

DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2026-9-05>

УДК: 616.01/-099:616.314-74:616.213.6



Рентгенометричні варіанти будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи за даними мультиспіральної комп'ютерної томографії

Давидов О.О.¹, <https://orcid.org/0000-0002-9826-2572>, e-mail: oo.davydov@knmu.edu.ua

Побережник Г.А.¹, <https://orcid.org/0000-0003-2530-1312>, e-mail: galina.poberezhnik1@gmail.com

Сухина І.С.¹, <https://orcid.org/0000-0003-0572-9047>, e-mail: is.sukhina@gmail.com

Трач О.О.¹, <https://orcid.org/0000-0002-3545-1608>, e-mail: oatrach@outlook.com.edu.ua

Алексєєва В.В.^{1,2,3}, <https://orcid.org/0000-0001-5272-8704>, e-mail: vik13052130@gmail.com

Гаргін В.В.^{1,3,4}, <https://orcid.org/0000-0001-8194-4019>, e-mail: vitgarg@ukr.net

¹Харківський національний медичний університет

Міністерства охорони здоров'я України, Харків, Україна

²Приватний заклад вищої освіти

«Харківський інститут медицини та біомедичних наук», Харків, Україна

³Приватний вищий навчальний заклад

«Харківський міжнародний медичний університет», Харків, Україна

⁴Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Міністерства освіти і науки України, Харків, Україна

Radiographic morphometric variants of the alveolar recess of the maxillary sinus based on multislice computed tomography

Davydov O.O.¹, <https://orcid.org/0000-0002-9826-2572>, e-mail: oo.davydov@knmu.edu.ua

Poberezhnik G.A.¹, <https://orcid.org/0000-0003-2530-1312>, e-mail: galina.poberezhnik1@gmail.com

Sukhina I.S.¹, <https://orcid.org/0000-0003-0572-9047>, e-mail: is.sukhina@gmail.com

Trach O.O.¹, <https://orcid.org/0000-0002-3545-1608>, e-mail: oatrach@outlook.com.edu.ua

Aliksieieva V.V.^{1,2,3}, <https://orcid.org/0000-0001-5272-8704>, e-mail: vik13052130@gmail.com

Gargin V.V.^{1,3,4}, <https://orcid.org/0000-0001-8194-4019>, e-mail: vitgarg@ukr.net

¹Kharkiv National Medical University
of the Ministry of Health of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²Private Establishment of Higher Education
«Kharkiv Institute of Medicine and Biomedical Sciences», Kharkiv, Ukraine

³Private Higher Education Institution
«Kharkiv International Medical University», Kharkiv, Ukraine

⁴V.N. Karazin Kharkiv National University
of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Ключові слова:

верхньощелепна пазуха, альвеолярна бухта, мультиспіральна комп'ютерна томографія, морфометрія, пневматизація, тривимірна реконструкція, топографічна анатомія.

РЕЗЮМЕ

Актуальність. Альвеолярна бухта верхньощелепної пазухи є анатомічно варіабельною структурою, особливості якої мають важливе значення для планування стоматологічних та щелепно-лицевих втручань.

Мета роботи – охарактеризувати рентгеноморфометричні варіанти будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи за даними мультиспіральної комп'ютерної томографії, визначити їх поширеність та оцінити взаємозв'язок між основними морфометричними параметрами.

Матеріали та методи. Проведено аналіз 500 мультиспіральних комп'ютерних томограм осіб віком 20–45 років без ознак патології верхньощелепних пазух. Дослідження виконували із застосуванням програмного забезпечення RadiAnt DICOM Viewer та 3D Slicer. Оцінювали форму альвеолярної бухти, глибину та ширину її пневматизації, товщину кісткової тканини дна пазухи, особливості взаємовідношення з коренями премоларів і моларів, наявність септ та асиметрії. Проведено морфометричний і статистичний аналіз отриманих даних.

Результати. Встановлено значну індивідуальну анатомічну варіабельність будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи. Найбільш поширеним морфологічним типом був помірно виражений (47,6%), рідше виявлялися глибо-

Для кореспонденції:

Алексєєва Вікторія Вікторівна
Харківський національний медичний
університет Міністерства охорони здо-
ров'я України, кафедра оторино-
ларингології;
просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна,
61022;
e-mail: vik13052130@gmail.com

© Давидов О.О., Побережник Г.А.,
Сухіна І.С., Трач О.О., Алексєєва В.В.,
Гаргін В.В., 2026

кий (24,2%), слабо виражений (14,8%), септований (8,2%) та асиметричний (5,2%) типи. Середня глибина альвеолярної бухти становила $7,90 \pm 3,00$ мм, ширина – $18,31 \pm 4,12$ мм, товщина кісткової тканини дна пазухи – $2,12 \pm 1,06$ мм. Найбільші значення глибини та ширини були характерні для глибокого типу альвеолярної бухти. Встановлено позитивний кореляційний зв'язок між глибиною та шириною альвеолярної бухти, що свідчить про взаємопов'язаність процесів її формування та пневматизації верхньощелепної пазухи. Тривимірна реконструкція дозволила деталізувати просторову організацію альвеолярної бухти та візуалізувати її основні рентгеноморфометричні варіанти.

Висновки. Альвеолярна бухта верхньощелепної пазухи характеризується значною рентгеноморфометричною варіабельністю. Виділено п'ять основних морфометричних варіантів її будови, між якими встановлено статистично значущі відмінності основних морфометричних показників та сильний позитивний кореляційний зв'язок між глибиною і шириною альвеолярної бухти. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення променевої діагностики, передопераційного планування та оцінки ризику стоматологічних і щелепно-лицевих втручань.

Для цитування:

Давидов О.О., Побережник Г.А., Сухіна І.С., Трач О.О., Алексєєва В.В., Гаргін В.В. Рентгенометричні варіанти будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи за даними мультиспіральної комп'ютерної томографії. Харківський стоматологічний журнал. 2026. Т. 3, № 3(9). С. 586–604. DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2026-9-05>

Key words:

maxillary sinus, alveolar recess, computed tomography, morphometry, pneumatization, three-dimensional reconstruction, topographic anatomy.

For correspondence:

Aliksieieva Viktoriia Viktorivna
Kharkiv National Medical University of the
Ministry of Health of Ukraine, Department
of Otorhinolaryngology;
4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: vik13052130@gmail.com

© Davydov O.O., Poberezhnik G.A.,
Sukhina I.S., Trach O.O., Aliksieieva V.V.,
Gargin V.V., 2026

ABSTRACT

Background. The alveolar recess of the maxillary sinus is an anatomically variable structure with important implications for dental and maxillofacial surgical planning.

Purpose – to characterize the radiographic morphometric variants of the maxillary sinus alveolar recess using multislice computed tomography, determine their distribution, and evaluate the relationships among the main morphometric parameters.

Material and Methods. The study was based on the analysis of 500 multislice computed tomography scans obtained from individuals aged 20–45 years without signs of maxillary sinus pathology. Image analysis was performed using RadiAnt DICOM Viewer and 3D Slicer software. The shape of the alveolar recess, depth and width of pneumatization, thickness of the sinus floor bone, relationships with premolar and molar roots, presence of septa, and asymmetry were evaluated. Morphometric measurements and statistical analyses were performed.

Results. Considerable individual anatomical variability of the maxillary sinus alveolar recess was identified. The moderate type was the most common morphological variant (47.6%), followed by the deep (24.2%), weakly expressed (14.8%), septated (8.2%), and asymmetrical (5.2%) types. The mean alveolar recess depth was 7.90 ± 3.00 mm, the mean width was 18.31 ± 4.12 mm, and the mean thickness of the sinus floor bone was 2.12 ± 1.06 mm. The greatest depth and width values were observed in the deep morphological type. A positive correlation between alveolar recess depth and width was found, indicating an interrelationship between the processes of recess development and maxillary sinus pneumatization. Three-dimensional reconstruction provided detailed visualization of the spatial organization and morphological variants of the alveolar recess.

Conclusions. The maxillary sinus alveolar recess demonstrates substantial radiographic morphometric variability. Five major morphometric variants were identified, with statistically significant differences in the main morphometric parameters and a strong positive correlation between alveolar recess depth and width. These findings may contribute to improved radiological assessment, preoperative planning, and risk evaluation in dental and maxillofacial surgery.

For citation:

Davydov OO, Poberezhnik GA, Sukhina IS, Trach OO, Aliksieieva VV, Gargin VV. Radiographic morphometric variants of the alveolar recess of the maxillary sinus based on multislice computed tomography. *Kharkiv Dental Journal*. 2026;3(3(9)):586–604. DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2026-9-05>

ВСТУП

Альвеолярна бухта верхньощелепної пазухи є однією з найбільш анатомічно варіабельних ділянок верхньощелепного синуса та має важливе значення для стоматології, оториноларингології, щелепно-лицевої хірургії та променевої діагностики [1]. Саме в цій ділянці формується найбільш тісний топографо-анатомічний взаємозв'язок між верхньощелепною пазухою та коренями зубів верхньої щелепи [2]. Глибина пневматизації пазухи, форма альвеолярної бухти, особливості її кісткових стінок та взаємовідношення із коренями премолярів і молярів можуть визначати як особливості фізіологічного функціонування верхньощелепної пазухи, так і ризик розвитку патологічних процесів [3].

На сьогодні значна кількість наукових праць присвячена загальній морфометрії верхньощелепної пазухи, особливостям її пневматизації, будові остіо-меатального комплексу та взаємовідношенням пазухи із зубами верхньої щелепи [4]. Водночас морфологічні особливості саме альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи залишаються недостатньо систематизованими. У більшості досліджень дана анатомічна структура розглядається лише як частина загальної пневматизації синуса без детального аналізу її форми, просторової організації та варіантів будови [5].

Особливого значення дослідження альвеолярної бухти набуває у зв'язку із широким впровадженням дентальної імплантації, синус-ліфтингу та ендоскопічних втручань у ділянці верхньощелепної пазухи [6]. Варіанти будови альвеолярної бухти можуть впливати на ризик перфорації мембрани Шнайдера, поширення одонтогенної інфекції, розвиток одонтогенних риносинуситів та виникнення післяопераційних ускладнень [7]. Незважаючи на це, дотепер відсутня єдина рентгеноморфометрична класифікація варіантів будови альвеолярної бухти, а також недостатньо визначені її морфометричні характеристики в осіб різного віку та статі [8].

Останні міжнародні рекомендації з передопераційного планування дентальної імплантації наголошують, що індивідуальні особливості пневматизації верхньощелепної пазухи, наявність септ, товщина кісткових стінок та взаємовідношення дна пазухи із зубами безпосередньо впливають на ризик перфорації мембрани Шнайдера, прогноз синус-ліфтингу та вибір хірургічної тактики [9]. Саме тому морфометричний аналіз альвеолярної бухти набуває дедалі більшого клінічного значення.

Сучасні методи променевої діагностики, зокрема мультиспіральна та конусно-променева комп'ютерна томографія (КПКТ), дозволяють проводити прижиттєве високоточне дослідження анатомічних структур верхньощелепної пазухи, визначати особливості її пневматизації та здійснювати морфометричний аналіз із високим рівнем достовірності [10]. Використання тривимірної реконструкції відкриває нові можливості для деталізації індивідуальних анатомічних варіантів будови альвеолярної бухти та їх систематизації [11].

У зв'язку з цим дослідження морфологічних варіантів будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи є актуальним як з теоретичної, так і з практичної точки зору, та може сприяти удоскона-

INTRODUCTION

The alveolar recess of the maxillary sinus is one of the most anatomically variable regions of the maxillary sinus and is of considerable importance in dentistry, otorhinolaryngology, maxillofacial surgery, and diagnostic imaging [1]. This region represents the site of the closest topographic and anatomical relationship between the maxillary sinus and the roots of the maxillary teeth [2]. The degree of sinus pneumatization, the shape of the alveolar recess, the characteristics of its bony walls, and its relationship with the roots of premolars and molars may influence both the physiological functioning of the maxillary sinus and the risk of pathological processes [3].

To date, numerous studies have focused on the general morphometry of the maxillary sinus, its pneumatization patterns, the anatomy of the ostiomeatal complex, and the relationships between the sinus and the maxillary dentition [4]. However, the morphological characteristics of the alveolar recess itself remain insufficiently systematized. In most investigations, this anatomical structure has been considered merely as part of the overall sinus pneumatization process without detailed analysis of its shape, spatial organization, and anatomical variations [5].

