

上前牙区复杂牙槽骨缺损重建的研究进展

——牙槽骨缺损重建

邹节娟^{1,2}, 龙海³, 黄元丁^{1*}

¹重庆医科大学附属口腔医院种植科, 重庆

²重庆市铜梁区中医院口腔科, 重庆

³重庆市铜梁区人民医院口腔科, 重庆

收稿日期: 2024年4月16日; 录用日期: 2024年5月9日; 发布日期: 2024年5月16日

摘要

上前牙区因为自身解剖和生理特点, 常常出现复杂牙槽骨缺损。本文通过对3D打印个性化钛网(3D Printed Individualized Titanium Mesh, 3D-PITM) GBR和自体骨环技术在复杂牙槽骨缺损重建的临床文献回顾, 结合上前牙区的特点, 分析两种技术的优势及需要引起注意的地方。对比其他材料及骨增量方式在上前牙区运用的条件, 为美学区骨增量提供更为科学、有效的技术方法和理论依据。并展望上前牙区牙槽骨缺损重建的未来。

关键词

上前牙区, 牙槽骨缺损, 3D打印个性化钛网, 自体骨环

Research Progress in Reconstruction of Complex Alveolar Bone Defects in the Anterior Maxillary Region

—Reconstruction of Alveolar Bone Defects

Jiejuan Zou^{1,2}, Hai Long³, Yuanding Huang^{1*}

¹Department of Implantology, Stomatological Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

²Department of Stomatology, Tongliang Traditional Chinese Medicine Hospital, Chongqing

³Department of Stomatology, Tongliang People's Hospital, Chongqing

Received: Apr. 16th, 2024; accepted: May 9th, 2024; published: May 16th, 2024

*通讯作者。

Abstract

Because of the anatomical and physiological characteristics, complex alveolar bone defects often occur in the anterior maxillary region. In this paper, the clinical literatures on 3D Printed Individualized Titanium Mesh (3D-PITM) GBR and autologous bone ring techniques of the reconstruction of complex alveolar bone defects were reviewed. The advantages of the two techniques and the situations requiring attention are analyzed in relation to the characteristics of the anterior maxillary region. The limitations of other materials and bone augmentation methods used in the anterior maxillary region are also compared to provide a more scientific and effective technical method and theoretical basis for bone grafting in the aesthetic zone. The future of reconstruction of alveolar bone defects in the anterior maxillary region is being looked forward to.

Keywords

Anterior Maxillary Region, Alveolar Bone Defect, 3D Printed Individualised Titanium Mesh, Autologous Bone Ring

Copyright © 2024 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

上前牙区牙槽骨缺损是口腔颌面外科中常见的问题，严重影响患者的咀嚼功能和面部美观，同时大大增加了种植修复的难度。目前，针对牙槽骨缺损的重建技术日益完善，其中 3D-PITM 和自体骨环技术因为良好的循证医学基础，同时不受牙槽骨缺损类型限制[1] [2]，可以很好地应用于上前牙区[3] [4] [5] [6] [7]。本文将就这两种技术在上前牙区复杂牙槽骨缺损重建中的应用情况进行综述，旨在为临床医生提供参考，并展望未来的发展趋势。

2. 上前牙区牙槽骨缺损的成因与分类

2.1. 成因分析

上前牙区牙槽骨缺损的成因主要包括外伤、炎症和肿瘤切除[8] [9]。外伤是导致牙槽骨缺损的重要原因，常见于交通事故或运动伤害，导致牙槽骨骨折或撕裂[10] [11]。炎症方面牙源性炎症会导致牙槽骨丧失[12] [13]。另外，肿瘤切除手术也可能引发牙槽骨缺损，因为肿瘤的生长和扩散会破坏周围组织，而手术时通常需要切除部分牙槽骨以彻底切除肿瘤。上述原因导致的牙槽骨缺损致使种植区域骨量不足。据报道，上前牙缺失后半年牙槽骨宽度会减少 50%，而上前牙区唇侧骨板更容易发生骨吸收，常出现合并骨高度丧失的复杂型牙槽骨缺损。不仅影响患者的口腔功能和美观，同时给后期修复带来极大挑战。

