [20]. Спектр біоімпедансу показує електричні та механічні властивості клітин, такі як ріст, рухливість, активність і життєздатність [21, 22]. У клітинних культурах біоімпедансометрія використовується для виявлення реакції на ліки [23], аналізу клітинної регуляції [24] та її кінетики або дослідження *in vivo* моделей раку [25, 26].

Вимірювання біоімпедансу дозволяють охарактеризувати біологічні середовища та органічні тканини, включаючи людське тіло, а також неорганічні середовища. Методи біоімпедансометрії було використано для моніторингу стану шкіри (діагностика захворювань та оцінка прогресу лікування) [27], характеристики та виявлення ракових

тканин [20], для виявлення апное уві сні [28], як засіб точного контролю енергії, що надходить до серця під час дефібриляції [29], для точного фрезерування кісткового цементу під час ревізії тотального ендопротезування кульшового суглоба [30], для моніторингу ішемії та життєздатності трансплантованих органів [31], для визначення набряку [32], для моніторингу функцій мозку та легенів [33], та як метод неінвазивного вимірювання рівня глюкози [34].

Клінічна доцільність методів біоімпедансометрії була продемонстрована в численних дослідженнях: у нефрології [10] (визначення сухої маси у пацієнтів з хворими нирками, покращення серцево-судинної діагностики, моніторинг переміщення рідини під час ультрафільтрації, оцінка об'єму розподілу сечовини в розрахунок параметра ефективності діалізу  $Kt/V$ ), у харчуванні (хронічне недоїдання, ожиріння, кахексія, саркопенія тощо), під час вагітності та лактації, для оцінки ризику різних патологій, як маркера або прямої причини захворювань, у процесі реабілітації), у питаннях, пов'язаних з імунною системою (пацієнти зі СНІДом, денге, геморагічною лихоманкою та хронічним запаленням), в оцінці харчового статусу при станах, пов'язаних з розладами нервової системи (хвороба Альцгеймера, нервова анорексія та розумова неповносправність), у педіатрії, в онкології (оцінка стану пацієнта, рання діагностика тощо), у післяопераційному періоді, для пацієнтів у реанімації (відстеження фізіологічних тенденцій у відділенні інтенсивної терапії, сепсису, гемодинамічної реанімації, гострого респіраторного дистрес-синдрому), у геронтології і навіть у спортивній науці (оцінка ефективності програм навчання, виявлення аномалій у розподілі рідин тощо).

Аналіз біоімпедансу також корисний при хронічних респіраторних захворюваннях, де втрата маси тіла та зменшення м'язової маси були визнані факторами ризику, пов'язаними з

підвищеною захворюваністю (запалення, кахексія, анорексія, дисфункція скелетних м'язів, посилення задишки, підвищений ризик загострень та зниження працездатності), смертністю та погіршенням якості життя. Але принципово біоімпедансометрія має особливе значення для пацієнтів із хронічною або гострою хворобою нирок, де надлишок рідини також є умовою, пов'язаною з підвищеною захворюваністю та смертністю.

Загальною основою всіх систем біоімпедансометрії є вимірювання біоімпедансу людського тіла. Щоб забезпечити більшу точність отриманих даних, прийнято тримати тіло людини в лежачому положенні протягом певного часу перед вимірюванням, як правило, 15 хвилин, щоб сприяти балансу рідин організму. Електроди зазвичай розташовані відповідно до глобального латерального положення, хоча можливі багато інших конфігурацій. Оцінка складу тіла проводиться за допомогою аналізу вимірюваних значень біоімпедансу, які можна виконати за допомогою кількох підходів: одночастотний біоімпедансний аналіз (для спрощення аналізу біоімпедансу, тіло людини можна змодельовати як циліндр, довжина якого дорівнює висоті), метод спектроскопії (заснований на тому факті, що струми низької частоти протікають тільки через позаклітинний компонент, тоді як струми високої частоти циркулюють через обидва компоненти) та векторний аналіз біоелектричного опору (не вимагає припущень щодо геометрії і не залежить від наближень, отриманих шляхом регресії, а базується на векторному представленні опору та реактивного опору біоімпедансу, як правило, на частоті 50 кГц, в абсолютних і нормалізованих значеннях відносно росту суб'єкта).

