

Юлія ДАНИЛЬЧИК, студентка,

Ілля ГОЛУБЄВ, студент,

Олена БЕСПАЛОВА, канд. біол. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, Україна, e-mail: danylchukja@gmail.com, detrix548@gmail.com, bespalova.olena@iit.kpi.ua

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СТОМАТОЛОГІЧНИХ ІМПЛАНТІВ: ПОРІВНЯННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Анотація: Використання стоматологічних імплантів стає все більш популярним. Втрата зуба потребує якнайшвидшого відновлення. Інакше втрата різців позначиться на естетиці, втрата задніх зубів – на жувальні функції, а тривале ігнорування згодом призведе до зсуву сусіднього зуба, дисфункції скронево-нижньощелепного суглоба, атрофії альвеолярного відростка тощо. Зубний імплантат є найкращим вибором для вирішення даної проблеми. Матеріали для стоматологічних імплантів повинні відповідати стандартам якості і безпеки, тому розуміння їх властивостей має велике значення.

Ключові слова: біоматеріали, імпланти, біокераміка, остеоінтеграція, біосумісність, титанові сплави.

Актуальність дослідження. Кількість використовуваних зубних імплантатів все ще неухильно зростає, згідно з прогнозами Grand View Research, Inc., до 2024 року очікується, що світовий ринок стоматологічних імплантатів становитиме 6,81 мільярдів доларів США [1]. Засновником сучасної імплантології можна вважати доктора П.І. Бранемарка. Під час досліджень на кроликах він виявив, що титанові камери, розміщені в малогомілковій кістці, міцно в ній закріплюються й не можуть бути видалені. Пізніше цей прямиий контакт кістки з імплантатом було названо остеоінтеграцією. Бранемарк продемонстрував, що титан був інтегрований у живу кістку з високим ступенем біосумісності та запровадив двоетапний імплантат з чистого титану з кореневою різьбою, який встановлювався пацієнтам у 1965 році [2].

Основні вимоги до матеріалів для стоматологічних імплантів. Матеріали для стоматологічних імплантів повинні відповідати стандартам якості і безпеки, тому розуміння їх властивостей має величезне значення. Встановлення властивостей для різних типів стоматологічних матеріалів призвело до розробки мінімальних стандартів. Американський національний інститут стандартів і Американська стоматологічна асоціація встановили понад 100 стандартів та вимог для стоматологічних матеріалів [3]. До головних вимог для функціонування матеріалів стоматологічних імплантів у організмі можна віднести наявність у них хімічних (стійкість до хімічних речовин, які можуть бути присутні в ротовій порожнині; стійкість до корозії та розчинення з неконтрольованою швидкістю), фізико-механічних (підвищена міцність на згинання та стискування; підвищена тріщиностійкість; модуль Юнга, близький до його значення для кістки живого організму; супротив повільному руйнуванню; достатня зносостійкість; теплопровідність) і біологічних властивостей (відсутність реакцій імунної системи організму; здатність зрощуватися з кістковою тканиною; адгезія остеогенних клітин і стимулювання остеосинтезу; регульовані адсорбція і десорбція протеїнів на поверхні біоматеріалу; утворення нової кісткової тканини) [4].

Мета дослідження. Характеристика матеріалів для стоматологічних імплантів.

Основні матеріали досліджень. В наш час для виготовлення стоматологічних імплантів використовуються різні матеріали, хоча титан та його сплави до сих пір є найбільш популярними, оскільки вони біосумісні та здатні до інтеграції з кістковою тканиною. Окрім металів використовуються імпланти з кераміки, полімерів та інших матеріалів, хоча вони менш поширені та використовуються в основному для естетичних цілей. Детальніше матеріали розглянемо нижче.

Металеві імпланти. Як ми казали раніше, металеві імпланти використовуються сторіччями і до сьогодні є одними з найбільш поширених типів стоматологічних імплантів, які використовуються для заміни втрачених зубів.

