

自体牙的研究及应用进展

达尔亚·俄尼木拜^{1*}, 张迪¹, 古丽努尔·阿吾提^{1,2#}

¹新疆医科大学第一附属医院(附属口腔医院)牙周病科, 新疆 乌鲁木齐

²新疆维吾尔自治区口腔医学研究所, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年11月26日; 录用日期: 2022年12月21日; 发布日期: 2022年12月29日

摘要

牙齿的结构在物理和生物化学上都与骨骼非常相似, 利用牙齿作为自体骨移植的来源是一种创新和巧妙的技术, 目前大量的临床及动物研究证明, 自体牙在愈合潜力、物理特性和临床结果方面具有与植骨材料相似的特点, 而本文就从自体牙成骨原理及相关影响因素、制备方法、临床与动物研究等方面阐述。

关键词

自体牙, 自体牙骨粉, 脱矿牙本质基质, 骨移植材料, 骨修复

Research and Application Progress of Autogenous Teeth

Daerya·Enimubai^{1*}, Di Zhang¹, Gulnuer·Awuti^{1,2#}

¹Department of Periodontics, The First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University (The Affiliated Stomatology Hospital of Xinjiang Medical University), Urumqi Xinjiang

²Institution of Stomatology of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang

Received: Nov. 26th, 2022; accepted: Dec. 21st, 2022; published: Dec. 29th, 2022

Abstract

The structure of teeth is very similar to bone in both physical and biochemical aspects. It is an innovative and ingenious technology to use human teeth as the source of autologous bone transplantation. At present, a large number of clinical and animal studies have proved that autologous teeth have similar characteristics with bone graft materials in terms of healing potential, physical characteristics and clinical results. This paper focuses on the principle of autologous tooth osteo-

*第一作者。

#通讯作者。

genesis and related influencing factors, preparation methods, clinical and animal studies are described.

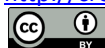
Keywords

Autogenous Tooth, Autogenous Tooth Bone Powder, Demineralized Dentin Matrix, Bone Graft Materials, Bone Repair

Copyright © 2022 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

良好的骨移植材料具备骨传导、骨诱导、骨生成、安全性及良好生物降解率等特点。骨移植材料中自体骨是金标准, 但会给患者带来不必要的二次术区, 异体和异种骨存在免疫反应、疾病传播和细菌感染等风险[1] [2]。所以良好的骨移植材料对于现代组织工程学及医学领域任然具有挑战性。从 1967 年 Urist 首次报道脱矿牙本质是一种骨诱导材料之后[3], 到 2007 年自体牙研磨压碎机(osteo-Mill)在日本研试成功, 学者们将人类牙齿自体牙(auto-genous tooth Auto)作为新的研究方向。

2. Auto 成骨原理

牙齿的结构在物理和生物化学上都与骨骼非常相, 牙齿同牙槽骨、颌骨都来源于胚胎期神经嵴细胞, 虽然牙本质与骨组织结构不同, 但两者生化成分含量相似, 都约由 70%的无机物、20%的有机基质和 10%的水组成。Auto 成骨原理是牙本质内骨形态发生蛋白(Bone Morphogenetic Protein-2, BMP-2)起到骨诱导作用。BMP-2 可以诱导间充质干细胞(mesenchymal stem cells, MSCs)分化为成骨细胞, 进而发挥骨生成作用[4]。而牙本质可以作为 BMP-2 良好的缓释系统和载体[5]。除了 BMP-2 外, 牙本质含有骨桥蛋白、骨连接蛋白、骨钙素、牙本质唾液蛋白、骨连接蛋白和碱性磷酸酶。这些蛋白质都对骨骼的形成有一定的作用, 促进和维持骨骼的钙化[6]。除了这些特异性蛋白外, 牙本质还含有胰岛素等丰富的生长因子, 这些生长因子通过诱导间充质干细胞介导它们的作用, 有利于骨组织改建[7] [8] [9] [10]。牙本质涎、磷蛋白(Dentin sialoprotein, Dentin phosphoprotein, DSPP)在骨、牙骨质和某些非矿化组织中表达。人类和小鼠研究表明, DSPP 基因突变和消失导致牙本质和骨骼矿化缺陷, 这表明 DSPP 在生物矿化中的重要性[11]。牙本质的无机成分由四种磷酸钙和低晶态磷灰石组成, 羟基磷灰石晶体比骨骼中的大, 比牙釉质中的小得多, 与骨和牙骨质相似, 具有较高的溶解度[12] [13]。Kim 等学者发现在钙磷离子溶解试验中 Auto 表现出与自体骨相似的溶解度, Bio-Oss 骨移植材料生物溶解度最低, 所以 Auto 具有良好的溶解度, 同时显微镜下可见牙本质小管粗糙的表面结构[13] [14]。牙本质表面粗糙的结构有利于成骨细胞的黏附和增殖。因此 Auto 具有良好的骨诱导、骨引导作用, 同时因其良好的生物相容性、生物降解率, Auto 具有成为骨移植材料的潜能。

