

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.20.043

•综述•

可吸收生物膜材料在牙种植中引导骨再生中的应用研究进展

杨伟华

(浙江中医药大学, 浙江 杭州 310053)

[摘要] 牙种植技术是修复牙列缺损和缺失的首选方案, 但牙槽骨量不足问题常限制其临床应用。引导骨再生 (GBR) 技术作为解决该问题的核心手段, 其疗效高度依赖生物膜材料的性能。可吸收生物膜因无需二次手术、生物相容性良好等优势, 已逐步替代不可吸收膜成为GBR领域的研究热点。本文系统综述可吸收生物膜材料在牙种植GBR中的应用研究进展, 首先阐述GBR技术的原理与核心要素, 随后分类分析天然来源、合成聚合物及复合改性可吸收膜的特性, 重点聚焦可吸收生物膜在拔牙位点保存、牙槽嵴增量、上颌窦底提升、种植体周骨缺损治疗及与其他生物材料联合应用中的具体实践, 最后对该领域的未来发展方向进行展望, 以期为临床应用与材料研发提供参考。

[关键词] 可吸收生物膜; 牙种植; 引导骨再生; 拔牙位点保存; 牙槽嵴增量; 上颌窦底提升

[中图分类号] R783

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949 (2025) 20-0174-05

Research Progress on the Application of Absorbable Biomembrane Materials in Guided Bone Regeneration During Dental Implantation

YANG Weihua

(Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, Zhejiang, China)

[Abstract] Dental implantation is the preferred method for repairing dentition defect and edentulism, but insufficient alveolar bone volume often limits its clinical application. The efficacy of guided bone regeneration (GBR) technology, as the core method to solve this problem, is highly dependent on the performance of biomembrane materials. Absorbable biomembranes have gradually replaced non-absorbable membranes as a research hotspot in the field of GBR due to their advantages such as no need for secondary surgery and good biocompatibility. This paper systematically reviews the research progress on the application of absorbable biomembranes in GBR during dental implantation. Firstly, it elaborates on the principle and core elements of GBR technology, then categorically analyzes the characteristics of absorbable membranes derived from natural sources, synthetic polymers and composite modified materials. It focuses on the specific practices of absorbable biomembranes in extraction socket preservation, alveolar ridge augmentation, maxillary sinus floor elevation, peri-implant bone defect treatment and combined application with other biomaterials. Finally, it prospects the future development direction of this field, aiming to provide references for clinical application and material research and development.

[Key words] Absorbable biomembrane; Dental implantation; Guided bone regeneration; Extraction socket preservation; Alveolar ridge augmentation; Maxillary sinus floor elevation

牙种植技术 (dental implant technique) 因能精准恢复牙齿形态与咀嚼功能, 目前已成为牙列缺损和缺失的首选修复方式之一^[1]。但临床中部分患者因牙周病、外伤或拔牙后骨吸收导致牙槽骨量不足, 无法满足种植体骨结合的生物学需

求, 这一问题制约了该技术的普及应用。引导骨再生 (guided bone regeneration, GBR) 技术自20世纪80年代末应用于口腔临床以来, 通过生物膜的物理屏障作用为成骨细胞创造专属生长空间, 可有效增加缺损牙槽嵴的宽度及高度, 满足

种植体植入的骨量要求,从而解决骨量不足的临床难题^[2]。早期临床应用的不可吸收膜需二次手术取出,易引发感染、膜暴露等并发症;20世纪90年代后,可吸收生物膜因具有降解产物可被机体代谢、无需二次手术等优势,逐渐成为GBR技术的主流屏障材料。本文梳理了GBR技术机制与可吸收生物膜特性,分析其在牙种植关键场景的应用效果,探讨未来方向,以期口腔种植临床实践与材料研发提供参考。

1 引导骨再生技术的原理

GBR技术的核心原理是细胞选择性迁移理论与空间维持原则。口腔内不同细胞的迁移速度存在显著差异:上皮细胞与成纤维细胞迁移速度较快,而成骨细胞迁移速度较慢。在骨缺损修复过程中,若未进行干预,快速迁移的上皮细胞与成纤维细胞会率先占据骨缺损区,形成纤维结缔组织,阻碍成骨过程。生物膜的作用在于构建物理屏障,阻断上皮细胞与成纤维细胞向骨缺损区的迁移,同时为成骨细胞提供充足的增殖与分化时间,以此提升修复效果^[1]。此外,生物膜还能维持骨缺损区的空间稳定性,防止软组织塌陷导致骨再生空间丢失;其多孔结构可允许营养物质与代谢产物自由渗透,为成骨细胞创造适宜的微环境,最终实现骨缺损的功能性修复。

