

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.22.046

数字化导板在单颗后牙缺失种植中的精度分析

任敏鹏, 刘亚娟

(周至县人民医院, 陕西 西安 710400)

[摘要] 单颗后牙缺失种植的精度直接影响修复体就位稳定性、咬合功能与长期骨结合效果, 传统种植依赖医生经验进行手动定位, 易导致种植体位置、角度偏差, 临床中因偏差引发的修复体就位困难、骨结合失败等问题占比超30%。数字化导板基于三维影像与计算机辅助设计技术, 为种植定位提供精准引导。本文从种植体三维位置偏差、咬合关系适配性、骨结合稳定性方面量化分析其精度表现, 深入探讨数据采集、方案设计、导板制作、临床操作四大环节的精度影响因素, 并针对性提出精度优化建议, 以期单颗后牙缺失种植的精准实施提供更全面的理论依据与临床操作指南。

[关键词] 数字化导板; 单颗后牙缺失; 口腔种植; 精度分析

[中图分类号] R783

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949 (2025) 22-0187-04

Accuracy Analysis of Digital Guide Plate in Implantation for Single Posterior Tooth Loss

REN Minpeng, LIU Yajuan

(Zhouzhi County People's Hospital, Xi'an 710400, Shaanxi, China)

[Abstract] The accuracy of implantation for single posterior tooth loss directly affects the seating stability of restorations, occlusal function and long-term osseointegration effect. Traditional implantation relies on doctors' experience for manual positioning, which is prone to causing deviations in the position and angle of implants. In clinical practice, problems such as difficulty in seating restorations and osseointegration failure caused by deviations account for more than 30%. Based on three-dimensional imaging and computer-aided design technology, the digital guide plate provides precise guidance for implant positioning. This paper quantitatively analyzes its accuracy from three-dimensional implant position deviation, occlusal adaptation and osseointegration stability. It then discusses, in depth, the key factors affecting accuracy in four stages—data collection, scheme design, guide plate fabrication and clinical operation—and proposes targeted optimisation strategies, so as to provide a more comprehensive theoretical basis and clinical operation guide for the precise implementation of implantation for single posterior tooth loss.

[Key words] Digital guide plate; Single posterior tooth loss; Oral implantation; Accuracy analysis

单颗后牙缺失 (single posterior tooth loss) 是口腔临床常见病症, 多见于牙周病、龋齿、外伤等病因, 在中老年群体中发病率超40%。种植修复因具有“功能与美观兼顾、不损伤邻牙”的优势, 已取代传统固定桥修复成为首选方案。后牙区解剖结构显著区别于前牙区, 上颌后牙区毗邻上颌窦腔, 下颌后牙区下方为下颌神经管, 且需承担每日300~500 N的咀嚼力, 这对种植体的位置、角度、深度精度提出极高要求^[1]。位置偏差

>0.8 mm易导致修复体与邻牙间隙异常; 角度偏差>5° 会改变咀嚼力传导方向, 增加种植体周围骨吸收风险; 深度偏差>1 mm可能损伤下颌神经管内神经或穿通上颌窦底^[2, 3]。数字化导板技术通过“三维数据采集-计算机辅助设计-个性化导板制作-术中精准引导”的闭环流程, 将种植定位从“经验依赖型”转化为“数据驱动型”^[4]。本文从技术流程、精度表现、影响因素、优化策略4个维度展开分析, 进一步挖掘数字化导板在单颗后

