

CURRENT PERSPECTIVES ON OSSEOINTEGRATION IN XENOPLASTIC AUGMENTATION OF THE ALVEOLAR PROCESS (LITERATURE REVIEW)

Ivano-Frankivsk National Medical University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)

cheliyantongmail.com

This study summarizes current scientific data on the osseointegration of xenogeneic bone materials in the reconstruction of the alveolar process of the jaws. It has been established that bone tissue atrophy caused by tooth loss, traumatic injuries, and inflammatory processes is a common clinical problem that limits the possibility of dental implantation and necessitates the use of bone grafting materials. A bibliographic analysis of publications from the last ten years in international scientometric databases was conducted. Of 85 sources, 31 studies focused on the clinical application of xenogeneic materials were included in the systematic analysis. It has been shown that their use provides high efficacy in the replacement of alveolar process defects, particularly in preparation for dental implantation, where positive clinical outcomes range from 92% to 100%. The main complications remain infection and graft rejection, with an average incidence of approximately 7.5-8.5%. Modern bone grafting techniques were analyzed, including sinus lifting, the use of bone blocks, and alveolar ridge splitting. It was established that the effectiveness of osseointegration depends on the biological properties of the material, patient age, defect localization, and adherence to surgical protocols. Promising directions for improving the effectiveness of xenogeneic materials include their biological and physicochemical modification, impregnation with growth factors, as well as the application of tissue engineering and cellular technologies. Despite the significant clinical potential of xenogeneic materials, further development of their use requires well-designed evidence-based clinical studies aimed at refining indications, optimizing application techniques, and improving treatment safety.

Key words: osteointegration, xenogeneic implantation, osteoblast, contact osteogenesis.

Connection of the publication with planned research work.

This work is part of the research project "Clinical and experimental justification of modern methods for the diagnosis, prevention, and treatment of dental diseases," state registration number O124U003547.

Introduction.

In contemporary dental practice, clinical conditions are frequently encountered in which the jawbone becomes thinner, with a reduction in its volume and height [1-3]. In some cases, this leads to exposure of the roots of adjacent teeth located near the area of the bone defect. The causes may vary, including trauma, bacterial infection, congenital anomalies of the oral cavity, and age-related changes; however, the most common cause is the unreplaced loss of one or more teeth [4-9]. In cases where more than 12 months have passed since tooth extraction, clinicians consistently observe a reduction in bone volume by approximately one quarter of its original level. The jawbone in the area of the extracted tooth undergoes resorption, and this condition is diagnosed as an irreversible pathological process known as atrophy of the alveolar bone of the maxilla or mandible. Tooth loss initiates the process of atrophy in the surrounding tissues [10-14]. This process is associated with the absence of regular masticatory loading in the region where the tooth was previously located. Mechanical loading plays a crucial role in maintaining adequate blood supply, ensuring the delivery of nutrients necessary for normal function, growth, and preservation of bone volume. To prevent the adverse consequences of jawbone atrophy, surgical bone augmentation procedures are performed [15-20]. Bone augmentation not only restores aesthetic appearance but also enables subsequent dental rehabilitation through implant placement [21-24].

The aim of the study.

To analyze data on surgical bone augmentation procedures based on literature sources and to evaluate the experience of using xenogeneic bone materials in surgical and prosthetic dentistry.

Object and research methods.

The bibliographic analysis was based on domestic and international articles and monographs published over the past 10 years. The literature search was conducted in scientometric databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, EBSCOhost, EMBASE, UA IRBIS, Open Access archives, The Lens, OpenAlex, the Cochrane Database of Systematic Reviews, and MEDLINE, using the following keywords: "osteoconduction," "osseointegration," "bone and xenograft," "human," "xenobone," "xenograft," and "xenogeneic material." The search depth was limited to 10 years. To perform the analysis and evaluation of the scientific literature, inclusion criteria were defined. Eligible sources included articles in dentistry and maxillofacial surgery with either full-text availability or a structured abstract containing specific quantitative data. Publications were included if they were relevant to the research topic, published in peer-reviewed journals within the last 10 years, provided full-text materials, a clear methodological description, and results, including clinical examples relevant to the study aim. Exclusion criteria included: non-scientific publications; abstracts without full-text availability (unless justified); unverified internet sources; unpublished studies; and studies demonstrating signs of duplication (e.g., identical study design, patient groups, and sample sizes). In cases of duplicate publications, the most recent source was selected.

Main part.

A total of 85 sources were identified, of which 31 were selected, describing the clinical use of xenogeneic

ic bone grafting materials in dental practice. Treatment efficacy was assessed as the proportion of positive outcomes relative to the total number of observations.

Analysis of the literature data demonstrated that the clinical application of xenogeneic bone materials in dentistry remains relatively limited. The highest efficacy (92-100%) was observed in cases where these materials were used for the reconstruction of alveolar process defects prior to dental implantation [1]. Cases of unfavorable outcomes were associated with lack of material integration and graft rejection. The lowest efficacy (41.9-46.2%) was reported in reconstructive procedures for terminal dentition defects. In addition, no significant effect was observed when xenogeneic bone materials were used for the replacement of defects in open and included dentition defects. The most common complications associated with xenogeneic bone materials are infection and graft rejection. The estimated complication rate, based on studies reporting such data [25-30], was 8.45% (24 cases out of 284; 95% CI: 5.50-11.96). It should be noted that complications reported in earlier studies by C. Charalambides et al. [2] and J.P. Levai et al. [3] (2015 and 2018) may be attributed to less advanced material processing technologies at that time. Excluding these data, the complication rate decreases to 7.53% (18 cases out of 239; 95% CI: 4.53-11.21). A detailed analysis of complications is presented in the study by E.J. Kubosch et al. [4], which, based on a large dataset, demonstrated that the complication rate depends on defect localization, while the degree of integration decreases with increasing patient age. These findings suggest that complication rates may be reduced by careful identification of contraindications related to defect location and patient age. Analysis of contemporary literature indicates that, despite rapid scientific progress, the processes of osseointegration of different types of bone grafts in the alveolar process of the human maxilla and mandible remain insufficiently studied, particularly in relation to the type of material used [5-14].

Dental implantation is a key stage of prosthetic treatment, aimed at restoring physiological loading of the bone. In other words, effective treatment of patients with bone deficiency requires adequate restoration of the missing tooth. Bone augmentation is indicated in patients with: inability to perform dental implantation; headache, general discomfort, and cervical tension associated with pathological occlusal changes; facial contour alterations, premature aging, and skin wrinkling; speech impairment; and gastrointestinal disorders resulting from impaired mastication. Bone augmentation procedures differ according to surgical technique, the nature of the grafting material, and the direction of defect reconstruction [15, 16].

