

颊壁形态影响牙周炎位点牙槽嵴保存的应用进展

陈可儿 包佳琦 孙伟莲

浙江大学医学院附属第二医院牙周病专科 杭州 310009

[摘要] 牙周炎是成年患者拔牙的常见原因之一。拔牙后牙槽窝常伴骨吸收，进而影响后续的种植修复效果。牙槽嵴保存术是在拔牙同期将生物材料植入拔牙窝内的骨增量手术，有助于延缓牙槽骨吸收、恢复牙槽嵴的美观与功能。与非牙周炎拔牙窝相比，牙周炎拔牙窝的愈合过程更复杂多变，其中颊侧骨壁形态对拔牙窝愈合后的骨组织线性和体积变化、软组织量改变及组织学特征具有重要影响。本文针对不同颊侧骨壁形态影响牙周炎拔牙位点牙槽嵴保存术的应用进行总结与分析，发现颊壁厚者较薄者减缓牙槽骨吸收效果更为明显，颊壁缺损位点较完整位点需要额外的软硬组织增量手术，为不同适应证下的牙槽嵴保存术式选择提供了诊疗思路。

[关键词] 牙周炎；拔牙；牙槽嵴保存术；颊侧骨壁形态

[中图分类号] R781.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026005



本文链接

OSID 码

Application progress of buccal wall morphology affecting alveolar ridge preservation at periodontitis sites

Chen Keer, Bao Jiaqi, Sun Weilian

Dept. of Periodontology, the Second Affiliated Hospital, College of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310009, China

Supported by: Basic Public Welfare Research Project of Zhejiang Province (LTGY23H140005)

Correspondence: Sun Weilian, Email: weiliansun@zju.edu.cn

[Abstract] Periodontitis is one of the common causes of tooth extraction in adult patients. After tooth extraction, the alveolar cavity frequently undergoes bone resorption, which in turn affects the efficacy of implant restoration. Alveolar ridge preservation (ARP) is a bone augmentation procedure involving the implantation of biological materials into the extraction socket during tooth extraction. It delays alveolar bone resorption and restores the aesthetic and functional integrity of the alveolar ridge. In contrast to non-periodontitis tooth extraction pits, periodontitis tooth extraction pits features a more intricate and diverse healing process. The morphology of the buccal bone wall considerably influences linear and volumetric changes in bone tissue, changes in soft tissue volume and histological features after the healing of tooth extraction pits. This article summarizes and analyzes the influence of various buccal bone wall configurations on the efficacy of ARP in periodontitis tooth extraction sites. Thick buccal walls influenced the deceleration of alveolar bone resorption more markedly than thin buccal walls, whereas extensive buccal wall defect sites necessitated supplementary soft and hard tissue augmentation surgery. This study offers initial diagnostic and therapeutic concepts for the selection of surgical interventions for ARP on the basis of various indications.

[Key words] periodontitis; tooth extraction; alveolar ridge preservation; buccal bone wall morphology

[收稿日期] 2024-12-11; [修回日期] 2025-04-02

[基金项目] 浙江省基础公益研究计划 (LTGY23H140005)

[作者简介] 陈可儿, 硕士, Email: keechenlily@163.com

[通信作者] 孙伟莲, 主任医师, 博士, Email: weiliansun@zju.edu.cn

临床拔牙患者中，因牙周炎拔牙者占24.8%~38.1%，是临床上成年患者拔牙最常见的原因之一^[1-2]。拔牙后，牙槽窝发生骨塑建和骨重建^[3]，导致牙槽骨高度和宽度发生变化，宽度减少较高度更为显著，颊侧骨吸收大于舌侧，在三维方向上

向舌侧倾斜,影响种植体植入轴向位置。牙槽骨缺损拔牙位点的愈合速度显著慢于牙槽骨完整拔牙位点,且骨体积显著减少,影响后期种植修复效果^[4]。

自1998年以来,牙槽嵴保存术(alveolar ridge preservation, ARP)逐渐发展为广泛应用的骨增量手术。ARP于拔牙同期实施,在拔牙窝内植入生物材料,减缓拔牙后骨组织垂直和水平方向的吸收,以达到牙槽骨保存或增量,并维持软组织轮廓的目的^[5]。ARP可为后期种植修复提供更为充足的骨量,增加后期种植体稳定性的同时,在一定程度上避免了相对复杂的植骨程序,技术敏感性相对较低,术后反应轻,有利于恢复良好的功能和美观^[6-7]。

