

УДК 616.71-089.843:615.36:616-092.9
DOI <https://doi.org/10.11603/2311-9624.2026.3.16637>

В. М. Лучинський
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9339-2589>

М. А. Лучинський
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7652-0684>

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України

БІОМЕХАНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ДЕНТАЛЬНИХ ІМПЛАНТІВ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

V. M. Luchynskiy, M.A. Luchynskiy

Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University the Ministry of Health of Ukraine

BIOMECHANICAL JUSTIFICATION FOR THE SELECTION OF DENTAL IMPLANT DESIGN BASED ON FINITE ELEMENT ANALYSIS

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Електронна адреса для листування: lyshunskiyvm@tdmu.edu.ua	
Дата першого надходження статті до видання: 26.07.2026 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.08.2026 Дата публікації (оприлюднення) статті: 16.10.2026	
	
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)	
Ключові слова: дентальна імплантація, біомеханіка, остеоінтеграція, напружено-деформований стан, кісткова тканина, дентальні імпланти.	Метою дослідження було проведення порівняльної біомеханічної оцінки конструкцій дентальних імплантів NeO та ATID методом скінченних елементів і визначити конструкцію, що забезпечує найбільш сприятливий розподіл функціонального навантаження в кортикальній та губчастій кістковій тканині. Матеріали та методи. Побудовано тривимірну математичну модель сегмента нижньої щелепи на основі даних комп'ютерної томографії. Для моделювання використано дентальні імпланти AlphaBio (Ізраїль) моделей NeO та ATID. Аналіз виконано методом скінченних елементів із застосуванням сітки SOLID186. Досліджували розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у кортикальній та губчастій кістковій тканині за вертикального та горизонтального навантаження в діапазоні 60–420 Н, зокрема за фізіологічного жувального навантаження 300 Н. Результати. У разі вертикального навантаження 300 Н імплант NeO забезпечував нижчі показники максимального еквівалентного напруження порівняно з імплантом ATID. У кортикальній кістці максимальне напруження становило 16,5 МПа, що на 29,2% менше, ніж з використанням імпланта ATID. У губчастій кістці максимальне напруження зменшувалося до 2,2 МПа, що на 64,5% нижче за відповідний показник для імпланта ATID. Встановлено лінійну залежність між величиною прикладеного навантаження та рівнем еквівалентних напружень. Конструкція NeO забезпечувала більш рівномірний розподіл навантаження та меншу концентрацію напружень у періімплантній кістковій тканині. Висновки. Метод скінченних елементів є ефективним інструментом біомеханічної оцінки дентальних імплантів. Конструкція імпланта NeO характеризується більш сприятливим розподілом функціонального навантаження порівняно з імплантом ATID, що створює кращі умови для первинної стабільності й остеоінтеграції і може бути рекомендована для клінічного застосування, особливо у пацієнтів зі зниженою мінеральною щільністю кісткової тканини.

INFORMATION

Email address
for correspondence:
lyshunskiyvm@tdmu.edu.ua

Received: 26.07.2026
Accepted: 24.08.2026
Published: 16.10.2026

Key words: dental implantation,
biomechanics, osseointegration,
stress-strain state, bone tissue,
dental implants.

ABSTRACT

Objective. To perform a comparative biomechanical evaluation of NeO and ATID dental implant designs using finite element analysis and to determine the implant design providing the most favorable distribution of functional loading in cortical and cancellous bone.

Materials and methods. A three-dimensional finite element model of a mandibular segment was reconstructed from computed tomography data. Two AlphaBio (Israel) dental implant designs, NeO and ATID, were analyzed. Equivalent von Mises stress distribution in cortical and cancellous bone was evaluated under vertical and horizontal loading ranging from 60 to 420 N, including physiological masticatory loading of 300 N.

Results. Under a vertical load of 300 N, the NeO implant demonstrated lower maximum equivalent stresses than the ATID implant. In cortical bone, the maximum stress reached 16.5 MPa, which was 29.2% lower than that observed for the ATID implant. In cancellous bone, the maximum stress decreased to 2.2 MPa, representing a 64.5% reduction compared with the ATID design. A linear relationship was observed between the applied load and the equivalent von Mises stress. The NeO implant exhibited a more uniform stress distribution and lower stress concentration within the peri-implant bone.