第一作者: 任敏鹏 (1979.6-), 男, 陕西周至县人, 本科, 主治医师, 主要从事口腔种植学、儿童早期及青少年正畸方面研究

通讯作者: 刘亚娟 (1981.12-), 女, 陕西周至县人, 本科, 主治医师, 主要从事各类阻生牙的微创拔除、口腔种植学方面研究

牙缺失种植中的技术价值, 以期为临床应用提供更细致的参考。

1 数字化导板在单颗后牙缺失种植中的精度表现

1.1 满足临床修复需求 种植体三维位置偏差是评估数字化导板精度的核心指标, 包括颊舌向偏差、近远中向偏差、根尖向偏差, 临床研究^[5]已证实其精度显著优于传统手动种植。多中心临床研究数据显示^[6], 采用数字化导板辅助单颗后牙缺失种植时, 颊舌向偏差为0.3~0.5 mm, 近远中向偏差0.2~0.4 mm, 根尖向偏差0.4~0.6 mm。该偏差范围完全符合临床修复标准: 颊舌向偏差 ≤ 0.5 mm可确保修复体颊舌侧厚度均匀, 避免因偏差导致修复体过厚影响口腔空间或过薄引发强度不足; 近远中向偏差 ≤ 0.4 mm可维持邻牙邻接关系稳定, 邻接压力控制在10~20 N; 根尖向偏差 ≤ 0.6 mm可有效规避解剖风险^[7]。不同数字化导板系统的精度存在细微差异: 基于CBCT+口内扫描双数据的导板系统(如3Shape、Straumann), 其三维偏差较单一CBCT数据的导板系统低0.1~0.2 mm, 原因是双数据可修正软硬组织位置偏差^[8, 9]。

1.2 提升咀嚼功能与牙周健康 后牙种植的核心功能是恢复咀嚼能力, 咬合关系适配性直接影响咀嚼效率与牙周组织健康, 数字化导板通过术前咬合数据整合与模拟, 可提升种植后的咬合适配度。静态咬合关系适配性: 数字化导板设计时导入口内扫描获取的咬合数据, 在三维模型中模拟种植后的咬合接触, 确保修复体殆面与对颌牙殆面形成“多点均匀接触”。接触点数量 ≥ 3 个, 接触面积占殆面面积的30%~40%, 垂直距离控制在2~3 mm, 覆盖 ≤ 2 mm, 覆盖 ≤ 3 mm^[10]。动态咬合关系适配性: 通过计算机辅助设计软件模拟下颌运动轨迹, 分析种植体与对颌牙在动态咬合中的干扰情况, 提前调整种植体角度与位置。例如, 在侧方运动中, 若发现修复体颊尖与对颌牙舌尖存在早接触, 可通过微调种植体颊舌向角度消除干扰。临床随访显示^[11], 数字化导板辅助种植的患者, 术后3个月咀嚼效率达85%以上, 传统种植为70%; 术后6个月牙周探诊深度 ≤ 3 mm的比例达98%, 传统种植为88%, 说明良好的咬合适配性可减少牙周组织刺激, 保护牙周健康。

2 影响数字化导板精度的关键因素

2.1 数据采集环节的影响因素 数据采集是精度控

制的“源头”, CBCT扫描、口内扫描、数据配准3个子环节的误差均会传递至后续流程^[12, 13]。

①CBCT扫描误差: 扫描层厚是核心影响因素, 层厚从0.1 mm增至0.3 mm时, 骨解剖结构测量误差从0.05 mm增至0.2 mm, 上颌窦底位置判断偏差增加0.3 mm; 扫描时患者体位不稳定会导致图像伪影, 伪影区域解剖结构模糊, 误差可达0.5 mm以上; 扫描范围不足会导致咬合关系数据缺失, 影响种植体角度设计; ②口内扫描误差: 扫描盲区是主要问题; 缺牙区牙槽嵴顶黏膜凹陷较深(深度 > 3 mm)时, 扫描头无法完全贴合, 易形成数据盲区, 导致黏膜形态重构误差; 邻牙存在修复体时, 修复体表面光滑易产生扫描反光, 导致牙冠形态数据失真, 误差达0.15~0.2 mm; 扫描速度过快(> 10 mm/s)会导致数据采样不充分, 影响殆面解剖形态精度; ③数据配准误差: 配准基准选择不当会导致偏差; 仅以邻牙殆面为基准时, 若邻牙存在倾斜, 会导致骨解剖模型与牙体模型错位, 误差达0.2~0.3 mm; 配准算法精度不足, 会使软硬组织数据对齐偏差增加0.1~0.15 mm; 数据格式转换过程中若出现数据丢失, 也会影响配准精度; 杨伟^[14]研究中数字化技术的配准精度控制逻辑, 可类比应用于口腔数据配准, 提示需强化算法精度以降低软硬组织对齐偏差。