ARP在牙周炎拔牙位点的应用效果受到多种因素的影响,包括局部解剖因素、拔牙窝封闭方式、植入的生物材料种类等^[8-10],其中骨壁形态,包括骨壁缺损情况及骨壁厚度可影响ARP的应用。应用ARP后,颊壁厚的牙周炎拔牙位点较颊壁薄者可显著减缓牙槽骨宽度的吸收^[11]。本文侧重分析与总结牙周炎患者不同颊侧骨壁形态下ARP后拔牙窝的愈合特点,以为临床诊疗提供思路。

1 非牙周炎与牙周炎拔牙窝愈合特点对比

1.1 非牙周炎拔牙窝愈合特点

1.1.1 软硬组织变化 人类和动物牙周健康位点拔牙后,牙槽骨高度和宽度普遍减少,其中颊侧牙槽骨吸收显著高于舌侧骨。Araújo等^[12]拔除严格控制牙菌斑的12只混血犬的下颌前磨牙,观察8周后发现牙槽窝尺寸变化明显,拔牙窝高度降低伴随着水平方向骨吸收,其中颊壁高度降低较舌侧更为明显。Covani等^[13]分析非牙周炎后牙拔牙窝的形态变化,结果显示:拔牙术后6个月,颊侧中央骨吸收为近、远中的2倍,牙槽嵴顶向舌/腭侧倾斜,近中、中央、远中分别较拔牙前移位 $59.1\% \pm 11.2\%$ 、 $64.8\% \pm 10.5\%$ 和 $56.0\% \pm 12.5\%$ 。另有研究^[14]指出:牙位和唇/颊侧骨壁厚度与骨丧失程度密切相关,其中唇/颊侧骨壁厚度也影响软组织变化情况,上颌美学区域中90%非牙周炎位点的唇/颊侧骨壁厚度小于1 mm,约50%小于0.5 mm^[15],这种主要由术状骨构成的菲薄骨壁可能加重拔牙窝骨吸收。Couso-Queiruga等^[16]通过系统评价和Meta分析总结了拔牙后自然愈合过程中

牙槽嵴尺寸发生显著变化的规律,结果发现:拔牙后磨牙部位较非磨牙部位的骨组织水平和舌侧中央垂直变化幅度更高,而非磨牙部位颊侧中央垂直骨吸收幅度略高。Cardaropoli等^[17]通过对41名患者的后牙进行不翻瓣拔除术,并在自然愈合4个月后测量牙槽骨宽度变化,结果显示:颊壁厚度与牙槽骨水平丧失呈负相关;与全厚瓣相比,不翻瓣术式可以减少拔牙后4~8周早期愈合阶段的骨丧失量,而在6个月后两者的差异无统计学意义。Chappuis等^[14]研究并总结了唇侧骨壁厚度对前牙拔牙窝软硬组织量变化的影响,结果表明:唇侧骨壁厚度 ≤ 1 mm的位点,其骨吸收程度明显高于厚度 > 1 mm的位点。拔牙后8周,薄骨壁位点骨高度丧失为7.5 mm,而厚骨壁位点仅为1.1 mm;同时,薄骨壁拔牙位点的软组织厚度在拔牙后8周增加了7倍,而厚骨壁拔牙位点则无明显变化^[14]。增厚的软组织在一定程度上减少了额外软组织移植手术的需求,但也可能掩盖骨缺损的严重程度。

1.1.2 组织学特征 正常拔牙窝愈合过程包括炎症、增殖、骨塑建和骨重建,历经血凝块形成、炎症细胞迁移、纤维增生、编织骨形成、牙槽骨形态变化、板层骨形成阶段。Castro等^[18]拔除了31名患者的多颗前牙,3个月后测量拔牙窝骨体积分数为 $34.7\% \pm 6.9\%$ 。Tu等^[19]拔除了18只大鼠的双侧上颌第一磨牙,分析拔牙创口的愈合情况,第28天发现表面创口完全上皮化以及新骨部分形成。Bighetti等^[20]拔除了24只大鼠的右上切牙,观察拔牙窝自然愈合的组织学变化,结果发现:拔牙后第7天,炎症区域占比为 $52.2\% \pm 4.27\%$;第14天,骨小梁由嗜酸性和嗜碱性基质混合构成,破骨和成骨细胞数目增加;第42天,成熟的板层骨取代编织骨,伴随破骨和成骨细胞活动减弱。

