

Динаміка частотних залежностей параметрів електричного імпедансу людини в процесі сухого голодування

Шарпан О. Б., Мосійчук В. С.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

E-mail: sharpan@tor.kpi.ua

Розглянуто методику аналізу та результати експериментальних досліджень змін функціонального стану людини за аналізом параметрів електричного імпедансу під час “сухого” голодування. Вимірювання параметрів електричного імпедансу людини проводились протягом півроку щотижня до, під час та після півтора добового голодування. Використана широкопasmовога тричастотна методика вимірювань. Встановлено, що в процесі “сухого” голодування має місце зміна всіх параметрів електричного імпедансу. Найбільш виразні зміни параметрів імпедансу спостерігаються за модулем і активною складовою на частоті 100 кГц, фази на частотах 20 і 500 кГц, реактивної складової на частоті 20 кГц. Зміни дисперсійних властивостей опору тіла людини помітні за всіма параметрами, але найбільш відчутні зміни фази і реактивного опору. За результатами досліджень надано інтерпретацію змін функціонального стану людини під час голодування.

Ключові слова: функціональний стан; параметри електричного імпедансу; біоімпеданс; фізіологічні зміни; голодування

Вступ

Стратегія сучасної біофізичної діагностики полягає в розробці методів і технічних засобів, які дають можливість отримувати максимум об'єктивної інформації про структуру і функцію біосистем при мінімумі втручання у їх внутрішнє середовище. В цьому сенсі поширені методи сканування біотканин струмами різної частоти, сила яких є допороговою для реактивних елементів. Таким чином, зокрема, вимірюється електропровідність різноманітних біосистем (м'ясних і рибних продуктів, овочів і фруктів, частин тіла людини тощо) для визначення їх структури, складу та функціонального водного стану. Надійність, доступність і нешкідливість методології електробіоімпедансометрії дозволяють використовувати її як у теоретичних дослідженнях, так і у клінічній медицині та побутової практиці [1–13].

Незважаючи на тривалу історію розвитку методології біоімпедансометрії з точки зору біомедицинської практики, насамперед у напрямку «резистивної імпедансометрії», коли вимірюваним параметром був лише модуль імпедансу в обмеженій смузі частот, сучасні вимоги біомедицинської діагностики обумовлюють завдання подальшого вирішення ряду методологічних і технічних питань. В останні роки значна увага приділяється умовам визначення і діагностичним можливостям реактивної складової опору, яка характеризує діелектричні властивості

біооб'єкту [1–8]. Нові цікаві перспективи діагностики надає і потребує подальшого дослідження взаємозв'язок між станом біооб'єктів і фазовим зсувом між напругою і струмом в них, який насамперед характеризує стан клітинних мембран людини [4, 6, 7, 9, 11]. Оскільки діагностичні властивості електричних характеристик біооб'єктів проявляються у частотних залежностях [7, 8, 12], важливим є вивчення характеристик імпедансу у розширеному діапазоні частот (до сотень кГц і одиниць МГц). В цьому сенсі привабливим є застосування багаточастотних вимірювань [5, 7, 8, 12, 13], що дозволяє оцінити ступінь частотної дисперсії параметрів опору біотканин і органів. Відбувається також пошук нових критеріїв, які характеризують діелектричні властивості тканин і органів і їх зміни в розширеній смузі частот для оцінювання поточного функціонального стану біологічних об'єктів в різних умовах існування [8–14]. Тому актуальним є вивчення можливостей подальшого розвитку методу для визначення поточного функціонального стану людини в різноманітних умовах її життєдіяльності.

1 Постановка задачі

Метою даного дослідження є вивчення динаміки частотних залежностей амплітудних і фазових параметрів імпедансу тіла людини в розширеній смузі

частот в процесі щотижневого полуторадобового «сухого» голодування.

