

УДК 616.314-089.23-089.843

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-2008-2024-3-3>

Л. В. Смаглюк <https://orcid.org/0000-0002-7030-8313>
 Д. П. Шаєнко <https://orcid.org/0009-0008-2431-3446>
 А. В. Ляховська <https://orcid.org/0000-0002-7268-9551>
 В. І. Смаглюк <https://orcid.org/0009-0003-6896-8974>

ВИЗНАЧЕННЯ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ НА ПЕРВИННУ СТАБІЛЬНІСТЬ ОРТОДОНТИЧНИХ МІНІМПЛАНТІВ

Полтавський державний медичний університет, Полтава, Україна

УДК 616.314-089.23-089.843

Л. В. Смаглюк, Д. П. Шаєнко, А. В. Ляховська, В. І. Смаглюк
ВИЗНАЧЕННЯ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ НА ПЕРВИННУ СТАБІЛЬНІСТЬ ОРТОДОНТИЧНИХ МІНІМПЛАНТІВ

Полтавський державний медичний університет, м. Полтава, Україна

Часто опорою для ортодонтичного переміщення є ортодонтичні мініімпланти. У дослідженні використано ортодонтичні мініімпланти діаметром 1,2 мм, довжиною 8 мм та 10 мм, із шийкою 1,5 та 3 мм, які встановлювалися у кістку телячих ребер, та проводилося вимірювання їх первинної стабільності пристроєм Anycheck. Під час встановлення мініімплантів із зануренням шийки на 1 мм у кістку показники первинної стабільності були вищими та достовірно відрізнялися від показників за встановлення до рівня шийки. Значний приріст первинної стабільності спостерігався під час занурення фрезерованої шийки на 1 мм у кортикальну пластинку кістки. Крутний момент, довжина внутрішньокісткової частини та шийки мініімпланту не мали статистично достовірного впливу на його первинну стабільність.

Ключові слова: мініімпланти, первинна стабільність, анкораж, нижня щелепа, ортодонтичне лікування.

UDC 616.314-089.23-089.843

L. V. Smaglyuk, D. P. Shaienko, A. V. Liakhovska, V. I. Smaglyuk
DETERMINATION OF FACTORS INFLUENCING THE PRIMARY STABILITY OF ORTHODONTIC MINI-IMPLANTS

Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine

Relevance. Orthodontic mini-implants are often used as anchorage for orthodontic movement. There is currently no consensus on what has a decisive impact on the primary stability of mini-implants.

Methods and Materials. The study used orthodontic mini-implants with a diameter of 1.2 mm and lengths of 8 mm and 10 mm, with necks of 1.5 mm and 3 mm, which were inserted into the cortical bone of calf ribs, and their primary stability was measured using the Anycheck device.

Results and Discussion. When the mini-implants were inserted with the neck submerged by 1 mm into the bone, the indicators of primary stability were higher and significantly different from the indicators when inserted up to the neck level.

Conclusions. A significant increase in primary stability was observed when the neck of the mini-implant was submerged by 1 mm into the cortical bone plate. The torque, length of the intraosseous part and neck of the mini-implant did not have a statistically significant impact on its primary stability.

Key words: mini-implants, primary stability, anchorage, mandible, orthodontic treatment.

Вступ. Однією з основних вимог біомеханіки переміщення зубів під час ортодонтичного лікування є наявність стабільної опори, що зменшує величину моменту сили та протидії. Це, своєю чергою, забезпечує прогнозоване переміщення зубів із мінімізацією побічної дії на опорні зуби [1–3].