2 可吸收生物膜材料的种类与特性

2.1 天然来源可吸收膜

2.1.1 胶原膜 胶原是人体细胞外基质主要成分,临床应用的胶原膜多为I型胶原,效果较好。核心特性包括:生物相容性优异,降解产物为氨基酸可完全代谢;表面含RGD序列,能促进成骨细胞黏附增殖;可通过交联调控降解时间,部分采用双层结构。其中,桀亚真皮和Bio-Gide的表面形貌更有助于细胞附着和生长^[3]。但其机械强度较低,大面积缺损易塌陷,且成本高、降解速率受体内酶活性影响大。

2.1.2 壳聚糖膜 壳聚糖由甲壳素脱乙酰化制得,特性在于抗菌性强,可降低术后感染;脱乙酰度可调控性能;表面易改性,可负载功能成分^[4]。局限为机械强度中等,水溶性差,降解产物可能导

致局部pH轻微下降。

2.1.3 海藻酸盐膜 海藻酸盐提取自褐藻,特点是保湿性好、降解快、成本低、易制备,适用于小型浅表层缺损^[5]。但机械强度极低,无法单独用于中等面积以上缺损,且生物活性不足,需复合胶原或固定生长因子改善细胞亲和性。

2.2 合成聚合物可吸收膜

2.2.1 PLGA膜 PLGA由乳酸与羟基乙酸共聚而成,核心特性是性能可控:LA/GA=75:25时,拉伸强度25~30 MPa,降解8~12周,匹配GBR周期;可制得30~80 μm 多孔膜,兼顾屏障与营养渗透;降解产物安全无毒性^[6]。其不足为生物活性低、降解可能引发炎症、室温下易脆裂、塑形需温水软化。

2.2.2 PCL膜 PCL柔韧性特征突出,可贴合不规则缺损,机械性能稳定,降解可控,热稳定性好、易灭菌^[7]。但生物活性弱,需载药或仿生矿化改性,纯膜降解偏慢可能影响种植体早期骨结合。

2.2.3 PLA膜 PLA机械强度高,具有环保性,降解慢,适合复杂缺损长期屏障^[8]。但脆性大、塑形难,生物活性低,临床应用较少,多用于基础研究。

2.3 复合及改性可吸收膜 为弥补单一材料短板,复合改性可吸收膜通过优势互补或功能增强提升综合性能,是当前主流方向,主要分为两类:

①天然-合成复合膜:以合成材料为支架提供机械强度与可控降解,以天然材料为涂层或共混成分提升生物活性;例如胶原-PLGA复合膜、壳聚糖-PCL复合膜^[9];②单一材料功能改性:在基体中引入功能成分,如HA-PLGA复合膜、载BMP-2胶原膜、载甲硝唑PCL膜;此类膜可兼顾机械强度、生物活性、生物相容性与抗菌性,适用场景更广,还可扩展载入干细胞、抗炎因子进一步提升效能^[10]。

3 可吸收生物膜材料在牙种植中引导骨再生中的应用

3.1 拔牙位点保存 拔牙位点保存技术用于口腔种植患者可减少拔牙后牙槽骨吸收,减轻牙槽骨密度、宽度、高度缺失的症状,且还可改善种植牙美学效果,提高患者生活质量。因此,在口腔种植治疗中选择拔牙位点保存技术的效果更佳,可

提高种植成功率,减少并发症,临床应用价值更高^[11]。可吸收生物膜通过GBR技术减少骨吸收、维持牙槽形态,为种植体植入预留骨量,将二者结合效果更好。临床操作需先清创牙槽窝,填充骨替代材料至略高于牙槽嵴顶1~2 mm,覆盖可吸收生物膜,无张力缝合创口。材料选择优先胶原膜或壳聚糖膜,胶原膜生物相容性好,能稳定血凝块,适合前牙美学区;壳聚糖膜因抗菌性突出,适用于牙周病患者或口腔卫生较差者。施鹏伟等^[12]认为,Bio-Oss Geistlich拔牙位点保存术中使用Bio-Guide生物膜覆盖可有效提高种植体成功率及美观度,延缓牙槽骨吸收,改善牙周状态及牙齿功能;需特别注意的是,术后需避免创口受压,临时修复体需与创口无接触,加强口腔卫生维护,感染性牙槽窝需先控制感染再行位点保存。