The main bone augmentation procedures include the following. *Sinus lifting* is a procedure aimed at restoring the height of the maxillary bone by reducing the volume of the maxillary sinus through elevation of its membrane [16, 17]. Using specialized surgical instruments, the clinician prepares the bone and elevates the Schneiderian membrane. Xenogeneic material is placed into the space created between the jawbone and the membrane. Depending on the approach, sinus lifting may be performed using a closed technique (via the extraction socket) or an open technique (through lateral wall access). *Bone block grafting* involves the use of an autologous bone

graft harvested from a donor site, most commonly the chin region. The bone block is fixed at the recipient site using titanium screws, which facilitate integration with the surrounding tissue [18].

The alveolar ridge splitting technique is typically performed simultaneously with dental implantation. The surgeon creates a horizontal osteotomy and expands the cortical plates, followed by placement of a titanium implant. The resulting gaps are filled with bone grafting material and covered with a barrier membrane [1]. For the treatment of bone atrophy, several groups of materials are used: autogenous (patient-derived bone) [2, 19]; xenogeneic (animal-derived bone) [3, 20]; allogeneic (donor-derived human bone); and alloplastic (synthetic bone substitutes) [9]. Bone augmentation procedures are also classified according to the direction of reconstruction. Vertical bone augmentation is performed when increasing bone height is required [10], whereas horizontal bone regeneration is indicated when increasing bone width is necessary [11]. The scientific literature provides limited data on contraindications for these procedures. The main contraindications to bone grafting surgery include: severe type 1 diabetes mellitus; acute infectious diseases; sinusitis; neoplasms of the maxillofacial region; hematological disorders and coagulation abnormalities; exacerbations of psychiatric conditions; and intolerance to anesthetic agents. The postoperative recovery period following bone augmentation has several specific features. Depending on the method and the volume of augmentation, it typically lasts from 3 to 6 months [21]. To prevent complications, patients are advised to limit physical activity, including cessation of sports, due to the risk of suture dehiscence. Excessive physical strain may also exacerbate inflammation in the oral cavity. A soft diet is recommended, avoiding hard, hot, or cold foods, as well as spicy and high-salt foods that may irritate the oral mucosa. Currently, bone augmentation in dentistry cannot be effectively performed without the use of allogeneic and xenogeneic grafting materials [2, 3, 5, 6]. Both types differ from autologous bone in having lower osteogenic potential, a risk of antigenic response, and altered biological and mechanical properties due to processing. Although several studies have demonstrated that xenogeneic materials may have comparable or even superior efficacy to allogeneic materials in bone defect reconstruction [22], allogeneic grafts remain the preferred option in domestic clinical practice [6, 15]. Xenogeneic materials, however, are often underestimated. Their advantages include: the ability to meet the growing demand for bone grafting materials, particularly in dental implantation; reduced cost due to scalability of production (potentially more than three times cheaper than allogeneic materials); the possibility of extensive modification to improve biological properties (osteoconduction, osteoinduction, safety) and shelf life [23]; and improved selection and standardization of materials with optimal physicomaterial properties. These advantages are increasingly being implemented in dental and maxillofacial practice, where xenogeneic bone materials have gained wide clinical application [7]. However, available data on their use remain heterogeneous. Despite accumulated clinical experience and the availability of approved materials [2, 3, 4], efforts to improve their efficacy and safety continue. The **table** presents the main experimental studies in this field.

Improvement of the performance characteristics of xenogeneic bone materials. Among the selected sources, two main approaches can be distinguished: modification of the original xenogeneic matrix (development of purification technologies, alteration of the structure and chemical composition of the bone matrix) and incorporation of additional components into the matrix (biologically active substances, stem cells). According to several authors [27, 29], the most developed approach is the impregnation of various biologically active components into the volume and/or onto the surface of the xenogeneic matrix, including growth factors and pharmacological agents [11-29]. Tissue engineering is also a highly relevant direction, involving the seeding of stem cells onto the surface of xenogeneic materials [15, 19]. The search for new raw sources for bone matrix production is ongoing [16, 18]. The performed analysis demonstrated that xenogeneic bone grafting materials are currently widely used in practical traumatology; however, their application remains limited to a relatively narrow spectrum of pathologies. In contrast, maxillofacial surgery and dentistry have accumulated substantial experience in their use for bone defect reconstruction, along with well-established surgical protocols. Nevertheless, an increase in demand for xenogeneic materials in prosthetic dentistry is expected, driven by the growing clinical need for bone grafting materials, particularly due to the increasing number of dental implant procedures requiring augmentation of bone volume [1]. The relatively limited use of xenogeneic materials in modern dental practice may be explained by both the conservatism of clinicians, who are cautious about using biologically derived implant materials due to concerns about complications, and insufficient awareness of such materials in the market. As a result, the use of xenogeneic bone substitutes remains irregular, and data from standardized routine clinical applications are limited. Furthermore, the scientific evaluation of their clinical use remains insufficient. This situation is also associated with the fact that the technical characteristics and performance indicators of currently available xenogeneic materials limit their demand in dentistry. Expansion of indications and increased utilization may be achieved through additional material modification, primarily aimed at improving osteoinductive and osteoconductive properties [21]. The relevance of this topic is confirmed by the growing number of experimental studies conducted in this field (table).

The analysis of the scientific literature also indicates that the inherent advantages of xenogeneic materials – availability, modifiability, relatively low cost, and acceptable safety – significantly increase their potential for broader clinical application. In this context, three key tasks can be identified to enhance the demand for xenogeneic materials in surgical and prosthetic dentistry:

1. Refinement of clinical indications and development of treatment protocols for bone-related dental pathologies using xenogeneic materials. As noted by several authors [28-30], this requires well-designed

Table – Approaches to improving the performance characteristics of xenogeneic bone materials

Direction	Type of modification	Reference
Impregnation with biologically active substances	Growth factors	[4, 8, 5, 30]
	Antibiotics	[6, 7]
	Antibiotics + growth factors	[8, 30]
	Bisphosphonates	[9]
	Platelet-rich plasma (PRP)	[28, 29]
Tissue engineering	Enrichment of the xenogeneic matrix with stem cells	[15, 16, 18, 19]
Chemical and physical modification of the xenogeneic matrix	Chemical cross-linking of biopolymers	[21, 26]
	Modification of porosity	[7, 27]
	Modification of crystallinity	[26, 27]
Improvement of purification technologies	Deproteinization	[31]
	Lipid removal	[31]
New sources of xenogeneic materials	Cortical bone	[25, 27, 29]
	Rabbits, cattle, horses	[5, 25, 27, 29]

evidence-based clinical studies. Despite the increasing number of registered xenogeneic materials, robust, structured, and independent clinical trials remain limited.

