

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2026.13.047

口腔骨缺损修复中异种骨与双相磷酸钙生物陶瓷的应用现状

王雯雯^{1,2}, 胡杨^{1,2}

[1. 新疆医科大学第一附属医院(附属口腔医院)口腔修复种植科, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区口腔医学研究所, 新疆 乌鲁木齐 830054]

[摘要] 临床上通常因根尖周病、牙周炎及拔牙后牙槽嵴萎缩等导致口腔骨组织缺损, 进而导致软组织塌陷、牙槽嵴萎缩、牙齿松动等问题, 严重影响患者口腔功能与美观。脱蛋白牛骨矿物质(DBBM)作为异种骨移植金标准, 已积累大量循证数据。双相磷酸钙(BCP)在新骨形成量上与DBBM疗效相当, 备受关注。但羟基磷灰石/ β -磷酸三钙(HA/ β -TCP)比例在各类骨缺损中的分层证据尚不充分, 长期随访数据及适应证边界仍需明确。鉴于此, 本文系统梳理DBBM与BCP二者材料学差异, 分别对比二者在上颌窦提升术、牙槽嵴保存术与牙周骨内缺损中的应用效果, 以期为临床精准选材提供参考。

[关键词] 异种骨; 双相磷酸钙; 骨引导再生

[中图分类号] R783

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2026)13-0191-04

Application Status of Xenogeneic Bone and Biphasic Calcium Phosphate Bioceramics in Oral Bone Defect Repair

WANG Wenwen^{1,2}, HU Yang^{1,2}

[1. Department of Prosthodontics and Implantology, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University (Affiliated Stomatological Hospital), Urumqi 830054, Xinjiang, China;

2. Xinjiang Uygur Autonomous Region Institute of Stomatology, Urumqi 830054, Xinjiang, China]

[Abstract] Clinically, oral bone defects are commonly caused by periapical disease, periodontitis and alveolar ridge atrophy after tooth extraction, which further lead to soft tissue collapse, alveolar ridge atrophy, tooth mobility and other problems, seriously affecting patients' oral function and aesthetics. Deproteinized bovine bone mineral (DBBM), regarded as the gold standard for xenogeneic bone grafting, has accumulated abundant evidence-based data. Biphasic calcium phosphate (BCP) has attracted extensive attention because its efficacy in new bone formation is comparable to that of DBBM. However, stratified evidence regarding the ratio of hydroxyapatite/ β -tricalcium phosphate (HA/ β -TCP) in various bone defects remains insufficient, and long-term follow-up data and indication boundaries still need to be clarified. In view of this, this paper systematically sorts out the material differences between DBBM and BCP, and compares their application effects in maxillary sinus elevation, alveolar ridge preservation and intrabony periodontal defects, so as to provide references for accurate clinical material selection.

[Key words] Xenogeneic bone; Biphasic calcium phosphate; Guided bone regeneration

临床上口腔骨组织缺损通常因牙周炎、根尖周病、拔牙后牙槽嵴萎缩、咬合创伤和种植体周围炎等导致水平或垂直性骨吸收, 其对牙齿功能、种植修复及美学修复构成挑战。骨引导再生

术(guided bone regeneration, GBR)是一种骨增量技术, 其原理是利用屏障膜阻止非成骨细胞的迁移, 并在其下植入骨替代材料作为支架, 引导新骨形成。骨替代材料主要分为自体骨、同种异

第一作者: 王雯雯(2002.9-), 女, 河南息县人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事口腔修复学方面的研究

通讯作者: 胡杨(1983.4-), 男, 湖北黄冈人, 硕士, 主任医师, 副教授, 主要从事组织工程颌骨及牙支架材料构建及改性, 细胞培养及基因转染增强其成骨、成牙功能及机制的研究

体骨、异种骨和人工合成材料四大类。其中,自体骨被视为“金标准”,其联合GBR修复骨缺损的成功率高达95.6%^[1],再生骨稳定性良好,但存在供体并发症、二次创伤、供骨有限及手术住院时长等缺点,限制了其应用。因此,寻求生物相容性良好的骨替代材料成为了研究热点。异种骨多来自牛和猪等动物,因成骨效果及空间维持能力在临床广泛应用,以脱蛋白牛骨矿物基质(deproteinized bovine bone mineral, DBBM)最为常用。双相磷酸钙(biphasic calcium phosphate, BCP)作为有前景的人工合成材料,由不同比例的羟基磷灰石(hydroxyapatite, HA)和 β -磷酸三钙(β -tricalcium phosphate, β -TCP)构成。其多孔结构和生物活性表面能促进细胞附着、增殖与分化^[2],且通过调整HA/ β -TCP比例可精确调控其降解速率,可以适应不同的临床需求。尽管DBBM与BCP各具优势,但二者在相同临床场景下对比研究尚不充分。现有研究在随访周期、评价指标等差异较大,本文将梳理二者在不同骨缺损类型中的表现,以期临床选材提供循证依据。

