

离体牙作为植骨材料在骨增量中的应用现状及展望

郑小利^{1,2,3}, 季平^{1,2,3*}

¹重庆医科大学附属口腔医院颌面外科, 重庆

²口腔疾病与生物医学重庆市重点实验室, 重庆

³重庆市高校市级口腔生物医学工程重点实验室, 重庆

收稿日期: 2025年2月28日; 录用日期: 2025年3月21日; 发布日期: 2025年3月31日

摘要

本文综述了离体牙作为植骨材料在骨增量中的应用现状及未来展望。离体牙因其独特的组成和生物学特性, 近年来在骨增量领域受到广泛关注。文章详细介绍了离体牙的组成与特性, 阐述了其作为植骨材料的优势, 包括生物相容性、骨诱导性和骨传导性。同时, 探讨了离体牙在口腔种植、颌面外科和骨科等领域的应用现状。此外, 还分析了离体牙植骨材料面临的主要挑战, 并展望了未来的研究方向。研究表明, 离体牙作为一种潜在的植骨材料, 在骨增量领域具有广阔的应用前景。

关键词

离体牙, 植骨材料, 骨增量, 骨组织工程, 生物材料

Application Status and Prospects of Extracted Teeth as Bone Graft Materials in Bone Augmentation

Xiaoli Zheng^{1,2,3}, Ping Ji^{1,2,3*}

¹Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Stomatological Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

²Chongqing Key Laboratory of Oral Diseases and Biomedical Sciences, Chongqing

³Chongqing Municipal Key Laboratory of Oral Biomedical Engineering of Higher Education, Chongqing

Received: Feb. 28th, 2025; accepted: Mar. 21st, 2025; published: Mar. 31st, 2025

*通讯作者。

文章引用: 郑小利, 季平. 离体牙作为植骨材料在骨增量中的应用现状及展望[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(2): 439-444. DOI: 10.12677/jcpm.2025.42197

Abstract

This article reviews the current application status and future prospects of extracted teeth as bone graft materials in bone augmentation. Due to their unique composition and biological properties, extracted teeth have garnered significant attention in the field of bone augmentation in recent years. The article elaborates on the composition and characteristics of extracted teeth, highlighting their advantages as bone graft materials, including biocompatibility, osteoinductivity, and osteoconductivity. It also explores the current applications of extracted teeth in dental implants, maxillofacial surgery, and orthopedics. Furthermore, the main challenges faced by extracted teeth as bone graft materials are analyzed, and future research directions are proposed. Studies indicate that extracted teeth, as a potential bone graft material, hold broad application prospects in the field of bone augmentation.

Keywords

Extracted Teeth, Bone Graft Materials, Bone Augmentation, Bone Tissue Engineering, Biomaterials

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着口腔种植技术和颌面外科手术的不断发展,骨增量技术已成为解决骨量不足问题的重要手段。在口腔医学领域,骨移植材料已广泛应用于牙槽嵴保留、牙槽嵴增宽、上颌窦提升以及牙周骨缺损再生等骨形成和再生治疗中[1]。传统的植骨材料,如自体骨、异体骨和人工合成材料,虽各有优势,但仍存在一定的局限性,难以完全满足临床需求。目前,自体骨因其优异的骨传导性、骨诱导性和骨生成性,被视为植骨材料的“金标准”[2]。相比之下,合成骨材料虽成本较低且无疾病传播风险,但其骨诱导和骨生成能力较弱,限制了其在临床中的应用[3][4]。近年来,离体牙作为一种新型植骨材料引起了广泛关注。研究表明,离体牙在牙槽骨缺损修复中表现出良好的生物相容性和骨组织融合能力[5]。此外,实验证明,经过煮沸与脱矿处理的牙本质颗粒不仅具有良好的生物相容性,还能显著促进骨再生[6]。然而,离体牙材料在临床应用中仍面临诸多挑战,例如其收集、处理和保存技术要求较高,这对其推广使用提出了更高的技术门槛[7]。同时,未来研究还需进一步探索离体牙材料与新型生物材料(如同种异体骨材料[8]和3D打印支架[9][10]的整合应用效果,以期临床实践提供更坚实的理论和实践基础。