2. Expansion of indications for the use of xenogeneic bone materials. This can be achieved through improvements in processing technologies and matrix modification, allowing enhancement of the material’s biological and mechanical properties and, consequently, broader clinical applicability. A particularly relevant direction is the development of materials capable of reconstructing large alveolar bone defects [13].

3. Assessment of the feasibility of combining xenogeneic materials with other bone substitutes. Research in this area remains limited [7]. Determining the advantages of xenogeneic materials over allogeneic and, especially, autologous grafts requires further evidence-based investigations. However, it can already be stated that their primary applications include endoprosthetics and reconstruction of small bone defects. It is also reasonable to expect that advancements in production technologies and market growth will improve the accessibility of xenogeneic bone materials for clinical use.

Conclusions.

1. The analysis of the scientific literature indicates that xenogeneic bone materials are an important component of modern surgical and prosthetic dentistry and are widely used for the reconstruction of bone deficiencies, particularly as a preparatory stage for dental implantation.

2. The potential for modification of xenogeneic materials contributes to the improvement of their biological properties and expands their clinical applicability.

3. During transplantation of xenogeneic grafts, various types of integration with bone tissue occur, among which osseointegration – including its progressive form – plays a leading role.

The effectiveness of osseointegration largely depends on strict adherence to clinical conditions, including rational treatment planning, appropriate material selection, optimal surface characteristics, compliance with surgical protocols, postoperative monitoring, and adequate prosthetic rehabilitation.

Prospects for further research.

Future research should focus on an in-depth investigation of the biological mechanisms of osseointegration of xenogeneic materials, taking into account cellular, molecular, and immunoinflammatory responses in the area of bone regeneration. In addition, comparative

evaluation of the effectiveness of different types of xenogeneic grafts in combination with autologous and allogeneic components for alveolar ridge reconstruction is required, as well as long-term clinical outcomes, including graft resorption rates, stability of bone volume, and long-term survival of dental implants.

DOI 10.29254/2077-4214-2026-1-180-143-151

УДК 616.71-089.844:616.314.17

Челій А. О.

СУЧАСНІ ПОГЛЯДИ НА ОСТЕОІНТЕГРАЦІЮ ПРИ КСЕНОПЛАСТИЦІ АЛЬВЕОЛЯРНОГО ВІДРОСТКА (ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ)

Івано-Франківський національний медичний університет (м. Івано-Франківськ, Україна)

cheliyanton@gmail.com

У роботі узагальнено сучасні наукові дані щодо остеointegraції ксеногенних кісткових матеріалів при реконструкції альвеолярного відростка щелеп. Встановлено, що атрофія кісткової тканини, зумовлена втратою зубів, травматичними та запальними процесами, є поширеною клінічною проблемою, яка обмежує можливість проведення дентальної імплантації та потребує використання кістковопластичних матеріалів. Проведено бібліографічний аналіз публікацій останніх десяти років із міжнародних наукометричних баз даних. Із 85 джерел до системного аналізу включено 31 дослідження, присвячене клінічному застосуванню ксеногенних матеріалів. Показано, що їх використання забезпечує високу ефективність заміщення дефектів альвеолярного відростка, особливо при підготовці до дентальної імплантації, де показники позитивних клінічних результатів становлять 92-100%. Основними ускладненнями залишаються інфікування та відторгнення трансплантатів із середньою частотою близько 7,5-8,5%. Проаналізовано сучасні методи кісткової пластики, включаючи синус-ліфтинг, використання кісткових блоків та розщеплення альвеолярного гребеня. Встановлено, що ефективність остеointegraції залежить від біологічних властивостей матеріалу, віку пацієнта, локалізації дефекту та дотримання хірургічних протоколів. Перспективними напрямками підвищення ефективності ксеноматеріалів є їх біологічна та фізико-хімічна модифікація, імпрегнація факторами росту, застосування тканинної інженерії та клітинних технологій. Незважаючи на значний клінічний потенціал ксеногенних матеріалів, подальший розвиток їх використання потребує проведення доказових клінічних досліджень, спрямованих на уточнення показань, оптимізацію методів застосування та підвищення безпеки лікування.

Ключові слова: остеointegraція, ксеноімплантація, остеобласт, контактний остеогенез.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дана робота є фрагментом НДР «Клініко-експериментальне обґрунтування сучасних методів діагностики, профілактики та лікування стоматологічних захворювань», номер державної реєстрації 0124U003547.

Вступ.

У сучасній стоматологічній практиці часто зустрічаються клінічні стани, при яких щелепна кістка стоншується, зменшується її обсяг та висота [1-3]. Іноді це призводить до оголення коренів зубів, які знаходяться поряд із ділянкою дефекту кісткової тканини. Причини можуть бути різними: травма, бактеріальна інфекція, вроджена аномалія ротової порожнини, вікові зміни, але найчастіше – це невідновлена втрата одного або декількох зубів [4-9]. У тих випадках, коли з моменту видалення зуба пройшло більше 12 місяців, стоматологія впевнено фіксують зменшення об'єму кісткової тканини на чверть від початкового. Щелепна кістка в області видаленого зуба починає розсмоктуватися – і лікарі діагностують незворотний патологічний процес, який називається атрофією кісткової тканини верхньої чи нижньої щелепи. Втратою зуба запускається процес атрофії довколишніх тканин [10-14]. Цей процес пов'язаний із відсутністю регулярного жувального навантаження на ту зону кіст-

ки, де знаходився зуб. Саме завдяки навантаженню кровоносні судини інтенсивно доставляють поживні речовини для нормального функціонування, росту і підтримки достатнього обсягу кісткової тканини. Щоб уникнути небезпечних наслідків атрофії щелепної кістки, виконується хірургічна процедура нарощування кісткової тканини [15-20]. Збільшення рівня кістки яке повертає не тільки естетичний вигляд, але й дає можливість відновити зуби з допомогою дентальної імплантації [21-24].

Мета дослідження.

Проаналізувати інформацію про хірургічні операції нарощування кісткової тканини за даними літературних джерел та оцінити досвід застосування кісткових ксеноматеріалів у хірургічній та ортопедичній стоматології.

Об'єкт і методи дослідження.

