

Ключові слова: медико-біологічні сигнали, розпізнавальні процедури, валідність рішень, комбіновані критерії прийняття діагностичних рішень.

УДК 621.317: 621.385

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ІМПЛАНТАТІВ З ТІЛОМ ЛЮДИНИ

¹⁾Яненко О. П., ¹⁾Перегудов С. М., ¹⁾Шевченко К. Л., ²⁾Маланчук В. О.,

²⁾Головчанська О. Д., ²⁾Швидченко В. С.

¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна,

²⁾НМУ імені О. О. Богомольця Київ, Україна

E-mail: op291@meta.ua, pereg@i.ua, autom1@meta.ua, malanchuk_v_a@ukr.net,
oleksandragolovchanska@gmail.com, bio4smile@gmail.com

Діелектричні матеріали широко застосовуються в реконструктивних хірургічних технологіях. При цьому використовуються як трансплантанти (живі біотканини або органи від фізичних донорів), так і їх аналоги замітники – імплантати. Імплантати можуть бути металевими, діелектричними або комбінованими (металеві з діелектричним покриттям). Окрім того початковий стан частини матеріалів імплантатів, а також окремих їхніх фракцій може бути порошкоподібним або рідким [1].

Незалежно від типу імплантатів та діелектричних матеріалів, з яких вони виготовляються, існують єдині вимоги біологічної сумісності, які можна представити чотирма групами [1, 2]:

- біологічна толерантність, яку визначають більш ніж 6 показників;
- хімічна інертність, що базується на декількох показниках, основним з яких є хімічна стійкість щодо біотканини (відсутність хімічних реакцій з нею);
- механічна сумісність, може описуватися 3-4 показниками;
- фізична сумісність, яку характеризують показники рентгеноконтрастності, збігу електропровідності та теплопровідності, магнітної сприйнятливості (яка має бути малою) та інших.

Зазначені показники та вимоги стосуються в основному межі імплантат – біотканина. У той же час, за результатами досліджень авторів [3], взаємодія на макрорівні клітин біотканини з матеріалом імплантанта є надзвичайно складним і далеко невивченим процесом. Тому з метою підвищення ефективності імплантації, зменшення побічних ефектів та ускладнень, удосконалення відомих і створення нових матеріалів та видів імплантатів дослідження цих процесів є актуальною задачею, значимість якої обумовлюється також появою нових наноматеріалів і технологій на їх основі.

Організм людини у нормальному стані характеризується сталою підвищеною, порівняно з навколишнім середовищем температурою, яка знаходиться в межах 36-37°C.

Така величина, як показник, повною мірою відноситься до групи фізичної сумісності. У той же час відомо, що нагріті тіла випромінюють електромагнітні шумові сигнали в широкому діапазоні частот, спектральна щільність потужності яких описуються відомим законом Планка. У випадку мікрохвильового діапазону закон Планка описується наближеною формулою Релея – Джинса. Спектральну щільність потужності шумового сигналу при цьому можна записати як

$$S(f, T) = 2\pi\beta \frac{f^2}{c^2} kTS_0, \quad (1)$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постійна Больцмана;

T – термодинамічна температура джерела випромінювання;

β – коефіцієнт випромінювальної здатності об’єкта дослідження;

f – частота випромінювання;

S_0 – площа поверхні об’єкту, що досліджується, яка в радіодіапазоні обмежена апертурою приймальної антени.

Для визначення середньої потужності шумового сигналу на частоті дослідження можна застосовувати формулу Найквіста

$$P = kT\Delta f, \quad (2)$$

де Δf – смуга частот аналізу випромінювання шляхом апаратурної реєстрації.

Таким чином, як слідує з наведеного, за температури тіла людини між імплантатом та прилеглими біотканинами виникають слабкі потоки електромагнітного випромінювання (ЕМВ), зокрема у мікрохвильовому діапазоні на рівні $10^{-14} - 10^{-13}$ Вт, баланс яких необхідно враховувати [4]. Значна відмінність різниці ЕМВ біотканини та імплантанта спричиняє появу додатного або від’ємного опромінення, що в довготермінованому часі може знижувати ефективність імплантації [5]. Отже постає питання електромагнітної сумісності імплантатів і прилеглих до них біотканин, яка поки що відсутня в переліку критеріїв біосумісності.

