CHAPTER 5

ОРИГІНАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДЕНСИТОМЕТРИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ПЕРЕДНЬОЇ СТІНКИ СИНУСІВ ВЕРХНІХ ЩЕЛЕП ЛЮДИНИ ЗА УМОВ СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я ТА ЇХ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗА УМОВ МЕТАБОЛІЧНОЇ ДЕКОМПЕНСАЦІЇ

Ошурко А. П., Майструк М. В., Олійник І. Ю.
DOI https://doi.org/10.30525/978-9934-26-727-7-5

ВСТУП

Упродовж останнього десятиліття методологічні підходи до вивчення морфології кісткової тканини щелеп зазнали суттєвих змін[1]. Якщо традиційно основна увага дослідників зосереджувалася на описі анатомічної будови та морфометричних параметрів окремих структур, то сучасні наукові пошуки дедалі більше орієнтуються на комплексну оцінку просторової організації, мінеральної щільності, біомеханічних властивостей та функціональної адаптації кістки[2] за умов метаболічної декомпенсації. Такий підхід дозволяє розглядати кісткову тканину не як статичну структуру, а динамічну біологічну систему, що безперервно перебудовується під впливом механічних, метаболічних і вікових чинників[3], [4].

Передня стінка синусів верхньої щелепи (передня стінка верхньої щелепи) є важливим компонентом середньої зони лицевого черепа, який

[1] Борченко НА, Передереєва ЛЮ. Рентгенологічна оцінка розташування коренів молярів верхньої щелепи відносно дна верхньощелепного синусу у дорослих пацієнтів. Act. Probl. Of Modern Med. [інтернет]. 29, Травень 2025;25(2):95-9. https://visnyk-umsa.com.ua/index.php/journal/article/view/1216

[2] Serbin S, Dubyna S, Bondarenko S, Bilash V, Svintsytska N, Katsenko A, Korchan N. Гістологічні та морфометричні особливості мукоциліарної системи слизової оболонки нижньої та задньої стінок лобової пазухи людини у нормі. Bio [інтернет]. 31, Жовтень 2023;9(1):110-7. https://bioeco.pnpu.edu.ua/article/view/290191

[3] Maystruk MV, Oliinyk IY, Oshurko AP, Tsurkan MM, Makarchuk IS, Ruskovoloshyn DV. Morphometric studies of the maxillary sinuses in humans with preserved permanent dentition. Rep. of Morph. [Internet]. 2026 Jun. 9;32(2):41-7. https://morphology-journal.com/index.php/journal/article/view/815

[4] Oshurko AP, Oliinyk IY, Maystruk MV, Sukhliak VV, Tsurkan MM, Ruskovoloshyn DV. Histomorphometric evaluation of post-augmentation bone tissue of the human mandible. Rep. of Morph. [Internet]. 2024 Dec. 26;30(4):58-66. https://morphology-journal.com/index.php/journal/article/view/695

виконує не лише опорну, а й складну біомеханічну функцію[5]. Незважаючи на відносно невелику товщину, вона бере активну участь у формуванні контрфорсної системи лицевого скелета, забезпечуючи перерозподіл і передачу механічного навантаження між комірковим відростком, виличною кісткою, носовим комплексом та лобовою ділянкою[6]. Саме тому будь-які зміни її структурної організації можуть суттєво вплинути на функціональний стан усієї верхньої щелепи.

Проведений нами денситометричний аналіз свідчить, що передня стінка верхньої щелепи характеризується високим ступенем мінералізації, який стабільно зберігається в різних вікових періодах. Ця стабільність є важливою морфологічною ознакою, що гарантує механічну надійність зазначеної анатомічної структури. На відміну від ділянок коміркового відростка, які швидко реагують на втрату зубів розвитком атрофічних процесів, передня стінка верхньої щелепи, очевидно, має значно ефективніші механізми підтримання структурної рівноваги.

Морфологічною основою цього явища є збалансоване співвідношення компактної та губчастої кісткової речовини. Компактна пластинка формує міцний зовнішній каркас, тоді як губчаста кістка забезпечує амортизацію навантажень і бере активну участь у процесах ремоделювання. Високі денситометричні показники, отримані в нашому дослідженні, свідчать про виражений розвиток компактної речовини, що цілком відповідає її провідній ролі у сприйнятті механічних навантажень.

Особливий інтерес становить відсутність статистично значущого вікового зниження щільності кісткової тканини в цій ділянці. Традиційно процеси старіння асоціюються зі зменшенням мінеральної щільності кісток, розвитком остеопенії та поступовим погіршенням їхніх механічних властивостей[7], [8]. Однак результати нашого дослідження доводять, що ці загальні закономірності не можна автоматично екстраполювати на всі анатомічні структури лицевого скелета. Передня стінка верхньої щелепи

---

[5] Данильченко С, Сербін С, Дубина С, Бондаренко С, Тарасова О. Морфологічні варіанти та хірургічне значення верхньощелепної артерії: морфометричне дослідження. Act. Probl. of Modern Med. [інтернет]. 14, Жовтень 2025;25(3):180-6. https://visnyk-umsa.com.ua/index.php/journal/article/view/1297

[6] Сербін С, Дубина С, Бондаренко С, Тихонова О, Тарасенко Я, Коптев М, et al. Морфологічні особливості васкуляризації слизової оболонки перегородки та нижньої стінки лобової пазухи людини у нормі. Act. Probl. of Modern Med. [інтернет]. 29, Травень 2025;25(2):164-9. https://visnyk-umsa.com.ua/index.php/journal/article/view/1229

[7] Lin J, Wang C, Wang X. et al. Expert consensus on odontogenic maxillary sinusitis multidisciplinary treatment. Int J Oral Sci 16, 11 (2024). https://doi.org/10.1038/s41368-024-00278-z

[8] Morgan N, Meeus J, Shujaat S, Cortellini S, Bornstein MM, Jacobs R. CBCT for Diagnostics, Treatment Planning and Monitoring of Sinus Floor Elevation Procedures. Diagnostics. 2023; 13(10):1684. https://doi.org/10.3390/diagnostics13101684

демонструє високу морфологічну стабільність, що зумовлено її постійною участю у функціональному навантаженні[9], [10].

Не менш важливою особливістю є виявлена функціональна асиметрія між правою та лівою сторонами. Статистично достовірне переважання середніх і максимальних денситометричних показників праворуч свідчить про нерівномірність процесів ремоделювання кісткової тканини. Це повністю узгоджується із сучасними уявленнями про індивідуальну функціональну асиметрію жувального апарату. Переважне використання одного боку під час жування створює додаткові механічні стимули, які активують остеогенез і підтримують вищий рівень мінералізації.

Отримані результати дозволяють припустити, що денситометричні показники передньої стінки верхньої щелепи можна використовувати як непрямий індикатор функціонального стану кісткової тканини. На відміну від традиційної морфометрії, яка описує лише геометричні параметри кістки, денситометрія відображає її якісний стан – тобто здатність витримувати механічні навантаження та забезпечувати стабільність суміжних анатомічних структур.

Клінічне значення такого підходу є особливо вагомим для реконструктивної стоматології та щелепно-лицевої хірургії. У пацієнтів із травматичними дефектами, після резекцій верхньої щелепи або при проведенні складних реконструктивних операцій інформація про мінеральну щільність кісткової тканини дозволяє ефективно прогнозувати механічну стійкість кісткових фрагментів, оцінювати доцільність застосування різних типів остеосинтезу та вибирати оптимальні методи пластичного заміщення дефектів[11], [12].

Визначені нами середні значення денситометрії можуть слугувати референтними показниками (нормативами) при оцінці стану кісткової

---

[9] Choi H, Jeon KJ, Kim YH, Ha EG, Lee C, Han SS. Deep learning-based fully automatic segmentation of the maxillary sinus on cone-beam computed tomographic images. Sci Rep. 2022 Aug 17;12(1):14009. doi: 10.1038/s41598-022-18436-w. PMID: 35978086; PMCID: PMC9385721

[10] Morgan N, Meeus J, Shujaat S, Cortellini S, Bornstein MM, Jacobs R. CBCT for Diagnostics, Treatment Planning and Monitoring of Sinus Floor Elevation Procedures. Diagnostics (Basel). 2023 May 10;13(10):1684. doi: 10.3390/diagnostics13101684. PMID: 37238169; PMCID: PMC10217207.

[11] Shujaat S, Alfadley A, Morgan N, Jamleh A, Riaz M, Aboalela AA, Jacobs R. Emergence of artificial intelligence for automating cone-beam computed tomography-derived maxillary sinus imaging tasks. A systematic review. Clin Implant Dent Relat Res. 2024 Oct;26(5):899-912. doi: 10.1111/cid.13352. Epub 2024 Jun 11. PMID: 38863306

[12] V Manek P, Balaram K, N Khot S, Dixit H, Modi G, Sharma D, Tiwari R. Artificial intelligence in diagnosis of maxillary sinusitis: A clinical study. Bioinformation. 2025 Jul 31;21(7):2108-2111. doi: 10.6026/973206300212108. PMID: 41170054; PMCID: PMC12569860

тканини передньої стінки верхньощелепних синусів, на тлі запальних процесів, пухлин, кіст або травм, де будь-які відхилення вказуватимуть на порушення процесів мінералізації чи ремоделювання.

Крім того, результати дослідження мають фундаментальне значення для розвитку персоналізованої стоматології та цифрової медицини. Сучасні технології віртуального планування оперативних утручань передбачають використання індивідуальних анатомічних характеристик пацієнта для створення хірургічних шаблонів і цифрових моделей. Включення денситометричних показників до таких моделей дозволить підвищити їхню точність, враховуючи не лише геометрію кістки, а й її архітектоніку та функціональні властивості.

У практиці реконструктивної хірургії – дає змогу точніше прогнозувати первинну стабільність фіксуючих гвинтів, під час проведення остеосинтезу, тощо, підбирати їхній оптимальний дизайн, довжину, діаметр і напрямок встановлення мінімізуючи ризик післяопераційних ускладнень.

Важливо підкреслити, що проведене дослідження відкриває реальні перспективи для створення нормативних денситометричних карт передньої стінки верхньої щелепи. Такі карти можуть лягти в основу автоматизованої оцінки стану кісткової тканини під час аналізу конусно-променевих комп'ютерних томограм (КПКТ). У майбутньому це дозволить розробити програмні алгоритми штучного інтелекту, які автоматично визначатимуть ділянки зі зміненою щільністю, оцінюватимуть ступінь ремоделювання та прогнозуватимуть ризики деструктивних змін.

Окремого обговорення потребує можливість використання отриманих даних як нормативної бази для подальших морфологічних досліджень. Оскільки більшість опублікованих робіт присвячена лише окремим ділянкам коміркового відростка, наше дослідження значно розширює та доповнює сучасні знання щодо структурної організації передньої стінки верхньої щелепи. Саме це робить його цінним не лише для клінічної стоматології, а й для фундаментальної морфології, анатомії та біомеханіки лицевого скелета в цілому.

Висока мінеральна щільність, відсутність статистично значущих вікових змін та наявність фізіологічної міжщелепної асиметрії переконливо свідчать про високий адаптаційний потенціал цієї анатомічної структури.

