

自体牙骨移植材料修复颌面部骨缺损的研究进展

叶雨婷 马洋 孙佳斐 祝艺 孙平

浙江大学医学院附属口腔医院 浙江大学口腔医学院 浙江省口腔疾病临床医学研究中心
浙江省口腔生物医学研究重点实验室 浙江大学癌症研究院
口腔生物材料与器械浙江省工程研究中心 杭州 310000

[摘要] 颌面部骨缺损的修复是口腔领域常见的临床难题，主要采用骨移植材料进行修复治疗。自体牙骨移植材料作为一种具有良好的生物相容性、骨传导性、骨诱导性和生物降解性的新型骨移植材料，在临床应用中表现出明显的优势。本文就自体牙骨移植材料的生物特性、制备、影响因素，以及在颌面部骨缺损中的临床应用进行综述，以期自体牙骨移植材料的临床应用提供参考。

[关键词] 自体牙骨移植材料；颌面部骨缺损；骨移植

[中图分类号] R782.13 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026621



本文链接

OSID 码

Research progress on autogenous tooth bone graft for the repair of maxillofacial bone defects

Ye Yuting, Ma Yang, Sun Jiafei, Zhu Yi, Sun Ping

Stomatology Hospital, School of Stomatology, Zhejiang University School of Medicine, Zhejiang Provincial Clinical Research Center for Oral Diseases, Key Laboratory of Oral Biomedical Research of Zhejiang Province, Cancer Center of Zhejiang University, Engineering Research Center of Oral Biomaterials and Devices of Zhejiang Province, Hangzhou 310000

Supported by: Basic Public Welfare Research Program of Zhejiang Province (LGF22H140007); Exploration and R&D Project of Stomatology Hospital, Zhejiang University School of Medicine (RD2022JCXK01)

Correspondence: Sun Ping, Email: nosleep@zju.edu.cn

[Abstract] Maxillofacial bone defect repair is a common clinical problem in the oral field and mainly uses bone graft materials for repair. As a new type of bone grafting material with good biocompatibility, osteoconductivity, osteoinductivity, and biodegradability, autogenous tooth bone graft has shown advantages in clinical application. This study reviews the characteristics, preparation, influencing factors, and clinical application of autogenous tooth bone graft to provide a reference for its clinical application.

[Key words] autogenous tooth bone graft; maxillofacial bone defect; bone graft

炎症、肿瘤等因素导致的口腔颌面部骨缺损会引起美观及功能上不同程度的缺陷，通常需要进行骨移植手术^[1]。随着种植手术的普及，牙槽骨

骨量不足患者接受种植时对牙槽骨缺损重建联合治疗的需求也增加。目前临床上常使用自体骨、同种异体骨、异种骨和人工骨替代材料重建骨缺损。自体骨移植具有骨引导、骨诱导和成骨能力，被认为是骨增量手术的首选，但存在供区额外手术、数量有限、移植材料吸收率较高等缺点^[2]。同种异体骨和异种骨虽然在临床上已有市售产品可以直接取用，但存在宿主免疫反应等问题。人工骨替代材料虽然能为骨再生提供可靠的支架，但

[收稿日期] 2025-02-13; **[修回日期]** 2026-03-30

[基金项目] 浙江省基础公益研究计划项目 (LGF22H140007); 浙江大学医学院附属口腔医院探索与研发项目 (RD2022JCXK01)

[第一作者] 叶雨婷, 学士, Email: 3190104243@zju.edu.cn

[通信作者] 孙平, 主任医师, 博士, Email: nosleep@zju.edu.cn

不具备骨诱导性。

自 1967 年 Yeomans 等^[3]揭示了自体脱矿牙本质基质的骨诱导性，目前已有一系列研究证实了自体牙的生物学特性和临床应用潜能。近年来，由患者自身拔除的牙制成的自体牙骨移植材料（autogenous tooth bone graft, ATBG）逐渐应用于临床，取得了良好的疗效。本文就 ATBG 的生物特性、制备、影响因素，以及在颌面部骨缺损中的临床应用（图 1）进行综述，旨在为其更广泛的临床应用提供参考。



图 1 ATBG 修复颌面部骨缺损

Fig 1 ATBG for the repair of maxillofacial bone defects

1 ATBG 的生物特性

ATBG 具有良好的生物相容性、骨传导性、

骨诱导性和生物降解性。1) ATBG 具有良好的生物相容性。ATBG 是由患者自身的牙齿制备而成，不会引起免疫排斥反应。研究^[4]表明，在下颌第三磨牙冠切术后，剩余牙根可与周围牙槽骨融合。2) ATBG 具有优良的骨传导性，可为血管长入和新骨形成提供支架。牙体组织中的无机成分使其可以充当成骨过程中细胞生长的支架，维持相应的空间^[5]。3) ATBG 具有良好的骨诱导性，能够直接诱导未分化的多能细胞向成骨细胞分化，进而生成新骨。牙本质的有机成分在此过程中发挥关键作用。牙本质的主要有机成分有 I 型胶原蛋白、非胶原蛋白和各种生长因子。I 型胶原蛋白能够促进细胞对无机骨基质的黏附^[6]，同时可作为骨形态发生蛋白（bone morphogenetic protein, BMP）-2 的不溶性载体来配合其激活间充质细胞^[7]。非胶原蛋白在新骨形成和骨重塑中具有信号传导作用^[8]。牙本质含有的胰岛素样生长因子 II 等生长因子也可以诱导新骨的形成^[9]。4) ATBG 的生物降解性良好，在植入体内后可逐渐被生物吸收，形成新骨^[10]。扫描电子显微镜显示，ATBG 表面结构的密度、粗糙度和均匀性与自体皮质骨相似。在 Ca/P 离子溶解试验中，ATBG 的溶解程度也与自体皮质骨相似^[11]。综上，ATBG 是一种具有良好的生物相容性、骨传导性、骨诱导性和生物降解性的骨移植材料。

