临床研究 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003847

3D打印个性化钛网的GBR术及PRF/Bio-Oss复合物修复牙槽骨缺损的应用

赵弼洲[1]，罗海霞[2]，党晓兵[3]，葛振林[4]，田佳灵[1]
（1.甘肃省中医院口腔颌面外科，兰州 730050；2.兰州康美口腔医院种植科，兰州 730030；
3.广东健齿生物科技有限公司，广州 510000；4.兰州大学口腔医院正畸科，兰州 730030）

【摘 要】目的：探讨3D打印个性化钛网的引导骨再生（guided bone regeneration，GBR）术及富血小板纤维蛋白（platelet-rich fibrin，PRF）/Bio-Oss复合物修复牙槽骨缺损的应用。**方法：**纳入2021年3月至2024年2月于甘肃省中医院口腔颌面外科行GBR骨增量手术的牙槽骨缺损患者68例，随机分为3D组（n=34）与传统组（n=34），3D组使用3D打印个性化钛网及PRF/Bio-Oss复合物，传统组使用传统钛网及PRF/Bio-Oss复合物。对比2组术后2、4、6个月的牙槽骨增加高度、宽度、体积及并发症发生率。**结果：**3D组术后2、4、6个月的牙槽骨增加高度、宽度与传统组相比，但差异均无统计学意义（P>0.05）。3D组术后2个月、4个月的牙槽骨增加体积均高于传统组，但差异均无统计学意义（P>0.05），术后6个月时牙槽骨增加体积显著高于传统组（P<0.05）。3D组发生早期暴露、晚期暴露、总暴露、创口感染的比例均低于传统组，但差异均无统计学意义（P>0.05）。**结论：**3D打印个性化钛网及PRF/Bio-Oss复合物的GBR术修复牙槽骨缺损效果良好，术后6个月骨增加体积显著高于应用传统钛网的GBR术，且不影响其安全性，值得临床推广应用。

【关键词】牙槽骨缺损；引导骨再生；个性化钛网；3D打印；富血小板纤维蛋白；Bio-Oss
【中图分类号】R782.12 **【文献标志码】**A

Application of 3D-printed personalized titanium mesh and PRF/Bio-Oss composites in GBR surgery for the repair of alveolar bone defects

Zhao Bizhou[1]，*Luo Haixia*[2]，*Dang Xiaobing*[3]，*Ge Zhenlin*[4]，*Tian Jialing*[1]
（*1. Department of Oral and Maxillofacial Surgery，Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine；2. Department of Oral Implantology，Lanzhou Kangmei Stomatological Hospital；3. Guangdong Jianchi Biotechnology Co.，Ltd.；4. Department of Orthodontics，Hospital of Stomatology，Lanzhou University*）

【Abstract】*Objective*：To explore the application of 3D-printed personalized titanium mesh in guided bone regeneration（GBR）surgery and the repair of alveolar bone defects using platelet-rich fibrin（PRF）/Bio-Oss composites. ***Methods*：**A total of 68 patients with alveolar bone defects who underwent GBR bone augmentation surgery at Department of Oral and Maxillofacial Surgery，Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine between March 2021 and February 2024 were enrolled in the study and randomly assigned to either the 3D group（n=34）or the traditional group（n=34）. The 3D group was treated with 3D-printed personalized titanium mesh and PRF/Bio-Oss composites，while the traditional group received conventional titanium mesh and PRF/Bio-Oss composites. The increases in height，width，volume of alveolar bone and the incidence of complications at 2，4，and 6 months postoperatively were compared between the two groups. ***Results*：**The increases in height and width of alveolar bone at 2，4，and 6 months postoperatively in the 3D group were higher than those in the traditional group，but the differences were not statistically significant（P>0.05）. The increases in alveolar bone volume at 2 and 4 months postoperatively in the 3D group were higher than those in the traditional group，but the differences were not statistically significant（P>0.05）. At 6 months postoperatively，the increase in alveolar bone volume was significantly higher than that in the traditional group（P<0.05）. The proportions of early exposure，late exposure，total exposure，and wound infection in the 3D group were all lower than those in the traditional group，but the differences were not statistically significant（P>0.05）. ***Conclusion*：**The GBR surgery using 3D-printed personalized titanium mesh and PRF/Bio-Oss composites demonstrated favorable outcomes in the repair of alveolar bone defects. At 6 months postoperatively，this approach resulted in a significantly greater increase in alveolar bone volume compared to the use of conventional titanium mesh in GBR surgery，without compromising safety. These

作者介绍：赵弼洲，Email：zhaobizhou@126.com，
研究方向：口腔牙、颅颌面畸形的研究与诊治。
通信作者：田佳灵，Email：tianjialing2009@163.com。
基金项目：甘肃省科技计划资助项目（编号：23JRRA1232）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20250421.1619.004
2025-04-22

findings support its potential for broader clinical application and promotion.

【Key words】alveolar bone defect; guided bone regeneration; personalized titanium mesh; 3D printing; platelet-rich fibrin; Bio-Oss

牙槽骨缺损可由牙周疾病、外伤、牙齿缺失等多种原因导致，其骨量不足区域需骨增量手术修复治疗，是牙种植治疗的常见难点[1]。引导骨再生（guided bone regeneration，GBR）术具有易于塑形、操作便利等优势，是临床常用的骨增量手术方法[2]。而在GBR修复复杂或较大范围缺损时，需使用钛网等支架维持骨再生所需空间，传统钛网力学性能良好，但需手工弯制，与牙槽骨不贴合[3]。3D打印个性化钛网是通过计算机辅助设计和3D打印制取的适用于患者情况的个性化钛网，可一定程度上弥补传统钛网的缺陷[4]。基于此，本研究旨在探讨使用3D打印个性化钛网和富血小板纤维蛋白（platelet-rich fibrin，PRF）/Bio-Oss复合物的GBR术修复牙槽骨缺损的应用，以期为临床手术提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究对象