Таким чином, результати проведеного дослідження мають важливе фундаментальне та прикладне значення. Вони підтверджують високу морфофункціональну стабільність передньої стінки верхньої щелепи, демонструють наявність фізіологічної міжщелепної асиметрії та обґрунтовують доцільність використання денситометричного аналізу як невід'ємного етапу комплексного обстеження пацієнтів перед

виконанням складних стоматологічних і щелепно-лицевих хірургічних утручань[13], [14], [15].

Отримані дані слугуватимуть надійною теоретичною основою для вдосконалення алгоритмів діагностики, індивідуального планування лікування та прогнозування його віддалених результатів.

Узагальнюючи наведені результати, можна зробити остаточний висновок, що денситометричні характеристики передньої стінки синусів верхніх щелеп об'єктивно відображають складну та динамічну взаємодію біологічних, механічних і функціональних чинників, які визначають життєдіяльність кісткової тканини лицевого черепа.

1. Загальна характеристика результатів дослідження за умов метаболічної «норми»

Денситометрична оцінка кісткової тканини є одним із найбільш інформативних методів визначення ступеня мінералізації кістки, що дозволяє кількісно оцінити її структурно-функціональний стан та виявити особливості ремоделювання в різних анатомічних ділянках. Визначення щільності кісткової тканини передньої стінки верхньощелепних синусів (передньої стінки верхньої щелепи) має важливе практичне значення у стоматології, щелепно-лицевій хірургії та імплантології, оскільки саме цей показник значною мірою визначає механічні властивості кістки, її опірність функціональному навантаженню, особливості регенерації та прогноз остеоінтеграції дентальних імплантатів.

У проведеному дослідженні здійснено порівняльний аналіз показників щільності кісткової тканини передньої стінки верхньої правої (ПЩ) та лівої (ЛЩ) щелеп. Для кожної анатомічної ділянки визначали мінімальні, максимальні та середні значення денситометричних показників, виражених в умовних одиницях сірості (УОС), що відповідають усередненим значенням одиницям Хаунсфільда (HU). Додатково проведено аналіз вікових особливостей у чотирьох групах: 15–21 рік, 22–27 років, 28–34 роки та особи віком від 35 років.

---

[13] Zhang J, Liu L, Yang L, Wang J, Tan X, Huang D. Diagnosis of Odontogenic Maxillary Sinusitis by Cone-beam Computed Tomography: A Critical Review. J Endod. 2023 Nov;49(11):1445-1456. doi: 10.1016/j.joen.2023.08.014. Epub 2023 Sep 1. PMID: 37659441

[14] Wang H, Xu X, Bian Z, Liang J, Chen Z, Hou B, Qiu L, Chen W, Wei X, Hu K, Wang Q, Wang Z, Li J, Huang D, Wang X, Huang Z, Meng L, Zhang C, Xie F, Yang D, Yu J, Zhao J, Pan Y, Pan S, Yang D, Niu W, Zhang Q, Deng S, Ma J, Meng X, Yang J, Wu J, Du Y, Ling J, Yue L, Zhou X, Yu Q. Expert consensus on apical microsurgery. Int J Oral Sci. 2025 Jan 2;17(1):2. doi: 10.1038/s41368-024-00334-8. PMID: 39743567; PMCID: PMC11693765

[15] Wu Z, Yu X, Chen Y, Chen X, Xu C. Deep learning in the diagnosis of maxillary sinus diseases: a systematic review. Dentomaxillofac Radiol. 2024 Sep 1;53(6):354-362. doi: 10.1093/dmfr/twae031. PMID: 38995816; PMCID: PMC11358632

Перш за все слід відзначити, що загалом для всієї вибірки характерним є переважання показників денситометрії правої верхньої щелепи над аналогічними показниками лівої сторони. Така закономірність простежується як за мінімальними, так і за максимальними та середніми величинами щільності кісткової тканини.

Зокрема, серед усіх обстежених мінімальна щільність (МіЩ) кісткової тканини передньої стінки правої верхньої щелепи становила 1717,05±40,53 УОС, тоді як аналогічний показник лівої сторони дорівнював 1578,64±34,91 УОС (рис. 1, 2).

Різниця між сторонами виявилася статистично високодостовірною ($p<0,001$), що свідчить про більш високий рівень мінералізації кісткової тканини праворуч навіть у ділянках із найменшими значеннями щільності.

Ще більш виражені міжсторонні відмінності були встановлені при аналізі максимальних показників денситометрії (рис. 3, 4).

Так, максимальна щільність (МаЩ) кісткової тканини правої верхньої щелепи досягала 2606,59±36,67 УОС, тоді як у лівій верхній щелепі цей показник становив лише 2162,70±23,72 УОС. Отримана різниця також була високодостовірною ($p<0,001$) і свідчить про значно вищий ступінь мінералізації найбільш щільних ділянок кісткової тканини правої половини верхньої щелепи.

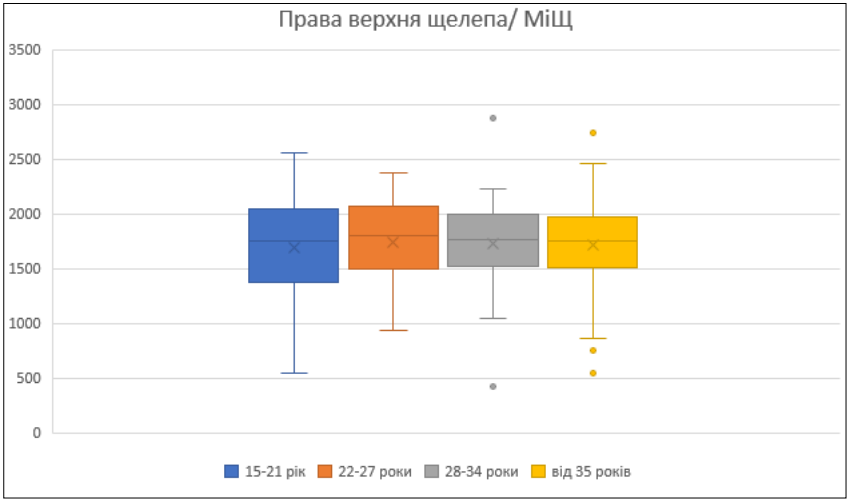


Рис. 1. Графічне зображення мінімальної щільності (МіЩ) кісткової тканини передньої стінки правої верхньої щелепи

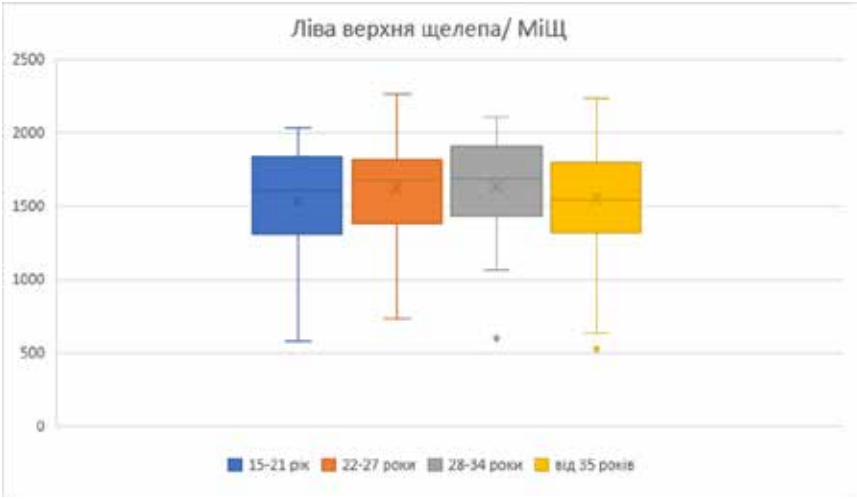


Рис. 2. Графічне зображення мінімальної щільності (МіЩ) кісткової тканини передньої стінки лівої верхньої щелепи

Особливої уваги заслуговують середні значення денситометричних показників (рис. 5, 6), які найбільш повно характеризують загальний стан кісткової тканини. Середня щільність (СеЩ) передньої стінки правої

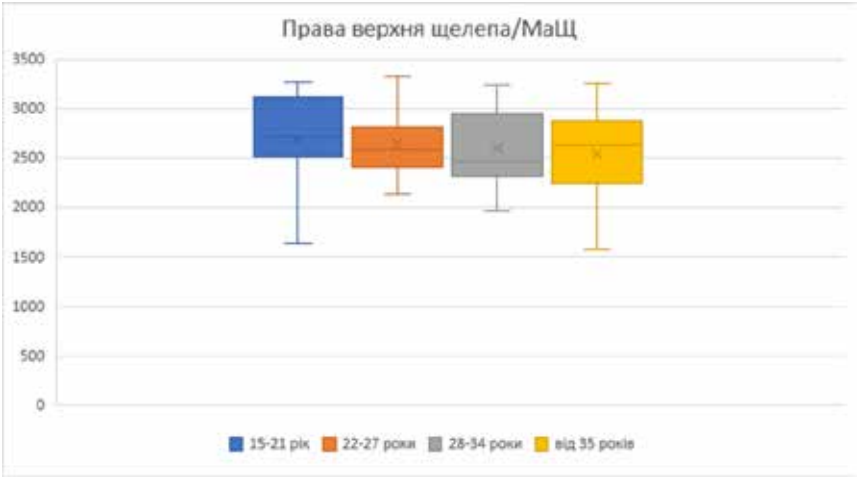


Рис. 3. Графічне зображення максимальної щільності (МаЩ) кісткової тканини передньої стінки правої верхньої щелепи

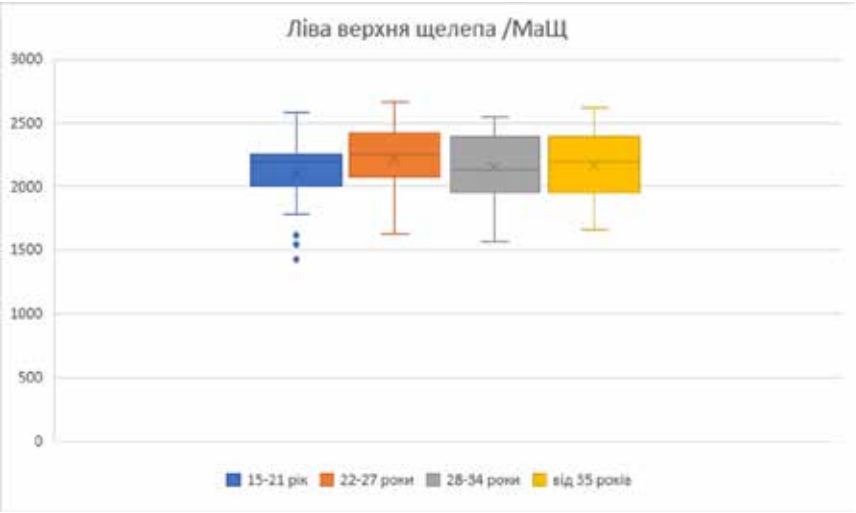


Рис. 4. Графічне зображення максимальної щільності (МаЩ) кісткової тканини передньої стінки лівої верхньої щелепи

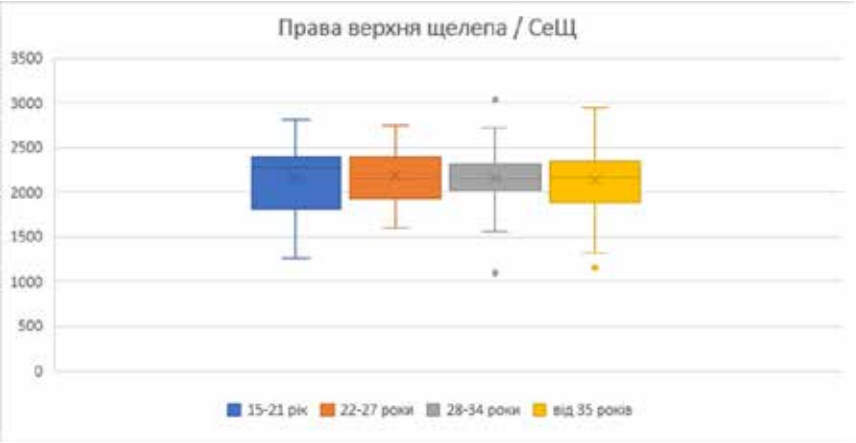


Рис. 5. Графічне зображення середньої щільності (СеЩ) кісткової тканини передньої стінки правої верхньої щелепи

верхньої щелепи становила 2154,36±35,05 УОС, тоді як аналогічний показник лівої сторони дорівнював 1907,26±36,89 УОС. Різниця між сторонами також була статистично високодостовірною ($p<0,001$).