2 ATBG 的制备

ATBG 的形状有颗粒状、片状和块状，形状不同，制备方法也不相同。下面根据不同形状的 ATBG，介绍相应的制备方法（图 2）。

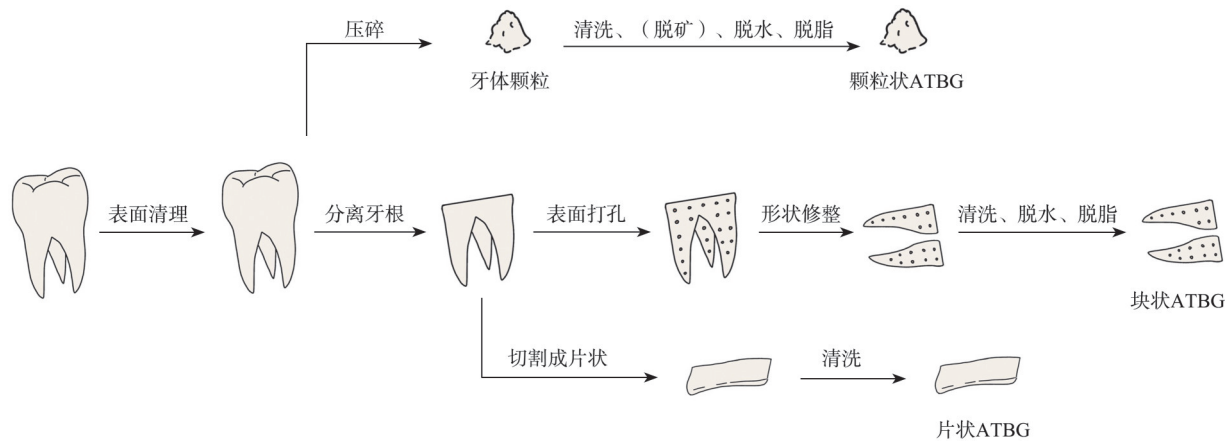


图 2 ATBG 的制备

Fig 2 The preparation of ATBG

2.1 颗粒状 ATBG

颗粒状 ATBG 的制备需要清除牙齿表面的软组织和牙结石、修复体、根管充填材料等异物,压碎牙体组织,将粉碎的牙齿颗粒加入蒸馏水和过氧化氢的溶液中,超声清洗机清洗去除残留的异物,乙醇溶液脱水,乙醚溶液脱脂,最后冻干、用环氧乙烷气体进行消毒^[11]。此过程可在专业制备公司进行,得到的成品 ATBG 可直接用于临床或储存起来,室温下可贮存5年以上;也可以用 Tooth Transformer[®]、BonMaker[®]等牙本质加工设备在椅旁制备即刻使用^[12]。

2.2 片状 ATBG

片状 ATBG 一般在临床制备即刻使用。其过程包括去除牙的软组织、异物和牙骨质后,分离牙冠和牙根,将牙根切割成1~1.5 mm厚的牙片,放入氢氧化钠和乙醇溶液中进行化学清洗,生理盐水清洗干净,干燥待用^[13]。

2.3 块状 ATBG

块状 ATBG 的制备过程需要去除牙齿表面附着的软组织、异物和牙骨质,分离得到牙根,在牙根表面制备大孔,设计、修整形状,脱水、脱脂和冷冻干燥,最后进行环氧乙烷消毒^[14]。

3 ATBG 性能的影响因素

3.1 脱矿程度

由于牙本质的有机成分发挥骨诱导作用,因此对 ATBG 的制备主要采取盐酸、硝酸等使其脱矿。脱矿处理可使牙本质小管变宽,胶原纤维暴露增加,有利于生长因子的释放。同时,网状暴露的胶原纤维可以作为支架,促进成骨细胞的黏附和分化。动物实验研究^[3,15]也证明,牙本质脱矿可以增加其骨诱导作用。

根据脱矿程度,ATBG 可以分为未脱矿、部分脱矿和完全脱矿。部分脱矿的牙本质具有最大的再生潜力,既保留了较多可能影响成骨的生长因子,又避免了脱矿程度过高导致移植材料的快速吸收^[16]。在 ATBG 颗粒的酸溶脱矿过程中,通过控制搅拌时间和温度来控制颗粒的脱矿程度^[17]。梁韩莹等^[18]研究显示,2%硝酸脱矿 10 min 的牙本质颗粒的成骨效果最显著。

3.2 形态大小

颗粒状 ATBG 临床使用的最佳粒径尚未有定论,不同粒径的颗粒混合可能会有更好的成骨效

果^[16]。临床常用的粒径为 400~800 μm ,此为 Tooth Transformer[®]设备加工所得材料的恒定粒径^[19]。但 Koga 等^[16]认为,ATBG 粒径为 800~1 200 μm 时,比 180~212 μm 、425~600 μm 的再生效果好。粒径较大的颗粒更易表现出基质吸收和基质上骨形成之间的平衡,避免在新骨形成开始前被吸收降解。颗粒状 ATBG 的粒径与矿化程度相互影响。

片状 ATBG 主要为 1~2 mm 厚的薄片^[20],固定后可作为稳定支架,用于支撑并容纳颗粒状骨移植材料。目前,尚无关于厚度对片状 ATBG 成骨效果影响的研究报道。

块状 ATBG 的形态与缺损区匹配,具备较好的空间维持能力和机械强度。目前尚无对块状 ATBG 的宽度、厚度等因素的比较研究。

3.3 表面结构

在不使蛋白质变性的情况下,颗粒状 ATBG 通过羟磷灰石的表面沉积来改变其表面活性,进而影响生物降解和骨诱导^[17]。具有高局部表面积和最佳孔径分布的羟磷灰石微晶能够提供优异的蛋白质吸附或细胞黏附特性^[17]。颗粒状 ATBG 在模拟体液中浸泡,磷灰石微晶沉积在颗粒表面,浸泡 144 h 后颗粒表面出现以纤维为导向的磷灰石聚集体。颗粒植入活体组织后表现出凝血作用,这可能因为磷灰石聚集体与血液中的纤维蛋白相匹配,这种凝血作用有利于外科手术。

