

Колесніченко Максим Олександрович,

аспірант кафедри стоматології,
Медичний інститут Сумського державного університету
ORCID ID: 0000-0002-0898-2374
м. Суми, Україна

Черненко Володимир Миколайович,

асистент кафедри стоматології,
Медичний інститут Сумського державного університету
ORCID ID: 0009-0009-5994-0252
м. Суми, Україна

Локес Катерина Петрівна,

кандидат медичних наук, доцент,
завідувач кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії,
Полтавський державний медичний університет
ORCID ID: 0000-0002-8847-837X
SCOPUS ID: 56349123800
м. Полтава, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОЦЕСІВ РЕПАРАТИВНОЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ ВІД ДІАМЕТРА ГРАНУЛ КІСТКОВОГО ЗАМІННИКА

Вступ. Атрофія альвеолярної кістки є однією проблем стоматологічної реабілітації за допомогою дентальних імплантів. Дефіцит альвеолярного відростку, який виникає внаслідок атрофії, становить значну проблему при встановленні зубних імплантів, оскільки він перешкоджає досягненню достатньої первинної стабільності, що є вирішальним фактором успіху імплантації. Існують різні методи вертикальної аугментації кістки, такі як спрямована кісткова регенерація, альвеолярний дистракційний остеогенез та аутогенна кісткова трансплантація тощо.

Метою дослідження було обґрунтувати ефективність використання гранул кісткового замітника при проведенні дентальної аугментації в залежності від типу кісткової тканини.

Клінічне дослідження проводилося на базі хірургічного відділення КНП СОР «Сумська обласна клінічна стоматологічна поліклініка». У дослідженні брали участь 75 пацієнтів, яким було проведено екстракцію нижнього моляру із наступним проведенням дентальної імплантації.

Аналізуючи зрізи комп'ютерних томограм пацієнтів, нами зроблено висновок, що найчастіше (57–60%) випадків зустрічається компенсована фаза даної патології за умов 1-го або 2-го типу кісткової тканини, дещо рідше зустрічалась субкомпенсована фаза (35–39%) випадків; за її наявності 2-й тип кістки зустрічався в 44 % випадків, а 3-й в 56% випадках відповідно.

Найнесприятливішими умовами щодо проведення відстроеної дентальної імплантації вважаємо наявність декомпенсованої фази даної патології яка в 77-80% випадків візуалізується за наявності кістки 4 типу.

Висновки. Встановлено що гранули кісткового замітника 0,5–1,0 мм мають властивості «ідеальної пружності», яка має назву сферичної ізотропії та її деформаційні властивості описується як арифметична лінійна залежність між силою напруги та напрямком і ступенем деформації. Нами встановлено, що сферична ізотропія має єдині біомеханічні властивості за усіма напрямками, що виникають з кожної точки матеріалу і кожна його частина призводить до однакових параметрів збільшення навантаження, що і входить в поняття «ізотропія».

Ключові слова: дентальна імплантація, видалення зуба, кісткова тканина, аугментація альвеолярного відростка, репаративний остеогенез.

Kolesnychenko Maksym Oleksandrovych, Postgraduate Student at the Department of Dentistry, Medical Institution, Sumy State University, ORCID ID: 0000-0002-0898-2374, Sumy, Ukraine

Chernenko Volodymyr Mykolayovych, Assistant Professor at the Department of Dentistry, Medical Institution, Sumy State University, ORCID ID: 0009-0009-5994-0252, Sumy, Ukraine

Lokes Kateryna Petrivna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University, ORCID ID: 0000-0002-8847-837X, SCOPUS ID: 56349123800, Poltava, Ukraine

SUBSTANTIATION OF THE DEPENDENCE OF THE PROCESSES OF REPARATIVE REGENERATION OF THE MANDIBULAR BONE TISSUE ON THE DIAMETER OF THE BONE SUBSTITUTE GRANULES

Introduction. Alveolar bone atrophy is one of the problems of dental rehabilitation using dental implants. Alveolar process deficiency, which occurs as a result of atrophy, is a significant problem when installing dental implants, as it prevents the achievement of sufficient primary stability, which is a decisive factor in the success of implantation. There are various methods of vertical bone augmentation, such as directed bone regeneration, alveolar distraction osteogenesis and autogenous bone transplantation, etc.