选取2021年3月至2024年2月于甘肃省中医院口腔颌面外科行GBR骨增量手术的牙槽骨缺损患者68例为研究对象，以随机法分为3D组（n=34）与传统组（n=34）。纳入标准：①需种植修复牙槽骨缺损；②年龄≥18岁；③牙缺损>3个月；④CT结果显示在垂直骨缺损或水平-垂直联合骨缺损方面涉及≥2个牙位；⑤沟通正常，配合治疗和随访。排除标准：①合并恶性肿瘤；②口腔感染；③合并严重循环系统、免疫系统、凝血系统或传染性疾病；④合并阻碍骨再生疾病或服用双膦酸盐药物等干扰骨代谢药物；⑤重度吸烟（每日吸烟超过25支）；⑥妊娠或哺乳期妇女。本研究已经医院伦理委员会批准，患者均已签署知情同意书。

1.2 一般资料

2组一般资料对比，差异无统计学意义（P>0.05），见表1。

表1 一般资料（n，%；$\bar{x}\pm s$）

项目	3D组（n=34）	传统组（n=34）	t/χ^2值	P值
性别			0.971	0.324
男	22(64.7)	18(52.9)		
女	12(35.3)	16(47.1)		
年龄（岁）	39.84±8.72	38.85±7.58	0.500	0.619
牙缺失位置			0.249	0.618
上颌	20(58.8)	22(64.7)		
下颌	14(41.2)	12(35.3)		
牙槽嵴顶骨宽度（mm）	4.03±0.92	4.08±0.89	0.228	0.821

1.3 钛网类型

3D组患者双侧轻轻咬合3 mm厚的蜡片，行锥形束CT（CBCT）（Biberach，德国）扫描，管电压85 kV，管电流35 mA，像素大小0.4 mm。获取患者上下颌医学数字成像和通信（DICOM）数据，导入Mimics Research软件（Leuven，比利时）行三维重建，生成三维模型。将模型导入3-Matic软件（Leuven，比利时）虚拟排牙，设计植入物位置并模拟植入和修复。将模拟的植入后数据导入Geomagic软件（Geomagic，美国），重建虚拟牙槽骨轮廓，综合牙槽骨轮廓、周围骨量和软组织情况设计个性化钛网，厚度0.2 mm，孔径0.2 mm，均一圆形网孔直径2.0 mm，边缘与邻牙或重要解剖结构距离2 mm以上，钛网下应预留0.5~1.0 mm厚度为新生骨膜留下空间。设计完成后将个性化钛网模型导入三维打印机（concept laser GmbH，德国），原料采用医用级钛合金粉末（Dentarum，德国），使用激光熔融技术打印制取钛网，酸蚀、抛光，再经超声清洗、高温高压灭菌消毒，置于无菌环境中保存备用。传统组使用传统钛网（Osstem，韩国）。

1.4 PRF制备

抽取患者空腹静脉血5 mL，置于不抗凝管内，3 000 r/min离心10 min，静置4 min，提取中间层PRF凝胶，剪碎备用。

1.5 手术过程

患者术前30 min口服头孢克洛缓释片0.25 g，氯己定（1.2 g/L）漱口2 min。术区碘伏消毒后浸润麻醉，沿牙槽嵴顶偏腭侧切出“一”字形切口，于邻牙的近中或远中轴角线上附加垂直切口。翻开黏骨膜瓣显露术区，于表面骨皮质间断钻滋养孔。局部应用环形钻从邻牙区或磨牙后区获取适量自体骨屑将自体骨屑与Bio-Oss骨粉（Geistlich Pharma AG，瑞士）以1∶1比例混合并加入PRF凝胶碎混合搅拌10 min，使其成为黏稠膏状植入材料备用。对照术前设计将钛网贴合于骨面预定位置试戴（3D组使用3D打印个性化钛网，传统组使用传统钛网并对照骨缺损区弯折塑形），调整至理想位置并保持稳定，通过钛网孔在骨皮质上制3-5个螺钉孔。尝试将唇腭侧的黏骨膜瓣拉拢，以判断黏膜张力是否过大，若张力过大则于唇侧黏骨膜瓣底部60°角切开骨膜至黏膜下层，深度约1 mm，45°角钝性分离黏膜下层，使黏骨膜瓣冠向推进以减轻黏膜张力。将膏状植入材料填入钛网与牙槽骨之间，填满并压实，将钛合金螺钉置入螺钉孔中固定。在钛网唇面覆盖双层Bio-Oss可吸收胶原膜（Geistlich Pharma AG，瑞士）。无张力间断褥式缝合关窗，牙槽嵴顶端软组织瓣缝合使用4-0可吸收线，垂直切口缝合使用5-0可吸收线。见图1。

术后常规指导口腔卫生和护理事项，2周内进软食，0.12%氯己定漱口护理，口服头孢类抗生素3次/日，连续5d。术后2周复诊拆线，每月随访1次，观察是否出现创面开裂、钛网暴露或感染。术后6个月后复诊，若效果欠佳则行二期手术植入种植体，若效果良好则行下一步修复手术。