Бібліографічний аналіз ґрунтується на вітчизняних та закордонних статтях, монографіях, що опубліковані протягом останніх 10 років. Пошук здійснено у наукометричних базах PubMed, i Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, EBSCOhost, EMBASE, ua IRBIS та Open Access архіви, The Lens, OpenAlex, Cochrane Database Syst. Google, Scholar, MedLine за ключовими словами: «osteosynthesis», «osteointegration», «bone and xenograft», «human», «ксенокістка», «ксенотрансплантат», «ксеноматері-

ал», «bone and xenograft». Глибина пошуку – 10 років. Для проведення аналізу та оцінки даних наукової літератури було визначено критерії включення джерел до аналітичного дослідження. Критерієм включення джерел в аналітичне дослідження були статті із стоматології та щелепно-лицевої хірургії. Наявність повного тексту статті чи структурованого, із зазначенням конкретних кількісних даних, реферату. До аналізу включалися наукові публікації, що відповідали темі дослідження, були опубліковані у рецензованих виданнях за останні 10 років, містили повнотекстові матеріали, чіткий опис методології та результати, клінічні приклади, релевантні поставленій меті дослідження. Критерії виключення: публіцистичні матеріали; тези без повного тексту (якщо не обґрунтовано); неперевірені Інтернет-ресурси; неопубліковані роботи; дослідження, які мають ознаки «дублювання» (подібний протокол дослідження, групи та кількість пацієнтів тощо). У разі виявлення «дублюючих» статей обирали пізніше за дату публікації джерело.

Основна частина.

Виявлено 85 джерел, серед яких відібрано 31, де описано досвід застосування кістковопластичних матеріалів ксеногенного походження в практичній стоматології. Ефективність лікування визначали як кількість позитивних наслідків лікування у відсотках від загальної кількості спостережень. Аналіз літературних даних показав, що: клінічне застосування кісткових ксеноматеріалів у стоматології досить обмежене; найбільша ефективність (від 92 до 100%) виявляється у випадках застосування матеріалу для заміщення дефектів альвеолярного відростка для подальшого дентального імплантування [1]. Випадки незадовільних наслідків пов'язані з відсутністю інтеграції матеріалу та його відторгненням; найменша ефективність (від 41,9 до 46,2%) відзначена при реконструктивних операціях при кінцевих дефектах зубного ряду; відзначено відсутність ефекту при застосуванні ксеногенних кісткових матеріалів для заміщення дефектів при відкритих і включених дефектах зубного ряду. Найчастіше ускладнення при використанні кісткових ксеноматеріалів – це їх інфікування та відторгнення. Розрахунковий відсоток ускладнень при застосуванні ксеноматеріалів за даними наукових джерел, в яких є інформація про ускладнення [25-30], становить 8,45% (24 випадки з 284, ДІ 5-95%: 5,50-11,96). При цьому слід зазначити, що ускладнення, які у роботах С. Charalambides та ін. [2] та J.P. Levaї та ін. [3], датованих 2015 та 2018 р., можна пов'язати з тим, що технології обробки матеріалу в той період часу були недосконали. Тому, виключаючи ці дані зі статистики, можна отримати відсоток ускладнень, що дорівнює 7,53% (18 випадків із 239, ДІ 5-95%: 4,53-11,21). Детальний аналіз ускладнень наведено у роботі E.J. Kubosch та ін. [4], де на досить великому обсязі даних показано, що частота ускладнень при застосуванні ксеноматеріалів для заміщення дефектів кістки залежала від локалізації дефекту, а ступінь інтеграції знижувалася з віком пацієнта. Це дослідження дозволяє говорити про те, що відсоток ускладнень може бути знижений при визначенні протипоказань до застосування ксеноматеріалів, пов'язаних із локалізацією дефекту та віком пацієнта. Аналіз даних сучасної літератури свідчить про те, що на сьогоднішній день, незважаючи на стрімкий розвиток науки, недостатньо вивченими є

процеси остеоінтеграції різних типів кісткових імплантів альвеолярного відростка верхньої і нижньої щелепи людини, залежно від виду матеріалів [5-14].

Операція дентальної імплантації – найважливіший етап ортопедичного лікування, головною метою якого є повернення на кістку природного навантаження. Іншими словами, для подальшого ефективного лікування пацієнта з дефіцитом кісткової тканини потрібне повноцінне відновлення зуба. Нарощування кісткової тканини необхідне пацієнтам, у яких діагностують: неможливість проведення операції дентальної імплантації; головний біль, нездужання, напруга в ділянці шиї, які викликані патологічною зміною прикусу; зміна форми обличчя, передчасне старіння, зморщення шкіри на обличчі; порушення дикції; захворювання шлунково-кишкового тракту, які виникають через неможливість повноцінно пережувати їжу. Процедури нарощування кісткової тканини розрізняються за: способами проведення операції; за природою матеріалу, який використовують для відновлення кістки; за напрямком заповнення дефекту щелепної кістки [15, 16].

До основних операцій нарощування кісткової тканини відносяться наступні. *Синус-ліфтинг* – відновлення висоти верхньощелепної кістки за рахунок зменшення об'єму гайморової пазухи при потовщення її стінки [16, 17]. За допомогою спеціального набору хірургічних інструментів лікар-стоматолог препарує кістку та піднімає тонку мембрану, що захищає гайморову пазуху. Ксеноматеріал закладається в порожнину, яка утворюється між щелепною кісткою та мембраною. Залежно від способу підсадки кістково-пластичного матеріалу синус-ліфтинг буває закритим (виконується через лунку видаленого зуба) або відкритим (проводиться перфорацією стінки кістки верхньої щелепи). *Регенерація при допомозі кісткового блоку* – для відновлення кісткового об'єму використовується трансплантат кістки, що береться із донорської ділянки. Найчастіше такою ділянкою виступає ділянка кістки в області підборіддя. У місці майбутньої кісткової реабілітації кістковий блок фіксується спеціальними титановими гвинтами, що прискорюють інтеграцію пересаженого донорського блоку в оточуючу тканину [18].