1.2 牙周炎拔牙窝愈合特点

1.2.1 软硬组织变化 牙周炎拔牙窝在拔牙后6个月可普遍观察到牙槽骨明显吸收,牙槽骨中央骨组织量则明显增加。Wei等^[21]通过X线测量进行研究,重度牙周病变的患牙,在拔牙后6个月,拔牙窝的牙槽骨中央高度增加 (7.54 ± 4.54) mm,牙槽骨宽度减少了 (1.58 ± 4.61) mm,牙槽嵴总体积相对增加了8%。Zhao等^[22]进行了一项临床研究,测量17颗重度牙周病变磨牙拔牙后6个月拔牙窝牙槽骨的线性和体积变化,结果显示:上颌骨除远颌区高度减少1.11 mm外,其余区域高

度未明显降低；下颌骨颊舌侧骨壁高度降低0.56~1.38 mm；上颌骨和下颌骨距离牙槽嵴顶根方1 mm水平宽度处，颊侧分别减少0.59 mm和0.72 mm，舌侧分别减少0.27 mm和0.02 mm。牙周炎患牙常伴有不同程度的软硬组织缺损，骨丧失伴随着牙龈退缩。有学者^[23]总结了牙周炎拔牙位点软硬组织丧失程度的分类方法，其中超过50%软硬组织缺损的拔牙窝再生潜能受到严重影响；同时拔牙后角化龈宽度不足可影响ARP创口封闭方式，进而影响ARP效果。

1.2.2 组织学特征 自然愈合的牙周炎拔牙窝内有许多组织成分。Ben等^[24]纳入26名罹患Ⅲ/Ⅳ期牙周炎需要拔牙的患者，随机分配至ARP组和自然愈合组，观察拔牙窝的组织学变化：自然愈合6个月后，重度牙周病变患牙拔牙窝内的小梁骨和骨髓/纤维组织仅占总组织的53.94%±16.52%，而包含成纤维细胞、胶原纤维和小毛细血管的结缔组织达46.05%±6.30%。另有研究^[25]关注了牙周炎拔牙窝内不同组织成分在自然愈合过程中所占比例的变化情况，通过观察比格犬存在颊舌壁缺损的下颌前磨牙牙周炎拔牙窝的自然愈合效果，发现矿化组织比例从拔牙后第2周的24.70%±8.05%增加到第8周的72.95%±5.97%，而纤维血管组织比例则明显降低。

1.3 非牙周炎与牙周炎拔牙窝愈合特点的差异

与非牙周炎拔牙窝相比，牙周炎拔牙窝的愈合特点更为复杂多变，牙槽骨吸收情况更为严重。患牙骨壁的数量和形态特征对牙槽窝尺寸变化有不同影响。Araújo等^[26]总结发现：骨壁数量为3壁或更少、颊侧骨壁薄、牙槽骨缺损的牙槽窝，骨吸收较正常牙槽窝更为迅速，且尺寸变化更为广泛。Chen等^[27]评估上前牙唇侧骨壁缺损与不翻瓣拔牙8周后牙槽窝尺寸变化之间的关系，发现有骨开窗的上前牙牙槽骨高度减少最为明显。Ben等^[24]观察了不同颊壁厚度的牙周炎拔牙窝自然愈合情况，拔牙6个月后未观察到牙槽窝尺寸的显著变化，但发现骨组织体积变化与骨丧失百分数呈正相关。

在愈合初期，牙周炎拔牙位点的组成成分与非牙周炎拔牙位点不同，且拔牙窝愈合效果更为不确定。Kim等^[28]采用比格犬观察牙周炎拔牙窝的愈合情况，结果发现：在牙周炎拔牙位点，破骨细胞样的细胞活性更为明显，其根尖区塌陷的伏克曼管与非牙周炎拔牙位点未闭塞管道形成鲜