2.2 设计环节的影响因素 设计环节是精度控制的“核心”, 种植方案规划与导板结构设计的合理性直接决定导板功能。①种植方案规划偏差: 医生对解剖结构判断失误会导致方案偏差; 误判上颌窦底位置(偏差 > 1 mm)会使种植体深度设计不当, 误判下颌神经管走向会导致角度偏差; 未充分考虑咬合关系会引发功能偏差; 如未参考对颌牙咬合面, 导致种植体角度过陡, 修复体无法形成正常咬合接触; 方案设计时未预留修复空间, 会迫使术中调整种植体位置, 破坏导板引导精度; ②导板结构设计缺陷: 固位结构设计不合理会导致术中移位; 邻牙环抱长度 $<$ 牙冠 $1/3$ 时, 固位力不足, 术中种植体钻入时导板易发生颊舌向移位, 偏差达0.3 mm; 引导孔与种植体匹配度不足会导致种植体钻入时产生“晃动”, 角度偏差增加 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$; 未预留冷却水道会导致术中温度升高, 骨组织受热变形, 间接影响种植体位置精度; 龙晓婕等^[15]指出, 数字化组合导板需优化固位与引导结构, 为本节导板环抱长度、引导孔匹配度设计提供了参考方向。

2.3 制作环节的影响因素 制作环节是精度控制的“载体”，3D打印参数与材料性能直接影响导板物理形态精度。①3D打印参数误差：层厚设置过厚（ $>0.1\text{ mm}$ ）会导致导板表面粗糙度增加（ $R_a > 3.2\ \mu\text{m}$ ），定位孔内壁不光滑，影响种植体钻入导向；打印速度过快（ $>80\text{ mm/h}$ ）会导致层间黏结强度下降，导板易出现分层裂纹，使用时发生变形；光照强度不足（ $<80\text{ mW/cm}^2$ ）会导致树脂固化不完全，导板强度不足，术中受力变形（变形量 $>0.2\text{ mm}$ ）；②材料收缩变形：树脂材料固化过程中会发生收缩，未进行后固化处理时，PMMA树脂收缩率达5%，导致导板整体尺寸缩小，定位孔偏差达 0.3 mm ；后固化温度控制不当（如骤升至 $80\text{ }^\circ\text{C}$ ）会导致材料内部应力集中，产生翘曲变形，导板与口腔组织贴合度下降，误差增加 $0.2\sim 0.3\text{ mm}$ ；材料储存时间过长（ >6 个月）会导致树脂老化，打印后收缩率不稳定，精度波动增大。

2.4 临床操作环节的影响因素 临床操作是精度控制的“终端”，医生操作规范性直接决定导板能否发挥设计精度。①导板就位偏差：导板佩戴时若邻牙存在牙结石（厚度 $>1\text{ mm}$ ），会导致导板无法完全贴合邻牙，就位偏差达 $0.2\sim 0.3\text{ mm}$ ；缺牙区黏膜肿胀会使导板黏膜吸附部分无法贴合，术中易发生移位；未采用辅助固位手段（如树脂粘接），仅靠机械固位时，导板在种植体钻入过程中易发生微小移动（ $<0.1\text{ mm}$ ），累积偏差达 0.2 mm ；信琪等^[16]证实改良粘接固位可提升患者满意度，临床中采用该方式辅助导板固位，能减少就位偏差与术中移位；②术中骨条件变化：术前术后骨条件差异会影响导板引导精度；杨成栋等^[17]研究发现，术中需同步考虑牙龈生物型差异，避免因骨软组织适配问题进一步放大导板引导误差；缺牙区牙槽嵴存在骨质松软，术中种植体钻入时易发生骨塌陷，导致深度偏差增加 0.3 mm ；若需术中植骨，植骨材料堆积会改变牙槽嵴形态，使导板与骨面贴合度下降；术中出血较多会导致医生无法确认导板是否完全就位，间接增加操作误差。

3 数字化导板精度优化建议

3.1 数据采集环节优化 ①规范CBCT扫描流程：统一扫描参数，层厚 $0.1\sim 0.2\text{ mm}$ ，电压 85 kV ，电流 6 mA ，扫描范围覆盖缺牙区上下颌骨及对颌