The aim of the study was to substantiate the effectiveness of the use of bone substitute granules in dental augmentation depending on the type of bone tissue.

The clinical study was conducted on the basis of the surgical department of the Sumy Regional Clinical Dental Polyclinic. The study involved 75 patients who underwent lower molar extraction followed by dental implantation.

Analyzing the sections of patients' computed tomograms, we concluded that the most common (57–60%) cases are the compensated phase of this pathology in the conditions of type 1 or 2 bone tissue, the subcompensated phase was somewhat less common (35–39%); in its presence, type 2 bone was found in 44% of cases, and type 3 in 56% of cases, respectively.

The most unfavorable conditions for delayed dental implantation are the presence of the decompensated phase of this pathology, which in 77–80% of cases is visualized in the presence of type 4 bone.

Conclusions. It has been established that the 0.5–1.0 mm bone substitute granules have the properties of “ideal elasticity”, which is called spherical isotropy and its deformation properties are described as an arithmetic linear relationship between the stress force and the direction and degree of deformation. We have established that spherical isotropy has the same biomechanical properties in all directions, arising from each point of the material and each part of it leads to the same parameters of the increase in load, which is included in the concept of “isotropy”.

Key words: dental implantation, tooth extraction, bone tissue, alveolar process augmentation, reparative osteogenesis.

Вступ. На сучасному етапі розвитку стоматологічної науки дентальна імплантація є надійним варіантом лікування та реабілітації пацієнтів з частковою або повною адентією. Дентальні імпланти стали стандартною процедурою для заміщення зубів в естетичній (фронтальній) зоні та у дистальних відділах альвеолярного відростку, надаючи багато переваг, але також створюючи певні труднощі за умов наявності несприятливих умов (як локального, так і загального характеру) для даного методу лікування [1, 2].

Атрофія альвеолярної кістки є однією проблем стоматологічної реабілітації за допомогою дентальних імплантів [3, 4]. Дефіцит альвеолярного відростку, який виникає внаслідок атрофії, становить значну проблему при встановленні зубних імплантів, оскільки він перешкоджає досягненню достатньої первинної стабільності, що є вирішальним фактором успіху імплантації [5, 6]. Аугментація альвеолярного відростку може мати горизонтальний та вертикальний характер, при цьому вертикальна атрофія кістки є більш несприятливою для регенерації через хірургічну складність, анатомічні обмеження, які можуть призвести до незначної васкуляризації, та необхідність герметичного первинного закриття рани [7, 8]. Існують різні методи вертикальної аугментації кістки, такі як спрямована кісткова регенерація, альвеолярний дистракційний остеогенез та аутогенна кісткова трансплантація тощо [9]. Для реконструкції дефіцитних альвеолярних гребенів описано численні методи, такі як спрямована кісткова регенерація, кісткові блоки та дистракційний остеогенез. У цих процедурах може використовуватися кілька матеріалів, включаючи аутотрансплантати, алотрансплантати, ксенотрансплантати та алопласти, а також різні бар'єрні мембрани або матеріали для остеосинтезу [2, 5, 7].

Після встановлення імплантату та протягом періоду загоєння відбувається фізіологічне ремоделювання кістки, і рівні маргінальної кістки навколо імплантату встановлюються на рівні або трохи нижче корональної частки ендосальної частини імплантату [10, 11].

Мета дослідження. Обґрунтувати ефективність використання гранул кісткового замітника при проведенні дентальної аугментації в залежності від типу кісткової тканини.

Методологія та методи дослідження. Клінічне дослідження проводилося на базі хірургічного відділення КНП СОР «Сумська обласна клінічна стоматологічна поліклініка». У дослідженні брали участь 75 пацієнтів, яким було проведено екстракцію нижнього моляру із наступним проведенням дентальної імплантації. Вік пацієнтів складав від 25 до 45 років. Критеріями виключення були: наявність цукрового діабету та декомпенсованих загальносоматичних захворювань, шкідливі звички, а саме паління та зловживання алкоголем, небажання брати участь у дослідженні.