The study of the alveolar recess has gained particular importance with the widespread implementation of dental implantation, sinus floor elevation procedures, and endoscopic interventions involving the maxillary sinus [6]. Variations in the morphology of the alveolar recess may affect the risk of Schneiderian membrane perforation, the spread of odontogenic infection, the development of odontogenic rhinosinusitis, and the occurrence of postoperative complications [7]. Despite its clinical relevance, a unified radiographic morphometric classification of alveolar recess variants is still lacking, and its morphometric characteristics in individuals of different ages and sexes remain insufficiently investigated [8].

Recent international recommendations on preoperative planning for dental implant placement emphasize that individual variations in maxillary sinus pneumatization, the presence of sinus septa, the thickness of the bony sinus walls, and the anatomical relationship between the sinus floor and the maxillary teeth directly influence the risk of Schneiderian membrane perforation, the outcome of sinus floor elevation procedures, and the selection of the optimal surgical approach [9]. Consequently, morphometric assessment of the maxillary sinus alveolar recess has become increasingly important in contemporary clinical practice.

Modern imaging techniques, particularly multislice computed tomography (CT) and cone-beam computed tomography (CBCT), enable highly accurate in vivo assessment of the anatomical structures of the maxillary sinus, allowing detailed evaluation of pneumatization patterns and morphometric parameters with a high degree of reliability [10]. Furthermore, three-dimensional reconstruction provides new opportunities for the detailed characterization and systematization of individual anatomical variations of the alveolar recess [11].

Therefore, the investigation of radiographic morphometric variants of the maxillary sinus alveolar recess is

ленню сучасних уявлень про топографо-анатомічну організацію верхньощелепної пазухи.

Мета роботи – охарактеризувати рентгеноморфометричні варіанти будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи за даними мультиспіральної комп'ютерної томографії, визначити їх поширеність та оцінити взаємозв'язок між основними морфометричними параметрами.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

До дослідження було включено 500 мультиспіральних комп'ютерних томографій 500 пацієнтів, серед яких 259 жінок (51,8%) та 241 чоловік (48,2%). До дослідження включали томограми пацієнтів віком від 20 до 45 років. Обраний віковий діапазон характеризується завершеним формуванням верхньощелепної пазухи та зубоальвеолярного апарату, стабільними морфометричними параметрами кісткових структур і відсутністю виражених інволютивних змін. Використання саме цієї вікової групи дозволяло мінімізувати вплив вікової атрофії альвеолярного відростка, вторинної пневматизації верхньощелепної пазухи, остеопоротичних змін та часткової адентії на морфологічні характеристики альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи.

Критеріями включення стали відсутність виражених деструктивних змін верхньощелепної пазухи, відсутність об'ємних утворень та травматичних ушкоджень лицевого черепа, належна якість томографічних зображень.

Із дослідження виключалися томограми пацієнтів із повною або частковою адентією у бічних відділах верхньої щелепи, оскільки відсутність премоларів та молярів може супроводжуватися вторинною пневматизацією верхньощелепної пазухи та вираженою атрофією альвеолярного відростка, що впливає на морфометричні характеристики альвеолярної бухти. Також не включалися випадки наявності дентальних імплантів та синус-ліфтингу в анамнезі через можливі післяопераційні зміни кісткової тканини та ремоделювання дна верхньощелепної пазухи. З дослідження виключали пацієнтів із вираженими одонтогенними або риногенними патологічними процесами, травматичними ушкодженнями середньої зони лицевого черепа, а також об'ємними утвореннями верхньощелепної пазухи, які могли змінювати природну анатомічну будову та просторову організацію досліджуваних структур.

Дослідження проводилося із використанням методів комп'ютерної морфометрії та тривимірної реконструкції.

Для візуалізації та аналізу томографічних зображень використовували програмне забезпечення RadiAnt DICOM Viewer (Medixant, Poland) [12], яке дозволяло здійснювати оцінку зображень у аксіальній, коронарній та сагітальній проекціях, проводити лінійні морфометричні вимірювання та аналіз топографо-анатомічних взаємовідношень структур верхньощелепної пазухи.

Тривимірну реконструкцію та сегментацію анатомічних структур виконували із використанням прог-

of both theoretical and practical importance and may contribute to improving current understanding of the topographic and anatomical organization of the maxillary sinus.

Objective – to characterize the radiographic morphometric variants of the maxillary sinus alveolar recess using multislice computed tomography, determine their distribution, and evaluate the relationships among the main morphometric parameters.

MATERIALS AND METHODS

The study included 500 multislice computed tomography examinations obtained from 500 individuals, including 259 females (51.8%) and 241 males (48.2%). The study included CT scans of patients aged 20–45 years. This age range is characterized by complete development of the maxillary sinus and dento-alveolar apparatus, stable morphometric parameters of bone structures, and the absence of pronounced involutional changes. The use of this age group minimized the influence of age-related alveolar bone resorption, secondary maxillary sinus pneumatization, osteoporotic changes, and partial edentulism on the morphological characteristics of the maxillary sinus alveolar recess.

Inclusion criteria were the absence of significant destructive changes of the maxillary sinus, absence of space-occupying lesions and traumatic injuries of the facial skeleton, and adequate quality of tomographic images.

CT scans of patients with complete or partial edentulism in the posterior maxilla were *excluded* because the absence of premolars and molars may be associated with secondary maxillary sinus pneumatization and pronounced alveolar ridge atrophy, which can affect the morphometric characteristics of the alveolar recess. Cases with a history of dental implantation or sinus floor elevation procedures were also excluded because of possible postoperative bone remodeling and alterations of the maxillary sinus floor. Furthermore, patients with pronounced odontogenic or rhinogenic pathological processes, traumatic injuries of the midface, and maxillary sinus tumors or other space-occupying lesions that could alter the natural anatomy and spatial organization of the studied structures were excluded.

The study was conducted using computed morphometry and three-dimensional reconstruction techniques.

RadiAnt DICOM Viewer software (Medixant, Poland) [12] was used for visualization and analysis of tomographic images. The software enabled image evaluation in axial, coronal, and sagittal planes, linear morphometric measurements, and assessment of topographic and anatomical relationships of maxillary sinus structures.

Three-dimensional reconstruction and segmentation of anatomical structures were performed using 3D Slicer software [13] (The Slicer Community) (Fig. 1). The software was used to generate three-dimensional models of the maxillary sinus and alveolar recess, assess their spatial organization, and perform additional morphometric analyses.

рамного забезпечення 3D Slicer [13] (The Slicer Community) (рис. 1). Програма застосовувалася для побудови тривимірних моделей верхньощелепної пазухи та альвеолярної бухти, оцінки просторової організації досліджуваних структур і проведення додаткового морфометричного аналізу.

На рис. 1 представлено приклади тривимірної реконструкції верхньощелепної пазухи та альвеолярної бухти. Використання 3D-моделювання дозволило більш детально оцінити просторову організацію альвеолярної бухти, ступінь її пневматизації та особливості взаємовідношення із зубоальвелярними структурами.

Figure 1 presents examples of three-dimensional reconstructions of the maxillary sinus and alveolar recess. The use of 3D modeling allowed a more detailed assessment of the spatial organization of the alveolar recess, the degree of its pneumatization, and its relationship with dentoalveolar structures.

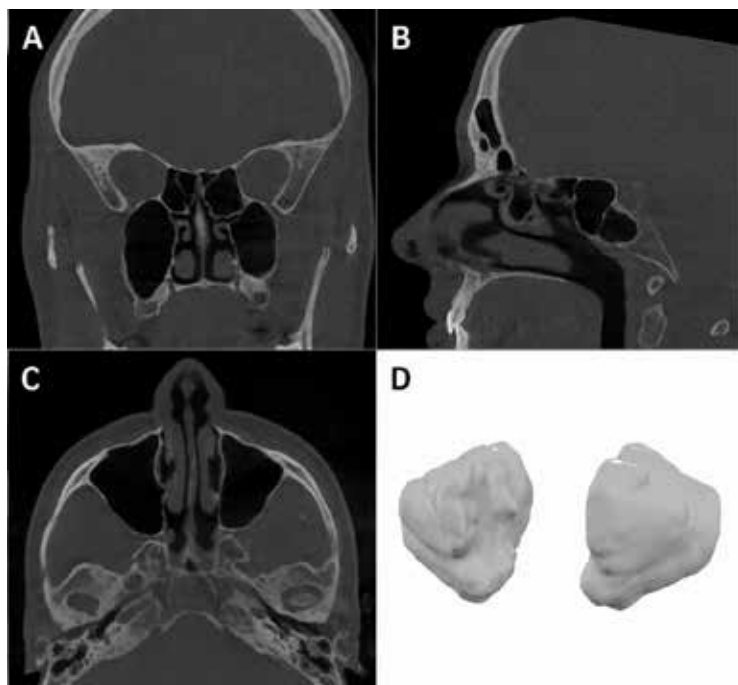


Рис. 1. Мультипланарна та тривимірна реконструкція верхньощелепної пазухи й альвеолярної бухти за даними мультиспіральної комп'ютерної томографії (коронарна (А), сагітальна (В) аксіальна (С) проекції, та 3D-реконструкція (D))
Fig. 1. Multiplanar and three-dimensional reconstruction of the maxillary sinus and alveolar recess based on multislice computed tomography (coronal (A), sagittal (B), axial (C) views and 3D reconstruction (D))

Морфометричні вимірювання виконували безпосередньо на DICOM-зображеннях у програмі RadiAnt DICOM Viewer із використанням вбудованих цифрових інструментів лінійних вимірювань. Тривимірні моделі, побудовані у програмі 3D Slicer, використовували виключно для просторової візуалізації, оцінки морфологічних варіантів та уточнення анатомічних взаємовідношень.

Томографічні дослідження виконували на мультиспіральному комп'ютерному томографі Aquilion 64 (Toshiba Medical Systems, Japan). Дана система є 64-зрізовим комп'ютерним томографом, який забезпечує високу просторову роздільну здатність та можливість отримання тонкошарових зрізів для детального дослідження анатомічних структур лицевого черепа. Дослідження проводили з товщиною зрізів 0,5–1,0 мм, матрицею реконструкції 512×512 та використанням високороздільного кісткового алгоритму реконструкції. Напруга рентгенівської трубки становила 120 kV, сила струму – 100–300 mA залежно від протоколу дослідження. Отримані дані зберігалися у форматі DICOM із подальшим морфометричним аналізом [14].

Morphometric measurements were performed directly on DICOM images using the built-in linear measurement tools available in RadiAnt DICOM Viewer. The three-dimensional models generated in 3D Slicer were used exclusively for spatial visualization, evaluation of radiographic morphometric variants, and clarification of the anatomical relationships of the studied structures.

Tomographic examinations were performed using an Aquilion 64 multislice computed tomography scanner (Toshiba Medical Systems, Japan). This 64-slice CT system provides high spatial resolution and allows acquisition of thin-section images for detailed assessment of craniofacial anatomical structures. Examinations were performed with a slice thickness of 0.5–1.0 mm, a reconstruction matrix of 512×512 , and a high-resolution bone reconstruction algorithm. The tube voltage was 120 kV, and the tube current ranged from 100 to 300 mA depending on the examination protocol. The acquired data were stored in DICOM format for subsequent morphometric analysis [14].

The following parameters were evaluated:

– morphology of the alveolar recess;

У ході дослідження оцінювали:

- форму альвеолярної бухти;
- глибину її пневматизації;
- ширину альвеолярної бухти;
- наявність асиметрії;
- особливості взаємовідношення із коренями пре-молярів та молярів верхньої щелепи;
- наявність внутрішньопазушних септ у ділянці альвеолярної бухти;
- товщину кісткової тканини дна верхньощелепної пазухи.

Глибину альвеолярної бухти визначали на коронарних зрізах як відстань від умовної лінії дна верхньощелепної пазухи до найбільш нижньої точки її альвеолярного випинання. Ширину альвеолярної бухти вимірювали у медіолатеральному напрямку в ділянці максимального розширення. Відстань від верхівок коренів зубів до дна пазухи визначали у міліметрах на томографічних зрізах із найкращою візуалізацією відповідних структур.

Для оцінки морфологічних варіантів будови альвеолярної бухти проводили її типологічний розподіл залежно від глибини пневматизації, форми та взаємовідношення із зубоальвеолярними структурами.

Для мінімізації похибки всі морфометричні вимірювання виконувалися тричі одним дослідником, після чого для статистичного аналізу використовували середнє значення.

Статистичний аналіз

Безперервні змінні наведені як середнє значення $\pm$ стандартне відхилення (SD) із 95% довірчим інтервалом (95% ДІ). Категоріальні змінні представлені абсолютною кількістю та відсотками.