Метод розщеплення альвеолярного гребня – зазвичай застосовується одночасно з операцією дентальної імплантації. Хірург-стоматолог здійснює горизонтальний розріз кістки та розсуває її стінки. У порожнину, що утворилася, встановлює титановий імплантат [1]. Пустоти, які залишаються після розщеплення кістки, заповнюються кістково-пластичним матеріалом та покриваються спеціальною мембраною. Для лікування атрофії кісткової тканини використовують такі групи матеріалів: аутогенні – використовуються кісткова тканина самого пацієнта [2, 19]; ксеногенні – виготовлені з кістки тваринного походження [3, 20]; аlogenні – донорські матеріали від іншої людини; алопластичні – кістковозамінні матеріали штучного походження [9]. Також процедура нарощування кісткової тканини у стоматології поділяється за напрямком, в якому передбачається відновити кістку. У тих випадках, коли необхідно відновити висоту кістки, говорять про вертикальну кісткову пластику [10]. Якщо завдання хірурга – збільшити ширину кістки, то виконується процедура горизонтальної

Таблиця – Напрямки з покращення експлуатаційних характеристик кісткових ксеноматеріалів

Напрямок	Тип модифікації	Джерело
Імпрегнація біологічно активними речовинами	Фактори росту	[4, 8, 5, 30]
	Антибіотики	[6, 7]
	Антибіотики + Фактори росту	[8, 30]
	Бісфосфонати	[9]
Тканинна інженерія	Збагачення ксеноматриксу стовбуровими клітинами	[15, 16, 18, 19]
Хімічна і фізична модифікація ксеноматриксу	Хімічне «зшивання» біополімерів	[21, 26]
	Зміна пористості	[7, 27]
	Зміна кристалічності	[26, 27]
Удосконалення технології очистки	Депротейнізація	[31]
	Вилучення ліпідів	[31]
Нові джерела ксеноматеріалу	Рогова кістка	[25, 27, 29]
	Кролики, велика рогата худоба, коні	[5, 25, 27, 29]

кісткової регенерації [11]. У науковій літературі мало уваги присвячено опису протипоказань для цієї мети. Основні протипоказання для операції кісткової пластики зводяться до наступних. Хірургічне відновлення об'єму кістки щелепи не проводять у випадках: важкої форми цукрового діабету першого типу; загострення інфекційних захворювань; гаймориту і синуситу; діагностики новоутворень зубощелепної області; хвороби кровотворних органів і порушення згортання крові; загострення психічних захворювань; непереносимість лікарських засобів, які застосовуються для наркозу. Відновний період після нарощування кістки характеризується рядом особливостей. Залежно від методу нарощування та необхідного об'єму кістки, відновлювальний період триває від 3 до 6 місяців [21]. Для профілактики розвитку ускладнень у цей період необхідно дотримуватися деяких рекомендацій. Насамперед пацієнту необхідно зменшити фізичні навантаження до повного припинення занять спортом. Ця вимога пов'язана з потенційною можливістю розходження хірургічних швів під час виконання вправ. Крім того, сильна напруга може спровокувати посилення запалення в ротовій порожнині. У післяопераційний період рекомендують дотримуватись дієти. Слід виключити із щоденного раціону тверду, гарячу та холодну їжу. Надмірно пікантні страви, а також їжу з великою кількістю солі, яка здатна подразнювати слизову оболонку порожнини рота і викликати небажане запалення. Зараз у стоматології для вирішення завдань поповнення дефіциту кісткової тканини не обходяться без використання кістковопластичних матеріалів ало- та ксеногенного походження [2, 3, 5, 6]. Обидва ці матеріали відрізняються від аутологічної кістки нижчими остеогенними властивостями, наявністю потенційної антигенної відповіді, змінними біологічними та механічними властивостями в результаті їх обробки. Незважаючи на те, що в низці робіт показано, що кістковий ксеноматеріал щодо аломатеріалу має порівнянну або навіть підвищену ефективність при поповненні нестачі кістки [22], у вітчизняній клінічній практиці перевагу надають кістковопластичному матеріалу алогенного походження [6, 15]. Ксеноматеріали, на їхню думку, є недооціне-

ними, хоча їхня доступність дозволяє: забезпечити зростаючу потребу в кістковопластичному матеріалі, в основному за рахунок його використання при дентальній імплантації; знизити вартість кінцевого продукту (виробництво ксеноматеріалів має значний потенціал до здешевлення при масовому виробництві та, за деякими оцінками, дешевше алогенних більш ніж у 3 рази); значно модифікувати матеріал з метою покращення його біологічних характеристик (остеоіндукція, остеоіндукція, безпека), а також збільшення терміну зберігання [23]; більш якісно проводити відбраковування та підбирати матеріал з оптимальними фізико-механічними властивостями. Ці переваги в даний час реалізуються в стоматологічній практиці та щелепно-лицевій хірургії, де кісткові матеріали ксеногенного походження отримали досить широке клінічне застосування [7]. Дані про застосування

кісткових ксеноматеріалів у стоматології носять досить розрізнений характер. Незважаючи на наявний досвід клінічного застосування ксеноматеріалів та наявність достатньої кількості дозволених до застосування матеріалів [2, 3, 4], поліпшення їх ефективності та безпеки продовжується. У таблиці представлені основні експериментальні роботи в цій галузі.

Покращення експлуатаційних характеристик кісткових ксеноматеріалів. Серед відібраних джерел можна виділити два основні напрямки: модифікація вихідного ксеноматриксу (розвиток технології очищення, зміна структури та хімічного складу матриксу кістки); введення в об'єм матриксу додаткових елементів (біологічно активні речовини, стовбурові клітини). На погляд окремих авторів [27, 29], найбільш розробленим виглядає напрямок з імпрегнації різних біологічно активних компонентів в об'єм та/або на поверхню ксеноматриксу: фактори росту та лікарські субстанції [11-29]. Досить актуальним є напрям тканинної інженерії, де на поверхню ксеноматеріалу заселяють стовбурові клітини [15, 19]. Продовжується пошук нових сировинних джерел для отримання кісткового матриксу [16, 18], серед яких найбільш розробленим виглядає напрямок з імпрегнації різних біологічно активних компонентів в об'єм та/або на поверхню ксеноматриксу: фактори росту та лікарські субстанції. Виконаний аналіз показав, що кістковопластичні матеріали ксеногенного походження на даний час дуже поширені в практичній травматології і використовуються при лікуванні обмеженого спектру патологій, на відміну від щелепно-лицьової хірургії і стоматології, де накопичений великий досвід застосування цих матеріалів для заміщення кісткових дефектів, а також сформовані чіткі протоколи операцій. Тим не менш, очікується зростання попиту на ксеноматеріали у стоматологічній ортопедії, пов'язане зі збільшенням клінічного попиту на кістковопластичні матеріали, яке, зокрема, викликане збільшенням числа дентальної імплантації, що вимагають поповнення нестачі кісткової тканини [1]. Відносно рідкісне застосування ксеноматеріалів у сучасній практиці стоматології можна пояснити як консерватизмом хі-