2. 研究现状

2.1. 牙本质植骨材料的研究现状

村田等人于2003年首次提出在同一患者身上使用自体脱矿牙本质基质作为骨移植材料来再生新骨的概念[10]。近年来,自体牙作为骨充填材料在临床上取得了相对较好的成骨效果[11]。在动物研究中,使用人脱矿质牙本质基质水凝胶与纳米羟基磷灰石水凝胶在兔颅骨缺损的成骨效果进行对比,显示出更高的新骨形成水平[12]。多项实验室研究和临床试验证实了经过部分脱矿处理的牙本质颗粒在骨缺损修复方面的有效性[13]。随着口腔植入学领域对植骨材料质量控制要求的不断提高,众多研究集中于如何改善离体牙材料的处理流程以提高其生物活性,目前已经发展出多种方法,包括物理和化学处理技术[14]。

目前, 离体牙植骨材料在口腔颌面科领域备受关注和广泛应用。现有研究成果证实了其在临床上的可行性和有效性, 为离体牙作为一种高潜力的生物材料在口腔颌面骨缺损修复领域的应用提供了坚实的基础。

2.2. 离体牙材料特性与优势分析

研究表明, 离体牙的有机和无机成分与自体骨质相当相似, 尤其是在牙本质的矿化程度和胶原蛋白分布方面, 其中 90% 为 I 型胶原蛋白[15]。有机基质中包含多个生物活性和再生分子的储存库, 如胰岛素样生长因子(IGF)、转化生长因子 β (TGF- β)、骨形态发生蛋白(BMP)和碱性成纤维细胞生长因子(bFGF), 以及非胶原蛋白(NCP), 例如牙本质磷蛋白[16]。然而, 牙釉质的 90% 由无机物组成, 主要成分为羟基磷灰石。这两种牙体硬组织与骨组织硬组织的成分相同。实验室研究显示, 经处理的离体牙能有效促进成骨细胞的增殖、分化和骨基质形成。临床研究进一步验证了自体牙植骨材料在牙槽骨缺损修复中的有效性, 同时记录了低免疫排斥反应和病原体传播风险的优点[17]。近年的临床随访研究表明, 离体牙材料在骨导性和骨诱导性方面可以提供与其他骨替代品相当或更好的结果[18]。鉴于骨修复过程中密度、力学性能和植骨材料的生物学特性对植骨区域的稳定性和功能至关重要, 天然牙本质材料由于其天然多孔骨结构可提供有利于细胞迁移、血管新生和营养物质传递的路径, 从而促进新骨的快速形成。此外, 处理后的离体牙材料表现出良好的形态匹配和生物相容性, 无明显的异物反应或炎症反应。一项动物研究表明, 牙本质和 β -TCP 支架在炎症和新生血管形成反应以及骨整合方面与等基因骨相似, 突出了它们在骨缺损工程再生中的潜在效用[19]。在力学属性方面, 离体牙材料也具有比 HA 更高的抗压和抗拉强度, 可承受生理负荷[20]。然而, 离体牙材料存在一些局限性: 牙体组织中残留的有机成分可能影响成骨速度和质量。此外, 离体牙的收集和处理过程较为复杂, 技术难度高且对存储条件要求严格, 这对其在临床上的推广和应用构成了实质性障碍。因此, 未来需要在技术上不断创新, 寻求最佳的处理和保存方案, 以确保其长期的生物安全性和临床效果。