Conclusions. Finite element analysis is an effective method for the biomechanical evaluation of dental implant systems. The NeO implant design provides a more favorable stress distribution than the ATID design, creating improved conditions for primary stability and osseointegration. These findings support the clinical use of the NeO implant, particularly in patients with reduced bone mineral density.

Вступ. Стабільність і довготривале функціонування дентальних імплантатів безпосередньо залежать від біологічних процесів, що відбуваються внаслідок взаємодії імплантату з тканинами порожнини рота. Визначальне значення мають стан кісткової тканини, реактивність м'яких тканин у зоні імплантації та особливості локальної мікроциркуляції, яка забезпечує ангіогенез, ремоделювання кістки та формування повноцінної остеointegraції [1–3]. Однією з найважливіших умов успішної імплантації є рівномірний розподіл функціонального навантаження між імплантатом і навколишньою кістковою тканиною, що значною мірою визначається конструктивними особливостями імплантаційної системи [4, 5].

Проблема прогнозованої остеointegraції у пацієнтів із системними порушеннями кісткового метаболізму залишається однією з найбільш актуальних у сучасній імплантології. Остеопенія супроводжується зниженням мінеральної щільності кісткової тканини, порушенням її мікроархітекtonіки, уповільненням ангіогенезу та зменшенням остеогенетичного потенціалу, що негативно впливає на первинну і вторинну стабільність імплантатів [6, 7]. Незважаючи на значний прогрес у вивченні процесів остеointegraції, залишаються недостатньо дослідженими біомеханічні особливості

функціонування імплантатів різної конструкції в умовах зміненої якості кісткової тканини [8–10].

За фізіологічних умов процеси резорбції та кісткоутворення перебувають у стані динамічної рівноваги. Порушення цього балансу або нерівномірний розподіл жувального навантаження призводять до локальної концентрації механічних напружень, розвитку резорбції періімплантної кістки та зниження довготривалої стабільності імплантатів [11–13]. Саме тому важливим напрямом сучасних досліджень є застосування методу скінченно-елементного аналізу, який дає змогу моделювати напружено-деформований стан системи «імплантат – кісткова тканина» й оцінювати вплив конструктивних характеристик імплантатів на розподіл навантажень [14, 15].

Особливий науковий і практичний інтерес становить порівняльна оцінка біомеханічних властивостей імплантатів Alpha-Bio NeO та Alpha-Bio ATID, які відрізняються геометрією різби, дизайном шийки й особливостями макроконструкції. Аналіз розподілу еквівалентних напружень у періімплантній кістковій тканині дає змогу визначити конструкцію, що забезпечує більш рівномірну передачу жувального навантаження, меншу концентрацію напружень у кортикальному та губчастому

шарах кістки, а отже, сприяє підвищенню прогнозованості остеоінтеграції та довготривалого функціонування дентальних імплантів.

Мета дослідження – оцінити особливості розподілу напружень і деформацій у кістковій тканині навколо дентальних імплантів різної конструкції (NeO та ATID, AlphaBio, Ізраїль) за допомогою математичного моделювання методом скінченних елементів та обґрунтувати вибір конструкції, що забезпечує найбільш сприятливі біомеханічні умови для первинної стабільності й остеоінтеграції.

Матеріали та методи дослідження. Для обґрунтування вибору оптимальної конструкції дентальних імплантів проведено порівняльне дослідження напружено-деформованого стану кісткової тканини навколо імплантів AlphaBio (Ізраїль) із застосуванням методу скінченних елементів.

У дослідженні аналізували дві моделі імплантів: NeO та ATID. Імплант NeO характеризується наявністю мікрорізьби в корональній частині, що забезпечує збільшення площі контакту з кістковою тканиною, підвищення первинної стабільності та покращення процесів остеоінтеграції. Конструкція імпланта має технологію «переключення платформ» (platform switching), подвійну різьбу на тілі з кроком 2,4 мм, паралельні стінки в ділянці шийки, конічну апікальну частину, остеоконденсуючі борозенки та тонкий апекс. Імплант ATID є гвинтовим імплантом циліндричної форми з подвійною різьбою.