1 双相磷酸钙

BCP由不同比例的HA和 β -TCP构成。HA成分与人体骨骼和牙齿的矿物成分高度相似,具有良好的生物相容性与骨传导性,但其降解速率缓慢影响新骨的生长。 β -TCP则相反,降解速率快且可控,其降解产物钙离子和磷离子可促进新骨的形成。通过微波烧结制备工艺结合聚乙烯醇粘合剂,可获得孔隙率与抗压强度接近人体松质骨的BCP支架^[3]。调控两者比例(如60:40、70:30、30:70)可平衡稳定性与降解性^[4],较高的HA含量通常会提高机械强度,相反, β -TCP含量较高则会提高其降解速率。HA/ β -TCP比例为30:70时,其降解速率能与新骨生长良好匹配^[5];比例为70:30有更好的支架稳定性,能提供更长期的空间维持能力^[6]。因此,可根据临床需求选择不同比例的BCP,展现出良好的临床应用潜力。

2 异种骨

异种骨多来源于猪骨、牛骨等,其中DBBM

是口腔领域应用最广泛、证据最充分的异种骨材料。DBBM通过化学处理与高温煅烧去除有机成分,保留天然多孔羟基磷灰石骨架,具有良好的生物相容性、骨传导性及极低的降解率,能长期稳定维持骨缺损空间,成为临床上骨组织缺损的可靠选择。

但DBBM仅具有骨传导作用,材料来源于活体且缺乏骨诱导能力,存在病原体传播风险且降解缓慢等问题。有研究发现^[7],DBBM在植入10年后仍可观察到残留物,使其在年轻患者和大体积骨缺损中应用受限,这促使研究者寻求性能相似且更安全可控的合成替代品。

有研究发现^[8],特定比例60:40、80:20的BCP在降解速率上与DBBM相当。机制上,BCP的多孔结构与生物活性表面可促进细胞附着、增殖与分化,通过 β -TCP降解释放钙磷离子刺激成骨细胞分化^[9],这是DBBM所不具备的离子介导成骨路径。Lei W等^[10]发现亚微米形貌的BCP在体内外均刺激破骨细胞分化,呈现出DBBM所不具备的骨诱导潜能,展现出超越DBBM单一骨传导的综合优势,但其长期体积稳定性、不同比例HA/ β -TCP在不同骨缺损类型中的分层证据仍待补齐。

3 BCP与DBBM在不同临床场景中的应用

3.1 上颌窦提升术 上颌后牙缺失患者选择种植牙修复时,常面临骨量不足的问题,通常由牙槽骨萎缩和上颌窦气化共同导致,需行上颌窦提升术增加骨高度。种植体获得足够的初期稳定性的宿主因素主要是术区的骨密度和骨量,而上颌窦提升术中填入窦膜下方的空间后,新骨的形成与空间维持面临挑战。骨替代材料因其能够维持空间稳定、促进新骨长入而在上颌窦提升术中发挥至关重要。长期研究表明^[11],分别使用BCP和DBBM后,种植体经5年功能负载,种植体存活率、成功率及边缘骨水平维持无显著差异,远期临床效果总体相当。组织学层面,de Lange GL等^[12]研究发现BCP组活检样本中类骨质含量高于DBBM组,且在移植区内骨生长分布更均匀、骨改建更活跃,表明BCP在早期成骨质量与骨重塑活性方面可能更具优势。20:80与60:40两种比例的BCP均能

有效用于上颌窦提升,在残余移植材料体积、破骨细胞数量和血管数量方面均无明显差异。但高 β -TCP比例(20:80)在短期内表现出更积极的成骨反应^[13],表明可以通过调整比例提高早期成骨效率。