3. 影响成骨因素

3.1. 处理方法

为了提高成骨活性及降低免疫排斥和消除感染等风险, 学者们已使用了各种技术手段对 Auto 进行处

理, 如: 煅烧、煮沸、冷冻、液氮、脱细胞、脱矿等方法[15][16][17][18][19]。煅烧方法利用高温条件去除有机成分同时保留无免疫原性的无机成分即羟基磷灰石, 羟基磷灰石结构提供骨再生和能量转移的支架, 但在煅烧过程中无机物的羟基磷灰石结构改变, 结晶度增高, 反而不利于 Auto 的吸收。煅烧等方法都能有效降低免疫原性, 但只是无机物羟基磷灰石结构提供骨引导作用, 而脱矿法是利用试剂去除免疫同时溶解牙本质中的无机物, 牙本质小管变粗, 小管和疏松的胶原基质为牙本质内 BMP-2 等生长因子的释放提供通道。Nina 等人的实验也证实了脱矿有利于 BMP-2 的释放, 和未脱矿组相比, 脱矿过程可以提高 BMP-2 的生物利用度[20]。一般常用 EDTA、磷酸、盐酸、硝酸、氧化氢、乙醚和乙醇等试剂进行脱矿[21]。脱矿保留了大量的胶原蛋白及非胶原蛋白, 胶原蛋白给骨组织提供支架。非胶原蛋白如骨钙蛋白、骨钙化素、唾液蛋白和骨细胞黏附有关并且促进骨的钙化, 使软骨组织钙化, 目前常用脱矿法处理 Auto。

3.2. 脱矿程度

有学者将 Auto 根据脱矿程度分为 3 组: 未脱矿组、部分脱矿(70%)、完全脱矿, 分别植入老鼠颅骨缺损处, 4 周后发现部分脱矿组具有良好的结缔和类骨组织, 8 周后观察到缺损与新骨完全闭合, 其余两组效果不如部分脱矿组出现材料降解慢等问题[22]。分析可知完全脱矿组可能破坏无机物羟基磷灰石结构, 羟基磷灰石无法提供支架结构, 影响骨组织的稳定性。因此, 部分脱矿的基础上引伸出脱矿牙本质基质(Demineralized dentin matrix, DDM)的概念, DDM 被定义为一种酸溶性胶原支架, 含有 10%~30%的羟基磷灰石、磷酸三钙和 BMP-2 等非胶原生长因子[23]。