#### IV. ЗАСТОСУВАННЯ ПРОВІДНОСТІ ШКІРИ В МЕДИЦИНІ

Електродермальна активність (ЕДА) відображає електричну активність на поверхні шкіри. Її можна охарактеризувати як тонічний рівень через шкірну провідність або як тимчасову відповідь через шкірно-гальванічну реакцію. Системи вимірювання

ЕДА засновані на введенні сигналу – зазвичай електричного струму – в тіло за допомогою поверхневих електродів, прикріплених до шкіри, і реєстрації електричної напруги, що виникає в результаті прикладання струму. Проникність потових залоз, в більшості, відповідає за зміни провідності шкіри. Оскільки діяльність потових залоз нейронно опосередкована через симпатичну активність, значення ЕДА високо цінується в психофізіології та поведінковій медицині. Однак на ЕДА також впливають такі фактори, як зовнішня температура та вологість.

Обробка результатів ЕДА зосереджена на моделюванні діяльності та видаленні артефактів. У той час як експоненціальне згладжування і фільтрація низьких частот є поширеними підходами до зменшення шуму сигналу, вейвлет-перетворення було використано для зменшення артефактів руху в драйверах, а алгоритми машинного навчання були запропоновані для розрізнення артефактів у сигналі ЕДА від нормальних фізіологічних реакцій. Для аналізу сигналів ЕДА та ідентифікації збуджень застосовуються різні методи: від аналізу спектральної щільності потужності, машинного навчання, стисненого зондування до нелінійного аналізу, заснованого на хаотичних характеристиках і оцінці складності.

Датчики ЕДА можуть базуватися на дискових електродах  $\text{Ag}/\text{AgCl}$ , прикріплених до долонної частини вказівного та середнього пальців, або на багатошаровому сенсорному диску для використання як сухого електрода. Використання спіральної геометрії для електродів було запропоновано, щоб зробити результати вимірювань незалежними від анізотропії шкіри.

Прикладами застосування вимірювання провідності шкіри є оцінка метаболічного стану людини, оцінка судомоторної функції, оцінка стану тканин до операційного втручання.

## V. МАЙБУТНІ ВИКЛИКИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОІМПЕДАНСОМЕТРІЇ В МЕДИЦИНІ

Біоімпедансні пристрої можуть відображати численні фізіологічні параметри, і величезний інтерес представляє постійний моніторинг їх. Ця обставина створює проблему портативності систем біоімпедансометрії, оскільки типові застосування вимірювання біоімпедансу на тілі людини використовують електроди на шкірі. Ці електроди повинні бути зручними, легко розміщуватися користувачем і забезпечувати надійні вимірювання. Такі аспекти, як матеріал, розмір, форма та розташування електродів, є ще відкритою областю для вивчення контактних електродів для необструктивного використання. Оскільки контактні електроди, такі як  $\text{Ag}/\text{AgCl}$ , не підходять для безперервного використання, досліджуються нові методи на основі провідних тканин та інших методів безконтактного з'єднання. Використання безконтактних електродів може вирішити цю проблему, але воно піднімає інші проблеми, такі як більша чутливість до артефактів руху та електричних умов навколишнього середовища та людського тіла [16].

Стандартні методи біоімпедансометрії зазвичай вимагають взаємодії лікаря/медсестри з пацієнтом (розміщення кабелів, електродів, керування пристроєм тощо), тому ці системи вимірювання є доступними лише в клінічних умовах. Однак в ідеальному застосуванні в галузі охорони здоров'я пацієнт повинен забути про те, що він/вона перебуває під наглядом, для реалістичної оцінки в умовах повсякденного життя. З цією метою важливі виклики пов'язані з мініатюризацією та безконтактним і непомітним використанням біоімпедансних систем, які також повинні мати можливості обробки та бездротового зв'язку для інтеграції в систему електронної охорони здоров'я. Необхідно знайти компроміс між комфортом користувача, здатністю до тривалого використання та бездротовим зв'язком надійних даних.