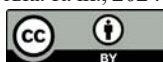
Такий ефект під час ортодонтичного лікування реалізується застосуванням для анкоражу систем для скелетної фіксації [4]. Перші конструкції металевих елементів, що фіксуються у верхню або нижню щелепу для покращення ортодонтичної опори, були опубліковані ще в 1945 р. Gainsforth і Higley. Відтоді почалося розроблення дентальних імплантів із можливістю функції анкоражу, що сприяло створенню ортодонтичних мініімплантів [1–3], які широко використовуються для скелетної опори

в клінічній практиці дотепер [5]. Успішність лікування із застосуванням ортодонтичних імплантів досить висока [6]. В огляді рандомізованих досліджень ортодонтичний мініімплантат уважався успішним, якщо він не мав рухливості, тобто залишався стабільним у кістковій тканині або витримував ортодонтичну силу під час лікування [7]. Ефективність опори за рахунок ортодонтичного мініімпланту повністю залежить від його первинної стабільності, яка виникає за рахунок механічного зчеплення поверхні мініімпланту з кісткою під час його встановлення [8; 9]. Із даних літератури відомо, що на первинну стабільність мініімплантів впливає як щільність кортикальної кістки, так і внутрішньокісткова довжина самого імпланту [10]. І єдине, на що можливо орієнтуватися під час встановлення мініімпланту, – це крутний момент, який бажано, щоб не перевищував 10 Нсм [7]. Але крутний момент не відображає реальну стабільність імпланту в кістковій тканині.

На думку одного з авторів, прогнозованість переміщення зубів із застосуванням мініімплантів є досить

© Л. В. Смаглюк, Д. П. Шаєнко, А. В. Ляховська та ін., 2024

Стаття поширюється на умовах ліцензії



ТЕОРІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТ

високою і коливається від 70% до 87% залежно від характеристик самого мініімпланту, а саме: його довжини (≥ 8 мм) та товщини ($>1,4$ мм) [11]. Деякі автори чинниками ризику порушення стабільності імпланту вважають замалу товщину кортикальної кістки (менше 0,5 мм) та низьку щільність губчастої кістки у ділянці його встановлення [12]. На підставі клінічних досліджень Motoyoshi та ін. [12] доведено, що товщина кортикальної кістки довкола мініімпланту має бути 1,0 мм або більше, а адекватний крутний момент під час установки імплантату – у межах 5–10 Нсм. Вибір місця введення є важливим для запобігання подразненню м'яких тканин або запаленню, і зазвичай рекомендується ділянка кератинізованих або прикріплених ясен, а не рухома слизова оболонка. Результати досліджень Uemura та ін. [13] указують, що діаметр отвору для досягнення стабільності мініімплантату діаметром 1,3 мм має становити 69–77% від діаметра мініімплантату.

Утрата стабільності проявляється рухомістю самого мініімпланта, його переміщенням від 1 до 1,5 мм у кістковій тканині без остеоінтеграції і може виникати як у короткий термін після встановлення, так і бути відтермінованою у часі (до 100–150 днів після встановлення) [14]. Це негативно впливає на якість та термін ортодонтичного лікування.

Водночас достовірних способів вимірювання первинної стабільності ортодонтичних мініімплантів сьогодні немає, а об'єктивність існуючих методів потребує вивчення та аналізу, а для успішного ортодонтичного лікування та мінімізації втрат ортодонтичних мініімплантів мають бути чіткі рекомендації стосовно первинної стабільності та термінів навантаження після їх фіксації у кістку.

З огляду на вищевикладене, для підвищення ефективності ортодонтичного лікування і для зменшення частоти дезінтеграцій ортодонтичних мініімплантів дуже важливо оцінити їх первинну стабільність і врахувати її під час застосування сили [8].

Метою дослідження було визначити найбільш вагомні параметри впливу на первинну стабільність ортодонтичного мініімплантату.

Матеріали та методи дослідження. Дане дослідження виконано у формі експерименту з використанням системи ортодонтичних мініімплантів Cit діаметром 1,2 мм фірми Sonnest (Україна) та препарату кісткової тканини з телячих ребер. Розроблення дизайну дослідження ґрунтувалося на аналізі літературних джерел і виділенні найбільш вагомних параметрів впливу на первинну стабільність ортодонтичного мініімпланту, а саме:

- довжині внутрішньокісткової частини мініімплантату;
- величині зовнішнього інтерфейсу (шийка мініімплантату);
- величині крутного моменту для встановлення мініімплантату (торку).