3.3. Auto 类型

Auto 可以制备成片状、块形、颗粒状等。用牙本质片和自体骨片用于牙槽嵴重建并且后期植入种植体观察, 两组临床并发症、水平硬组织丢失、骨整合和颊板的完整性无明显差别, 牙本质片组 38 个种植体中一例水平硬组织损失为 1 mm, 其余种植体无硬组织缺损[24]。块型进一步细分为根形或根上形。根形用于保存拔牙窝, 因为它的形状类似于牙根。根上型用于牙槽嵴增强手术。如 Frank 等学者尝试利用根上型使牙槽嵴缺损宽度增加达到 6.5 mm, 后期植入种植体稳定性良好[25][26]。及后期实验自体牙根上型和自体骨在联合垂直和水平牙槽嵴增强方面具有相当的疗效和安全性[27]。为了增加 Auto 表面积学者们利用颗粒状。颗粒状是将牙齿粉碎成 300~800 μm 大小的颗粒, 具有牙本质小管衍生的微孔(直径 1~3 μm , 约 5 万个小管/ mm^2) [28]。关于颗粒直径的早期实验中记录到(250~500 μm)的颗粒在成骨诱导方面是高效的[29]。但 MURATA 等学者记录直径在(500~1000 μm)小鼠体内 4 周诱导骨和软骨[30]。关于颗粒大小没有具体直径规定, 大部分实验选择 300~800 μm 之间。颗粒太小会容易被巨噬细胞吞噬, 颗粒太大影响其降解速率。

4. Auto 作为异种骨移植材料在基础实验中的应用

不管是作为自体骨移植材料应用于临床研究, 还是异体骨移植材料应用于动物实验, 都会发现其成骨方面的潜能。Kabir 等学者在 Auto 上打孔改良并脱矿植入绵羊髌骨临界骨缺损处, CT 显示支架与原生骨良好结合, 4 个月较 2 个月有较多骨形成量[31]。将 Auto 高温煅烧制备成牙本质源性无机矿物(dentin-derived inorganic Mineral, DIM)植入大鼠颅骨缺损, 体内实验发现 DIM 组骨缺损中心部位生长了大量新骨, 空白对照组未有新骨形成。体外实验证明细胞活力测定显示 DIM 无细胞毒性并且 DIM 可通过触发 ERK 和 p38 MAPK 信号通路促进间 MSCs 成骨分化[32]。Kim 等人对 Auto 进行脱矿, 植入裸鼠背侧(皮下)分别于移植后 2、4、8 周处死, 对标本进行 HE 和 Masson 染色, 可见成骨细胞和成纤维细胞

独立诱导骨和软骨[33]。也有学者将脱矿和未脱矿牙齿分别植入大鼠的颅骨、胫骨和背侧皮下袋对比发现脱矿组具有更好的增骨作用[34]。牙齿内 I 型胶原蛋白也具有成骨作用,当包括 I 型胶原蛋白和 BMP-2 在内的有机物的比例下降时,骨诱导电位就会降低,从而增加骨形成所需的时间。将不含有机物的 Auto 中加 I 型胶原植入在兔子颅骨缺损处,发现血管化更强烈,与其他实验组和对照组相比,新生骨形成较早[35]。该实验的结论和闻澜学者总结的观点一致,牙齿中有机成分有一定的成骨作用。Adel 等学者将 Auto 制备成 2 mm 厚脱矿牙本质块和取自胫骨的自体骨块被移植到兔子胫骨上,处死后使用 10 倍放大的光学显微镜(Nicon Eclipse E600)对剩余牙本质、骨移植和软组织进行分析:与植骨接触的结缔组织占 63.3% (范围 60.0~73.0)、而与牙本质接触的结缔组织占 72.6% (范围 54.4~89.6)。结缔组织置换在牙本质移植物的界面区域更为明显,而骨移植与宿主表面的融合更为明显。牙本质组和自体骨组 12 周内被相似的速率吸收,也看到类似的剩余量[36]。崔婷婷等学者将 Auto 植入犬上颌窦底提升术发现与邻近正常骨组织界限较明显,骨形成量少且缓慢[37]。脱矿有利于牙齿内具有成骨作用的各种生长因子及胶原蛋白的释放,同时以上实验证明了 Auto 的成骨潜能和生物相容性。