2 Апаратура і методика досліджень

Для визначення параметрів імпедансу використовувалися дослідний біоімпедансометр TOP-M2 [15]. Імпедансометр забезпечує вимірювання модуля і аргумента (фази) імпедансу ділянок тіла людини на частотах 20, 100 і 500 кГц. Це дає можливість розрахунку всіх інших складових (активної, реактивної, ємності) імпедансу на цих частотах. В процесі роботи прилад здійснює самокалібрування перед кожним етапом вимірювань, що забезпечує вимірювання модуля імпедансу з максимальною невизначеністю (похибкою), яка не перевищує 0,5 % від значення вимірюваного параметра, і максимальною невизначеністю вимірювання фазового зсуву, що не перевищує $0,1^\circ$. Неінвазивне черезшкірне вимірювання параметрів відносно сагітальної площини тіла (регіони ліворуч і праворуч) здійснювали тетраполярним методом за стандартною методикою (окремо ліва рука — ліва нога і права рука—права нога [5]) з використанням парних «активних» [15] електродів із нержавіючої сталі. В кожній парі струмові електроди виконані в вигляді диска діаметром 15 мм; потенціальні електроди — кільця з зовнішнім діаметром 60 мм, яке оточує струмовий електрод на відстані 4 мм. Контактна рідина (гель для електрокардіографічних досліджень) наносилася безпосередньо на електроди під час виконання кожної серії вимірювань. Одну пару електродів накладали на кордоні нижньої та середньої третини гомілки ноги, другу - на кордоні нижньої та середньої третини передпліччя руки.

Дослідження проводились протягом тривалого часу (літо-осінь) з людиною старшої вікової категорії (біля 60 років), яка здійснює один раз у тиждень «сухе» (без приймання їжі і води) голодування протягом півтори доби. Кожна тижнева серія вимірювань складалася із вимірювання параметрів імпедансу у вихідному стані о 9 годині ранку напередодні голодування (етап «до голодування») і в процесі голодування: через добу вранці наступного дня після останнього прийому їжі ввечері попереднього дня (етап «голодування»), через 6 годин після попереднього виміру (етап «голодування»), наступного дня о 9 годині ранку перед виходом з голодування (етап «перед виходом») і через 6 годин після завершення голодування (етап «після виходу»). Вимірювались модуль Z_f і фаза φ_f імпедансу, та розраховувались за відомими виразами активна $R_f = Z_f \cos \varphi_f$, реактивна $X_f = Z_f \sin \varphi_f$ складові імпедансу і еквівалентна ємність $C = 1/(2\pi f X_f)$ кожної ділянки тіла людини, де f — відповідна частота вимірювань. Також визначалися «коефіцієнти

поляризації» [16, с. 269] однойменних параметрів, які розраховувались як $K_{f_i/f_j} = P_{f_i}/P_{f_j}$, де P_{f_i} і P_{f_j} — значення відповідного параметра на частотах f_i і f_j , $f_i \in (20, 100)$ кГц, а $f_j \in (100, 500)$ кГц.

3 Результати і аналіз досліджень

На рис. 1 представлені на прикладі однієї тижневої серії досліджень типові залежності динаміки параметрів імпедансу (повного опору): вимірних модулю і фази та розрахованих активної і реактивної складових імпедансу для лівого регіону тіла (ліва рука-ліва нога).

Аналогічні залежності мають місце і для правого регіону тіла. Зрозуміло, що абсолютні значення вимірюваних параметрів в різних тижневих серіях вимірювань кількісно могли відрізнятись в певних незначних межах, залежно від поточного функціонального стану людини, але типовий якісний характер їх динаміки залишався подібним.

Представлені результати свідчать про таке. Динаміка змін біофізичного стану тканин організму людини в процесі голодування зумовлює зміни всіх параметрів біоімпедансу на всіх трьох частотах. Ці зміни характеризують відповідні етапи тестування, а саме: до голодування в процесі голодування і після виходу з нього.

Порівняльна характеристика абсолютних значень параметрів така.