明对比，提示牙周炎拔牙窝愈合能力降低。此外，牙周炎拔牙位点较非牙周炎位点所需的愈合时间更长。该学者^[28]发现拔牙后第60天，与非牙周炎拔牙位点的骨髓组织比例（78.6%）相比，牙周炎拔牙位点明显降低（46.5%）；且拔牙后第90天，非牙周炎拔牙位点基本完成骨重建，新形成的骨与原始骨融合，而牙周炎拔牙位点仍存在明显的边界，提示牙周炎拔牙窝骨重建缓慢，愈合速度较慢。Ahn等^[29]对比了牙周炎患牙与健康牙齿拔牙后骨组织形成的差异，发现重度牙周病变拔牙位点新骨形成速度低于非牙周炎拔牙位点，其新骨组织比例达到50%所需的时间是非牙周炎位点的2倍。

2 不同颊侧骨壁形态下ARP后牙周炎拔牙窝愈合特点

ARP后，牙周炎患牙拔牙窝的牙槽骨垂直和水平方向吸收较自然愈合得到了有效减缓^[30-31]，简化了后续种植程序，对额外复杂骨增量手术的需求相对较少^[32-34]。Fok等^[35]纳入了135个行ARP的牙周炎磨牙拔牙位点，对手术效果进行Meta分析，结果发现：与自然愈合组相比较，牙周组织缺损的磨牙拔牙位点行ARP后，其正中颊壁高度和骨体积均实现了有效保存或增量。虽然与自然愈合拔牙窝的骨比例（53.9%）相比，牙周炎拔牙窝ARP后骨比例明显较低（30.1%），成骨效率不高，但后者拔牙窝中残留移植物的比例相对降低了结缔组织比例，为后续种植手术提供一定的初期稳定性^[24]。Ikawa等^[36]应用隧道样块状β-磷酸三钙在6只比格犬存在颊壁骨缺损的上颌第一前磨牙拔牙位点行ARP，6个月后观察到其颊腭向骨宽度和矿化组织量均明显大于自然愈合组，其中矿化组织量分别为57.8%±11.1%和28.9%±8.5%。

ARP在牙周炎拔牙位点的应用效果受到局部解剖因素的影响，包括剩余骨壁的完整程度、颊侧骨壁厚度等^[23]。Dai等^[34]研究发现：行ARP的Ⅲ/Ⅳ牙周炎磨牙拔牙位点较自然愈合组骨高度变化小，术后对额外骨增量手术的需求小；其中颊壁与腭/舌壁之间高度相差≥2 mm的拔牙位点，较自然愈合位点的骨宽度变化小，然而未发现颊壁厚度与骨高度变化之间的相关性。颊侧骨壁厚度和形态影响拔牙后拔牙窝牙槽骨吸收程度和ARP效果，颊侧骨壁厚度薄的拔牙窝保存效果不佳^[11]。

Barone等^[37]进行随机对照试验发现:存在颊壁缺损的拔牙窝中,颊壁厚度薄者行ARP后颊舌向骨宽度减少更为明显。Ben等^[24]对行ARP的牙周炎拔牙位点随访6个月,结果发现:自然愈合组牙槽嵴顶根方1 mm以内区域的骨组织体积变化与相对骨丧失百分数呈弱正相关,而ARP组则无明显相关性。本文重点探讨ARP中牙周炎拔牙位点不同的颊侧骨壁形态对ARP后拔牙窝愈合特点的影响。

2.1 颊侧骨壁形态的分类

目前颊侧骨壁形态分类参考颊侧骨壁厚度或完整性进行。Steigmann等^[38]系统总结了拔牙窝类型(socket type, ST)的分类方法,根据颊侧骨壁高度、厚度及骨开窗或骨开裂的存在,将拔牙窝解剖形态分为三大类:ST1型为颊侧骨壁完整的拔牙窝,其中ST1A亚类颊壁厚度 ≥ 1 mm,ST1B亚类颊壁厚度 < 1 mm;ST2型为颊侧骨壁存在骨开窗的拔牙窝;ST3型为颊侧骨壁骨开裂的拔牙窝,此时骨高度可能受到影响,根据颊壁骨开裂的严重程度和范围分为ST3A亚类、ST3B亚类和ST3C

