

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.202440266

· 专家论坛 ·

香肠技术骨增量应用现状

周延民, 刘修玉, 陈思宇

吉林大学口腔医院口腔种植中心, 吉林 长春(130021)

【摘要】 充足的骨组织是保证种植体长期稳定性的先决条件。Urban教授提出了基于引导骨再生(guided bone regeneration, GBR)原理的“香肠技术”。研究显示,该技术在牙槽骨水平向增量方面达(5.3 ± 2.3) mm,垂直向增量为(4.2 ± 1.9) mm,显著优于传统GBR方法。香肠技术利用生物膜的弹性与韧性,结合膜钉固定,将自体骨与骨移植材料稳定在植骨区域,有效防止移位并增强空间稳定性。骨替代材料和自体骨的使用兼顾了自体骨的成骨活性和骨替代材料的低吸收速率;在受区的皮质骨使用球钻进行滋养孔的制备,为间充质干细胞和骨祖细胞向骨再生区域迁移提供了通路,同时也可以加速创口愈合早期新生血管生成;充分减张缝合,以确保在缝合时不对愈合区域施加过大的压力。这有效提高了香肠技术的可预测性。尽管该技术疗效显著,但潜在的软硬组织并发症可能影响患者恢复及手术结果。因此,深入探讨其并发症及诱因,对于提升香肠技术的临床安全性和有效性具有重要意义。本文总结了香肠技术的应用原理、临床效果、屏障膜的应用、骨移植材料的选择及并发症防治,旨在为其在口腔种植领域的广泛应用提供参考。

【关键词】 香肠技术; 骨增量; 疗效观察; 组织再生; 牙种植; 胶原膜; 异种颗粒状骨替代材料; 并发症

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2025)04-0260-08

【引用著录格式】 周延民, 刘修玉, 陈思宇. 香肠技术骨增量应用现状[J]. 口腔疾病防治, 2025, 33(4): 260-267. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.202440266.

Current advances of the sausage technique in bone augmentation ZHOU Yanmin, LIU Xiuyu, CHEN Siyu.

Department of Implantology, Hospital of Stomatology, Jilin University, Changchun 130021, China

Corresponding author: ZHOU Yanmin, Email: zhouym@jlu.edu.cn, Tel: 86-431-88796025

【Abstract】 Sufficient bone tissue is required to ensure the long-term stability of implants. Based on the principles of guided bone regeneration, Dr. Istvan Urban proposed the “sausage technique”. Research indicates that the horizontal bone augmentation observed with the sausage technique averages (5.3 ± 2.3) mm and the vertical bone augmentation averages (4.2 ± 1.9) mm, which is significantly greater than the outcomes achieved with traditional guided bone regeneration techniques. The sausage technique is reliable because the biological membrane has sufficient elasticity and toughness with the application of membrane screws, which stabilizes the mixture of autologous bone and bone graft materials in the bone grafting area and prevents the grafting materials from being displaced. Using substitute materials for autologous bone graft balances the osteogenic activity and the low graft absorption rate. A ball drill is used to prepare nourishing holes in the cortical bone of the recipient area, providing a pathway for mesenchymal stem cells and bone progenitor cells to migrate to the bone regeneration area. Furthermore, this method accelerates the early angiogenesis of wound healing, fully reduces tension during suturing, and ensures that excessive pressure is not applied to the healing area during suturing. Thus, the sausage technique is consistent and reliable. Despite the good outcomes demonstrated by the sausage technique in clinical applications, its potential complications related to soft and hard tissue have attracted widespread attention. These complications negatively affect the patient's recovery process and influence the final results of the surgery. Therefore, a complete understanding of the complications associated with the sausage technique and their underlying causes is necessary to enhance the clinical safety and effectiveness of the sausage technique. This article

【收稿日期】 2024-07-19; **【修回日期】** 2025-01-11

【基金项目】 国家自然科学基金项目(82371006)

【作者简介】 周延民, 一级主任医师, 博士, Email: zhouym@jlu.edu.cn, Tel: 86-431-88796025



微信公众号

summarizes the application principles, clinical effects, barrier membrane applications, selection of bone transplant materials, and related complications of the sausage technique, aiming to provide a reference for clinical application.

【Key words】 sausage technique; bone augmentation; curative effect observation; tissue regeneration; dental implantation; collagen membrane; xenogeneic granular bone substitute materials; complication

J Prev Treat Stomatol Dis, 2025, 33(4): 260-267.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