块状 ATBG 在临床应用时,一般会制备成多孔结构。多孔结构允许细胞和血管通过并在局部浸润,有助于更快地骨整合。与无孔支架相比,适当大小的足够孔隙率和孔隙之间的相互连接允许更多的骨向内生长^[21]。

目前尚无对片状 ATBG 表面结构的相关研究。

3.4 取材部位

临床主要使用牙本质来制备 ATBG。牙釉质结晶度和矿物质含量较高,几乎不含胶原蛋白,在体内难以被破骨细胞降解,并可能导致纤维整合^[14]。牙本质的无机和有机组分比例与牙槽骨最接近,能够发挥骨诱导作用,且与牙釉质相比有更高的 Ca/P 离子溶出率^[11]。同时,牙本质小管的结构有利于生长因子的释放与养分传递^[22]。牙骨质中的成牙骨质细胞具有形成硬组织的能力,会对骨移植材料的改建产生影响^[23],因此在牙根块状移植时考虑去除接触缺损区表面的牙骨质,同时保留靠近骨膜面的牙骨质以维持空间^[24]。牙髓的去除与否对于成骨效果无显著影响^[25]。

3.5 添加其他成分联合使用

辅助使用可注射富血小板纤维蛋白可以将ATBG制成黏性骨,在降低技术敏感性和提高局部固位效果的同时,有助于移植部位骨再生^[26-27],降低术后疼痛^[28]。将ATBG与富含白细胞和血小板的纤维蛋白、液体纤维蛋白原联合使用,可以促进伤口愈合和组织再生^[29]。同时应用富含血小板的血浆和人重组BMP可以进一步增强ATBG的骨诱导潜力^[30]。因此在操作过程中获取的ATBG量较少时,可以将其与其他骨移植材料混合使用,或者添加其他成分以增加骨形成潜力^[31]。

3.6 感染程度

牙周炎和根尖周炎是拔牙的常见原因。目前对感染牙的处理及其对骨移植手术的影响尚无定论。动物实验研究^[32]显示,将因牙周炎拔除的患牙牙根刮治及根面平整后,作为骨移植材料应用

于骨增量手术,不仅具备良好的新骨形成能力,在种植体植入后亦可获得良好的种植体结合率。根管治疗后仍保留无望的牙拔除后,在严格灭菌下去除牙胶等异物制备成颗粒状ATBG,可获得良好的成骨效果^[8];但与自体骨块移植术相比,其创口裂开的风险较高,导致植入材料过早暴露,与宿主骨分离,阻碍后续种植体植入^[33]。

4 临床应用

4.1 因种植需要的骨移植手术

牙槽骨骨量不足是种植治疗中常见的问题,通常需要骨增量手术配合骨移植材料恢复适量的骨量,以保证种植体植入后获得长期稳定性。ATBG具有多数骨移植材料不具备的骨诱导性,且成本低廉,在临床应用中具备优势(图3)。

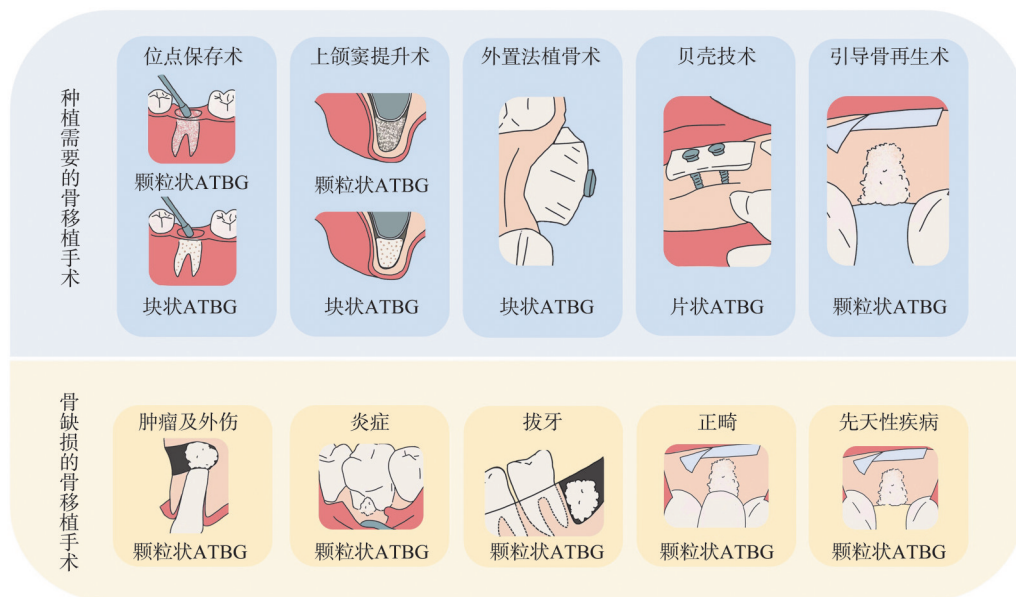


图 3 ATBG 的临床应用

Fig 3 The clinical application of ATBG

4.1.1 位点保存术

在患牙不能保留、必须拔除时,可采用位点保存术来促进拔牙牙槽窝内新骨形成、减少牙槽骨吸收,以便后续种植修复。ATBG是位点保存术可靠的骨移植材料^[34],可有效保留牙槽嵴宽度,植入4个月后牙槽嵴宽度变化与Bio-Oss无明显差异,同时患者心理上也更易于接受自体材料^[35]。ATBG植入后逐渐发生骨替代,与周围的骨骼紧密相连,形成稳定的结构,保证后续种植体植入的骨整合和稳定性^[36]。椅旁制备的ATBG在位点保存术中与其他临床骨替代材料及非椅旁制备的AT-

BG的效果相当^[12]。即使在重症牙周炎患者的拔牙窝行位点保存术,ATBG也表现出可靠的刺激骨再生作用^[37]。在位点保存术中,使用拔除的牙制备块状ATBG比颗粒状ATBG能更好地适应移植部位^[21]。