2.3. 离体牙作为植骨材料的应用范围

离体牙源植骨材料以其自体骨亲和性强、免疫原性低的优势, 在植入物稳定性、边缘骨丧失(MBL)及并发症和失败率方面表现出与其他移植材料相当的效果, 因而被视为一种可行的骨增量材料[21]。在牙槽嵴保存术中, 使用离体牙源植骨材料能够显著促进新骨的形成, 减少患者的额外损伤风险和费用, 并为后续的种植体植入手术创造条件[22]。目前, 通过适当的收集、消毒和加工处理, 离体牙组织已能作为种植体周围的植骨材料, 展现出良好的应用前景[23]。研究表明, 离体牙材料能够在牙槽骨缺损处提供优越的细胞附着点, 促进细胞扩散和成骨细胞的增殖[24]。然而, 在离体牙的收集、处理及长效功能保持方面, 仍存在诸多技术要求和生物安全性问题, 这限制了其广泛应用。未来, 离体牙源植骨材料将通过进一步优化处理和使用策略, 以提高其生物活性和植骨效果, 满足不同的植骨需求。随着对离体牙源植骨材料的细胞分子机制及长期临床效果研究的不断深入, 其临床应用范围有望进一步扩大, 成为修复口腔颌面骨缺损的首选材料。

3. 离体牙植骨技术研究

离体牙材料准备与处理方法

目前临床上应用的自体牙骨粉, 同自体骨一样, 具有良好的骨诱导特性。且具有低的免疫原性[25]。但是自体牙粉与自体骨一样具有来源的限制。相比于自体牙粉, 异体甚至于异种牙粉来源广泛。且有研究表明, 牛牙制成的骨粉具有良好的细胞相容性, 并且具有与骨诱导特性[26]。目前对于自体来源的自体

牙粉的处理主要是脱矿。研究表明部分脱矿相对于其他处理方式具有更好的骨形成效果[27][28]。同时脱矿处理的牙本质骨粉相比于脱细胞处理的牙粉具有更好的成骨效果[28]。并且使用不同的脱矿剂,可能具有有意义的骨形成效果的差异。

同种异体来源的牙骨粉与自体牙来源的牙骨粉组成是相似的。但是同种异体来源的牙粉存在携带病毒和免疫排斥的风险[29]。有研究证明在抗原性低的骨骼位点异体牙来源的骨粉显示出巨大的骨诱导潜力,既不会对成骨能力产生不利影响,也不会引发免疫反应[30]。然而,在其临床应用之前,应研究病毒性疾病传播的风险。目前去除移植材料免疫原性的方法主要有:物理方法和化学方法。化学方法包括脱脂、脱蛋白、脱矿、脱细胞等。物理方法包括:低温冷冻、冷冻干燥、高温煅烧、煮沸超声等[26]。物理处理方法成本低,能减少免疫原性,但是可能会破坏天然结构,降低免疫原性[22]。化学方式能有效去除有机成分保留其天然矿物质成分,导致其改变微结构,影响机械性能,其残留的化学试剂可能对细胞活性产生不良影响[22]。对于牙粉的处理仍然没有标准化的流程,还有待于研究。目前来说部分脱矿处理对于自体牙粉和同种异体牙粉是应用比较广泛的一种方式。

有研究表明将人的牙粉植入老鼠的皮下产生与 MTA 等相似的低免疫反应[24]。目前对于异体源性和异种原性的牙粉作为骨移植材料仍然处理动物研究阶段[30]。离体牙的来源主要包括同种异体牙(来自其他人)和自体牙(来自患者自身)。不同来源的离体牙在生物相容性、免疫原性、骨诱导性等方面存在差异[22]。自体牙骨粉在骨修复中效果最佳,但来源有限[24]。同种异体牙骨粉经过优化处理后,可接近自体牙的效果,是临床常用的替代材料[26]。异种牙骨粉的应用受限,主要用于实验研究[28]。

4. 研究改进与未来方向

4.1. 改进材料处理和使用的策略

离体牙植骨材料的处理程序对其在骨组织工程中的有效性和安全性至关重要。超声波辅助的化学清洗过程显示出较为理想的去菌效果,能够在保持牙骨质天然微结构的同时,去除大部分的细菌微生物[30]。此外,微波辅助的灭活处理也在不断研究和优化中,旨在提高材料的无细胞性能[31],确保植入后的安全性。关于材料保存,目前研究表明,低温保存和干燥保存是影响植骨材料质量的关键因素。采用液氮冷冻技术,配合脱水裂解周期的优化,可以有效延长材料的保质期,并有利于保持其生物活性[32]。此外,许多研究表明,冷冻保存可以在一定程度上降低组织的免疫原性[33]。在临床使用策略方面,研究也在注重改进植入技术,以提高手术的精准性和材料的使用效率。三维打印技术的引入为紧密贴合缺损区域的个性化植骨材料的制备提供了技术支持,通过精确控制材料的形状和大小,加快了患者恢复期,提高了手术的成功率[34]。改进离体牙植骨材料的处理和使用策略不仅需要创新科技的支持,也需要整个口腔颌面外科领域对标准化和流程优化的共同努力。