Встановлено, що відносно сагітальної площини тіла цієї людини характерним є те, що значення модуля, активної і реактивної складових імпедансу ліворуч є більшими, ніж праворуч, а значення фази є меншими. Таке співвідношення параметрів характерно і для інших людей в звичайному стані (без голодування), зокрема і інших вікових категорій, і обумовлюється відмінністю структури тіла людини відносно сагітальної площини.

Значення модуля і активної складової імпедансу та ємності є меншими на більш високих частотах, незалежно від етапу вимірювань. Протилежна залежність характерна для значень фазового зсуву. Це узгоджується з характером залежностей годографа за моделлю Коула (Cole, 1941) [17] на висхідній ділянці цього годографа від нульової частоти до середньої та усталеними поняттями стосовно частотної дисперсії активної складової опору біотканин.

Значення реактивної складової імпедансу на початковому етапі тестування (до початку голодування і на його етапах до «виходу з голодування») є більшими на більш високих частотах, а наприкінці голодування і протягом перших годин виходу з голодування їх розбіжність зменшується і може відбуватися реверс значень цієї компоненти імпедансу для частот 20 і 100 кГц відносно до частоти 500 кГц.

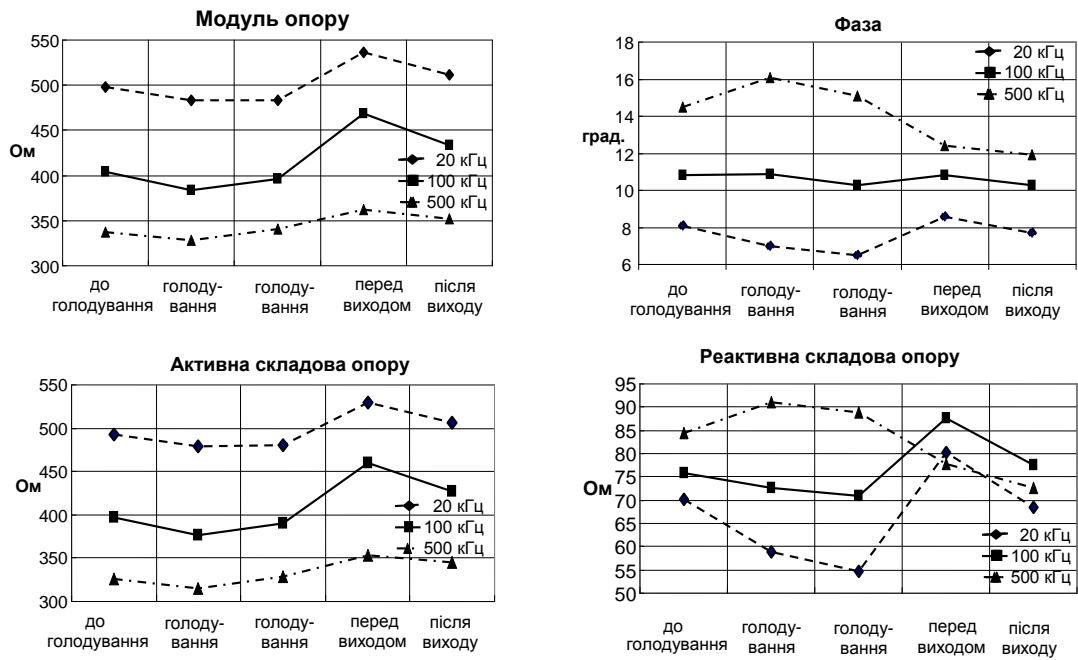


Рис. 1. Типові залежності зміни параметрів імпедансу (повного опору) під час голодування

На рис. 2 наведена динаміка ділянки годографа Коула межах частот 500 кГц (ліворуч на графіку), 100 кГц (посередині), 20 кГц (праворуч) для лівої сторони тіла (характер залежностей для правої сторони тіла аналогічний).