3.2 牙槽嵴增量和Onlay植骨 牙槽嵴增量针对水平或垂直缺损,Onlay植骨通过骨块覆盖增厚牙槽嵴,两者均需可吸收生物膜维持空间与屏障功能。

3.2.1 牙槽嵴增量 水平增量多用于后牙区宽度不足,分离骨膜下隧道后填充混合骨粉,覆盖PLGA膜或胶原-PLGA复合膜,钛钉固定膜后分层缝合。垂直增量的难度较高,需“骨粉堆叠+生物膜覆盖+钛网支撑”,骨粉堆叠至超预期高度1~2 mm,覆盖HA-PLGA复合膜,钛网固定。其中,新型帐篷钉在垂直向及嵴顶下2 mm处水平向骨增量效果更显著^[13]。术后需避免咀嚼硬物,必要时佩戴颌垫减少咬合压力。

3.2.2 Onlay植骨 孙亮等^[14]在复杂骨增量技术在牙槽嵴重度骨缺损重建中的应用策略中提出,外置式(Onlay)植骨术具有差异化优势。针对混合缺损型牙槽嵴缺损,采用In Situ Onlay植骨术的骨量增加和牙槽嵴形态改善效果最为显著,宽度缺损型缺损患者也显示出良好的治疗效果^[15]。优先选用自体骨块,修整后贴合受区粗糙化骨面,钛螺钉固定骨块,覆盖双层胶原膜,边缘延伸至正常骨3~4 mm并固定,分层缝合。需特别注意的是,需要做好供区护理,受区术后唇颊侧肿胀可冷敷缓解。

3.3 上颌窦底提升术 上颌窦底提升术用于上颌

后牙区骨高度<5 mm的情况,通过抬高上颌窦黏膜、填充骨材料增骨量。其中,植入去蛋白牛骨基质能够完成骨增量^[16]。在该操作中可吸收生物膜能够保护黏膜、防材料移位。其中,CGF联合Bio-Oss材料应用于上颌窦底提升术同期种植修复的效果较好,可显著改善种植体周围软组织状况。分内外两种提升方式,内提升适用于骨高度3~5 mm,钻至近窦底1~2 mm后抬高黏膜,填骨粉,覆盖薄型胶原膜,同期或延期种植;外提升适用于骨高度<3 mm或窦底复杂者,侧壁开窗分离黏膜,填骨材料,覆盖PLGA-PCL复合膜,固定后关闭创口。此外,浓缩生长因子联合骨替代材料在上颌窦侧壁开窗提升术中获得良好的短期疗效,其长期效果需进一步随访观察^[17]。术后还需定期CBCT复查,及时引流窦腔积液。

3.4 治疗种植体周骨缺损 种植体周骨缺损多因卫生不佳、咬合创伤或种植体周围炎导致,可吸收生物膜结合GBR修复缺损、阻骨吸收,按缺损形态分类治疗。① I类缺损:清创后清洁种植体表面,填生物活性玻璃骨粉,覆盖壳聚糖膜,固定后缝合;其中,A-PRF与Bio-Oss混合物具有良好骨缺损修复效果,A-PRF与Bio-Oss 2:1混合物成骨效果更佳,可提高种植体骨愈合能力^[18];骨再生率达80%以上,种植体稳定性系数(ISQ)提升10~15个单位;② II/Ⅲ类缺损:口腔种植引导性骨再生术中应用Bio-Oss骨粉联合PRF及GBR技术有助于促进术后骨缺损再生,减轻术后疼痛,促进软组织再生^[19];彻底清创并控制炎症,填混合骨粉,Ⅲ类缺损需加胶原棒支撑,覆盖载抗生素PLGA膜,钛钉固定;术后需长期维护口腔卫生,定期专业洁治,调整咬合,消除创伤。

3.5 与其他生物材料联合应用 可吸收生物膜单独使用在复杂缺损中效果有限,与骨替代材料、生长因子、干细胞联合可发挥协同作用,有效提升骨再生效能。

3.5.1 与骨替代材料联合 骨替代材料提供支架,生物膜提供屏障,常用组合:①胶原膜+自体骨颗粒:自体骨具有诱导、传导、生成作用,胶原膜护骨粉,适用于前牙美学区,术后6个月牙密度接近正常骨;郭倩文等^[20]在研究“香肠技术”在