亚类,其中ST3A亚类的骨开裂不超过颊壁高度的1/3,ST3B亚类的骨开裂在颊壁高度的1/3~2/3,ST3C亚类的骨开裂超过颊壁高度的2/3,此时骨开裂情况较为严重。

ST1型到ST3型拔牙窝的再生潜能逐渐降低,拔牙窝类型的系统化分类为临床决策和治疗效果预测提供了理论依据。ST1A型拔牙窝再生潜能高,可不进行ARP干预。颊壁薄或缺损的拔牙窝有较高的牙槽嵴轮廓丧失风险,需要采取ARP干预措施;其中,ST1B型拔牙窝术后可使用胶原蛋白塞封闭。ST2型和ST3A型建议采用吸收速率较慢的交联可吸收膜,ST3B型和ST3C型则建议采用更为坚硬的不可吸收的致密聚四氟乙烯(dense-polytetrafluoroethylene, d-PTFE)膜来保持稳定。值得注意的是,ST3B型和ST3C型不以初期封闭为目标,以实现软组织轮廓的保存。Steigmann等^[38]总结的ST分类法的形态、再生潜能及ARP治疗情况见表1。目前对不同类型拔牙窝再生潜能进行定量分析的研究尚为少见,测定骨保留率等量化指标可能是下一步的研究内容。

表 1 ST分类法

Tab 1 ST classification

拔牙窝类型	ST1		ST2	ST3		
	ST1A	ST1B		ST3A	ST3B	ST3C
形态	颊壁完整, 厚度 ≥ 1 mm	颊壁完整, 厚度 < 1 mm	颊壁骨开窗	颊壁骨开裂, $\leq 1/3$ 颊壁高度	颊壁骨开裂, 1/3~2/3颊壁高度	颊壁骨开裂, $\geq 2/3$ 颊壁高度
再生潜能	高	较高	中	较低	低	极低
是否行ARP	否	是	是	是	是	是
生物材料	无	胶原蛋白	交联可吸收膜	交联可吸收膜	d-PTFE膜	d-PTFE膜
创口愈合	一期	一期	一期	一期	二期	二期

2.2 颊侧骨壁厚度

颊壁厚度能影响拔牙窝行ARP的临床效果,目前多数研究聚焦于颊壁完整的拔牙位点;牙周炎拔牙位点常伴不同程度的骨壁缺损,相关研究较少。颊壁完整的拔牙位点和颊壁缺损的牙周炎拔牙窝行ARP后牙槽嵴线性、体积变化受颊壁厚度的影响,其中颊壁厚度大于1 mm的位点较小于1 mm处在术后表现出更为优异的骨组织保存效果。Avila-Ortiz等^[39]关于ARP效果的随机临床试验Meta分析研究表明:与颊壁较薄的部位相比,颊侧骨壁厚度大于1 mm的部位表现出更有利的ARP效果。Couso-Queiruga等^[40]在非磨牙拔牙窝使用含胶原蛋白的脱单白牛骨矿物质行ARP,通过测量牙槽嵴尺寸和组织学分析发现:矿化组织与非矿

化组织的比例随时间延长而持续增加,剩余异种移植物材料的比例和牙槽嵴尺寸随时间而减少,且尺寸变化主要集中在颊侧,颊壁厚度小于1 mm的位点牙槽嵴尺寸变化更为明显。Mercado等^[11]针对牙周炎患牙的一项临床随机对照试验发现:唇侧骨壁厚度小于1 mm的上颌前牙拔牙同期行ARP后4个月,唇、腭侧骨高度和牙槽嵴宽度减少的程度较唇侧骨壁厚度不小于1 mm的上颌前牙更为明显。

2.3 颊侧骨壁缺损

颊侧骨壁缺损会影响拔牙同期行ARP后牙槽窝骨塑建和骨重建过程中发生的骨吸收,且美学并发症的风险较高,因此在后期进行结缔组织移植,可补偿颊侧组织损失,达到改善美观的目的。