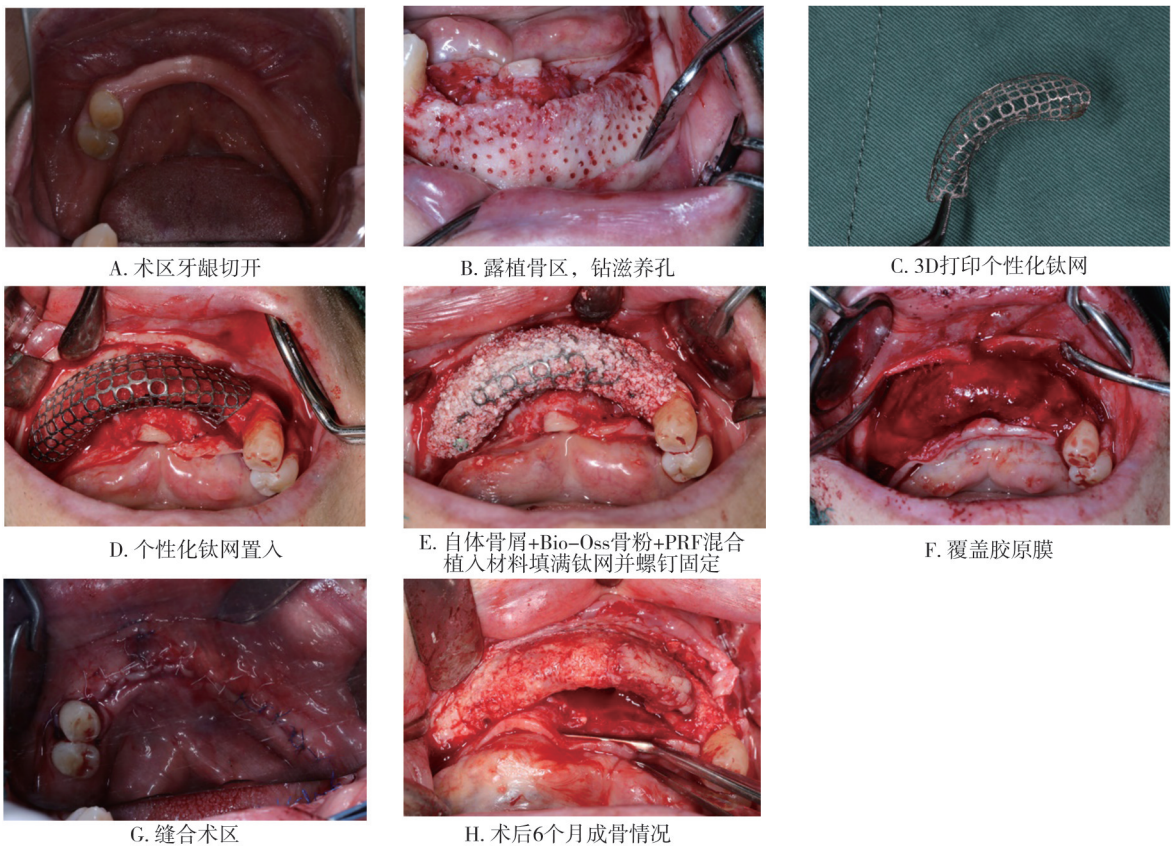


图 1　3D 打印个性化钛网的 GBR 术中

1.6　观察指标

1.6.1　术后骨增量　将术前、术后 2 个月、术后 4 个月、术后 6 个月的 CBCT 数据导入 Mimics Research 软件建立三维模型，配准后测量。以种植位点矢状面的中轴线作为参考线，取钛网后与术前骨边缘之间的距离为增加的骨高度，以牙槽嵴顶下 0.5 mm 水平为测量平面，平面内取钛网后与术前骨边缘之间的距离为增加的骨宽度。使用软件的线距测量功能测量新增的骨高度和骨宽度。以取钛网后模型体积减去术前模型体积得钛网植骨区域的骨增量体积。比较 2 组术后 2、4、6 个月的牙槽骨增加高度、宽度、体积。

1.6.2　术后并发症　钛网暴露（术后 4 周内发生为早期暴露，术后 4 周后内发生为晚期暴露）、创口感染。

1.7　统计学方法

采用 SPSS 26.0 进行统计；正态分布的计量资料用均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用 t 检验；计数资料用频数（百分数）表示，组间用卡方检验；检验水准 α=0.05。

2　结　果

2.1　2 组牙槽骨增加高度

3D 组术后 2、4、6 个月的牙槽骨增加高度分别为（1.01 ± 0.16）mm、（2.18 ± 0.41）mm、（3.70 ± 0.53）mm，传统组术后 2、4、6 个月的牙槽骨增加高度分别为（0.95 ± 0.16）mm、（2.02 ± 0.39）mm、（3.44 ± 0.66）mm。术后 2、4、6 个月时 3D 组的牙槽骨增加高度与传统组相比，但差异无统计学意义（t=1.546，P=0.127；t=1.649，P=0.104；t=1.791，P=0.078）。见图 2。

2.2　2 组牙槽骨增加宽度

3D 组术后 2、4、6 个月的牙槽骨增加宽度分别为（1.08 ± 0.28）mm、（2.29 ± 0.44）mm、（3.58 ± 0.57）mm，传统组术后 2、4、6 个月的牙槽骨增加宽度分别为（1.00 ± 0.30）mm、（2.14 ± 0.35）mm、（3.34 ± 0.59）mm。术后 2、4、6 个月时 3D 组的牙槽骨增加宽度与传统组相比，差异无统计学意义（t=1.137，P=0.260；t=1.556，P=0.125；t=1.706，P=0.093）。见图 3。

2.3　2 组牙槽骨增加体积

3D 组术后 2、4、6 个月的牙槽骨增加体积分别为（236.87 ± 34.10）mm^3、（357.31 ± 61.08）mm^3、（496.39 ± 74.82）mm^3，传统组术后 2、4、6 个月的牙槽骨增加体积分别为（226.52 ± 32.52）mm^3、（332.74 ± 55.36）mm^3、（453.63 ± 65.52）mm^3。术后 2、4 个月时 3D 组的牙槽骨增加体积与传统组相比，差异无统计学意义（t=1.281，P=0.205；t=1.738，P=0.087）。术后 6 个月时 3D 组牙槽骨增加体积明显高于传统组（t=2.507，P=0.015）。见图 4。

2.4　2 组并发症发生情况

3D 组发生早期暴露 1 例（2.94%）、晚期暴露 2 例（5.88%）、无创口感染病例（0.00%）；传统组发生早期暴露 2 例（5.88%）、晚期暴露 5 例（14.71%）、创口感染 1 例（2.94%）；3D 组发生并发症的比例（8.82%）低于传统组（23.53%），但差异无统计学意义（χ^2=2.711，P=0.100）。见图 5。