5. Auto 在临床研究中的应用

5.1. 位点保存

临床上学者尝试用 Auto 进行位点保存。Elfana 等人将拔出的牙制备成脱矿和未脱矿 Auto 植入拔牙窝,用锥形束计算机断层扫描(CBCT)比较基线和 6 个月的牙槽嵴水平情况,6 个月时收集移植部位骨组织进行活检。两组在牙槽嵴保存术中同样有效。然而,组织学上脱矿似乎表现出更好的移植体重塑、整合和骨诱导特性,如 HE 染色切片显示厚而成熟的骨小梁被纤维血管间质包围,Auto 和骨组织结合;而未脱矿组显示纤维血管间质中有成熟骨形成,无炎症反应,和脱矿组相比只有一个标本内可见 Auto 和骨组织结合[38]。同时有学者用脱矿 Auto 和加载 rhBMP-2 的脱矿 Auto 对拔牙窝进行保存,骨形成量分别为 29.75%、34.39%,两组成功保存了拔牙窝并对后期种植提供条件[39]。在对 200 颗 Auto 进行脱矿植入拔牙窝试验中发现不同时间间隔都有骨形成,和相邻骨组织无显著差异[40]。

5.2. 牙槽嵴增强及种植修复领域

2010 年 KIM 等人研制出 Auto 骨粉新型骨移植材料给 6 名患者做引导骨再生术后植入种植体。对 3~6 个月的标本进行组织学分析,在 46%~87%区域可见新骨形成,并实现了良好的骨重塑。并且进行 5 年的长期随访结果显示:骨面积的变化范围为 8.1%~36.2%,除了 1 例外颊侧骨吸收 1 mm 外,其余患者皮质松质骨已形成并成功维持[41] [42]。后期大量学者临床上使用 Auto 进行种植前骨缺损修复。对 16 名患者用部分脱矿 Auto 来增高牙槽嵴并且两年内植入种植体成功获得了口腔修复,在低倍显微镜下可见骨和 Auto 融合,高倍镜下可见新骨成熟和骨细胞的凹陷,Auto 周围可见胶原结构[43]。韩国学者在 21 个位点植入脱矿 Auto 骨粉,12 个位点植入 Bio-Oss 骨粉,后期植入种植体观察。分别在植骨及种植后 6 个月后测量牙槽骨垂直尺寸,发现脱矿组为 5.38 ± 2.65 mm, Bio-Oss 组为 6.56 ± 3.54 mm,两组牙槽骨增加量无明显区别。在 6 个月的随访中,两组移植部位显示相似数量的骨再生和初始植入物稳定性。组织学显示两组骨替代物被新形成的骨包围及其与新骨直接接触[44]。学者们尝试在 Auto 和自体骨块进行牙槽嵴增强手术并后期种植,两组牙槽嵴高度降低都在安全范围内(Auto: 4.48 ± 2.42 mm, 自体骨: 4.46 ± 3.31 mm),到后期两组种植体都表现相当的疗效和安全性[27]。Korsch 等学者分别用牙周病变牙(periodontally compromised teeth, PCT)与非牙周病变牙(non-periodontally compromised teeth, NPCT),应用于牙槽嵴增强术,PCT 组中仅有 1 例移植体丢失,3 例出现轻微并发症,分别在不同时间段 CBCT 测得结果:T1 时,PCT 组患者平均牙槽嵴宽度为 8.8 mm、NPCT 组为 8.8 mm;T2 时,PCT 组牙槽嵴宽度为

8.5 mm、NPCT 组 8.3 mm；PCT 显示吸收量为 0.4 mm、NPCT 组为 0.5 mm。分析结果可知 T1 和 T2 期两组牙槽嵴宽度和吸收在两组间均无统计学差异，使用 PCT 组在并发症和移植物吸收方面与 NPCT 组结果相当[45]。这个结果为因牙周炎丧失牙槽骨的患者带来福音。也有文献报道在自体牙作为骨移植材料中，182 例植入物中生存率为 97.7%，失败率为 2.3%。在组织学分析中，大多数研究报道骨形成[46]。