Тривимірну геометричну модель нижньої щелепи створювали на основі даних комп'ютерної томографії конкретного пацієнта (рис. 1). Використання індивідуалізованої моделі дало змогу врахувати особливості анатомічної будови нижньої щелепи й уникнути спрощень, характерних для усереднених геометричних моделей.

Геометрію досліджуваного сегмента нижньої щелепи відтворювали за послідовними томографічними зрізами з подальшою тривимірною реконструкцією. У моделі диференціювали кортикальну та губчасту кісткову тканину. До сформованої геометричної моделі інтегрували тривимірні моделі досліджуваних імплантів NeO та ATID з урахуванням їхньої конструктивної форми й особливостей різьбової частини.

Під час математичного моделювання кісткову тканину й імплантат розглядали як локально однорідні, ізотропні та лінійно-пружні середовища. Механічні властивості матеріалів характеризували модулем Юнга та коефіцієнтом Пуассона.

Для кортикальної та губчастої кісткової тканини використовували механічні характеристики відповідно до літературних даних (табл. 1). Імплантати моделювали з урахуванням фізико-механічних властивостей технічно чистого титану марки BT1-00.

Побудовану тривимірну геометричну модель дискретизували за допомогою тривимірних двадцятивузлових скінченних елементів типу SOLID186 (рис. 2). Для забезпечення

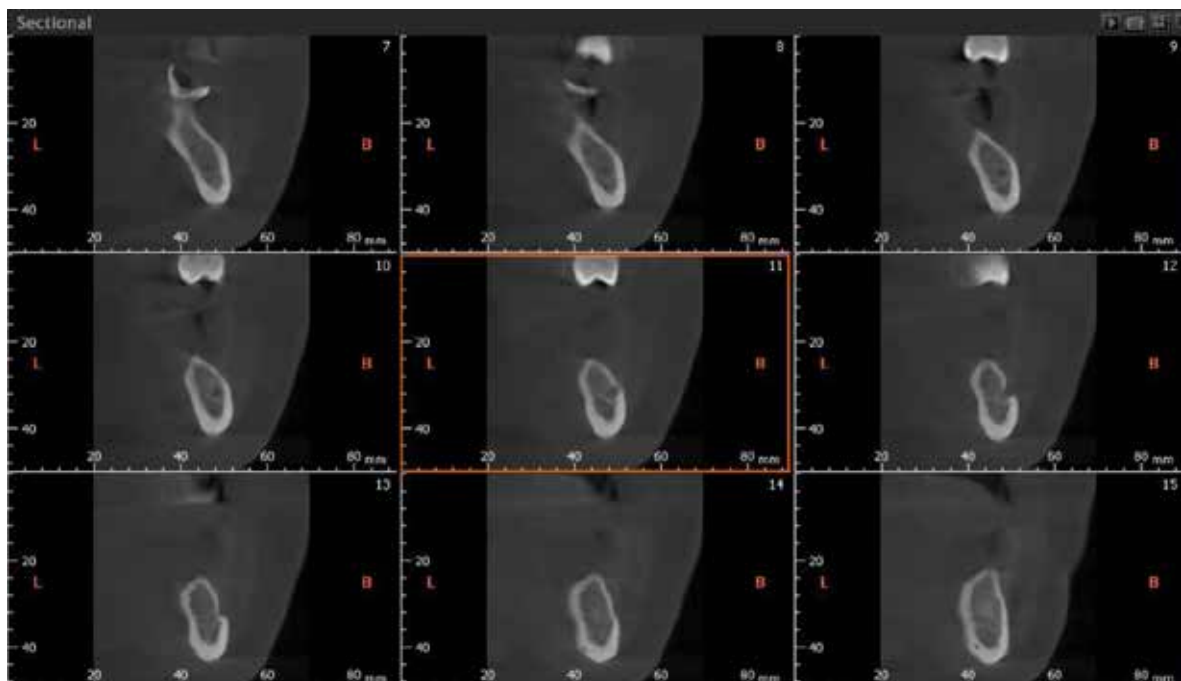


Рис. 1. Пацієнт Л., 41 рік. Комп'ютерно-томографічна реконструкція нижньої щелепи

Таблиця 1

Механічні характеристики матеріалів математичної моделі

Елементи системи	m	E, МПа
Кортикальна кістка	0,3	13,700
Губчаста кістка	0,3	7,930
Титан BT1-00	0,3	110,000

детального відображення напруженого стану сітку формували з урахуванням геометричних особливостей досліджуваних конструкцій, зокрема різьбової частини імплантатів та прилеглої кісткової тканини.