4.1.2 上颌窦提升术

上颌后牙的长期缺失将导致牙槽骨高度和厚度降低,种植体无法植入,需通过上颌窦提升术来增加骨量。Jeong等^[38]使用颗粒状ATBG对51例种植患者行上颌窦提升术,种植体存活率为96.15%,术后3个月ATBG剩余量为44%~48%,

大多被新骨替代,表现出良好的骨形成能力。ATBG在上颌窦提升术中的疗效与Bio-Oss相当,且因为其骨吸收较慢,术后4个月时骨小梁密度显著高于Bio-Oss^[39]。崔婷婷等^[40]在上颌窦提升术中联合使用自体牙本质颗粒和富血小板纤维蛋白,不但有效提升上颌窦底高度,还增强了局部抗感染能力,患者术后反应轻微。

与颗粒状ATBG相比,块状ATBG在维持上颌窦提升空间方面更有优势。在上颌窦外提升术中,脱矿自体牙块可作为促进新骨形成的三维支架,与牙槽骨良好结合,有效维持移植材料体积,防止上颌窦气化再次扩张^[21,41]。

4.1.3 外置法植骨术 (onlay bone grafting)

牙槽嵴高度和宽度严重不足时,可采用外置法植骨术行骨增量。目前已有块状ATBG应用于外置法植骨术取得良好效果的报道。Schwarz等^[42]对比5 mm厚的自体牙块和自体骨块固定于牙槽嵴颊侧后行骨增量的效果,结果显示术后26周,自体牙块组的牙槽嵴宽度增加多于自体骨块组,但种植体周围黏膜炎的发生率高于自体骨块组,与Parvini等^[43]用自体牙根固定于拔牙窝颊侧行骨增量术后种植体周围黏膜炎的高发病率结果一致。这两项研究中移植的自体牙根都未经过任何化学清洁过程,可能是种植体周围黏膜炎高发病率的原因。Schwarz等^[44]研究认为,块状ATBG行牙槽嵴垂直或水平增量的效果与自体骨块相当,并且不干扰后续种植体骨整合。Bjelica等^[45]使用自体牙根外置法行骨增量分期植入种植体,种植体负重2月、3年、5年后的探诊出血指数、探诊深度、临床附着水平等临床指标无明显差异,提示使用ATBG行外置法植骨术具有长期稳定性。

4.1.4 贝壳技术 (bone-shell technique)

贝壳技术,又称骨壳技术,是指将薄层自体皮质骨片(骨壳)以微型螺钉固定于萎缩牙槽嵴的颊侧,在骨壳与基底骨之间形成稳定的成骨间隙,间隙内填充颗粒状骨移植材料,依靠骨壳的屏障与支撑作用,引导新骨定向再生,从而显著增加牙槽嵴宽度的技术。片状ATBG也可以通过螺钉固定在剩余牙槽嵴颊侧来侧向重建牙槽嵴缺损,这被称为牙壳技术(tooth-shell technique)。研究^[20]显示,牙壳技术与骨壳技术骨增量术同期植入种植体,术后3个月观察,二者的临床并发症、水平向骨组织吸收、骨结合及种植体颊侧骨板完整性均无显著差异。曾婷雯等^[46]利用自体牙

本质片联合骨移植材料修复水平向牙槽骨缺损,延期植入种植体,结果显示缺损区骨宽度有效增加,种植体骨结合良好。

4.1.5 引导骨再生术

使用颗粒状ATBG在牙拔除后即刻种植同期行引导骨再生术,1年随访修复效果良好,种植体成功实现骨整合,与Bio-Oss的骨增量效果相当^[47-48]。一项5年的长期随访结果也显示,与其他骨移植材料相比,ATBG能更好地维持骨增量体积^[49]。关于使用ATBG行引导骨再生术时是否同时使用屏障膜,尚存在不同意见。Lee等^[50]研究发现,使用ATBG行引导骨再生术时是否使用屏障膜并不影响术后骨增加率和种植体稳定性。但Minetti等^[51]研究发现,ATBG与屏障膜配合使用时成骨效果更好。

4.2 骨缺损的骨移植手术

肿瘤、外伤、感染、拔牙、正畸、先天性疾病等均可能引起骨缺损,为避免破坏骨骼稳定性及预防病理性骨折,临床上常采用骨移植、骨组织工程等方式对缺损进行骨修复。ATBG因其骨诱导性在骨移植手术中具备一定的优越性,在临床上有良好的应用潜能(图3)。

4.2.1 肿瘤及外伤引起的骨缺损

囊肿摘除是颌骨囊肿的治疗方法,术后通常会出现骨缺损。使用颗粒状ATBG充填根尖周囊肿导致的骨缺损,术后8个月可见明显骨再生^[52]。使用ATBG和自体纤维蛋白胶混合制成自体牙黏性骨移植植物,植入下颌第三磨牙含牙囊肿导致的骨缺损,可以获得良好的疗效。当制备的自体牙黏性骨移植植物不能完全充填骨缺损时,缺损的底部和远中可以充填胶原蛋白海绵^[53]。

肿瘤、外伤导致的骨缺损较大时,ATBG不能满足缺损的充填需要,这是其在临床使用的局限性。目前已开发出猪牙本质骨移植材料(Ivory Dentin Graft™),与商品化异种骨(OsteoBiol Gen-Os®)相比,植入4月后有更多的新骨形成^[54]。同种异体牙移植也已开展^[55],未来ATBG的数量有限问题将被解决。Koga等^[16]对4种不同粒径和密度的颗粒状ATBG修复兔颅骨缺损的效果进行比较,结果显示粒径200 μm的颗粒状ATBG的成骨效果最好。将颗粒状ATBG、无机牛骨颗粒分别与重组人骨形态发生蛋白-2(recombinant human bone morphogenetic protein-2, rhBMP-2)联合使用治疗兔颅骨缺损,8周后ATBG/rhBMP-2组骨形成量优