Усі пацієнту були розподілені на 3 клінічні групи по 25 осіб у кожній:

- Перша клінічна група – пацієнти, яким видалення супроводжувалося проведенням аугментації альвеолярного відростку гранулами кісткового замітника;
- Друга клінічна група – пацієнти, яким видалення супроводжувалося проведенням аугментації альвеолярного відростку гранулами кісткового замітника у комбінації із кератоксеноімплантантом;
- Третя клінічна (контрольна) група – пацієнти у яких загоєння лунки видаленого зуба відбувалося під кров'яним згустком.

Виклад основного матеріалу дослідження. На першому етапі дослідження нами взято на мету визначити рівні фізіологічних та патологічних напружень та векторів діючих сил тиск гранул кісткового замітника, як опуклих фізичних тіл з певним модулем пружності на краї кісткового дефекту та, за умов тонких міжзубних перегородок вплив на кут зміщення вертикальних вісей сусідніх інтактних зубів.

При проведенні дослідження нами врахований той факт, що як сила так і вектори напружень діючих сил тиску на краї дефекту залежать не лише від діаметру та ступеня утрамбування матеріалу, а також від оптич-

ної щільності кісткової тканини, особливо її губчастого шару, тому за основи нами взято класифікація Mich (1999 р.) яка враховує не лише оптичну щільність та наявність мінерального компоненту, як кортикальної так і спонгіозної речовини, а й особливості їх топографо-анатомічного співвідношення [12].

За даними кількох авторів, протягом 3-х місяців остеointegraції можливо змінення або вертикальної вісі інтактних сусідніх зубів, або їх топографія, зазвичай це відбувається зміщенням кута нахилу в бік дефекту, це, на нашу думку, пов'язано з тим, що навантаження, яке виникає в різному ступеню долей розповсюджується на весь зубний ряд через опосередковані міжзубні контакти, і далі на голівки СНЩС. За умов втрати зубного контакту жувальне навантаження на сусідні з дефектом зуби стає більшим і може досягати патологічних значень. За умов втрати зуба епюри діючих сил, що виникають при жуванні знаходяться в проекції контактних пунктів поверхонь зубів сусідніх із дефектом. Таким чином створюється патологічний тиск на всій структурі періодонту, що і може привести до зміни положення даних зубів в альвеолі [3, 5, 13].

Аналізуючи зрізи комп'ютерних томограм пацієнтів, нами зроблено висновок, що найчастіше (57–60%) випадків зустрічається компенсована фаза даної патології за умов 1-го або 2-го типу кісткової тканини, дещо рідше зустрічалась субкомпенсована фаза (35–39%) випадків; за її наявності 2-й тип кістки зустрічався в 44% випадків, а 3-й в 56% випадках відповідно.

Найнесприятливішими умовами щодо проведення відстроченої дентальної імплантації вважаємо наявність декомпенсованої фази даної патології яка в 77–80% випадків візуалізується за наявності кістки 4 типу.

Саме у пацієнтів 3 клінічної групи на 3 місяць перед імплантацією нами було встановлено кути зміщення сусідніх зубів. За умов наявності кісткової тканини 1 типу кут зміщення в 88–90% випадків кут зміщення був відсутній. Лише в 10–12% випадків на цифровому збільшенні нами фіксувалося незначне статистично невірогідне відхилення. За умов наявності 2 типу кісткової тканини нами встановлено наступні вірогідні збільшення кута відносно вертикальної вісі зуба. У жінок він становив від 1,5 до 3,5° у чоловіків 0,5–2,5°. При візуалізації 3 типу кістки вірогідність збільшення кута відносно вертикальної вісі зуба (бета зростає і становить: 2,0–5,5° у жінок та 1,5–5,0° у чоловіків. Найбільш великі розбіжності в зміні кута нами зафіксовано за наявності 4 типу кісткової тканини (Гамма), а саме: у жінок 2,5–9,5°, у чоловіків 2,0–7,2° відносно вертикальної вісі зуба.