Особливу увагу під час побудови розрахункової моделі приділяли ділянкам контакту імплантата з кортикальною та губчастою кістковою тканиною, оскільки саме в цих зонах очікувалася найбільша концентрація напружень.

Для оцінки біомеханічної поведінки досліджуваних конструкцій моделювали вертикальне функціональне навантаження, яке імітує дію жувального тиску. Навантаження прикладали до оклюзійної поверхні коронки з передачею його на імплантат і навколишню кісткову тканину.

Досліджували вплив величини вертикального навантаження в діапазоні 60–420 Н. Основним режимом порівняльного аналізу було навантаження 300 Н, яке відповідало застосовуваному в дослідженні фізіологічному жувальному навантаженню.

У розрахунковій моделі аналізували напружено-деформований стан системи «імплантат – кісткова тканина». Оцінювали розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у кортикальній та губчастій кістковій тканині, а також напруження в конструкції імплантата.

Під час моделювання аналізували стабілізований стан системи після встановлення імплантата, що дало змогу порівняти особливості передачі функціонального навантаження залежно від конструкції імплантата. Результати математичного моделювання використовували для порівняльної оцінки біомеханічної ефективності імплантатів NeO та ATID.



Рис. 2. Скінченно-елементна сітка математичної моделі нижньої щелепи з дентальним імплантатом

Результати досліджень та їх обговорення.

За результатами математичного моделювання проведено порівняльну оцінку напружено-деформованого стану (НДС) кортикальної та губчастої кісткової тканини навколо дентальних імплантів NeO і ATID за вертикального навантаження 300 Н.

Встановлено, що максимальне еквівалентне напруження в кортикальній кістці в разі використання імплантата ATID становило 23,3 МПа (рис. 3), тоді як за використання імплантата NeO цей показник дорівнював 16,5 МПа (рис. 4), що на 29,2% менше. В обох моделях найбільші напруження локалізувалися в ділянці перших витків імплантата, які безпосередньо контактували з кортикальною кісткою.

Аналіз розподілу напружень у губчастій кістковій тканині також продемонстрував перевагу конструкції NeO. Максимальне еквівалентне напруження в разі застосування імплантата ATID становило 6,2 МПа (рис. 5), тоді як за використання імплантата NeO воно знижувалося до 2,2 МПа (рис. 6), що на 64,5% менше порівняно з моделлю ATID.

За вертикального навантаження ділянки найбільшого напружено-деформованого стану в кортикальному шарі були розташовані по периметру контактуючих із кісткою витків імплантата. У губчастій кістці максимальні напруження концентрувалися лише в зоні перших витків, поступово зменшуючись у напрямку

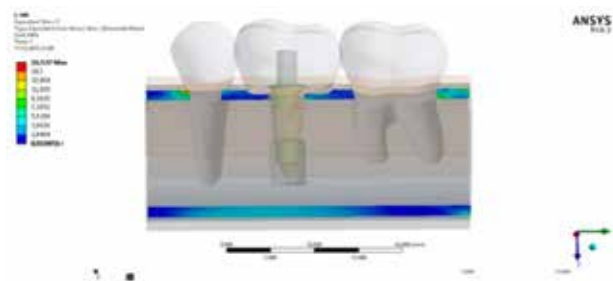


Рис. 3. Розподіл навантаження в кортикальній кістці з використанням імплантата моделі ATID



Рис. 4. Розподіл навантаження в кортикальній кістці з використанням імплантата моделі NeO

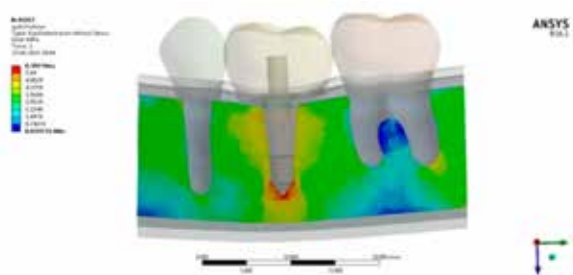


Рис. 5. Розподіл навантаження в губчастій кістці за використання імплантів моделі ATID з вертикальним навантаженням 300 Н