Складність систем біоімпедансу зазвичай досить висока (інжекція струму, вимірювання

напруги, демодуляція, обробка тощо), а використання високочастотних сигналів (від десятків до сотень кГц), як правило, вимагає високого споживання енергії, тому цей новий напрям передбачає оптимізацію розміру апаратного забезпечення, надійності та точності, а також енергоспоживання, щоб максимізувати автономність пристроїв. Ключовим моментом біоімпедансних систем є вдосконалення джерела струму. Оскільки цифрова обробка сигналу та бездротовий зв'язок є основними джерелами споживання енергії в сенсорних пристроях, будь-який прогрес як в апаратному забезпеченні, так і в алгоритмах обробки матиме позитивний вплив на підвищення енергоефективності. Альтернативою може бути використання компараторів і таймерів замість аналогово-цифрових перетворювачів для зменшення енергоспоживання, пов'язаного з обробкою [35].

Оскільки на вимірювання біоімпедансу впливають декілька факторів одночасно, і дуже складно виділити вплив параметра, який потрібно виміряти, іншою проблемою є дослідження нових моделей, рівнянь і методів для покращення специфічності. Проблема специфічності є спільною для всіх методів біоімпедансу. У біоімпедансних вимірюваннях біологічних зразків концентрація метаболіту або речовини, яку потрібно виявити, може бути замаскована присутністю іншого елемента, який електрично впливає таким же чином. Застосування нових алгоритмів обробки, більш складних і з урахуванням більшої кількості факторів може дозволити покращити специфічність.

Численні джерела шуму та артефактів можуть впливати на вимірювання біоімпедансу. Високочастотні вимірвальні пристрої страждають від значних спотворень у фазі. Дослідження, які мінімізують ці ефекти, необхідно проводити на апаратному рівні, а також на рівні обробки, щоб виявити та виправити їх вплив. Явища, які вносять помилки у вимірювання біоімпедансу, слід

досліджувати глибше, щоб включити ці параметри в алгоритми обробки. Крім того, контекст безперервного моніторингу накладає ще більший виклик, оскільки артефакти через рух і паразитні ємності можуть бути ще більшими. Щоб зменшити помилки, біоімпедансні системи використовують калібрування; однак не існує стандартного протоколу калібрування для різних застосувань біоімпедансу. Стандартизовані протоколи також повинні бути встановлені при проведенні досліджень з біоімпедансом, щоб дозволити оцінювати результати різних авторів за однакових умов і з електродами в однакових положеннях.

Необхідно враховувати анізотропні властивості шкіри та тканин, оскільки потік електричного струму всередині тіла людини змінюється складом та орієнтацією клітин у тканинах. Оскільки на тетраполярну конфігурацію електродів, яка зазвичай використовується у вимірюваннях біоімпедансу, впливають анізотропні властивості кровоносних судин, м'язів і нервових волокон, необхідно досліджувати нові конфігурації електродів і методи, щоб зменшити їх вплив.

У типовій біоімпедансній оцінці тіла електроди зазвичай розміщують на руці та нозі завдяки численним перевагам, які забезпечує ця конфігурація (зменшення варіабельності положення, просте та легке вимірювання, користувачеві не потрібно роздягатися, можливість оцінки пацієнта в ліжку тощо). Однак це розташування може бути не оптимальним для оцінки специфічного складу в тілесному сегменті, особливо у тих пацієнтів, які страждають від екстремальних змін у складі тіла, таких як пацієнти на гемодіалізі або пацієнти з травмою спинного мозку. Вимірювання сегментарного та локалізованого біоімпедансу є областю дослідження, яка потребує додаткових досліджень.

## VI. ВИСНОВКИ

У статті розглянуто напрямки застосування біоімпедансу та проведено аналіз проблем застосування біоімпедансометрії у сфері охорони здоров'я.

Сфери застосування біоімпедансометрії розширюються з кожним роком все більше і більше, завдяки своїй відносній простоті та неінвазивності.

Незважаючи на те, що технологія вимірювання біоімпедансу є достатньо розповсюдженим методом, необхідно докласти великих зусиль у дослідженні разом з експертами з клінічної діагностики, щоб покращити зручність, чутливість, специфічність і впевненість у використанні технології в рутинній клінічній практиці.