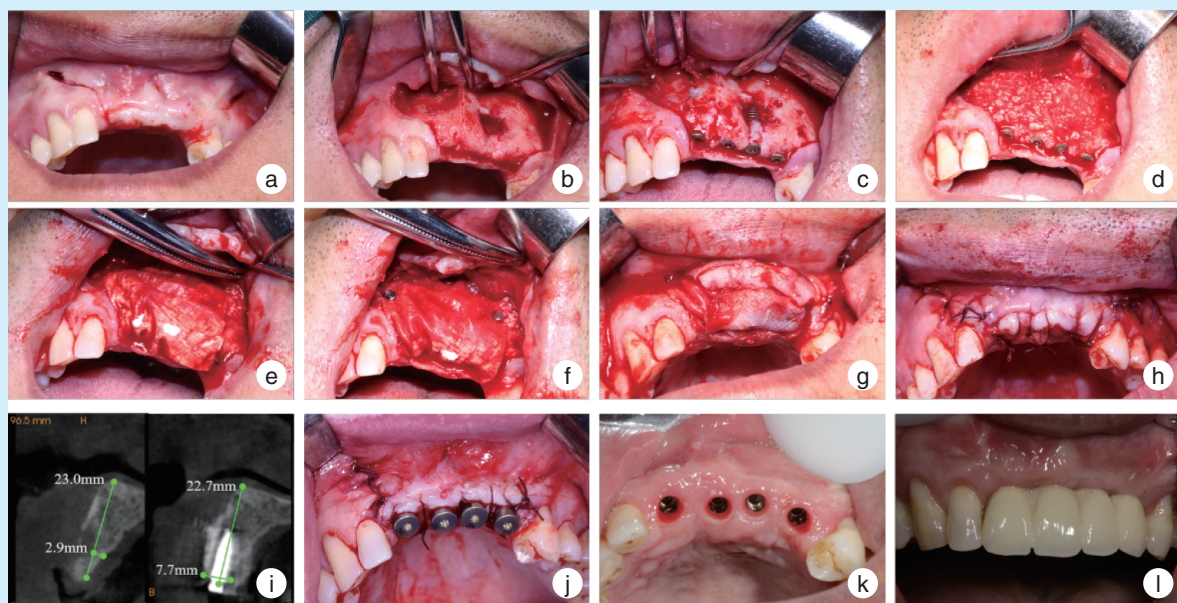
This study was supported by the grants from National Natural Science Foundation of China (No. 82371006).

充足的牙槽骨量是满足种植体的功能和美学要求的必要条件,然而感染、外伤或肿瘤术后导致的牙齿缺失会引发牙槽骨的缺损,导致种植位点的牙槽骨骨量不足。目前常用的骨增量技术包括骨劈开术、Onlay 植骨术、牵张成骨术等,Urban 教授等提出针对严重的水平骨缺损的骨增量技术——香肠技术(sausage technique)^[1]。本文将从香肠技术出发,针对其应用原理、临床效果、技术要点和相关并发症的防治进行讨论并总结。

1 香肠技术的应用原理及其临床效果

香肠技术由 Urban 教授提出,是一种基于引导

骨再生的新型骨增量技术,主要用于水平骨增量。在传统的引导骨再生技术的基础上^[2-3],利用自体骨片与脱蛋白牛骨矿物质颗粒混合并通过膜钉固定可吸收膜覆盖进行骨增量手术,在保证移植材料具备充足的骨诱导性的同时,有效防止移植材料的根向移位^[4]。需要注意的是,并非使用可吸收膜和膜钉的技术就是香肠技术,香肠技术的关键在于将骨替代材料与自体骨以 1:1 混合,通过膜钉固定可吸收膜,使骨移植材料在张力作用下被包裹呈“香肠”形状,达到稳定植骨的效果(图 1)^[5]。膜钉的使用顺序和位置也需要注意,目前推荐将第一颗膜钉固定于植骨区最近的天然牙的远中牙



a: incision design; b: after exposing the bone surface, an alveolar bone defect was clearly visible between tooth positions 21 and 22; c: after drilling, the implant was placed in the pre-designed position, and part of the implant's thread was visible; d: the bone graft material was placed on the bone defect; e: the bone graft material was covered with a barrier membrane; f: the barrier film was fixed with membrane nails; g: platelet-rich fibrin (PRF) was placed near the incision; h: absorbable sutures were used to close the incision; i: pre-operative cone beam CT (left) shows horizontal bone defects in the alveolar bone, with a thickness of only 2.9 mm; post-operative CBCT taken 6 months later (right) shows that the patient's alveolar bone thickness increased to 7.7 mm, ensuring the long-term stability of the implant; j: the healing abutment was replaced during the second surgery; k: the gums after the second surgery; l: complete permanent crown restoration

Figure 1 Sausage technique application for bone augmentation and repair of missing teeth

图 1 香肠技术骨增量手术过程和缺失牙种植修复

槽嵴顶,第二颗膜钉放置于舌侧,之后在颊侧可吸收膜的近中和远中分别放置膜钉将骨移植材料推至牙槽嵴顶的骨缺损处,最后使用剩余的膜钉对可吸收膜和骨移植材料进行固定。根据经典的PASS(无张力创口关闭,血管化过程,维持成骨空间、稳定性)原则^[6],香肠技术利用可吸收生物膜本身具备的韧性和延展性,在恰当的位点植入膜钉,二者相结合使得骨移植材料被紧密包裹于其中,增强了成骨空间的稳定,在维持冠向植骨空间稳定防止骨移植材料根向移位方面具有优势,保证了骨增量手术的高可预测性。