下颌后牙区水平向骨增量中的临床疗效时提出应用“香肠技术”进行骨增量可以取得较好的临床效果；②PLGA膜+异种骨块：异种骨块易塑形，PLGA膜固定防移位，适用于Onlay植骨或大面积增量，骨块融合率较高；③复合膜+人工合成骨粉：可吸收生物膜复合人工合成骨粉填充在牙种植中可改善种植体牙周健康情况，减少患者术后骨量丢失，促进骨缺损再生^[21]；原因在于人工骨粉理化稳定，复合膜释放钙离子，适用于窦底提升或种植体周缺损，骨再生率较单纯骨粉提升20%~30%。联合需注意骨粉颗粒与膜孔径适配，减少间隙防软组织侵入。

3.5.2与生长因子联合 生长因子激活成骨活性，生物膜实现控释，避免快速降解。①载BMP-2胶原膜：BMP-2诱导干细胞成骨，胶原膜缓释2~3周，适用于垂直增量或严重缺损，骨再生时间缩短明显；②载VEGF PLGA膜：VEGF促血管新生，匹配PLGA降解速率，适用于窦底提升或缺血性缺损；③载PDGF壳聚糖膜：PDGF促成骨细胞增殖，壳聚糖抗菌协同，适用于种植体周缺损。生长因子用量需按缺损调整，避免过量导致骨过度增生。

3.5.3与干细胞联合 干细胞具有多向分化潜能，与生物膜联合适用于难治性缺损。刘杉^[22]在研究多功能Janus生物膜片增强干细胞促骨修复疗效及其机制时提出，该方法能够增强促骨修复效应，具有良好的体内外生物安全性。当前常用干细胞接种膜表面，如牙周膜干细胞（PDLSCs）接种胶原膜，培养24 h后植入，PDLSCs分泌成骨因子加速再生。目前临床应用需解决干细胞来源、活性维持与伦理问题，未来前景广阔。

4 牙种植中生物膜材料应用的未来展望

4.1 功能化改性升级 未来可吸收生物膜将突破单一屏障功能，向多功能集成发展。①抗菌-成骨双功能：引入抗菌肽与成骨诱导成分，实现早期抗菌、后期成骨时序功能，预计将术后感染率降至3%以下，骨再生时间缩短至4~6周；②抗炎-血管新生协同：载抗炎因子与VEGF，改善糖尿病或者老年患者骨再生微环境，提升GBR成功率25%~30%；③自修复功能整合：引入动态共价键

或可逆交联网络，膜破损后分子链重组修复，效率达90%以上，避免软组织侵入与骨粉移位。

4.2 智能化材料 研发智能化可吸收生物膜将实现实时监测和主动调控之间的闭环管理。①微环境响应型释放：开发pH、酶、温度响应膜，按骨再生阶段精准释药，提升成分利用效率；②实时监测功能集成：嵌入荧光探针或纳米传感器，通过近红外成像监测膜降解与骨再生，纳米传感器量化钙离子、成骨因子水平；③远程调控功能探索：结合无线传感，体外低频电磁场或近红外光触发成分释放，应对术后突发感染。

4.3 个性化定制发展 基于精准医疗理念，实现一人一膜定制。首先，形态定制：CBCT获取缺损数据，3D打印膜，一般厚度0.1~0.5 mm、孔径30~100 μm 可调，贴合度 $<0.1\text{ mm}$ ，降低窦黏膜穿孔风险。其次，性能定制：按年龄、基础疾病调整膜降解速率与功能，如糖尿病患者用高交联胶原-PLGA膜，骨质疏松患者载BMP-2与钙磷离子。最后，定制联合方案：结合种植计划，匹配膜与其他材料联合方案。

4.4 产业化与临床转化 优化突破产业化瓶颈，推动技术落地。低成本制备需要优化天然材料提取、合成材料聚合工艺，规模化3D打印降低膜价30%~50%。同时，进行标准化评价。建立材料性能，如机械强度、降解速率等与临床效果评价标准，统一检测设备与流程。最后，进行长期安全性验证。开展5~10年多中心大样本研究，评估降解产物肝肾影响、长期骨稳定性与种植体存活率。