2.2. 分类讨论

在上前牙区牙槽骨缺损的分类讨论中，通常会考虑多种因素，包括骨缺损的形态、严重程度、影响范围以及临床表现等。根据不同的分类标准[14] [15]，可以将牙槽骨缺损分为不同类型，以便进行更精确的诊断和治疗。常见的对于牙槽骨重建具有指导意义的分类方法是根据骨缺损的形态和种植体植入后的

关系进行的[15]。根据这一标准,上前牙区牙槽骨缺损可分为四种类型。第一种类型是 1/4 型,指的是水平向骨缺损,致使种植体颈部以下或种植体侧方暴露,暴露范围小于种植体的 50%。第二种类型是 2/4 型,指的是水平向不利型骨缺损,造成种植体颈部或者侧面开窗开裂型骨缺损,致使种植体暴露大于种植体长度 50%以上。第三种类型是 3/4 型,指的是牙槽嵴发生垂直向吸收致使种植体颈部完全无牙槽骨支撑,但种植体暴露少于种植体长度 50%。最后一种类型是 4/4 型,是牙槽嵴发生垂直向吸收的完全骨缺损,与 3/4 型相似,造成种植体颈部完全无骨,种植体暴露超过种植体长度 50%。根据美学区种植修复唇侧骨板 ≥ 2 mm、腭侧骨板 ≥ 1 mm 的要求[16],上述四种类型的骨缺损都可能需要进行复杂牙槽骨重建。

3. 3D-PITM 在上前牙区牙槽骨缺损重建中的应用

3.1. 3D-PITM 技术原理与制作过程

3D-PITM 技术是一种基于 3D 打印技术的个性化钛网制备方法。利用计算机辅助设计(CAD)软件对患者的牙槽骨缺损进行精确的三维重建和定位。根据患者的个体解剖结构和缺损特点,设计出相应形状和尺寸的个性化钛网[17]。在制作过程中,选用高纯度的钛合金粉末作为原材料,利用激光熔化或电子束熔化等先进的金属增材制造技术,将 CAD 设计的三维模型逐层地构建出来。这一过程不仅能够实现对钛合金材料的精确成型,还能够确保钛网具有优异的生物相容性和力学性能[18]。在制作完成后,3D-PITM 技术还可根据患者的具体需求进行个性化的后处理,如表面抛光、激光刻蚀、表面涂层等,以提高钛网的生物相容性、抗菌性、组织相容性。谢等还通过钛的光功能化,改变老化钛的表面性能[19]。

3.2. 临床应用效果分析

目前,关于 3D-PITM 的临床研究较多[1] [7] [20] [21] [22] [23] [24],多数研究未对缺损位置进行分类。一系列的研究表明其在体积、高度和宽度上可以达到很好的增量效果[1] [18] [21] [23] [25] [26] [27]。相关研究[21]表明运用 3D-PITM 垂直骨高度增加可达 8.9 mm,水平骨宽度增加可达 11.48 mm;体积增加可达 85%以上[23] [26] [27]。3D-PITM 具有优异的生物相容性和骨传导能力。组织学研究结果表明 3D-PITM GBR 成骨质量也是可靠的[21] [24] [28]。大量研究表明 3D-PITM 植骨后边缘骨稳定性良好[23] [26] [29] [30] [31]。临床观察还显示,采用 3D-PITM GBR 技术进行牙槽骨缺损重建的患者网格暴露等术后并发症减少[25] [32] [33] [34]。由于 3D-PITM 具有个体化设计和精确适配的特点[18],患者术后的植入物稳定性高,减少了植入物脱落、感染等并发症的发生率,同时大大缩短了外科手术时间,降低了术后的不良反应,保障了患者的安全性和舒适度[18] [35]。袁等将 3D-PITM 运用在美学区,结果表明 3D-PITM 在水平、垂直、水平垂直联合骨缺损的骨增量中,术后骨量明显增加,各组在术后 6 个月骨高度和骨宽度减少的量非常有限,术后即刻和术后 6 个月的差异没有统计学意义;粉白美学评分表现优秀,钛网暴露率低(1/43) [3]。张等的临床研究表明:在上前牙区 3D-PITM 术后骨宽度增加量理想,术后 6~9 个月骨吸收量 $< 90.59\%$, PES 评分良好,软组织轮廓得分为 1.75 ± 0.45 分,牙槽骨轮廓重建效果显著[4]。