Urban等最初将香肠技术应用于下颌后牙区骨增量,获得了良好骨增量疗效^[1]。近年来部分学者尝试将香肠技术应用于口腔内的其他位点,也获得了良好的骨增量效果。Kim等^[7]统计了香肠技术应用于上颌骨和下颌骨的存留率分别为92.2%和72.9%,这种差异可能是由于下颌的骨移植材料受到肌肉牵张影响。Arnal等^[4]对比了香肠技术与传统GBR技术应用于刃状牙槽嵴时的骨增量效果,CBCT数据显示应用香肠技术的牙槽骨的水平向骨增量为 (5.3 ± 2.3) mm,显著高于传统GBR技术的 (2.7 ± 1.8) mm,与传统的GBR技术相比,香肠技术可以获得更多的水平和垂直向新生骨生成。垂直骨缺损通常涉及更复杂的骨愈合机制,由于重力和功能负荷作用,垂直向骨再生难度大于水平向^[8]。尽管香肠技术主要针对水平骨缺损,但把控好适应证,在维持局部成骨空间稳定的同时增加血供可获得较好的垂直向骨增量。在复

杂病例中,如膜钉固位不良或局部空间难以维持的情况下,仍然可以通过以下方式应用于垂直向骨增量。加强生物屏障膜的作用:在垂直向骨缺损处,使用力学性能增强的生物屏障膜可以帮助维持成骨空间的稳定性;结合其他骨增量技术:在实施香肠技术的同时,可以结合其他技术,例如Onlay植骨或者帐篷技术;改进骨移植材料的选择:选择具有良好生物相容性和生长因子的骨材料,例如自体骨或含生长因子的骨替代材料;延长术后的恢复时间:建议利用香肠技术恢复垂直骨缺损时,术后恢复需延长至9个月左右。

在骨增量术式的选择中,香肠技术与其他常用术式各有其独特的优势和适应证。香肠技术操作相对简单,适用于较小的骨缺损,能够快速恢复,且治疗费用较低,但在处理大范围缺损时可能效果不佳^[4]。大范围的复杂骨缺损可采用Onlay植骨和骨片技术,Onlay植骨和骨片技术中自体骨的使用可避免排斥反应,利用其骨诱导活性可提高种植区骨再生效果,但是相较于香肠技术其缺点是手术难度高、术中需开辟第二术区、术后恢复时间较长且费用相对较高^[8]。钛网支撑的引导骨再生也适用于大范围骨缺损,利用钛网提供更好地维持成骨空间效果,尽管操作复杂、费用较高,但临床效果具有较高的可预测性^[9]。这提示临床医师在选择术式时,应综合考虑患者的个体情况、缺损类型、手术复杂性及经济状况,并与患者充分沟通,以制定最佳治疗方案(表1)。

表1 常用的各类骨增量术式的临床效果统计

Table 1 The clinical effect statistics of the commonly used methods of bone augmentation

$\bar{x} \pm s$

Surgical protocol	Horizontal bone gain/mm	Vertical bone gain/mm	Bone resorption/mm	Complications (%)
Sausage technique	5.3 ± 2.3	4.2 ± 1.9	2.1 ± 1.6	13.6
Guided bone regeneration	2.7 ± 1.8	1.2 ± 0.9	1.3 ± 1.1	11.0
Titanium mesh	6.4 ± 2.1	4.8 ± 1.9	0.5 ± 0.8	20.8
Onlay	4.3 ± 1.8	3.2 ± 1.2	1.0 ± 1.1	10.3

Table content data source reference: [1, 4, 8-13].

2 香肠技术中屏障膜的应用

香肠技术的核心在于通过膜钉和可吸收屏障膜固定骨移植材料,确保骨增量效果。屏障膜是GBR技术中的重要组成部分,屏障膜的功能旨在促进骨形成,同时作为被动屏障阻止软组织生长。屏障膜的性能与其微观形貌、化学性质及生物相容性密切相关,这些特性影响蛋白分泌及免疫反应,从而调节成骨效果^[14]。

不可吸收膜是第一代屏障膜,其具有良好的生物相容性和维持成骨空间的能力^[15]。然而,其较高的膜暴露率,导致了其具有较高的术后并发症风险。为此,由可吸收材料制成的第二代屏障膜被开发出来,已经在临床上得到了广泛应用^[16-18]。可吸收膜生物相容性较高并且可以促进宿主组织整合,不仅避免了二次手术,还能在降解过程中释放出有利于骨再生的生物活性物质。在

膜暴露过程中会被迅速吸收,从而降低细菌感染的风险^[19]。屏障膜不仅可以作为隔离硬组织和软组织的被动屏障,还可以在膜下营造具有广泛成骨潜能的微环境。Ivanovski等^[20]利用微阵列技术分析了应用聚四氟乙烯膜术后的基因表达,实验结果表明通过使用屏障膜引导骨再生的原理不仅包括阻止成纤维细胞向成骨区域迁移,还包括屏障膜和促进创口愈合的过程。屏障膜通过激活招募黏附到膜上的宿主细胞,直接促进组织缺损中的愈合过程,使相关的分子信号传递到组织缺损中的相应细胞群^[21-23]。最近的研究表明,可吸收膜下的分子事件可以直接促进分子级联,这些分子事件刺激特定细胞的迁移,从而促进促成骨因子的表达和释放,加速骨再生和膜下重塑,提示屏障膜在愈合过程中具有更直接和更积极的作用^[24-25]。