4.2. 长期研究展望与潜在趋势

离体牙骨粉在细胞相容性、骨诱导与骨导性能方面展现出不逊于自体骨的效果,同时具备获取便捷、免疫排斥反应低的特点[27]。然而,在临床实践中只能运用自体牙本质粉。目前我们应关注牙釉质是否可以作为有效的植骨材料与异体或者异种来源的牙体组织是否同样可以应用于临床。在材料性能方面,未来研究需要突破现有的加工技术,尝试采用先进的生物工程方法,比如 3D 打印技术,以实现离体牙材料更精准的形状和尺寸控制[34]。在促进骨再生方面,将离体牙材料与成骨促进因子如生长因子结合使用,或许能够显著提高骨组织修复的成功率[35]。总体而言,随着材料科学、组织工程和生物医学技术的不断突破,离体牙植骨材料的应用前景无疑是广阔的。

5. 结论

离体牙作为一种新型植骨材料, 凭借其独特的组成和优异的生物学特性, 在骨增量领域展现出巨大潜力。其良好的生物相容性、骨诱导性和骨传导性为骨组织再生提供了理想的环境。尽管目前仍面临一些挑战, 但随着研究的深入和技术的进步, 离体牙植骨材料有望在未来得到更广泛的应用, 为骨缺损患者带来新的治疗选择。

基金项目

项目名称: 响应种植体周菌群失调联动免疫失衡的智能材料体系; 项目编号: 82220108019; 项目来源: 国家自然科学基金委。

参考文献

- [1] Sculean, A., Nikolidakis, D., Nikou, G., Ivanovic, A., Chapple, I.L.C. and Stavropoulos, A. (2015) Biomaterials for Promoting Periodontal Regeneration in Human Intrabony Defects: A Systematic Review. *Periodontology* 2000, **68**, 182-216. <https://doi.org/10.1111/prd.12086>
- [2] Misch, C.M. (2022) Autogenous Bone Is Still the Gold Standard of Graft Materials in 2022. *Journal of Oral Implantology*, **48**, 169-170. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-d-22-editorial.4803>
- [3] Kima, S., Yeo, H. and Kimb, Y. (1999) Grafting of Large Defects of the Jaws with a Particulate Dentin-Plaster of Paris Combination. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, **88**, 22-25. [https://doi.org/10.1016/s1079-2104\(99\)70188-5](https://doi.org/10.1016/s1079-2104(99)70188-5)
- [4] Mehboob, H., Mehboob, A., Abbassi, F., Ahmad, F., Khan, A.S. and Miran, S. (2021) Bioinspired Porous Dental Implants Using the Concept of 3D Printing to Investigate the Effect of Implant Type and Porosity on Patient's Bone Condition. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, **29**, 6011-6025. <https://doi.org/10.1080/15376494.2021.1971347>
- [5] 申丁. 煮沸处理牙本质颗粒作为骨移植材料的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连医科大学, 2016.
- [6] Titsinides, S., Agrogiannis, G. and Karatzas, T. (2019) Bone Grafting Materials in Dentoalveolar Reconstruction: A Comprehensive Review. *Japanese Dental Science Review*, **55**, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2018.09.003>
- [7] Hoexter, D.L. (2002) Bone Regeneration Graft Materials. *Journal of Oral Implantology*, **28**, 290-294. [https://doi.org/10.1563/1548-1336\(2002\)028<0290:brgm>2.3.co;2](https://doi.org/10.1563/1548-1336(2002)028<0290:brgm>2.3.co;2)
- [8] Bandyopadhyay, A., Mitra, I. and Bose, S. (2020) 3D Printing for Bone Regeneration. *Current Osteoporosis Reports*, **18**, 505-514. <https://doi.org/10.1007/s11914-020-00606-2>
- [9] Ren, J., Li, Z., Liu, W., Fan, Y., Qi, L., Li, S., et al. (2024) Demineralized Bone Matrix for Repair and Regeneration of Maxillofacial Defects: A Narrative Review. *Journal of Dentistry*, **143**, 104899. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104899>
- [10] Umehayashi, M., Ohba, S., Kurogi, T., Noda, S. and Asahina, I. (2020) Full Regeneration of Maxillary Alveolar Bone Using Autogenous Partially Demineralized Dentin Matrix and Particulate Cancellous Bone and Marrow for Implant-Supported Full Arch Rehabilitation. *Journal of Oral Implantology*, **46**, 122-127. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-d-19-00315>
- [11] Sultan, N. and Jayash, S.N. (2024) In vivo Evaluation of Regenerative Osteogenic Potential Using a Human Demineralized Dentin Matrix for Dental Application. *Dentistry Journal*, **12**, Article 76. <https://doi.org/10.3390/dj12030076>
- [12] Khurshid, Z., Adanir, N., Ratnayake, J., Dias, G. and Cooper, P.R. (2024) Demineralized Dentin Matrix for Bone Regeneration in Dentistry: A Critical Update. *The Saudi Dental Journal*, **36**, 443-450. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.11.028>
- [13] 马程辉. 不同处理方法对未脱钙牙本质颗粒的抗原性和成骨效果影响的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连医科大学, 2017.
- [14] Goldberg, M. (2011) Dentin Structure Composition and Mineralization. *Frontiers in Bioscience*, **3**, 711-735. <https://doi.org/10.2741/e281>
- [15] Roberts-Clark, D.J. and Smith, A.J. (2000) Angiogenic Growth Factors in Human Dentine Matrix. *Archives of Oral Biology*, **45**, 1013-1016. [https://doi.org/10.1016/s0003-9969\(00\)00075-3](https://doi.org/10.1016/s0003-9969(00)00075-3)
- [16] Elkady, E., Nour El-den, R., Atiba, A. and Yasser, S. (2023) Comparing the Effect of Demineralized versus Hybrid