3.3. 技术优势与存在问题

3D-PITM 保留了钛良好的生物相容性和力学性能,能够有效促进骨组织生长和愈合,加速术后患者的康复过程;Jeng M 等运用钛网配合自体骨屑在复杂牙槽骨增量后 4 个月时即完成了种植体植入[36],而一般复杂骨增量后需要至少 6 个月的愈合时间。同时 3D-PITM 还具有骨传导性,这是 GBR 必备条件之一。3D-PITM 稳定性比其他屏障膜更好,这有利于植骨材料成型[17]。采用 3D 打印技术生产的钛网具有表面粗糙度可调的特点,有利于促进骨细胞的附着和生长,提高了植入物的生物活性和稳定性[37]。

3D-PITM 能够根据患者的具体植骨需求进行定制, 提高了植入物与患者自身牙槽骨的契合度, 从而降低了手术操作的复杂性和植入物的移位风险, 同时减少了固位螺钉数量[16]。简而言之, 3D-PITM 在上前牙区的应用优势为: (1) 具有良好的成骨保障; (2) 能进行精准植骨; (3) 具有微创性。

尽管 3D-PITM GBR 技术在牙槽骨缺损重建领域表现出了许多优势, 但在实际应用过程中仍然存在一些问题和挑战。首先, 3D-PITM 未能普及, 其高昂的成本(包括材料成本、设备投资、技术培训等方面)制约了其广泛应用, 使其在普通医疗机构中的推广受到了限制。由于 3D-PITM 技术在制作过程中需要涉及多个环节, 包括数字化建模、打印成型、后处理等, 因此需要高水平的专业技术人员参与, 对医疗机构的技术要求较高。其次, 3D-PITM 设计精度需要进一步完善和优化, 同时由于患者自身差异及临床医生的专业能力差异, 这导致在上前牙区运用 3D-PITM GBR 技术时必须考虑到其实际临床效果可能会受到影响。3D-PITM 的暴露与牙位或者骨缺损范围有关[1] [38], Sagheb 等人的研究表明 3D-PITM 病例在上颌运用时暴露率较下颌高(分别是 66.7%, 8.3%, $P = 0.009$) [39]。而相关研究表明钛网的暴露会影响骨增量的效果[1] [21] [27], 这提示在上前牙区运用 3D-PITM GBR 技术进行骨增量时, 需要制定和执行全面有序的治疗计划。

4. 自体骨环在上前牙区牙槽骨缺损重建中的应用

4.1. 自体骨环技术的由来和骨环制作方法

垂直骨增量难度较大, 可预期性较差, 自体骨作为骨移植材料的金标准, 是进行伴有垂直骨高度降低的复杂牙槽骨缺损重建的优选骨移植材料。而传统 Onlay 植骨对骨量要求较高, 常需要开辟第二术区, 大大增加了患者治疗时间和手术并发症, 经典 GBR 技术无法维持成骨空间。2010 年, Stevens 等首次报道了自体骨环移植技术[40]。手术前, 医生对患者进行详细的影像学检查和骨质评估, 确定取骨部位。在手术过程中, 医生使用切骨钻在取骨部位取骨。在骨环的圆心处, 使用与种植体同直径的裂钻和攻丝钻制备骨环的内径; 这样制备好的自体骨环内径在尺寸上与种植体相匹配, 有利于后续种植体的嵌入和稳定在植骨部位。医生将自体骨环取下, 并嵌套在因骨缺损可能暴露于软组织的种植体上, 有效填补牙槽骨缺损。后来, 出现了通过特定骨环工具盒取得骨环的方式, 此种自体骨环未制备内径, 直接固定到牙槽嵴上, 后续进行延期种植[41], 该技术降低了骨环骨折的风险。

自体骨环除了常见的异位取骨, 如上颌结节、下颌外斜线、磨牙后区等口内取骨[42], 颅骨、髂骨等口外取骨[43]; 还可以是原位取骨, 如上颌前牙区、下颌前牙区、下颌磨牙区[5] [6]。