Метали мають необхідні механічні властивості, які не може відтворити жоден інший клас біоматеріалів. Наприклад, магній (Mg) та його сплави здатні сприяти формуванню кісткової тканини та пригнічувати ракові пухлини, але він не є стійким до корозії. Мідь (Cu), срібло (Ag) та інші елементи можуть обмежувати розвиток інфекцій, так як вони мають антимікробні властивості, але вони не мають достатньої міцності. В 1920-х роках почали впроваджувати нержавіючі сталі [5], їх використовували (зокрема нержавіючу сталь 316L) як матеріал для імплантатів кісткових пластин і гвинтів, хоча цей сплав міцніший, дешевший і легший в обробці, його корозійні властивості поступаються титану, тому він не був схвалений як матеріал для зубних імплантатів (McCracken, 1999). Однак нержавіючу сталь і сплави золота можна використовувати як абатменти [1]. Платина (Pt) є дуже міцним матеріалом з високою корозійною стійкістю, золото (сплави Au-Cu) також має хорошу міцність та стійкість до корозії, а також є біологічно сумісною з тканинами ротової порожнини, срібло із ртуттю (амальгама Ag-Hg) раніше використовували для виготовлення пломб, але через токсичні властивості ртуті від цього матеріалу відмовляються. Золото, платина та срібло в наш час не користуються великою популярністю, адже вони є досить дорогими та не можуть імітувати зуб, так як вони мають сильний та неприродний металічний блиск. Загалом всі вище згадані метали використовувалися десятиліттями і призвели до значного покращення якості життя та здоров'я мільйонів пацієнтів, але зараз вони не є досить розповсюдженими.

Сплави на основі кобальту використовують для коронок і литих зубних протезів ([CoCrMo] і [CoNiCrMo]) [5]. Сплави кобальт-хром-молібден (CoCrMo) мають достатню міцність, щоб протистояти оклюзійним силам, також вони мають хороші біологічні властивості і добре піддаються обробці, що дозволяє їх використовувати у зуботехнічній практиці [1], однак, як і більшість сплавів, вони можуть бути менш стійкими до корозії в порівнянні з титаном. Високу протикорозійну стійкість та біоінертність мають такі метали, як тантал і ніобій, що, як і титан, належать до групи «вентильних» металів (за рахунок специфічних електричних властивостей власних оксидних плівок, що ростуть або довільно, або ж примусово за анодного окиснення металу). Тантал вже апробовано в якості матеріалу для стоматологічних імплантатів у відновлювальній хірургії завдяки його високій біологічній сумісності.

Найбільш розповсюджені метали для стоматологічних імплантів це титан і його сплави, завдяки своїй протикорозійній стійкості в агресивних середовищах, легкості й міцності. Нові дослідження титанових сплавів показали можливість створення на їх поверхні оксидної плівки методом їх термоводневої обробки, що дозволило збільшити твердість матеріалу. Існує також сплав титану з нікелем (нікелід титану), який має ефект пам'яті форми, але має недоліки, пов'язані з низькою резорбцією в організмі [4]. Однією з проблем титанових імплантатів є те, що їхній модуль пружності занадто високий, що не дає можливості досягти механічного збігу з щелепою людини. Ця проблема була вирішена з'явленням третього покоління біомедичних сплавів зі зниженим модулем пружності, зокрема β -титану, що складається з нетоксичних елементів та має властивості низького модуля пружності, високої зносостійкості, корозійної стійкості та відмінної біосумісності. Однак, модуль пружності цих сплавів все ще залишається вищим, ніж модуль кістки. У стоматології, Ti-6Al-4V є головним матеріалом для імплантатів, а для уникнення токсичних компонентів, таких як V і Al, в нових сплавах зі зниженим модулем пружності використовуються нетоксичні елементи, такі як Nb, Ta, Zr тощо [1].

Керамічні імпланти. Керамічні матеріали часто використовуються в стоматології і їхнє застосування включає в себе виготовлення облицювального матеріалу для металевих каркасів, керамічних штифтів та ядер, а також каркасів для коронок та мостів. Кераміка має високу біосумісність і може покращити естетичний вигляд стоматологічних реконструкцій. Крім того, відомо, що кераміка - це повністю окислені матеріали, тому хімічно стабільні та менш схильні до небажаної біологічної реакції, ніж метали, які окислюються лише на їх

поверхні. Кераміка сприяє остеоінтеграції за рахунок її остеокондуктивності (властивість біоматеріалів стимулювати ріст) [6].