Видно, що в процесі голодування середня частота годографа зміщується від початкового значення в околі частоти, вищої 500 кГц, до частоти в околі 100 кГц, а після виходу з нього починає зміщуватися в бік більш високих частот (період перехідних процесів реверсу параметрів реактивної складової опору). Причому на початковому етапі голодування значення активної складової імпедансу на всіх частотах зменшується, як ознака захисної реакції організму на виникнення стресової ситуації. Надалі цей опір збільшується на всіх частотах внаслідок втрати води організму в наступний період голодування з переходом до зменшення і повернення у напрямку вихідного стану після виходу з голодування, коли організм починає своє відновлення. Такий характер залежності динаміки спостерігається для фази і реактивної складової на частотах 20 і 100 кГц, а на частоті 500 кГц спостерігається протилежна тенденція змін цих параметрів. Це свідчить про відмінність впливу поляризаційних процесів на цих частотах.

Порівняльна характеристика динаміки відносних значень параметрів імпедансу наведена на рис. 3, а коефіцієнтів поляризації K_{f_i/f_j} в табл. 1.

На рис. 3 наведені залежності динаміки параметрів в процесі голодування відносно початкових значень у вихідному стані. З рисунку видно, що характер змін модуля і активної складової імпедансу наближено співпадає на всіх частотах. Найбільші відносні зміни цих параметрів спостерігаються на

прикінцевому етапі перед виходом з голодування, причому вони найбільш помітні на частоті 100 кГц. Зміни фази спостерігаються протягом всього циклу голодування, причому ці зміни найбільш помітні на частотах 20 і 500 кГц і здебільшого мають взаємно протилежне спрямування і менш помітні на частоті 100 кГц. Малопомітна динаміка фази на частоті 100 кГц свідчить про те, що значення модуля, активної і реактивної складових в околі цієї частоти змінюються односпрямоване і наближено пропорційно, що в певних межах нівелює зсув фази протягом всіх етапів голодування.

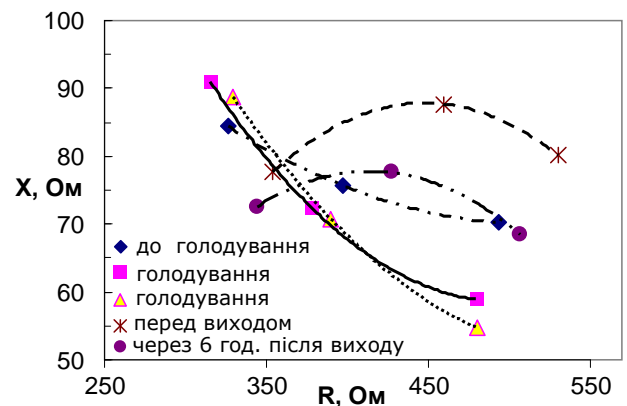


Рис. 2. Динаміка ділянки годографа Коула в околі частот 500, 100 і 20 кГц

Значні зміни реактивної складової імпедансу і ємності спостерігаються на всіх етапах голодування, причому найбільш помітні вони на частоті 20 кГц. Характер (спрямованість) динаміки цієї складової на частотах 20 і 100 кГц співпадає, а на частоті 500 кГц є протилежним.