香肠技术的要点为将可吸收膜与膜钉结合使用,相较于其他屏障膜,可吸收胶原膜的优势在于具有弹性、操作简便和高适应性。临床实践中骨移植材料和屏障膜的稳定性不足是香肠技术临床效果不佳的主要原因,Urbán教授强调手术过程中对屏障膜的精细处理,确保膜在手术后的正确位置和稳定性,以防止膜的位移或破损。对屏障膜进行适当的固定和保护措施,可以有效提高骨再生的成功率^[5]。当使用可吸收膜时,GBR垂直骨增量高度为3.51 mm,而不可吸收膜GBR垂直骨增量高度为4.42 mm^[18]。因为形状稳定的材料(即钛增强的不可吸收膜)可以获得更好的垂直骨增量,没有任何空间维持特征的可吸收屏障膜可能会塌陷进而影响骨再生。因此在香肠技术中利用膜钉固定可吸收膜,可以获得稳定的成骨空间,保证骨增量效果。

屏障膜选择需综合考虑厚度、强度及适配性,以确保骨缺损区域的稳定性和骨愈合效果。可吸收胶原膜的韧性和可拉伸性,使其能压实骨移植材料,显著提升稳定性。同时,通过促进血管生成和成骨细胞增殖,有效加速骨再生并降低骨吸收率^[26]。近年来有学者提出使用双层膜来增强其稳定性和屏障能力,并且双层膜的使用还可以降低自体骨块的吸收^[27-28]。由于可吸收膜制备过程中化学交联过程可能会影响降解效率,导致可吸收膜的生物降解时间过长,可能影响最终成骨效果,是目前亟待解决的问题^[29-30]。目前研究的热点是通过了解屏障膜周围的软组织和硬组织的相关分子事件,来制备多功能屏障膜来提高成骨效果,并

促进愈合过程中的软组织稳定^[31-32]。

3 香肠技术中骨移植材料的选择

在香肠技术中,自体骨碎片与骨移植材料的合理组合是实现骨增量效果的关键。近年来,骨移植材料的选择已扩展至同种异体、异种来源及合成材料,但针对不同骨再生需求,最佳组合方案仍未明确。自体骨因其优异的成骨性、骨诱导性和骨传导性,被视为骨移植的金标准,但其获取量有限,难以单独应用于较大骨缺损的修复^[33-35]。Ozaki等^[36]检测了自体骨用于骨增量手术的吸收特点,结果证实无论自体骨的胚胎学起源如何,移植后均会立即发生无法避免的移植物吸收(15%~60%),这将会影响骨增量的手术效果。因此如何在保证骨增量手术疗效的前提下,提高骨移植材料的成骨能力一直是重要的研究方向。合理规划取材部位和手术方式,可以最大限度地减少患者痛苦,同时保障骨再生的效果。笔者建议在可能的情况下优先选择受区附近作为取骨部位,通过减少第二术区的开辟优化取骨方案,能够有效减少供体部位的并发症,提高患者的整体满意度。

有学者发现单独使用无机牛骨基质可以提供良好的空间维持能力,利用无机牛骨基质引导骨再生,已被证明是有效的骨移植材料^[37]。但是对移植部位的组织学分析显示破骨细胞对无机牛骨质的吞噬作用较差,导致人体对无机牛骨质的吸收缓慢,进而导致新生骨中残余无机牛骨质的含量较高,影响新生骨质量^[38-39]。Wen等^[40]利用人体对无机牛骨质的吸收缓慢的特性,将无机牛骨基质与自体骨结合使用显著降低了移植物吸收速率。因此将自体骨与骨替代材料结合使用是一种具有广泛应用前景的牙槽骨再生方法。

另一方面,Urbán等^[41]建议,在选择骨移植材料时,应考虑其降解速率与新生骨的生长速率之间的匹配,以确保骨再生的最佳效果。通过对合成材料的合理应用,可以在满足临床需求的同时降低并发症的发生率。Urban等^[41]发现无机牛骨基质如果与至少40%的自体骨混合,可以获得更显著的骨增量效果,这得益于自体骨具有更好的成骨潜能。据报道,这种组合不仅可以促进自体骨的成骨细胞激活和生长因子释放,而且由于无机牛骨基质的吸收速率缓慢,可以起到维持成骨空间的作用^[42]。混合使用的自体骨和无机牛骨基质也可以在细胞迁移和增殖中起重要作用,当无

机牛骨基质缓慢吸收时,自体骨可以通过创建新生的 Haversian 系统促进成骨细胞的迁移和黏附^[43]。将自体骨与无机牛骨基质混合的基本原理是将异种移植物的支架特性与自体移植物的成骨性和骨诱导性相结合。异种骨移植物仅仅是天然骨逐渐生长的非活性骨导性支架,将生物活性材料加入骨替代材料中,通过提高成骨性并且引入骨诱导性能,进而有效促进成骨过程和质量,具有重要的临床意义^[44-46]。目前骨移植物的使用已经不局限于自体骨与骨替代材料按照 1:1 的比例使用,可以根据患者的骨缺损程度适当增加自体骨的比例以保证骨增量效果。