5.3. 口腔其他骨缺损领域

在矫正过程中对于牙槽骨菲薄缺失患者使用 Auto，发现可以扩大牙齿移动安全范围，虽然术后牙槽骨有吸收，但厚度较术前仍明显改善，术后 3 个月、术后 6 个月与术前相比，牙槽骨厚度均显著增加[47]。对垂直骨吸收牙周炎患者使用引导组织再生术(GTR)结合植入 Auto 与 Bio-Oss 治疗牙周骨缺损，在术后 3、6、12 个月回访，两组术后牙周袋深度、附着丧失均明显减少且两组骨缺损处牙槽骨修复均明显，两组临床效果无明显差异[48]。对于下颌磨牙 II*根分叉病变植入 Auto，分别在 9 个月、12 个月，水平探测深度的平均减少分别为(1.40 ± 0.57 mm)和(1.52 ± 0.59 mm)、线性骨充填的平均增加分别为(3.90 ± 0.15 mm)和(5.33 ± 0.10 mm) [49]。我国学者也尝试使用 Auto 解决颌骨骨缺损问题，在对 15 名颌骨囊肿患者二期刮治术后 6~12 个月植入 Auto，发现可缩短较大颌骨囊肿术后的成骨时间，保存拔牙窝的高度，防止牙槽骨萎缩[50]。

6. 总结及展望

Auto 目前大量应用于牙槽嵴增强术及种植前的位点保存、牙周组织再生、上颌骨窦提升术及颌面骨缺损领域中并且取得了良好的效果。在动物骨缺损实验中作为异种来源的骨移植材料也表现出安全性及可靠性。但 Auto 也存在以下几点问题：目前采取脱矿法处理 Auto，有学者对牙齿脱矿，也有学者对牙本质、牙根脱矿，脱矿试剂、浓度及时间没有统一标准。其次临床上随访观察病例数量较少及无长期随访观察时间。同时关于牙齿能否作为同种异体材料的临床研究较少。日本韩国等国家有 Auto 骨粉机，关于 Auto 研究较多，而我国主要分布在东北地区，资源配置不均衡等问题仍然存在。根据目前的结果可知，Auto 成骨主要和牙本质内生长因子有关，但分析牙齿成分可知牙骨质覆盖牙根表面，牙根包埋在牙槽骨内和骨组织具有更好的生物相容性，同时牙骨质含有骨钙素、骨连接素等非胶原蛋白促进骨组织的矿化，因牙根同时含有具有成骨作用的牙本质及牙骨质，可以将牙根作为研究方向。以后的研究中可以更加优化技术且充分利用牙齿有利成分，有望将医疗垃圾牙齿经过处理后成为一种骨移植材料。

参考文献

- [1] Kim, S.Y., Kim, Y.K., Park, Y.H., *et al.* (2017) Evaluation of the Healing Potential of Demineralized Dentin Matrix Fixed with Recombinant Human Bone Morphogenetic Protein-2 in Bone Grafts. *Materials (Basel)*, **10**, Article No. 1049. <https://doi.org/10.3390/ma10091049>
- [2] Zhu, G., Zhang, T., Chen, M., *et al.* (2021) Bone Physiological Microenvironment and Healing Mechanism: Basis for Future Bone-Tissue Engineering Scaffolds. *Bioactive Materials*, **6**, 4110-4140. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.03.043>
- [3] Yeomans, J.D. and Urist, M.R. (1967) Bone Induction by Decalcified Dentine Implanted into Oral, Osseous and Muscle Tissues. *Archives of Oral Biology*, **12**, 999-1008. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(67\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0003-9969(67)90095-7)
- [4] 赵锐, 王译晗, 朱悦. 调控成骨细胞分化的信号通路及细胞因子研究进展[J]. 中国医学创新, 2021, 18(5): 171-175.
- [5] Um, I.-W. (2020) Histological Review of Demineralized Dentin Matrix as a Carrier of rhBMP-2. *Tissue Engineering*, **26**, 284-293. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2019.0291>
- [6] Kim, Y.-K. (2012) Bone Graft Material Using Teeth. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, **38**, 134-138. <https://doi.org/10.5125/jkaoms.2012.38.3.134>
- [7] Janjua, O.S., Qureshi, S.M., Shaikh, M.S., *et al.* (2022) Autogenous Tooth Bone Grafts for Repair and Regeneration of