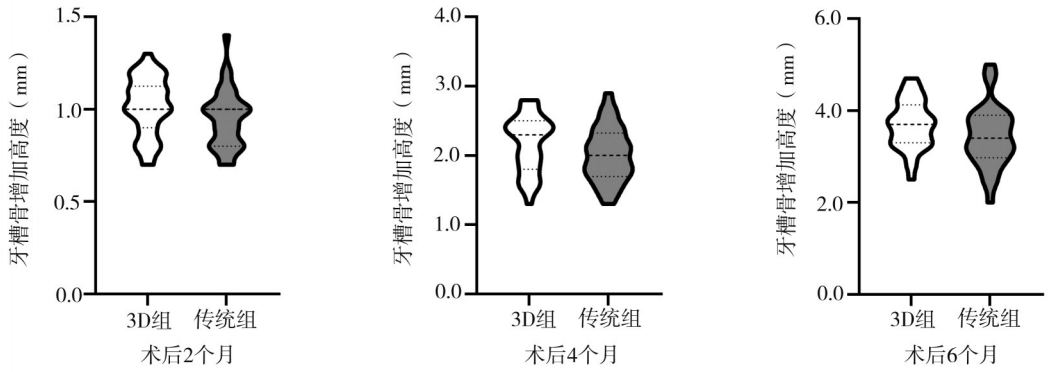


图2　2组牙槽骨增加高度

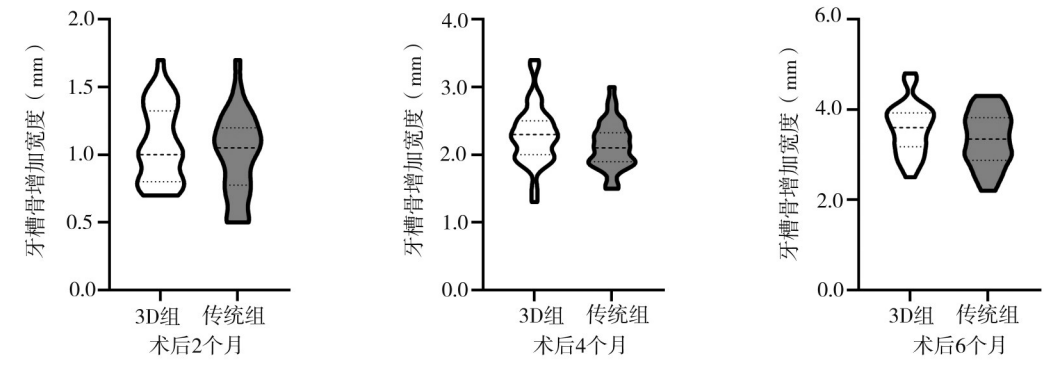


图3　2组牙槽骨增加宽度

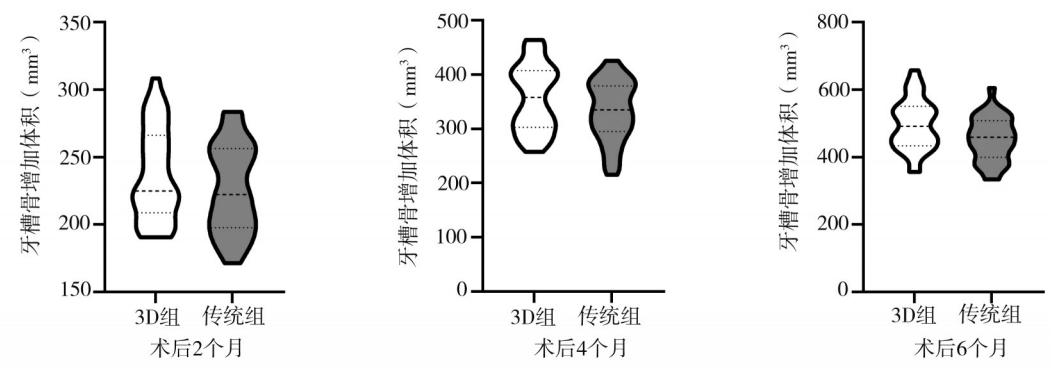


图4　2组牙槽骨增加体积

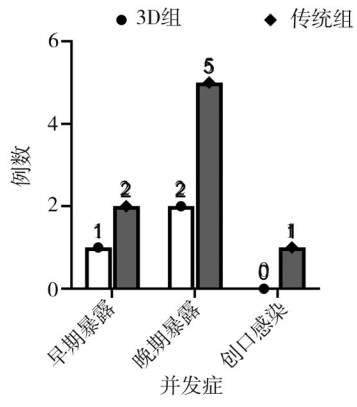


图5　2组并发症发生情况

2.5　典型病例

患者男性，61岁。主诉：上颌前牙缺失咨询种植修复。现病史：上颌前牙因松动拔除，未修复，现感觉影响美观来本院要求种植修复。既往史：自述无系统性疾病，自述无夜磨牙，全身状况良好。口内检查：CBCT示牙槽骨垂直向骨缺损；23近中牙槽骨吸收至根尖。诊断：上颌牙列缺损伴混合型骨缺损。治疗计划：于局部麻醉下行“植骨术”，个性化钛网支撑。6个月后因成骨效果欠佳，行二期手术植入Straumann 4.1 mm×12.0 mm植体1枚，初期稳定性15 N，安装4.5 mm×6 mm愈合基台，嵴顶及唇侧植入Bio-oss 0.15 g，13 mm×25 mm Bio-Gide胶原膜覆盖。6个月后正式行修复手术。见图6。