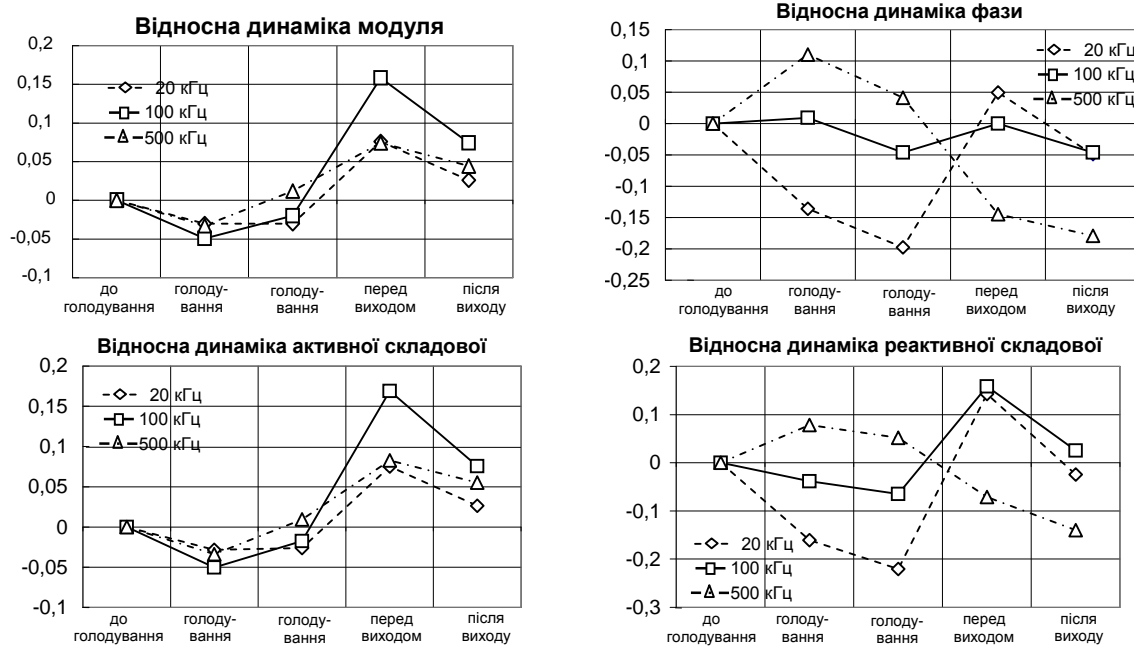


Рис. 3. Відносні залежності динаміки параметрів імпедансу під час голодування

Табл. 1 Динаміка коефіцієнтів поляризації K_{f_i/f_j}

етап дослідження	К (20/100)	К (20/500)	К (100/500)	К (20/100)	К (20/500)	К (100/500)
	для модуля опору			для фази		
до голодування	1,23	1,48	1,2	0,75	0,56	0,74
голодування	1,25	1,47	1,17	0,64	0,43	0,67
голодування	1,22	1,42	1,16	0,63	0,43	0,68
перед виходом	1,15	1,48	1,29	0,79	0,69	0,87
після виходу	1,18	1,45	1,23	0,75	0,65	0,87
	для активної складової			для реактивної складової		
до голодування	1,24	1,51	1,22	0,93	0,83	0,9
голодування	1,27	1,52	1,2	0,81	0,65	0,8
голодування	1,23	1,46	1,18	0,77	0,62	0,8
перед виходом	1,15	1,5	1,3	0,91	1,03	1,13
після виходу	1,19	1,47	1,24	0,88	0,94	1,07

Динаміка коефіцієнтів дисперсії K_{f_i/f_j} відносних значень однойменних параметрів на різних частотах наведена в табл. 1. З таблиці видно, що динаміка коефіцієнтів K_{f_i/f_j} спостерігається за всіма параметрами, але найбільш виразна вона за параметрами фази і реактивної складової імпедансу.

Висновки

Широкопasmовога тричастотна методика вимірювань на зазначених частотах показала, що в процесі «сухого» голодування має місце зміна всіх параметрів імпедансу. Найбільш виразні зміни функціонального стану спостерігаються за визначенням модуля і активної складової на частоті 100 кГц, фази на частотах 20 і 500 кГц, реактивної складової на частоті 20 кГц. Динаміка коефіцієнтів K_{f_i/f_j} свідчить про зміни дисперсійних властивостей опору

тіла людини, що найбільш помітні за параметрами фази і реактивного опору.

Враховуючи те, що на частотах 20 і 100 кГц мембранний компонент біотканин утворює певний опір, вплив на динаміку параметрів відіграє як зміни мембранного компоненту, так і електролітної компоненти біотканин, їх гідратаційної насиченості, як міжклітинної, так і внутрішньоклітинної. На частоті 500 кГц мембранний компонент менше впливає на значення опору, і тому вирішальну роль щодо зміни електропровідності струмів на цій частоті відіграє насамперед стан зміни електролітної компоненти біотканин.

