

Віолета АХМЕДОВА, студентка,

Олена БЕСПАЛОВА, канд. біол. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, Україна, email: ahmedovavioleta01@gmail.com, e.bespalova25.05@gmail.com.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОСТЕОІНТЕГРАТИВНОГО ПРОТЕЗУВАННЯ НИЖНІХ КІНЦІВОК

Анотація. Публікація актуалізує питання будови та особливостей остеоінтегративних протезів, що забезпечують кращу мобільність в порівнянні з традиційними протезами та є гарною альтернативою для осіб з трансфеморальною ампутацією, які не в змозі носити протези з гільзою. Робота містить огляд на конструкцію остеоінтегративного протезу нижніх кінцівок та особливості остеоінтеграції. Підсумовуючи, остеоінтегративне протезування є перспективним методом для відновлення втрачених функцій з довготривалим ефектом.

Ключові слова: остеоінтеграція, імплант, реабілітація, протезування, ампутація нижніх кінцівок, електростимуляція.

Актуальність дослідження. З початком повномасштабної війни, за даними Міністерства охорони здоров'я України, щонайменше в 1.5 тис. українців було ампутовано нижні кінцівки. Це стосується не тільки військовослужбовців, але й мирного населення та дітей. Тому постала нагальна потреба у впровадженні остеоінтегративних протезів у широкому масштабі в нашій країні. Це зможе дати надію багатьом людям на повноцінне життя та позбавити від дискомфорту. Дослідження остеоінтеграції продовжуються, і нові методи та технології можуть покращити ефективність та знизити ризики ускладнень.

Мета дослідження. На основі опрацьованих джерел представити та описати існуючі остеінтеграційні імплантаційні конструкції, визначити ключові варіації хірургічних та реабілітаційних концепцій, коротко узагальнити основні переваги та залишкові проблеми щодо остеоінтеграції та передбачити вектор розвитку та застосування остеоінтегративних протезів нижніх кінцівок.

Основні матеріали дослідження. Остеоінтеграція - це науковий термін для процесу вживлення металевого імпланту в кісткову тканину. Штучний імплант на постійній основі хірургічно закріплюється і інтегрується в залишкову кістку кукси. Між протезом та кісткою завдяки росту кісткових клітин на поверхні протезу утворюється міцне з'єднання [5].

Для досягнення успішної остеоінтеграції протезу нижньої кінцівки, необхідно дотримуватися певних принципів, таких як правильне розміщення протезу, відповідність форми та розмірів протезу кістковим структурам пацієнта, а також матеріалів, які не викликають відторгнення і мають високу біосумісність з організмом пацієнта. Протези нижніх кінцівок можуть бути виготовлені з полімерів, кераміки, титану або нержавіючої сталі [6].

Сам імплант для остеоінтегративного протезування нижнього протезування зазвичай складається з трьох частин: кореня, адаптера та протезу. Корінь імпланту встановлюється в кістку та має різні форми, наприклад, може бути виготовлений у вигляді циліндра або конуса з різними діаметрами. Адаптер приєднує корінь імпланту до протезу та забезпечує його фіксацію. Протез, у свою чергу, може бути виготовлений з різних матеріалів та мати різні форми, що дозволяє підібрати його для конкретної потреби пацієнта [8]. Приклад імпланту,

який складається з внутрішньомедулярного стовбурового компоненту і двоконусного адаптера та системи (Permedica s.p.a; Мілан, Італія) що використовується для остеоінтегрованої реконструкції транс-стегнових ампутацій (рис. 1).

Процес інтеграції починається з підготовки кістки. Це може включати в себе розширення кісткового каналу, що дозволяє імпланту встановитися з максимальною стійкістю. Після цього імплант встановлюється в кістку та фіксується. Зажим, який встановлюється безпосередньо в кістку має шорстку поверхню для покращення проростання кісткової тканини [2]. Після встановлення імпланту, кістка потребує часу для зростання з його поверхнею. Цей процес може зайняти від декількох тижнів до кількох місяців. Під час цього періоду важливо контролювати процес інтеграції, щоб запобігти відторгненню імпланту та знизити ризик зараження контамінацією. Після успішної інтеграції кістки з імплантом, можна продовжувати збудовувати протез. Далі відбувається встановлення різноманітних компонентів, таких як внутрішні трубки, кінцеві зчеплення та електронні пристрої. Це має бути як одна добре взаємодіюча конструкція. Після встановлення всіх компонентів протезу, його необхідно налаштувати для максимального функціонального ефекту. Тобто потрібно налаштувати рівень жорсткості та пружності протезу, а також визначити оптимальний рівень фіксації для кожного індивідуального пацієнта [14]. Вигляд конструкції показано на рис. 2.