Нормальність розподілу кількісних показників оцінювали за допомогою критерію Шапіро–Уїлка. Оскільки розподіл глибини альвеолярної бухти, її ширини та товщини кісткової тканини дна верхньощелепної пазухи статистично значуще відрізнявся від нормального (усі $p < 0,001$), для подальшого аналізу застосовували непараметричні методи.

Порівняння морфометричних показників між п'ятьма морфологічними типами проводили за допомогою критерію Краскела–Уолліса. Для попарних порівнянь використовували post hoc тест Данна з поправкою Бонферроні на множинні порівняння.

Взаємозв'язок між глибиною та шириною альвеолярної бухти оцінювали за допомогою рангового коефіцієнта кореляції Спірмена (ρ).

Усі статистичні тести були двобічними. Статистично значущими вважали відмінності при $p < 0,05$.

Для оцінки взаємозв'язку між глибиною та шириною альвеолярної бухти використовували коефіцієнт кореляції Пірсона для візуалізації лінійної залежності та ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена як основний непараметричний метод оцінки кореляції.

- depth of pneumatization
- width of the alveolar recess;
- presence of asymmetry;
- relationships with the roots of maxillary premolars and molars;
- presence of intrasinus septa in the region of the alveolar recess;
- thickness of the maxillary sinus floor bone.

The depth of the alveolar recess was measured on coronal sections as the distance from an imaginary line representing the maxillary sinus floor to the most inferior point of the alveolar protrusion. The width of the alveolar recess was measured in the mediolateral direction at the point of maximum expansion. The distance between tooth root apices and the sinus floor was measured in millimeters on tomographic sections providing optimal visualization of the corresponding structures.

To evaluate radiographic morphometric variants of the alveolar recess, a typological classification was performed according to the degree of pneumatization, shape, and relationships with dentoalveolar structures.

To minimize measurement error, all morphometric measurements were performed in triplicate by a single researcher, and the mean of the three measurements was used for statistical analysis.

Statistical Analysis

Continuous variables were expressed as mean $\pm$ standard deviation (SD) together with 95% confidence intervals (95% CI), whereas categorical variables were summarized as frequencies and percentages.

The normality of continuous variables was assessed using the Shapiro–Wilk test. Since the distributions of alveolar recess depth, width, and sinus floor bone thickness significantly deviated from normality (all $p < 0.001$), non-parametric statistical methods were applied.

Comparisons of morphometric parameters among the five morphological groups were performed using the Kruskal–Wallis test, followed by Dunn's post hoc test with Bonferroni correction for multiple comparisons.

The relationship between alveolar recess depth and width was evaluated using Spearman's rank correlation coefficient (ρ).

All statistical tests were two-sided. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

The association between alveolar recess depth and width was evaluated using both Pearson's correlation (for visualization of the linear relationship) and Spearman's rank correlation (as the primary non-parametric correlation analysis).

РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті проведеного морфометричного аналізу встановлено значну індивідуальну анатомічну варіабельність будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи. Альвеолярна бухта візуалізувалася у більшості досліджених випадків та характеризу-

RESULTS

As a result of the morphometric analysis, considerable individual anatomical variability of the maxillary sinus alveolar recess was identified. The alveolar recess was visualized in the majority of examined cases and demonstrated varying degrees of pneumatization,

валася різним ступенем вираженості пневматизації, особливостями просторової організації та варіантами взаємовідношення із зубоальвеолярними структурами верхньої щелепи (табл. 1).

spatial organization, and relationships with the dento-alveolar structures of the maxilla.

Таблиця 1. Розподіл морфологічних типів альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи
Table 1. Distribution of morphological types of the maxillary sinus alveolar recess

Морфологічний тип Morphological Type	Кількість / Number	Відсоток / Percent
	n	%
Слабо виражений / Weak	74	14,8
Помірно виражений Moderate	238	47,6
Глибокий / Deep	121	24,2
Септований / Septated	41	8,2
Асиметричний / Asymmetric	26	5,2
Усього / Total	500	100,0

Примітка:

Достовірність відмінностей між групами оцінювали при критичному рівні значущості $p < 0,05$.

Note:

Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

У табл. 1 відображено розподіл морфологічних типів альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи серед досліджених осіб. Найчастіше виявлявся помірно виражений тип, який становив 47,6% усіх спостережень. Рідше зустрічалися глибокий (24,2%), слабо виражений (14,8%), септований (8,2%) та асиметричний (5,2%) типи, що свідчить про значну морфологічну варіабельність будови альвеолярної бухти.

На рис. 2 графічно представлено розподіл морфологічних типів альвеолярної бухти. Візуальний аналіз підтверджує домінування помірно вираженого типу та значно меншу поширеність септованого й асиметричного варіантів будови.

The distribution of morphological types of the maxillary sinus alveolar recess among the examined individuals is presented in Table 1. The moderate type was the most common, accounting for 47.6% of all observations. The deep (24.2%), weakly expressed (14.8%), septated (8.2%), and asymmetrical (5.2%) types were observed less frequently, indicating substantial radiographic morphometric variability of the alveolar recess.

Figure 2 graphically illustrates the distribution of morphological types of the alveolar recess. Visual analysis confirms the predominance of the moderate type and the considerably lower prevalence of septated and asymmetrical variants.

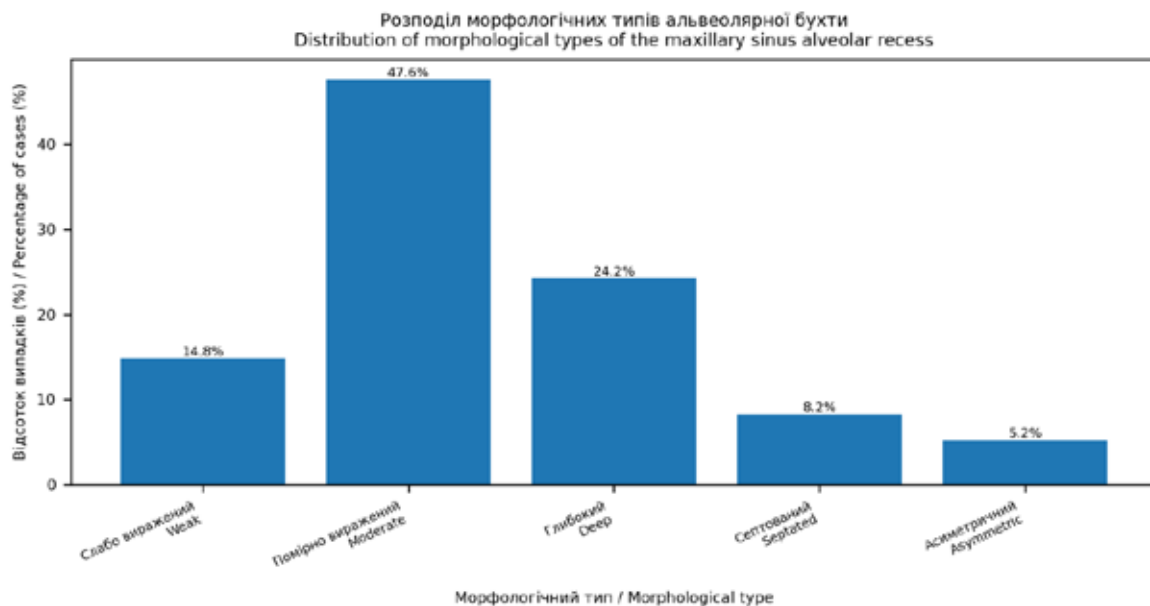


Рис. 2. Частота виявлення морфологічних типів альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи серед обстежених осіб

Fig. 2. Frequency distribution of morphological types of the maxillary sinus alveolar recess in the study population

За результатами морфологічного аналізу було виділено декілька основних варіантів будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи (рис. 3)

Based on the morphological analysis, several principal variants of the maxillary sinus alveolar recess were identified (Fig. 3).

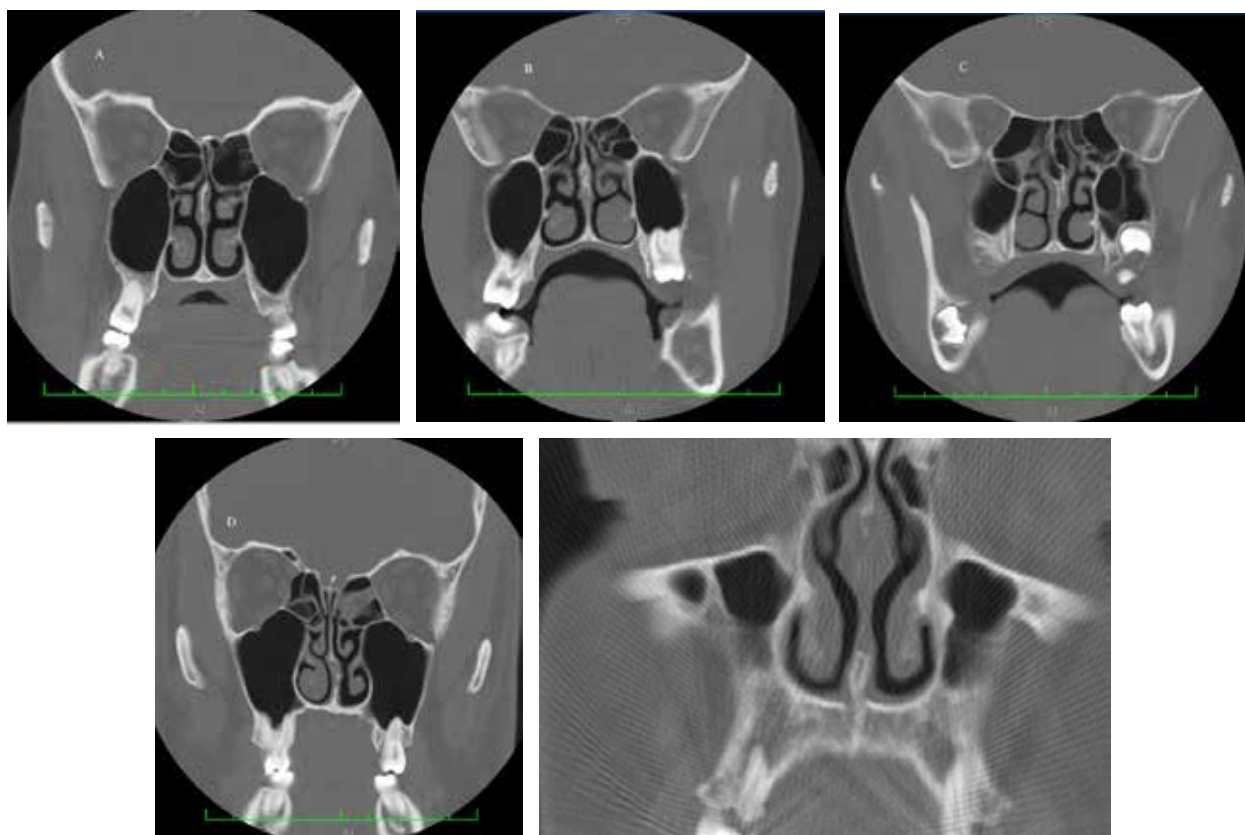


Рис. 3. Рентгеноморфометричні варіанти будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи за даними комп'ютерної томографії: А – слабо виражений тип альвеолярної бухти; В – помірно виражений тип альвеолярної бухти; С – глибокий тип альвеолярної бухти; D – асиметричний тип альвеолярної бухти; Е – септальний тип (КТ-зрізи виконано у проекції премолярно-молярної ділянки верхньої щелепи, що забезпечує оптимальну візуалізацію альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи та її взаємовідношення із зубоальвеолярними структурами)

Fig. 3. Radiographic morphometric variants of the maxillary sinus alveolar recess based on computed tomography data: A – Weak alveolar recess type; B – Moderate alveolar recess type; C – Deep alveolar recess type; D – Asymmetrical alveolar recess type; E – Septated type (CT sections were obtained in the premolar–molar region of the maxilla, providing optimal visualization of the maxillary sinus alveolar recess and its anatomical relationship with the dentoalveolar structures_

У частини досліджених осіб спостерігалася слабо виражена альвеолярна бухта із відносно рівним дном пазухи та незначним поширенням пневматизації у напрямку альвеолярного відростка. У більшості випадків визначався помірно виражений тип, при якому дно пазухи формувало чітке заглиблення між коренями премолярів та молярів. Глибокий тип альвеолярної бухти характеризувався значним нижнім поширенням пневматизації та тісним приляганням дна пазухи до верхівок коренів зубів. У низці випадків виявлялися внутрішньопазушні кісткові септи, які змінювали форму та конфігурацію альвеолярної бухти.