有研究长期随访显示^[14],BCP在上颌窦提升术中能提供良好的尺寸稳定性,术后骨高度损失极小,植入9~12个月后能与种植体实现良好的骨结合,同时研究者认为BCP植入后种植的最佳时间是9个月,这为临床手术时机的选择提供了重要参考。

3.2 牙槽嵴保存术 拔牙后牙槽骨处于吸收和新骨形成的动态平衡中,但吸收占主导,导致牙槽嵴的水平与垂直骨量减少,尤其以唇侧/颊侧为甚,给后续种植体的植入与美学修复带来挑战。牙槽嵴保存术可保留牙槽嵴的轮廓和结构并提供充足骨量。DBBM作为异种骨移植的金标准,常与胶原屏障膜联合维持牙槽窝轮廓,但其颗粒术前需与生理盐水或血液预混,且降解慢,长期残留较多。

近年来,新型注射型双相磷酸钙(I-BCP)在三维空间维持及新骨形成方面与DBBM效果相当^[15],且无需预混即可直接充填骨缺损,成功简化手术操作、缩短时间,减轻患者不适感。Kakar A等^[16]进一步对BCP颗粒表面进行涂层处理,使其注入牙槽窝内数分钟后硬化成稳定多孔支架,且无需屏障膜参与,成为一种更加微创的方法,该研究同时指出,对于颊侧骨缺损>5 mm时联合使用生物可吸收膜能够更有效地维持牙槽嵴轮廓,提示应根据临床缺损程度灵活选择是否辅以膜技术。

3.3 牙周骨内缺损 牙周骨内缺损是慢性牙周炎的常见并发症,常导致牙周组织丧失,现有的牙周炎治疗方式是通过消除感染使牙周组织和骨组织实现再生。然而传统的开放式翻瓣清创术(open flap debridement, OFD)虽然能够提供视野清洁根面,但在组织再生方面的能力有限。为弥补这一不足,临床长期采用DBBM联合OFD作为基准方案。DBBM骨传导性被视为金标准,但降解缓慢、长期残留较多。BCP因比例可调与降解可控引起关注,有研究发现在垂

直骨缺损中BCP与其疗效相当^[17],是可行的替代材料。BCP联合OFD能够显著改善临床附着水平,减少探诊深度和术后牙龈退缩,并促进骨填充^[18]。Shi H等^[19]发现BCP可作为物理屏障阻挡上皮长入,并为牙周膜干细胞等提供附着支架,弥补了DBBM仅有骨传导性而无屏障功能的缺陷。此外,BCP与富血小板纤维蛋白(PRF)与牙釉质基质衍生物(EMD)等生物活性因子联合使用,通过线粒体凋亡途径促进破骨细胞凋亡,抑制骨的吸收^[20],再生效果优于单独使用BCP,而DBBM因其降解缓慢,离子释放弱,难以与此类生物因子形成协同放大效应。可见,对于牙周炎骨内缺损,BCP相较于DBBM展现出差异化优势,具备组织再生的潜力。

4 总结

DBBM与BCP是目前口腔骨缺损修复的两大主流骨替代材料,BCP作为人工合成骨替代材料,优势在于可控性与生物活性,可通过调整HA与 β -TCP比例调控其降解速率,满足不同的临床需求。同时,BCP兼具骨传导性与骨诱导性,在促进新骨形成方面较DBBM更具潜力。因此,BCP作为一种有潜力的骨替代材料,在未来选择骨替代材料时可根据骨缺损的具体条件合理选择。

[参考文献]

- [1]Yu ZH,Deng XY,Fan ZQ,et al.Research Advances in the Principle of Autologous Guided Bone Regeneration in Craniomaxillofacial Surgery[J].J Craniofac Surg,Published online January 22,2026.Online ahead of print.
- [2]Lee JH,An HW,Im JS,et al.Erratum:Text Correction. Evaluation of the clinical and radiographic effectiveness of treating peri-implant bone defects with a new biphasic calcium phosphate bone graft:a prospective, multicenter randomized controlled trial[J].J Periodontal Implant Sci,2024,54(3):205.
- [3]Sarode B,Kuthe A,Bhishnurkar AD,et al.Influence of heating rate and soak time on microwave sintered hydroxyapatite and β -tricalcium phosphate ceramics for bone applications[J].Sci Rep,2025,16(1):1182.
- [4]Čandrić M,Tomas M,Matijević M,et al.Regeneration of