Кераміка (або керамічний матеріал) – це компактний матеріал на основі оксидів, карбідів, нітридів, боридів та інших тугоплавких сполук, одержаний в процесі високотемпературного спікання індивідуальних частинок [4]. Кераміку використовують для клінічних імплантатів через її інертність і сприятливі механічні властивості, але деякі властивості кераміки, такі як крихкість і низька пластичність, обмежують застосування керамічних імплантатів.

До нерозсмоктуваної або відносно біоінертної біокераміки належить: глинозем (Al_2O_3), цирконій (ZrO_2) та вуглеці, які використовуються як масивні імплантати. Біоактивні та біорезорбуючі керамічні матеріали, до яких входять фосфат кальцію, коралін, фосфатна трикальцієва кераміка, тощо, використовуються як покриття для прискорення остеоінтеграції. Біоактивні керамічні матеріали викликають формування тканин, можуть зв'язуватися з кісткою та заміщуватися нею з часом, також вони частково розчинні, що забезпечує передачу іонів і утворення прямого зв'язку між імплантатом і кісткою. Біоактивна кераміка в основному використовується як каркасний матеріал [1]. Біорезорбні керамічні матеріали мають найменший негативний вплив на імунну систему і, до того ж, мають найкращі біохімічні й механічні властивості порівняно з такими матеріалами для імплантатів, як полімери і метали [4], також вони мають вищий ступінь розчинності, ніж біоактивна кераміка, вони поступово розчиняються та інтегруються в навколишню тканину, що дає змогу використовувати їх, як матеріали для заміщення кістки.

До біоактивних матеріалів належить біоактивне скло, склокераміка та кальцій-фосфатна кераміка. Біоактивне скло та склокераміка включають біоскло, яке синтезується з декількох скляних компонентів, що містять суміш кремнезему, фосфатів, кальцію та соди. Кальцій-фосфатна кераміка – це група біоматеріалів з різні співвідношення кальцію до фосфату, залежно від фізичних та хімічних змін, спричинених обробкою. Додатковими перевагами біоактивною кераміки є еластичні властивості, контроль швидкості деградації шляхом контролю властивостей, також кераміка також може виконувати функцію бар'єру до корозії, коли наноситься на металевий імплант.

Реакції (іонний обмін) на поверхні кераміки визначають механічні, хімічні, фізичні та біологічні властивості і залежать від методів обробки, часу, температури та атмосфери. Методи обробки, які використовуються для зв'язування порошків Ca-P з імплантатами, включають плазмове та термічне напилення, спікання, іонно-променево та інші методи розпилення, електрофоретичне відкладення, золь-гель методи, пульсуюче лазерне осадження та хімічне осадження з газової фази. Різні структури, склади та швидкості розчинення отримуються за допомогою різних підходів до обробки та моделювання біологічних реакцій [1].

Полімерні імпланти. Полімери є життєво важливими для сучасної стоматології. Полімери, які використовуються в стоматології для виготовлення білих пломб для зубів, в основному виготовляються з гідроксиапатиту, який є різновидом фосфату кальцію з формулою $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Зовнішній шар зубів (емаль) містить понад 90 % гідроксиапатиту. Зовсім недавно для пломбування зубів стоматологи почали використовувати білий композит. Композит – це речовина, виготовлена шляхом поєднання двох або більше матеріалів. Білі пломби являють собою композит з полімеру, наповненого керамічними частинками. Пломба накладається на зуб у вигляді пасти, а потім промінь ультрафіолетового (УФ) світла ініціює хімічні реакції в пасті, які утворюють ряд поперечних зв'язків між полімерними ланцюгами. Стоматологічні полімерні матеріали виготовляються на основі метакрилатних мономерів та полімерів. Метакрилатні мономерні, такі як метилметакрилат та гліколдиметакрилат, є основними компонентами для виробництва стоматологічних полімерних матеріалів. Своєю унікальною роллю в стоматологічній техніці метакрилати зобов'язані дивовижно простій технології обробки та чудовим властивостям. Стоматологічні полімери є одними з основних матеріалів, які використовуються в сучасній естетичній та реставраційній стоматології.