Морфометричний аналіз показав, що найбільш виражена пневматизація спостерігалася в ділянці перших та других молярів верхньої щелепи. При цьому в окремих випадках верхівки коренів молярів безпосередньо прилягали до дна пазухи або частково виступали у її просвіт, що супроводжувалося значним стоншенням кісткової тканини дна верхньощелепної пазухи. У ділянці премолярів альвеолярна бухта, як правило, була менш глибокою та характеризувалася більшою товщиною кісткової пластинки між кореннями зубів і порожниною пазухи.

Як видно із табл. 2, середня глибина альвеолярної бухти становила $7,90 \pm 3,00$ мм, ширина –

In some individuals, a weakly expressed alveolar recess with a relatively flat sinus floor and minimal extension of pneumatization toward the alveolar process was observed. In most cases, a moderate type was identified, characterized by a distinct depression of the sinus floor between the roots of premolars and molars. The deep type was characterized by marked inferior extension of pneumatization and close approximation of the sinus floor to the apices of the tooth roots. In several cases, intrasinus bony septa were identified, resulting in alterations of the shape and configuration of the alveolar recess.

Morphometric analysis demonstrated that the most pronounced pneumatization occurred in the region of the first and second maxillary molars. In some cases, the root apices of molars were in direct contact with the sinus floor or partially protruded into the sinus cavity, accompanied by significant thinning of the bony sinus floor. In the premolar region, the alveolar recess was generally less deep and characterized by a greater thickness of the bony plate separating the tooth roots from the sinus cavity.

As shown in Table 2, the mean depth of the alveolar recess was 7.90 ± 3.00 mm, the mean width was 18.31 ± 4.12 mm, and the mean thickness of the

18,31 ± 4,12 мм, а товщина кісткової тканини дна верхньощелепної пазухи – 2,12 ± 1,06 мм. Отримані результати свідчать про значну індивідуальну мінливість досліджуваних морфометричних параметрів.

sinus floor bone was 2.12 ± 1.06 mm. These findings indicate substantial individual variability in the evaluated morphometric parameters.

Таблиця 2. Основні морфометричні характеристики альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи
Table 2. Main morphometric characteristics of the maxillary sinus alveolar recess

Показник / Indicator	M ± SD	Мінімум Minimum	Максимум Maximum
Глибина альвеолярної бухти, мм / Alveolar recess depth, mm	7,90 ± 3,00	2,1	14,6
Ширина альвеолярної бухти, мм / Alveolar recess width, mm	18,31 ± 4,12	10,0	28,6
Товщина кісткової тканини дна пазухи, мм / Bone thickness of the maxillary sinus floor, mm	2,12 ± 1,06	0,3	5,1

На рис. 4 наведено середні значення глибини альвеолярної бухти залежно від морфологічного типу. Найбільша глибина характерна для глибокого типу, тоді як найменші значення спостерігалися при слабо вираженому типі. Це підтверджує доцільність запропонованого морфологічного поділу та його відповідність морфометричним особливостям досліджуваної структури.

Figure 4 presents the mean depth values of the alveolar recess according to morphological type. The greatest depth was observed in the deep type, whereas the lowest values were recorded in the weakly expressed type. These findings support the validity of the proposed Radiographic morphometric classification and its correspondence to the morphometric characteristics of the studied structure.

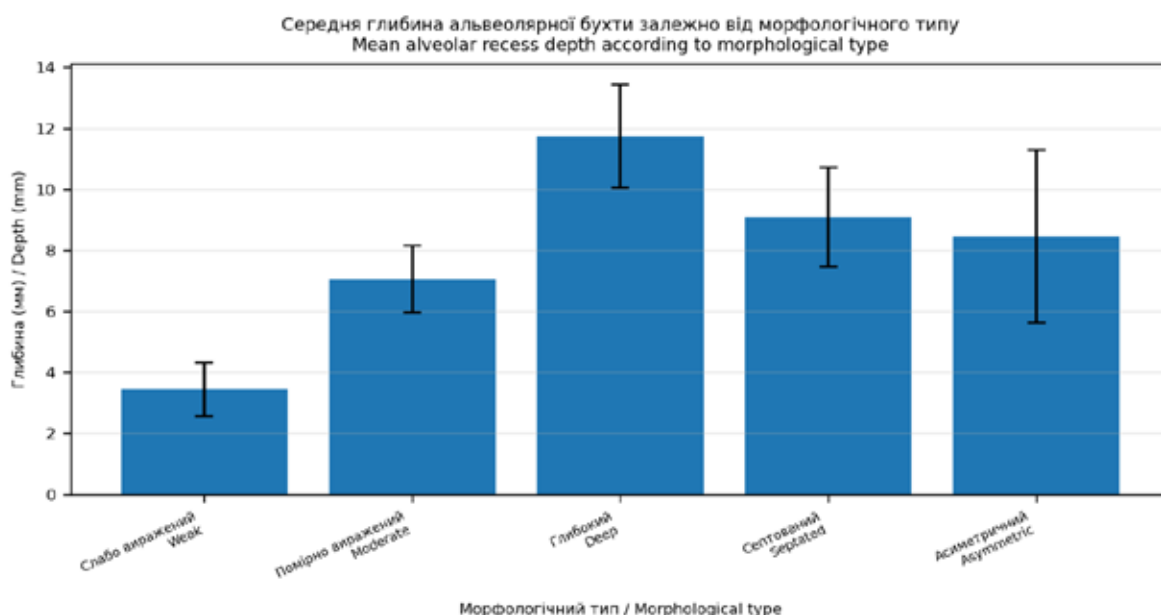


Рис. 4. Середні значення глибини альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи залежно від морфологічного типу (M ± SD)
Fig. 4. Mean values of maxillary sinus alveolar recess depth according to morphological type (M ± SD)

Під час аналізу симетричності будови встановлено, що у значній кількості досліджених осіб форма та глибина альвеолярної бухти правої та лівої верхньощелепних пазух відрізнялися. Асиметрія проявлялася різним ступенем пневматизації, неоднаковою глибиною альвеолярного випинання та варіабельністю взаємовідношень із коренями зубів.

Проведене тривимірне моделювання дозволило деталізувати просторову організацію альвеолярної бухти та візуалізувати індивідуальні рентгеноморфометричні варіанти її будови. Використання 3D-реконструкції дало можливість більш точно оцінити особливості пневматизації верхньощелепної пазухи, наявність септ та характер взаємовідношень альвеолярної бухти із зубоальвеолярними структурами.

Analysis of bilateral symmetry demonstrated that, in a considerable proportion of individuals, the shape and depth of the alveolar recess differed between the right and left maxillary sinuses. The observed asymmetry was manifested by differences in the degree of pneumatization, the depth of alveolar extension, and the anatomical relationships with the roots of the maxillary teeth.

Three-dimensional modeling enabled detailed assessment of the spatial organization of the alveolar recess and visualization of individual morphological variants. The use of 3D reconstruction provided more accurate evaluation of maxillary sinus pneumatization, the presence of septa, and the relationships between the alveolar recess and dentoalveolar structures.

The obtained results demonstrate considerable individual variability in the morphology of the maxillary

Отримані результати свідчать про значну індивідуальну мінливість будови альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи та підтверджують її важливе значення у формуванні топографо-анатомічних взаємовідношень між верхньощелепною пазухою та зубощелепним апаратом верхньої щелепи.

У табл. 3 наведено морфометричні характеристики альвеолярної бухти залежно від морфологічного типу. Найбільші значення глибини та ширини були характерні для глибокого типу альвеолярної бухти (11,74 мм та 23,35 мм відповідно), тоді як мінімальні показники спостерігалися при слабо вираженому типі (3,44 мм та 12,76 мм відповідно). Водночас товщина кісткової тканини дна пазухи мала зворотну тенденцію та була найбільшою при слабо вираженому типі (3,79 мм) і найменшою при глибокому типі (0,92 мм).

sinus alveolar recess and confirm its important role in the formation of topographic and anatomical relationships between the maxillary sinus and the dentoalveolar complex of the maxilla.

Table 3 presents the morphometric characteristics of the alveolar recess according to morphological type. The greatest depth and width values were observed in the deep type (11.74 mm and 23.35 mm, respectively), whereas the lowest values were recorded in the weakly expressed type (3.44 mm and 12.76 mm, respectively). Conversely, the thickness of the sinus floor bone demonstrated the opposite trend, being greatest in the weakly expressed type (3.79 mm) and lowest in the deep type (0.92 mm).

Таблиця 3. Морфометричні характеристики альвеолярної бухти залежно від морфологічного типу
Table 3. Morphometric parameters of the maxillary sinus alveolar recess according to morphological type

Морфологічний тип / Morphological type	Глибина / Depth	Ширина / Width	Товщина кісткової тканини / Bone thickness
	мм / mm	мм / mm	мм / mm
Слабо виражений / Weak	3,44 ±0,55	12,76 ±3,2	3,79 ±0,33
Помірно виражений / Moderate	7,06 ±1,91	17,24 ±2,8	2,27 ±0,64
Глибокий / Deep	11,74 ±2,3	23,35 ±4,3	0,92 ±0,12
Септований / Septated	9,09 ±1,1	19,76 ±5,1	1,73 ±0,35
Асиметричний / Asymmetric	8,47 ±2,11	18,21 ±3,1	2,24 ±1,1

Примітки:

розподіл усіх кількісних показників відрізнявся від нормального (критерій Шапіро–Уїлка, $p < 0,001$). Для порівняння морфологічних типів застосовано критерій Краскела–Уолліса ($H = 398,32$; $p < 0,001$). Кореляційний аналіз продемонстрував сильний позитивний зв'язок між глибиною та шириною альвеолярної бухти (Pearson: $r = 0,744$; $R^2 = 0,501$; $p < 0,001$; Spearman: $\rho = 0,752$; $p < 0,001$).

Notes:

the distribution of all continuous variables significantly deviated from normality according to the Shapiro–Wilk test (all $p < 0.001$). Differences among morphological types were assessed using the Kruskal–Wallis test ($H = 398.32$, $p < 0.001$). Correlation analysis demonstrated a strong positive association between alveolar recess depth and width (Pearson: $r = 0.744$, $R^2 = 0.501$, $p < 0.001$; Spearman: $\rho = 0.752$, $p < 0.001$).

Кореляційний аналіз за Пірсоном продемонстрував сильний лінійний взаємозв'язок між глибиною та шириною альвеолярної бухти ($r = 0,744$; $R^2 = 0,501$; $p < 0,001$). Отримані результати були підтверджені кореляційним аналізом за Спірменом ($\rho = 0,752$; $p < 0,001$), що свідчить про сильний позитивний монотонний зв'язок між досліджуваними морфометричними параметрами (рис. 5).

Виявлено статистично значущі відмінності глибини альвеолярної бухти між п'ятьма морфологічними типами (критерій Краскела–Уолліса: $H = 398,3$; $p < 0,001$). Попарний post hoc аналіз продемонстрував статистично значущі відмінності майже між усіма групами, тоді як між септованим та асиметричним морфологічними типами статистично значущих відмінностей не виявлено ($p = 0,378$).

Pearson correlation analysis demonstrated a strong linear relationship between alveolar recess depth and width ($r = 0.744$, $R^2 = 0.501$, $p < 0.001$). This relationship was confirmed by Spearman rank correlation analysis ($\rho = 0.752$, $p < 0.001$), indicating a strong positive monotonic association between the two morphometric parameters.

A statistically significant difference in alveolar recess depth among the five morphological types was observed (Kruskal–Wallis $H = 398.3$, $p < 0.001$). Pairwise post hoc analysis demonstrated significant differences between almost all groups, whereas no statistically significant difference was found between the septated and asymmetric types ($p = 0.378$).