рургів, які не ризикують застосовувати імплантаційні матеріали біологічного походження через побоювання ускладнень, так і недостатню поінформованість ринку таких матеріалів. Так чи інакше, наслідком цього є те, що застосування кістковозамінних матеріалів ксеногенного походження відбувається нерегулярно, тому результатів рутинного використання у випадках, що піддаються стандартизації, не вистає. Недостатнім є також обсяг наукової оцінки досвіду застосування цих матеріалів. Безперечно, така картина пов'язана ще й з тим, що технічні характеристики та показники ефективності присутніх на ринку ксеноматеріалів обмежують їхню затребуваність у стоматології. Розширення показань до застосування цього матеріалу і зростання обсягів його використання можуть бути досягнуті за рахунок додаткової модифікації матеріалу, що покращує, перш за все, його остеοіндуктивні та остеοкондуктивні характеристики [21]. Актуальність цієї тематики підтверджує кількість експериментальних робіт, що виконуються у цьому напрямі останнім часом (табл.). Проведений аналіз наукової літератури дозволяє також стверджувати, що наявні плюси ксеноматеріалу (його доступність та модифікованість, відносно низька вартість та прийнятна безпека) досить сильно підвищують потенціал його подальшого застосування. У цьому плані можна виділити три основні завдання, які потрібно вирішити для того, щоб застосування ксеноматеріалів у практиці хірургічної та ортопедичної стоматології було більш затребуваним:

1. Уточнення показань до застосування та розробка протоколів лікування кісткової стоматологічної патології з використанням ксеноматеріалів (на це у своїх роботах також вказують низка авторів [28-30]). Розв'язання цього завдання можна досягти під час проведення доказових клінічних досліджень. Як показало наше дослідження, незважаючи на те, що на ринку з'являється все більша кількість зареєстрованих матеріалів ксеногенного походження, доказових, добре структурованих і, можливо, що ще важливіше, незалежних клінічних досліджень поки що немає.

2. Розширення показань для застосування кісткових ксеноматеріалів. Вирішення цього завдання розглядається у напрямку вдосконалення технології отримання та модифікації ксеноматриксу, що дозволить покращити технічні та біологічні характеристики матеріалу та, відповідно, розширити показання до його застосування у стоматологічній ортопедії. Актуальним напрямом є створення матеріалу, що дозво-

ляє заповнювати великі дефекти альвеолярної частини кістки [13].

3. Визначення можливості застосування ксеноматеріалу у поєднанні з іншими замінниками кістки. Роботи у цьому напрямі також проводяться у поодиноких випадках [7]. Звичайно, визначення переваг кісткових ксеноматеріалів над матеріалами алогенної, і тим більше аутогенної природи вимагає виконання додаткових доказових досліджень. Проте, вже зараз можна сказати, що сферу застосування цього матеріалу визначено: ендпротезування та заміщення невеликих кісткових дефектів. Можна також вважати, що розвиток технологій отримання та зростання ринку ксеногенних кісткових матеріалів зроби́ть їх доступнішими для практичного використання.

Висновки.

1. Проведений аналіз наукової літератури засвідчив, що ксеногенний кістковий матеріал є важливим компонентом сучасної хірургічної та ортопедичної стоматології, що широко застосовується для відновлення дефіциту кісткової тканини, зокрема як етап підготовки до дентальної імплантації.

2. Встановлено, що можливість модифікації ксеногенних матеріалів сприяє покращенню їх біологічних властивостей і розширює перспективи клінічного використання.

3. У процесі трансплантації ксеноімплантатів реалізуються різні типи інтеграції з кістковою тканиною, серед яких провідну роль відіграє остеοінтеграція, включно з її прогресуючою формою.

4. Ефективність остеοінтеграції значною мірою залежить від комплексного дотримання клінічних умов, що включають раціональне планування схеми лікування, правильний вибір матеріалу, оптимальні характеристики його поверхні, суворе дотримання хірургічного протоколу, післяопераційний контроль та обґрунтоване ортопедичне лікування.

Перспективами подальших досліджень.

Поглиблене вивчення біологічних механізмів остеοінтеграції ксеногенних матеріалів з урахуванням клітинних, молекулярних та імунозапальних реакцій у зоні кісткової регенерації, а також порівняльна оцінка ефективності різних видів ксенопластичних матеріалів у поєднанні з аутологічними та алогенними компонентами при відновленні об'єму альвеолярного відростка та оцінка довготривалих клінічних результатів ксенопластики, включно з рівнем резорбції трансплантатів, стабільністю кісткового об'єму та довготривалістю терміну перебування у ротовій порожнині дентальних імплантатів.

References / Література

1. Buser D, Schenk RK, Steinemann S. Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs. *J Tissue Eng.* 2020;8(64):383-99. DOI: [10.1002/jbm.820250708](https://doi.org/10.1002/jbm.820250708).
2. Charalambides C, Beer M, Cobb AG. Poor results after augmenting autograft with xenograft (Surgibone) in hip revision surgery. *Acta Orthop.* 2015;3(98):34-40. DOI: [10.1080/17453670510041547](https://doi.org/10.1080/17453670510041547).
3. Levai JP, Bringer O, Descamps S, Boisgard S. Xenograft-related complications after filling valgus open wedge tibial osteotomy defects. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2018;89(8):707-711.
4. Kubosch EJ, Bernstein A, Wolf L, Fretwurst T. Clinical trial and in-vitro study comparing the efficacy of treating bony lesions with allografts. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;55(8):822-829. DOI: [10.1186/s12891-016-0930-1](https://doi.org/10.1186/s12891-016-0930-1).
5. Al Qabani A, Al Kawas S, Al Razak NH, Al Bayatti SW. Threedimensional radiological assessment of alveolar bone volume preservation using bovine bone xenograft. *J Craniofac Surg.* 2018;29(2):e203-e209. DOI: [10.1097/SCS.0000000000004263](https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000004263).
6. Anastasieva EA, Sadova MA, Voropaeva AA, Kirilova IA. The use of autografts and allografts to replace bone defects during resection of bone tumors. *Traumatology and orthopedics.* 2017;23(3):148-155. DOI: [10.21823/2311-2905-2017-23-3-148-155](https://doi.org/10.21823/2311-2905-2017-23-3-148-155).
7. Antunes AA, Grossi-Oliveira GA, Martins-Neto EC, Almeida AL. Treatment of circumferential defects with osseointegrative xenografts of different porosities: a histological, histometric, resonance frequency analysis, and micro-CT study in dogs. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17(1):e202-20. DOI: [10.1111/cid.12181](https://doi.org/10.1111/cid.12181).