4.2. 自体骨环临床应用

自体骨环用于牙槽骨缺损重建在同期种植和延期种植时均可使用。Steve 等在上前牙区采用自体骨环进行牙槽骨增量并同期植入种植体, 在第二期手术检查中所有增强部位的整体牙槽骨高度和软组织水平都有所改善[40]。Omara 等在缺牙区植入自体骨环后即刻种植, 愈合 6 个月后锥形束 CT 显示所有种植体均骨结合良好[44]。Chandra 等人在拔牙位点进行牙槽骨增量并延期种植, 植骨 6 个月后自体骨环组成骨密度、颊舌侧骨板高度、种植体稳定性商值和矿化组织体积均显著高于自体生长因子富集的异种骨替代材料组[45]。Yuan 等人在上前牙区原位骨环进行水平骨增量, 术后 6 个月组织学显示有明显的骨融合, 多数异种植物颗粒被新形成的层状骨所取代; 在牙槽嵴顶 0 mm 和 3 mm 处获得的骨宽度明显高于帐篷钉组(4.27 ± 0.08 mm、 2.44 ± 0.05 mm vs 0.07 ± 0.02 mm、 2.08 ± 0.06 mm) ($P < 0.05$) [6]。

4.3. 自体骨环的优缺点分析

自体骨来源于患者自身, 安全可靠, 不会引发免疫排斥反应, 且具有良好骨引导性和骨再生能力,

与患者本身组织相容性高,非常适合用于牙槽骨缺损重建。同时,自体骨环能够提供良好的支撑和稳定性,有助于患者牙槽骨的再生和愈合,使得修复效果更加持久和稳定。借助相应的骨环工具箱,自体骨环的制备变得相对简单,手术操作较为熟练的医生还可以在术中根据患者的具体情况进行个性化设计,从而提高了手术的成功率和修复效果;同时大大降低了对自体骨量的要求。原位骨环避免了第二术区的一系列并发症。自体骨移植的愈合时间比其他骨增量方式的更短[43]。使用自体骨环可以避免大量使用骨替代材料,成本也会降低。

1996年一项自体骨移植的研究在3年随访期间,骨吸收持续存在,整体骨水平下降达4.9 mm [46]。2003年一项研究在自体骨移植术后半年出现了17.58%的体积吸收率和16.34%的影像吸收率[47]。自体骨吸收可能会持续存在,可能会高达60%以上。然而值得注意的是:前牙区的骨吸收会导致美学并发症[48]。因此自体骨环移植后骨吸收的问题不容忽视。对于原位骨量不足,手术过程需要额外采集患者的自体骨组织,可能会导致术后的疼痛和不适感,延长了手术时间和患者康复周期,也可能增加第二术区感染和神经损伤等并发症。自体骨环也存在暴露的风险。

5. 3D-PITM、自体骨环与其他材料及技术在上前牙区牙槽骨缺损重

与3D-PITM一样作为屏障材料常用于复杂牙槽骨缺损重建材料的还有成品钛网、钛加强型聚四氟乙烯膜、可吸收胶原膜,以及新型材料如PEEK支架等。成品钛网和钛加强型聚四氟乙烯膜的运用已有数十年,其临床效果是可观的,然而相比3D-PITM,其操作费时,创伤较大,暴露率也高。同时聚四氟乙烯膜暴露后容易继发严重感染,进而损害软硬组织,这是美学区难以接受的结果。运用可吸收胶原膜进行引导骨再生也是具有文献支持的方式,然而可吸收胶原膜的空间维持能力差,可能不足以应对骨缺损特别大的病例,同时在唇肌的作用下很难保证唇颊侧的骨增量效果。PEEK材料刚度不够,生物力学强度也明显低于钛支架,生物活性也不如纯钛[49]。

与自体骨环一样具有一定的空间维持能力的骨替代材料包括块状自体骨、同种异体骨、自体牙本质块、异种块状骨移植材料、生物活性物质等。块状自体骨相比自体骨环,其取骨及骨块预备上较复杂,创伤更大,供区骨量要求也更多。同种异体骨移植是一种将从其他供体处获取的异体骨移植到受损牙槽骨区域的方法。同种异体骨也可以提供额外的骨组织支持,这种方法通过引入外源性骨组织来填补骨缺损,具有骨整合和重塑的能力,能够获得良好的结果[50]。然而,它也存在一些局限性,例如可能会引起免疫排斥反应,且需要从供体处获取骨组织,还存在供体匮乏和手术风险等问题。生物活性物质可以是生物活性陶瓷、生长因子或干细胞等,这类材料的特点是通过释放生长因子或激活干细胞等方式促进骨组织再生[51]。这种方法在一定程度上简化了手术步骤,减少了供体处的创伤,但生物活性物质因为伦理和立法等原因仅限于研究。各种生物材料结合不同的骨增强技术,很难证明生物活性物质的优越性[2]。自体牙本质块处理复杂,同时数量有限。异种块状骨移植材料暴露风险高,细胞不易长入骨块内部,骨增强区域显示出低骨-种植体接触(BIC)值[52],还存在不融合的风险。