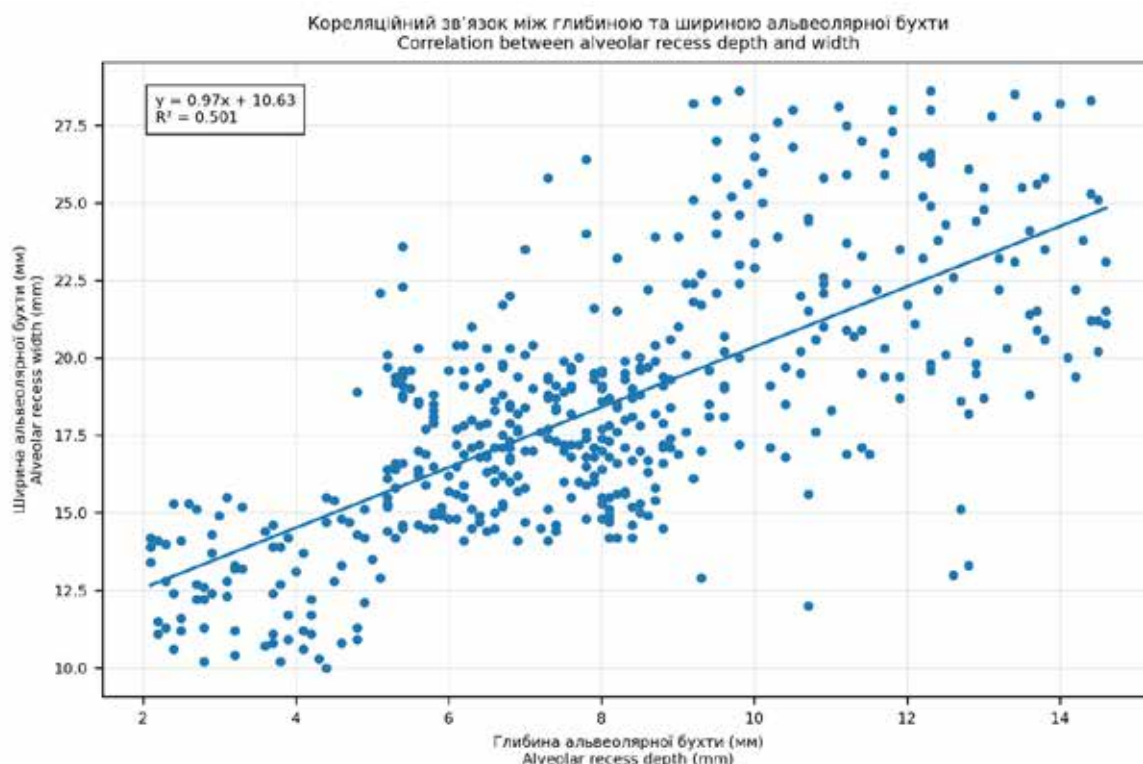


Рис. 5. Кореляційний зв'язок між глибиною та шириною альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи
Fig. 5. Correlation between the depth and width of the maxillary sinus alveolar recess

ОБГОВОРЕННЯ

Результати дослідження підтверджують значну морфологічну варіабельність альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи та свідчать про її важливу роль у формуванні топографо-анатомічних взаємовідношень між верхньощелепною пазухою та зубо-альвеолярним апаратом верхньої щелепи. Отримані рентгеноморфометричні варіанти мають різне потенційне клінічне значення. Глибокий тип альвеолярної бухти характеризувався мінімальною товщиною кісткової тканини та найбільш тісним розташуванням коренів зубів, що потенційно може ускладнювати виконання імплантації та синус-ліфтингу. Наявність септованого типу також слід враховувати при плануванні оперативних втручань у зв'язку з можливими технічними труднощами.

Встановлено, що найбільш поширеним морфологічним варіантом є помірно виражений тип альвеолярної бухти, тоді як септований та асиметричний типи зустрічаються значно рідше. Отримані дані свідчать про переважання фізіологічних варіантів пневматизації верхньощелепної пазухи при збереженні значного рівня індивідуальної анатомічної мінливості.

Проведене дослідження є логічним продовженням наших попередніх робіт, присвячених аналізу взаємовідношень між верхньощелепною пазухою та зубами верхньої щелепи [15, 16]. Якщо раніше основна увага приділялася оцінці відстаней між верхівками коренів зубів і дном пазухи та вивченню їх клінічного значення, то в даному дослідженні було суттєво збільшено вибірку спостережень, розширено перелік морфометричних параметрів та вперше

DISCUSSION

The obtained results confirm the considerable morphological variability of the maxillary sinus alveolar recess and demonstrate its important role in the formation of topographic and anatomical relationships between the maxillary sinus and the dentoalveolar structures of the upper jaw. The identified radiographic morphometric variants may have different clinical implications. The deep alveolar recess type was characterized by the smallest thickness of the sinus floor bone and the closest anatomical relationship to the roots of the maxillary teeth, which may increase the technical complexity of dental implantation and maxillary sinus floor elevation procedures. Likewise, the septated type should be taken into account during surgical planning because the presence of intrasinus septa may complicate surgical access and increase the risk of intraoperative complications.

The moderate type of alveolar recess was found to be the most common morphological variant, whereas the septated and asymmetrical types were observed considerably less frequently. These findings indicate the predominance of physiological patterns of maxillary sinus pneumatization while maintaining a substantial degree of individual anatomical variability.

The present study represents a logical continuation of our previous investigations focused on the relationships between the maxillary sinus and the maxillary dentition [15, 16]. While earlier studies primarily assessed the distances between tooth root apices and the sinus floor and evaluated their clinical significance, the current investigation substantially increased the sample size, expanded the range of morphometric parameters, and,

проведено комплексну типізацію альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи. Це дозволило розглядати альвеолярну бухту не лише як частину дна пазухи, а як окрему анатомічну структуру зі специфічними морфологічними та морфометричними особливостями.

Виявлене домінування помірно вираженого типу альвеолярної бухти узгоджується з результатами досліджень Shahidi та співавт., які продемонстрували значну різноманітність анатомічних варіантів верхньощелепної пазухи за даними конусно-променевої комп'ютерної томографії та підкреслили необхідність індивідуальної оцінки будови синуса перед стоматологічними втручаннями [17]. Подібні висновки були отримані також Lin та співавт., які запропонували класифікацію контурів верхньощелепної пазухи та показали, що морфологічні особливості синуса мають безпосереднє клінічне значення під час планування хірургічних процедур [18].

З клінічної точки зору запропонована морфологічна класифікація може використовуватися як допоміжний інструмент стандартизованого опису анатомічних особливостей верхньощелепної пазухи під час аналізу КТ. Це може полегшити комунікацію між лікарями-рентгенологами, стоматологами, щелепно-лицевими хірургами та оториноларингологами.

Особливий інтерес становлять результати морфометричного аналізу. Встановлено, що найбільші значення глибини та ширини характерні для глибокого типу альвеолярної бухти, тоді як при слабо вираженому типі спостерігаються мінімальні показники зазначених параметрів. Подібні висновки наведені і в сучасному огляді Tashkandi та співавт., які підкреслюють, що індивідуальні анатомічні особливості верхньощелепної пазухи повинні обов'язково враховуватися при виборі методики синус-ліфтингу та плануванні імплантації [19]. Водночас товщина кісткової тканини дна пазухи демонструє протилежну тенденцію та зменшується зі збільшенням глибини бухти. Отримані результати узгоджуються із сучасними уявленнями про процеси пневматизації верхньощелепної пазухи та підтверджують, що ступінь розвитку альвеолярного рецесусу безпосередньо впливає на анатомічні взаємовідношення із зубоальвеолярними структурами [20].

Таким чином, найбільше значення з практичної точки зору становить глибокий морфологічний тип, оскільки саме він характеризувався мінімальною товщиною кісткової тканини дна пазухи. Подібні анатомічні особливості можуть підвищувати ризик перфорації мембрани Шнайдера при синус-ліфтингу, а також збільшувати ймовірність одонтогенного поширення інфекції.

Результати дослідження також підтверджують дані Estrela та співавт. [21] і Ilescu та співавт. [22], які встановили тісний взаємозв'язок між ступенем пневматизації верхньощелепної пазухи та близькістю верхівок коренів премолярів і молярів до її дна. У нашому дослідженні найбільш виражені зміни спостерігалися саме при глибокому типі альвеолярної бухти, коли відзначалося максимальне наближення пазухи до зубоальвеолярного комплексу. Такі анатомічні особливості можуть створювати передумови для поширення одонтогенних інфекцій, формування одонтогенних риносинуситів та розвитку післяопераційних ускладнень.

for the first time, performed a comprehensive classification of the maxillary sinus alveolar recess. This approach allowed the alveolar recess to be considered not merely as a component of the sinus floor but as a distinct anatomical structure with specific morphological and morphometric characteristics.

The predominance of the moderate alveolar recess type is consistent with the findings of Shahidi et al., who demonstrated considerable diversity in the anatomical variations of the maxillary sinus using cone-beam computed tomography and emphasized the importance of individualized assessment of sinus anatomy before dental procedures [17]. Similar conclusions were reported by Lin et al., who proposed a classification of maxillary sinus contours and demonstrated the clinical significance of sinus morphological variations in surgical planning [18].

From a clinical perspective, the proposed radiographic morphometric classification may serve as an auxiliary tool for the standardized description of maxillary sinus anatomy on computed tomography. Its implementation may facilitate communication among radiologists, dentists, maxillofacial surgeons, and otorhinolaryngologists during diagnostic evaluation and treatment planning.

Particular interest is associated with the morphometric findings. The greatest depth and width values were observed in the deep alveolar recess type, whereas the lowest values were recorded in the weakly expressed type. These findings are consistent with the recent review by Tashkandi et al., who emphasized that individual anatomical characteristics of the maxillary sinus should always be considered when selecting the appropriate sinus floor elevation technique and planning dental implantation [19]. In contrast, the thickness of the sinus floor bone showed an opposite tendency, decreasing with increasing recess depth. These findings are consistent with current concepts of maxillary sinus pneumatization and confirm that the degree of alveolar recess development directly influences its anatomical relationships with dentoalveolar structures [20].

From a practical standpoint, the deep morphological type appears to be the most clinically relevant because it is associated with the smallest thickness of the maxillary sinus floor bone. Such anatomical characteristics may increase the risk of Schneiderian membrane perforation during sinus floor elevation procedures and facilitate the spread of odontogenic infections into the maxillary sinus.

The results of the present study also support the observations of Estrela et al. [21] and Ilescu et al. [22], who demonstrated a close relationship between the degree of maxillary sinus pneumatization and the proximity of premolar and molar root apices to the sinus floor. In our study, the most pronounced anatomical changes were observed in the deep alveolar recess type, where the sinus showed the closest approximation to the dentoalveolar complex. Such anatomical characteristics may facilitate the spread of odontogenic infections, contribute to the development of odontogenic rhinosinusitis, and increase the risk of postoperative complications.

The positive correlation identified between alveolar recess depth and width indicates the interdependence of the processes responsible for its spatial

Виявлена позитивна кореляція між глибиною та шириною альвеолярної бухти свідчить про взаємопов'язаність процесів формування її просторової організації. Збільшення одного параметра супроводжується зростанням іншого, що може бути наслідком спільних механізмів розвитку та пневматизації верхньощелепної пазухи. Наскільки нам відомо, подібна кількісна оцінка взаємозв'язку між основними параметрами альвеолярної бухти раніше практично не висвітлювалася у спеціалізованій літературі. Встановлене зменшення товщини кісткової тканини при глибокому типі альвеолярної бухти має важливе практичне значення, оскільки товщина кісткових стінок верхньощелепної пазухи є одним із чинників, що враховуються під час планування латерального доступу при синус-ліфтингу. Хоча у даному дослідженні не аналізувалися результати оперативних втручань, отримані морфометричні дані можуть бути використані під час передопераційної оцінки анатомічних особливостей верхньощелепної пазухи.

Окремої уваги заслуговують випадки септованого типу альвеолярної бухти. Наявність внутрішньопазушних септ розглядається як один із найбільш значущих факторів, що ускладнюють виконання синус-ліфтингу та інших реконструктивних втручань у ділянці верхньощелепної пазухи [23]. Подібні висновки наводяться у роботах Bernardi та співавт. [24], а також Aldahlawi та співавт. [25], які відзначали суттєвий вплив септ на складність хірургічного доступу та ризик перфорації мембрани Шнайдера. Аналогічні висновки наведені Vinci та співавт., які у сучасному огляді показали, що наявність внутрішньопазушних септ, виражена пневматизація та інші анатомічні особливості верхньощелепної пазухи належать до основних чинників, які підвищують ризик інтраопераційних ускладнень, насамперед перфорації мембрани Шнайдера [26]. Виявлення таких варіантів будови на доопераційному етапі має важливе практичне значення для вибору оптимальної хірургічної тактики.

Водночас хочемо зазначити, що представлена у ході дослідження класифікація не претендує на заміну існуючих клінічних алгоритмів планування імплантації, однак може використовуватися як додатковий морфологічний критерій оцінки анатомічних особливостей верхньощелепної пазухи.

Клінічна значущість отриманих результатів підтверджується також даними систематичних оглядів Shah та співавт. і Kim та співавт. [27, 28], які показали, що анатомічні особливості верхньощелепної пазухи є одним із ключових чинників успішності дентальної імплантації та розвитку післяопераційних ускладнень. Рентгеноморфометричні варіанти альвеолярної бухти, встановлені у даному дослідженні, можуть бути використані як додатковий критерій під час передопераційного планування імплантації, синус-ліфтингу та ендоскопічних втручань. Дані, отримані інструментальними методами дослідження, суттєво впливають на успіх лікування [29, 30], особливо патологічних процесів ротової порожнини з їх широким різновидом [31].