Характер змін параметрів свідчить про активацію поляризаційних процесів і збільшення провідності біотканин на початковому етапі голодування і зменшення провідності електролітного компоненту і ослабленні активації поляризаційних процесів при певному зменшеному впливі підвищення тону

мембранного компоненту (характер залежності X для частоти 500 кГц) перед виходом з голодування. Цікавими показниками змін функціонального стану людини під час голодування є характер і динаміка форми годографа Коула в різні етапи голодування та динаміка середньої частоти годографа, яка в цьому разі змінювалась в широких межах від 500 до 100 кГц.

Перелік посилань

- Cotter G. Accurate, noninvasive, continuous monitoring of cardiac output by whole-body electrical bioimpedance / G. Cotter, Y. Moshkowitz, E. Kalusky et al. // *Chest*. – 2004. – 125, № 4. – pp. 143-40.
- Grimnes S. Bioimpedance and bioelectricity basics / S. Grimnes, O.G. Martinsen. Amsterdam: Elsevier, 2008. – 471 p.
- Kotanko P. Current state of bioimpedance technologies in dialysis / P. Kotanko, W. Nathan, L.F. Zhu // *J. Med. Nephrology Dialysis Transpl.* – 2008. – 23, № 3. – pp. 808-812.
- Gupta D. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in breast cancer / D. Gupta, C.A. Lammersfeld, P.G. Vashi // *BMC Cancer*. – 2008. – Iss. 8, pp. 249.
- Николаев Д.В. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, И.Г. Бобринская, С.Г. Руднев. – М.: Наука, 2009. – 392 с.
- Santarpia L. Prognostic significance of bioelectrical impedance phase angle in advanced cancer: preliminary observations / L. Santarpia, M. Marra, C. Montagnese et al. // *Nutrition*. – 2009. – Vol 25, No 9. – pp. 930-1.
- Ярошенко В.Т. Варіанти біоімпедансометрії при вивченні вікової фізіології людини / В.Т. Ярошенко, О.Б. Шарпан // *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*. – 2009. – № 1. – с. 26-29.
- Paterno A. Efficient Computational Techniques in Bioimpedance Spectroscopy / A. Paterno, L. H. Negri, P. Bertemes-Filho. – InTech, 2012. – pp. 4-28.
- Colín-Ramírez E. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic marker in chronic heart failure / E. Colín-Ramírez, L. Castillo-Martínez, A. Orea-Tejeda // *Nutrition*. – 2012. – Vol. 28, No 9, pp. 901-5.
- Рахматуллина Л.Н. Применение биоимпедансного монитора состава тела (ВСТ) в клинической практике у диализных больных (обзор литературы) / Л.Н.Рахматуллина, К.Я. Гуревич // *Нефрология*. – 2013. – Вып. 17, № 4. – 49-57.
- Цейтлин Г.Я. Значение биоимпедансного анализа и антропометрии для прогнозирования осложнений у детей с онкологическими и неонкологическими заболеваниями после трансплантации гемопоэтических стволовых клеток / Г.Я. Цейтлин, А.Ю. Вашура, М.В. Коновалова, Д.Н. Балашов и др. // *Онкогематология*. – 2013. – Вып. 8, № 3. – с. 48-54.
- Торнуев Ю. В. Диагностические возможности неинвазивной биоимпедансометрии / Ю. В. Торнуев, Д.Л. Непомнящих, Д.Б. Никитюк, Г.А. Лапий и др. // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 10 (4). – с. 782-788/
- Barni S. Detection of Allergen-IgE interaction in Allergic Children Through Combined Impedance and ROS Measurements / S. Barni, A. Fort, M. Becatti, C. Fiorillo and et al. // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2017. – Vol. 66, No. 4. – pp. 616-623.
- Mosychuk V. S. Bioimpedance Monitoring of Dialysis Patients During Ultrafiltration / V. S. Mosychuk, G. V. Timoshenko, O. B. Sharpan, B. V. Tkachuk, R. S. Tomashevskiy // *IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. – pp. 236-239.
- Mosychuk V. S. Wideband bioimpedance meter with the active electrodes / V. S. Mosychuk, G. V. Timoshenko, O. B. Sharpan // *IEEE 35th International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. – pp. 300-303.
- Самойлов В. О. Медицинская биофизика / В. О. Самойлов. – СПб.: СпецЛит, 2013. – 591 с.
- Cole K. S. (1941). Dispersion and Absorption in Dielectrics I. Alternating Current Characteristics / K. S. Cole, R. H. Cole // *The Journal of Chemical Physics*. – 1941. – Vol 9, No 4, pp. 341-351.