于单独使用ATBG组 and 无机牛骨/rhBMP-2组,表明ATBG具有良好的应用前景^[56]。

4.2.2 感染引起的骨缺损

牙周炎会导致牙槽骨不同程度吸收。Upadhyay等^[57]使用ATBG治疗Ⅱ度根分叉缺损,随访1年,水平探诊深度减小(1.52 ± 0.59) mm,获得了(5.33 ± 0.10) mm的垂直骨增量。毛新霞等^[58]比较ATBG、Bio-Oss治疗牙周骨缺损的疗效,发现二者的修复成功率无显著差异。根尖周病变导致的骨缺损也可以使用颗粒状ATBG进行充填重建^[59]。

4.2.3 拔牙后骨缺损

下颌第三磨牙阻生通常引起冠周炎、颌面部间隙感染、邻近第二磨牙牙根吸收等问题。Mahardawi等^[60]对ATBG治疗下颌第三磨牙拔除后骨缺损的随机对照研究进行系统评价,结果显示,术后6个月ATBG组获得了更高的骨缺损填充量和更浅的探诊深度,表明ATBG可作为其他材料的替代选择,用于下颌阻生第三磨牙拔除后的骨缺损增量。Wushou等^[61]用ATBG治疗近中牙槽骨质缺失 ≥ 5 mm的下颌阻生第三磨牙拔除后下颌第二磨牙远中的骨缺损,结果表明治疗效果良好,术后6个月术区形成良好的骨充填。在下颌第三磨牙拔牙窝使用ATBG充填比正常愈合和明胶海绵充填具有更多的骨再生,能显著改善第二磨牙远中的牙周问题^[62]。若无法获取足够的ATBG填充拔牙窝,采用明胶海绵填充根方、上部再用ATBG的方法,也能取得有效的治疗效果。

4.2.4 正畸治疗中的骨缺损

正畸治疗中,牙齿移动需要有足够的骨量作为基础。利用自体牙制备成颗粒状ATBG,植入牙槽骨唇颊侧进行硬组织增量,可以扩大牙齿安全移动范围,降低骨开窗、骨开裂甚至牙根吸收的风险。李博等^[63]报道,对B5牙滞留且B5区域上颌窦底极低的患者,使用滞留B5牙制备的颗粒状ATBG行左侧上颌窦提升以恢复相应位点的骨量,术后24牙在正畸加力下成功向远中移动。Murata等^[64]报道,对先天性缺牙伴牙列拥挤的正畸患者,使用ATBG在自体牙移植时充填牙槽窝,术后18个月可观察到良好的骨重塑。ATBG在正畸学科中的应用仍是个例,主要作为骨移植材料弥补患者的骨量不足问题。

4.2.5 先天性疾病的骨缺损

唇腭裂患者常伴有牙槽嵴裂。牙槽嵴裂植骨术是目前用于修复完全性唇腭裂患者上颌骨裂隙、

矫正上颌横向发育不足的重要方法,其主要目的是闭合裂隙,增加牙槽骨量,为后续种植体植入创造必要的骨性条件。Jeong等^[65]对单侧唇裂患者应用颗粒状ATBG进行牙槽突植骨术,术后3.5个月植入种植体,获得了良好的骨增量和种植修复效果。Datarkar等^[66]使用ATBG修复双侧牙槽突裂获得了满意的效果。

4.3 ATBG与其他常用材料的疗效对比

Bio-Oss是临床常用的商品化异种骨移植材料。ATBG在位点保存术^[35]、上颌窦提升术^[39]、引导骨再生术^[47-48]的效果与Bio-Oss相当或更好。Mahardawi等^[67]的系统评价研究表明,ATBG与Bio-Oss作为骨移植材料时,不论是同期还是延期植入种植体,二者均具有相似的初级稳定性和继发稳定性,植入6、18个月时的边缘骨吸收量无明显差异,并发症发生率也无明显差异。同时,ATBG可规避免疫排斥的风险。

自体髂骨移植通常用于修复较大的骨缺损。ATBG由于数量有限,尚不能满足大范围骨缺损充填的需要。ATBG外置法植骨在短期内可以获得比自体骨更大的牙槽嵴增量^[42],但长期效果仍需进一步研究。对ATBG和自体骨使用贝壳技术进行侧向牙槽嵴增量的效果进行比较,结果表明,植入后3个月二者并发症的发生率无明显差异^[20]。与自体骨相比,ATBG可避免开辟第二术区,减少手术时间和术后护理成本。

β -磷酸三钙(β -tricalcium phosphate, β -TCP)具有良好的生物相容性和机械强度,在临床广泛应用。对ATBG和 β -TCP在下颌磨牙即刻种植中充填骨缺损间隙的效果进行比较,ATBG的骨再生效果和种植体稳定性高于 β -TCP^[68]。

5 展望

ATBG作为一种安全可靠、生物相容性良好的骨移植材料,在口腔组织再生中具有广阔的应用前景。ATBG具备大多数骨移植材料缺乏的骨诱导性,且获取成本低,松动牙、根管治疗牙、乳牙等都可以作为制备原料。临床使用中,ATBG根据需要制备成颗粒状、块状等形状。对伴有水平或垂直骨缺损的牙槽嵴,使用块状ATBG进行骨增量可以获得良好的空间稳定性;对伴有部分骨缺损或凹陷的牙槽嵴,使用颗粒状ATBG可以更好地适应缺损形状^[69]。

今后, ATBG的制备方法和临床应用尚需进一步规范, 颗粒状ATBG的最佳粒径、不同临床场景应用的最佳形状问题亟待解决, 临床效果也缺乏长期系统的大样本研究。在临床使用上, ATBG也尚存在不可忽视的局限性。椅旁制备颗粒状ATBG需要专用的牙本质研磨机, 脱矿处理需要40~120 min^[70], 一定程度上导致ATBG的获取存在高技术敏感性和繁琐性。此外, 由自体牙制备的ATBG不能满足严重骨缺损的充填需求。Kim等^[71]报道了直系亲属牙齿制作骨移植材料的病例, 扩大了ATBG原料的获取范围。鉴于ATBG的低免疫原性, 对同种异体牙^[53]、异种牙本质^[54]的研究有望解决ATBG使用中数量有限的问题。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