4 香肠技术的并发症

相较于常规的 GBR 技术,香肠技术具有更好的骨增量效果和可预测性^[7]。Pieroni 等^[47]统计了应用香肠技术后患者的术后反应,统计结果显示大多数患者在术后肿胀在 7 d 内消退,术后疼痛主要与肿胀引起的紧张有关。但是香肠技术在维持冠向成骨空间稳定的同时,也会导致创口的张力增加,这与患者年龄、身体状况、骨缺损区域大小、局部软组织状态及医师操作经验相关。香肠技术主要的术后并发症包括创口开裂、屏障膜和(或)骨替代材料暴露、术后感染和骨吸收等^[3]。并发症的发生不仅会影响患者的愈合过程,还可能导致二次手术的需要,从而增加患者的经济负担和心理压力。通过细致的术前规划、精细的手术操作和术后管理,可以显著降低并发症的发生率,提高骨再生的成功率。

创口开裂会导致膜和(或)植骨材料暴露并可能进一步引发感染导致手术失败。创口开裂的主要原因是术后创口周围软组织的张力过大并且新生组织缺乏血液供应。皮质骨骨密度较高,皮质骨内缺乏间充质干细胞,导致血运重建减少,由于血管生成与骨形成之间具有紧密的联系,因此进行香肠技术时,需要在受区的皮质骨部分使用球钻进行滋养孔的制备^[48]。皮质骨上的滋养孔为间充质干细胞和骨祖细胞向骨再生区域迁移提供了通路,同时也可以加速创口愈合早期新生血管生成^[49]。根据患者创口愈合情况对局部软组织状态进行评估,判断是否需要后续手术处置。

膜暴露的发生主要由几个因素引起,包括术后感染导致的炎症、机械因素造成的膜位移、血供不足影响创口愈合、手术技术不当导致膜未正确

放置或固定不牢,以及患者自身因素如吸烟或糖尿病等全身性疾病增加膜暴露的风险^[50]。这些因素共同作用,可能导致膜在愈合过程中的暴露,从而影响骨再生的效果。可吸收膜的使用可以降低膜暴露的风险,主要因为其良好的生物相容性使其能够更好地与周围组织结合,减少排斥反应;同时,膜的逐渐降解为新生骨提供持续的支持和保护,降低了对骨愈合的不利影响^[11, 18]。此外,可吸收膜通常较薄且易于操作,外科医师在植入时能够更准确地放置,减少技术风险,同时某些可吸收膜还具有促进愈合和骨再生的生物活性,从而进一步降低膜暴露的概率。然而,这并不能完全消除风险,术后护理和患者健康状况仍然至关重要。膜暴露等并发症可以术后每天用抗菌漱口液漱口和抗生素治疗。

香肠技术中使用了大量的骨移植材料和屏障膜,需要进行合理的软组织管理以保证创口的良好封闭,这是保证 GBR 成功的前提条件。减张技巧是在香肠技术中应用的一种重要手术方法,旨在减少术后伤口的张力,从而降低并发症发生的风险。尤其在大范围骨缺损修复中,减张技巧的应用显得尤为重要。Urban 教授指出,减张技巧的关键在于充分释放软组织张力,以确保在缝合时不对愈合区域施加过大的压力。在具体操作中,医师可以通过精细的软组织剥离和对称的切口设计来实现减张效果。例如,在术后采用连续缝合、间断缝合或分层缝合等方法关闭创口,避免过度牵拉周围组织,从而保持血供,促进伤口愈合。笔者建议术中可以对植骨区域的颊舌侧组织瓣进行充分减张后进行褥式缝合,以实现无张力严密关闭创口并且稳定骨移植材料。为了防止创口开裂通常会使用减张切口以保证黏膜的无张力缝合,但是这通常会导致角化龈的丢失。研究认为,周围具有充足角化龈的种植体具有更低的菌斑水平和软组织并发症发病率,周围缺乏角化龈的种植体更容易发生探诊出血、牙槽骨吸收和种植体周围软组织炎症,种植体周围至少保留 2 mm 角化龈有利于种植体的长期健康和稳定^[51]。为了解决这一问题,目前广为接受的方案是采用条带技术、双条带技术等,在植骨术后进行软组织处理。条带技术既能有效恢复术区软组织量,同时相比于游离龈移植术(free gingival graft, FGG)痛苦更小,创伤也更小。联合根向复位瓣技术,条带技术及双条带技术将自体软组织移植和异种胶原基质膜有机

结合,可在不同软组织缺损情况下对术式进行灵活选择。但笔者仍然建议在一期手术同时通过在骨替代材料内和可吸收膜表面添加富血小板纤维蛋白(platelet-rich fibrin, PRF)或浓缩生长因子(concentrate growth factors, CGF)等血浆提取物,并采用开放式愈合的模式,既能利用自体血小板制品早期生长因子释放和促进早期血管再生能力加速骨改建过程,又能有效减小创面张力在预防并发症发生的同时增加软组织的形成^[52]。在缝合过程中,应根据患者的实际情况选择合适的缝合材料。在选择时,应考虑到愈合所需时间、术后护理的便利性以及潜在的感染风险。术后应该加强对患者的口腔卫生宣教,避免烟酒等不良因素影响创口愈合,及时应用抗生素以避免感染的发生,并且针对部分患者的焦虑情绪应该及时干预,提高患者的舒适度。