Саме це нас і спонукало використовувати зміщення кісткового дефекту гранулами кісткового заміника, створено припущення, що сила утримування гранул має залежати від оптичної щільності спонгіозної кістки, що оточувала корені видаленого зуба. Тому на даному етапі досліджень нами створено та отримано цифрові дані тензорів напружень сфероподібно випуклого тіла (гранул кісткового заміника)

на інші гранули та поверхню твердого фізичного тіла (поверхня кісткового дефекту).

За основу ми взяли аксіому, що будь-яке тверде тіло, що піддається деформації змінюють свій розмір та форму під дією епюрів зовнішніх сил напруги. Водночас в кожному сфероїдально опуклому тілі (гранули кісткового заміника) виникають внутрішні напруги, цифрові показники та напрямлення яких залежать від напрямку дії зовнішньої сили геометричної форми та діаметра фізичного тіла. Аналізуючи теорію суцільних середовищ для створення моделі механічної поведінки фізичного тіла у його макроструктурі слід вважати безперервну заповненість його фізичною матерією.

Всі зовнішні навантаження і сили нами розділено на об'ємні, поверхневі та зосереджені, а пружність розглядали як частину механіки суцільного середовища, щодо деформації з одночасним виникнення внутрішніх сил в сферичних фізичних тілах за різними цифровими показниками навантажень.

Аналізуючи властивості щодо пружності нами використано декілька фізико-математичних гіпотез, перша з яких є гіпотезою однорідності та суцільності будова будь-якого пружного сферичного тіла (в нашому випадку гранул кісткового заміника). Нами зроблено припущення, що таке тіло яке є неприривчастим до певного ступеня деформації залишається без антрумів та розривів архітектонічних зв'язків, а після деформації залишається так званий елементарний об'єм, який нами вирахований за допомогою апарату диференційованого обчислення. Дослідження даної математичної моделі дозволили встановити, що такими властивостями володіють гранули кісткового заміника діаметром від 1.0–2.0 мм.

Деформацію гранул діаметром 1 мм можна описати гіпотезою про природний ненапружений стан сферично випуклого сферичного тіла, яка стверджує, що початкова напруга в такому тілі до прикладання поверхневих навантажень наближається до нуля.

Встановлено що гранули кісткового заміника 0,5–1,0 мм мають властивості «ідеальної пружності», яка має назву сферичної ізотропії та її деформаційні властивості описується як арифметична лінійна залежність між силою напруги та напрямком і ступенем деформації. Нами встановлено, що сферична ізотропія має єдині біомеханічні властивості за усіма напрямками, що виникають з кожної точки матеріалу і кожна його частина призводить до однакових параметрів збільшення навантаження, що і входить в поняття «ізотропія».

Всі механічні властивості що залежать від напрямку епюру діючої сили нами поділено на анізотропні, що наведені вище, та ортотропні за умов, що гранула знаходиться не в середині конгломерату, а одна із точок передає свою напругу на поверхню кісткового дефекту.

Всю лінійну залежність між ступенями деформації та цифровими показниками напруги нами визначено з використанням закону Гука та встановлено, що всі напрямки та цифрові показники зовнішніх сил що створюються при утримуванні гранул збільшуються

або зменшуються в залежності від знаходження або в конгломераті гранул, або створюючи маргінальне кільце, яке межує з поверхнею кісткової альвеоли, а також ряд гранул які знаходяться в проекції маргінального краю інтактних ясен.

Висновки. Зменшення напруги і деформації і разом з тим переміщення будь-якої гранули в будь-

якій точці візуально створеного фізичного середовища, що за об'ємом відповідає геометрії альвеоли. Таким чином, встановлено, що використання гранул кісткового заміника 0,5–1,0 мм за умов аугментації альвеолярного відростку мають властивості «ідеальної пружності», що створює оптимальні умови для процесів репаративного остеогенезу.