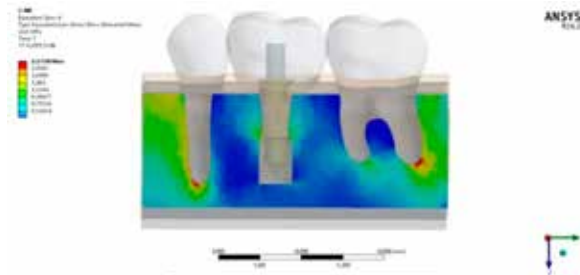


Рис. 6. Максимальне еквівалентне напруження в губчастій кістці за використання імплантів NeO

до апікальної частини. Для імплантів NeO характерним був більш рівномірний розподіл навантаження із поступовим зниженням інтенсивності напружень уздовж тіла імпланта, що свідчить про ефективніший перерозподіл функціонального навантаження.

Разом із тим у ділянці апекса за навантаження 300 Н величина еквівалентного напруження для імплантів NeO становила 0,52 МПа, тоді як для імплантів ATID – 0,41 МПа, що свідчить про дещо більшу участь апікальної частини імпланта NeO в передачі навантаження на кісткову тканину.

Порівняльний аналіз максимальних напружень у кістковій тканині (табл. 2) підтвердив перевагу імплантів NeO, які забезпечували нижчі показники напруження як у кортикальній, так і в губчастій кістці порівняно з імплантатами ATID.

Дослідження впливу величини прикладеного навантаження (60–420 Н) показало практично

лінійну залежність між силою навантаження та еквівалентним напруженням за Мізесом (табл. 3, рис. 7).

Із підвищенням навантаження спостерігалося пропорційне зростання напружень у всіх елементах математичної моделі. При цьому імпланти NeO характеризувалися нижчим рівнем напружень порівняно з імплантатами ATID. Середній рівень напруження в конструкції NeO був приблизно в 1,3 раза меншим, ніж у конструкції ATID (4,65 МПа проти 5,90 МПа відповідно), що свідчить про більш сприятливий розподіл функціонального навантаження та потенційно кращі умови для довготривалої остеоінтеграції.

Висновки. Результати математичного моделювання методом скінченних елементів засвідчили, що конструкція дентального імпланта NeO забезпечує більш сприятливий розподіл функціонального навантаження в періімплантній кістковій тканині порівняно

Таблиця 2

Максимальна напруження кісткової тканини навколо імплантів, виготовлених із різних матеріалів, за вертикального навантаження 300 Н

Тип кісткової тканини	Вид імплантів	
	NeO-імплант	ATID-імплант
Кортикальна кістка	16,5	23,3
Губчаста кістка	2,17	6,2

Таблиця 3

Розрахункові максимальні еквіваленти напруження за вертикального навантаження (60–420 Н)

Експериментальні об'єкти	Навантаження F, Н							
	60	110	160	210	260	300	360	420
Кортикальна кістка, max, МПа	3,31	6,07	8,82	11,57	14,33	16,53	19,84	22,59
Губчаста кістка, max, МПа	0,43	0,79	1,15	1,52	1,88	2,17	2,60	2,96
NeO-імплант, max, МПа	0,08	1,28	2,54	3,80	5,06	7,32	7,58	8,84
ATID-імплант, max, МПа	1,51	2,77	4,04	5,30	6,56	7,70	9,05	10,29