5 总 结

香肠技术通过创新性地运用膜钉固定可吸收膜,结合自体骨与骨替代材料,显著提升了骨增量效果,并展现出较高的临床可预测性。未来需进一步研究其长期种植体存活率及并发症防控措施,以完善其在口腔种植领域的应用。

【Author contributions】 Zhou YM wrote and reviewed the article. Liu XY and Chen SY revised the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Meloni SM, Jovanovic SA, Urban I, et al. Horizontal ridge augmentation using GBR with a native collagen membrane and 1: 1 ratio of particulated xenograft and autologous bone: a 1-year prospective clinical study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2017, 19(1): 38-45. doi: 10.1111/cid.12429.
- [2] Atef M, Tarek A, Shaheen M, et al. Horizontal ridge augmentation using native collagen membrane vs titanium mesh in atrophic maxillary ridges: randomized clinical trial[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2020, 22(2): 156-166. doi: 10.1111/cid.12892.
- [3] Tay JRH, Lu XJ, Lai WMC, et al. Clinical and histological sequelae of surgical complications in horizontal guided bone regeneration: a systematic review and proposal for management[J]. *Int J Implant Dent*, 2020, 6(1): 76. doi: 10.1186/s40729-020-00274-y.
- [4] Arnal HM, Angioni CD, Gaultier F, et al. Horizontal guided bone regeneration on knife-edge ridges: a retrospective case-control pilot study comparing two surgical techniques[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2022, 24(2): 211-221. doi: 10.1111/cid.13073.
- [5] Meloni SM, Jovanovic SA, Urban I, et al. Horizontal ridge augmentation using GBR with a native collagen membrane and 1: 1 ratio of particulate xenograft and autologous bone: a 3-year after final loading prospective clinical study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2019, 21(4): 669-677. doi: 10.1111/cid.12808.
- [6] Wang HL, Boyapati L. "PASS" principles for predictable bone regeneration[J]. *Implant Dent*, 2006, 15(1): 8-17. doi: 10.1097/01.id.0000204762.39826.0f.
- [7] Kim KM, Choi SY, Park JH, et al. Six-month stability following extensive alveolar bone augmentation by sausage technique[J]. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 2023, 45(1): 16. doi: 10.1186/s40902-023-00384-8.
- [8] Debortoli C, Falguiere A, Campana F, et al. Utilization of a cortical xenogeneic membrane for guided bone regeneration: a retrospective case series[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(15): 4575. doi: 10.3390/jcm13154575.
- [9] Chiapasco M, Casentini P, Tommasato G, et al. Customized CAD/CAM titanium meshes for the guided bone regeneration of severe alveolar ridge defects: preliminary results of a retrospective clinical study in humans[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2021, 32(4): 498-510. doi: 10.1111/clr.13720.
- [10] Benic GI, Bienz SP, Song YW, et al. Randomized controlled clinical trial comparing guided bone regeneration of peri-implant defects with soft-type block versus particulate bone substitutes: six-month results of hard-tissue changes[J]. *J Clin Periodontol*, 2022, 49(5): 480-495. doi: 10.1111/jcpe.13606.
- [11] Tay JRH, Ng E, Lu XJ, et al. Healing complications and their detrimental effects on bone gain in vertical-guided bone regeneration: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2022, 24(1): 43-71. doi: 10.1111/cid.13057.
- [12] Guan D, Zhao R, Guo Y, et al. Efficacy of autogenous tooth block for lateral ridge augmentation compared with autogenous bone block: a systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2023, 102(39): e35326. doi: 10.1097/MD.00000000000035326.
- [13] Luo Q, Luo Y, Liu J, et al. The influence of bone block graft position on bone dimensional changes in staged onlay horizontal ridge augmentation: a 6-month retrospective cohort study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2024, 35(9): 1091-1100. doi: 10.1111/clr.14299.
- [14] Kizhakkedathu JN, Conway EM. Biomaterial and cellular implants: foreign surfaces where immunity and coagulation meet[J]. *Blood*, 2022, 139(13): 1987-1998. doi: 10.1182/blood.2020007209.
- [15] Qasim SSB, Al-Asfour AA, Abuzayeda M, et al. Differences in mechanical and physicochemical properties of several PTFE membranes used in guided bone regeneration[J]. *Materials(Basel)*, 2023, 16(3): 904. doi: 10.3390/ma16030904.
- [16] Ren Y, Fan L, Alkildani S, et al. Barrier membranes for guided bone regeneration (GBR): a focus on recent advances in collagen membranes[J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(23): 14987. doi: 10.3390/ijms232314987.
- [17] Mizraji G, Davidzohn A, Gursoy M, et al. Membrane barriers for guided bone regeneration: an overview of available biomaterials[J]. *Periodontol 2000*, 2023, 93(1): 56-76. doi: 10.1111/prd.12502.
- [18] Urban IA, Montero E, Monje A, et al. Effectiveness of vertical ridge augmentation interventions: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Periodontol*, 2019, 46(Suppl 21): 319-339. doi: 10.1111/jcpe.13061.