的^[41]。Seyssens等^[42]利用富含胶原蛋白的脱蛋白牛骨矿物质进行ARP, 随访1年后发现: 相较于颊壁完整的位点, 颊侧骨壁缺损位点需要进行额外的骨增量手术。Seyssens等^[42]同时关注到颊侧骨壁完整程度对软组织轮廓的影响, 通过评估19例拔牙窝行ARP和软组织移植后4~6个月牙槽骨尺寸和软组织轮廓的改变, 发现颊壁缺损的拔牙窝较颊壁完整者对额外软组织移植手术的需求更高。ARP对颊壁缺损牙周炎拔牙位点的牙槽骨吸收有减缓作用, 可以为后期种植提供更为良好的骨量条件, 提高种植成功率, 但对种植体周围炎进展过程中的边缘骨水平变化无明显影响。Barone等^[43]针对33名上颌前牙存在完全或部分唇壁缺损的患者展开前瞻性队列研究, 结果发现ARP可作为种植体植入前修复颊壁骨缺损的有效方法。Zhou等^[44]对拔牙位点即刻种植(immediate implant placement, IIP)和ARP后再行种植手术的种植体植入成功率、软硬组织保存效果和红色美学评分(pink esthetic score, PES)进行Meta分析和系统评价, 结果发现: 在颊壁完整的情况下, 2组种植体植入成功率相似; 当颊壁缺损时, ARP组种植体植入成功率高达98.6%, 高于IIP组的89.6%, 且在磨牙区的硬组织保存效果和PES分值均优于IIP组。然而, Ko等^[45]在6只比格犬双侧下颌第三或第四前磨牙行ARP或自然愈合后进行种植手术, 经过3个月丝线结扎诱导种植体周围炎, 在炎症自发进展3个月后, 发现自发进展阶段颊壁缺损情况和干预措施(ARP或自然愈合)对边缘骨水平变化无明显影响。

3 总结和展望

ARP是手术创伤小、技术敏感性相对较低的骨增量手术, 可有效减缓牙周炎拔牙位点的牙槽骨吸收, 已在临床得到广泛应用。颊侧骨壁形态可影响牙周炎拔牙窝的愈合特点, 颊壁菲薄或缺损的位点, 牙槽嵴尺寸变化更为明显。本文总结并分析了ARP在不同颊侧骨壁形态下牙周炎拔牙位点中的应用效果, 发现颊壁厚者较颊壁薄者减缓牙槽骨吸收效果更为明显, 颊壁缺损较颊壁完整位点需要额外的软硬组织增量手术, 这为临床工作中进行不同适应证下的ARP术式和生物材料选择、效果预期以及后期种植修复成功率预测提供了初步诊疗思路。然而, 目前多数临床研究聚

焦于颊壁厚度、颊壁是否缺损对牙周炎位点行ARP效果的影响, 仍缺少针对不同颊壁缺损形态在牙周炎位点行ARP临床效果的系统性研究, 因此亟待开展相关的临床研究, 以期为不同颊壁缺损形态的牙周炎患者行ARP提供诊疗依据。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

4 参考文献

- [1] Passarelli PC, Pagnoni S, Piccirillo GB, et al. Reasons for tooth extractions and related risk factors in adult patients: a cohort study[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(7): 2575.
- [2] Broers DLM, Dubois L, de Lange J, et al. Reasons for tooth removal in adults: a systematic review[J]. *Int Dent J*, 2022, 72(1): 52-57.
- [3] 赖思煜, 侯建霞. 牙槽嵴保存在非牙周炎与牙周炎患牙拔牙位点的应用进展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(4): 266-270.
Lai SY, Hou JX. Progress in the application of alveolar ridge preservation at extraction sites in non-periodontitis and periodontitis patients[J]. *Chin J Stomatol*, 2020, 55(4): 266-270.
- [4] Sculean A, Stavropoulos A, Bosshardt DD. Self-regenerative capacity of intra-oral bone defects[J]. *J Clin Periodontol*, 2019, 46(Suppl 21): 70-81.
- [5] Hämmerle CHF, Araújo MG, Simion M, et al. Evidence-based knowledge on the biology and treatment of extraction sockets[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2012, 23(Suppl 5): 80-82.
- [6] 胡文杰. 牙槽嵴保存术的临床实施问题探讨[J]. *国际口腔医学杂志*, 2021, 48(3): 249-258.
Hu WJ. Related problems in clinical practice of alveolar ridge preservation[J]. *Int J Stomatol*, 2021, 48(3): 249-258.
- [7] Wei YP, Xu T, Hu WJ, et al. Socket preservation following extraction of molars with severe periodontitis [J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2021, 41(2): 269-275.
- [8] Monje A, Pons R, Rocuzzo A, et al. Reconstructive therapy for the management of peri-implantitis via submerged guided bone regeneration: a prospective case series[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2020, 22(3): 342-350.