Рис. 1. Остеоінтегративний протезний імплант кінцівок [8]

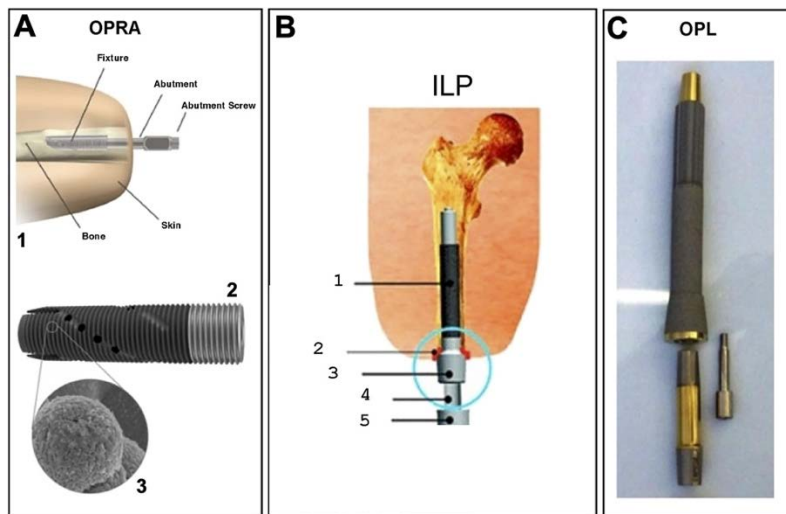


Рис. 2. Фіксація імпланту в кістці (А); Приєднання додаткових комплектуючих (В); загальний вигляд імпланту (С) [14]

Остеоінтегративне протезування є одним з найефективніших методів заміни втраченої або пошкодженої кісткової тканини. Основними перевагами є довговічність: остеоінтегративні протези мають високу стійкість до зношування та інших видів пошкодження, тому їх використовують для довгострокової заміни втраченої кінцівки; природність рухів: остеоінтегративні протези найбільш точно імітують природний рух кінцівки, тому вони забезпечують зручність та комфортність при ходьбі та інших діях; мінімальний ризик відторгнення: оскільки остеоінтегративні протези прямо взаємодіють з кістковою тканиною, вони мають мінімальний ризик відторгнення; швидке відновлення: після операції пацієнт може швидко повернутися до нормального руху та діяльності, що зменшує тривалість реабілітаційного періоду [1].

Існує також декілька проблем пов'язаних з застосуванням остеоінтегративних протезів, а саме біохімічні дослідження показали, що невелика кістково-імплантаційна зона

контакту зменшує ймовірність виникнення структурного союзу, що призводить до збільшення ризику асептичного розпушування [4]. Також від ступеня ампутації навантаження на імплант, чим коротше ампутувана нога, то спостерігається аномальне збільшення силових моментів під час нормальної ходи та падіння [12]. Ще біомеханічні сили можуть посилити артритні симптоми в старших пацієнтів [9]. Тому альтернативні концепції імпланту необхідні для подолання біомеханічних проблем.

Недостатня остеоінтеграція є одним з головних факторів відмови імпланту, тому цьому можна запобігти посиленням процесу остеоінтеграції штучними методами. Таким методом є електрична стимуляція. Знайдені дослідження з моделями *in vitro* показали, що остеообласті чутливі до електричного впливу, тому це сприяє остеогенезу в кістці, проте для застосування в остеоінтеграції є певні відмінності [10].

При остеогенезі струм доставляється через катодні дроти з нержавіючої сталі, які розташовані поблизу місця перелому для посилення кісткового утворення. Тоді як в остеоінтеграції струм доставляється через імплант для посилення біологічного зв'язку між поверхнею імпланту та навколишньою кісткою. У цьому способі перешкоди щодо електрохімічних властивостей і біологічного зв'язку між імплантом і прилеглим середовищем представляють найвищий інтерес дослідників [3]. Місцезнаходження електродів впливає на результат електричного поля, а стимуляція може бути ендогенною або екзогенною. Стимуляція з екзогенною конфігурацією використовує імплантований пристрій та електроди, розміщені ззовні на шкірі, щоб транскутантно створити електричне поле (рис.3).

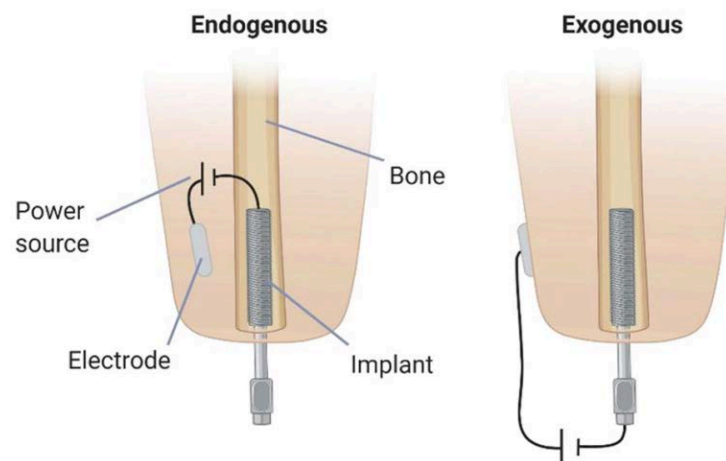


Рис. 3. Ендогенні & екзогенні електродні протистояння для електростимуляції

Електрод, розміщений ззовні, може бути різних типів, наприклад, кільцеві електроди, які охоплюють залишкову кінцівку [11], або включені в електричний стимулятор, прикріплений до абатменту імпланту [13]. Ендогенна стимуляція передбачає внутрішнє розміщення електродів, або в кістці, або в м'яких тканинах, таких як м'язи чи жирова тканина. Більшість досліджень *in vivo* використовували імплант, який включено в кісткову тканину, як катод, і інший електрод, розміщений в тканині поруч, як анод [3].

