

Prehľad vybraných biomateriálov pre kostné augmentácie v orofaciálnej oblasti, I. časť

Overview of Selected Biomaterials for Bone Augmentation in the Orofacial Region, Part I

Lučivjanská, Z., Stehlík, R., Kizek, R., Borza, B.

MDDr. Zdenka LUČIVJANSKÁ, MDDr. Radoslav STEHLÍK, MUDr. Peter KIZEK, PhD., MHA, MPH, MDDr. Branislav BORZA, PhD.

Klinika stomatológie a maxilofaciálnej chirurgie UPJŠ LF a UN L. Pasteura v Košiciach

ABSTRAKT

Kostné augmentácie v orofaciálnej oblasti sú nevyhnutnou súčasťou rekonštrukčnej chirurgie pri liečbe defektov vznikajúcich v dôsledku atrofie, traumy alebo resekcií. Táto práca poskytuje prehľad vybraných biomateriálov používaných na obnovu kostného tkaniva, hodnotí ich biologické vlastnosti, indikácie a klinickú efektívnosť. Autológna kosť zostáva zlatým štandardom pre svoj osteogénny, osteoindukčný a osteokonduktívny potenciál, avšak jej využitie obmedzuje invazivita odberu z donorského miesta a limitovaná dostupnosť. Alogénne a xenogénne materiály ponúkajú vhodné alternatívy s vysokou predvídateľnosťou, najmä pri kombinovaných augmentačných technikách. Aloplastické náhrady poskytujú neobmedzenú dostupnosť, štandardizované vlastnosti a možnosti individualizácie, no chýba im vlastná osteogénna kapacita. Súčasné trendy, ako 3D tlač, bioaktívne povlaky, nanokompozity a kmeňové bunky, zlepšujú kvalitu regenerácie a umožňujú personalizovaný prístup. Optimálna voľba materiálu závisí od typu a rozsahu defektu, požiadaviek na stabilitu a stavu mäkkých tkanív.

Práca je rozdelená do troch tematických častí. V prvej časti sú analyzované autológne štepy a xenogénne materiály, v druhej sa pozornosť sústreďuje na alogénne kostné náhrady a syntetické biomateriály a v tretej časti sa rozoberajú nové trendy v regeneratívnej medicíne a odborné prehľady.

Kľúčové slová: kostná augmentácia, autograft, xenograft

ABSTRACT

Bone augmentation in the orofacial region is an essential component of reconstructive surgery in the management of defects caused by atrophy, trauma, or resection. This review provides an overview of selected biomaterials used for bone regeneration, evaluating their biological properties, indications, and clinical effectiveness. Autologous bone remains the gold standard due to its osteogenic, osteoinductive, and osteoconductive potential, although its use is limited by donor-site morbidity and restricted availability. Allogeneic and xenogeneic materials offer suitable alternatives with high predictability, particularly in combined augmentation techniques. Alloplastic substitutes provide unlimited availability, standardized properties, and opportunities for customization, but lack intrinsic osteogenic capacity. Current trends such as 3D printing, bioactive coatings, nanocomposites, and stem-cell-based approaches enhance regenerative outcomes and support personalized treatment strategies. Optimal material selection depends on the type and extent of the defect, mechanical stability requirements, and soft-tissue conditions. Presented overview is divided into three thematic sections. The first section analyzes autologous grafts and xenogeneic materials, the second focuses on allogeneic bone substitutes and synthetic biomaterials, and the third discusses new trends in regenerative medicine, and a comparative evaluation of the materials.