6 参考文献

- [1] Zhao R, Yang RJ, Cooper PR, et al. Bone grafts and substitutes in dentistry: a review of current trends and developments[J]. *Molecules*, 2021, 26(10): 3007.
- [2] Louis PJ, Sittitavornwong S. Managing bone grafts for the mandible[J]. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am*, 2019, 31(2): 317-330.
- [3] Yeomans JD, Urist MR. Bone induction by decalcified dentine implanted into oral, osseous and muscle tissues[J]. *Arch Oral Biol*, 1967, 12(8): 999-1008.
- [4] Kim HS, Yun PY, Kim YK. Intentional partial odontectomy: a long-term follow-up study[J]. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 2017, 39(1): 29.
- [5] Kim YK, Kim SG, Oh JS, et al. Analysis of the inorganic component of autogenous tooth bone graft material[J]. *J Nanosci Nanotech*, 2011, 11(8): 7442-7445.
- [6] Qian JJ, Bhatnagar RS. Enhanced cell attachment to anorganic bone mineral in the presence of a synthetic peptide related to collagen[J]. *J Biomed Mater Res*, 1996, 31(4): 545-554.
- [7] Ripamonti U, Ramoshebi LN, Matsaba T, et al. Bone induction by BMPs/OPs and related family members in primates[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2001, 83A(Suppl 1): 116-127.
- [8] 李博, 吴大雷, 闫建伟, 等. 新型骨移植材料自体牙骨粉的研究与进展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2015, 50(12): 765-767.
- Li B, Wu DL, Yan JW, et al. Research and development of the autogenous tooth bone graft material[J]. *Chin J Stomatol*, 2015, 50(12): 765-767.
- [9] Nakashima M. Bone morphogenetic proteins in dentin regeneration for potential use in endodontic therapy[J]. *Cytokine Growth Factor Rev*, 2005, 16(3): 369-376.
- [10] Kim YK, Kim SG, Bae JH, et al. Guided bone regeneration using autogenous tooth bone graft in implant therapy[J]. *Implant Dent*, 2014, 23(2): 138-143.
- [11] Kim YK, Kim SG, Yun PY, et al. Autogenous teeth used for bone grafting: a comparison with traditional grafting materials[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2014, 117(1): e39-e45.
- [12] Mahardawi B, Rochanavibhata S, Jiaranuchart S, et al. Autogenous tooth bone graft material prepared chairside and its clinical applications: a systematic review[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2023, 52(1): 132-141.
- [13] Korsch M. Tooth shell technique: a proof of concept with the use of autogenous dentin block grafts[J]. *Aust Dent J*, 2021, 66(2): 159-168.
- [14] Kim YK, Yun PY, Um IW, et al. Alveolar ridge preservation of an extraction socket using autogenous tooth bone graft material for implant site development: prospective case series[J]. *J Adv Prosthodont*, 2014, 6(6): 521.
- [15] Kim MG, Lee JH, Kim GC, et al. The effect of autogenous tooth bone graft material without organic matter and type I collagen treatment on bone regeneration[J]. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 2021, 43(1): 17.
- [16] Koga T, Minamizato T, Kawai Y, et al. Bone regeneration using dentin matrix depends on the degree of demineralization and particle size[J]. *PLoS One*, 2016, 11(1): e0147235.
- [17] Akazawa T, Murata M, Hino J, et al. Surface structure and biocompatibility of demineralized dentin matrix granules soaked in a simulated body fluid[J]. *Appl Surf Sci*, 2012, 262: 51-55.
- [18] 梁韩莹, 马云豪, 李涵, 等. 部分脱矿自体牙本质颗粒在种植位点保存术中的成骨效能[J]. *中国组织工程研究*, 2023, 27(16): 2488-2492.