Майбутні дослідження з використанням біоімпедансометрії передбачають неінвазивне визначення артеріального тиску без манжети, електричну імпедансну міографію, неінвазивну оцінку фізіологічних процесів, діагностику захворювань периферичної судинної системи, оцінку руху суглобів, оцінку стану загоєння ран, оцінку кровотоку, а також як інструмент

хірургічної допомоги або в оцінці трансплантованих органів [35].

**Фінансування.** Дане дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**Згода на публікацію.** Усі досліджувані особи, що мають відношення до рукопису, дали згоду на публікацію даної роботи.

**ORCID ID та внесок авторів.**

0000-0003-0815-6950 (D, E) Igor Khudetsky

0000-0002-9518-4492 (A, B, C) Yulia

Antonova-Rafi

0000-0001-5216-0071 (A, B, C) Hanna

Melyk

0000-0003-0490-4608 (D) Serhii Rymar

A – Концепція роботи та дизайн, B – Аналіз літературних джерел, C – Написання статті, D – Критичний огляд, E – Остаточне схвалення статті.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] S. Kuganathan, Z. Gridneva, C. Lai, A. Hepworth, P. Mark, F. Kakulas and D. Geddes, "Associations between Maternal Body Composition and Appetite Hormones and Macronutrients in Human Milk," *Nutrients*, no. 9, p. 252, 2017.
- [2] L. Mullie, A. Obrand, M. Bendayan, A. Trnkus, M. Ouimet, E. Moss and A. Chen-Tournoux, "Phase Angle as a Biomarker for Frailty and Postoperative Mortality: The BICS Study," *Journal of the American Heart Association*, no. 7, p. e008721, 2018.
- [3] M. S. Mundi, J. J. Patel and R. Martindale, "Body composition technology: implications for the ICU," *Nutrition in Clinical Practice*, no. 34, p. 48–58, 2019.
- [4] E. M. Widen, I. Tsai, S. M. Collins, P. Wekesa and J. China, "HIV infection and increased food insecurity are associated with adverse body composition changes among pregnant and lactating Kenyan women," *European Journal of Clinical Nutrition*, no. 73, p. 474–482, 2019.
- [5] A. Ruiz-Vargas, J. W. Arkwright and A. Ivorra, "A portable bioimpedance measurement system based on red pitaya for monitoring and detecting abnormalities in the gastrointestinal tract," 2016.
- [6] M. V. Fedewa, B. S. Nickerson and M. R. Esco, "Associations of body adiposity index, waist circumference, and body mass index in young adults," *Clinical Nutrition*, no. 38, p. 715–720, 2019.
- [7] S. Lai, M. Muscaritoli, P. Andreozzi, A. Sgreccia, S. De Leo, S. Mazzaferro and A. P. Mitterhofer, "Sarcopenia and cardiovascular risk indices in patients with chronic kidney disease on conservative and replacement therapy," *Nutrition*, no. 62, pp. 108–114, 2019.
- [8] X. Zhang, J. Zheng, L. Zhang, Y. Liu, G. P. Chen, L. Wang and D. Y. Kang, "Systemic inflammation mediates the detrimental effects of obesity on asthma control," *Allergy & Asthma Proceedings*, no. 39, p. 43, 2018.
- [9] T. R. Ackland, T. G. Lohman, J. Sundgot-Borgen, R. J. Maughan, N. L. Meyer, A. D. Stewart and W. Müller, "Current Status of Body Composition Assessment in Sport," *Sports Medicine*, no. 42, p. 227–249, 2012.
- [10] L. M. Roa, D. Naranjo and J. Reina-Tosina, "Applications of bioimpedance to end stage renal disease (ESRD)," *Studies in*

