

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2026.12.047

口腔美学区数字化即刻种植修复的临床研究进展

童高红, 罗志晓

(湖北医药学院附属太和医院口腔医学中心, 湖北 十堰 442000)

[摘要] 上颌前牙美学区特殊的软硬组织解剖结构, 天然薄侧骨板和薄弱牙龈易引起术后骨吸收、龈乳头退缩等美学并发症, 而传统自由手即刻种植存在术前评价粗糙、术中定位不准确、术后软组织塑形不足等固有缺陷, 难以满足前牙区“红色美学”高精度修复的需求。鉴于此, 本文以美学区即刻种植术中的解剖风险和传统手术方式的不足为切入点, 系统梳理口腔美学区数字化即刻种植修复在临床应用中的优势和精度差异, 并对人工智能、软组织实时动态监测等前沿技术的发展趋势进行预测, 以期为美学区即刻种植术的精准化、标准化提供理论依据。

[关键词] 口腔美学区; 数字化; 即刻种植修复

[中图分类号] R783

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2026)12-0190-05

Clinical Research Progress of Digital Immediate Implant Restoration in Oral Aesthetic Zone

TONG Gaohong, LUO Zhixiao

(Stomatological Medical Center of Taihe Hospital Affiliated to Hubei University of Medicine, Shiyan 442000, Hubei, China)

[Abstract] The special soft and hard tissue anatomical structure of the maxillary anterior aesthetic zone, characterized by naturally thin lateral bone plates and delicate gingivae, makes it prone to postoperative complications, including bone resorption and gingival papilla recession. Conventional freehand immediate implant has inherent limitations including crude preoperative evaluation, inaccurate intraoperative positioning, and insufficient postoperative soft tissue shaping, which fail to meet the high-precision requirements of “pink esthetic” restoration in the anterior tooth region. In view of the above problems, this paper starts from the anatomical risks during immediate implant in the aesthetic zone and the deficiencies of traditional surgical methods, systematically summarizes the clinical advantages and accuracy differences of digital immediate implant restoration in the oral aesthetic zone, and predicts the development trends of cutting-edge technologies such as artificial intelligence and real-time dynamic soft tissue monitoring, so as to provide theoretical evidence for the precision and standardization of immediate implant in the aesthetic zone.

[Key words] Oral aesthetic zone; Digitization; Immediate implant restoration

口腔美学区(oral aesthetic zone)是指上颌前牙区, 种植修复中不仅要恢复正常的咀嚼功能, 还要考虑牙龈形态、龈缘弧度、冠形等软硬组织的美学效果, 是口腔种植领域的难点^[1]。即刻种植修复可在拔除患牙后同时进行种植体的种植和修复, 既能缩短治疗时间, 又能保持原有的软组织形态, 符合前牙区微创美学修复的理念^[2]。由

于解剖条件所限, 传统即刻种植术中软硬组织的不可逆重建一直是临床美容修复中的难点问题。以三维扫描、计算机辅助设计、手术导航为基础的数字化口腔技术, 可突破传统的以经验为基础的牙科诊疗壁垒, 实现以修复为导向的全过程精确控制。本文对美学区即刻种植术的解剖学特点和传统手术方式的不足进行系统梳理, 总结数字

第一作者: 童高红(1997.7-), 男, 湖北随州人, 硕士, 住院医师, 主要从事牙周病学方面研究

通讯作者: 罗志晓(1964.8-), 女, 湖北十堰人, 硕士, 主任医师, 主要从事牙周病学方面研究

多模态术前规划、术中导航、种植机器人和数字化即刻修复等前沿技术在临床上的应用进展,分析各种数字化技术的优缺点和适用场景,以期为美学区种植修复方案优化、提高种植精度和远期美观效果,以及数字化种植临床诊疗的标准化提供理论依据。

1 美学区即刻种植解剖特殊性与传统术式固有缺陷

1.1 美学区专属解剖风险特征

1.1.1硬组织解剖风险:薄唇侧骨板生理吸收规律上颌前牙美学区唇侧主要由束状骨构成,天然牙周韧带为其提供持续的血液供应和力学刺激,唇骨板边缘2 mm内普遍存在天然薄骨解剖结构,多数个体在该范围内骨板厚度达不到维持骨重建稳定性的临界阈值1.5 mm。当患牙拔除后,牙周韧带复合体被完全切断,束状骨丧失了特定的营养供应,即刻植入无法逆转束状骨再生过程。在术后4~6 d内,唇侧骨板供血中断,破骨细胞在骨板内外表面大量定植。组织学观察发现^[3],方骨板在垂直方向和水平方向上同步吸收,连续性破坏后,容易产生开孔或开裂类骨缺损,这种骨型塌陷直接改变了基底软组织的支撑结构,是导致美学失效的核心硬组织因素;单纯的骨移植只能补偿部分水平的骨量损失,而不能阻断自然吸收路径。