8. Athanasiasou VT, Papachristou DJ, Panagopoulos A, Saridis A. Histological comparison of autograft, allograft-DBM, xenograft, and synthetic grafts in a trabecular bone defect: an experimental study in rabbits. *Med Sci Monit.* 2010;16(1):24.
9. Benlidayi ME, Tatli U, Kurkcu M, Uzel A, Oztunc H. Comparison of bovine derived hydroxyapatite and autogenous bone for secondary alveolar bone grafting in patients with alveolar clefts. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70(1):e95-e102. DOI: [10.1016/j.joms.2011.08.041](https://doi.org/10.1016/j.joms.2011.08.041).
10. Bessa PC, Casal M, Reis RL. Bone morphogenetic proteins in tissue engineering: the road from laboratory to clinic, part II (BMP delivery). *J Tissue Eng Regen Med.* 2022;2(2-3):81-96. DOI: [10.1002/term.74](https://doi.org/10.1002/term.74).
11. Boden SD. Biology of lumbar spine fusion and the use of bone graft substitutes: present, future, and next generation for latitudinal plastic surgery. *Biomed Mater Res.* 2021;25(7):889-902. DOI: [10.1089/107632700418092](https://doi.org/10.1089/107632700418092).
12. Bigham-Sadegh A, Oryan A. Basic concepts regarding fracture healing and the current options and future directions in managing bone fractures. *Int Wound J.* 2015;12(3):238-247. DOI: [10.1111/iwj.12231](https://doi.org/10.1111/iwj.12231).
13. Bovkis GYu, Kulyaba TA, Kornilov NN. Compensation of defects of the metaepiphyses of the femur and tibia in revision knee arthroplasty - methods and results of their application (literature review). *Traumatology and orthopedics.* 2016;22(2):101-113. DOI: [10.21823/2311-2905-2016-0-2-101-113](https://doi.org/10.21823/2311-2905-2016-0-2-101-113).
14. Boyko EM, Brusnitsin DA, Dolgalev AA, Zelensky VA. Minimally invasive method of guided bone regeneration of alveolar ridge. *Medical Alphabet.* 2017;298(1):5-9. DOI: [10.14300/mnnc.2021.16040](https://doi.org/10.14300/mnnc.2021.16040).
15. Brett E, Tevlin R, McArdle A, Seo EY, Chan CKF, Wan DC. Human adipose-derived stromal cell isolation methods and use in osteogenic and adipogenic in vivo applications. *Curr Protoc Stem Cell Biol.* 2017;43:2H.1.1-2H.1.15. DOI: [10.1002/cpsc.41](https://doi.org/10.1002/cpsc.41).
16. Bukharova TB, Volkov AV, Voronin AS, Filimonov KA. Development of a tissue-engineered construct based on multipotent human adipose tissue stromal cells transfected with the bone morphogenetic protein BMP-2 gene for sinus lifting. *Biomed Mater Res.* 2013;12(3):122-126. DOI: [10.1007/s10517-013-2294-y](https://doi.org/10.1007/s10517-013-2294-y).
17. Calori GM, Mazza E, Colombo M, Ripamonti C. The use of bone-graft substitutes in large bone defects: any specific needs? *Injury.* 2011;42(2):S56-63. DOI: [10.1016/j.injury.2011.06.011](https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.06.011).
18. De Bruyckere T, Eghbali A, Younes F, Cleymaet R. A 5-year prospective study on regenerative periodontal therapy of infrabony defects using minimally invasive surgery and a collagen-enriched bovine-derived xenograft. *Clin Oral Investig.* 2018;22(3):1235-1242. DOI: [10.1007/s00784-017-2208-x](https://doi.org/10.1007/s00784-017-2208-x).
19. Chen M, Xu Y, Zhang T, Ma Y, Liu J, Yuan B. Mesenchymal stem cell sheets: a new cell-based strategy for bone repair and regeneration. *Biotechnol Lett.* 2019;41(3):305-318. DOI: [10.1007/s10529-019-02649-7](https://doi.org/10.1007/s10529-019-02649-7).
20. Aghazadeh A, Rutger Persson G., Renvert S. A single-centre randomized controlled clinical trial on the adjunct treatment of intra-bony defects with autogenous bone or a xenograft: results after 12 months. *J Clin Periodontol.* 2012;39(7):666-673. DOI: [10.1111/j.1600-051x.2012.01880.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.2012.01880.x).
21. Cho JS, Yoo DS, Chung YC, Rhee SH. Enhanced bioactivity and osteoconductivity of hydroxyapatite through chloride substitution. *J Biomed Mater Res A.* 2014;102(2):455-469. DOI: [10.1002/jbm.a.34722](https://doi.org/10.1002/jbm.a.34722).
22. Dimitriou R, Jones E, McGonagle D, Giannoudis PV. Bone regeneration: current concepts and future directions. *BMC Med.* 2011;9:66. DOI: [10.1186/1741-7015-9-66](https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-66).
23. Diesel CV, Ribeiro TA, Guimarães MR, Macedo CAS, Galia CR. Acetabular revision in total hip arthroplasty with tantalum augmentation and lyophilized bovine. *Clin Oral Investig.* 2017;22(8):1773-1779. DOI: [10.1016/j.jboe.2017.08.009](https://doi.org/10.1016/j.jboe.2017.08.009).
24. Jambhekar S, Kerns F, Bidra AS. Clinical and histologic outcomes of socket grafting after flapless tooth extraction: a systematic review of randomized controlled clinical trials. *J Prosthet Dent.* 2015;113(5):371-382. DOI: [10.1016/j.prosdent.2014.12.009](https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.12.009).
25. Elliot RR, Richards RH. Failed operative treatment in two cases of pseudarthrosis of the clavicle using internal fixation and bovine cancellous xenograft (Tutobone). *J Pediatr Orthop B.* 2011;20(5):349-353. DOI: [10.1097/BPB.0b013e328346c010](https://doi.org/10.1097/BPB.0b013e328346c010).
26. Galia CR, Lourenço AL, Rosito R, Souza Macedo CA, Camargo LM. Physicochemical characterization of lyophilized bovine bone grafts. *Rev Bras Ortop.* 2015;46(4):444-451. DOI: [10.1016/S2255-4971\(15\)30260-3](https://doi.org/10.1016/S2255-4971(15)30260-3).
27. García JR, García AJ. Biomaterial-mediated strategies targeting vascularization for bone repair. *Drug Deliv Transl Res.* 2016;6(2):77-95. DOI: [10.1007/s13346-015-0236-0](https://doi.org/10.1007/s13346-015-0236-0).
28. Go A, Kim SE, Shim KM, Lee SM, Choi SH. Osteogenic effect of low temperature heated porcine bone particles with platelet-rich plasma in a rat calvarial defect model. *J Biomed Mater Res A.* 2014;102(10):3609-3617. DOI: [10.1002/jbm.a.35022](https://doi.org/10.1002/jbm.a.35022).
29. Gothard D, Smith EL. Tissue engineered bone using select growth factors: A comprehensive review of animal studies and clinical translation studies in man. *Eur Cell Mater.* 2024;6(28):166-208. DOI: [10.22203/ecm.v028a13](https://doi.org/10.22203/ecm.v028a13).
30. Ibrahim MS, Raja S, Haddad FS. Acetabular impaction bone grafting in total hip replacement. *Bone Joint J.* 2013;95-B(11(A)):98-102. DOI: [10.1302/0301-620X.95B11.32834](https://doi.org/10.1302/0301-620X.95B11.32834).
31. Einhorn TA. Enhancement of fracture-healing. Improving fracture healing with deproteinized and delipidized xenografts *J Bone Joint Surg Am.* 2025;77:940-956. DOI: [10.2106/0004623-199506000-00016](https://doi.org/10.2106/0004623-199506000-00016).