- Liang HY, Ma YH, Li H, et al. Osteogenic effects of partially demineralized autogenous dentin particles in implant site preservation[J]. *Chin J Tiss Eng Res*, 2023, 27(16): 2488-2492.
- [19] Inchingolo AM, Patano A, di Pede C, et al. Autologous tooth graft: innovative biomaterial for bone regeneration. tooth transformer® and the role of microbiota in regenerative dentistry. A systematic review [J]. *J Funct Biomater*, 2023, 14(3): 132.
- [20] Korsch M, Peichl M. Retrospective study: lateral ridge augmentation using autogenous dentin: tooth-shell technique vs. bone-shell technique[J]. *Int J Environ Res Public Heal*, 2021, 18(6): 3174.
- [21] Kim YK, Pang KM, Yun PY, et al. Long-term follow-up of autogenous tooth bone graft blocks with dental implants[J]. *Clin Case Rep*, 2017, 5(2): 108-118.
- [22] Calvo-Guirado JL, Ballester Montilla A, de Aza PN, et al. Particulated, extracted human teeth characterization by SEM-EDX evaluation as a biomaterial for socket preservation: an *in vitro* study[J]. *Materials*, 2019, 12(3): 380.
- [23] Becker K, Drescher D, Hönscheid R, et al. Biomechanical, Micro-computed tomographic and immunohistochemical analysis of early osseous integration at titanium implants placed following lateral ridge augmentation using extracted tooth roots[J]. *Clin Oral Implant Res*, 2017, 28(3): 334-340.
- [24] 戴薇, 席月, 陈朝真, 等. 自体牙移植在骨增量中的研究进展[J]. *口腔医学*, 2022, 42(3): 250-255.
- Dai W, Xi Y, Chen CZ, et al. Research progress of autogenous tooth materials in alveolar ridge augmentation[J]. *Stomatology*, 2022, 42(3): 250-255.
- [25] Schwarz F, Golubovic V, Becker K, et al. Extracted tooth roots used for lateral alveolar ridge augmentation: a proof-of-concept study[J]. *J Clin Periodontol*, 2016, 43(4): 345-353.
- [26] Melek LN, El Said MM. Evaluation of “Autogenous Bioengineered Injectable PRF-Tooth graft” combination (ABIT) in reconstruction of maxillary alveolar ridge defects: CBCT volumetric analysis [J]. *Saudi J Dent Res*, 2017, 8(1/2): 86-96.
- [27] Kabir MA, Murata M, Shakya M, et al. Bio-absorption of human dentin-derived biomaterial in sheep critical-size iliac defects[J]. *Materials*, 2021, 14(1): 223.
- [28] Amer O, Shemais N, Fawzy El-Sayed K, et al. Does injectable platelet-rich fibrin combined with autogenous demineralized dentine enhance alveolar ridge preservation? A randomized controlled trial[J]. *Clin Oral Implant Res*, 2025, 36(2): 166-177.
- [29] Andrade C, Camino J, Nally M, et al. Combining autologous particulate dentin, L-PRF, and fibrinogen to create a matrix for predictable ridge preservation: a pilot clinical study[J]. *Clin Oral Invest*, 2020, 24(3): 1151-1160.
- [30] Zhang SX, Li XH, Qi YX, et al. Comparison of autogenous tooth materials and other bone grafts[J]. *Tissue Eng Regen Med*, 2021, 18(3): 327-341.
- [31] Hussain N, Khan MA, Mahmood AK, et al. An evaluation of osseous regeneration capability of novel autogenous tooth graft along with orthobiologics for long bone segmental defects[J]. *Heliyon*, 2025, 11(2): e41932.
- [32] Schwarz F, Golubovic V, Mihatovic I, et al. Periodontally diseased tooth roots used for lateral alveolar ridge augmentation. A proof-of-concept study[J]. *J Clin Periodontol*, 2016, 43(9): 797-803.
- [33] Schwarz F, Golubovic V, Becker K, et al. Extracted tooth roots used for lateral alveolar ridge augmentation: a proof-of-concept study[J]. *J Clin Periodontol*, 2016, 43(4): 345-353.
- [34] Beca-Campoy T, Sánchez-Labrador L, Blanco-Antona LA, et al. Alveolar ridge preservation with autogenous tooth graft: a histomorphometric analysis of 36 consecutive procedures[J]. *Ann Anat*, 2025, 258: 152375.
- [35] Mahardawi B, Damrongsirirat N, Dhaneuan K, et al. Radiographic changes after alveolar ridge preservation using autogenous raw tooth particles versus xenograft: a prospective controlled clinical trial[J]. *Clin Oral Implant Res*, 2024, 35(12): 1597-1606.
- [36] Minetti E, Corbella S, Taschieri S, et al. Tooth as graft material: histologic study[J]. *Clin Implant Dent Rel Res*, 2022, 24(4): 488-496.
- [37] Li JY, Jin FF, Wang RF, et al. Guided bone regeneration in a periodontally compromised individual with autogenous tooth bone graft: a radiomics analysis

- [J]. *J Funct Biomater*, 2023, 14(4): 220.
- [38] Jeong KI, Kim SG, Kim YK, et al. Clinical study of graft materials using autogenous teeth in maxillary sinus augmentation[J]. *Implant Dent*, 2011, 20(6): 471-475.
- [39] Jun SH, Ahn JS, Lee JI, et al. A prospective study on the effectiveness of newly developed autogenous tooth bone graft material for sinus bone graft procedure[J]. *J Adv Prosthodont*, 2014, 6(6): 528.
- [40] 崔婷婷, 寇霓, 仲维剑, 等. 自体牙本质颗粒联合富血小板纤维蛋白在上颌窦提升同期种植中的应用[J]. *口腔医学研究*, 2018, 34(5): 532-534.
- Cui TT, Kou N, Zhong WJ, et al. Application of autologous dentine granules and platelet rich fibrin in maxillary sinus lateral lift surgery[J]. *J Oral Sci Res*, 2018, 34(5): 532-534.
- [41] Choi H, Sohn DS. Retrospective study of maxillary sinus augmentation using demineralized tooth block bone for dental implant[J]. *Bioengineering*, 2024, 11(6): 633.
- [42] Schwarz F, Hazar D, Becker K, et al. Short-term outcomes of staged lateral alveolar ridge augmentation using autogenous tooth roots. A prospective controlled clinical study[J]. *J Clin Periodontol*, 2019, 46(9): 969-976.
- [43] Parvini P, Sahin D, Becker K, et al. Short-term outcomes of lateral extraction socket augmentation using autogenous tooth roots: a prospective observational study[J]. *Clin Oral Implant Res*, 2020, 31(9): 881-888.
- [44] Schwarz F, Ramanauskaite A, Wetzel W, et al. Clinical outcomes following a combined vertical and horizontal alveolar ridge augmentation and two-stage implant placement using either autogenous tooth roots or autogenous bone blocks[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2024, 26(2): 369-375.
- [45] Bjelica R, Smojver I, Vuletić M, et al. Lateral alveolar ridge augmentation with autogenous tooth roots and staged implant placement: 5-year follow-up case series[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(17): 5118.
- [46] 曾婷雯, 赵莹琼, 张敬阳. 牙本质片在种植水平骨增量中的短期临床应用[J]. *口腔医学研究*, 2023, 39(2): 151-155.
- Zeng TW, Zhao YQ, Zhang JY. Short-term clinical application of dentin slices in horizontal bone augmentation[J]. *J Oral Sci Res*, 2023, 39(2): 151-155.
- [47] Li P, Zhu HC, Huang DH. Autogenous DDM versus Bio-Oss granules in GBR for immediate implantation in periodontal postextraction sites: a prospective clinical study[J]. *Clin Implant Dent Rel Res*, 2018, 20(6): 923-928.
- [48] Cinar IC, Zboun M, Saglanmak A, et al. Immediate implantation with autologous mineralized dentin graft versus deproteinized bovine bone as space-filling substitute in maxillary anterior zone: retrospective radiological and clinical study[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(18): 5521.
- [49] Kim YK, Lee JH, Um IW, et al. Guided bone regeneration using demineralized dentin matrix: long-term follow-up[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 74(3): 515.e1-515.e9.
- [50] Lee JY, Lee J, Kim YK. Comparative analysis of guided bone regeneration using autogenous tooth bone graft material with and without resorbable membrane[J]. *J Dent Sci*, 2013, 8(3): 281-286.
- [51] Minetti E, Gianfreda F, Palermo A, et al. Autogenous dentin particulate graft for alveolar ridge augmentation with and without use of collagen membrane: preliminary histological analysis on humans [J]. *Materials*, 2022, 15(12): 4319.
- [52] Ku JK, Kwak HW, Um IW. Incorporating moldable demineralized dentin matrix into treatment for a jaw cyst[J]. *J Funct Biomater*, 2023, 14(5): 258.
- [53] Wushou A, Luo Y, Cheng QT, et al. Using autogenous tooth sticky bone graft repair mandibular third molar dentigerous cyst osseous defects[J]. *BMC Oral Heal*, 2024, 24(1): 39.
- [54] Sapoznikov L, Haim D, Zavan B, et al. A novel porcine dentin-derived bone graft material provides effective site stability for implant placement after tooth extraction: a randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Oral Invest*, 2023, 27(6): 2899-2911.
- [55] 王媛, 王稚英, 王明. 同种异体牙源性骨移植材料修复兔颌骨缺损的实验研究[J]. *中国医科大学学报*, 2016, 45(12): 1082-1085.
- Wang Y, Wang ZY, Wang M. Experimental study of the repair of rabbit skull defects with allogeneic tooth derived bone graft material[J]. *J China Med*