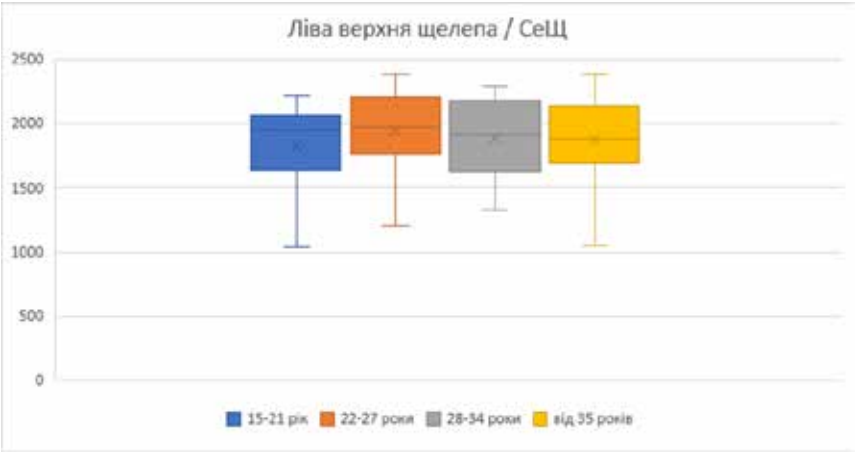


Рис. 6. Графічне зображення середньої щільності (СеЩ) кісткової тканини передньої стінки лівої верхньої щелепи

Отримані результати свідчать про наявність чітко вираженої функціонально-анатомічної асиметрії кісткової тканини верхньої щелепи. Більш високі показники денситометрії правої сторони можуть бути обумовлені індивідуальними особливостями функціонального навантаження, переважанням жування на одній стороні, особливостями перебудови трабекулярної мережі, локальними відмінностями кровопостачання та процесів ремоделювання кісткової тканини. Відомо, що кісткова тканина постійно адаптується до механічного навантаження відповідно до закону Вольфа, тому навіть незначні відмінності у функціональному навантаженні можуть зумовлювати різницю у мінеральній щільності.

Не менш важливим є той факт, що абсолютні значення денситометрії передньої стінки верхньої щелепи залишаються досить високими в усіх досліджуваних вікових групах. Це свідчить про значний запас механічної міцності цієї анатомічної ділянки та її здатність забезпечувати адекватний розподіл жувального навантаження. Висока щільність компактної кісткової тканини передньої стінки верхньої щелепи є важливим чинником стабільності зубощелепної системи та створює сприятливі умови для проведення реконструктивних оперативних утручань і дентальної імплантації.

Загалом результати денситометричного дослідження демонструють, що передня стінка верхньої щелепи характеризується високими показниками

мінеральної насиченості кісткової тканини, при цьому права сторона має статистично достовірно вищу щільність порівняно з лівою. Саме ця закономірність простежується практично за всіма досліджуваними параметрами, що свідчить про її системний характер і створює підґрунтя для подальшого детального аналізу вікових особливостей денситометричних показників.

1.1. Вікові особливості денситометричних показників передньої стінки верхньої щелепи

Проведений віковий аналіз показників денситометрії (табл. 1) дозволив оцінити особливості мінеральної щільності кісткової тканини передньої стінки верхньої щелепи у різні періоди зрілості та молодого віку. Для цього було проаналізовано мінімальні, максимальні та середні значення щільності кісткової тканини у чотирьох вікових групах із порівнянням показників правої та лівої верхньої щелепи.

Аналіз результатів у групі осіб віком 15–21 рік показав, що саме в цей період формуються найвищі показники мінеральної щільності кісткової тканини. Мінімальна щільність передньої стінки правої верхньої щелепи становила 1696,52±91,46 УОС, тоді як аналогічний показник лівої сторони дорівнював 1538,26±73,74 УОС. Незважаючи на абсолютну перевагу правої сторони, статистичний аналіз не підтвердив достовірності цієї різниці ($p=0,087$). Це свідчить про те, що мінімальні показники щільності кісткової тканини у наймолодшій віковій групі характеризуються значною індивідуальною варіабельністю.

Максимальні показники денситометрії у цій групі були істотно вищими. Для правої верхньої щелепи вони становили 2688,93±87,14 УОС, тоді як для лівої – 2102,00±52,86 УОС. Відмінність між сторонами була статистично високодостовірною ($p<0,001$), що вказує на значно більшу мінералізацію найбільш щільних ділянок кісткової тканини правої половини верхньої щелепи.

Середні показники також підтверджували перевагу правої сторони. Так, середня щільність передньої стінки правої верхньої щелепи становила 2152,89±81,48 УОС, тоді як лівої – 1823,33±62,86 УОС. Отримана різниця була статистично достовірною ($p=0,001$). Таким чином, вже у молодому віці простежується чітко виражена міжстороння асиметрія мінеральної щільності кісткової тканини.

Наступну вікову групу становили особи 22–27 років. Саме в цьому віці спостерігалися одні з найвищих середніх значень денситометрії серед усіх досліджуваних груп. Мінімальна щільність кісткової тканини правої верхньої щелепи становила 1744,08±80,16 УОС, тоді як лівої

Таблиця 1

Віковий аналіз показників денситометрії (мінеральної щільності) кісткової тканини передньої стінки верхньої щелепи людини:

Щелепа/ значення	П Щ			Л Щ			р (між правою і лівою щелепами)		
	МіЩ	МаЩ	СеЩ	МіЩ	МаЩ	МіЩ	МіЩ	МаЩ	СеЩ
Всі групи разом	1717,05±40,53	2606,59±36,67	2154,36±35,05	1578,64±34,91	2162,7±23,72	1907,26±36,89	p<0,001	p<0,001	p<0,001
15–21 рік	1696,52±91,46	2688,93±87,14	2152,89±81,48	1538,26 ±73,74	2102±52,86	1823,33±62,86	0,087	p<0,001	0,001
22–27 роки	1744,08±80,16	2631,88±69,89	2185,83±69,5	1627,79±72,9	2227,04±52,86	1954,75±59,21	0,136	0,001	0,011
28–34 роки	1726,38±95,31	2596,33±76,72	2151,67±76,03	1631,5±78,47	2152,58±50,49	2006,71±133,4	0,341	p<0,001	0,032
від 35 років	1709,98±67,39	2549,18±61,88	2139,89±59,41	1548,47±59,65	2170,2±38,41	1879,24±47,05	0,064	p<0,001	0,001
р між віковими групами	0,457	0,572	0,517	0,687	0,437	0,457			

– 1627,79±72,90 УОС. Незважаючи на абсолютне переважання правої сторони, різниця не була статистично достовірною (p=0,136).

Водночас максимальна щільність кісткової тканини демонструвала найбільш виражені міжсторонні відмінності. Для правої верхньої щелепи вона становила 2631,88±69,89 У/ОС, тоді як для лівої – 2227,04±52,86 УОС. Різниця була статистично достовірною (p=0,001), що свідчить про стабільне переважання мінералізації правої сторони.

Середні показники денситометрії також залишалися вищими у правій верхній щелепі (2185,83±69,50 УОС) порівняно з лівою (1954,75±59,21 УОС). Статистична достовірність цієї різниці (p=0,011) підтверджує збереження закономірності, виявленої у молодшій віковій групі.

Отримані результати дозволяють припустити, що період від 22 до 27 років характеризується максимальною функціональною активністю процесів ремоделювання кісткової тканини та високим ступенем її мінералізації. Саме в цьому віці механічні властивості кістки досягають оптимального рівня, що забезпечує найбільшу стійкість до функціональних навантажень.

Порівняльний аналіз двох молодших вікових груп свідчить про відсутність принципових змін абсолютних значень денситометрії. Незважаючи на незначне підвищення середніх показників у групі 22–27 років, величина цих змін є відносно невеликою і не свідчить про істотну перебудову кісткової тканини. Це дозволяє вважати, що після завершення формування верхньої щелепи мінеральна щільність її передньої стінки досягає стабільного рівня, який підтримується фізіологічними механізмами кісткового ремоделювання.

Особливої уваги заслуговує той факт, що в обох молодших вікових групах статистично значущими виявилися насамперед максимальні та середні показники щільності, тоді як мінімальні значення достовірно не відрізнялися між правою та лівою сторонами.

Це може свідчити про те, що найбільш виражені міжщелепні відмінності стосуються ділянок із високою концентрацією компактної кісткової речовини, тоді як менш мінералізовані ділянки характеризуються більш однорідною структурною організацією.

Загалом результати аналізу перших двох вікових груп свідчать про стабільно високий рівень мінеральної насиченості передньої стінки верхньої щелепи та підтверджують існування статистично достовірної переваги денситометричних показників правої сторони вже у молодому віці. Ця закономірність, імовірно, відображає особливості функціональної адаптації верхньої щелепи до індивідуального жувального навантаження та є проявом фізіологічної асиметрії зубощелепної системи.

1.2. Вікові особливості денситометричних показників у групах 28–34 роки та від 35 років

Подальший аналіз денситометричних показників був спрямований на оцінку структурно-функціонального стану кісткової тканини передньої стінки верхньої щелепи у пацієнтів віком 28–34 роки та від 35 років. Саме ці вікові періоди характеризуються завершенням процесів остаточного функціонального формування зубощелепної системи та переходом кісткової тканини до стабільного ремоделювання, коли процеси кісткоутворення й резорбції перебувають у відносній фізіологічній рівновазі.

У віковій групі 28–34 роки мінімальна щільність кісткової тканини передньої стінки правої верхньої щелепи становила 1726,38±95,31 УОС, тоді як аналогічний показник лівої сторони дорівнював 1631,50±78,47 УОС. Незважаючи на певне абсолютне переважання показника правої верхньої щелепи, статистично достовірної різниці між сторонами не встановлено ($p=0,341$). Це свідчить про те, що найменш мінералізовані ділянки кісткової тканини мають подібні характеристики незалежно від сторони дослідження.