References

- Cotter G., Moshkovitz Ya., Kaluski E., Cohen A. J., Miller H., Goor D. and Vered Z. (2004) Accurate, Noninvasive Continuous Monitoring of Cardiac Output by Whole-Body Electrical Bioimpedance. *Chest Journal*, Vol. 125, Is. 4, pp. 1431-1440. DOI: 10.1378/chest.125.4.1431
- Grimnes S., Martinsen O.G. (2008) *Bioimpedance and bioelectricity basics*. Amsterdam: Elsevier, 471 p.
- Kotanko P., Nathan W. and Zhu L.F. (2008) Current state of bioimpedance technologies in dialysis, *J. Med. Nephrology Dialysis Transpl*, Vol. 23, Is. 3, pp. 808-812. DOI: 10.1093/ndt/gfm889
- Gupta D., Lammersfeld C.A., Vashi P.G., King J., Dahlk S.L., Grutsch J.F. and Lis C.G. (2008) Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in breast cancer. *BMC Cancer*, 8:249. DOI: 10.1186/1471-2407-8-249
- Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G. and Rudnev S.G. (2009) *Bioimpedansnyi analiz sostava tela cheloveka* [Bioimpedance analysis of human body composition], Moscow, Nauka, 392 p.
- Santarpia L., Marra M., Montagnese C., Alfonsi L., Pasanisi F. and Contaldo F. (2009) Prognostic significance of bioelectrical impedance phase angle in advanced cancer: preliminary observations. *Nutrition*, Vol. 25, No 9, pp. 930-1. DOI: 10.1016/j.nut.2009.01.015
- Yaroshenko V.T. and Sharpan O.B. (2009) Bioimpedance Variants in Studies of Human Age Physiology, *Naukovi visti NTUU "KPI"*, No 1, pp. 26-29. (in Ukrainian)
- Paterno A., Negri L.H. and Bertemes-Filho P. (2012) *Efficient Computational Techniques in Bioimpedance Spectroscopy, Applied Biological Engineering - Principles and Practice*, Dr. Ganesh R. Naik (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/36307.
- Colín-Ramírez E., Castillo-Martínez L., Orea-Tejeda A., Vázquez-Durán M., Rodríguez A.E. and Keirns-Davis C. (2012) Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic marker in chronic heart failure. *Nutrition*, Vol. 28, Is. 9, pp. 901-5. DOI: 10.1016/j.nut.2011.11.033