Таким чином, результати дослідження свідчать, що альвеолярна бухта верхньощелепної пазухи є самостійною анатомічною структурою зі значною

development. An increase in one parameter was accompanied by an increase in the other, which may reflect common developmental and pneumatization mechanisms of the maxillary sinus. To the best of our knowledge, a quantitative assessment of the relationship between the principal morphometric parameters of the alveolar recess has rarely been addressed in the available literature. The observed reduction in sinus floor bone thickness in the deep morphological type is also clinically relevant because the thickness of the bony sinus walls represents one of the anatomical factors considered during planning of the lateral window approach for sinus floor elevation. Although surgical outcomes were not evaluated in the present study, the obtained morphometric data may contribute to more accurate preoperative assessment of individual anatomical characteristics.

Special attention should be paid to cases of the septated alveolar recess type. The presence of intrasinus septa is considered one of the most significant factors complicating sinus floor elevation procedures and other reconstructive interventions involving the maxillary sinus [23]. Similar conclusions were reported by Bernardi et al. [24] and Aldahlawi et al. [25], who emphasized the substantial influence of septa on surgical complexity and the risk of Schneiderian membrane perforation [26]. Identification of such anatomical variants during preoperative assessment is of considerable practical importance for selecting the optimal surgical strategy.

Comparable conclusions were reported by Vinci et al., who demonstrated that intrasinus septa, extensive sinus pneumatization, and other anatomical characteristics of the maxillary sinus are among the principal factors associated with an increased risk of intraoperative complications, particularly Schneiderian membrane perforation. Therefore, identification of these anatomical variants during preoperative imaging is of considerable practical importance for selecting the optimal surgical approach.

It should be emphasized that the proposed classification is not intended to replace existing clinical algorithms for implant treatment planning. Rather, it should be considered an additional morphological criterion that may complement radiological assessment of the maxillary sinus and improve individualized preoperative planning.

The clinical significance of the present findings is further supported by the systematic reviews of Shah et al. and Kim et al. [27, 28], which demonstrated that anatomical characteristics of the maxillary sinus represent one of the key determinants of successful dental implantation and the occurrence of postoperative complications. The radiographic morphometric variants of the alveolar recess identified in this study may therefore serve as additional criteria during preoperative planning of dental implantation, sinus floor augmentation, and endoscopic procedures. Data obtained by instrumental research methods significantly affect the success of treatment [29, 30], especially pathological processes of the oral cavity with their wide variety [31].

Thus, the results of this study indicate that the maxillary sinus alveolar recess represents an independent anatomical structure characterized by considerable morphological and morphometric variability.

морфологічною та морфометричною мінливістю. Запропонована класифікація та отримані кількісні характеристики поглиблюють сучасні уявлення про анатомію нижніх відділів верхньощелепної пазухи та можуть бути використані для удосконалення діагностики, передопераційного планування і профілактики одонтогенних ускладнень.

The proposed classification and the obtained quantitative data contribute to a more comprehensive understanding of the anatomy of the inferior portions of the maxillary sinus and may be useful for improving diagnostic procedures, preoperative planning, and the prevention of odontogenic complications.

ВИСНОВКИ

Мультиспіральна комп'ютерна томографія продемонструвала значну рентгеноморфометричну варіабельність альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи. Найбільш поширеним виявився помірно виражений тип (47,6%), тоді як глибокий, слабо виражений, септований та асиметричний типи зустрічалися рідше.

Середні морфометричні показники альвеолярної бухти становили: глибина – $7,90 \pm 3,00$ мм, ширина – $18,31 \pm 4,12$ мм, товщина кісткової тканини дна верхньощелепної пазухи – $2,12 \pm 1,06$ мм. Отримані дані свідчать про значну індивідуальну мінливість досліджуваних параметрів.

Найбільші значення глибини та ширини характерні для глибокого морфологічного типу альвеолярної бухти, тоді як слабо виражений тип характеризується найменшими морфометричними показниками. При збільшенні глибини бухти спостерігається тенденція до зменшення товщини кісткової тканини дна пазухи.

Встановлено позитивний кореляційний зв'язок між глибиною та шириною альвеолярної бухти, що свідчить про взаємопов'язаність процесів формування її просторової організації та пневматизації верхньощелепної пазухи.

Використання мультиспіральної комп'ютерної томографії у поєднанні з тривимірною реконструкцією дозволяє детально оцінювати морфологічні особливості альвеолярної бухти, виявляти індивідуальні анатомічні варіанти її будови та підвищувати ефективність передопераційного планування стоматологічних, оториноларингологічних і щелепно-лицевих втручань.

Запропонована рентгеноморфометрична класифікація альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи може бути використана для стандартизації опису її анатомічних варіантів та подальших морфометричних і клінічних досліджень.

CONCLUSIONS

Multislice computed tomography demonstrated substantial radiographic morphometric variability of the maxillary sinus alveolar recess. The moderate type was the most prevalent (47.6%), whereas the deep, weakly expressed, septated, and asymmetrical types were less frequent.

The mean morphometric parameters of the alveolar recess were as follows: depth – 7.90 ± 3.00 mm, width – 18.31 ± 4.12 mm, and maxillary sinus floor bone thickness – 2.12 ± 1.06 mm. These findings indicate substantial individual variability of the studied parameters.

The greatest depth and width values were observed in the deep morphological type, whereas the weakly expressed type demonstrated the smallest morphometric measurements. Increasing alveolar recess depth was associated with a tendency toward reduced sinus floor bone thickness.

A positive correlation was identified between alveolar recess depth and width, indicating an interrelationship between the processes of spatial development of the alveolar recess and maxillary sinus pneumatization.

The use of multislice computed tomography combined with three-dimensional reconstruction enables detailed assessment of alveolar recess morphology, identification of individual anatomical variants, and improvement of preoperative planning in dentistry, otorhinolaryngology, and maxillofacial surgery.

The proposed radiographic morphometric classification of the maxillary sinus alveolar recess may be useful for standardizing the description of its anatomical variants and for future morphometric and clinical investigations.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ciftci R., Tasdemir R., Cihan Ö.F. Anatomical Evaluation of the Alveolar Antral Artery in the Turkish Population: A Cone-Beam Computed Tomography Study. *Cureus*. 2023. Vol. 15, № 8. P. e44163. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.44163>
2. Iwanaga J., Wilson C., Lachkar S., Tomaszewski K.A., Walocha J.A., Tubbs R.S. Clinical anatomy of the maxillary sinus: application to sinus floor augmentation. *Anatomy & Cell Biology*. 2019. Vol. 52, № 1. P. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.5115/acb.2019.52.1.17>
3. Sarilita E., Muhammad R.M., Nugraha H.G., Murniati N., Yusuf H.Y., Takeshita Y., et al. Anatomical relationship between maxillary posterior teeth and the maxillary sinus in an Indonesian population: a CT scan study. *BMC Oral Health*. 2024. Vol. 24, № 1. P. 1014. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04783-9>
4. Madi M. Maxillary sinus morphometry and root-sinus proximity in the posterior maxilla: a CBCT study. *The Saudi Dental Journal*. 2026. Vol. 38, № 6. P. 81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44445-026-00198-0>

REFERENCES

1. Ciftci R., Tasdemir R., Cihan Ö.F. Anatomical Evaluation of the Alveolar Antral Artery in the Turkish Population: A Cone-Beam Computed Tomography Study. *Cureus*. 2023;15(8):e44163. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.44163>
2. Iwanaga J, Wilson C, Lachkar S, Tomaszewski KA, Walocha JA, Tubbs RS. Clinical anatomy of the maxillary sinus: application to sinus floor augmentation. *Anatomy & Cell Biology*. 2019;52(1):17–24. DOI: <https://doi.org/10.5115/acb.2019.52.1.17>
3. Sarilita E, Muhammad RM, Nugraha HG, Murniati N, Yusuf HY, Takeshita Y, et al. Anatomical relationship between maxillary posterior teeth and the maxillary sinus in an Indonesian population: a CT scan study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1014. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04783-9>
4. Madi M. Maxillary sinus morphometry and root-sinus proximity in the posterior maxilla: a CBCT study. *The Saudi Dental Journal*. 2026;38(6):81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44445-026-00198-0>