- Maxillofacial Defects: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, 3690. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063690>
- [8] 肖闻澜, 胡琛, 荣圣安. 牙本质在骨组织工程学中的应用[J]. 口腔疾病防治, 2020, 28(2): 127-130.
- [9] Ravindran, G. (2015) Dentin Matrix Proteins in Bone Tissue Engineering. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, **881**, 129-142. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22345-2_8
- [10] Mohammed, G., Grawish, L.M. and Grawish, H.M. (2022) Demineralized Dentin Matrix for Dental and Alveolar Bone Tissues Regeneration: An Innovative Scope Review. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, **19**, 687-701. <https://doi.org/10.1007/s13770-022-00438-4>
- [11] Gulseren, G., Tansik, G. and Garifullin, R. (2018) Dentin Phosphoprotein Mimetic Peptide Nanofibers Promote Biomineralization. *Macromolecular Bioscience*, **2018**, Article ID: 1800080. <https://doi.org/10.1002/mabi.201800080>
- [12] Pajor, K., Pajchel, L. and Kolmas, J. (2019) Hydroxyapatite and Fluorapatite in Conservative Dentistry and Oral Implantology—A Review. *Materials (Basel)*, **12**, Article No. 2683. <https://doi.org/10.3390/ma12172683>
- [13] Kim, Y.K., Kim, S.G., Yun, P.Y., et al. (2014) Autogenous Teeth Used for Bone Grafting: A Comparison with Traditional Grafting Materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology Oral Radiology*, **117**, 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2012.04.018>
- [14] Kim, G.W., Yeo, I.S., Kim, S.G., et al. (2011) Analysis of Crystal Line Structure of Autogenous Tooth Bone Graft Material: X-Ray Diffraction Analysis. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, **37**, 225-228. <https://doi.org/10.5125/jkaoms.2011.37.3.225>
- [15] Huang, Y.C., Lew, W.Z., Feng, S.W., et al. (2016) Histomorphometric and Transcriptome Evaluation of Early Healing Bone Treated with a Novel Human Particulate Dentin Powder. *Biomedical Materials*, **12**, 1-13. <https://doi.org/10.1088/1748-605X/12/1/015004>
- [16] Moharamzadeh, K. (2008) Processed Bovine Dentine as a Bone Substitute. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **46**, 110-113. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2007.07.209>
- [17] 王方. 冷冻干燥牙本质在牙髓-牙本质复合体再生中的应用基础研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 第四军医大学, 2014: 1-100.
- [18] Liu, Y., He, X.N. and Javed, R. (2021) Manufacture and Preliminary Evaluation of Acellular Tooth Roots as Allografts for Alveolar Ridge Augmentation. *Journal of Biomedical Materials Research A*, **110**, 122-130. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.37270>
- [19] 刘宗霖, 郭克, 王文超, 等. 脱细胞脱钙人牙用于大鼠颅盖骨缺损修复的实验研究[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2018, 16(5): 397-401.
- [20] Bono, N., Tarsini, P. and Candiani, G. (2019) BMP-2 and Type I Collagen Preservation in Human Deciduous Teeth after Demineralization. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, **17**, 1-8. <https://doi.org/10.1177/2280800018784230>
- [21] Tabatabaei, F.S., Tatari, S., Samadi, R., et al. (2016) Different Methods of 10 Dentin Processing for Application in Bone Tissue Engineering: A Systematic Review. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, **104**, 2616-2627. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.35790>
- [22] Koga, T., Minamizato, T. and Kawai, Y. (2016) Bone Regeneration Using Dentin Matrix Depends on the Degree of Demineralization and Particle Size. *PLOS ONE*, **11**, e014723. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147235>
- [23] Um, I.W., Kim, Y.K., Park, J.C., et al. (2019) Clinical Application of Autogenous Demineralized Dentin Matrix Loaded with Recombinant Human Bone Morphogenetic-2 for Socket Preservation: A Case Series. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **21**, 4-10. <https://doi.org/10.1111/cid.12710>
- [24] Korsch, M. and Peichl, M. (2021) Retrospective Study: Lateral Ridge Augmentation Using Autogenous Dentin: Tooth-Shell Technique vs. Bone-Shell Technique. *Public Health*, **18**, Article No. 3174. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063174>
- [25] 张丽娟, 王晓飞. 自体牙骨粉的研究与应用进展[J]. 口腔材料器械志, 2021, 30(3): 175-178.
- [26] Schwarz, F., Schmucker, A. and Becke, J. (2016) Initial Case Report of an Extracted Tooth Root Used for Lateral Alveolar Ridge Augmentation. *Journal of Clinical Periodontology*, **43**, 985-989. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12602>
- [27] Schwarz, F., Obreja, K. and Mayer, S. (2022) Efficacy of Autogenous Tooth Roots for a Combined Vertical and Horizontal Alveolar Ridge Augmentation and Staged Implant Placement. A Prospective Controlled Clinical Study. *Journal of Clinical Periodontology*, **49**, 496-505. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13609>
- [28] Um, I.-W., Kim, Y.-K. and Mitsugi, M. (2017) Demineralized Dentin Matrix Scaffolds for Alveolar Bone Engineering. *Indian Prosthodontic Society*, **17**, 120-127. https://doi.org/10.4103/jips.jips_62_17
- [29] Togari, K., Miyazawa, K., Yagihashi, K., Tabuchi, M., Maeda, H., Kawai, T., et al. (2011) Bone Regeneration by De-