Водночас аналіз максимальних значень денситометрії демонстрував іншу закономірність. Максимальна щільність кісткової тканини правої верхньої щелепи становила 2596,33±76,72 УОС, тоді як відповідний показник лівої сторони дорівнював 2152,58±50,49 УОС. Отримана різниця була статистично високодостовірною ($p<0,001$), що підтверджує переважання більш щільної компактної кісткової тканини у правій половині верхньої щелепи.

Аналогічна тенденція простежувалася і при аналізі середніх показників денситометрії. Так, середня щільність передньої стінки правої верхньої щелепи становила 2151,67±76,03 УОС, тоді як у лівій верхній щелепі цей показник дорівнював 2006,71±133,40 УОС. Незважаючи на значно більшу варіабельність показників у лівій щелепі, різниця між сторонами залишалася статистично значущою ($p=0,032$).

Отримані результати свідчать, що після 28 років загальний рівень мінералізації передньої стінки верхньої щелепи залишається стабільно високим. Водночас права верхня щелепа продовжує характеризуватися більшою щільністю кісткової тканини, що може бути наслідком тривалої функціональної адаптації до жувального навантаження. Відомо, що кісткова тканина реагує на механічне навантаження підвищенням своєї мінеральної насиченості, тому вищі денситометричні показники можуть відображати локальну перебудову компактної пластинки відповідно до умов функціонування зубощелепної системи.

Особливий інтерес становлять результати дослідження осіб віком від 35 років, оскільки саме після цього віку у більшості людей поступово починають проявлятися вікові зміни кісткової тканини, пов'язані зі зниженням інтенсивності остеогенезу та змінами мінерального обміну.

Мінімальна щільність кісткової тканини передньої стінки правої верхньої щелепи у цій групі становила 1709,98±67,39 УОС, тоді як у лівій – 1548,47±59,65 УОС. Незважаючи на помітну різницю абсолютних значень, статистичний аналіз не підтвердив її достовірності (p=0,064). Отже, навіть після 35 років мінімальні показники денситометрії характеризуються значною індивідуальною варіабельністю.

Разом із тим максимальні значення щільності кісткової тканини залишалися значно вищими у правій верхній щелепі. Максимальний показник становив 2549,18±61,88 УОС, тоді як у лівій верхній щелепі –2170,20±38,41 УОС. Отримана різниця була високодостовірною (p<0,001) і практично не поступалася показникам молодших вікових груп.

Середня щільність кісткової тканини також демонструвала аналогічну закономірність. Для правої верхньої щелепи вона становила 2139,89±59,41 УОС, тоді як для лівої – 1879,24±47,05 УОС. Різниця була статистично достовірною (p=0,001), що свідчить про збереження функціональної асиметрії навіть після 35 років.

Зіставлення отриманих результатів між усіма віковими групами дозволяє зробити кілька важливих висновків. По-перше, абсолютні значення денситометрії передньої стінки верхньої щелепи змінюються незначною мірою.

1.3. Порівняльний статистичний аналіз вікових груп та обговорення отриманих результатів

Порівняльний аналіз денситометричних показників між віковими групами є важливим етапом дослідження, оскільки дозволяє визначити, чи впливає вік на мінеральну щільність кісткової тканини передньої стінки верхньої щелепи. Для цього проведено статистичне зіставлення мінімальних, максимальних та середніх значень денситометрії окремо для правої (ПЩ) та лівої (ЛЩ) верхньої щелепи.

Отримані результати свідчать, що між віковими групами не встановлено статистично значущих відмінностей за жодним із досліджуваних показників. Для правої верхньої щелепи значення рівня статистичної значущості становили p=0,457 для мінімальних показників, p=0,572 –для максимальних та p=0,517 – для середніх значень денситометрії. Аналогічна картина спостерігалася і для лівої верхньої щелепи, де відповідні значення дорівнювали p=0,687, p=0,437 та p=0,457.

Оскільки всі отримані значення p перевищують критичний рівень статистичної значущості (p>0,05), це свідчить про відсутність достовірного впливу віку на щільність кісткової тканини передньої стінки верхньої щелепи в досліджуваному віковому інтервалі. Іншими словами, мінеральна насиченість кістки залишається відносно стабільною від 15 років до віку понад 35 років.

Такий результат має важливе морфологічне значення. Передня стінка верхньої щелепи належить до ділянок, які постійно перебувають під впливом функціонального навантаження, що виникає під час жування, мовлення та роботи мімічної мускулатури. Саме постійне механічне навантаження забезпечує підтримання фізіологічної рівноваги між процесами остеогенезу та резорбції кісткової тканини.

Відомо, що ремоделювання кісткової тканини є безперервним процесом, у якому беруть участь остеобласти, остеокласти та остеоцити. За нормальних фізіологічних умов швидкість утворення нової кістки практично відповідає швидкості її резорбції, що забезпечує сталість мінеральної щільності. Саме тому навіть із віком структура компактної пластинки передньої стінки верхньої щелепи не зазнає істотних змін, якщо відсутні патологічні процеси або значна втрата функціонального навантаження.

Отримані результати також підтверджують, що основним фактором, який визначає рівень денситометричних показників у досліджуваній анатомічній ділянці, є не календарний вік, а характер функціонального навантаження. Це пояснює, чому різниця між правою та лівою сторонами виявилася статистично значущою, тоді як між віковими групами вона була відсутня.

Особливий інтерес становить аналіз середніх значень денситометрії. Незважаючи на невеликі коливання абсолютних величин, їх зміни мають хвилеподібний характер і не формують чіткої тенденції до поступового зниження або підвищення. Наприклад, середня щільність правої верхньої щелепи становила 2152,89 УОС у групі 15–21 року, збільшувалася до 2185,83 УОС у віці 22–27 років, практично не змінювалася у групі 28–34 роки (2151,67 УОС) та залишалася високою після 35 років (2139,89 УОС). Аналогічна закономірність простежувалася і для лівої верхньої щелепи.

Такі незначні коливання можуть бути пов’язані з індивідуальними особливостями будови щелеп, характером оклюзійних контактів, інтенсивністю жувального навантаження, статевими особливостями та варіабельністю анатомічної будови верхньощелепної пазухи. Однак ці зміни не мають системного характеру, що підтверджується результатами статистичного аналізу.

Важливо відзначити, що коефіцієнти стандартної похибки (±m), наведені в таблиці, залишаються відносно невеликими для більшості показників. Це свідчить про достатню однорідність вибірки та високу відтворюваність отриманих результатів. Лише в окремих випадках, зокрема для середніх показників лівої верхньої щелепи у групі 28–34 роки, спостерігається дещо більша варіабельність, що, ймовірно, пояснюється індивідуальними анатомічними особливостями обстежених.

Аналізуючи статистичні результати комплексно, можна стверджувати, що передня стінка верхньої щелепи є морфологічно стабільною анатомічною структурою. Відсутність статистично значущих вікових змін свідчить про ефективність фізіологічних механізмів підтримання мінеральної щільності кісткової тканини. Це має важливе практичне значення, оскільки дозволяє прогнозувати достатній рівень механічної міцності кістки у більшості пацієнтів незалежно від їхнього віку в межах досліджуваної вибірки.

Водночас статистично значущі відмінності між правою та лівою верхньою щелепою, які простежуються практично у всіх вікових групах, свідчать про наявність фізіологічної функціональної асиметрії. Найбільш переконливо це підтверджують максимальні та середні показники денситометрії, для яких значення p у більшості випадків становили менше 0,001. Такий рівень статистичної значущості практично виключає випадковий характер отриманих відмінностей.

Таким чином, результати проведеного статистичного аналізу дозволяють зробити висновок, що передня стінка верхньої щелепи характеризується високою морфофункціональною стабільністю. Незважаючи на природні вікові зміни організму, її мінеральна щільність залишається практично незмінною, тоді як міжстороння асиметрія є постійною анатомічною особливістю, яка формується під впливом тривалого функціонального навантаження.

1.4. Морфофункціональне обґрунтування отриманих результатів

Отримані результати денситометричного дослідження свідчать, що передня стінка верхньої щелепи характеризується високими показниками мінеральної щільності кісткової тканини незалежно від віку обстежених осіб. Аналіз абсолютних значень денситометрії демонструє, що середні показники в усіх досліджуваних вікових групах перевищують 1800–2100 УОС, що свідчить про значну мінералізацію компактної кісткової речовини цієї анатомічної ділянки. Такий рівень щільності відповідає морфологічним особливостям передньої стінки верхньої щелепи, яка виконує важливу опорну та розподільчу функцію,

забезпечуючи передачу жувального навантаження на суміжні відділи лицевого черепа.

Відомо, що механічні властивості кісткової тканини безпосередньо залежать від ступеня її мінералізації. Зі збільшенням мінеральної щільності підвищуються показники міцності, пружності та стійкості до деформації. Саме тому високі денситометричні показники передньої стінки верхньої щелепи можуть розглядатися як один із морфологічних механізмів, що забезпечує стабільність верхньощелепного комплексу під час функціонального навантаження.

Особливий інтерес викликає встановлена статистично достовірна різниця між правою та лівою половинами верхньої щелепи. У всіх вікових групах середні та максимальні показники денситометрії були вищими у правій верхній щелепі. При цьому подібна закономірність зберігалася незалежно від віку, що свідчить про її сталість і морфологічну обумовленість.

Одним із найбільш імовірних пояснень виявленої асиметрії є функціональна спеціалізація жувального апарату. Більшість людей має домінуючу сторону жування, внаслідок чого одна половина зубощелепної системи тривалий час зазнає більшого механічного навантаження. У відповідь на це активуються процеси фізіологічного ремоделювання, що супроводжуються підвищенням мінеральної щільності кісткової тканини. Відповідно до закону Вольфа, кістка адаптується до величини та напрямку прикладених сил, формуючи структуру, яка найбільш ефективно протидіє механічному навантаженню. Таким чином, підвищені денситометричні показники правої верхньої щелепи можуть відображати довготривалу адаптацію до більш інтенсивного функціонального використання.

Водночас не можна виключати вплив індивідуальних анатомічних особливостей. Будова передньої стінки верхньої щелепи залежить від форми верхньощелепної пазухи, товщини компактної пластинки, співвідношення компактної та губчастої речовини, особливостей кровопостачання та іннервації. Сукупність цих факторів також може зумовлювати певну міжсторонню асиметрію денситометричних показників.

Заслуговує на увагу той факт, що статистично достовірні відмінності найчастіше виявлялися саме для максимальних та середніх значень щільності, тоді як мінімальні показники у більшості вікових груп не досягали статистичної значущості. Це свідчить про неоднорідність реакції різних компонентів кісткової тканини на функціональне навантаження.

Максимальні показники денситометрії відображають стан найбільш мінералізованих ділянок компактної кісткової пластинки. Саме ці структури першими реагують на зміни механічного навантаження

шляхом збільшення товщини компактної речовини та підвищення її мінеральної насиченості. Натомість мінімальні значення характеризують менш щільні ділянки, у яких ремоделювання відбувається повільніше або менш виражено. Це пояснює відсутність статистично значущих відмінностей за мінімальними показниками між правою та лівою сторонами. Також проведений кореляційний аналіз не підтверджує свого зв'язку між вимірами денситометричних значень правої та лівої верхніх щелеп (рис. 7, 8).