Авторами проведено експериментальне дослідження власного ЕМВ 13 зразків біоматеріалів, що використовуються для щелепно-лицевої реконструктивно-відновної хірургії (НМУ, стоматологічний факультет, кафедра щелепно-лицевої хірургії). Випромінювання реєструвалось на частоті 51 ГГц за допомогою високочутливої радіометричної системи (КПІ, РТФ, кафедра прикладної радіоелектроніки). Одночасно визначався середній рівень випромінювання учасників експериментів, значення становило $2,3 \cdot 10^{-14}$ Вт та цільної кістки, яка є об’єктом реконструктивної хірургії. Відносна похибка вимірювань не перевищувала 10 %. Зазначені величини використовувалися як зразкові для порівняння випромінювання експериментальних зразків біоматеріалів.

В результаті дослідження випромінювальної здатності біоматеріалів визначена наявність і величина мікрохвильової компоненти у міліметровому діапазоні довжин хвиль та проведена оцінка їх електромагнітної сумісності з тканинами тіла людини:

– матеріали першої групи (ципранол, розчин аналіту «Дезолева», мелена кістка хребця, зинат) характеризуються найбільшою мірою сумісності з біотканинами людини та мають перевагу щодо їх використання, оскільки інтенсивність їх випромінювання складає 66-77 % від інтенсивності м'яких та кісткових тканин. В довготермінованому часі імпланти з таких матеріалів, з точки зору електромагнітної сумісності, не повинні впливати на електромагнітний стан прилеглого біосередовища та змінювати його;

– матеріали другої групи (клей з фолієвою кислотою, кістковий матеріал *Cerabone*, пудра гідроксиапатит, клей без фолієвої кислоти) мають в 3-4 рази менший рівень випромінювання і за інтенсивністю є джерелами формування від'ємного потоку, тому характеризуються низьким рівнем електромагнітної сумісності;

– матеріали третьої групи (штучна кісткова тканина, желатин, колаген у вигляді губки, фолієва кислота і промисловий зразок імпланта зуба) мають надзвичайно низьку випромінювальну здатність порівняно з кістковою тканиною (приблизно 5-6 %), тому формують інтенсивний мікрохвильовий від'ємний потік і в довготермінованому часі можуть бути джерелом ускладнень в післяопераційний період.

Висновки

1. Таким чином, при проведенні хірургічних втручань щодо усунення дефектів направленої регенерації тканин альвеолярних відростків щелеп доцільне використання матеріалів, більш сумісних за мікрохвильовим ЕМВ, що сприятиме підвищенню ефективності хірургічних операцій.

2. Дослідження електромагнітної сумісності об'єктів на межі імплантат-біотканина матеріалів та врахування їх результатів дозволять розробляти нові види імплантатів з покращеними характеристиками біосумісності.

Ключові слова: біоматеріал, імплантат, мікрохвильове випромінювання.

Література

- [1] Hench, Larry L., Jones, Julian R. (eds.): *Biomaterials, Artifical Organs and Tissues Engineering*. Woodhead publishing ltd., Cambridge, England, 2005, p. 304.
- [2] Velnar, Tomaz, Gorazd Bunc, Robert Klobucar, and Lidija Gradisnik. 2016. “Biomaterials and Host Versus Graft Response: A Short Review”, *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences* 16 (2), 2016, pp. 82-90. DOI: <https://doi.org/10.17305/bjbms.2016.525>.
- [3] Zhu, Wenzhen et al. “Interactions at engineered graft-tissue interfaces: A review.” *APL bioengineering*, vol. 4,3 031502. 21 Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0014519>.
- [4] O. Yanenko, “Low-intensive microwave signals in biology and medicine”, *Journal of Human Physiology*, vol. 01, is. 01, Singapur, pp. 29-41, 15.11. 2019
- [5] G. V. Ponezha, S. P. Sitko, Yu. A. Skripnik, A. F. Yanenko, “Regula and Reverse Fluxes of Microwave Radiation from Physical and Biological Objects”, *Physics of the Alive*, vol. 6, No. 1, pp.11-14, 1998.