- mineralized Dentin Matrix in Skull Defects of Rats. *Journal of Hard Tissue Biology*, **21**, 25-34.
<https://doi.org/10.2485/jhtb.21.25>
- [30] Murata, M., Akazawa, T., Takahata, M., Ito, M., Tazaki, J., Hino, J., *et al.* (2010) Bone Induction of Human Tooth and Bone Crushed by Newly Developed Automatic Mill. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, **118**, 434-437.
<https://doi.org/10.2109/jcersj2.118.434>
- [31] Kabir, A, Murata, M., Akazawa, T., *et al.* (2017) Evaluation of Perforated Demineralized Dentin Scaffold on Bone Regeneration in Critical-Size Sheep Iliac Defects. *Clinical Oral Implants Research*, **28**, e227-e235.
<https://doi.org/10.1111/clr.13000>
- [32] Lei, G., Wang, Y.Q., Yu, Y., *et al.* (2020) Dentin-Derived Inorganic Minerals Promote the Osteogenesis of Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells: Potential Applications for Bone Regeneration. *Stem Cells International*, **2020**, Article ID: 8889731. <https://doi.org/10.1155/2020/8889731>
- [33] Kim, K.-W. (2014) Bone Induction by Demineralized Dentin Matrix in Nude Mouse Muscles. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, **36**, 50-56. <https://doi.org/10.14402/jkamprs.2014.36.2.50>
- [34] Rijal, G. (2017) Human Tooth-Derived Biomaterial as a Graft Substitute for Hard Tissue Regeneration. *Regenerative Medicine*, **12**, 263-273. <https://doi.org/10.2217/rme-2016-0147>
- [35] Kim, M.-G. (2021) The Effect of Autogenous Tooth Bone Graft Material without Organic Matter and Type I Collagen Treatment on Bone Regeneration. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, **43**, 3-7.
<https://doi.org/10.1186/s40902-020-00288-x>
- [36] Al-Asfour, A. (2017) Demineralized Xenogenic Dentin and Autogenous Bone as Onlay Grafts to Rabbit Tibia. *Implant Dentistry*, **26**, 232-237. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000518>
- [37] 崔婷婷, 邱泽文, 邵阳, 仲维剑. 异种牙本质颗粒复合骨髓浓缩物在上颌窦提升中的成骨效应[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(30): 4806-4811.
- [38] Elfana, A. (2021) Alveolar Ridge Preservation Using Autogenous Whole-Tooth versus Demineralized Dentin Grafts: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Clinical Oral Implants Research*, **32**, 539-548.
<https://doi.org/10.1111/clr.13722>