Система вибраних мініімплантів відрізнялася внутрішньокістковою довжиною і довжиною шийки (рис. 1). Для свердління отвору в кістковій тканині під мініімплант використовувалося рекомендоване сверло 0,8 мм і становить 66,6% діаметра мініімпланта. Глибина

занурення свердла була різною залежно від того, який торк імплантата ми хотіли отримати. У випадках для торку встановлення мініімпланту 5 Нсм ми проходили сверлом кістку на всю глибину імпланту, для торку в 10 Нсм проходили сверлом лише кортикальну пластинку, навіть у деяких випадках не до кінця.



Рис. 1. Застосовані ортодонтичні імпланти
(а – довжина 8 мм зі стандартною шийкою 1,5 мм),
б – довжина 10 мм зі стандартною шийкою 1,5 мм,
в – довжина 8 мм зі подовженою шийкою 3 мм

Для експерименту ми вибрали телячі ребра. Тип кістки визначали за допомогою спіральної комп'ютерної томографії (КТ) ребер на апараті Toshiba Aquilion Prime SP 160. За даними томографії, їх щільність за шкалою Хаунсфілда (HU) була подібна до щелеп людини і становила в межах 400–1200 HU, що відповідає 2-му та 3-му типам кістки за таблицею С. Misch (табл. 1).

Таблиця 1

Відповідність типів кістки одиницям щільності шкали Хаунсфілда (HU) (за С. Misch, 1999)

Типи кістки	Одиниці щільності (HU)
D1	Більше 1250
D2	850-1250
D3	350-850
D4	150-350

За нашими даними, у більшості досліджених ребер переважав 2-й тип кістки (рис. 2–5).

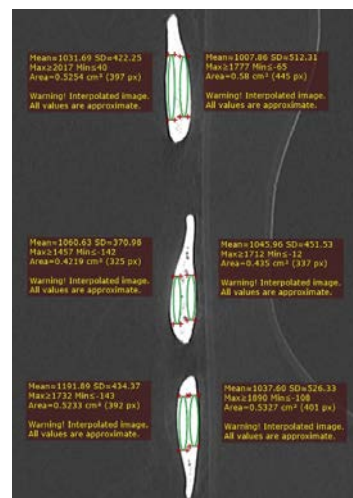


Рис. 2. Сагітальний зріз КТ трьох ребер

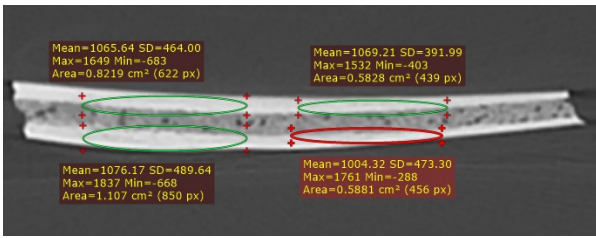


Рис. 3. Аксіальний зріз КТ ребра 1

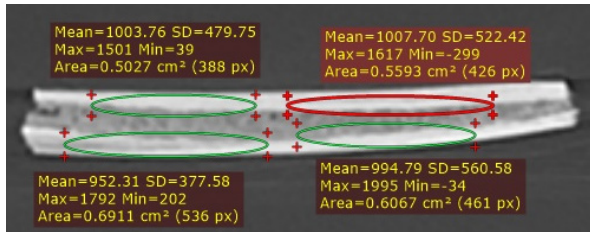


Рис. 4. Аксіальний зріз КТ ребра 2

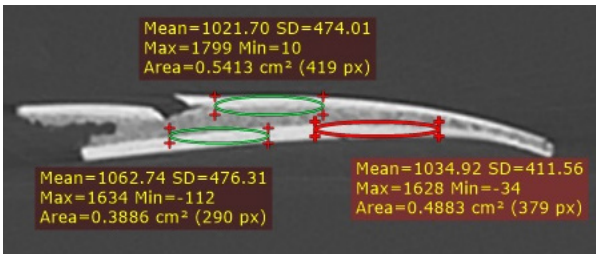


Рис. 5. Аксіальний зріз КТ ребра 3

За допомогою кутового хірургічного наконечника 20:1 та фізiodиспенсера DTE Implant-X ми встановлювали мініімпланти в кістку телячих ребер (рис. 6).