6. 植骨方式的选择与未来发展趋势

上前牙缺失后,不同原因、不同个体之间牙槽骨吸收程度不同,进而导致骨缺损形态复杂多变。复杂骨增量的方法虽然很多,但相比3D-PITM GBR技术和自体骨环技术似乎优势并不明显。3D-PITM GBR技术和自体骨环技术用于上前牙区进行复杂牙槽骨缺损重建是有足够临床证据的,它们都有各自明显的优点:3D-PITM GBR可以精准控制植骨量;自体骨由于作为唯一能够确保成骨的骨移植材料[2],有很好的预期性;同时从微创的角度看,两种骨增量方式都是极佳的。然而,复杂牙槽骨缺损重建本来就是件困难的事情,加上美学区的种植修复容错度非常小,因此,临床医生必须经过长期的培训和相关专业知

识的累积；在选择合适的牙槽骨重建方法时，必须考虑缺损的程度、形态、患者的整体情况以及医生的经验水平等因素，综合权衡后做出决策。同时两种方式各有优缺点，对于最终方式的选择，还是需要医生与患者共同决定。

7. 结语

随着医疗技术的不断发展和创新，上前牙区复杂牙槽骨缺损重建取得了显著进展。3D-PITM GBR 和自体骨环等改良技术的发展为患者提供了更为有效、个性化的、微创的治疗方案。未来，期待着跨学科合作的深入发展，以及更多创新技术的涌现，为上前牙区牙槽骨缺损的治疗提供更加全面和有效的解决方案，让患者能够获得更好的治疗效果和生活质量。

基金项目

本研究得到了国家口腔疾病临床医学研究中心 2022 年度专项课题 B 类项目(项目编号: LCB202207)的支持。

参考文献

- [1] Nan, X., Wang, C., Li, L., *et al.* (2023) Application of Three-Dimensional Printing Individualized Titanium Mesh in Alveolar Bone Defects with Different Terheyden Classifications: A Retrospective Case Series Study. *Clinical Oral Implants Research*, **34**, 639-650. <https://doi.org/10.1111/clr.14062>
- [2] Urban, I., Montero, E., Sanz-Sánchez, I., *et al.* (2023) Minimal Invasiveness in Vertical Ridge Augmentation. *Periodontology* 2000, **91**, 126-144. <https://doi.org/10.1111/prd.12479>
- [3] 袁帅, 陈陶, 李帝泽, 黄元丁, 等. 三维打印个性化钛网在美学区牙槽骨缺损骨增量中应用的效果评估[J]. 中华口腔医学杂志, 2020, 55(11): 878-884.
- [4] 张俸齐. 3D 打印个性化钛网用于上颌前牙区牙槽骨缺损修复的研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连医科大学, 2022.
- [5] Yang, Z., Liang, Q., Lu, H., *et al.* (2021) Clinical Outcomes of Alveolar Ridge Augmentation with *in Situ* Autogenous Block Bone: A Retrospective Review. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **36**, 1008-1015. <https://doi.org/10.11607/jomi.8662>
- [6] Yuan, S., Mu, Z., Huang, Y., *et al.* (2020) Comparison of *In-Situ* Bone Ring Technique and Tent-Pole Technique for Horizontally Deficient Alveolar Ridge in the Anterior Maxilla. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **22**, 167-176. <https://doi.org/10.1111/cid.12887>
- [7] Gelețu, G.L., Burlacu, A., Murariu, A., *et al.* (2022) Customized 3D-Printed Titanium Mesh Developed for an Aesthetic Zone to Regenerate a Complex Bone Defect Resulting after a Deficient Odontectomy: A Case Report. *Medicina*, **58**, Article 1192. <https://doi.org/10.3390/medicina58091192>
- [8] 丁永, 王佐林. Bio-Oss 参与天然骨重建机制研究进展及应用现状[J]. 口腔颌面外科杂志, 2007, 17(1): 102-105.
- [9] 王慧明. 骨增量技术在牙槽骨严重缺损再造复合种植修复中的应用[J]. 中国口腔种植学杂志, 2013, 18(2): 62.
- [10] 邱蔚六. 口腔颌面外科学[M]. 第 6 版. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 175.
- [11] Jain, A. and Baliga, S. (2015) Rehabilitation of Avulsed Teeth in Fractured Jaws via Bone Grafting and Implant Placement: Report of Two Cases. *Journal of Dentistry*, **12**, 542-549.
- [12] 孙兆泽. IL-10/Sema3A 双转染 BMSCs 的抑炎及促成骨分化作用及机制研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2021.
- [13] Chen, M.-H., Wang, Y.-H., Sun, B.-J., *et al.* (2021) HIF-1 α Activator DMOG Inhibits Alveolar Bone Resorption in Murine Periodontitis by Regulating Macrophage Polarization. *International Immunopharmacology*, **99**, Article 107901. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107901>
- [14] Cawood, J.I. and Howell, R.A. (1988) A Classification of the Edentulous Jaws. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **17**, 232-236. [https://doi.org/10.1016/S0901-5027\(88\)80047-X](https://doi.org/10.1016/S0901-5027(88)80047-X)
- [15] Cordaro, L. and Terheyden, H. (2019) Ridge Augmentation Procedures in Implant Patients: A Staged Approach. Quintessenz Verlag, Berlin.