牙；扫描前清洁患者口腔，采用头枕与咬合垫固定体位，避免扫描过程中头部移动；扫描后由2名放射科医生共同审核图像质量，若存在伪影或解剖结构模糊，需重新扫描；②提升口内扫描质量：选择扫描精度 $\geq 0.05\text{ mm}$ 的设备，扫描时采用“慢扫+补扫”策略；缺牙区扫描速度控制在 $5\sim 8\text{ mm/s}$ ，对黏膜凹陷区进行 $2\sim 3$ 次补扫；邻牙有修复体时，在修复体表面涂抹扫描辅助剂，减少反光；扫描完成后在软件中预览数据，若发现盲区或失真，及时补扫；③优化数据配准方法：采用“双基准+多标志点”配准，以邻牙牙合面3个以上解剖标志点和缺牙区牙槽嵴顶2个黏膜标志点为基准，使用ICP算法进行配准；配准后在软件中检查软硬组织对齐情况，若偏差 $>0.1\text{ mm}$ ，需重新调整基准点后再次配准。

3.2 设计与制作环节优化 ①细化设计规范：方利等^[18]通过T-Scan技术发现咬合异常易致骨吸收，提示设计时需整合该技术优化咬合参数，提升长期精度；制定种植方案设计checklist，包括骨安全距离（上颌窦、下颌神经管）、种植体规格、咬合关系适配性、修复空间预留4项核心指标，设计完成后由种植医生与修复医生共同审核；导板结构设计需满足“固位力测试”要求；通过软件模拟导板佩戴后的固位力，固位力 $<5\text{ N}$ 时需优化环抱结构；引导孔设计采用“公差补偿”；考虑材料收缩率，确保最终导板引导孔与种植体精准匹配；②优化3D打印与后处理流程：统一打印参数：层厚 $0.05\sim 0.1\text{ mm}$ ，打印速度 $60\sim 70\text{ mm/h}$ ，光照强度 90 mW/cm^2 ，曝光时间 6 s/层 ；后固化采用“阶梯升温”： $25\text{ }^\circ\text{C}\rightarrow 40\text{ }^\circ\text{C}$ （保温 10 min ） $\rightarrow 60\text{ }^\circ\text{C}$ （保温 20 min ），紫外线照射 30 min ；制作完成后采用三坐标测量仪检测导板关键尺寸，偏差超 0.1 mm 时重新制作。

3.3 临床操作环节优化 ①规范导板就位流程：一项奥齿泰种植体研究显示^[19]，美学效果与种植位置精度直接相关，进一步强调规范就位以保证位置精准的重要性；术前清洁牙齿，若黏膜肿胀需提前 3 d 进行抗炎治疗；导板佩戴时采用“逐步贴合”法；先贴合邻牙，再轻压黏膜吸附部分，确保导板无翘动；对复杂病例，采用光固化树脂将导板临时粘接于邻牙，避免术中移位；②术中动态调整：王彦梅等^[20]同期永久基台研究表明，其疗效依赖术中精准定位，需通过动态调整确保种植体位置适配基台需求；术中密切观察骨条件



变化,若发现骨塌陷或植骨后形态改变,需通过CBCT术中扫描重新评估种植位置,必要时调整导板引导孔;种植体钻入时控制转速与压力,避免高速高压导致导板变形或骨组织损伤;术后立即拍摄CBCT,检测种植体位置偏差,若偏差>0.6 mm,需制定后续调整方案,如修复体调磨或种植体取出重植。

3.4 人员培训与质量管控 ①建立多学科培训体系:对种植医生开展“数字化技术+解剖学”培训,掌握CBCT数据解读、种植方案设计原则;对技术人员开展“软件操作+3D打印技术”培训,熟悉设计软件功能与打印设备维护;定期组织病例讨论会,分析精度偏差案例,总结优化经验;②完善质量管控体系:建立“数据-设计-制作-操作”全环节质量检查表,每个环节需2人以上审核签字;引入第三方检测机构,定期对导板精度进行抽检,检测结果纳入技术评估;建立病例数据库,记录患者基本信息、技术参数、精度数据,通过大数据分析挖掘精度优化规律。