Рис. 6. Фото моменту встановлення мініімплантату в теляче ребро

На фізiodиспенсері ми виставляти крутний момент в 5 Нсм та 10 Нсм. Для закручування всіх мініімплантів ми виставляли швидкість у 10 обертів на 1 хв.

Експеримент складався з декількох частин:

1. Установлення мініімплантів довжиною внутрішньокісткової частини 8 мм та довжиною шийки 1,5 мм.
2. Установлення мініімплантів довжиною внутрішньокісткової частини 10 мм та довжиною шийки 1,5 мм.
3. Установлення мініімплантів довжиною внутрішньокісткової частини 8 мм та довжиною шийки 3 мм.

Кожна із цих частин експерименту включала чотири етапи:

1. Установлення 10 мініімплантів із крутним моментом 5 Нсм до рівня шийки.
2. Установлення 10 мініімплантів із крутним моментом 10 Нсм до рівня шийки.
3. Установлення 10 мініімплантів із крутним моментом 5 Нсм із зануренням шийки імпланту приблизно на 1 мм.
4. Установлення 10 мініімплантів із крутним моментом 10 Нсм із зануренням шийки імпланту приблизно на 1мм.

Після встановлення імплантів проводилося вимірювання первинної стабільності кожного імпланта за допомогою пристрою AnyCheck, який був відкалібрований для максимальної точності показників відповідно до інструкції перед початком експеримента (рис. 7).



Рис. 7. Зображення етапу калібрування апарату Anycheck

Вимірювання проводили з чотирьох сторін мініімпланту (рис. 8 а, б; 9 а, б).



Рис. 8. Фото занурених мініімплантів у кістку до рівня шийки (а) та їх вимірювання (б)



Рис. 9. Фото мініімплантів із зануренням шийки на 1 мм у кістку (а) та їх вимірювання (б)

Значення первинної стабільності кожного мініімпланту вносилися в таблицю та виводилися середні показники первинної стабільності по кожній групі експерименту. Програма дослідження була затверджена комісією з питань біомедичної етики Полтавського державного медичного університету № 209 від 25.10.2022.

Статистичне опрацювання отриманих результатів проводилося за допомогою програмних пакетів Prism 5 (version5/03) та Microsoft Excel 2010, методів описової статистики та статистичного аналізу. Для оцінки нормальності розподілу використовували тест Д'Агостіно – Пірсона. Відмінності між групами визначали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу Anova з поправкою Бонферроні. Для порівняння показників між 2-ма вибірками використовували t-критерій Стьюдента. Для оцінки ефективності запропонованих моделей установлення мініімплантатів на основі первинної стабільності ортодонтичного мініімплантата використовували метод головних компонент (Principal Components Analysis) та будували кореляційну матрицю. Відмінності вважали статистично значимими при $p < 0,05$ [15].

Результати дослідження та їх обговорення. Згідно з отриманими показниками експериментального дослідження, нами визначено, що найбільший вплив на первинну стабільність має величина занурення шийки мініімпланту в кісткову тканину (рис. 10).