Keywords: bone augmentation, autograft, xenograft

Úvod

Kostné augmentácie v orofaciálnej oblasti predstavujú skupinu chirurgických postupov zameraných na obnovenie alebo nahradenie strateného kostného tkaniva. Ide o kľúčovú súčasť rekonštrukčnej a regeneračnej chirurgie tvárového skeletu, ktorej cieľom je obnoviť morfológickú integritu, funkciu a estetiku postihnutej oblasti. Strata kosti môže vzniknúť v dôsledku chronických zápalových procesov (napr. odontogénne cysty, osteomyelitidy), po extrakciách zubov, úrazoch, ako dôsledok atrofie súvisiacej s dlhodobým chýbaním záťaže, po resekciách tumorov alebo vrodených vývojových defektoch [1, 2]. Z hľadiska klinického využitia majú kostné augmentácie široké spektrum indikácií a ich cieľom je nielen dosiahnuť dostatočný objem kosti, ale

aj jej biologickú vitalitu a schopnosť integrácie s okolitými tkanivami, čím sa zabezpečí dlhodobá stabilita a funkčnosť rekonštruovanej oblasti. Úlohou biomateriálov je podporiť proces osteokondukcie (rast novej kosti po povrchu materiálu), osteoindukcie (stimulácia diferenciácie progenitorových buniek na osteoblasty) a ideálne aj osteogenézy (priama tvorba kosti vitálnymi osteogénnymi bunkami) [3]. Požiadavky na ideálny biomateriál na orofaciálne kostné augmentácie sú komplexné: materiál musí byť biokompatibilný, bioresorbovateľný v kontrolovanom čase, mechanicky stabilný a ľahko tvarovateľný tak, aby bolo možné presne rekonštruovať anatomicкую štruktúru kostí. Zároveň by mal umožňovať vaskularizáciu, bunkovú kolonizáciu a postupnú remodeláciu na vitálnu lamelárnu kosť [4].

Autológne kostné materiály v orofaciálnej chirurgii

Autológna (autogénna) kosť predstavuje zlatý štandard v rekonštrukcii kostných defektov orofaciálnej oblasti. Ide o kostné tkanivo odobraté priamo od pacienta, ktoré sa následne transplantuje do defektu tej istej osoby. Vďaka tomu neexistuje riziko imunitnej reakcie ani prenosu infekčných ochorení. Autológny štep obsahuje živé osteogénne bunky, rastové faktory a prirodzenú extracelulárnu matrix, čím disponuje všetkými tromi základnými vlastnosťami potrebnými pre regeneráciu kosti – osteogenezou, osteoindukciou a osteokondukciou [5, 6, 7].

V dôsledku svojej biologickej aktivity a predvídateľného správania sa autológna kosť považuje za najefektívnejší materiál pre augmentáciu alveolárneho hrebeňa, rekonštrukciu defektov po extrakciách, cystách, tumoroch, traumách či po resekciách v rámci ortognátnej chirurgie. Nevýhodou jej použitia je jej invazivita, pre potrebu chirurgického odberu, ktorý zvyšuje záťaž pacienta a predlžuje operačný čas. Taktiež riziko resorpcie je značné, najmä pri spongióznej kosti [8]. V súčasnosti sa autológne štepy často kombinujú s biomateriálmi a rastovými faktormi, čím sa znižuje potrebný objem autológneho materiálu, a zmiernuje sa tak záťaž donorského miesta [9].

Odber autológnej kosti možno realizovať intraorálne (retromolárová, mentálna oblasť, tuber maxillae) aj extraorálne (bedrová kosť, holenná kosť, rebro), pričom voľba závisí od rozsahu defektu, požadovaného objemu kosti a plánovanej rekonštrukcie [10, 11].



Obr. 1 Zafixovaný autológny kostný štep rozdelený na dve časti (zdroj: KSaMFCH)

Fig. 1 Fixed autologous bone graft divided into two segments

Samostatným typom autológneho materiálu je spracovaný dentín z vlastných extrahovaných zubov pacienta v rámci socket preservation (ochrana pred nežiadúcou poextrakčnou atrofiou kosti), ridge preservation (zachovanie alveolárneho hrebeňa), terapie paradontitídy alebo periimplantitídy, alebo v kombinácii metód, napr. pri riadenej kostnej regenerácii (GBR). Technológia využitia autológnych tvrdých zubných tkanív pre regeneráciu kostných defektov vychádza z metodiky založenej na mletí