- [9] Engler-Hamm D, Cheung WS, Yen A, et al. Ridge preservation using a composite bone graft and a bio-absorbable membrane with and without primary wound closure: a comparative clinical trial[J]. *J Periodontol*, 2011, 82(3): 377-387.
- [10] Canullo L, Del Fabbro M, Khijmatgar S, et al. Dimensional and histomorphometric evaluation of bio-materials used for alveolar ridge preservation: a systematic review and network meta-analysis[J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(1): 141-158.
- [11] Mercado F, Vaquette C, Hamlet S, et al. Enamel matrix derivative promotes new bone formation in xenograft assisted maxillary anterior ridge preservation—a randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2021, 32(6): 732-744.
- [12] Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog[J]. *J Clin Periodontol*, 2005, 32(2): 212-218.
- [13] Covani U, Ricci M, Bozzolo G, et al. Analysis of the pattern of the alveolar ridge remodelling following single tooth extraction[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2011, 22(8): 820-825.
- [14] Chappuis V, Araújo MG, Buser D. Clinical relevance of dimensional bone and soft tissue alterations post-extraction in esthetic sites[J]. *Periodontol 2000*, 2017, 73(1): 73-83.
- [15] Januário AL, Duarte WR, Barriviera M, et al. Dimension of the facial bone wall in the anterior maxilla: a cone-beam computed tomography study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2011, 22(10): 1168-1171.
- [16] Couso-Queiruga E, Stuhr S, Tattan M, et al. Post-extraction dimensional changes: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Periodontol*, 2021, 48(1): 126-144.
- [17] Cardaropoli D, Tamagnone L, Roffredo A, et al. Relationship between the buccal bone plate thickness and the healing of postextraction sockets with/without ridge preservation[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2014, 34(2): 211-217.
- [18] Castro AB, van Dessel J, Temmerman A, et al. Effect of different platelet-rich fibrin matrices for ridge preservation in multiple tooth extractions: a split-mouth randomized controlled clinical trial[J]. *J Clin Periodontol*, 2021, 48(7): 984-995.
- [19] Tu CC, Zheng ZC, Cheng NC, et al. Alveolar mucosal cell spheroids promote extraction socket healing and osseous defect regeneration[J]. *J Periodontol*, 2024, 95(4): 372-383.
- [20] Bighetti ACC, Cestari TM, Paini S, et al. Efficacy and safety of a new heterologous fibrin biopolymer on socket bone healing after tooth extraction: an experimental pre-clinical study[J]. *J Clin Periodontol*, 2024, 51(8): 1017-1033.
- [21] Wei YP, Xu T, Zhao LP, et al. Ridge preservation in maxillary molar extraction sites with severe periodontitis: a prospective observational clinical trial[J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(3): 2391-2399.
- [22] Zhao LP, Wei YP, Xu T, et al. Changes in alveolar process dimensions following extraction of molars with advanced periodontal disease: a clinical pilot study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2019, 30(4): 324-335.
- [23] Kim JJ, Ben Amara H, Chung I, et al. Compromised extraction sockets: a new classification and prevalence involving both soft and hard tissue loss[J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2021, 51(2): 100-113.
- [24] Ben Amara H, Kim JJ, Kim HY, et al. Is ridge preservation effective in the extraction sockets of periodontally compromised teeth? A randomized controlled trial[J]. *J Clin Periodontol*, 2021, 48(3): 464-477.
- [25] Tien HK, Lee WH, Kim CS, et al. Alveolar ridge regeneration in two-wall-damaged extraction sockets of an *in vivo* experimental model[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2021, 32(8): 971-979.
- [26] Araújo MG, Dias DR, Matarazzo F. Anatomical characteristics of the alveolar process and basal bone that have an effect on socket healing[J]. *Periodontol 2000*, 2023, 93(1): 277-288.
- [27] Chen ST, Darby I. The relationship between facial bone wall defects and dimensional alterations of the ridge following flapless tooth extraction in the anterior maxilla[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017, 28(8): 931-937.
- [28] Kim JH, Koo KT, Capetillo J, et al. Periodontal and endodontic pathology delays extraction socket healing in a canine model[J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2017, 47(3): 143-153.