У пришийковій зоні кісткової тканини, яка оточує мініімплант, часто виникає стрес, особливо в початковому шарі кортикальної кістки за монокортикального розміщення [16; 17]. Це важливий момент, бо різьбова частина ортодонтичного мініімпланту часто залишається в кортикальній частині кістки та іноді навіть у слизовій. Це може спричинити травматизацію слизової, кортикальної пластинки та ранню його втрату. У нашому дослідженні під час установлення міні-

імпланта в кісткову тканину до рівня шийки середні показники первинної стабільності коливалися в межах 45–47 одиниць. Дані показники визначалися для мініімплантів різної довжини (8, 10 мм із шийкою 1,5 мм або 3 мм), так і при різній величині крутного моменту (5 Нсм, 10 Нсм).

Під час установлення мініімплантів із зануренням їхньої шийки на 1 мм у кісткову тканину показники первинної стабільності були вищими та достовірно відрізнялися від показників імплантів, установлених до рівня шийки. Серед останніх найвищі показники первинної стабільності виміряні у мініімплантів довжиною 8 мм і діаметром шийки 1,5 мм під час закручування з величиною крутного моменту 5 Нсм та в усіх дослідних мініімплантів різної довжини під час закручування з величиною крутного моменту 10 Нсм. Аналіз отриманих показників указує на достовірний тісний кореляційний зв'язок між показниками первинної стабільності та фіксацією ортодонтичного мініімпланту в кістку із зануренням шийки на 1 мм у кортикальну кістку ($r=0,853$; $p < 0,0001$). На нашу думку, наявність такої достовірної залежності може бути пов'язана з більшою і рівномірною площею контакту фрезерованої частини імпланта порівняно з неоднорідною структурою різьбової частини. Важливим моментом високої первинної стабільності мініімпланту є можливість довготривало забезпечувати надійний анкораж, за малоінвазивного способу встановлення мінімально впливаючи на тканини пародонта [18].

Тісних кореляційних взаємозв'язків із довжиною самого імпланта ($r=0,218$; $p > 0,05$) і довжиною шийки