5. Şeker B.K., Orhan K., Şeker E., Ustaoglu G., Ozan O., Bağış N. Cone Beam CT Evaluation of Maxillary Sinus Floor and Alveolar Crest Anatomy for the Safe Placement of Implants. *Current Medical Imaging*. 2020. Vol. 16, № 7. P. 913–920. DOI: <https://doi.org/10.2174/1573405615666191212105745>
6. Zhang Q., Guo S., Li Y., Li Z., Wang D., Zhang K. Analysis of risk indicators for implant failure in patients with chronic periodontitis. *BMC Oral Health*. 2024. Vol. 24, № 1. P. 1051. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04806-5>
7. Zhang Q., Guo S., Li Y., Li Z., Wang D., Zhang K. Analysis of risk indicators for implant failure in patients with chronic periodontitis. *BMC Oral Health*. 2024. Vol. 24, № 1. P. 1051. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04806-5>
8. Madfa A.A., Alshammari A.F., Alenezi Y.E., Alshammari B.B., Al-Haddad A., Aledaili E.A., et al. Comprehensive analysis of maxillary sinus anatomical features and associated characteristics: a CBCT-based study in a Saudi subpopulation. *BMC Oral Health*. 2025. Vol. 25, № 1. P. 1755. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07152-2>
9. Calciolari E., Corbella S., Gkraniias N., Viganó M., Sculean A., Donos N. Efficacy of biomaterials for lateral bone augmentation performed with guided bone regeneration. A network meta-analysis. *Periodontology* 2000. 2023. Vol. 93, № 1. P. 77–106. DOI: <https://doi.org/10.1111/prd.12531>
10. Alshammari A.F., Madfa A.A. CBCT assessment of maxillary sinus dimensions in a Saudi subpopulation: a retrospective study. *Annals of Medicine*. 2026. Vol. 58, № 1. P. 2617721. DOI: <https://doi.org/10.1080/07853890.2026.2617721>
11. Kemcha N., Andrés-Veiga M., Hurtado-Celotti D., Meniz-García C., Beca-Campoy T., Martínez-Rodríguez N. Diagnostic Assessment of Maxillary Sinus Membrane Thickening Associated with Dental Implant Perforation Using Cone-Beam Computed Tomography: A Retrospective Cross-Sectional Pilot Study. *Diagnostics*. 2025. Vol. 15, № 21. P. 2809. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15212809>
12. Aranha Neto I.S., Cruz W.H.S., Ribeiro I.C., Oliveira Coutinho D.C., Ladeira Vidigal B.C., Carmelo J.C., et al. Morphometric study of incisive canal and its anatomic variations in Brazilian individuals. *Cranio: The Journal of Craniomandibular Practice*. 2024. Vol. 42, № 1. P. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.1080/08869634.2021.1887610>
13. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J.C., Pujol S., et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging*. 2012. Vol. 30, № 9. P. 1323–1341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
14. Bauknecht H.C., Jach C., Bohner G., Meyer H., Scheurig C., Siebert E., et al. Impact of image noise levels, scout scan dose and lens shield on image quality and radiation exposure in z-axis dose-modulated neck MSCT on 16- and 64-slice Toshiba Aquilion scanners. *European Journal of Radiology*. 2010. Vol. 73, № 2. P. 439–443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.11.015>
15. Бур'ян О., Кудрявцева Т., Гарбар К., Остапчук К., Алексеева В., Целух В. Анатомічні особливості та біологічне значення взаємодій між бічною групою зубів верхньої щелепи та верхньощелепною пазухою. *Харківський стоматологічний журнал*. 2025. Т. 2, № 4(6). С. 643–656. DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2025-6-10>
16. Калашник-Вакулєнко Ю., Побережний Г., Сухина І., Котелевець Я., Алексеева В. Морфометричні особливості взаємозв'язку коренів зубів із верхньощелепною пазухою. *Харківський стоматологічний журнал*. 2025. Т. 2, № 3(5). С. 390–401. DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2025-5-10>
17. Shahidi S., Zamiri B., Momeni Danaei S., Salehi S., Hamedani S. Evaluation of Anatomic Variations in Maxillary Sinus with the Aid of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in a Population in South of Iran. *Journal of Dentistry*. 2016. Vol. 17, № 1. P. 7–15.
18. Lin X., Li S., Zheng X., Que G. Comprehensive sinus contour classification and its characteristics from radiographic examination: a cross-sectional study. *BMC Oral Health*. 2024. Vol. 24, № 1. P. 1021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04707-7>
19. Tashkandi M. Maxillary sinus floor elevation procedure: a narrative review of sinus anatomy and different elevation approaches. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation*. 2025. Vol. 17, № 2. P. 248–258. DOI: <https://doi.org/10.62610/RJOR.2025.2.17.42>
20. Lyu M., Xu D., Zhang X., Yuan Q. Maxillary sinus floor augmentation: a review of current evidence on anatomical factors and a decision tree. *International Journal of Oral Science*. 2023. Vol. 15, № 1. P. 41. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00248-x>
21. Estrela C., Nunes C.A., Guedes O.A., Alencar A.H., Estrela C.R., Silva R.G., et al. Study of Anatomical Relationship between Posterior Teeth and Maxillary Sinus Floor in a Subpopulation of the Brazilian Central Region Using Cone-Beam Computed Tomography – Part 2. *Brazilian Dental Journal*. 2016. Vol. 27, № 1. P. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600679>
22. Iliescu V.I., Nimigean V.R., Preoteasa C.T., Georgescu L., Nimigean V. Evaluation of the Proximity of the Maxillary Teeth Root Apices to the Maxillary Sinus Floor in Romanian Subjects: A Cone-Beam Computed Tomography Study. *Diagnostics*. 2025. Vol. 15, № 14. P. 1741. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15141741>
5. Şeker BK, Orhan K, Şeker E, Ustaoglu G, Ozan O, Bağış N. Cone Beam CT Evaluation of Maxillary Sinus Floor and Alveolar Crest Anatomy for the Safe Placement of Implants. *Current Medical Imaging*. 2020;16(7):913–20. DOI: <https://doi.org/10.2174/1573405615666191212105745>
6. Zhang Q, Guo S, Li Y, Li Z, Wang D, Zhang K. Analysis of risk indicators for implant failure in patients with chronic periodontitis. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1051. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04806-5>
7. Zhang Q, Guo S, Li Y, Li Z, Wang D, Zhang K. Analysis of risk indicators for implant failure in patients with chronic periodontitis. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1051. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04806-5>
8. Madfa AA, Alshammari AF, Alenezi YE, Alshammari BB, Al-Haddad A, Aledaili EA, et al. Comprehensive analysis of maxillary sinus anatomical features and associated characteristics: a CBCT-based study in a Saudi subpopulation. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):1755. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07152-2>
9. Calciolari E, Corbella S, Gkraniias N, Viganó M, Sculean A, Donos N. Efficacy of biomaterials for lateral bone augmentation performed with guided bone regeneration. A network meta-analysis. *Periodontology* 2000. 2023;93(1):77–106. DOI: <https://doi.org/10.1111/prd.12531>
10. Alshammari AF, Madfa AA. CBCT assessment of maxillary sinus dimensions in a Saudi subpopulation: a retrospective study. *Annals of Medicine*. 2026;58(1):2617721. DOI: <https://doi.org/10.1080/07853890.2026.2617721>
11. Kemcha N, Andrés-Veiga M, Hurtado-Celotti D, Meniz-García C, Beca-Campoy T, Martínez-Rodríguez N. Diagnostic Assessment of Maxillary Sinus Membrane Thickening Associated with Dental Implant Perforation Using Cone-Beam Computed Tomography: A Retrospective Cross-Sectional Pilot Study. *Diagnostics*. 2025;15(21):2809. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15212809>
12. Aranha Neto IS, Cruz WHS, Ribeiro IC, Oliveira Coutinho DC, Ladeira Vidigal BC, Carmelo JC, et al. Morphometric study of incisive canal and its anatomic variations in Brazilian individuals. *Cranio: The Journal of Craniomandibular Practice*. 2024;42(1):94–101. DOI: <https://doi.org/10.1080/08869634.2021.1887610>
13. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging*. 2012;30(9):1323–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
14. Bauknecht HC, Jach C, Bohner G, Meyer H, Scheurig C, Siebert E, et al. Impact of image noise levels, scout scan dose and lens shield on image quality and radiation exposure in z-axis dose-modulated neck MSCT on 16- and 64-slice Toshiba Aquilion scanners. *European Journal of Radiology*. 2010;73(2):439–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.11.015>
15. Burian O, Kudriavtseva T, Harbar K, Ostapchuk K, Aliksieieva V, Tselukh V. Anatomical characteristics and biological significance of the relationships between posterior maxillary teeth and the maxillary sinus. *Kharkiv Dental Journal*. 2025;2(4):643–56. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2025-6-10>
16. Kalashnyk-Vakulenko Yu, Poberezhnyk H, Sukhina I, Kotelevets Ya, Aliksieieva V. Morphometric features of the relationships between tooth roots and the maxillary sinus. *Kharkiv Dental Journal*. 2025;2(3):390–401. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2025-5-10>
17. Shahidi S, Zamiri B, Momeni Danaei S, Salehi S, Hamedani S. Evaluation of Anatomic Variations in Maxillary Sinus with the Aid of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in a Population in South of Iran. *Journal of Dentistry*. 2016;17(1):7–15.
18. Lin X, Li S, Zheng X, Que G. Comprehensive sinus contour classification and its characteristics from radiographic examination: a cross-sectional study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04707-7>
19. Tashkandi M. Maxillary sinus floor elevation procedure: a narrative review of sinus anatomy and different elevation approaches. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation*. 2025;17(2):248–58. DOI: <https://doi.org/10.62610/RJOR.2025.2.17.42>
20. Lyu M, Xu D, Zhang X, Yuan Q. Maxillary sinus floor augmentation: a review of current evidence on anatomical factors and a decision tree. *International Journal of Oral Science*. 2023;15(1):41. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00248-x>
21. Estrela C, Nunes CA, Guedes OA, Alencar AH, Estrela CR, Silva RG, et al. Study of anatomical relationship between posterior teeth and maxillary sinus floor in a subpopulation of the Brazilian Central Region using cone-beam computed tomography - Part 2. *Brazilian Dental Journal*. 2016;27(1):9–15. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600679>
22. Iliescu VI, Nimigean VR, Preoteasa CT, Georgescu L, Nimigean V. Evaluation of the proximity of the maxillary teeth root apices to the maxillary sinus floor in Romanian subjects: a cone-beam computed tomography study. *Diagnostics*. 2025;15(14):1741. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics15141741>

23. Al-Faraje L. Clinical Anatomy for Oral Implantology. 2nd ed. Hanover Park (IL): Quintessence Publishing Co., Inc.; 2021. 320 p. URL: <https://www.quintessence-publishing.com/gbr/en/product-info/1852141/clinical-anatomy-for-oral-implantology>
24. Aldahlawi S., Nourah D., Alturkistani E., AlBander W., Azab R.Y. Anatomical Factors Affecting the Complexity of Maxillary Sinus Augmentation in Saudi Patients: A Cone Beam Computed Tomography (CBCT) Study. *Cureus*. 2024. Vol. 16, № 9. P. e68462. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.68462>
25. Bernardi S., Bianchi S., Gerardi D., Petrelli P., Rinaldi F., Piattelli M., et al. Anatomy of Maxillary Sinus: Focus on Vascularization and Underwood Septa via 3D Imaging. *Tomography*. 2024. Vol. 10, № 4. P. 444–458. DOI: <https://doi.org/10.3390/tomography10040034>
26. Vinci R., D'Orto B., Verdino F., Barbè S., Broglio M., Nagni M. Complications related to maxillary sinus lift procedures: narrative review. *Annali di Stomatologia*. 2025. Vol. 16, № 2. P. 206–212. DOI: <https://doi.org/10.59987/ads/2025.2.206-212>
27. Shah D., Chauhan C., Shah R. Survival rate of dental implant placed using various maxillary sinus floor elevation techniques: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2022. Vol. 22, № 3. P. 215–224. DOI: https://doi.org/10.4103/jips.jips_283_22
28. Kim J.S., Choi S.M., Yoon J.H., Lee E.J., Yoon J., Kwon S.H., et al. What Affects Postoperative Sinusitis and Implant Failure after Dental Implant: A Meta-analysis. *Otolaryngology – Head and Neck Surgery*. 2019. Vol. 160, № 6. P. 974–984. DOI: <https://doi.org/10.1177/0194599819829747>
29. Єрмакова Л., Брожина Б. Інтеграція даних комп'ютерної томографії та інтраорального сканування у плануванні ортопедичної реабілітації у пацієнтів з бойовою травмою. *Харківський стоматологічний журнал*. 2025. Т. 2, № 4(6). С. 718–725. DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2025-6-15>
30. Polyvianna Y., Chumachenko D., Chumachenko T. Computer aided system of time series analysis methods for forecasting the epidemics outbreaks. In: *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*. Polyana, Ukraine, 2019. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2019.8779344>
31. Moroka R., Povaliaiev V., Tkachenko I., Fomenko Y., Babai O., Mikulinska-Rudich Y., et al. The relationship between the condition of the oral cavity and the use of tobacco products in different age groups. *Georgian Medical News*. 2024. № 350. P. 25–30.
23. Al-Faraje L. Clinical Anatomy for Oral Implantology. 2nd ed. Hanover Park (IL): Quintessence Publishing Co., Inc.; 2021:320. URL: <https://www.quintessence-publishing.com/gbr/en/product-info/1852141/clinical-anatomy-for-oral-implantology>
24. Aldahlawi S., Nourah D., Alturkistani E., AlBander W., Azab R.Y. Anatomical factors affecting the complexity of maxillary sinus augmentation in Saudi patients: a cone beam computed tomography (CBCT) study. *Cureus*. 2024;16(9):e68462. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.68462>
25. Bernardi S., Bianchi S., Gerardi D., Petrelli P., Rinaldi F., Piattelli M., et al. Anatomy of maxillary sinus: focus on vascularization and Underwood septa via 3D imaging. *Tomography*. 2024;10(4):444–58. DOI: <https://doi.org/10.3390/tomography10040034>
26. Vinci R., D'Orto B., Verdino F., Barbè S., Broglio M., Nagni M. Complications related to maxillary sinus lift procedures: narrative review. *Annali di Stomatologia*. 2025;16(2):206–12. DOI: <https://doi.org/10.59987/ads/2025.2.206-212>
27. Shah D., Chauhan C., Shah R. Survival rate of dental implant placed using various maxillary sinus floor elevation techniques: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2022;22(3):215–24. DOI: https://doi.org/10.4103/jips.jips_283_22
28. Kim JS, Choi SM, Yoon JH, Lee EJ, Yoon J, Kwon SH, et al. What affects postoperative sinusitis and implant failure after dental implant: a meta-analysis. *Otolaryngology – Head and Neck Surgery*. 2019;160(6):974–84. DOI: <https://doi.org/10.1177/0194599819829747>
29. Ermakova L, Brozhyna B. Integration of computed tomography data and intraoral scanning in planning prosthetic rehabilitation in patients with combat-related trauma. *Kharkiv Dental Journal*. 2025;2(4(6)):718–25. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.26565/3083-5607-2025-6-15>
30. Polyvianna Y, Chumachenko D, Chumachenko T. Computer aided system of time series analysis methods for forecasting the epidemics outbreaks. In: *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*. Polyana, Ukraine; 2019:1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/CADSM.2019.8779344>
31. Moroka R, Povaliaiev V, Tkachenko I, Fomenko Y, Babai O, Mikulinska-Rudich Y, et al. The relationship between the condition of the oral cavity and the use of tobacco products in different age groups. *Georgian Medical News*. 2024;(350):25–30.

Обмеження дослідження

Представлене дослідження має певні обмеження, які необхідно враховувати під час інтерпретації отриманих результатів. Насамперед дослідження має ретроспективний характер і ґрунтується на аналізі архівних даних мультиспіральної комп'ютерної томографії, що не дозволяє оцінювати динаміку змін морфологічних характеристик альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи протягом життя. Незважаючи на значний обсяг вибірки (500 комп'ютерних томограм), дослідження проводилося на матеріалі однієї популяційної групи, що може обмежувати можливість екстраполяції отриманих результатів на інші етнічні та географічні популяції. Крім того, у роботі не проводився окремий аналіз вікових та статевих особливостей морфології альвеолярної бухти, що може бути перспективним напрямком подальших досліджень. Використання мультиспіральної комп'ютерної томографії забезпечує високу точність морфометричних вимірювань, однак не дозволяє повною мірою оцінити гістологічні особливості кісткової тканини та слизової оболонки верхньощелепної пазухи. У дослідженні також не аналізувалися функціональний стан слизової оболонки пазухи, особливості мукоциліарного транспорту та наявність субклінічних запальних змін, які потенційно можуть впливати на процеси пневматизації. Крім того, дослідження мало виключно морфологічний характер і не передбачало проведення клінічного обстеження пацієнтів, оцінки результатів хірургічного лікування чи клінічної валідації запропонованої морфологічної класифікації. Отримані результати слід розглядати як морфологічну основу для подальших клінічних досліджень, спрямованих на оцінку можливостей використання запропонованої класифікації під час планування дентальної імплантації, синус-ліфтингу та інших оперативних втручань у ділянці верхньощелепної пазухи.