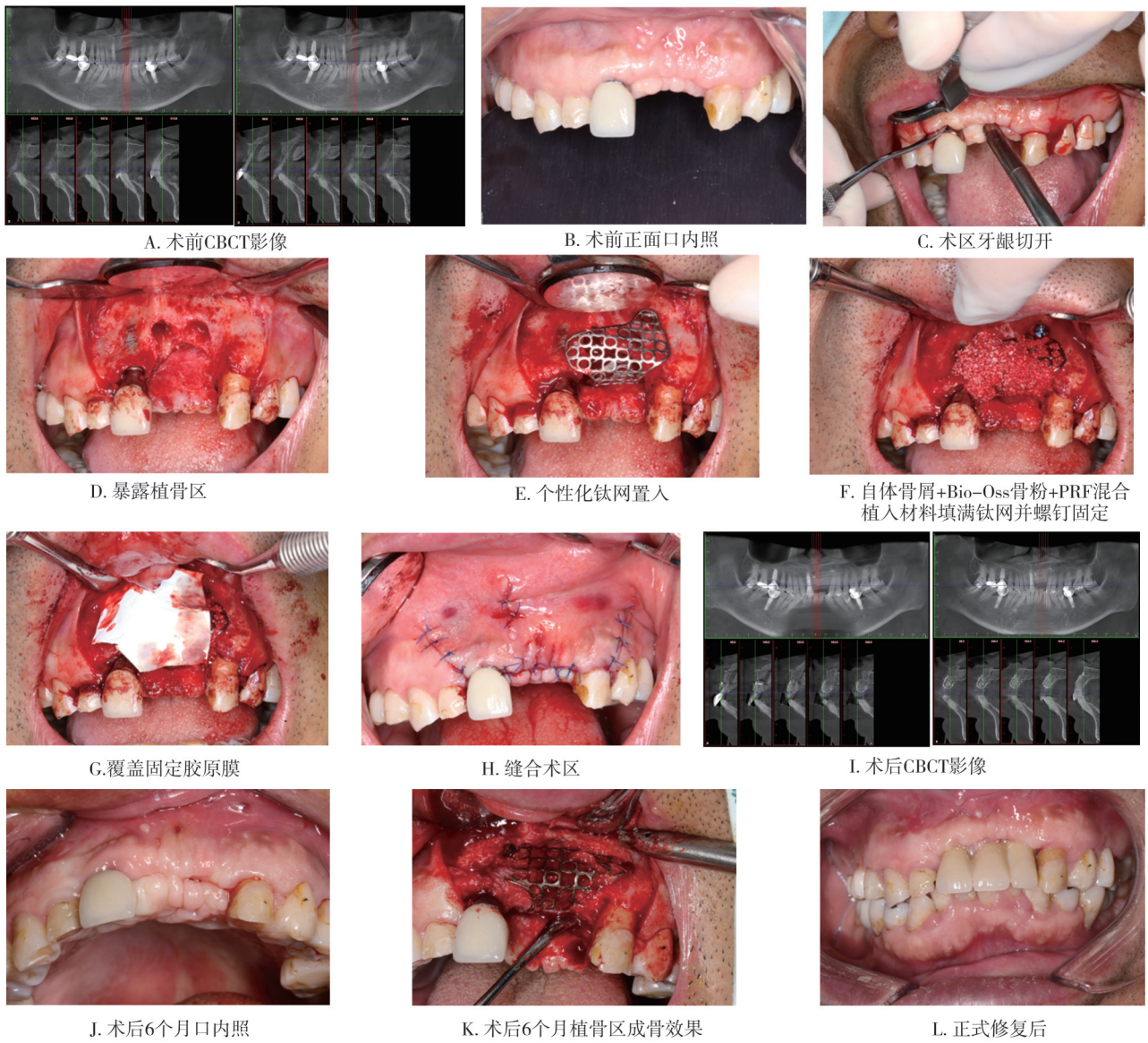


图6　典型病例

3　讨　论

在牙槽骨缺损的情况下，牙种植往往难以取得理想效果，故在种植体植入前通常需行骨增量手术，将牙槽骨修复至理想状态，包括GBR术、Onlay植骨术、牙槽嵴劈开术、帐篷技术等方法[5]。骨增量较大，尤其是垂直向骨增量较大的情况下，通常建议行使用不可吸收膜的GBR术，其手术效果好，且并发症风险相对较低[6]。

骨组织的生长速度远低于软组织，故在无干预情况下，软组织将快速长入覆盖缺损区，阻碍牙槽骨的生长。传统GBR术的机制是置入膜性材料以建立一层物理屏障，隔开软组织与骨缺损区，防止快速生长的结缔组织和上皮组织细胞迁移至骨缺损区，为骨生长提供空间和有利环境，同时将多能细胞和成骨细胞填充入缺损区，不受干扰地生长分化[7-8]。术后24 h内，屏障下被植入材料填充的空间内充满血凝块，释放生长因子和细胞因子，募集巨噬细胞和中性粒细胞；随着时间推移，血凝块被吸收，富含新生血管的肉芽组织形成，并通过新生血管运输营养物质和可成骨分化的间充质干细胞，促进类骨形成；类骨矿化后形成编织骨，可作为板层骨贴合的模板，最终在术后3~4个月形成致密骨和网状骨[9-10]。GBR术使用的膜性材料分为可吸收或不可吸收两大类，可吸收膜如天然胶原蛋白等无需二次手术取出，但降解速率不可控，机械强度较低，降解产物及交联剂残留可影响骨生长[11]。不可吸收

膜包括聚四氟乙烯等人工合成聚合物和钛等金属材料，其中金属材料机械强度较高，化学性质较稳定，空间维持能力优秀，避免了屏障膜塌陷的风险，临床应用更为普遍[12]。钛网防腐性能优秀，生物相容性好，弹性模量较高，空间支撑力强，可维持骨生长所需空间，其弹性可避免压缩黏膜组织，其光滑表面可避免细菌定植，降低感染风险[13]。但传统钛网需术者根据手术方案结合骨缺损区形态手动弯折塑形修剪网片，与骨缺损区的吻合度欠佳，其边缘锐利，易划伤周围软组织，且手术耗时长，术后暴露风险较高，同时对术者的技能水平具有较高要求[14]。3D打印个性化钛网则可通过计算机辅助设计，结合患者骨缺损区域形态和预期骨增量效果，建立个性化模型，使制作出的钛网与骨缺损区域高度吻合，且避免了术中钛网塑形过程，大幅度缩短手术时间。孟文侠和胡亚利[15]研究结果表明，使用3D打印个性化钛网的GBR术效果显著优于使用屏障膜的GBR术；马蕊等[16]研究表明：3D打印个性化钛网在GBR术中的使用效果显著优于传统钛网。本研究结果显示，术后6个月时3D组牙槽骨增加体积明显高于传统组，表明使用3D打印个性化钛网可有效增强手术的骨增量效果，有利于二期手术的进行，与既往研究一致。