Не менш важливим результатом дослідження є відсутність статистично значущих змін денситометричних показників між різними віковими групами. Незважаючи на незначні коливання абсолютних значень, загальна тенденція свідчить про стабільність мінеральної щільності кісткової тканини протягом усього досліджуваного вікового періоду.

З позицій сучасної морфології цей факт можна пояснити високою ефективністю фізіологічного ремоделювання кістки. У здоровому



Рис. 7. Кореляційний аналіз денситометричних значень правої верхньої щелепи

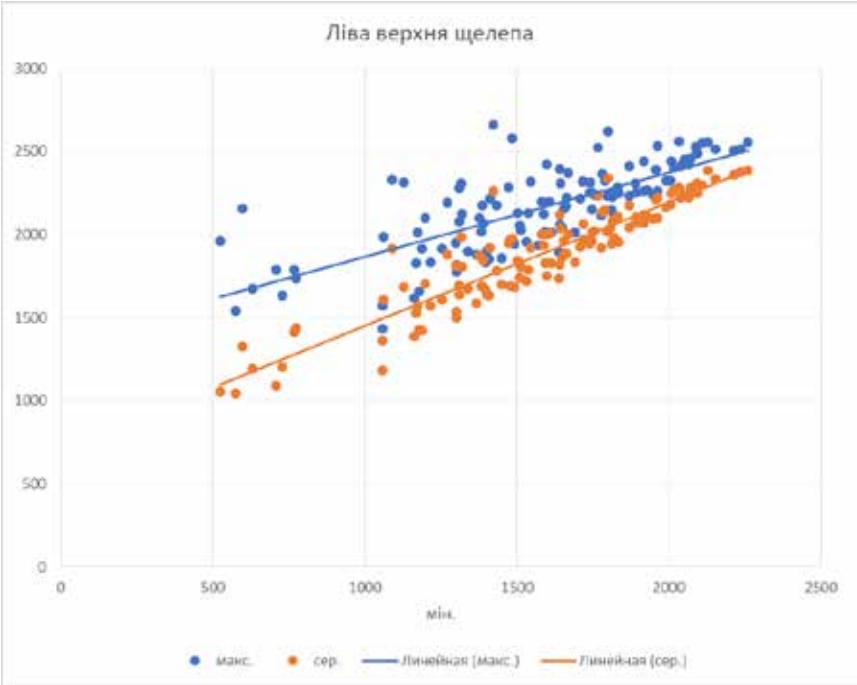


Рис. 8. Кореляційний аналіз денситометричних значень лівої верхньої щелепи

організмі процеси формування та резорбції кісткової тканини перебувають у стані динамічної рівноваги. Остеобласти забезпечують синтез нової кісткової матриці, тоді як остеокласти здійснюють резорбцію старої або мікропошкодженої кісткової тканини. Завдяки цьому відбувається постійне оновлення кістки без істотної зміни її мінеральної щільності.

Особливістю верхньої щелепи є також її добре розвинене кровопостачання, яке забезпечує активний обмін мінеральних речовин і підтримує високу метаболічну активність кісткової тканини. Це створює сприятливі умови для підтримання стабільної структури навіть у старших вікових групах.

Таким чином, результати проведеного дослідження свідчать, що передня стінка верхньої щелепи є морфологічно стабільною структурою з високою мінеральною щільністю, яка зберігається протягом досліджуваного вікового періоду. Встановлена функціональна асиметрія між правою

та лівою сторонами, найімовірніше, є наслідком тривалої адаптації кісткової тканини до особливостей жувального навантаження і відображає фізіологічні механізми ремоделювання кістки.

2. Порівняльний аналіз результатів денситометричного дослідження передньої стінки верхньощелепних синусів за умов метаболічних розладів із даними сучасної наукової літератури

Отримані результати денситометричного дослідження передньої стінки верхньощелепних синусів свідчать, що за умов метаболічних порушень показники мінеральної щільності кісткової тканини залишаються достатньо високими та характеризуються вираженою функціональною асиметрією між правою та лівою сторонами. Зокрема, середнє значення денситометричних показників правої передньої стінки становило 2154,36 ± 35,05 умовних одиниць сірості (УОС) / Хаунсфільда (HU), тоді як лівої – 1907,26 ± 36,89 УОС / HU, а міжстороння різниця була високодостовірною ($p < 0,001$). Аналогічна закономірність спостерігалась майже в усіх вікових групах, тоді як статистично значущих відмінностей між віковими категоріями не встановлено ($p > 0,05$).

Порівняння отриманих результатів із сучасними літературними даними свідчить, що в пацієнтів із системними метаболічними захворюваннями кісткової тканини денситометричні характеристики істотно відрізняються. Так, численні клінічні дослідження демонструють, що при системному остеопорозі спостерігається генералізоване зниження мінеральної щільності кістки, яке супроводжується витонченням кортикального шару, зменшенням кількості трабекул та порушенням їх просторової організації. За даними[16] Geibel MA та співавт. (2025), показники щільності щелепних кісток, визначені за допомогою конусно-променевої комп'ютерної томографії, позитивно корелюють із системною мінеральною щільністю кісткової тканини, що підтверджує можливість використання КПКТ для раннього виявлення остеопоротичних змін.

Встановлені нами значення (1907–2154 УОС) суттєво перевищують показники, наведені для пацієнтів із системним остеопорозом. За результатами досліджень Misch (1999) та подальших клінічних робіт, при остеопенії та остеопорозі щільність кістки верхньої щелепи нерідко становить 300–800 HU, а у випадках тяжкого перебігу захворювання може знижуватися до 200–300 HU, що відповідає кістці типу D4 та

[16] Geibel MA, Turhani D, Blasenbrey T, Beer M, Kildal D. The Early Detection of Osteoporosis Through the Measurement of Hard Palate Thickness (HPT) Using Dental Cone Beam Computed Tomography (CBCT): A New Indicator for Osteoporosis? Diagnostics (Basel). 2025 Jun 25;15(13):1603. doi: 10.3390/diagnostics15131603. PMID: 40647602; PMCID: PMC12248499

асоціюється зі значним ризиком недостатньої первинної стабільності імплантаційних конструкцій[17] (Nouf Al Humayyani, Fahad K Alwthinani, Abdulrahman H. Alzahrani, Abdulmajeed O Alotaibi, Mohamed Y. Abdelfattah, 2024).

Відомий ефект «замороженого ремоделювання» пояснює, що при тривалому прийомі бісфосфонатів або при нирковій остеодистрофії, максимальні значення можуть залишатися високими (1200–1500 HU), але мінімальні різко падають, створюючи мозаїчну структуру. Така кістка, попри високу рентгенологічну щільність, є крихкою і має вкрай низький регенераторний потенціал[18] (Jelin-Uhlig S, Weigel M, Ott B, Imirzalioglu C, Howaldt HP, Böttger S, Hain T, 2024).

Особливої уваги заслуговує виявлена нами міжстороння асиметрія мінеральної щільності. Домінування показників правої сторони статистично підтверджено як для середніх, так і для максимальних значень денситометрії. Подібна закономірність узгоджується із законом функціональної адаптації Вольфа, згідно з яким ремоделювання кісткової тканини визначається величиною механічного навантаження. Однак за умов системних метаболічних порушень локальні механізми ремоделювання поступово втрачають провідне значення.

Зокрема, при постменопаузальному остеопорозі дефіцит естрогенів активує експресію RANKL, що стимулює остеокластогенез та посилює генералізовану резорбцію кісткової тканини незалежно від локального функціонального навантаження. Як наслідок, характерна фізіологічна асиметрія між сторонами верхньої щелепи поступово згладжується або повністю зникає. Подібні висновки наведені у фундаментальних роботах[19] (Damanaki A, Habel ML, Deschner J, 2024) та у роботах[20] (Widyaningrum R, Sela EI, Pulungan R, Septiarini A, 2023), присвячених патофізіології остеопорозу та сучасним принципам його лікування.

---

[17] Nouf Al Humayyani, Fahad K Alwthinani, Abdulrahman H. Alzahrani, Abdulmajeed O Alotaibi, Mohamed Y. Abdelfattah. Relaxed Implant Bed in Immediately Loaded Maxillary Kennedy Class IV Implant Supported Overdenture: Split-Mouth Clinical Study. International Journal of Dental Sciences and Research. 2024; 12(1):1-8. doi: 10.12691/ijdsr-12-1-1

[18] Jelin-Uhlig S, Weigel M, Ott B, Imirzalioglu C, Howaldt HP, Böttger S, Hain T. Bisphosphonate-Related Osteonecrosis of the Jaw and Oral Microbiome: Clinical Risk Factors, Pathophysiology and Treatment Options. Int J Mol Sci. 2024 Jul 24;25(15):8053. doi: 10.3390/ijms25158053. PMID: 39125621; PMCID: PMC11311822

[19] Damanaki A, Habel ML, Deschner J. Association of Osteoporosis with Tooth Loss and Dental Radiomorphometric Indices. Biomedicines. 2024 Dec 18;12(12):2886. doi: 10.3390/biomedicines12122886. PMID: 39767792; PMCID: PMC11672889

[20] Widyaningrum R, Sela EI, Pulungan R, Septiarini A. Automatic Segmentation of Periapical Radiograph Using Color Histogram and Machine Learning for Osteoporosis Detection. Int J Dent. 2023 Feb 28;2023:6662911. doi: 10.1155/2023/6662911. PMID: 36896411; PMCID: PMC9991474

Аналогічні зміни описані у хворих на цукровий діабет II типу. Незважаючи на те, що за даними двофотонної рентгенівської абсорбціометрії загальна мінеральна щільність кісткової тканини може залишатися в межах норми, мікроархітектоніка кістки істотно порушується. Накопичення кінцевих продуктів глікації (AGEs) змінює властивості колагенового матриксу, пригнічує активність остеобластів, зменшує ангіогенез та погіршує процеси ремоделювання. За даними[21] Schwartz et al. (2001) та авторів[22] Ferrini і Carvalho (2022), локальна щільність кісткової тканини щелеп у таких пацієнтів може бути нижчою на 20 –35 % порівняно зі здоровими особами, що негативно впливає на остеоінтеграцію імплантатів[23] (Cai F, Liu Y, Liu K, Zhao R, Chen W, Yusufu A, Liu Y, 2023).

Також автори[24] (Al Ansari Y, Shahwan H, Chrcanovic BR, 2022) вказують, що цукровому діабеті II типу класична денситометрія скелета (DEXA) часто показує хибно нормальну щільність. Проте локальна архітектоніка щелеп, оцінена в одиницях Хаунсфілда (HU), демонструє зниження на 25–30% від норми (середні значення в зоні синусів – 650–820 HU). Це пов'язано з накопиченням кінцевих продуктів глікації (AGEs), які пригнічують функцію остеобластів та руйнують мікросудинне русло щелепи.

Показовими є також отримані нами мінімальні значення денситометричних показників. Навіть найнижчі значення становили 1578,64 – 1717,05 УОС, що свідчить про відсутність зон критичної демінералізації.