- [19] Kim J. Systematic approach to characterize the dynamics of protein adsorption on the surface of biomaterials using proteomics[J]. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2020, 188: 110756. doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.110756.
- [20] Ivanovski S, Hamlet S, Retzepi M, et al. Transcriptional profiling of "guided bone regeneration" in a critical-size calvarial defect[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2011, 22(4): 382-389. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02104.x.
- [21] Fenbo M, Xingyu X, Bin T. Strontium chondroitin sulfate/silk fibroin blend membrane containing microporous structure modulates macrophage responses for guided bone regeneration[J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 213: 266 - 275. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.02.068.
- [22] Alkildani S, Ren Y, Liu L, et al. Analyses of the cellular interactions between the ossification of collagen-based barrier membranes and the underlying bone defects[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(7): 6833. doi: 10.3390/ijms24076833.
- [23] Turri A, Omar O, Trobos M, et al. Modulation of gene expression and bone formation by expanded and dense polytetrafluoroethylene membranes during guided bone regeneration: an experimental study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2024, 26(2): 266-280. doi: 10.1111/cid.13241.
- [24] Kuchler U, Rybaczek T, Dobask T, et al. Bone-conditioned medium modulates the osteoconductive properties of collagen membranes in a rat calvaria defect model[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018, 29(4): 381-388. doi: 10.1111/clr.13133.
- [25] Omar O, Elgali I, Dahlin C, et al. Barrier membranes: more than the barrier effect?[J]. *J Clin Periodontol*, 2019, 46 Suppl 21(Suppl Suppl 21): 103-123. doi: 10.1111/jcpe.13068.
- [26] Cho IW, Park JC, Shin HS. A comparison of different compressive forces on graft materials during alveolar ridge preservation[J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2017, 47(1): 51 - 63. doi: 10.5051/jpis.2017.47.1.51.
- [27] Calciolari E, Corbella S, Gkraniias N, et al. Efficacy of biomaterials for lateral bone augmentation performed with guided bone regeneration. A network meta-analysis[J]. *Periodontol 2000*, 2023, 93(1): 77-106. doi: 10.1111/prd.12531.
- [28] Tsai YL, Tsao JP, Wang CL, et al. Stability of contour augmentation of implant-supported single crowns in the esthetic zone: one-year cone-beam computed tomography results of a comparative, randomized, prospective, two-center clinical study using two different bone grafting techniques in early implant placement[J]. *J Periodontol*, 2022, 93(11): 1661-1670. doi: 10.1002/JPER.21-0588.
- [29] Buser D, Urban I, Monje A, et al. Guided bone regeneration in implant dentistry: basic principle, progress over 35 years, and recent research activities[J]. *Periodontol 2000*, 2023, 93(1): 9 - 25. doi: 10.1111/prd.12539.
- [30] Li L, Wang C, Li X, et al. Research on the dimensional accuracy of customized bone augmentation combined with 3D-printing individualized titanium mesh: a retrospective case series study[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2021, 23(1): 5 - 18. doi: 10.1111/cid.12966.
- [31] Nan X, Wang C, Li L, et al. Application of three-dimensional printing individualized titanium mesh in alveolar bone defects with different terheyden classifications: a retrospective case series study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2023, 34(6): 639 - 650. doi: 10.1111/clr.14062.
- [32] Luo J, Walker M, Xiao Y, et al. The influence of nanotopography on cell behaviour through interactions with the extracellular matrix-a review[J]. *Bioact Mater*, 2021, 15: 145-159. doi: 10.1016/j.bioactmat.2021.11.024.
- [33] Mahardawi B, Kyaw TT, Mattheos N, et al. The clinical efficacy of autogenous dentin blocks prepared chairside for alveolar ridge augmentation: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2023, 34(10): 1025-1037. doi: 10.1111/clr.14131.
- [34] Ciszyski M, Dominiak S, Dominiak M, et al. Allogenic bone graft in dentistry: a review of current trends and developments[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(23): 16598. doi: 10.3390/ijms242316598.
- [35] Miron RJ. Optimized bone grafting[J]. *Periodontol 2000*, 2024, 94(1): 143-160. doi: 10.1111/prd.12517.
- [36] Ozaki W, Buchman SR. Volume maintenance of onlay bone grafts in the craniofacial skeleton: micro-architecture versus embryologic origin[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1998, 102(2): 291 - 299. doi: 10.1097/00006534-199808000-00001.
- [37] Urban IA, Montero E, Amerio E, et al. Techniques on vertical ridge augmentation: indications and effectiveness[J]. *Periodontol 2000*, 2023, 93(1): 153-182. doi: 10.1111/prd.12471.
- [38] Kamolratanakul P, Mattheos N, Yodsanga S, et al. The impact of deproteinized bovine bone particle size on histological and clinical bone healing outcomes in the augmented sinus: a randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2022, 24(3): 361-371. doi: 10.1111/cid.13083.
- [39] Galindo-Moreno P, Abril-García D, Carrillo-Galvez AB, et al. Maxillary sinus floor augmentation comparing bovine versus porcine bone xenografts mixed with autogenous bone graft. A split-mouth randomized controlled trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2022, 33(5): 524-536. doi: 10.1111/clr.13912.
- [40] Wen SC, Fu JH, Wang HL. Effect of deproteinized bovine bone mineral at implant dehiscence defects grafted by the sandwich bone augmentation technique[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2018, 38(1): 79-85. doi: 10.11607/prd.2931.
- [41] Urban IA, Monje A, Lozada JL, et al. Long-term evaluation of peri-implant bone level after reconstruction of severely atrophic edentulous maxilla via vertical and horizontal guided bone regeneration in combination with sinus augmentation: a case series with 1 to 15 years of loading[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2017, 19(1): 46-55. doi: 10.1111/cid.12431.
- [42] Galindo-Moreno P, Padial-Molina M, Lopez-Chaichio L, et al. Algae-derived hydroxyapatite behavior as bone biomaterial in comparison with anorganic bovine bone: a split-mouth clinical, radiological, and histologic randomized study in humans[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2020, 31(6): 536-548. doi: 10.1111/clr.13590.
- [43] Urban IA, Nagursky H, Lozada JL, et al. Horizontal ridge augmentation with a collagen membrane and a combination of particulated