- [39] Um, I.-W., Kim, Y.-K. and Park, J.-C. (2018) Clinical Application of Autogenous Demineralized Dentin Matrix Loaded with Recombinant Human Bone Morphogenetic-2 for Socket Preservation: A Case Series. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **21**, 4-10. <https://doi.org/10.1111/cid.12710>
- [40] Jigar, M. (2021) Does an Autogenous Demineralized Dentin (ADDM) Graft Has the Ability to Form a New Bone. *National Journal of Maxillofacial Surgery*, **12**, 181-187. https://doi.org/10.4103/njms.NJMS_12_19
- [41] Kim, Y.-K. (2010) Development of a Novel Bone Grafting Material Using Autogenous Teeth. *Oral and Maxillofacial Surgery*, **109**, 496-503. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.10.017>
- [42] Kim, Y.-K., Lee, J.-H. and Um, I.-W. (2015) Guided Bone Regeneration Using Demineralized Dentin Matrix: Long-Term Follow-Up. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **74**, 515.e1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2015.10.030>
- [43] Minamizato, T. (2017) Clinical Application of Autogenous Partially Demineralized Dentin Matrix Prepared Immediately after Extraction for Alveolar Bone Regeneration in Implant Dentistry: A Pilot Study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **47**, 125-132.
- [44] Pang, K.M. (2016) Autogenous Demineralized Dentin Matrix from Extracted Tooth for the Augmentation of Alveolar Bone Defect: A Prospective Randomized Clinical Trial in Comparison with Anorganic Bovine Bone. *Clinical Oral Implants Research*, **28**, 809-815. <https://doi.org/10.1111/clr.12885>
- [45] Korsch, M., Peichl, M. and Bartols, A. (2022) Lateral Alveolar Ridge Augmentation with Autologous Dentin of Periodontally Compromised Teeth: A Retrospective Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article No. 4560. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084560>
- [46] Gual-Vaqués, P. (2018) Autogenous Teeth Used for Bone Grafting: A Systematic Review. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, **23**, 112-119.
- [47] 刘帅, 赵瑞, 汪俊妍. 自体牙骨粉移植改善正畸治疗中牙槽骨骨量不足的临床效果[J]. 中国医科大学学报, 2019, 48(2): 105-109.
- [48] 孙娟斌, 刘海光, 柏宁. 自体牙本质颗粒与 Bio-Oss 骨粉植入治疗牙周骨缺损的临床观察[J]. 口腔医学, 2016, 36(12): 1127-1131.
- [49] Upadhyay, P., Blaggana, V., Tripathi, P. and Jindal, M. (2019) Treatment of Furcation Involvement Using Autogenous Tooth Graft with 1-Year Follow-Up: A Case Series. *Clinical Advances in Periodontics*, **9**, 4-8.
<https://doi.org/10.1002/cap.10039>
- [50] 刘一秀, 瞿杨, 李真华, 王洪鹏. 开窗减压术联合二期刮治术及自体牙骨粉植入在治疗颌骨较大囊肿中的应用[J]. 华西口腔医学杂志, 2020, 38(4): 464-469.