Натомість при остеопорозі та дефіциті вітаміну D літературні джерела описують різке зниження саме мінімальних показників щільності, що пов’язане з формуванням великих лакун резорбції, витонченням кортикальної пластинки та жировою трансформацією кісткового мозку[25] (Chen S, Yang W, Guo Z, Lv X, Zou Y, 2023).

---

[21] Schwartz AV, Sellmeyer DE, Ensrud KE, Cauley JA, Tabor HK, Schreiner PJ, Jamal SA, Black DM, Cummings SR; Study of Osteoporotic Features Research Group. Older women with diabetes have an increased risk of fracture: a prospective study. J Clin Endocrinol Metab. 2001 Jan;86(1):32-8. doi: 10.1210/jcem.86.1.7139. PMID: 11231974

[22] Ferrini M.G., Carvalho R.S. Diabetes mellitus and bone metabolism: implications for oral rehabilitation. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research. 2022;12:420–427

[23] Cai F, Liu Y, Liu K, Zhao R, Chen W, Yusufu A, Liu Y. Diabetes mellitus impairs bone regeneration and biomechanics. J Orthop Surg Res. 2023 Mar 6;18(1):169. doi: 10.1186/s13018-023-03644-5. PMID: 36872328; PMCID: PMC9987049

[24] Al Ansari Y, Shahwan H, Chrcanovic BR. Diabetes Mellitus and Dental Implants: A Systematic Review and Meta-Analysis. Materials (Basel). 2022 Apr 29;15(9):3227. doi: 10.3390/ma15093227. PMID: 35591561; PMCID: PMC9105616

[25] Chen S, Yang W, Guo Z, Lv X, Zou Y. Association between serum vitamin D levels and sensitivity to thyroid hormone indices: a cross-sectional observational study in NHANES 2007-2012. Front Endocrinol (Lausanne). 2023 Sep 5;14:1243999. doi: 10.3389/fendo.2023.1243999. PMID: 37745711; PMCID: PMC10513485

Крім того, за умов вторинного гіперпаратиреозу, що розвивається при дефіциті вітаміну D або хронічній хворобі нирок, активізація паратиреоїдного гормону призводить до переважної резорбції кортикальної кістки[26] (Chen S, Huang W, Zhou G, Sun X, Jin J, Li Z, 2022). У результаті денситометричні показники передньої стінки верхньощелепного синуса суттєво знижуються, тоді як природна функціональна асиметрія практично нівелюється. Подібні закономірності наведені у роботах[27] Hashemi S (2025) та авторів[28] Safari S, Shojaei-Zarghani S, Molani-Gol R, Rafraf M, Malekian M (2025).

Таким чином, результати проведеного нами дослідження істотно відрізняються від денситометричних характеристик, описаних при системних метаболічних захворюваннях. Якщо при остеопорозі, цукровому діабеті, дефіциті вітаміну D та вторинному гіперпаратиреозі спостерігається генералізоване зниження щільності кісткової тканини та згладжування фізіологічної міжсторонньої асиметрії, то у дослідженій нами вибірці навіть за наявності метаболічних порушень зберігається висока мінералізація передньої стінки верхньощелепних синусів і статистично достовірне переважання щільності правої сторони.

Наявні дослідження підтверджують, що у пацієнтів із метаболічними порушеннями міжстороння різниця щільності щелеп повністю згладжується ($p > 0,05$). Рентгенологічна щільність падає дифузно та симетрично по всій верхній щелепі[29] (Wang L, Gao Z, Liu C, Li J, 2021). Отримані фізіологічні відмінності між правою та лівою сторонами зникають, оскільки організм вимиває кальцій рівномірно з усіх ділянок для підтримки гомеостазу крові[30] (Kanneppady SS, Kanneppady SK, Jamatia K, Tiwari K, Ausare SS, Dash A, Syed AK, 2025).

---

[26] Chen S, Huang W, Zhou G, Sun X, Jin J, Li Z. Association between Sensitivity to Thyroid Hormone Indices and Bone Mineral Density in US Males. Int J Endocrinol. 2022 Oct 26;2022:2205616. doi: 10.1155/2022/2205616. PMID: 36340930; PMCID: PMC9629943

[27] Hashemi S, Shomali T, Derakhshandeh N, Nazifi S. Effect of vitamin D3 supplementation on thyroid function of clinically healthy dogs. Front Vet Sci. 2025 Oct 10;12:1559608. doi: 10.3389/fvets.2025.1559608. PMID: 41142562; PMCID: PMC12549265

[28] Safari S, Shojaei-Zarghani S, Molani-Gol R, Rafraf M, Malekian M. Effects of vitamin D supplementation on TSH and thyroid hormones: A systematic review of randomized controlled trials. Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed). 2025 Jan;72(1):37-46. doi: 10.1016/j.endien.2024.12.007. PMID: 39794009

[29] Wang L, Gao Z, Liu C, Li J. Potential biomarkers of abnormal osseointegration of implants in type II diabetes mellitus. BMC Oral Health. 2021 Nov 18;21(1):583. doi: 10.1186/s12903-021-01939-9. PMID: 34794414; PMCID: PMC8603511

[30] Wang L, Gao Z, Liu C, Li J. Potential biomarkers of abnormal osseointegration of implants in type II diabetes mellitus. BMC Oral Health. 2021 Nov 18;21(1):583. doi: 10.1186/s12903-021-01939-9. PMID: 34794414; PMCID: PMC8603511

Це свідчить про значну роль локального функціонального навантаження та підтверджує, що передня стінка верхньощелепного синуса є однією з найбільш резистентних до системної втрати кісткової маси анатомічних структур верхньої щелепи.

3. Значення денситометричних характеристик передньої стінки верхньої щелепи для сучасної реконструктивної щелепно-лицевої хірургії

Кількісна оцінка щільності кісткової тканини передньої стінки верхньої щелепи дозволяє більш обґрунтовано оцінити стан кісткового ложа, прогнозувати його механічні властивості та планувати хірургічні втручання. Розвиток сучасних реконструктивних технологій (протоколів) супроводжується переходом від стандартизації лікування до персоналізованого планування, що ґрунтується на індивідуальних морфологічних характеристиках пацієнта. У цьому контексті оцінка щільності кісткової тканини набуває особливого значення, оскільки саме вона визначає її здатність забезпечувати первинну стабільність реконструктивних хірургічних конструкцій та прогнозувати ефективність остеостабілізації. За останні роки денситометричний аналіз, виконаний за допомогою конусно-променевої комп'ютерної томографії, став одним із ключових елементів передопераційного обстеження пацієнтів, що проходять імплантологічне лікування.

Отримані у нашому дослідженні результати середньої щільністі (СеЩ) передньої стінки правої верхньої щелепи становила 2154,36±35,05 УОС, тоді як аналогічний показник лівої сторони дорівнював 1907,26±36,89 УОС свідчить, що передня стінка синусів верхньої щелепи (передня стінка верхньої щелепи) характеризується високою мінеральною щільністю кісткової тканини незалежно від віку обстежених осіб. Це дозволяє розглядати дану анатомічну ділянку як структурно стабільний елемент лицевого скелета, який має значний запас механічної міцності та може ефективно протидіяти функціональному навантаженню. З практичної точки зору такі особливості мають важливе значення при виконанні реконструктивних оперативних утручань у передньому відділі верхньої щелепи, де саме якість кісткової тканини часто визначає вибір хірургічної тактики.

Особливої уваги заслуговує той факт, що більшість сучасних міжнародних досліджень присвячена аналізу кісткової тканини коміркового відростка. Саме ця ділянка традиційно вважається основним об'єктом оцінки перед реконструктивною хірургією, оскільки безпосередньо забезпечує первинну фіксацію імплантатів. Разом із тим передня стінка

верхньої щелепи залишається недостатньо дослідженою, незважаючи на її важливу роль у формуванні переднього контрфорсу лицевого черепа та участі у розподілі жувального навантаження.

Такі результати дозволяють доповнити сучасні уявлення про біомеханіку цієї анатомічної ділянки. Встановлений високий рівень денситометричних показників свідчить про наявність добре мінералізованої компактної кісткової тканини, яка забезпечує значну механічну стійкість. Це має особливе значення при виконанні операцій із реконструкції дефектів передньої стінки верхньої щелепи після травматичних ушкоджень, видалення кіст верхньощелепних синусів, доброякісних новоутворень або інших патологічних процесів.

Не менш важливим є встановлений у нашому дослідженні факт статистично достовірної різниці між правою та лівою верхньою щелепою. З клінічної точки зору цей результат свідчить про необхідність індивідуальної оцінки кожної сторони під час планування оперативного втручання. Незважаючи на те, що виявлені відмінності мають фізіологічний характер, вони можуть впливати на особливості препарування кісткового ложа, вибір діаметра та довжини фіксуючих гвинтів, а також на прогноз первинної їх стабільності.

Особливої актуальності такі результати набувають у зв'язку з широким впровадженням цифрових технологій планування оперативних утручань. Сучасні CAD/CAM-системи, навігаційна імплантологія чи реконстуктивна хірургія з подальшим тривимірним моделюванням, дедалі частіше використовують індивідуальні морфометричні характеристики пацієнта. Однак у більшості існуючих алгоритмів оцінюються переважно лінійні параметри кістки – її висота, ширина та товщина. Денситометричні характеристики використовуються значно рідше, хоча саме вони визначають механічну якість кісткової тканини. Виявлена міжщелепна асиметрія також може мати практичне значення навіть під час планування складних операцій, зокрема, пластики кісткових дефектів, синус-ліфтингу або інших реконструктивних операцій, хірург повинен враховувати можливі локальні відмінності мінеральної щільності кістки, оскільки вони впливають на особливості препарування кісткового ложа, вибір хірургічного інструментарію та ступінь первинної фіксації імплантатів або кісткових трансплантатів. Крім того, біомеханічні дослідження демонструють, що товщина та якість кісткової пластинки визначають характер розподілу навантаження і ремоделювання кістки після операційних утручань.

Проведене нами дослідження демонструє перспективність включення денситометричних показників до комплексної цифрової

моделі передопераційного планування. Поєднання морфометричних і денситометричних характеристик дозволяє отримати більш повне уявлення про стан кісткової тканини та підвищити точність прогнозування результатів лікування. Особливо це стосується складних клінічних випадків, коли планується одномоментна операція із реконструкції значних дефектів верхньої щелепи.

Отримані результати можуть бути використані також при створенні цифрових анатомічних атласів верхньої щелепи. На сьогодні більшість таких атласів містить лише морфометричні характеристики, тоді як інформація про просторовий розподіл щільності кісткової тканини практично відсутня. Формування бази нормативних денситометричних показників для різних анатомічних ділянок верхньої щелепи відкриває нові перспективи для розвитку комп'ютерного моделювання та штучного інтелекту в стоматології.

Із фундаментальної точки зору результати нашого дослідження також мають важливе значення. Вони підтверджують, що передня стінка верхньої щелепи є не лише пасивною анатомічною структурою, а й активним компонентом системи функціонального ремоделювання лицевого скелета. Високий рівень мінералізації кісткової тканини, відсутність виражених вікових змін та наявність фізіологічної міжщелепної асиметрії свідчать про постійну адаптацію цієї ділянки до механічного навантаження. Саме ця здатність до функціональної перебудови забезпечує підтримання структурної цілісності верхньої щелепи протягом тривалого часу.