- Computational Intelligence*, no. 404, p. 689–769, 2013.
- [11] A. Hafid, S. Benouar, M. Kedir-Talha, F. Abtahi, M. Attari and F. Seoane, "Full impedance cardiography measurement device using raspberry PI3 and system-on-chip biomedical instrumentation solutions," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, no. 22, p. 1883–1894, 2018.
- [12] S. Said and G. T. Hernandez, "The link between chronic kidney disease and cardiovascular disease," *Journal of Nephropathology*, no. 3, p. 99–104, 2014.
- [13] W. Lee and S. Cho, "Integrated all electrical pulse wave velocity and respiration sensors using bio-impedance," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, no. 50, p. 776–785, 2015.
- [14] W. Lee and S. H. Cho, "An integrated pulse wave velocity sensor using Bio-impedance and noise-shaped body channel communication," 2013.
- [15] M. Fernández-Corazza, S. Turovets, P. Luu, N. Price, C. H. Muravchik and D. Tucker, "Skull modeling effects in conductivity estimates using parametric electrical impedance tomography," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 65, no. 8, p. 1785–1797, 2018.
- [16] G. Boverman, D. Isaacson, J. C. Newell, G. J. Saulnier, T.-J. Kao, B. C. Amm and X. Wang, "Efficient simultaneous reconstruction of time-varying images and electrode contact impedances in electrical impedance tomography," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 64, no. 4, p. 795–806, 2017.
- [17] Z. Zhanqi, M.-Y. Chang, M.-Y. Chang, C.-H. Gow, J.-H. Zhang and Y.-L. Hsu, "Positive end-expiratory pressure titration with electrical impedance tomography and pressure–volume curve in severe acute respiratory distress syndrome," *Annals of Intensive Care*, vol. 9, no. 1, 2019.
- [18] B. Sun, S. Yue, Z. Hao, Z. Cui and H. Wang, "An improved tikhonov regularization method for lung cancer monitoring using electrical impedance tomography," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 8, p. 3049–3057, 2019.
- [19] M. Takhti and K. Odame, "Structured design methodology to achieve a high SNR electrical impedance tomography," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 13, no. 2, p. 364–375, 2019.
- [20] P. Kassanos, L. Constantinou, I. F. Triantis and A. Demosthenous, "An integrated analog readout for multi-frequency bioimpedance measurements," *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 8, p. 2792–2800, 2014.
- [21] R. E. Fernandez, E. Lebiga, A. Koklu, A. C. Sabuncu and A. Beskok, "Flexible bioimpedance sensor for label-free detection of cell viability and biomass," *IEEE Transactions on NanoBioscience*, vol. 14, no. 7, p. 700–706, 2015.
- [22] G. Huertas, A. Maldonado, A. Yufera, A. Rueda and J. L. Huertas, "The bio-oscillator: a circuit for cell-culture assays," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 62, no. 2, p. 164–168, 2015.
- [23] F. A. Alexander, D. T. Price and S. Bhansali, "From cellular cultures to cellular spheroids: is impedance spectroscopy a viable tool for monitoring multicellular spheroid (MCS) drug models?," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, no. 6, p. 63–76, 2013.
- [24] R. Kraya, A. Komin and P. Searson, "On chip bioelectric impedance spectroscopy reveals the effect of P-glycoprotein efflux pumps on the paracellular impedance of tight junctions at the blood–brain barrier," *IEEE Transactions on NanoBioscience*, vol. 15, no. 7, p. 697–703, 2016.
- [25] K. Yu, Q. Shao, S. Ashkenazi, J. C. Bischof and B. He, "In vivo electrical conductivity contrast imaging in a mouse model of cancer using high-frequency magnetoacoustic tomography with magnetic induction (hfMAT-MI)," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 35, no. 10, p. 2301–2311, 2016.
- [26] S. Khan, A. Mahara, E. S. Hyams, A. R. Schned and R. J. Halter, "Prostate cancer detection using composite impedance metric," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 35, no. 12, p. 2513–2523, 2016.
- [27] K. Dudzinski, M. Dawgul, K. D. Pluta, B. Wawro, W. Torbicz and D. G. Pijanowska, "Spiral concentric two electrode sensor fabricated by direct writing for skin impedance measurements," *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 16, p. 5306–5314, 2017.