5 总结

可吸收生物膜材料作为牙种植GBR核心组成，已从单一天然膜发展为多元材料体系，在五大临床场景中展现显著价值，通过与其他生物材料联合进一步提升骨再生效能。当前虽面临功能单一、个体适配不足等挑战，但未来通过功能化改性、智能化研发与个性化定制，将实现从被动屏障到主动调控的转变。同时，产业化工工艺优化与临床转化体系完善，将推动其广泛应用，为更多牙列缺损和缺失患者提供高质量种植修复，助力口腔种植技术向精准化、智能化迈进。

[参考文献]

- [1]石晋,李广大,王敬夫,等.颌骨骨折伴牙列缺损口腔种植咬合重建临床要素考量[J].实用口腔医学杂志,2025,41(3):428-432.
- [2]田燕,钱若谷,张媛,等.牙槽骨缺损区引导骨再生后正畸牙移动的临床观察1例[J].实用口腔医学杂志,2020,36(1):132-133.
- [3]张杨杨.三种胶原膜理化性质以及其降解产物的成骨特性的研究[D].兰州:兰州大学,2022.
- [4]张伟.基于溶剂和自组装策略的木质素/壳聚糖生物活性膜的构建及在鱼肉保鲜中的应用研究[D].无锡:江南大学,2023.
- [5]陈天真.稀土金属海藻酸盐膜的热性能研究[D].青岛:青岛大学,2019.
- [6]韩香.nTPG/PLGA/PCL纳米纤维膜通过调节巨噬细胞极化促进牙周组织再生的研究[D].南京:南京医科大学,2024.
- [7]靳瑞.PLGA-PCL/SiO₂/Met纳米纤维膜促进高糖条件下体内外成骨效应的实验研究[D].西安:中国人民解放军空军军医大学,2024.
- [8]石慧子.含氟聚乳酸(PLA)的合成及其驻极性能研究[D].上海:东华大学,2025.
- [9]古宇.TEMPO氧化纳米纤维素及其PLA复合膜的制备及性能研究[D].上海:东华大学,2025.
- [10]申亚杰.负载镁离子的口腔胶原膜对大鼠骨髓间充质干细胞增殖和成骨分化的影响[D].呼和浩特:内蒙古医科大学,2024.
- [11]蒋选峰.拔牙位点保存技术用于口腔种植对牙槽骨吸收量及牙槽骨高度、宽度的影响[J].现代诊断与治疗,2024,35(23):3595-3596,3599.
- [12]施鹏伟,高永强,王超,等.拔牙位点保存术联合不同软组织处理方式对口腔后牙种植修复效果、牙槽骨骨量、种植体成功率的影响[J].海南医学,2025,36(8):1128-1133.
- [13]何焱,刘清辉,吕红,等.新型可调节钛网固定帐篷钉在牙槽骨增量中的临床研究[J].口腔医学,2025,45(5):360-366.
- [14]孙亮,梁艺馨,曲哲.复杂骨增量技术在牙槽嵴重度骨缺损重建中的应用策略[J].中国实用口腔科杂志,2025,18(4):398-406.
- [15]刘强,杨洁,何畏,等.In Situ Onlay植骨术对上颌前牙区三种不同缺损形态牙槽嵴的骨增量临床效果[J].临床口腔医学杂志,2025,41(2):101-105.
- [16]胡一帆,孙烨,雷利强,等.上颌窦囊肿摘除同期窦底提升及种植体植入1例[J].实用口腔医学杂志,2025,41(4):568-571.
- [17]姜彬,吕清.浓缩生长因子联合骨替代材料在上颌窦侧壁开窗提升术中的临床应用[J].济宁医学院学报,2024,47(5):395-397.
- [18]黄仙波,何志良,曹雷,等.A-PRF联合Bio-Oss对种植体周围骨缺损的修复效果实验研究[J].临床误诊误治,2023,36(4):136-141.
- [19]黄徐琛,高琴.Bio-Oss骨粉联合PRF及GBR技术对种植体周围骨再生及种植体周围炎的影响[J].河北医学,2023,29(2):275-280.
- [20]郭倩文,刘明丽,韩文利,等.“香肠技术”在下颌后牙区水平向骨增量中的临床疗效分析[J].口腔医学研究,2021,37(12):1130-1134.
- [21]杨丹,雷明辉,付敬敏.可吸收生物膜复合人工合成骨粉填充在牙种植患者中的应用效果[J].国际医药卫生导报,2024,30(7):1125-1130.
- [22]刘杉.多功能Janus生物膜片增强干细胞促骨修复疗效及其机制研究[D].重庆:重庆医科大学,2024.

收稿日期: 2025-10-3 编辑: 扶田