Obr. 2 Odberové miesto autológneho štepu z uhla sánky (zdroj: KSaMFCH)

Fig. 2 Autologous graft harvest site at the mandibular angle

extrahovaných zubov na frakciu veľkosti 300 – 1200 μm . Extrahované zuby sa po mechanickom odstránení všetkých nečistôt, výplní, kameňa a zvyškov periodontálnych štruktúr melú 20 sekúnd v zariadení Smart Dentin Grinder. Po separácii požadovanej frakcie sa získaný materiál dezinfikuje v roztoku Cleanser a následne premýva 5 minút sterilným fosfátom pufrovaným fyziologickým roztokom. Takto spracovaný materiál je pripravený na aplikáciu. Autológny dentín má vysokú biologickú kompatibilitu, keďže pochádza z toho istého pacienta. Uvoľňuje bioaktívne molekuly, ktoré stimulujú osteoindukciu a podporujú diferenciáciu osteoprogenitorových buniek. Štruktúra dentínu s otvorenými tubulami poskytuje výbornú osteokondukciu, podobnú prirodzenej kosti, a umožňuje rýchlu kolonizáciu bunkami. Materiál má mechanickú stabilitu porovnateľnú s kortikálnou kosťou, čo prispieva k udržaniu objemu augmentácie. Recyklácia vlastných extrahovaných zubov je ekonomická a minimalizuje potrebu odberu autológnej kosti, čím odpadá záťaž donorského miesta. Klinické štúdie preukazujú zrýchlenú remodeláciu a tvorbu novej kosti, keďže dentín sa resorbuje pomalšie než spongiózna kosť, čím poskytuje dlhodobý tkanivový nosič, tzv. scaffold pre regeneráciu. [12, 13].

Xenogénne kostné materiály v orofaciálnej chirurgii

Xenogénne materiály (xenografty) sú kostné štepy získané zo živočíšnych zdrojov, najčastejšie z hovädzej (bovinej) kosti. Ich spracovanie zahŕňa odstránenie organických zložiek, proteínov a buniek, čím sa eliminuje riziko imunitnej reakcie alebo prenosu infekcií, pričom sa zachováva anorganická štruktúra kosti. Výsledný bioma-

teriál je biokompatibilný a slúži predovšetkým ako osteokonduktívna matrica pre novotvorbu kosti [1, 6]. Najrozšírenejším xenogénnym materiálom v stomatochirurgii je deproteinovaná bovinná kosť (napr. Bio-Oss®), ktorá si udržiava pórovitú architektúru veľmi podobnú ľudskej trabekulárnej kosti [14].

Xenogénna kosť má predovšetkým osteokondukčné vlastnosti – poskytuje trojrozmerný scaffold, ktorý umožňuje adhéziu, migráciu a diferenciáciu osteoblastov. Neobsahuje živé bunky ani rastové faktory, preto osteogenezu ani osteoindukciu sama osebe nevyvoláva. V kombinácii s autogénnou kosťou alebo rastovými faktormi (napr. PRF, BMP) je možné dosiahnuť vyššie regeneračné účinky. Jednou z významných vlastností xenogénnych materiálov je ich nízka resorpcia. To zabezpečuje dlhodobú objemovú stabilitu augmentovaného miesta, avšak môže dochádzať k perzistencii častíc v tkanive aj niekoľko rokov po augmentácii [16, 17, 18].