- autogenous bone and anorganic bovine bone-derived mineral: a prospective case series in 25 patients[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2013, 33(3): 299-307. doi: 10.11607/prd.1407.
- [44] Deesricharoenkiat N, Jansisyanont P, Chuenchompoonut V, et al. The effect of acemannan in implant placement with simultaneous guided bone regeneration in the aesthetic zone: a randomized controlled trial[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2022, 51(4): 535-544. doi: 10.1016/j.ijom.2021.07.017.
- [45] Jung RE, Kovacs MN, Thoma DS, et al. Informative title: guided bone regeneration with and without rhBMP-2: 17-year results of a randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2022, 33(3): 302-312. doi: 10.1111/clr.13889.
- [46] 张逸, 任思聪, 皇甫慧敏, 等. 支架材料对成血管微环境的影响及作用机制[J]. *中国组织工程研究*, 2023, 27(21): 3391-3397. doi: 10.12307/2023.420.
- Zhang Y, Ren SC, Huangfu HM, et al. Effects of scaffolds on angiogenic microenvironment and its mechanism[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2023, 27(21): 3391-3397. doi: 10.12307/2023.420.
- [47] Pieroni S, Miceli B, Giboli L, et al. Efficacy of the sausage technique in rebuilding the crestal buccal bone thickness: a retrospective analysis[J]. *Dent J(Basel)*, 2024, 12(6): 180. doi: 10.3390/dj12060180.
- [48] Mendoza - Azpur G, de la Fuente A, Chavez E, et al. Horizontal ridge augmentation with guided bone regeneration using particulate xenogenic bone substitutes with or without autogenous block grafts: a randomized controlled trial[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2019, 21(4): 521-530. doi: 10.1111/cid.12740.
- [49] Fekry YE, Mahmoud NR. Vertical ridge augmentation of atrophic posterior mandible with corticocancellous onlay symphysis graft versus sandwich technique: clinical and radiographic analysis[J]. *Odontology*, 2023, 111(4): 993-1002. doi: 10.1007/s10266-023-00794-0.
- [50] Urban IA, Saleh MHA, Ravidà A, et al. Vertical bone augmentation utilizing a titanium-reinforced PTFE mesh: a multi-variate analysis of influencing factors[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2021, 32(7): 828-839. doi: 10.1111/clr.13755.
- [51] Rocuzzo M, Rocuzzo A, Marruganti C, et al. The importance of soft tissue condition in bone regenerative procedures to ensure long-term peri-implant health[J]. *Periodontol 2000*, 2023, 93(1): 129-138. doi: 10.1111/prd.12496.
- [52] Jia K, You J, Zhu Y, et al. Platelet-rich fibrin as an autologous biomaterial for bone regeneration: mechanisms, applications, optimization[J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2024, 12: 1286035. doi: 10.3389/fbioe.2024.1286035.

(编辑 周春华,徐淑兰)



Open Access

This article is licensed under a Creative Commons
Attribution 4.0 International License.

Copyright © 2025 by Editorial Department of Journal of
Prevention and Treatment for Stomatological Diseases



官网



【作者简介】 周延民, 吉林大学口腔医院口腔种植科一级主任医师、二级教授, 博士生导师, 研究生学历, 医学博士学位, “国务院政府特殊津贴”专家, “五一劳动奖章”获得者, 被授予“中国白求恩式好医生”“全国医药卫生系统创先争优活动先进个人”“白求恩式好医生”“吉林省高级专家”“省拔尖创新人才”“长白山学者”等荣誉称号, 主持国家级和省部级项目 37 项, 其中国家自然科学基金面上项目 5 项。聚焦骨代谢、骨改性、骨感知、骨替代材料、种植体表面处理、种植体骨界面结合强度及种植义齿生物力学, 公开发表论文 439 篇, 其中以第一责任作者发表 SCI 论文 125 篇, EI 论文 10 篇, 中文核心论文 193 篇, 授权专利 3 项。多次荣获吉林省科技进步奖一、二、三等奖、中华口腔医学会科技进步奖三等奖, 长春市科技进步奖一等奖、科技创新奖, 吉林大学医疗成果一、二、三等奖。