- [16] Cicciù, M., Pratella, U., Fiorillo, L., *et al.* (2023) Influence of Buccal and Palatal Bone Thickness on Post-Surgical Marginal Bone Changes Around Implants Placed in Posterior Maxilla: A Multi-Centre Prospective Study. *BMC Oral Health*, **23**, Article 309. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02991-3>
- [17] Bai, L., Ji, P., Li, X., *et al.* (2019) Mechanical Characterization of 3D-Printed Individualized Ti-Mesh (Membrane) for Alveolar Bone Defects. *Journal of Healthcare Engineering*, **2019**, Article ID: 423187. <https://doi.org/10.1155/2019/4231872>
- [18] Li, L., Wang, C., Li, X., *et al.* (2021) Research on the Dimensional Accuracy of Customized Bone Augmentation Combined with 3D-Printing Individualized Titanium Mesh: A Retrospective Case Series Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **23**, 5-18. <https://doi.org/10.1111/cid.12966>
- [19] Xie, Y., Li, S., Zhang, T., *et al.* (2020) Titanium Mesh for Bone Augmentation in Oral Implantology: Current Application and Progress. *International Journal of Oral Science*, **12**, Article No. 37. <https://doi.org/10.1038/s41368-020-00107-z>
- [20] Seiler, M., Peetz, M., Hartmann, A., *et al.* (2018) Individualized CAD/CAM-Produced Titanium Scaffolds for Alveolar Bone Augmentation: A Retrospective Analysis of Dehiscence Events in Relation to Demographic and Surgical Parameters. *Journal of Oral Science & Rehabilitation*, **4**, 38-46.
- [21] Chiapasco, M., Casentini, P., Tommasato, G., *et al.* (2021) Customized CAD/CAM Titanium Meshes for the Guided Bone Regeneration of Severe Alveolar Ridge Defects: Preliminary Results of a Retrospective Clinical Study in Humans. *Clinical Oral Implants Research*, **32**, 498-510. <https://doi.org/10.1111/clr.13720>
- [22] Ciocca, L., Lizio, G., Baldissara, P., *et al.* (2018) Prosthetically CAD-CAM-Guided Bone Augmentation of Atrophic Jaws Using Customized Titanium Mesh: Preliminary Results of an Open Prospective Study. *The Journal of Oral Implantology*, **44**, 131-137. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-17-00125>
- [23] Cucchi, A., Bianchi, A., Calamai, P., *et al.* (2020) Clinical and Volumetric Outcomes after Vertical Ridge Augmentation Using Computer-Aided-Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) Customized Titanium Meshes: A Pilot Study. *BMC Oral Health*, **20**, Article No. 219. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01205-4>
- [24] Dellavia, C., Canciani, E., Pellegrini, G., *et al.* (2021) Histological Assessment of Mandibular Bone Tissue after Guided Bone Regeneration with Customized Computer-Aided Design/Computer-Assisted Manufacture Titanium Mesh in Humans: A Cohort Study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **23**, 600-611. <https://doi.org/10.1111/cid.13025>