1.1.2软组织解剖风险:牙龈乳头退缩与穿龈轮廓丢失 美学区相邻的齿龈乳头依靠自身的骨嵴和牙周纤维束构成三维支持,而齿龈乳头的血液供应则来自邻近的牙周膜微血管网络,在自然牙被拔掉后,周围的骨嵴也会随之产生生理重塑,从而导致了基底高度的持续降低^[4]。如果即刻种植窝跳距大于2 mm,由于缺少稳固的软组织连接,使得牙周组织不能与种植体相匹配,只能在种植体周围形成无规则的结缔组织,导致牙周软组织的不平衡,进而致使龈乳头退移。穿龈外形以冠部1 mm为关键区的软组织充盈所维持,而薄龈生物型患者粘膜固有层结缔组织的厚度小于1 mm,种植体金属基底容易与粘膜发生色差;如果暂时性修复不能同步维持浅沟支撑形态,关键区软组织持续塌陷,完整的扇贝形穿龈形态不可逆丧失,龈缘高度和龈乳头充盈度

两项核心指标将出现持续性下降,且软组织重建完成后难以二次修复重建。

1.2 传统自由手即刻种植修复的临床局限

1.2.1术前评估局限:二维影像无法量化软硬组织缺损 常规的根尖片、全景片等二维图像只能反映齿槽骨的纵向高度,而颊、舌骨壁的厚度及邻骨嵴的三维形貌均有一定的叠加和几何放大变形,且并行投影下的图像仍然有0.8~1.2 mm的线性误差,无法准确区分薄骨板、开窗缺损和齿槽突跳间隙的界限^[5]。二维图像没有定量的体积,无法对2 mm内的病变区域进行分层测量,导致薄龈和厚龈的生物学类型只能通过目测来大致判定,而不能达到规范化的危险等级。由于骨缺损和软组织下陷在三维空间内相互关联,且由于缺乏横向解剖特征,导致术前对术后唇侧骨开裂、龈缘退缩的危险范围预测困难,只能依赖医生的经验估计骨增量和软组织移植材料的使用,易造成材料增量不够或过量,造成术中骨板损伤和软组织塌陷等问题,也很难制定基于修复引导的精确治疗方案。

1.2.2术中操作局限:三维位置偏差无法规避 目前,常规的自由手种植体植入过程依赖医生的触觉和二维图像,缺乏三维立体的限制,植入体的入牙点、根尖点和轴向角都容易发生多维位移^[6]。若种植体的边缘偏向于嘴唇一侧,则可能会对薄唇骨形成更大的压力,从而加快骨质的吸收;若腭侧偏斜,将导致邻近的齿龈乳头失去支持;若植入深度不当或软组织厚度不足,损伤穿龈软组织连接,造成基台暴露,引起软组织炎症。由于缺乏稳固的骨参考标记,且在进行扩孔时,难以对三维坐标进行及时修正,导致定位误差发生后,无法在保留残唇骨的情况下对植入部位进行微调,从而增加了术后骨缺损及软组织美学破坏等不可逆性并发症的发生风险。

1.2.3修复阶段局限:临时修复体无法即刻塑形软组织 传统自由手即刻种植术后的临时性义齿大多在术中进行简单调整,且缺少术前预先设定的齿龈线形状,只能参考自然牙齿的形状进行大致塑形,无法在1 mm关键区和次关键区上设置分层的浅凹支撑形态。暂时性义齿的位置定位准确性差,边界密合丢失容易造成持续的软组织力学激

励,且组织表面未能达到0.8 mm渐变的软组织支持层,所以在早期很难对龈乳头、唇侧龈缘进行渐进的生物诱导^[7]。目前,即刻种植术后软组织正处于动态重建窗口期,而常规的暂时性义齿不能实现对龈沟突和组织间距的连续微小调节,只能等到软组织萎缩再进行第二次整形,错失了4周的最佳整形时机。临床上缺乏及时的软组织支持,导致相邻齿龈乳头迅速坍塌,且唇侧穿龈线过早形成凹入缺陷,永久性地修复无法完全恢复自然牙齿原有的粉红色软硬组织。

2 口腔美学区数字化即刻种植修复的临床应用

2.1 术前多模态数据融合:修复驱动下的个性化种植方案设计

2.1.1 CBCT+口内扫描+面部三维扫描多数据配准技术 针对美学区软硬组织一体化精准评价的单一影像学方法,以CBCT、口内光扫描和面部三维扫描为手段,建立从颌骨内部解剖结构-口腔软组织-软组织形态三维立体模型,重构美学种植术前评价体系。CBCT能精确显示牙槽骨骨厚、骨密度、根尖区病变范围和鼻底解剖界限,量化拔牙窝唇侧骨板缺损的程度,避免术中隐性骨损害的发生^[8]。通过口内光学扫描,获得齿龈、龈沟等无畸变的三维形态,还原真实的软组织解剖形态;通过3D扫描获取患者的静态笑线、唇线关系和面面对称度信息,实现口腔种植修复和面部整体美观的统一^[9]。在此基础上,基于三维空间坐标系的三维立体匹配方法,通过对三类数据的精确匹配,可消除图像重叠、扫描失真等误差,彻底告别传统的经验式评估方法,实现“骨组织-软-咬合-美学”四位一体的术前可视化预测,为基于修复导向的种植方案设计提供数据支撑。