REFERENCES

1. Alghamdi HS, Jansen JA. The development and future of dental implants. *Dent Mater J*. 2020 Mar 31; 39 (2): 167–172. DOI: 10.4012/dmj.2019-140.
2. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, Beck-Broichsitter B, Jung O, Precht C, Kloss F, Gröbe A, Heiland M, Ebker T. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. *Biomed Res Int*. 2016; 2016: 6285620. DOI: 10.1155/2016/6285620
3. Schwarze UY, Strauss FJ, Gruber R. Caspase inhibitor attenuates the shape changes in the alveolar ridge following tooth extraction: A pilot study in rats. *J Periodontal Res*. 2021 Jan; 56 (1): 101–107. DOI: 10.1111/jre.12798.
4. Khatou VV, Ivanytska OS, Havryliev VM, Buhanchenko OP, Boyko IV, Lokes KP, Avetkov DS. Dynamics of bone formation and osteoresorption markers in patients with postoperative mandibular bone defects. *World of Medicine and Biology*. 2023; 19 (86): 167–170. DOI 10.26724/2079-8334-2023-4-86-167-170.
5. MacBeth ND, Donos N, Mardas N. Alveolar ridge preservation with guided bone regeneration or socket seal technique. A randomised, single-blind controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res*. 2022 Jul; 33 (7): 681–699. DOI: 10.1111/clr.13933.
6. Avetkov DS, Pronina OM, Lokes KP, Buhanchenko OP. Suchasni uyavlennya pro umovy, shcho obmezhuuyut vybir metodu implantatsiyi zubiv u verkhniy i nizhniy shchelepakh. *Visnyk problem biolohiyi ta medytsyny*. 2017; 4 (3): 20–27. DOI: 10.29254/2077-4214-2017-4-3-141-20-27
7. Lodi G, Azzi L, Varoni EM, Pentenero M, Del Fabbro M, Carrassi A, Sardella A, Manfredi M. Antibiotics to prevent complications following tooth extractions. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021 Feb 24; 2 (2): CD003811. DOI: 10.1002/14651858.CD003811.pub3.
8. Toledano-Serrabona J, Sánchez-Garcés MÁ, Sánchez-Torres A, Gay-Escoda C. Alveolar distraction osteogenesis for dental implant treatments of the vertical bone atrophy: A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2019 Jan 1; 24 (1): e70–e75. DOI: 10.4317/medoral.22750.
9. Vaquette C, Mitchell J, Ivanovski S. Recent Advances in Vertical Alveolar Bone Augmentation Using Additive Manufacturing Technologies. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022 Feb 7; 9: 798393. DOI: 10.3389/fbioe.2021.798393.
10. Wang SH, Hsu JT, Fuh LJ, Peng SL, Huang HL, Tsai MT. New classification for bone type at dental implant sites: a dental computed tomography study. *BMC Oral Health*. 2023 May 25; 23 (1): 324. DOI: 10.1186/s12903-023-03039-2.
11. Kolesnichenko MO, Savchenko DV, Savchenko VV, Ivaniuk OS, Zhyvotovskiy IV, Yacenko PI, Lokes KP. Dynamics of changes in biochemical markers of blood serum after removal of mandibular molars and augmentation of the alveolar process. *World of Medicine and Biology*. 2023; 1 (83): 96–99. DOI: 10.26724/2079-8334-2023-1-83-96-99
12. Kong ZL, Wang GG, Liu XY, Ye ZY, Xu DQ, Ding X. Influence of bone anatomical morphology of mandibular molars on dental implant based on CBCT. *BMC Oral Health*. 2021 Oct 15; 21 (1): 528. DOI: 10.1186/s12903-021-01888-3.
13. Afrashtehfar KI, Assery NM, Alblooshi KAK, Schmidlin PR. Maintaining periodontally compromised teeth seems more cost-effective than replacing them with dental implants. *Evid Based Dent*. 2024 Sep; 25 (3): 129–130. DOI: 10.1038/s41432-024-01050-2.

Дата надходження статті: 15.08.2025

Дата прийняття статті: 30.08.2025

Опубліковано: 01.10.2025