- [28] S. Ahmad, I. Batkin, O. Kelly, H. R. Dajani, M. Bolic and V. Groza, "Multiparameter physiological analysis in obstructive sleep apnea simulated with mueller maneuver," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 62, no. 10, p. 2751–2762, 2013.
- [29] P. Walsh, O. Escalona, J. Velasquez, N. Waterman and P. Rodrigues, "Impedance compensated passive implantable atrial defibrillator," *IEEE Electronics Letters*, vol. 50, no. 17, pp. 1192–1193, 2014.
- [30] C. Brendle, B. Rein, A. Niesche and A. Korff, "Electrical Bioimpedance-Controlled Surgical Instrumentation," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 9, no. 5, p. 743–750, 2015.
- [31] O. I. Al-Surkhi and R. Y. Naser, "Detection of cell morphological changes of ischemic rabbit liver tissue using bioimpedance spectroscopy," *IEEE Transactions on NanoBioscience*, vol. 17, no. 4, p. 402–408, 2018.
- [32] M. Asklöf, P. Kjølhede, N. B. Wodlin and L. Nilsson, "Bioelectrical impedance analysis; a new method to evaluate lymphoedema, fluid status, and tissue damage after gynaecological surgery - A systematic review," *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, p. 111–119, 2018.
- [33] C. Hawthorne, M. Shaw, I. Piper, L. Moss and J. Kinsella, "Transcranial bioimpedance measurement as a non-invasive estimate of intracranial pressure," *Acta Neurochirurgica, Supplementum*, no. 126, p. 89–92, 2018.
- [34] M.-H. Jun, S. Kim, B. Ku, J. Cho, K. Kim, H.-R. Yoo and J. U. Kim, "Glucose-independent segmental phase angles from multi-frequency bioimpedance analysis to discriminate diabetes mellitus," *Scientific Reports*, no. 8, 2018.
- [35] D. Naranjo-Hernández, J. Reina-Tosina and M. Min, "Fundamentals, Recent Advances, and Future Challenges in Bioimpedance Devices for Healthcare Applications," *Bioimpedance Sensors: Instrumentation, Models, and Applications*, 2019.

UDC: 616-71

# DIRECTIONS OF APPLICATION OF BIOIMPEDANSOMETRY IN MEDICINE

Igor Khudetsky<sup>1,2</sup>

[khudetsky-fbmi@iit.kpi.ua](mailto:khudetsky-fbmi@iit.kpi.ua)

Yuliya Antonova-Rafi<sup>1,2</sup>

[antonova-rafi@ukr.net](mailto:antonova-rafi@ukr.net)

Hanna Melnyk<sup>1</sup>

[annamelnyk1996@gmail.com](mailto:annamelnyk1996@gmail.com)

Serhii Rymar<sup>2</sup>

[elmag@paton.kiev.ua](mailto:elmag@paton.kiev.ua)

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute (PWI)  
Kyiv, Ukraine

**Abstract** - The continuous increase in life expectancy contributes to the aging of the population and the increase in the prevalence of chronic diseases. The consequence of this is the impact on the socio-economic structure of society in terms of increased medical costs and needs in the field of health care and social security. This challenge has prompted new technological advances (sensor devices, wearable systems, communication technologies, etc.) to improve current healthcare systems and the quality of life of the population. Numerous sensor technologies are being researched and developed for use in health monitoring, both in a clinical environment and in portable devices for remote monitoring at home by the user: heart rate variability, blood glucose, blood pressure, temperature, physical activity, etc. Among these technologies, bioimpedance takes the leading place, as it allows you to get an idea of the internal processes of the body in a non-invasive way. This article aims to provide a thorough review of bioimpedance systems for healthcare applications. Bioimpedance applications such as body composition assessment, impedance cardiography, transthoracic impedance pneumography, and electrical impedance tomography are described and analyzed. Features of the application of skin conductance for the purposes of bioimpedance are also described. The problem of portability of systems for measuring bioimpedance, the need for interaction between the doctor/nurse and the patient, the issue of optimizing the size of the hardware, reliability and accuracy, as well as energy consumption in order to maximize the autonomy of the devices is considered. The need to improve the specificity of bioimpedance systems, the development of standard calibration protocols, the study of new configurations is considered. electrodes and methods to reduce the influence of anisotropic properties of tissues.

**Key words:** biological tissues, impedance measurement, impedance of biological tissues, bioimpedance, diagnostics, assessment of body composition, impedance cardiography, transthoracic impedance pneumography, electroimpedance tomography.