- Dentin Matrices on Inducing Bone Regeneration in New Zealand White Rabbits' Mandibular Defect. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, **124**, Article 101346. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2022.11.022>
- [17] Kim, Y., Lee, J., Um, I. and Cho, W. (2016) Guided Bone Regeneration Using Demineralized Dentin Matrix: Long-Term Follow-up. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **74**, 515.E1-515.E9. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2015.10.030>
- [18] Bormann, K., Suarez-Cunqueiro, M.M., Sinikovic, B., Kampmann, A., von See, C., Tavassol, F., *et al.* (2012) Dentin as a Suitable Bone Substitute Comparable to β -TCP—An Experimental Study in Mice. *Microvascular Research*, **84**, 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2012.06.004>
- [19] Wang, F., Xie, C., Ren, N., Bai, S. and Zhao, Y. (2019) Human Freeze-Dried Dentin Matrix as a Biologically Active Scaffold for Tooth Tissue Engineering. *Journal of Endodontics*, **45**, 1321-1331. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.08.006>
- [20] Alqutaibi, A.Y., Alnazzawi, A.A. and Farghal, A. (2023) Autogenous Dentin Grafts Have Comparable Short-Term Outcomes to Other Graft Materials Regarding Implant Stability, Preimplant Marginal Bone Loss, and Complication Rate. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, **23**, Article 101844. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2023.101844>
- [21] Feng, Y., Zhao, R., Li, J., Yuan, Z., Xu, X. and Gong, J. (2023) Efficacy of Autogenous Particulated Dentin Graft for Alveolar Ridge Preservation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Medicine*, **102**, e36391. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000036391>
- [22] Kim, Y., Kim, S., Byeon, J., Lee, H., Um, I., Lim, S., *et al.* (2010) Development of a Novel Bone Grafting Material Using Autogenous Teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, **109**, 496-503. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.10.017>
- [23] Mateu-Sanz, M., Fuenteslópez, C.V., Uribe-Gomez, J., Haugen, H.J., Pandit, A., Ginebra, M., *et al.* (2024) Redefining Biomaterial Biocompatibility: Challenges for Artificial Intelligence and Text Mining. *Trends in Biotechnology*, **42**, 402-417. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2023.09.015>
- [24] Park, S., Kim, D. and Pang, E. (2017) Bone Formation of Demineralized Human Dentin Block Graft with Different Demineralization Time: *In Vitro* and *in Vivo* Study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, **45**, 903-912. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2017.03.007>
- [25] Mahardawi, B., Jiaranuchart, S., Dhanesuan, K., Arunjaroensuk, S., Mattheos, N. and Pimkhaokham, A. (2023) Correction to: The Clinical Efficacy of the Allogenic Demineralized Dentin Matrix Graft for Implant Placement: A Systematic Review. *Oral and Maxillofacial Surgery*, **28**, 1005-1005. <https://doi.org/10.1007/s10006-023-01171-5>