尽管3D打印个性化钛网的理论安全性高于传统钛网，但钛网暴露仍然是难以完全避免的最常见并发症，发生率约为20%~30%。其发生原因尚无定论，可能是术后愈合期间黏膜持续受到食物摄入或口腔卫生维护产生的机械刺激，加之钛网的多孔结构具有良好弹性，口腔黏膜易变形挤压底层组织和材料，导致表层黏膜开裂，造成钛网暴露[17]。根据发生时间可分为早期暴露（术后4周内发生）和晚期暴露（术后4周后发生），早期暴露对手术效果的不利影响较大，可导致骨生成减少和纤维组织增多，影响植入物与周围骨融合，显著影响骨增量效果[18]。为降低钛网暴露风险，可采取多种方式改良弥补目前钛网应用的缺陷。3D打印个性化钛网边缘圆钝，与缺损区吻合度高，降低了传统钛网尖利边缘的机械刺激，减轻了钛网对上方软组织的张力，同时缩短手术时间，减少感染风险，降低了钛网暴露的发生率[19]。Hartmann A和Seiler M[20]发现应用个性化钛网的钛网暴露率低于应用普通钛网的GBR术，但差异不具有统计学意义，与本研究结果一致。3D打印个性化钛网可根据手术方案单独设计钛网的构成规格，而其孔隙率和网孔设计是影响机械性能的关键因素[21]。钛网厚度对其支撑能力具有重要影响，厚度不足的钛网可能难以承受周围软组织的压力而变形塌陷，影响手术效果；但过厚的钛网可占据过多空间，影响骨增量，且增大上方覆盖黏膜的张力，增加开裂风险[22]。通常钛网厚度为0.1~0.6 mm之间，本研究采用0.2 mm设计，取得良好疗效的同时，早期暴露率仅为2.94%，总暴露率仅为8.82%，表明0.2 mm钛网厚度适宜。Bai L等[23]认为0.4 mm和0.5 mm钛网具有足够支撑能力，而0.3 mm厚度钛网可能断裂，与本研究结果不一致，其原因可能是Bai L的研究中仅考虑钛网支撑能力而未将暴露和骨增量不足的风险纳入研究。除厚度外，个性化钛网的网孔设计也对疗效存在影响。网孔越大，缺损部位的血液流量越高，代谢越活跃，对骨生长更具优势，但2 mm以上的网孔可能允许软组织附着生长，上皮组织和结缔组织可能长入新生骨上，形成更大体积的假骨膜，占据成骨空间，阻碍骨修复，故设计网孔大于2 mm时，应在表面覆盖其他膜性材料以防止软组织长入[24-25]。本研究中使用双层Bio-Oss可吸收胶原膜覆盖在钛网上层，发挥阻隔作用的同时有利于软组织愈合，减少钛网暴露风险。

除钛网的个性化设计外，填充植入物的构成也显著影响GBR术的效果。Bio-Oss是从牛骨中提取的碳酸盐磷灰石制成，是GBR术中应用最广泛的人工骨材料之一，与人体骨结构高度相似[26]。经过处理的Bio-Oss骨粉中完全不含有机成分，不会造成免疫排斥反应，同时保留了骨质结构的天然空隙和机械强度[27]。熊际文等[28]研究表明自体骨屑与Bio-Oss混合修复骨缺损的效果显著优于单一Bio-Oss效果。Bio-Oss不含纤维蛋白原或生长因子，故临床通常将自体骨与Bio-Oss混合，以Bio-Oss作为支架，发挥自体骨的骨诱导性和成骨能力，取得良好效果[29]。此外，张运等[30]、黄稍稍等[31]研究结果均表明在牙槽骨修复中应用PRF联合Bio-Oss的骨增量效果明显优于单一Bio-Oss效果。其原因可能是PRF提取自患者自身血浆，富含血小板、生长因子及纤维蛋白原，具有类似天然骨组织的纤维蛋白网状结构，抗张强度高，其血小板和生长因子可促进伤口愈合，促进血管生成，引导骨细胞迁移增殖[32]。本研究中也在植入物制取中加入PRF，取得了良好效果。本研究在GBR术中应用3D打印个性化钛网和Bio-Oss、自体骨屑、PRF混合植入物填充，最大程度降低钛网暴露风险，取得良好疗效，与袁帅等[33]、

李林芝等[34]研究结果一致。但GBR术也存在一定局限性，手术采用的骨替代材料仅具有骨引导特性，混入的自体骨粉成骨能力有限，缺乏骨传导特性，在不利形态骨缺损中表现出较差的抗吸收能力[35]，故GBR术后存在骨增量效果欠佳的可能，仍需进行二期手术植入种植体以达到修复手术的要求。因此在临床工作中应结合患者具体病情和实际术后效果，及时调整治疗方案。本研究也存在一定局限性。受限于临床实际，医护人员对患者术后口腔养护仅能发挥教育指导作用，患者自身进食、刷牙方式等因素可能对手术效果产生影响；同时本研究纳入样本较少，以上因素可能对研究结果存在混淆影响，导致两组间多项指标的差异不具有统计学意义。此外，受限于研究时间，未能对患者进行远期随访。故未来仍需深度开展进一步研究，以获得更准确的结果。

综上所述，应用3D打印个性化钛网及PRF/Bio-Oss复合物的GBR术修复牙槽骨缺损效果良好，术后6个月骨增加体积显著高于应用传统钛网的GBR术，且不影响其安全性，值得临床推广应用。

参 考 文 献

[1] 李冀寅，贺 平. 自体牙骨移植材料在牙槽骨缺损修复中的应用进展[J]. 口腔医学研究，2019，35(3)：212-214.

Li JY，He P. Clinical application progress of autogenous tooth bone graft material in repairing alveolar bone defect[J]. J Oral Sci Res，2019，35(3)：212-214.