Використання стоматологічних полімерів має багато переваг. Вони повністю імітують природній колір зубів, також, деякі полімери містять фтор, який допомагає запобігти карієсу. Полімери надзвичайно міцні та стійкі до відколів або розламів [7]. Структуру та склад

полімерів можна легко змінювати, що дає можливість регулювати їхні фізичні властивості та вони добре піддаються обробці. Полімери не генерують струм або мікрохвилі, як метал. Тканини можуть прикріплюватися до полімерів, що дозволяє забезпечити більш точний та міцніший кріплення. Хоча модуль пружності полімерів значно нижчий, ніж у металів, його можна зміцнити до відповідного діапазону шляхом додавання армуючих фаз [1].

Перспективи розвитку матеріалів для стоматологічних імплантів. Перспективні напрямки пов'язані з покращенням біосумісності та механічних властивостей матеріалів для стоматологічних імплантів. Також, перспективним напрямком є використання нанотехнологій, адже на сьогоднішній день нанотехнології стають найпопулярнішим напрямом дослідження в стоматології та займають широкий спектр важливих галузей застосування, що охоплює всі аспекти захворювань порожнини рота, діагностики, профілактики та лікування. Увага наукового світу в останні роки зосереджена на розробці нових методів відновних матеріалів з поліпшеними властивостями, що відповідають потребам пацієнтів. Для цього потрібно замінити так звані "пасивні" стоматологічні матеріали, які не взаємодіють із середовищем порожнини рота, на "розумні / інтелектуальні" матеріали, здатні змінювати свою форму, колір або розмір у відповідь на зовнішній подразник, такі як: температура, рН, світло, волога, стрес, електричні або магнітні поля та хімічні сполуки. Більшість робіт науковців присвячено новим розробкам нанотехнологій при використанні наноматеріалів для поліпшення якості догляду за порожниною рота, перспективах досліджень та обговоренню питань безпеки щодо використання стоматологічних наноматеріалів [8].

Висновки

Для виготовлення стоматологічних імплантів використовуються різні матеріали, головною вимогою до яких є висока біосумісність, тому перспективні напрямки розвитку матеріалів для стоматологічних імплантів, це поліпшення біосумісності та механічних властивостей. Більшість вище названих матеріалів мають свої недоліки. Наприклад, кераміка, яка широко використовується у стоматології має певні обмеження через свою крихкість та низьку міцність. Також титан, який є найпопулярнішим матеріалом і використовується вже багато років, до сих пір вивчається задля вдосконалення його властивостей, це можна реалізувати шляхом внесення різноманітних змін до його складу. Полімери теж мають певні недоліки, які можна вирішити шляхом змішування полімерів з іншими матеріалами, наприклад, з керамікою або металом, що дозволяє покращити їх механічні властивості та стійкість до корозії.

Перспективним напрямком є використання нанотехнологій, в розробці біоматеріалів стоматологічного призначення, що охоплює всі аспекти захворювань порожнини рота, діагностики, профілактики та лікування.

Література

1. Design of dental implants at materials level: An overview / Xunyu Jiang et al. *Society For Biomaterials*. Wiley. 2020. P. 1634–1661.
2. Supriya Ebenezer Vinay V. Kumar Andreas Thor. Basics of Dental Implantology for the Oral Surgeon. *The Association of Oral and Maxillofacial Surgeons of India 2021 K. Bonanthaya et al. (eds.), Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician*. 2021. P. 385–405.
3. John M. Powers, John C. Watana. Dental materials. Properties and manipulation. 10th ed. Missouri : Elsevier, 2013. 235 p.
4. І.В Уварова, В.Б Мамксименко. Біосумісні матеріали для медичних виробів : навч. посіб. Київ: КіМ, 2013. 231 с.
5. William R. Wagner, Shelly E. Sakiyama-Elbert, Michael J. Yaszemski. Biomaterials science: An Introduction to Materials in Medicine : навчальний посібник. 4th ed. London : Academic press, 2020. 1651 p.
6. Ceramic abutments and ceramic oral implants. An update / Ralf J. Konal et al. *Periodontology* 2000. 2008. No. 47. P. 224–243.
7. Munmaya Mishra. CONCISE ENCYCLOPEDIA OF BIOMEDICAL POLYMERS and POLYMERIC BIOMATERIALS. Volume I-II : енциклопедія. Florida : CRC Press, 2017. 1867 p.
8. Ролік-Агтіа С.М, Шевченко В.О, Губченко Т.Д. Нанотехнології і наноматеріали у фармації та медицині. *Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція*. 2021. С. 66–67.