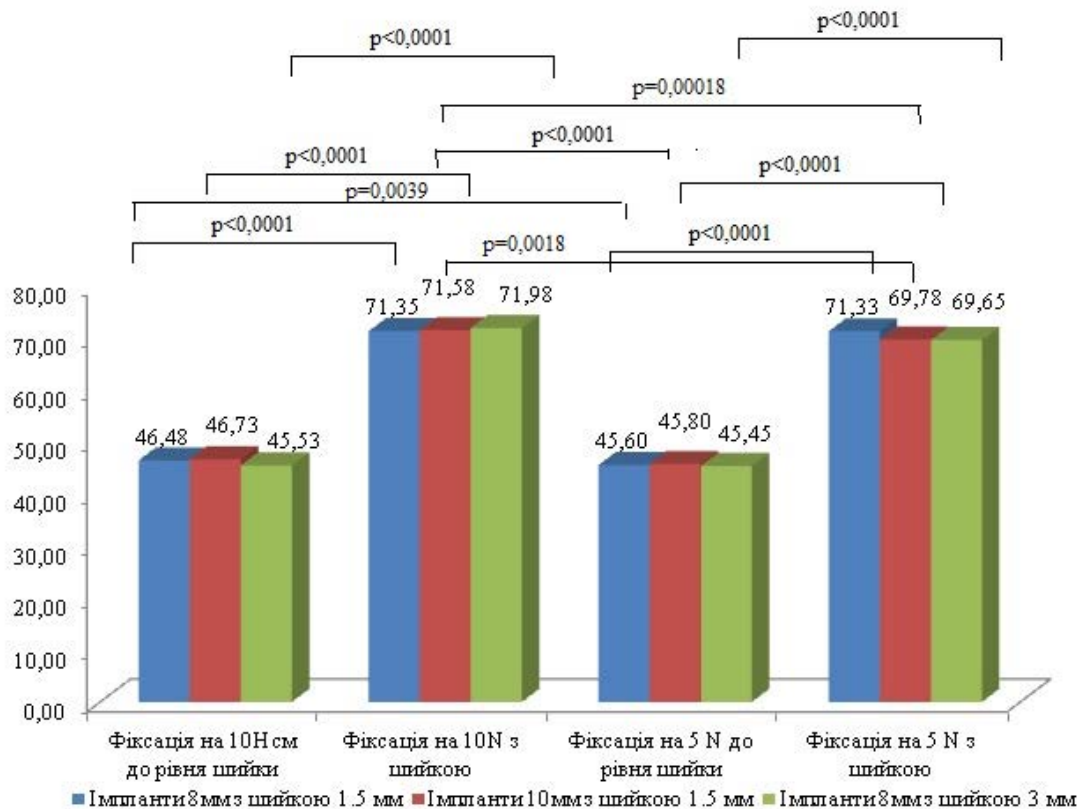


Рис. 10. Результати вимірювання первинної стабільності ортодонтичних мініімплантів

імпланта ($r=-0,084$; $p>0,05$) не визначено, що свідчить про те, що дані характеристики самого мініімпланта не впливають на його первинну стабільність у кістковій тканині. Такі отримані дані є клінічно значущими у разі встановлення мініімплантів у ділянці з потовщеною слизовою оболонкою.

Між показниками первинної стабільності мініімпланта та величиною крутного моменту, за якого відбувалося його встановлення, визначено статистично слабкий кореляційний зв'язок ($r=0,034$; $p>0,05$). Це вказує, що величина крутного моменту не має достовірного впливу на стабільність мініімплантів. Це має практичне значення для хірурга, оскільки доводить, що застосування високого крутного моменту не покращить первинну стабільність, а лише може призвести до злому мініімпланта чи травмування оточуючих тканин під час установлення. Проте необхідно зазначити, що в процесі експерименту ми побачили певну особливість, яка стосується циліндричних імплантатів і полягає у тому, що під час закручування мініімплантів довжиною 10 мм спостерігалось збільшення торку приблизно до 2/3 його довжини. Після проходження цього проміжку торк не збільшувався. Він частіше залишався незмінним, але в декількох випадках зменшувався, відбувався «провал» торку. Ця особливість, скоріше за все, пов'язана з тим, що циліндричний імплантат під час проходження кістки до певного моменту нарізає собі шлях, а потім просто закручується в нього без збільшення зусиль. Теоретично вона може бути пов'язана з діаметром імплантату або типом різьби і потребує подальших досліджень. Ще однією особливістю даних імплантів було те, що за встановленою виробником максимальної сили крутного моменту в 20 Нсм під час закручування імплантатів ставалися переломи і на 10 Нсм.

У трьох випадках це сталося на імплантатах довжиною 10 мм і в одному випадку на імпланті 8 мм, але з подовженою шийкою (рис. 11).



Рис. 11. Зображення зломаного мініімпланта

У кожному випадку це відбувалося за умови, що торк у 10 Нсм наставав приблизно на середині довжини імпланту, і ми продовжували встановлювати імплантат далі, і торк не перевищував 10 Нсм. Причина даної проблеми може бути пов'язана зі сплавом мініімплантата. Але це також потребує подальших досліджень.