[2] 姜兆霞，孔德婧，李雨萱，等. 引导骨再生对种植体周围软组织炎症易感性的影响[J]. 口腔医学研究，2023，39(8)：715-720.

Jiang ZX，Kong DJ，Li YX，et al. Effect of guided bone regeneration on inflammatory susceptibility of peri-implant soft tissue[J]. J Oral Sci Res，2023，39(8)：715-720.

[3] 王献利，王国庆，袁清敏，等. 预成型钛网在美学区引导骨再生的短期临床效果观察[J]. 口腔颌面修复学杂志，2021，22(2)：96-99，133.

Wang XL，Wang GQ，Yuan QM，et al. Clinical observation of implantation of maxilla anterior teeth with preformed titanium mesh[J]. Chin J Prosthodont，2021，22(2)：96-99，133.

[4] 程 熠，陈 岗，赵鹏宇，等. 3D打印个性化钛网应用于引导骨再生术的精度研究[J]. 口腔医学研究，2023，39(10)：880-885.

Cheng Y，Chen G，Zhao PY，et al. Precision study on the application of 3D printed personalized titanium mesh in guided bone regeneration[J]. Journal of Oral Medicine Research，2023，39(10)：880-885.

[5] 张富贵，宿玉成，邱立新，等. 牙槽骨缺损骨增量手术方案的专家共识[J]. 口腔疾病防治，2022，30(4)：229-236.

Zhang FG，Su YC，Qiu LX，et al. Expert consensus on the bone augmentation surgery for alveolar bone defects[J]. J Prev Treat Stomatol Dis，2022，30(4)：229-236.

[6] 赵海礁，潘亚萍. 重度牙周炎患者牙槽骨丧失特点及后期种植治疗的考量[J]. 中华口腔医学杂志，2023，58(3)：298-304.

Zhao HJ，Pan YP. Characteristics of alveolar bone loss in severe periodontitis and consideration of rehabilitation with implant[J]. Chin J Stomatol，2023，58(3)：298-304.

[7] 顾安琪，周文洁，王跃平. 胶原膜在引导骨再生技术中的应用和改良研究进展[J]. 中国口腔颌面外科杂志，2023，21(6)：615-620.

Gu AQ，Zhou WJ，Wang YP. Application and modification of collagen membrane in guided bone regeneration techniques[J]. China J Oral Maxillofac Surg，2023，21(6)：615-620.

[8] Aprile P，Letourneur D，Simon-Yarza T. Membranes for guided bone regeneration：a road from bench to bedside[J]. Adv Healthc Mater，2020，9(19)：e2000707.

[9] Gou M，Wang H，Xie H，et al. Macrophages in guided bone regeneration：potential roles and future directions[J]. Front Immunol，2024，15：1396759.

[10] Cai B，Lin D，Li Y，et al. N2-polarized neutrophils guide bone mesenchymal stem cell recruitment and initiate bone regeneration：a missing piece of the bone regeneration puzzle[J]. Adv Sci（Weinh），2021，8(19)：e2100584.

[11] Venugopalan V，Vamsi AR，Shenoy S，et al. Guided bone regeneration-a comprehensive review[J]. J Clin Diag Res，2021，15(4).

[12] 蒋青松，赖文莉，王 艳. 骨增量技术在口腔正畸领域的研究进展[J]. 国际口腔医学杂志，2023，50(2)：243-250.

Jiang QS，Lai WL，Wang Y. Research progress on bone augmentation technique in orthodontics[J]. Int J Stomatol，2023，50(2)：243-250.

[13] 刘 越，马 哲. 组织工程支架材料在牙槽骨修复再生中的研究进展[J]. 现代口腔医学杂志，2024，38(3)：231-236.

Liu Y，Ma Z. Research progress of tissue engineering scaffold materials in alveolar bone repair and regeneration[J]. J Mod Stomatol，2024，38(3)：231-236.

[14] 白丽云，王 超，季 平，等. 用于引导骨再生的个性化钛网的生物力学研究[J]. 北京口腔医学，2022，30(5)：316-320.

Bai LY，Wang C，Ji P，et al. Biomechanical study of personalized titanium mesh for guided bone regeneration [J]. Beijing J Stomatol，2022，30(5)：316-320.

[15] 孟文侠，胡亚利. 个性化钛网联合屏障膜在引导骨再生修复牙槽骨缺损中的应用效果[J]. 医学临床研究，2022，39(6)：862-865.

Meng WX，Hu YL. Application of personalized peptide net combined with barrier membrane in guided bone regen-eration for alveolar bone defect repair[J]. J Clin Res，2022，39(6)：862-865.

[16] 马 蕊，周立波，李 钧. 个性化钛网联合引导骨再生术修复牙槽骨缺损的作用及美学效果观察[J]. 中国美容医学，2021，30(7)：119-122.

Ma R，Zhou LB，Li J. The effect of personalized titanium mesh combined with guided bone regeneration in repairing alveolar bone defect and the observation of aesthetic effect[J]. Chin J Aesthetic Med，2021，30(7)：119-122.

[17] Wang CX，Rong QG，Zhu N，et al. Finite element analysis of stress in oral mucosa and titanium mesh interface[J]. BMC Oral Health，2023，23(1)：25.