- [25] Majewski, P. (2022) The Ti-Mesh Technique: Guided Bone Regeneration for Three-Dimensional Augmentations. Clinical Aspects: A Case Series. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, **42**, 145-153. <https://doi.org/10.11607/prd.5692>
- [26] Lizio, G., Pellegrino, G., Corinaldesi, G., *et al.* (2022) Guided Bone Regeneration Using Titanium Mesh to Augment 3-Dimensional Alveolar Defects Prior to Implant Placement. A Pilot Study. *Clinical Oral Implants Research*, **33**, 607-621. <https://doi.org/10.1111/clr.13922>
- [27] Hofferber, C.E., Beck, J.C., Liacouras, P.C., *et al.* (2020) Volumetric Changes in Edentulous Alveolar Ridge Sites Utilizing Guided Bone Regeneration and a Custom Titanium Ridge Augmentation Matrix (CTRAM): A Case Series Study. *International Journal of Implant Dentistry*, **6**, Article No. 83. <https://doi.org/10.1186/s40729-020-00269-9>
- [28] Atef, M., Tarek, A., Shaheen, M., *et al.* (2020) Horizontal Ridge Augmentation Using Native Collagen Membrane vs Titanium Mesh in Atrophic Maxillary Ridges: Randomized Clinical Trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **22**, 156-166. <https://doi.org/10.1111/cid.12892>
- [29] Hartmann, A., Hildebrandt, H., Younan, Z., *et al.* (2022) Long-Term Results in Three-Dimensional, Complex Bone Augmentation Procedures with Customized Titanium Meshes. *Clinical Oral Implants Research*, **33**, 1171-1181. <https://doi.org/10.1111/clr.14000>
- [30] Poli, P.P., Beretta, M., Cicciù, M., *et al.* (2014) Alveolar Ridge Augmentation with Titanium Mesh. A Retrospective Clinical Study. *The Open Dentistry Journal*, **8**, 148-158. <https://doi.org/10.2174/1874210601408010148>
- [31] Zhou, M., Li, S.-Y., Terheyden, H., *et al.* (2018) Particulate Coral Hydroxyapatite Sheltered by Titanium Mesh for Localized Alveolar Rehabilitation after Onlay Graft Failure: A Case Report. *The Journal of Oral Implantology*, **44**, 147-152. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-17-00109>
- [32] Zhou, L., Su, Y., Wang, J., *et al.* (2022) Effect of Exposure Rates with Customized versus Conventional Titanium Mesh on Guided Bone Regeneration: Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Oral Implantology*, **48**, 339-346. <https://doi.org/10.1563/aaid-joi-D-20-00200>
- [33] Hartmann, A. and Seiler, M. (2020) Minimizing Risk of Customized Titanium Mesh Exposures—A Retrospective Analysis. *BMC Oral Health*, **20**, Article No. 36. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1023-y>
- [34] Hartmann, A., Hildebrandt, H., Schmohl, J.U., *et al.* (2019) Evaluation of Risk Parameters in Bone Regeneration Using a Customized Titanium Mesh: Results of a Clinical Study. *Implant Dentistry*, **28**, 543-550.