- Univ, 2016, 45(12): 1082-1085.
- [56] Um IW, Hwang SH, Kim YK, et al. Demineralized dentin matrix combined with recombinant human bone morphogenetic protein-2 in rabbit calvarial defects[J]. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 2016, 42(2): 90.
- [57] Upadhyay P, Blaggana V, Tripathi P, et al. Treatment of furcation involvement using autogenous tooth graft with 1-year follow-up: a case series[J]. *Clin Adv Periodontics*, 2019, 9(1): 4-8.
- [58] 毛新霞, 林晓炜, 魏轩, 等. 自体牙本质颗粒与 Bio-Oss 骨粉植入引导骨再生治疗牙周骨缺损效果比较[J]. *上海口腔医学*, 2022, 31(5): 530-534.
- Mao XX, Lin XW, Wei X, et al. Comparative analysis of the effect of autologous dentin particles and implantation of Bio-Oss on guided bone regeneration in the treatment of periodontal bone defects[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2022, 31(5): 530-534.
- [59] Gual-Vaqués P, Polis-Yanes C, Estrugo-Devesa A, et al. Autogenous teeth used for bone grafting: a systematic review[J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2018, 23(1): e112-e119.
- [60] Mahardawi B, Thet PH, Phrueksotsai C, et al. Use of autogenous tooth bone graft in osseous defects after the surgical removal of mandibular third molars: a systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2025, 54(8): 777-784.
- [61] Wushou A, Zheng Y, Han Y, et al. The use of autogenous tooth bone graft powder in the treatment of osseous defects after impacted mandibular third molar extraction: a prospective split-mouth clinical pilot study[J]. *BMC Oral Heal*, 2022, 22(1): 433.
- [62] Jain A, Gupta DS, Donepudi N, et al. Is ADDM graft practical? A comparative study to evaluate ADDM graft in third molar surgery[J]. *Oral Maxillofac Surg*, 2025, 29(1): 26.
- [63] 李博, 闫建伟. 自体牙来源骨移植材料在牙槽骨植骨术中的应用价值[J]. *大连医科大学学报*, 2023, 45(5): 431-438.
- Li B, Yan JW. Clinical application of autogenous tooth bone graft material in alveolar bone grafting[J]. *J Dalian Med Univ*, 2023, 45(5): 431-438.
- [64] Murata M, Nakanishi Y, Kusano K, et al. Immediate tooth autotransplantation with root canal filling and partially demineralized dentin/cementum matrix into congenital missing tooth region[J]. *J Funct Biomater*, 2022, 13(2): 82.
- [65] Jeong KI, Lee J, Um IW, et al. Alveolar cleft restoration using autogenous tooth bone graft material for implant placement: a case report[J]. *J Oral Implantol*, 2015, 41(4): 487-490.
- [66] Datarkar A, Bhawalkar A. Utility of tooth as an autogenous graft material in the defects of alveolar cleft—a novel case report[J]. *J Oral Biol Craniofacial Res*, 2020, 10(4): 470-473.
- [67] Mahardawi B, Jiaranuchart S, Tompkins KA, et al. Efficacy of the autogenous dentin graft for implant placement: a systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2023, 52(5): 604-612.
- [68] Abulhassan A, El Halawani G, Sweedan O. Comparison of autogenous fresh demineralized dentin and beta-tricalcium phosphate in immediate implant placement of mandibular molars (randomized clinical controlled trial)[J]. *Alex Dent J*, 2024: 10.21608/adjalexu.2023.216442.1389.
- [69] 龚佳明, 张启航, 苟萍, 等. 自体牙本质用于牙槽嵴增量的 Meta 分析[J]. *华西口腔医学杂志*, 2022, 40(5): 566-575.
- Gong JM, Zhang QH, Gou P, et al. Meta-analysis of application of autogenous dentin for alveolar ridge augmentation[J]. *West China J Stomatol*, 2022, 40(5): 566-575.
- [70] Minamizato T, Koga T, Takashi I, et al. Clinical application of autogenous partially demineralized dentin matrix prepared immediately after extraction for alveolar bone regeneration in implant dentistry: a pilot study[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2018, 47(1): 125-132.
- [71] Kim YK, Kim SG, Lim SC. Familial tooth bone graft for ridge and sinus augmentation: a report of two cases[J]. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 2014, 40(1): 37.

(本文编辑 李彩)