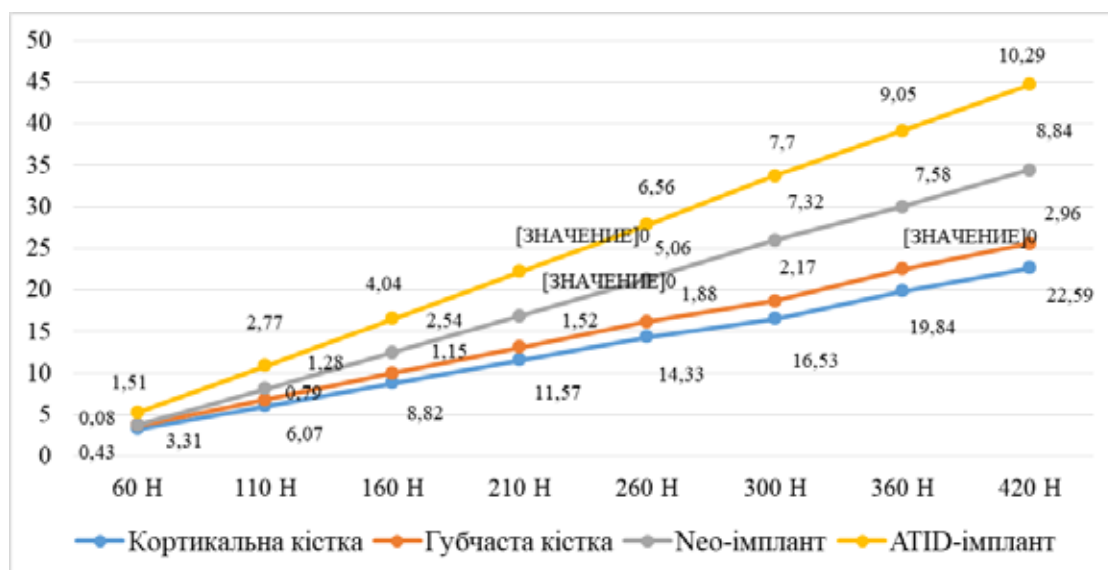


Рис. 7. Зміни НДС різних елементів математичної моделі за вертикального навантаження

з імплантом ATID. За вертикального навантаження 300 Н використання імпланту NeO супроводжувалося зниженням максимальних еквівалентних напружень у кортикальній та губчастій кістці, а також більш рівномірним їх розподілом уздовж поверхні імпланту. Встановлено лінійну залежність між величиною прикладеного навантаження та рівнем еквівалентних напружень у всіх елементах математичної моделі. Отримані результати свідчать про кращі біомеханічні характеристики імпланту NeO, що може сприяти підвищенню первинної стабільності, оптимізації процесів остеointegraції та зниженню ризику перевантаження кісткової тканини, особливо у пацієнтів зі зниженою мінеральною щільністю кісткової тканини.

Конфлікт інтересів. Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно цього дослідження, у тому числі фінансового, особистого характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Джерело фінансування. Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Список літератури

1. Niwano Y., Shishido S., Shirato M., Kohzaki H., Nakamura K. Therapeutic Potential of Proanthocyanidins in Dentistry: A Focus on Periodontal Disease and on Dental Implants in Osteoporotic Patients. *Antioxidants (Basel)*. 2025. Vol. 14 (7). P. 850. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox14070850>.
2. Лучинський В. М., Лучинська Ю. І., Манащук Н. В., Лучинський М. А., Стойкевич Г. В. Вплив стану кісткової тканини на результати дентальної імплантації: клінічне дослідження. *Український стоматологічний*

Відповідність нормам біоетики. Отримано експертний висновок комісії з питань біоетики про можливість опублікування статті у відкритій пресі, протокол № 86 від 01.07.2026.

Внесок авторів. В. М. Лучинський – концепція та дизайн роботи, збір та аналіз даних, відповідальність за статистичний аналіз, написання статті, критичний перегляд статті, остаточне затвердження статті. М. А. Лучинський – критичний перегляд статті, остаточне затвердження статті.

Інформація про доступність первинних даних. Дані будуть надані за обґрунтованим запитом.

Використання штучного інтелекту. Під час підготовки статті інструменти штучного інтелекту використовувалися лише для мовного редагування, перевірки граматики, перекладу або інших допоміжних завдань, без використання згенерованих ними об'єктів як результатів академічної діяльності.

Усі автори прочитали й погодилися з опублікованою версією статті та несуть спільну відповідальність за достовірність, точність і доброчесність наведених у статті даних та результатів дослідження.

альманах. 2025. № 4. С. 103–108. DOI: <https://doi.org/10.31718/2409-0255.4.2025.14>.