СУЧАСНІ ПОГЛЯДИ НА ОСТЕОІНТЕГРАЦІЮ ПРИ КСЕНОПЛАСТИЦІ АЛЬВЕОЛЯРНОГО ВІДРОСТКА (ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ)

Челій А. О.

Резюме. Популярність стоматологічної реабілітації з використанням методу ксенопластики для подальшої дентальної імплантації обумовлює значний інтерес дослідників до вивчення інтеграції ксеноімплантатів у кістковій тканині. Мета роботи: провести аналіз та систематизацію даних українських та зарубіжних публікацій з проблеми остеointegraції ксеноімплантатів. Проведено пошук літературних джерел проводився у відкритих електронних базах даних наукової літератури PubMed і Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, Google Scholar, EBSCOhost, EMBASE, у IRBIS та Open Access архіви, The Lens, OpenAlex, та Cochrane Database Syst. Глибина пошуку – 10 років.

Аналіз наукової літератури показує, що вдосконалення технологій дослідження та міждисциплінарний підхід до вивчення феномену остеointegraції ксеноімплантатів останніми роками призвели до зміни традиційних уявлень щодо цієї проблеми. Узагальнюються відомості про фізіологічні процеси та клітинні взаємодії, що протікають на межі «ксеноімплантат – аутокісткова тканина» на різних етапах інтеграції. Наводяться результати досліджень, що свідчать про необхідність перегляду уявлень про біоінертність ксеноімплантатів та розгляд процесу інтеграції в імунологічному аспекті.

Якісна остеointegraція ксеноімплантатів забезпечується комплексним підходом, що включає раціональне планування, обґрунтований вибір матеріалу, оптимальні характеристики його поверхні, дотримання хірургічного протоколу, післяопераційний контроль та адекватне протезування.

Ключові слова: остеointegraція, ксеноімплантація, остеобласт, контактний остеогенез.

CURRENT PERSPECTIVES ON OSSEointegration IN XENOPLASTIC AUGMENTATION OF THE ALVEOLAR PROCESS (LITERATURE REVIEW)

Cheliy A. O.

Abstract. The growing popularity of dental rehabilitation using xenoplasty as a preparatory stage for subsequent dental implantation has led to increased scientific interest in studying the integration of xenogeneic implants into bone tissue. The aim: to analyze and systematize data from Ukrainian and international publications addressing the problem of xenogeneic implant osteointegration. The literature search was conducted in open electronic scientific databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, EBSCOhost, EMBASE, UA IRBIS, Open Access archives, The Lens, OpenAlex, and the Cochrane Database of Systematic Reviews. The search depth covered the last 10 years.

Analysis of the scientific literature indicates that advances in research technologies and the interdisciplinary approach to studying the phenomenon of xenogeneic implant osteointegration in recent years have led to a revision of traditional concepts related to this problem. The review summarizes current data on physiological processes and cellular interactions occurring at the “xenogeneic implant – autologous bone tissue” interface at various stages of integration. The presented findings emphasize the need to reconsider the concept of xenograft bioinertness and to interpret the integration process from an immunological perspective.

High-quality osteointegration of xenogeneic implants is ensured by a comprehensive approach that includes rational treatment planning, evidence-based material selection, optimal surface characteristics, strict adherence to surgical protocols, postoperative monitoring, and appropriate prosthetic rehabilitation.

Key words: osteointegration, xenogeneic implantation, osteoblast, contact osteogenesis.

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Cheliy A. O.: <https://orcid.org/0009-0006-4718-8508> ^{ACBDFE}

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Cheliy Anton Olexandrovych / Челій Антон Олександрович

Ivano-Frankivsk National Medical University / Івано-Франківський національний медичний університет

Ukraine, 76018, Ivano-Frankivsk, 2 Galitcka avenue / Україна, 76018, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька 2

Tel.: 0500807893 / Тел.: 0500807893

E-mail: cheliyantong@gmail.com

A – Work concept and design, **B** – Data collection and analysis, **C** – Responsibility for statistical analysis, **D** – Writing the article, **E** – Critical review, **F** – Final approval of the article / **A** – концепція роботи та дизайн, **B** – збір та аналіз даних, **C** – відповідальність за статичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

This article is distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution (CC-BY) License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited © All authors, 2026 / Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє необмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Received 14.10.2025 / Стаття надійшла 14.10.2025 року

Accepted 13.02.2026 / Стаття прийнята до друку 13.02.2026 року

Published 27.03.2026 / Опубліковано 27.03.2026 року

DOI 10.29254/2077-4214-2026-1-180-151-161

UDC 618.19-006.6:615.849.19

Chornobay A. V.

MALE BREAST CANCER: RISK FACTORS, DIAGNOSIS AND TREATMENT

Poltava State Medical University (Poltava, Ukraine)

Chornobay10@gmail.com

The aim of the review is to study the incidence of breast cancer (BC) in men, the history of this pathology, and also to review the risk factors of diagnosis and treatment options, in particular adjuvant endocrine therapy. Foreign and domestic sources, as well as the results of several clinical studies, were analyzed. According to the latest NCCN clinical recommendations for the treatment of BC, an indication for genetic counseling is detected BC in men. At the 1st stage, mutations in the BRCA1 and BRCA2 genes are determined by the polymerase chain reaction method. Diagnosis of BC in men uses the same methods as in women. Given the relatively small number of cases, randomized controlled trials of BC treatment methods are extremely limited, and most recommendations are based on studies of breast cancer in women. Due to anatomical features, organ-preserving surgeries in men are practically not performed (from 5 to 10%). Neoadjuvant therapy is carried out according to the same schemes as in women. Almost all studies indicate that in malignant tumors of the male breast the level of estrogen receptors is, on average, higher than in women. Clinically significant levels of estrogen receptors are found in more than 85% of breast tumors in men. Therefore, adequate treatment of BC is impossible without the use of endocrine adjuvant therapy. According to recent clinical studies, estrogen receptor blockers and gonadotropin-releasing hormone agonist analogues are preferred.

Key words: male breast cancer, risk factors, treatment, endocrine therapy.