- Buccal Wall Defects after Tooth Extraction with Biphasic Calcium Phosphate in Injectable Form vs. Bovine Xenograft: A Randomized Controlled Clinical Trial[J]. *Dent J (Basel)*, 2023, 11(9): 223.
- [5] Shao CS, Chen LJ, Tang RM, et al. Degradation and biological performance of porous osteomimetic biphasic calcium phosphate in vitro and in vivo[J]. *Rare Metals*, 2021, 41(2): 1-12.
- [6] Arunjarosuk S, Thunyakitpisal P, Nampuksa K, et al. Stability of guided bone regeneration with two ratios of biphasic calcium phosphate at implant sites in the esthetic zone: A randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2023, 34(8): 850-862.
- [7] Xu G, Wang T, Shen C, et al. In-vitro physicochemical characterization of a novel type of bone-defect-filling granules-BpNcCaP in comparison to deproteinized bovine bone (Bio-Oss®)[J]. *Nano TransMed*, 2023, 2(1): e9130016.
- [8] Chakar C, Soffer E, Cohen N, et al. Vertical bone regeneration with deproteinised bovine bone mineral or biphasic calcium phosphate in the rabbit calvarium: effect of autologous platelet lysate[J]. *J Mater Sci Mater Med*, 2015, 26(1): 5339.
- [9] Furlani M, Notarstefano V, Riberti N, et al. Healing Kinetics of Sinus Lift Augmentation Using Biphasic Calcium Phosphate Granules: A Case Series in Humans[J]. *Bioengineering (Basel)*, 2025, 12(8): 848.
- [10] Lei W, Wu Y, He P, et al. Osteoclastogenesis-characterized osteoinductive biphasic calcium phosphate ceramic for bone regeneration in rabbit maxillary sinus lift[J]. *J Mater Chem B*, 2025, 13(20): 5880-5897.
- [11] Helder MN, van Esterik FAS, Kwehandjaja MD, et al. Evaluation of a new biphasic calcium phosphate for maxillary sinus floor elevation: Micro-CT and histomorphometrical analyses[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018, 29(5): 488-498.
- [12] de Lange GL, Overman JR, Farré-Guasch E, et al. A histomorphometric and micro-computed tomography study of bone regeneration in the maxillary sinus comparing biphasic calcium phosphate and deproteinized cancellous bovine bone in a human split-mouth model[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2014, 117(1): 8-22.
- [13] Cha JK, Kim C, Pae HC, et al. Maxillary sinus augmentation using biphasic calcium phosphate: dimensional stability results after 3-6 years[J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2019, 49(1): 47-57.
- [14] Tomas M, Karl M, Čandrlić M, et al. A Histologic, Histomorphometric, and Immunohistochemical Evaluation of Anorganic Bovine Bone and Injectable Biphasic Calcium Phosphate in Humans: A Randomized Clinical Trial[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(6): 5539.
- [15] Mordenfeld A, Lindgren C, Hallman M. Sinus Floor Augmentation Using Straumann® BoneCeramic™ and Bio-Oss® in a Split Mouth Design and Later Placement of Implants: A 5-Year Report from a Longitudinal Study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2016, 18(5): 926-936.
- [16] Kakar A, Rao BHS, Hegde S, et al. Ridge preservation using an in situ hardening biphasic calcium phosphate (β -TCP/HA) bone graft substitute-a clinical, radiological, and histological study[J]. *Int J Implant Dent*, 2017, 3(1): 25.
- [17] Sharma S, Tomar N, Ahmed S, et al. Healing Patterns of Periodontal Intrabony Defects Following Allograft and Alloplast Therapy: A Prospective Randomized Clinical Trial[J]. *Cureus*, 2026, 18(2): e103311.
- [18] Lee MJ, Kim BO, Yu SJ. Clinical evaluation of a biphasic calcium phosphate grafting material in the treatment of human periodontal intrabony defects[J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2012, 42(4): 127-135.
- [19] Shi H, Zong W, Xu X, et al. Improved biphasic calcium phosphate combined with periodontal ligament stem cells may serve as a promising method for periodontal regeneration[J]. *Am J Transl Res*, 2018, 10(12): 4030-4041.
- [20] Kumar A, Mahendra J, Samuel S, et al. Platelet-rich fibrin/biphasic calcium phosphate impairs osteoclast differentiation and promotes apoptosis by the intrinsic mitochondrial pathway in chronic periodontitis[J]. *J Periodontol*, 2019, 90(1): 61-71.