[18] 谢 雨，蔡潇潇. 钛网在口腔种植骨增量中的应用研究进展[J]. 中华口腔医学杂志，2021，56(4)：390-395.
Xie Y，Cai XX. Research progress on the application of titanium mesh in oral implant bone augmentation [J]. Chin J Stomatol，2021，56(4)：390-395.
[19] 邓 磊，雷雨晨，陈 岗，等. 3D打印个性化钛网引导种植区骨再生的临床并发症研究[J]. 口腔医学，2022，42(3)：244-249.
Deng L，Lei YC，Chen G，et al. Clinical study on complications of bone regeneration guided by 3D printed personalized titanium mesh in implanting area[J]. Stomatology，2022，42(3)：244-249.
[20] Hartmann A，Seiler M. Minimizing risk of customized titanium mesh exposures-a retrospective analysis[J]. BMC Oral Health，2020，20(1)：36.
[21] 王稚英. 3D打印个性化钛网在牙种植区骨增量中的应用[J]. 口腔医学研究，2023，39(5)：383-387.
Wang ZY. Application of 3D printed individual titanium mesh in bone augmentation in dental implant region[J]. J Oral Sci Res，2023，39(5)：383-387.
[22] 白丽云，季 平，李 显，等. 不同厚度的3D打印个性化钛网的三维有限元分析[J]. 口腔医学研究，2019，35(1)：75-79.
Bai LY，Ji P，Li X，et al. Three dimensional finite element analysis of customized titanium mesh with different thicknesses[J]. J Oral Sci Res，2019，35(1)：75-79.
[23] Bai L，Ji P，Li X，et al. Mechanical characterization of 3D-printed individualized Ti-mesh（membrane）for alveolar bone defects[J]. J Healthc Eng，2019，2019：4231872.
[24] Abu-Mostafa NA，Alotaibi YN，Alkahtani RN，et al. The outcomes of vertical alveolar bone augmentation by guided bone regeneration with titanium mesh：a systematic review[J]. J Contemp Dent Pract，2022，23(12)：1280-1288.
[25] 妥文婷，张 健，王艳颖. 3D打印个性化钛网在口腔种植骨增量中的研究进展[J]. 口腔颌面修复学杂志，2023，24(6)：455-459.
Tuo WT，Zhang J，Wang YY. Research progress in customized 3D-printed titanium mesh for bone augmentation in oral implantology[J]. Chin J Prosthodont，2023，24(6)：455-459.
[26] Zhuang G，Mao J，Yang G，et al. Influence of different incision designs on bone increment of guided bone regeneration（Bio-Gide collagen membrane +Bio-OSS bone powder）during the same period of maxillary anterior tooth implantation[J]. Bioengineered，2021，12(1)：2155-2163.
[27] 张 悦，董红宾，张 玮，等. Bio-Oss骨复合富血小板纤维蛋白修复兔牙周骨缺损[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志（电子版），2020，14(5)：280-287.
Zhang Y，Dong HB，Zhang W，et al. Repair of rabbit periodontal bone defect with Bio-Oss bone combined with platelet-rich fibrin[J/OL]. Chin J Stomatol Res Electron Ed，2020，14(5)：280-287.
[28] 熊际文，周 巍，杨士毅，等. 自体骨屑覆盖联合Bio-Oss小牛骨粉及Bio-Guide生物膜在种植体周骨缺损患者中的应用[J]. 中国美容医学，2022，31(3)：138-141.
Xiong JW，Zhou W，Yang SY，et al. Clinical application value of bio-oss calf bone powder combined with bio-guide biofilm in patients with peri-implant bone defects[J]. Chin J Aesthetic Med，2022，31(3)：138-141.
[29] 向国昌，蹇雪春. 自体碎骨结合Bio-OSS骨粉修复颌骨囊肿术后骨缺损疗效观察[J]. 中国美容医学，2021，30(4)：55-58.
Xiang Guochang，Jian Xuechun. Efficacy observation of repairing bone defects after jaw cyst surgery with autologous crushed bone combined with Bio-OSS bone powder[J]. Chinese Journal of Aesthetic Medicine，2021，30(4)：55-58.
[30] 张 运，王彦梅，何家才. 富血小板纤维蛋白联合骨替代材料应用于牙槽嵴位点保存术的临床效果[J]. 口腔疾病防治，2020，28(6)：361-366.
Zhang Y，Wang YM，He JC. Clinical effect of platelet-rich fibrin combined with bone substitute in alveolar ridge preservation[J]. J Prev Treat Stomatol Dis，2020，28(6)：361-366.
[31] 黄稍稍，谭荣才，邝晓岚. Bio-Oss骨粉联合富血小板纤维蛋白在牙槽骨缺损种植引导骨再生后的骨量变化[J]. 上海口腔医学，2020，29(4)：427-430.
Huang SS，Tan RC，Kuang XL. Changes of bone mass after implantation of Bio-Oss bone powder combined with platelet-rich fibrin for guided bone regeneration in alveolar bone defects[J]. Shanghai J Stomatol，2020，29(4)：427-430.
[32] 张晨怡，张海正，潘 来，等. 改良型/注射型富血小板纤维蛋白在牙槽骨增量术中应用研究进展[J]. 中国实用口腔科杂志，2023，16(3)：358-363.
Zhang ChY，Zhang HZ，Pan L，et al. Research progress on the application of modified/injectable platelet-rich fibrin in alveolar bone augmentation surgery [J]. Chin J Pract Stomatol，2023，16(3)：358-363.
[33] 袁 帅，陈 陶，李帝泽，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.
Yuan S，Chen T，Li DZ，et al. Assessment of the clinical effect regarding three-dimensional printing individualized titanium mesh for bone augmentation in the esthetic area[J]. Chin J Stomatol，2020，55(11)：878-884.
[34] 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.
Li LZ，Chen D，Huang YD，et al. Clinical preliminary study on the repair of alveolar bone defect by three-dimensional printed personalized titanium mesh combined with guided bone regeneration[J]. Chin J Stomatol，2019，54(9)：623-627.
[35] 刘 鑫，周 咏，汪 洋，等. GBR植骨效果的远期稳定性不优于自体骨移植[J]. 口腔医学，2019，39(1)：63-65.
Liu X，Zhou Y，Wang Y，et al. The long-term stability of GBR bone grafting effect is not superior to that of autologous bone grafting[J]. Stomatology，2019，39(1)：63-65.

（收稿：2024-12-10；修回：2025-03-31；录用：2025-04-03）
（责任编辑：李青颖）
本文引用格式：
赵弼洲，罗海霞，党晓兵，等. 3D打印个性化钛网的GBR术及PRF/Bio-Oss复合物修复牙槽骨缺损的应用[J]. 重庆医科大学学报，2025，50(12)：1729-1736.