3. Гуртова Я. М., Шнайдер С. А., Вальда В. В., Репужинський Й. М., Жук Д. Д., Мазур В. П. Оцінка показника антиоксидантного захисту у ротовій рідині пацієнтів з хронічним генералізованим пародонтитом, остеопенією та остеопорозом на тлі лікувально-профілактичного комплексу. *Інновації в стоматології*. 2025. № 3. С. 92–96. DOI: <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2025.3.13>.

4. Ortiz R., Mauricio P., Mascarenhas P.S. Densifying the Future: A Critical Review of Osseodensification and Implant Dentistry. *Dentistry Journal*. 2025. Vol. 13 (10). P. 461. DOI: <https://doi.org/10.3390/dj13100461>.
 5. Kim S. Y., Lee Y. J., Kang Y. J., Kim S. G., Rotaru H. Impact of Osteoporosis on Dental Implant Survival, Failure, and Marginal Bone Loss: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2025. Sep 23. Vol. 14 (19). P. 6719. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14196719>.
 6. Findler M., Doron H., Mann J., Chackartchi T., Tobias G. Clinical Success Rates of Dental Implants with Bone Grafting in a Large-Scale National Dataset. *Journal of Functional Biomaterials*. 2026. Vol. 17 (1). P. 46. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfb17010046>.
 7. Jadhav L., Madiwal V., Rajwade J.M. The dental implant surface: a review of the past, present and future. *J Mater Sci Mater Med*. 2026, Jan. 10. Vol. 37 (1). P. 21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10856-025-06997-x>.
 8. Qiu P., Cao R., Li Z., Fan Z. A comprehensive biomechanical evaluation of length and diameter of dental implants using finite element analyses: A systematic review. *Heliyon*. 2024. Vol. 10 (5). P. 26876. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26876>.
 9. Park J., Park S., Kang I., Noh G. Biomechanical effects of bone quality and design features in dental implants in long-term bone stability. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2022. Vol. 9 (5). P. 1538–1548. DOI: <https://doi.org/10.1093/jcde/qwac069>.
 10. Kim E., Yoon Y., Kim J-E., Kwon Y-D. Influence of Morse Taper Angle and Bone Quality on the Biomechanical Behavior of Dental Implants: A Finite Element Analysis Study. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. P. 12629. DOI: <https://doi.org/10.3390/app152312629>.
 11. Insua A., Monje A., Wang H-L, Miron R. J. Basis of bone metabolism around dental implants during osseointegration and peri-implant bone loss. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2017. Vol. 105 (7). P. 2075–2089. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36060>.
 12. Duyck J., Vandamme K. The effect of loading on peri-implant bone: A critical review of the literature. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2014. Vol. 41 (10). P. 783–794. DOI: <https://doi.org/10.1111/joor.12195>.
 13. Di Fiore A., Montagner M., Sivoilella S. et al. Peri-Implant Bone Loss and Overload: A Systematic Review Focusing on Occlusal Analysis through Digital and Analogic Methods. *Journal of Clinical Medicine*. 2022. Vol. 11 (16). P. 4812. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11164812>.
 14. Falcinelli C., Valente F., Vasta M., Traini T. Finite element analysis in implant dentistry: State of the art and future directions. *Dental Materials*. 2023. Vol. 39 (6). P. 539–556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.04.002>.
 15. Aguirrebeitia J., Abasolo M., Vallejo J. et al. Influence of Bone Definition and Finite Element Parameters in Bone and Dental Implants Stress: A Literature Review. *Biology (Basel)*. 2020. Vol. 9 (8). P. 224. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology9080224>.
- References**
1. Niwano, Y., Shishido, S., Shirato, M., Kohzaki, H., Nakamura, K. (2025). Therapeutic Potential of Proanthocyanidins in Dentistry: A Focus on Periodontal Disease and on Dental Implants in Osteoporotic Patients. *Antioxidants (Basel)*, 14(7), 850. <https://doi.org/10.3390/antiox14070850>.