Висновки

Підсумовуючи, остеоінтегративне протезування є перспективним та інноваційним методом для відновлення втрачених функцій нижніх кінцівок, особливо для осіб, які перенесли трансфеморальну ампутацію та стикаються з проблемами в використанні традиційних протезів з гільзами. Цей підхід передбачає пряму інтеграцію імпланту в кістку, що забезпечує більш природне та стабільне з'єднання між кінцівкою та протезом.

Крім того, застосування остеоінтегративних протезів може змінити якість життя тисяч людей в Україні. Остеоінтегративне протезування є гарним рішенням для покращення емоційного стану та підвищення самооцінки в людей з ампутацією нижніх кінцівок. Краща мобільність та незалежність, що забезпечує остеоінтегративне протезування призводить до

відновлення соціальної участі, можливостей працевлаштування та загальній адаптації в суспільстві.

Варто зазначити, що остеоінтегративне протезування показало багатообіцяючі результати та це є відносно нова галузь, що стрімко розвивається, тому очікуються подальші дослідження та прогрес. У поточних статтях згадуються різні техніки, конструкції і матеріали для імплантів для оптимізації ефективності та безпеки операції. Майбутні напрацювання та нові технології можуть допомогти ще більше знизити ризик ускладнень та покращити результати пацієнтів.

Література

1. Benefits of osseointegration over socket implants for amputees. *Research Features*. 2022. No. 142. URL: <https://doi.org/10.26904/142-2921085899>.
2. Brånemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson A. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1969;3(2):81-100. doi: 10.3109/02844316909036699. PMID: 4924041.
3. Ehrensberger MT, Clark CM, Canty MK, McDermott EP. Electrochemical methods to enhance osseointegrated prostheses. *Biomed Eng Lett*. 2019. <https://doi.org/10.1007/s13534-019-00134-8>
4. Henriksen B, Bavitz B, Kelly B, Harn SD. Evaluation of bone thickness in the anterior hard palate relative to midsagittal orthodontic implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2003; 18:578–81.
5. Hoellwarth J. S., Tetsworth K., Rozbruch S. R. Osseointegration for Amputees. *Current Implants, Techniques, and Future Directions*. 2020. Vol. 8, no. 3. P. 1–8. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7161721/>.
6. Hoellwarth JS, Tetsworth K, Oomatia A, Akhtar MA, Xu H, Al Muderis M. Association Between Osseointegration of Lower Extremity Amputation and Mortality Among Adults. *JAMA Netw Open*. 2022 Oct 3;5(10):e2235074. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.35074. PMID: 36227599; PMCID: PMC9561949.
7. Lohr J, Gellrich NC, Buscher P, Wahl D, Rahn BA. Comparative in vitro studies of self-boring and self-tapping screws. Histomorphological and physical-technical studies of bone layers. *Mund Kiefer Gesichtschir*. 2000;4: 159–63 [Article in German].
8. Muderis M.A., Lu 3.W., Tetsworth K. Single-stage osseointegrated reconstruction and rehabilitation of lower limb amputees: the Osseointegration Group of Australia Accelerated Protocol-2 (OGAAP-2) for a prospective cohort study. 2023. URL: <https://bmjopen.bmj.com/content/bmjopen/7/3/e013508.full.pdf>.
9. Osseointegrated total hip replacement connected to a lower limb prosthesis: a proof-of-concept study with three cases / A. Khemka et al. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2016. Vol. 11, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s13018-016-0348-3> (date of access: 16.04.2023).
10. Pettersen E., Anderson J., Ortiz-Catalan M. Electrical stimulation to promote osseointegration of bone anchoring implants: a topical review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2022. Vol. 19, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01005-7>.
11. Saacson BM, Bloebaum RD, William DL. Osseointegrated implant with electrical stimulation. United States; 2010. p. 9.
12. Schwarze M, Hurschler C, Seehaus F, Correa T, Welke B. Influence of transfemoral amputation length on resulting loads at the osseointegrated prosthesis fixation during walking and falling. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2014; 29:272–6.
13. Song JK, Cho TH, Pan H, Song YM, Kim IS, Lee TH, et al. An electronic device for accelerating bone formation in tissues surrounding a dental implant. *Bioelectromagnetics*. 2009; 30:374–84
14. Vernice, Nicholas A. AB1; Askinas, Carly A. BS1; Black, Grant G. BA1; Truong, Albert Y. MD1; Reif, Taylor J.; Rozbruch, S. Robert; Otterburn, David M.,a. Osseointegration for Lower-Extremity Amputees: Operative Considerations from the Plastic Surgeon's Perspective. *JBJS Reviews* 10(11):e22.00125, November 2022. | DOI: 10.2106/JBJS.RVW.22.00125