- <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000933>
- [35] Sumida, T., Otawa, N., Kamata, Y.U., *et al.* (2015) Custom-Made Titanium Devices as Membranes for Bone Augmentation in Implant Treatment: Clinical Application and the Comparison with Conventional Titanium Mesh. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, **43**, 2183-2188. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2015.10.020>
- [36] Jeng, M.D. and Chiang, C.P. (2020) Autogenous Bone Grafts and Titanium Mesh-Guided Alveolar Ridge Augmentation for Dental Implantation. *Journal of Dental Sciences*, **15**, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.012>
- [37] 李林芝, 陈丹, 黄元丁, 等. 三维打印个性化钛网联合引导骨再生术修复牙槽骨缺损的临床初探[J]. *中华口腔医学杂志*, 2019, 54(9): 623-627.
- [38] Seiler, M., Kämmerer, P.W., Peetz, M., *et al.* (2018) Customized Lattice Structure in Reconstruction of Three-Dimensional Alveolar Defects. *International Journal of Computerized Dentistry*, **21**, 261-267.
- [39] Sagheb, K., Schiegnitz, E., Moergel, M., *et al.* (2017) Clinical Outcome of Alveolar Ridge Augmentation with Individualized CAD-CAM-Produced Titanium Mesh. *International Journal of Implant Dentistry*, **3**, Article No. 36. <https://doi.org/10.1186/s40729-017-0097-z>
- [40] Stevens, M.R., Emam, H.A., Alaily, M.E., *et al.* (2010) Implant Bone Rings. One-Stage Three-Dimensional Bone Transplant Technique: A Case Report. *Journal of Oral Implantology*, **36**, 69-74. <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-09-00029>
- [41] 汪媛婧, 欧国敏. 骨环技术在口腔种植中应用研究进展[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2023, 16(4): 493-497.
- [42] Nkenke, E. and Neukam, F.W. (2014) Autogenous Bone Harvesting and Grafting in Advanced Jaw Resorption: Morbidity, Resorption and Implant Survival. *European Journal of Oral Implantology*, **7**, S203-S217.
- [43] Misch, C.M. (2011) Maxillary Autogenous Bone Grafting. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, **23**, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2011.01.003>
- [44] Omara, M., Abdelwahed, N., Ahmed, M., *et al.* (2016) Simultaneous Implant Placement with Ridge Augmentation Using an Autogenous Bone Ring Transplant. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **45**, 535-544. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2015.11.001>
- [45] Chandra, R.V., Shivateja, K. and Reddy, A.A. (2019) Autogenous Bone Ring Transplant vs Autologous Growth Factor-Enriched Bone Graft Matrix in Extraction Sockets with Deficient Buccal Bone: A Comparative Clinical Study. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **34**, 1424-1433. <https://doi.org/10.11607/jomi.7614>
- [46] Nyström, E., Ahlqvist, J., Kahnberg, K.-E., *et al.* (1996) Autogenous Onlay Bone Grafts Fixed with Screw Implants for the Treatment of Severely Resorbed Maxillae. Radiographic Evaluation of Preoperative Bone Dimensions, Postoperative Bone Loss, and Changes in Soft-Tissue Profile. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **25**, 351-359. [https://doi.org/10.1016/S0901-5027\(06\)80029-9](https://doi.org/10.1016/S0901-5027(06)80029-9)
- [47] Clavero, J. and Lundgren, S. (2003) Ramus or Chin Grafts for Maxillary Sinus Inlay and Local Onlay Augmentation: Comparison of Donor Site Morbidity and Complications. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **5**, 154-160. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2003.tb00197.x>
- [48] Wang, J., Luo, Y. and Qu, Y., *et al.* (2022) Horizontal Ridge Augmentation in the Anterior Maxilla with *in situ* Onlay Bone Grafting: A Retrospective Cohort Study. *Clinical Oral Investigations*, **26**, 5893-5908. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04547-1>
- [49] Najeeb, S., Zafar, M.S., Khurshid, Z., *et al.* (2016) Applications of Polyetheretherketone (PEEK) in Oral Implantology and Prosthodontics. *Journal of Prosthodontic Research*, **60**, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2015.10.001>
- [50] Giesenhagen, B., Martin, N., Donkiewicz, P., *et al.* (2018) Vertical Bone Augmentation in a Single-Tooth Gap with an Allogenic Bone Ring: Clinical Considerations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, **30**, 480-483. <https://doi.org/10.1111/jerd.12392>
- [51] Li, J., Li, W., Kong, M., *et al.* (2023) Self-Healing Hybrid Hydrogels with Sustained Bioactive Components Release for Guided Bone Regeneration. *Journal of Nanobiotechnology*, **21**, Article No. 62. <https://doi.org/10.1186/s12951-023-01811-8>
- [52] Jinno, Y., Jimbo, R., Lindström, M., *et al.* (2018) Vertical Bone Augmentation Using Ring Technique with Three Different Materials in the Sheep Mandible Bone. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, **33**, 1057-1063. <https://doi.org/10.11607/jomi.6278>