LITERATÚRA

- Nicolae C-L, Pirvulescu D-C, Niculescu A-G, Epistatu D, Mihaiescu DE, Antohi AM, et al. An up-to-date review of materials science advances in bone grafting for oral and maxillofacial pathology. *Materials*. 2024;17(19):4782. doi:10.3390/ma17194782.
- Fesseha H. Bone grafting, its principle and application: a review. *Osteol Rheumatol Open J*. 2020;1:43-50. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/340935047_Bone_Grafting_Its_Principle_and_Application_A_Review
- Albrektsson T, Johansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur Spine J*. 2001;10(Suppl 2):S96-S101. doi:10.1007/s005860100282.
- Baldwin P, Li DJ, Auston DA, Mir HS, Yoon RS, Koval KJ. Autograft, allograft, and bone graft substitutes: clinical evidence and indications for use in the setting of orthopaedic trauma surgery. *J Orthop Trauma*. 2019;33(4): 203-213. doi:10.1097/BOT.0000000000001420.
- Nkenke E, Neukam FW. Autogenous bone harvesting and grafting in advanced jaw resorption: morbidity, resorption and implant survival. *Eur J Oral Implantol*. 2014;7(Suppl 2):S203-S217. PMID:24977256.
- Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009;24(Suppl):218-236. PMID:19885447.
- Aghaloo TL, Moy PK. Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement? *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2007;22(Suppl):49-70. Erratum in: *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2008;23(1):56. PMID:18437791.
- Dimitriou R, Mataliotakis GI, Angoules AG, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Complications following autologous bone graft harvesting from the iliac crest and using the RIA: a systematic review. *Injury*. 2011;42(Suppl 2):S3-S15. doi:10.1016/j.injury.2011.06.015.
- Schmitt CM, Doering H, Schmidt T, Lutz R, Neukam FW, Schlegel KA. Histological results after maxillary sinus augmentation with Straumann BoneCeramic, Bio-Oss, Puros, and autologous bone: a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res*. 2013;24(5):576-585. doi:10.1111/j.1600-0501.2012.02431.x.
- Sakkas A, Wilde F, Heufelder M, Winter K, Schramm A. Autogenous bone grafts in oral implantology—is it still a „gold standard“? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *Int J Implant Dent*. 2017;3(1):23. doi:10.1186/s40729-017-0084-4.
- Elsalanty ME, Genecov DG. Bone grafts in craniofacial surgery. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr*. 2009;2(3):125-134. doi:10.1055/s-0029-1215875.
- Kučera J, Lofaj F, Nagyová-Krchova Z, Šurín Hudáková N, Vojtko M, Březina V. Stimulation of osteogenic activity of autologous teeth hard tissues as bone augmentation material. *Biology (Basel)*. 2024;13(1):40. doi:10.3390/biology13010040.
- Wystouch E, Sipika A, Grabowska-Jasik N, Tyrakowski M, Kaczmarzyk T, Szuta M. Use of autologous dentin matrix in bone defects augmentation—a literature review. *Folia Med Cracov*. 2024;64(2):87-91. doi:10.24425/fmc.2024.150155.
- J Miron RJ. Optimized bone grafting. *Periodontol*. 2000. 2024;94(1):143-160. doi:10.1111/prd.12517.
- Pietrzak WS, Ali SN, Chitturi D, Jacob M, Woodell-May JE. BMP depletion occurs during prolonged acid demineralization of bone: characterization and implications for graft preparation. *Cell Tissue Bank*. 2011;12(2):81-88. doi:10.1007/s10561-009-9168-6.
- Aludden HC, Mordenfeld A, Hallman M, Dahlin C, Jensen T. Lateral ridge augmentation with Bio-Oss alone or Bio-Oss mixed with particulate autogenous bone graft: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2017;46(8):1030-1038. doi:10.1016/j.ijom.2017.03.008.
- Zhao R, Yang R, Cooper PR, Khurshid Z, Shavandi A, Ratnayake J. Bone grafts and substitutes in dentistry: a review of current trends and developments. *Molecules*. 2021;26(10):3007. doi:10.3390/molecules26103007.
- Traini T, Valentini P, Iezzi G, Piattelli A. A histologic and histomorphometric evaluation of anorganic bovine bone retrieved 9 years after a sinus augmentation procedure. *J Periodontol*. 2007;78(5):955-961. doi:10.1902/jop.2007.060308.

Korešpondujúci autor

MDDr. Zdenka Lučivjanská

Klinika stomatológie a maxilofaciálnej chirurgie
UPJŠ LF a UN L. Pasteura v Košiciach