 2. Luchynskyi, V. M., Luchynska, Yu. I., Manashchuk, N. V., Luchynskyi, M. A., & Stoikevych, H. V. (2025). Vplyv stanu kistkovoї tkanyny na rezultaty dentalnoi implantatsii: klinichne doslidzhennia [Influence of bone tissue condition on the outcomes of dental implantation: A clinical study]. *Ukrainskyi stomatolohichnyi almanakh*, (4), 103–108. <https://doi.org/10.31718/2409-0255.4.2025.14>
 3. Hurtova, Ya. M., Shnaider, S. A., Valda, V. V., Repuzhynskyi, Y. M., Zhuk, D. D., & Mazur, V. P. (2025). Otsinka pokaznyka antyoksydantnoho zakhystu u rotovii ridyni patsientiv z khronichnym heneralizovanyim parodontytom, osteopeniieiu ta osteoporozom na tli likuvalno-profilaktychnoho kompleksu [Assessment of antioxidant defense in the oral fluid of patients with chronic generalized periodontitis, osteopenia, and osteoporosis against the background of a therapeutic and preventive complex]. *Innovatsii v stomatolohii*, (3), 92–96. <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2025.3.13> [in Ukrainian].
 4. Ortiz, R., Mauricio, P., Mascarenhas, P.S. (2025). Densifying the Future: A Critical Review of Osseodensification and Implant Dentistry. *Dentistry Journal*, 13(10), 461. <https://doi.org/10.3390/dj13100461>.
 5. Kim, SY, Lee, YJ, Kang, YJ, Kim, SG, Rotaru, H. (2025). Impact of Osteoporosis on Dental Implant Survival, Failure, and Marginal Bone Loss: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*, Sep 23, 14(19), 6719. <https://doi.org/10.3390/jcm14196719>.
 6. Findler, M., Doron, H., Mann, J., Chackartchi, T., Tobias, G. (2026). Clinical Success Rates of Dental Implants with Bone Grafting in a Large-Scale National Dataset. *Journal of Functional Biomaterials*, 17(1), 46. <https://doi.org/10.3390/jfb17010046>.
 7. Jadhav, L., Madiwal, V., Rajwade, JM. (2026). The dental implant surface: a review of the past, present and future. *J Mater Sci Mater Med*, Jan. 10, 37(1), 21. <https://doi.org/10.1007/s10856-025-06997-x>.
 8. Qiu, P., Cao, R., Li, Z., Fan, Z. (2024). A comprehensive biomechanical evaluation of length and diameter of dental implants using finite element analyses: A systematic review. *Heliyon*, 10(5), 26876. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26876>.
 9. Park, J, Park, S, Kang, I, Noh, G. (2022). Biomechanical effects of bone quality and design features in dental implants in long-term bone stability. *Journal of Computational Design and Engineering*, 9(5), 1538–1548. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwac069>.
 10. Kim, E, Yoon, Y, Kim, J-E, Kwon, Y-D. (2025). Influence of Morse Taper Angle and Bone Quality on the Biomechanical Behavior of Dental Implants: A Finite Element Analysis Study. *Applied Sciences*, 15, 12629. <https://doi.org/10.3390/app152312629>.
 11. Insua, A, Monje, A, Wang, H-L, Miron, R. J. (2017). Basis of bone metabolism around dental implants during osseointegration and peri-implant bone loss. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 105(7), 2075–2089. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36060>.
 12. Duyck, J., Vandamme, K. (2014). The effect of loading on peri-implant bone: A critical review of the literature. *Journal of Oral Rehabilitation*, 41(10), 783–794. <https://doi.org/10.1111/joor.12195>.
 13. Di Fiore, A., Montagner, M., Sivoilella, S., et al. (2022). Peri-Implant Bone Loss and Overload: A Systematic Review Focusing on Occlusal Analysis through Digital and Analogic Methods. *Journal of Clinical Medicine*, 11(16), 4812. <https://doi.org/10.3390/jcm11164812>.

14. Falcinelli, C., Valente, F., Vasta, M., Traini, T. (2023). Finite element analysis in implant dentistry: State of the art and future directions. *Dental Materials*, 39(6), 539–556. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.04.002>.
15. Aguirrebeitia, J., Abasolo, M., Vallejo, J., et al. (2020). Influence of Bone Definition and Finite Element Parameters in Bone and Dental Implants Stress: A Literature Review. *Biology (Basel)*, 9(8), 224. <https://doi.org/10.3390/biology9080224>.