- [26] Wang, T. and Guo, Y. (2024) The Host Response to Autogenous, Allogeneic, and Xenogeneic Treated Dentin Matrix/Demineralized Dentin Matrix-Oriented Tissue Regeneration. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, **30**, 74-81. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2023.0065>
- [27] Minetti, E., Palermo, A., Malcangi, G., Inchingolo, A.D., Mancini, A., Dipalma, G., *et al.* (2023) Dentin, Dentin Graft, and Bone Graft: Microscopic and Spectroscopic Analysis. *Journal of Functional Biomaterials*, **14**, Article 272. <https://doi.org/10.3390/jfb14050272>
- [28] Copelli, F.A., de Lima, A.A.S., de Oliveira Santos, C.C., Carneiro, E. and Cavenago, B.C. (2021) Biological Response to Lyophilized Demineralized Dentin Matrix Implanted in the Subcutaneous Tissues of Rats. *The Saudi Dental Journal*, **33**, 441-447. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.12.005>
- [29] Um, I., Lee, J., Kim, J., Kim, Y., Bakhshalian, N., Jeong, Y.K., *et al.* (2021) Allogeneic Dentin Graft: A Review on Its Osteoinductivity and Antigenicity. *Materials*, **14**, Article 1713. <https://doi.org/10.3390/ma14071713>
- [30] Ku, J., Jeong, Y.K. and Um, I. (2021) Review of Allogeneic Dentin Graft for Maxillofacial Bone Defects. *Tissue Engineering Part C: Methods*, **27**, 472-480. <https://doi.org/10.1089/ten.tec.2021.0152>
- [31] Jiao, L., Xie, L., Yang, B., Yu, M., Jiang, Z., Feng, L., *et al.* (2014) Cryopreserved Dentin Matrix as a Scaffold Material for Dentin-Pulp Tissue Regeneration. *Biomaterials*, **35**, 4929-4939. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.03.016>
- [32] Wingenfeld, C., Egli, R.J., Hempfing, A., Ganz, R. and Leunig, M. (2002) Cryopreservation of Osteochondral Allografts: Dimethyl Sulfoxide Promotes Angiogenesis and Immune Tolerance in Mice. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **84**, 1420-1429. <https://doi.org/10.2106/00004623-200208000-00019>
- [33] Mirkhalaf, M., Men, Y., Wang, R., No, Y. and Zreiqat, H. (2022) Personalized 3D Printed Bone Scaffolds: A Review. *Acta Biomaterialia*, **156**, 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.04.014>
- [34] Lee, J., Seo, H., Cho, Y., Sung, I. and Son, J. (2024) Addition of Recombinant Human Bone Morphogenic Protein-2 to the Graft Materials Improves the Clinical Outcomes of Implants Placed in Grafted Maxillary Sinus. *Journal of Dental Sciences*, **19**, 865-870. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.08.020>
- [35] Ku, J., Choi, J., Song, S., Yun, P., Um, I. and Leem, D.H. (2024) Demineralized Dentin Matrix Incorporated with Rbmbp-2 Composite Graft for Treating Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 4830. <https://doi.org/10.3390/jcm13164830>