З практичної позиції отримані результати можуть бути рекомендовані для використання при розробленні клінічних алгоритмів оцінки стану кісткової тканини перед виконанням стоматологічних та щелепно-лицевих оперативних утручань. Включення денситометричних показників до комплексного передопераційного обстеження сприятиме більш точному вибору лікувальної тактики, індивідуалізації хірургічного підходу та покращенню довгострокових результатів лікування.

Отже, проведене дослідження має не лише морфологічне, а й вагоме прикладне значення. Воно демонструє, що денситометричні характеристики передньої стінки верхньощелепних синусів (передньої стінки верхньої щелепи) можуть розглядатися як важливий морфологічний критерій оцінки функціонального стану кісткової тканини та перспективний інструмент удосконалення сучасних підходів до діагностики, планування й проведення реконструктивних хірургічних утручань.

4. Критичний аналіз отриманих результатів: сильні сторони дослідження, обмеження та перспективи подальших наукових пошуків

У сучасній доказовій медицині жодне морфологічне дослідження не може вважатися завершеним без критичної оцінки отриманих результатів. Саме аналіз переваг та обмежень методики дозволяє правильно інтерпретувати отримані дані, визначити межі їх практичного застосування та окреслити перспективи подальших наукових досліджень. Такий підхід є обов'язковим елементом обговорення результатів у провідних міжнародних журналах, індексованих у базах Scopus та Web of Science, і значно підвищує наукову цінність проведеного дослідження.

Однією з найбільш вагомих переваг представленої роботи є вибір об'єкта дослідження. Аналіз сучасної міжнародної літератури показує, що переважна більшість досліджень присвячена денситометричній оцінці коміркового відростка верхньої щелепи, міжкореневих перегородок або ділянок, безпосередньо призначених для встановлення дентальних імплантатів. Натомість передня стінка верхньощелепних синусів (передня стінка верхньої щелепи) практично не розглядається як самостійний морфологічний об'єкт. Незважаючи на її важливу роль у формуванні контрфорсної системи лицевого черепа та передачі функціонального навантаження, ця анатомічна структура залишається недостатньо вивченою.

Таким чином, проведене дослідження певною мірою заповнює існуючу прогалину у сучасній морфології верхньої щелепи. Отримані результати формують нову доказову базу щодо закономірностей просторового розподілу мінеральної щільності передньої стінки верхньої щелепи та можуть бути використані як нормативний матеріал для подальших фундаментальних і клінічних досліджень.

Другою важливою перевагою є комплексний підхід до аналізу денситометричних показників не лише за умов метаболічної норми, а й за умов метаболічної декомпенсації.

На відміну від більшості досліджень, у яких аналізуються лише середні значення щільності кісткової тканини, у представленій роботі оцінювалися мінімальні, середні та максимальні показники окремо для правої та лівої половин верхньої щелепи. Саме такий підхід дозволив виявити закономірності, які залишаються непомітними при використанні лише середніх арифметичних значень.

Особливу увагу привертає встановлена міжщелепна асиметрія. У сучасній літературі практично відсутні роботи, які б аналізували денситометричні відмінності між правою та лівою передньою стінкою

верхньої щелепи. Більшість авторів об'єднує показники обох сторін у єдину вибірку, що істотно зменшує можливість виявлення локальних морфологічних особливостей. У нашому дослідженні окремий аналіз кожної половини верхньої щелепи дозволив встановити статистично достовірне переважання показників правої сторони, що свідчить про існування фізіологічної функціональної асиметрії.

Ще однією сильною стороною дослідження є використання вікового підходу до аналізу денситометричних характеристик. Розподіл матеріалу на кілька вікових груп дозволив оцінити характер вікових змін мінеральної щільності кісткової тканини після завершення формування лицевого скелета. Отримані результати свідчать, що процеси фізіологічного ремоделювання забезпечують відносну стабільність структурної організації передньої стінки верхньої щелепи навіть у старших вікових групах.

Разом із тим представлене дослідження має певні методологічні обмеження, які необхідно враховувати під час інтерпретації результатів. Насамперед це стосується використання конусно-променевої комп'ютерної томографії як методу денситометричного аналізу. Незважаючи на широке впровадження CBCT у клінічну практику, сучасні міжнародні рекомендації наголошують, що числові показники, отримані різними моделями томографів, можуть відрізнятися через особливості реконструкції зображень, параметри експозиції, алгоритми обробки даних та конструктивні особливості апаратів. У зв'язку з цим абсолютні значення денситометричних показників не можуть безпосередньо порівнюватися між різними моделями CBCT без відповідної калібровки, як приклад співвідношення одиниць Ханунсфільда да умовних одиниць сірості (HU / УОС).

Однак незазначене обмеження не знижує достовірності отриманих результатів, оскільки всі вимірювання у представленому дослідженні виконувалися за єдиним протоколом, на одному томографі та за однакових параметрів сканування. Це забезпечило високу внутрішню відтворюваність результатів і дозволило коректно виконати порівняльний аналіз між віковими групами та між правою і лівою сторонами.

Ще одним аспектом, який необхідно враховувати, є відсутність аналізу індивідуальних функціональних особливостей пацієнтів. На сьогодні доведено, що на ремоделювання кісткової тканини можуть впливати характер оклюзії, наявність функціонально домінуючої сторони жування, сила жувальних м'язів, стан пародонта, особливості зубних рядів, системні захворювання та гормональний статус. У представленому дослідженні ці фактори не аналізувалися окремо, що відкриває перспективи для подальших наукових досліджень.

Важливим напрямком подальших досліджень може стати поєднання денситометричного аналізу з тривимірною морфометрією, оцінкою товщини компактної пластинки, аналізом трабекулярної архітектоніки та комп'ютерним моделюванням розподілу механічного навантаження. Саме комплексний підхід дозволить більш повно охарактеризувати функціональний стан передньої стінки верхньої щелепи та визначити її роль у забезпеченні механічної стабільності лицевого скелета.

Перспективним є також застосування технологій штучного інтелекту для автоматизованого аналізу денситометричних показників. Використання алгоритмів машинного навчання може забезпечити автоматичне визначення зон зі зниженою мінеральною щільністю, прогнозування ризику післяопераційних ускладнень та персоналізоване планування реконструктивного лікування. Поєднання таких цифрових технологій із традиційним морфологічним аналізом відкриває новий напрям розвитку сучасної стоматології та щелепно-лицевої хірургії.

Таким чином, проведене дослідження характеризується низкою вагомих наукових переваг, серед яких слід відзначити комплексний денситометричний аналіз передньої стінки верхньощелепних синусів (передньої стінки верхньої щелепи), встановлення її вікових особливостей, виявлення фізіологічної міжсторонньої асиметрії та розширення сучасних уявлень про морфологічну організацію цієї анатомічної ділянки при метаболічній нормі та її відхиленнях. Водночас критичний аналіз методології дозволив визначити перспективні напрями подальших досліджень, спрямованих на поглиблене вивчення закономірностей ремоделювання кісткової тканини та вдосконалення сучасних методів діагностики.

ВИСНОВКИ

1. Отримані результати свідчать про високу стабільність архітектоніки передньої стінки синусів верхньої лівої та правої щелеп, її здатність підтримувати оптимальні денситометричні властивості протягом тривалого часу за умов метаболічної декомпенсації.

2. Порівняльний аналіз денситометричних показників між віковими групами не встановлює статистично значущих відмінностей за жодним із досліджуваних показників. Для правої верхньої щелепи значення рівня статистичної значущості становили $p=0,457$ для мінімальних показників, $p=0,572$ – для максимальних та $p=0,517$ – для середніх значень денситометрії. Аналогічна картина спостерігалася і для лівої верхньої щелепи, де відповідні значення дорівнювали $p=0,687$, $p=0,437$ та $p=0,457$.

3. Встановлена нами міжстороння асиметрія відображає не анатомічну випадковість, а результат тривалого функціонального ремоделювання. Це положення узгоджується із сучасними біомеханічними моделями адаптації кісткової тканини до оклюзійного навантаження та відповідає класичному закону Вольфа, який сьогодні підтверджується сучасними дослідженнями з використанням високоточної тривимірної візуалізації.

4. Передня стінка верхньощелепних синусів належить до ділянок, які постійно перебувають під впливом функціонального навантаження, яке виникає під час жування, мовлення та роботи мімічних м'язів. Саме постійне механічне навантаження забезпечує підтримання фізіологічної рівноваги між процесами остеогенезу та резорбції кісткової тканини навіть за умов метаболічних розладів.

АНОТАЦІЯ

У монографії представлено результати денситометричного дослідження кісткової тканини передньої стінки верхньощелепних синусів із використанням кількісної оцінки мінеральної щільності в одиницях Хаунсфілда (HU). Проведено порівняльний аналіз денситометричних показників правої та лівої верхніх щелеп із визначенням мінімальних, максимальних і середніх значень, а також оцінено вікові особливості у групах 15–21, 22–27, 28–34 та понад 35 років. Отримані результати зіставлено з даними сучасних морфологічних, рентгенологічних і клінічних досліджень, що дозволило здійснити комплексну інтерпретацію структурно-функціонального стану кісткової тканини.

Встановлено, що передня стінка верхньої щелепи характеризується стабільно високими показниками мінеральної щільності незалежно від віку обстежених осіб, що узгоджується з сучасними уявленнями про особливості будови компактної кісткової речовини цієї анатомічної ділянки. Мінімальна щільність кісткової тканини передньої стінки правої верхньої щелепи становила 1717,05±40,53 HU, лівої – 1578,64±34,91 HU; максимальна — відповідно 2606,59±36,67 HU та 2162,70±23,72 HU. Виявлені відмінності свідчать про наявність функціонально-анатомічної асиметрії між правою та лівою сторонами верхньої щелепи.

Результати дослідження підтверджують, що варіабельність денситометричних показників може бути пов'язана з особливостями функціонального навантаження, переважанням жувальної функції на одній зі сторін, специфікою ремоделювання кісткової тканини, архітектонікою трабекулярної мережі та локальними особливостями кровопостачання. Отримані дані розширюють сучасні уявлення про закономірності мінералізації кісткової тканини верхньої щелепи, можуть

бути використані як референтні показники при інтерпретації результатів конусно-променевої комп'ютерної томографії та становлять практичний інтерес для стоматології, щелепно-лицевої хірургії, імплантології, оториноларингології та морфології за умов соматичного здоров'я та метаболічної декомпенсації.