4 总结

数字化导板通过“数据驱动精准定位”,为单颗后牙缺失种植提供了标准化技术方案,其在种植体三维位置控制、咬合关系适配、骨结合稳定性方面的优势突出,已成为口腔种植精准化发展的核心技术之一。系统分析精度表现、影响因素与优化策略,可明确数字化导板精度控制的关键靶点。数据采集需确保“完整精准”,设计环节需实现“解剖与功能协同”,制作过程需严控“参与与材料”,临床操作需规范“就位与调整”,四者协同才能最大化发挥数字化导板的技术价值。未来数字化导板技术将向“智能化+个性化”方向发展,随着技术持续迭代,数字化导板将进一步提升口腔种植的精度与效率,为更多单颗后牙缺失患者提供高质量的种植修复服务,推动口腔种植学科向“精准医学”方向迈进。

[参考文献]

[1]曹洵宁,李怡,吕季喆,等.可摘局部义齿基牙导平面预备的数字化技术进展[J].现代口腔医学杂志,2025,39(5):397-401.
 [2]余涛,王兴强.数字化多源数据融合驱动全口种植修复的精准化诊疗技术研究进展[J].现代医学与健康研究电子杂志,2025,9(18):134-138.
 [3]吴轶群,汪文颖.无牙颌数字化种植外科进展[J].口腔疾病

防治,2025,33(10):819-826.
 [4]巫可凡.种植义齿手术方式对种植精度影响的网状Meta分析及病例分析[D].十堰:湖北医药学院,2025.
 [5]徐廷国.数字化口腔种植治疗现状与研究进展[J].现代医学与健康研究电子杂志,2025,9(10):30-33.
 [6]王献利,王国庆,李芳,等.数字化导板联合具有引导作用的扩孔钻在倾斜种植中的精度研究[J].中华老年口腔医学杂志,2025,23(3):192-197.
 [7]刘琛.口腔手术机器人实现颌骨复杂形态精准磨削的功能开发及其应用基础研究[D].西安:中国人民解放军空军军医大学,2025.
 [8]刘凯凯.数字化导板辅助拔除低位水平下颌阻生第三磨牙的临床研究[D].十堰:湖北医药学院,2025.
 [9]何冰洋,武者,姚丽慧,等.高精度3D整合数字化种植导板对颌颌畸形牙列缺损患者口腔种植修复效果、咬合关系及咀嚼功能的影响[J].海南医学,2025,36(7):986-991.
 [10]杜欣,温奥楠,高梓翔,等.双约束分体式正畸微螺钉导板的数字化设计与制作方法[J].华西口腔医学杂志,2025,43(4):603-610.
 [11]李梦瑶,冯旭,郑博文,等.口腔正畸微种植体支抗的数字化设计与应用[J].中国实用口腔科杂志,2025,18(2):142-146,152.
 [12]刘自华,卜令同,吴孟轩,等.数字化种植导板在全口种植手术及修复中的应用进展[J].口腔医学,2025,45(3):161-167.
 [13]周琪,任禹熙,于宏博,等.一种基于榫卯结构的种植数字化导板[J].中国科技信息,2025(6):105-107.
 [14]杨伟.数字化技术在复杂重度脊柱畸形中的临床应用研究[D].银川:宁夏医科大学,2025.
 [15]龙晓婕,潘小波,唐增斌,等.数字化组合导板在无牙颌种植与修复中的研究进展[J].中华老年口腔医学杂志,2025,23(1):47-52.
 [16]信琪,王宏.改良粘接固位对单颗后牙种植患者的满意度影响[J].中国城乡企业卫生,2023,38(7):27-29.
 [17]杨成栋,向旭东.牙龈生物型对上颌单颗后牙种植体周围骨组织、软组织健康及龈乳头美学效果的影响[J].上海口腔医学,2024,33(3):290-294.
 [18]方利,陈梓俊,王宇曦,等.T-Scan分析单颗后牙种植修复体咬合对垂直骨吸收的影响[J].口腔医学研究,2024,40(4):349-355.
 [19]张宁,姚希,杜文华,等.上前牙区延期即刻种植后的骨量变化及美学影响[J].中国组织工程研究,2015,19(29):4672-4676.
 [20]王彦梅,何家才.同期永久基台用于单颗后牙种植修复35例短期疗效观察[J].上海口腔医学,2024,33(2):156-159.

收稿日期: 2025-10-21 编辑: 扶田