- [10] Rakhmatullina L.N. and Gurevich K.Y. (2013) Application bioimpedance body composition monitor (BCm) in clinical practice in dialysis patients (literature review), *Nefrologiya*, Vol. 17, No 4, pp. 49-57.
- [11] Tseytlin G.Y., Vashura A.Y., Konovalova M.V., Balashov D.N., Maschan M.A. and Belmer S.V. (2013) Value of bioimpedance analysis and anthropometry for complication prediction in children with malignant and non-malignant diseases after hematopoietic stem cells transplantation. *Oncohematology*. Vol. 8, Is. 3, pp. 48-54. DOI:10.17650/1818-8346-2013-8-3-48-54
- [12] Tornuev Y.V., Nepomnyaschikh D.L., Nikityuk D.B., Lapiy G.A., Molodykh O.P., Nepomnyaschikh R.D., Koldysheva E.V., Krinitsyna Y.M., Balakhnin S.M., Manvelidze R.A., Semenov D.E., Churin B.V. (2014) Diagnostic capability of noninvasive bioimpedance. *Fundamental Research*, No. 10, pp. 782-788.
- [13] Barni S., Fort A., Becatti M., Fiorillo C., Mugnaini M., Vignoli V., Addabbo T., Pucci N. and Novembre E. (2017) Detection of Allergen-IgE interaction in Allergic Children Through Combined Impedance and ROS Measurements, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 66, No. 4, pp. 616-623. DOI: 10.1109/tim.2016.2640478
- [14] Mosiychuk V. S., Timoshenko G. V., Sharpan O. B., Tkachuk B. V., Tomashevskiy R. S. (2016) Bioimpedance Monitoring of Dialysis Patients During Ultrafiltration, *IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, pp. 236-239. DOI: 10.1109/elnano.2016.7493056
- [15] Mosiychuk V. S., Timoshenko G. V. and Sharpan O. B. (2015) Wideband bioimpedance meter with the active electrodes, *IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, pp. 300-303. DOI: 10.1109/elnano.2015.7146896
- [16] Samoilov V. O. (2013) *Meditinskaya biofizika* [Medical Biophysics]. SPb, SpetsLit, 591 p.
- [17] Cole K. S. and Cole R. H. (1941) Dispersion and Absorption in Dielectrics I. Alternating Current Characteristics, *The Journal of Chemical Physics*, Vol. 9, No 4, pp. 341-351. DOI: 10.1063/1.1750906

Динамика частотных зависимостей параметров электрического импеданса человека в процессе сухого голодания

Шарпан О. Б., Мосийчук В. С.

Рассмотрено методику анализа и результаты экспериментальных исследований изменений функционального состояния человека на основе анализа параметров электрического импеданса в процессе "сухого" голодания. Измерение параметров импеданса проводилось в течение полугодия еженедельно до, во время и после полуторасуточного голодания. Применялась широкополосная трехчастотная методика измерений. Установлено, что

в процессе "сухого" голодания имеет место изменение всех параметров электрического импеданса. Наиболее отчетливые изменения параметров модуля и активной составляющей имеют место на частоте 100 кГц, фазы на частотах 20 и 500 кГц, реактивной составляющей на частоте 20 кГц. Изменения дисперсионных свойств сопротивления тела человека заметны по всем параметрам, но наиболее ощутимы изменения фазы и реактивного сопротивления. Проиллюстрирована возможность анализа динамики дисперсионных характеристик импеданса тела человека с помощью годографа Коула. По результатам исследований дана интерпретация изменений функционального состояния человека во время голодания.

Ключевые слова: функциональное состояние; параметры электрического импеданса; биоимпеданс; физиологические изменения; голодание

Dynamics of frequency dependences of parameters of electric impedance of a person during dry fasting

Sharpan O. B., Mosiychuk V. S.

Introduction. The article considers the possibility of further development of the method of analysis of the parameters of electrical impedance to determine the current functional state of a person in various conditions of his life, in particular during the "dry" fasting.

The aim of the study was the dispersion properties investigation of the amplitude and phase parameters of human body impedance in the extended frequency band during the weekly one and half day "dry" fasting.

Methods. Measurement of electrical impedance parameters was performed weekly during half a year on one person before, during and after a day and a half fasting. Broadband three-frequency measurement technique is used. The possibility of analyzing the dispersion characteristics of a human body using the Cole hologram is considered.

Results and discussion. It is established that in the process of "dry" fasting there is a change of all parameters of impedance. The most pronounced changes in the parameters of electrical impedance are observed by the definition of the module and the active component at a frequency of 100 kHz, the phase at frequencies 20 and 500 kHz, the reactive component at a frequency of 20 kHz.

Conclusion. Changes in the dispersion properties of the human body impedance are noticeable in all parameters, especially in phase and reactive resistance. According to the research results an interpretation of changes in the functional state of a person during fasting was made.

Key words: functional state; electrical impedance parameters; bioimpedance; physiological changes; fasting