Література

1. Борченко НА, Передереєва ЛЮ. Рентгенологічна оцінка розташування коренів молярів верхньої щелепи відносно дна верхньощелепного синусу у дорослих пацієнтів. Act. Probl. Of Modern Med. [інтернет]. 29, Травень 2025;25(2):95-9. https://visnyk-umsa.com.ua/index.php/journal/article/view/1216

2. Serbin S, Dubyna S, Bondarenko S, Bilash V, Svintsytska N, Katsenko A, Korchan N. Гістологічні та морфометричні особливості мукоциліарної системи слизової оболонки нижньої та задньої стінок лобової пазухи людини у нормі. Bio [інтернет]. 31, Жовтень 2023;9(1):110-7. https://bioeco.pnpu.edu.ua/article/view/290191

3. Maystruk MV, Oliinyk IY, Oshurko AP, Tsurkan MM, Makarchuk IS, Ruskovoloshyn DV. Morphometric studies of the maxillary sinuses in humans with preserved permanent dentition. Rep. of Morph. [Internet]. 2026 Jun. 9;32(2):41-7. https://morphology-journal.com/index.php/journal/article/view/815

4. Oshurko AP, Oliinyk IY, Maystruk MV, Sukhliak VV, Tsurkan MM, Ruskovoloshyn DV. Histo-morphometric evaluation of post-augmentation bone tissue of the human mandible. Rep. of Morph. [Internet]. 2024 Dec. 26;30(4):58-66. https://morphology-journal.com/index.php/journal/article/view/695

5. Данильченко С, Сербін С, Дубина С, Бондаренко С, Тарасова О. Морфологічні варіанти та хірургічне значення верхньощелепної артерії: морфометричне дослідження. Act. Probl. of Modern Med. [інтернет]. 14, Жовтень 2025;25(3):180-6. https://visnyk-umsa.com.ua/index.php/journal/article/view/1297

6. Сербін С, Дубина С, Бондаренко С, Тихонова О, Тарасенко Я, Коптев М, et al. Морфологічні особливості васкуляризації слизової оболонки перегородки та нижньої стінки лобової пазухи людини у нормі. Act. Probl. of Modern Med. [інтернет]. 29, Травень 2025;25(2):164-9. https://visnyk-umsa.com.ua/index.php/journal/article/view/1229

7. Lin J, Wang C, Wang X. et al. Expert consensus on odontogenic maxillary sinusitis multi-disciplinary treatment. Int J Oral Sci 16, 11 (2024). https://doi.org/10.1038/s41368-024-00278-z

8. Morgan N, Meeus J, Shujaat S, Cortellini S, Bornstein MM, Jacobs R. CBCT for Diagnostics, Treatment Planning and Monitoring of Sinus Floor

Elevation Procedures. Diagnostics. 2023; 13(10):1684. https://doi.org/10.3390/diagnostics13101684

9. Choi H, Jeon KJ, Kim YH, Ha EG, Lee C, Han SS. Deep learning-based fully automatic segmentation of the maxillary sinus on cone-beam computed tomographic images. Sci Rep. 2022 Aug 17;12(1):14009. doi: 10.1038/s41598-022-18436-w. PMID: 35978086; PMCID: PMC9385721.

10. Morgan N, Meeus J, Shujaat S, Cortellini S, Bornstein MM, Jacobs R. CBCT for Diagnostics, Treatment Planning and Monitoring of Sinus Floor Elevation Procedures. Diagnostics (Basel). 2023 May 10;13(10):1684. doi: 10.3390/diagnostics13101684. PMID: 37238169; PMCID: PMC10217207.

11. Shujaat S, Alfadley A, Morgan N, Jamleh A, Riaz M, Aboalela AA, Jacobs R. Emergence of artificial intelligence for automating cone-beam computed tomography-derived maxillary sinus imaging tasks. A systematic review. Clin Implant Dent Relat Res. 2024 Oct;26(5):899-912. doi: 10.1111/cid.13352. Epub 2024 Jun 11. PMID: 38863306.

12. V Manek P, Balaram K, N Khot S, Dixit H, Modi G, Sharma D, Tiwari R. Artificial intelligence in diagnosis of maxillary sinusitis: A clinical study. Bioinformation. 2025 Jul 31;21(7):2108-2111. doi: 10.6026/973206300212108. PMID: 41170054; PMCID: PMC12569860.

13. Zhang J, Liu L, Yang L, Wang J, Tan X, Huang D. Diagnosis of Odontogenic Maxillary Sinusitis by Cone-beam Computed Tomography: A Critical Review. J Endod. 2023 Nov;49(11):1445-1456. doi: 10.1016/j.joen.2023.08.014. Epub 2023 Sep 1. PMID: 37659441.

14. Wang H, Xu X, Bian Z, Liang J, Chen Z, Hou B, Qiu L, Chen W, Wei X, Hu K, Wang Q, Wang Z, Li J, Huang D, Wang X, Huang Z, Meng L, Zhang C, Xie F, Yang D, Yu J, Zhao J, Pan Y, Pan S, Yang D, Niu W, Zhang Q, Deng S, Ma J, Meng X, Yang J, Wu J, Du Y, Ling J, Yue L, Zhou X, Yu Q. Expert consensus on apical microsurgery. Int J Oral Sci. 2025 Jan 2;17(1):2. doi: 10.1038/s41368-024-00334-8. PMID: 39743567; PMCID: PMC11693765.

15. Wu Z, Yu X, Chen Y, Chen X, Xu C. Deep learning in the diagnosis of maxillary sinus diseases: a systematic review. Dentomaxillofac Radiol. 2024 Sep 1;53(6):354-362. doi: 10.1093/dmfr/twae031. PMID: 38995816; PMCID: PMC11358632.

16. Geibel MA, Turhani D, Blasenbrey T, Beer M, Kildal D. The Early Detection of Osteoporosis Through the Measurement of Hard Palate Thickness (HPT) Using Dental Cone Beam Computed Tomography (CBCT): A New Indicator for Osteoporosis? Diagnostics (Basel). 2025 Jun 25;15(13):1603. doi: 10.3390/diagnostics15131603. PMID: 40647602; PMCID: PMC12248499.

17. Nouf Al Humayyani, Fahad K Alwthinani, Abdulrahman H. Alzahrani, Abdulmajeed O Alotaibi, Mohamed Y. Abdelfattah. Relaxed Implant Bed in Immediately Loaded Maxillary Kennedy Class IV Implant Supported

Overdenture: Split-Mouth Clinical Study. International Journal of Dental Sciences and Research. 2024; 12(1):1-8. doi: 10.12691/ijdsr-12-1-1.

18. Jelin-Uhlig S, Weigel M, Ott B, Imirzalioglu C, Howaldt HP, Böttger S, Hain T. Bisphosphonate-Related Osteonecrosis of the Jaw and Oral Microbiome: Clinical Risk Factors, Pathophysiology and Treatment Options. Int J Mol Sci. 2024 Jul 24;25(15):8053. doi: 10.3390/ijms25158053. PMID: 39125621; PMCID: PMC11311822.

19. Damanaki A, Habel ML, Deschner J. Association of Osteoporosis with Tooth Loss and Dental Radiomorphometric Indices. Biomedicines. 2024 Dec 18;12(12):2886. doi: 10.3390/biomedicines12122886. PMID: 39767792; PMCID: PMC11672889.

20. Widyaningrum R, Sela EI, Pulungan R, Septiarini A. Automatic Segmentation of Periapical Radiograph Using Color Histogram and Machine Learning for Osteoporosis Detection. Int J Dent. 2023 Feb 28;2023:6662911. doi: 10.1155/2023/6662911. PMID: 36896411; PMCID: PMC9991474.

21. Schwartz AV, Sellmeyer DE, Ensrud KE, Cauley JA, Tabor HK, Schreiner PJ, Jamal SA, Black DM, Cummings SR; Study of Osteoporotic Features Research Group. Older women with diabetes have an increased risk of fracture: a prospective study. J Clin Endocrinol Metab. 2001 Jan;86(1):32-8. doi: 10.1210/jcem.86.1.7139. PMID: 11231974.

22. Ferrini M.G., Carvalho R.S. Diabetes mellitus and bone metabolism: implications for oral rehabilitation. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research. 2022;12:420–427.

23. Cai F, Liu Y, Liu K, Zhao R, Chen W, Yusufu A, Liu Y. Diabetes mellitus impairs bone regeneration and biomechanics. J Orthop Surg Res. 2023 Mar 6;18(1):169. doi: 10.1186/s13018-023-03644-5. PMID: 36872328; PMCID: PMC9987049.

24. Al Ansari Y, Shahwan H, Chrcanovic BR. Diabetes Mellitus and Dental Implants: A Systematic Review and Meta-Analysis. Materials (Basel). 2022 Apr 29;15(9):3227. doi: 10.3390/ma15093227. PMID: 35591561; PMCID: PMC9105616.

25. Chen S, Yang W, Guo Z, Lv X, Zou Y. Association between serum vitamin D levels and sensitivity to thyroid hormone indices: a cross-sectional observational study in NHANES 2007-2012. Front Endocrinol (Lausanne). 2023 Sep 5;14:1243999. doi: 10.3389/fendo.2023.1243999. PMID: 37745711; PMCID: PMC10513485.

26. Chen S, Huang W, Zhou G, Sun X, Jin J, Li Z. Association between Sensitivity to Thyroid Hormone Indices and Bone Mineral Density in US Males. Int J Endocrinol. 2022 Oct 26;2022:2205616. doi: 10.1155/2022/2205616. PMID: 36340930; PMCID: PMC9629943.

27. Hashemi S, Shomali T, Derakhshandeh N, Nazifi S. Effect of vitamin D3 supplementation on thyroid function of clinically healthy dogs. Front Vet Sci. 2025 Oct 10;12:1559608. doi: 10.3389/fvets.2025.1559608. PMID: 41142562; PMCID: PMC12549265.

28. Safari S, Shojaei-Zarghani S, Molani-Gol R, Rafraf M, Malekian M. Effects of vitamin D supplementation on TSH and thyroid hormones: A systematic review of randomized controlled trials. Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed). 2025 Jan;72(1):37-46. doi: 10.1016/j.endien.2024.12.007. PMID: 39794009.

29. Kanneppady SS, Kanneppady SK, Jamatia K, Tiwari K, Ausare SS, Dash A, Syed AK. Assessment of Jaw Bone Density Using Cone-Beam CT in Patients with Osteoporosis: A Cross-Sectional Study. J Pharm Bioallied Sci. 2025 May;17(Suppl 1):S430-S432. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_1434_24. Epub 2025 Feb 25. PMID: 40511131; PMCID: PMC12156532.

30. Wang L, Gao Z, Liu C, Li J. Potential biomarkers of abnormal osseointegration of implants in type II diabetes mellitus. BMC Oral Health. 2021 Nov 18;21(1):583. doi: 10.1186/s12903-021-01939-9. PMID: 34794414; PMCID: PMC8603511.

Information about the authors:
Oshurko Anatolii Pavlovych,
https://orcid.org/0000-0002-3838-2206
Doctor of Medical Sciences,
Associate Professor at the Department of Dentistry
of the Higher Education Institution,
State Establishment "Luhansk State Medical University"
36, 16 Lypnia Str., Rivne, Ukraine

Maistruk Mykhailo Vasyliovych,
https://orcid.org/0000-0002-3838-2206
Assistant at the Department of Dentistry,
State Establishment "Luhansk State Medical University"
36, 16 Lypnia Str., Rivne, Ukraine

Oliinik Ihor Yuriiovych,
https://orcid.org/0000-0002-6221-8078
Doctor of Medical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Pathological Anatomy,
Bukovinian State Medical University
2, Teatralna Sq., Chernivtsi, Ukraine