- [29] Ahn JJ, Shin HI. Bone tissue formation in extraction sockets from sites with advanced periodontal disease: a histomorphometric study in humans[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2008, 23(6): 1133-1138.
- [30] Kim JJ, Ben Amara H, Schwarz F, et al. Is ridge preservation/augmentation at periodontally compromised extraction sockets safe? A retrospective study [J]. *J Clin Periodontol*, 2017, 44(10): 1051-1058.
- [31] Yang F, Ruan Y, Bai XL, et al. Alveolar ridge preservation in sockets with severe periodontal destruction using autogenous partially demineralized dentin matrix: a randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2023, 25(6): 1019-1032.
- [32] Zhang HY, Wei YP, Xu T, et al. Assessment of soft and hard tissue characteristics of ridge preservation at molar extraction sites with severe periodontitis: a randomized controlled trial[J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1): 511.
- [33] Zhang HY, Xu T, Wei YP, et al. Assessment of soft and hard tissue changes following micro crestal flap-alveolar ridge preservation and augmentation at molar extraction sites in patients with stage III/IV periodontitis: a randomized controlled trial[J]. *J Clin Periodontol*, 2024, 51(10): 1311-1322.
- [34] Dai AN, Li HY, Kang S, et al. Effect of alveolar ridge preservation at periodontally compromised molar extraction sockets: a retrospective cohort study[J]. *J Periodontol*, 2025, 96(1): 9-20.
- [35] Fok MR, Pelekos G, Jin LJ. Efficacy of alveolar ridge preservation in periodontally compromised molar extraction sites: a systematic review and meta analysis[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(5): 1198.
- [36] Ikawa T, Akizuki T, Ono W, et al. Ridge reconstruction in damaged extraction sockets using tunnel β -tricalcium phosphate blocks: a 6-month histological study in beagle dogs[J]. *J Periodontol Res*, 2020, 55(4): 496-502.
- [37] Barone A, Toti P, Quaranta A, et al. Clinical and histological changes after ridge preservation with two xenografts: preliminary results from a multicentre randomized controlled clinical trial[J]. *J Clin Periodontol*, 2017, 44(2): 204-214.
- [38] Steigmann L, Di Gianfilippo R, Steigmann M, et al. Classification based on extraction socket buccal bone morphology and related treatment decision tree [J]. *Materials*, 2022, 15(3): 733.
- [39] Avila-Ortiz G, Chambrone L, Vignoletti F. Effect of alveolar ridge preservation interventions following tooth extraction: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Periodontol*, 2019, 46(Suppl 21): 195-223.
- [40] Couso-Queiruga E, Weber HA, Garaicoa-Pazmino C, et al. Influence of healing time on the outcomes of alveolar ridge preservation using a collagenated bovine bone xenograft: a randomized clinical trial [J]. *J Clin Periodontol*, 2023, 50(2): 132-146.
- [41] Cosyn J, Cleymaet R, de Bruyn H. Predictors of alveolar process remodeling following ridge preservation in high-risk patients[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2016, 18(2): 226-233.
- [42] Seyssens L, Eghbali A, Christiaens V, et al. A one-year prospective study on alveolar ridge preservation using collagen-enriched deproteinized bovine bone mineral and saddle connective tissue graft: a cone beam computed tomography analysis[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2019, 21(5): 853-861.
- [43] Barone A, Ricci M, Romanos GE, et al. Buccal bone deficiency in fresh extraction sockets: a prospective single cohort study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2015, 26(7): 823-830.
- [44] Zhou X, Yang J, Wu L, et al. Evaluation of the effect of implants placed in preserved sockets versus fresh sockets on tissue preservation and esthetics: a meta-analysis and systematic review[J]. *J Evid Based Dent Pract*, 2019, 19(4): 101336.
- [45] Ko YC, Lee D, Kwon O, et al. Preclinical comparison study of experimental peri-implantitis between alveolar ridge preservation and spontaneous healing sites in infected and noninfected tooth: a randomized blinded *in vivo* study[J]. *J Periodontol*, 2024, 95(10): 977-990.

(本文编辑 吴爱华)