Висновки. Довжина внутрішньокісткової частини мініімпланту (8, 10 мм), довжина шийки (1,5, 3 мм) і величина крутного моменту (5, 10 Нсм – торк) не мали статистично достовірного впливу на його первинну стабільність. Значний приріст величини первинної стабільності (за даними апарату Anuscheck) відбувався в групах дослідження мініімплантів із зануренням на 1 мм фрезерованої шийки імпланту в кортикальну пластинку кісткової тканини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mirchuk B. M., Dienha A. E., Zavoiko O. B. Vplyv zubo-shchelepnykh anomalii na stan funktsionalnykh reaktsii i nespetsyfichnoi rezystentnosti ditei. *Ynnovatsyy v stomatolohyy*. 2013; 1: 30–34.
2. Melsen B., Dalstra M. Skeletal anchorage in the past, today and tomorrow. *L'Orthodontie francaise*. 2017; 88(1): 35–44. DOI: 10.1051/orthodfr/2016052
3. Smaglyuk L V, Voronkova H V, Karasiunok AY, Liakhovska A V, Solovei KO. Interdisciplinary approach to diagnostics of malocclusions. *Wiad Lek (Warsaw, Pol 1960)*. 2019;72(5 cz 1):918–22.
4. Derton N, Palone M, Siciliani G, Albertini P, Cremonini F, Lombardo L. Resolution of lower second molar impaction through miniscrew-supported biomechanics: A proposal for a simplified classification. *Int Orthod*. 2021; 19(4):697–706. doi.org/10.1016/j.ortho.2021.09.008
5. Xu Y., Xie J. Comparison of the effects of mini-implant and traditional anchorage on patients with maxillary dentoalveolar protrusion. *The Angle Orthodontist*. 2017. 87(2): 320–327. doi.org/10.2319/051016-375.1
6. Papadopoulos M. A., Papageorgiou S. N., Zogakis I. P. Clinical effectiveness of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *Journal of dental research*. 2011; 90(8): 969–976. DOI: 10.1177/0022034511409236
7. Papageorgiou S, Zogakis I, Papadopoulos M. Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2012; 142(5):577–595. doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.05.016
8. Singh A, Kannan S, Arora N, Bajaj Y, Revankar A. Measurement of primary stability of mini implants using resonance frequency analysis. *APOS Trends Orthod*. 2018; 8(3):139. doi: 10.4103/apos.apos_20_18
9. Lim H, Lee S, Jeong Y et al. Clinical Validation of Dental Implant Stability by Newly Designed Damping Capacity Assessment Device during the Healing Period. *Medicina (B Aires)*. 2022; 58(11):1570. doi.org/10.3390/medicina58111570
10. J Jin J, Kim G, Kwon J, Choi S. Effects of intrabony length and cortical bone density on the primary stability of orthodontic miniscrews. *Materials (Basel)*. 2020; 13(24):5615. doi.org/10.3390/ma13245615
11. Hong S, Kusnoto B, Kim E, BeGole E, Hwang H, Lim H. Prognostic factors associated with the success rates of posterior orthodontic miniscrew implants: A subgroup meta-analysis. *korean J Orthod*. 2016; 46(2):111–26. doi: 10.4041/kjod.2016.46.2.111
12. Melsen B. Mini-implants: where are we?. *J Clin Orthod*. 2005; 39(9):539.

ТЕОРІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТ

13. Uemura M., Motoyoshi M., Yano S., Sakaguchi M., Igarashi Y., Shimizu N. Orthodontic mini-implant stability and the ratio of pilot hole implant diameter. *The European Journal of Orthodontics*. 2012; 34(1): 52–56. doi.org/10.1093/ejo/cjq157
14. Wiechmann D, Meyer U, Büchter A. Success rate of mini-and micro-implants used for orthodontic anchorage: a prospective clinical study. *Clin Oral Implants Res*. 2007; 18(2):263–7. doi.org/10.1111/j.1600-0501.2006.01325.x
15. Konishi T. Principal component analysis for designed experiments. *BMC bioinformatics*. 2015; 16: 1–9. doi:10.1186/1471-2105-16-S18-S7
16. Solomonyuk M. Orthodontic treatment using microscrews implants/ Mikhail Solomonyuk – Vilnius, Martynas Mazvydas National Library of Lithuanian, 2023. – 168 p.
17. Carlson Ch, Sung J, McComb RW et al. Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016;149(5): 716-728. doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.04.043
18. Sbricoli L., Ricci S., Cattozzo A., Favero R., Bressan E., Sivoletta S. Mandibular molar uprighting using skeletal anchorage: a novel approach. *Journal of Clinical Medicine*. 2022; 11(13): 3565. doi.org/10.3390/jcm11133565

Надійшла до редакції 07.07.2024.

Прийнята до друку 30.08.2024.

Електронна адреса для листування mail@pdtu.edu.ua