Limitations of the study

Despite providing valuable insights, this study has several limitations. The retrospective design may introduce selection bias, and although CT is highly informative, it may not fully represent the 3D structure of bone. Future studies using cone-beam CT (CBCT) or bone 3D modeling may offer deeper understanding of root–sinus–bone interactions. The present study has several limitations that should be considered when interpreting the obtained results. First, the study has a retrospective design and is based on the analysis of archived multislice computed tomography (MSCT) data, which does not allow assessment of temporal changes in the morphological characteristics of the maxillary sinus alveolar recess. Although the study included a relatively large sample size of 500 CT scans, all examinations were obtained from a single population group, which may limit the generalizability of the findings to other ethnic and geographic populations. In addition, age- and sex-related differences in the morphology of the alveolar recess were not analyzed separately and therefore remain a subject for future investigation. Multislice computed tomography provides highly accurate morphometric measurements; however, it does not allow comprehensive evaluation of the histological characteristics of the bone tissue and maxillary sinus mucosa. Furthermore, the present study did not assess the functional status of the sinus mucosa, mucociliary clearance, or subclinical inflammatory changes, all of which may potentially influence the pneumatization process and the morphology of the alveolar recess. Future studies should focus on age-, sex-, and ethnicity-related anatomical variations of the maxillary sinus alveolar recess and integrate morphometric findings with clinical, dental, and functional characteristics of the maxillary sinus. The application of cone-beam computed tomography (CBCT), automated segmentation techniques, and advanced three-dimensional modeling may facilitate the development of predictive models

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення вікових, статевих та етнічних особливостей будови альвеолярної бухти, інтеграцію морфометричних показників із клінічними, стоматологічними та функціональними характеристиками верхньощелепної пазухи, а також клінічну валідацію запропонованої морфологічної класифікації у пацієнтів, яким планується проведення дентальної імплантації, синус-ліфтингу або реконструктивних втручань. Перспективним є також використання конусно-променевої комп'ютерної томографії, методів автоматизованої сегментації та тривимірного моделювання для створення прогностичних моделей індивідуальної анатомічної варіабельності альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи.

of individual anatomical variability of the alveolar recess and improve preoperative planning in dental and maxillofacial surgery.

Перспективи подальших досліджень

Prospects for further research

Перспективним напрямком подальших досліджень є поглиблене вивчення вікових, статевих та етнічних особливостей морфології альвеолярної бухти верхньощелепної пазухи. Доцільним є проведення мультицентрових досліджень із залученням більшої кількості спостережень для уточнення поширеності різних морфологічних типів та їх морфометричних характеристик. Особливо слід зазначити необхідність клінічної валідації запропонованої морфологічної класифікації з оцінкою її практичного значення під час передопераційного планування дентальної імплантації, синус-ліфтингу та інших оперативних втручань у ділянці верхньощелепної пазухи. Особливий інтерес становить дослідження взаємозв'язку між морфологічними особливостями альвеолярної бухти, ступенем пневматизації верхньощелепної пазухи та ризиком розвитку одонтогенних захворювань і післяопераційних ускладнень. Перспективним є також використання методів автоматизованої сегментації, тривимірного моделювання та штучного інтелекту для створення індивідуалізованих прогностичних моделей анатомічної варіабельності верхньощелепної пазухи. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення передопераційного планування стоматологічних, оториноларингологічних та щелепно-лицевих втручань.

Future studies should focus on the detailed investigation of age-, sex-, and ethnicity-related variations in the morphology of the maxillary sinus alveolar recess. Multicenter studies involving larger sample sizes are required to further clarify the prevalence of different morphological types and their morphometric characteristics.

Particular attention should be paid to the relationship between alveolar recess morphology, the degree of maxillary sinus pneumatization, and the risk of odontogenic diseases and postoperative complications. The application of automated segmentation techniques, three-dimensional modeling, and artificial intelligence represents a promising approach for developing individualized predictive models of anatomical variability of the maxillary sinus. Such investigations may contribute to improving preoperative planning and optimizing outcomes of dental, otorhinolaryngological, and maxillofacial surgical procedures.

Конфлікт інтересів

Conflict of interest

Всі автори подали до редакції заповнену Єдину форму розкриття конфлікту інтересів Міжнародного комітету редакторів медичних журналів «ICMJE» (International Committee of Medical Journal Editors), яка доступна за посиланням:

<http://www.icmje.org/conflicts-of-interest/>

Автори рукопису свідомо засвідчують відсутність фактичного або потенційного конфлікту інтересів щодо результатів цієї роботи з фармацевтичними компаніями, виробниками біомедичних пристроїв, іншими організаціями, чиї продукти, послуги або фінансова підтримка можуть бути пов'язані з предметом наданих матеріалів або які спонсорували проведення дослідження. Автори не отримували фінансової підтримки або інших вигод, що могли б вплинути на об'єктивність даної роботи.

All authors submitted to the editorial office a completed Unified Conflict of Interest Disclosure form of the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE), which is available at the link:

<http://www.icmje.org/conflicts-of-interest/>

The authors of the manuscript declare that they have no actual or potential conflicts of interest regarding the results of this work with pharmaceutical companies, biomedical device manufacturers, other organizations whose products, services, or financial support may be related to the subject matter of the materials provided, or who sponsored the research conducted. The authors received no financial support or other benefits that could affect the objectivity of this work.

Дотримання етичних норм

Ethics statement

Дослідження проведено відповідно до етичних стандартів Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (1964 р., з подальшими змінами) та принципів Належної клінічної практики (GCP). Використано ретроспективні КТ-дані без ідентифікації особи пацієнтів. Протокол дослідження схвалено Комісією з питань етики та біоетики медичного факультету Харківського національного медичного університету (витяг із протоколу № 5 від 8.11. 2018 р.).

This study was conducted in accordance with the ethical principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki (1964, as amended) and Good Clinical Practice (GCP) guidelines. The research utilized anonymized retrospective CT data. The study protocol was approved by the Ethics and Bioethics Committee of the Medical Faculty of Kharkiv National Medical University (Protocol No. 5, dated 08. 11.2018).

Використання штучного інтелекту

Автори рукопису свідомо засвідчують, що у процесі проведення дослідження та підготовки цього рукопису не використовували жодних інструментів або сервісів генеративного штучного інтелекту для виконання будь-яких завдань, перелічених у Таксономії делегування завдань генеративному штучному інтелекту «GAIDeT» (Generative Artificial Intelligence Delegation Taxonomy, 2025 р.). Усі етапи роботи – від концептуалізації до фінального редагування – виконані без залучення генеративного штучного інтелекту, виключно авторами.

Use of generative artificial intelligence

The authors hereby confirm that no generative artificial intelligence tools or services were used at any stage of the research or manuscript preparation to perform any tasks listed in the Generative Artificial Intelligence Delegation Taxonomy (GAIDeT, 2025). All stages of the work—from conceptualization to final editing – were carried out exclusively by the authors without the involvement of generative artificial intelligence.

Первинні дані та матеріали

У роботі використано результати власного ретроспективного аналізу спіральних КТ-досліджень пацієнтів. Первинні дані зберігаються в архіві дослідницької групи та можуть бути надані за обґрунтованим запитом до автора-кореспондента з урахуванням етичних і правових норм.

Data availability statement

The study used data from the authors' own retrospective analysis of spiral CT examinations. Primary datasets are stored in the research group archive and are available from the corresponding author upon reasonable request, subject to ethical and legal restrictions.

Інформація про фінансування

У процесі написання цієї статті не використовувалися будь-які сторонні джерела фінансування.

Funding information

No external sources of funding were used in the preparation of this article.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Давидов Олександр Олександрович – асистент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицьової хірургії Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: oo.davydov@knmu.edu.ua
mob.: +38 (099) 017-05-44

Внесок автора: формулювання мети роботи, проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих даних та їх статистична обробка.

Побережник Галина Анатоліївна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицьової хірургії Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: ha.poberezhnyk@knmu.edu.ua
mob.: +38 (095) 344-63-10

Внесок автора: написання статті, редагування статті, остаточне затвердження статті.

Сухіна Ірина Сергіївна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицьової хірургії Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: is.sukhina@gmail.com
mob.: +38 (095) 542-51-55

Внесок автора: підбір літературних джерел за темою роботи, участь у проведенні досліджень, написання тексту статті, формулювання висновків.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Davydov Oleksandr Oleksandrovych – Assistant Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: oo.davydov@knmu.edu.ua
mob.: +38 (099) 017-05-44

Author's contribution: formulation of the study aim, conducting experimental research, analysis of obtained data, and statistical processing.

Poberezhnik Galyna Anatoliivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: ha.poberezhnyk@knmu.edu.ua
mob.: +38 (095) 344-63-10

Author's contribution: writing of the manuscript, editing of the article, and final approval of the manuscript.

Sukhina Iryna Serhiivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: is.sukhina@gmail.com
mob.: +38 (095) 542-51-55

Author's contribution: selection of literature sources related to the research topic, participation in the research, preparation of the manuscript, and formulation of conclusions.

Трач Ольга Олександрівна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри гістології, цитології та ембріології Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: oatrach@outlook.com.edu.ua
моб.: +38 (093) 890-53-11

Внесок автора: концепція та дизайн дослідження, збір даних, аналіз та інтерпретація даних.

Алексєєва Вікторія Вікторівна – доктор філософії в галузі охорони здоров'я за спеціальністю «Медицина», асистент кафедри оториноларингології Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022; асистент кафедри професійно-орієнтованих дисциплін Приватного вищого навчального закладу «Харківський міжнародний медичний університет»; вул. Молочна, буд. 38, м. Харків, Україна, 61001; асистент кафедри клінічних дисциплін Приватного закладу вищої освіти «Університет медицини та соціальних наук»; вул. Садова, буд. 11, м. Харків, Україна, 61002;
e-mail: vik13052130@gmail.com
моб.: +38 (98) 258-90-78

Внесок автора: формулювання мети роботи, аналіз отриманих даних та їхня статистична обробка.

Гаргін Віталій Віталійович – доктор медичних наук, професор, професор кафедри патологічної анатомії Харківського національного медичного університету; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022; професор кафедри професійно-орієнтованих дисциплін Приватного вищого навчального закладу «Харківський міжнародний медичний університет»; вул. Молочна, буд. 38, м. Харків, Україна, 61001; професор кафедри стоматології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України; майдан Свободи, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: vitgarg@ukr.net
моб.: +38 (99) 049-85-57

Внесок автора: формулювання мети роботи, написання статті, аналіз отриманих даних та їхня статистична обробка.

Trach Olha Oleksandrivna – Doctor of Philosophy in Health Care in Specialty «Medicine», Associate Professor, Associate Professor at the Department of Histology, Cytology and Embryology of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: oatrach@outlook.com.edu.ua
mob.: +38 (093) 890-53-11

Author's contribution: conceptualization and design of the study, data collection, analysis, and interpretation of data.

Aliexsieieva Victoriia Viktorivna – Doctor of Philosophy in Health Care in Specialty «Medicine», Assistant Professor of the Department of Otorhinolaryngology of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022; Assistant Professor of the Department of Professionally Oriented Disciplines of the Private Higher Education Institution «Kharkiv International Medical University»; 38 Molochna Str., Kharkiv, 61001, Ukraine; Assistant Professor at the Department of Clinical Disciplines of the Private Establishment of Higher Education «University of Medicine and Social Sciences»; 11 Sadova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine;
e-mail: vik13052130@gmail.com
mob.: +38 (098) 258-90-78

Author's contribution: formulation of the study aim, analysis of obtained data, and statistical processing of data.

Gargin Vitaliy Vitaliyovych – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Pathological Anatomy of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022; Professor of the Department of Professionally Oriented Disciplines of the Private Higher Education Institution «Kharkiv International Medical University»; 38 Molochna Str., Kharkiv, Ukraine, 61001; Professor of the Department of Dentistry of the V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine; 4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: vitgarg@ukr.net
mob.: +38 (099) 049-85-57

Author's contribution: formulation of the study aim, preparation of the manuscript, analysis of obtained data, and statistical processing.

Рукопис надійшов
Manuscript was received
23.06.2026

Отримано після рецензування
Received after review
28.07.2026

Прийнято до друку
Accepted for printing
26.08.2026

Опубліковано
Published
30.09.2026