2.1.2 数字化虚拟排牙与种植体三维位置 预设标准以“修复优先”为核心理念,先完成虚拟诊断和修复体形态设计,再逆向推演最优三维植入位置,改变传统“以骨状态”为核心的“被动”设计模式。临床应用中,可建立口腔种植体三维安全植入阈值:种植体轴向偏向腭部 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,避免唇侧骨板应力集中;种植体肩台距龈缘根部1 mm,与自然牙的生物宽度相匹配;唇侧应保留至少2 mm的间隙,以保证足够的软组织重建和

骨增生性手术^[10]。并采用数字仿真技术,对牙体预备过程中剩余牙体组织的力学承载能力进行自动测量,对牙体预备过程中牙体组织的破坏风险进行预判,实现对牙体穿龈形态、冠根比和咬合接触位点的同步匹配^[11]。这一设计模式可实现术前手术风险预测、修复美学效果预测和咬合生物力学评估,使术中手术方案与术前计划完全吻合,大大提高美学种植手术的可复现性和可控性。

2.2 术中数字化导航系统分类及临床精度对比

2.2.1 静态计算机辅助种植导板(s-CAIS) 基于术前数字化规划数据,采用3D打印技术制备个性化种植引导板,利用引导板金属套限定种植窝的位置、深度和轴向角,是目前国内口腔机构常用的数字化手术导航方案^[12]。根据固位方式,可以将其分为3种:牙支撑式、粘膜支撑式和骨支撑式。其中,牙支撑式导板的稳定性最好,其总体误差为0.4~0.7 mm,角度偏差小于 2° ,适用于绝大多数单前牙美学即刻种植。该术式能最大限度地保持牙龈原有的血供和软组织附着,降低术后牙龈萎缩的几率^[13]。然而,这一技术有其固有的局限性:导板是预先预制的静态结构,不能适应手术过程中突然出现的骨裂、粘膜移位等动态变化;同时,多步数据配准和导板置入缝隙导致的系统误差累积,限制了其在复杂美观骨缺损修复中的应用。

2.2.2 动态计算机辅助种植导航(d-CAIS) 采用动态计算机辅助种植术,通过光学实时跟踪和定位系统,可实时获取患者颌骨和手术器械的空间坐标,并对手术路径进行可视化对比,实现对患者头部微动、手操作偏差等造成的术中误差进行动态补偿。动态导航的三维全身植入误差小于0.4 mm,角度误差小于 1° ,整体定位精度优于静态引导^[14]。与静态导航相比,动态导航不需要预先制作引导板,在手术过程中可以根据拔牙窝的真实形态实时调整种植方案,具有更大的灵活性,特别适合于高风险、复杂的美学种植。但其临床缺点也很明显,需要专业的技术人员来进行设备的校准、操作过程的冗长、设备的购置和维护费用较高,还很难在目前的基层医疗机构推广应用^[15]。

2.3 口腔种植机器人系统:全自动精准种植前沿

技术 采用手术前三维规划、光学实时跟踪和多自由度机械臂执行等方法,可实现种植窝制备、植入全过程的全自动无人操作,消除操作人员手抖、视野遮挡等人为误差,是当前数字种植领域的前沿技术。王晔等^[16]研究发现,在机器人动态导航系统辅助下即刻种植手术中,可有效提升前牙区美学疗效,临床应用中可根据种植位点进行精度标准的定制。同时,白银等^[17]研究亦发现,在前牙区牙缺失治疗中,口腔手术机器人辅助即刻种植可有效缩短手术时间,提高种植精度和美学效果,且治疗安全性佳,可有效提高患者满意度。口腔种植机器人可达到亚毫米级精度,并能完美复刻术前所有数字化计划参数,以满足美学区对高精度种植修复的需求。然而,该技术在临床上还存在着明显的缺陷:仅能识别静态的硬组织解剖数据,不能感知术中牙龈软组织的弹性变形和位移,无法应对术中突发的骨缺损、粘膜撕裂等突发事件的自主应变能力,且设备成本高、治疗成本高,目前只在口腔专科医院进行临床试验,暂时还不具备普及的条件。

2.4 术后即刻数字化临时修复体一体化制作与软组织塑形机制

2.4.1 术前预成即刻临时冠的临床优势

采用数字化技术,通过计算机辅助设计,可在术前完成全冠修复,在术中拔除种植体后,即可直接就位,避免了复杂的口腔整形、反复修整等过程,缩短了手术时间,减少了对软组织的额外伤害。冯爱菊等^[18]在研究中发现,在上颌前牙区种植手术中,计算机辅助的国产六维数字化导板辅助种植修复,可有效简化手术流程,缩短手术时间,进而提升种植精度和美学效果。术前预成即刻临时冠的核心价值是:精确复刻自然牙的渐进穿龈轮廓,把握术后4~8周软组织愈合定型的黄金时期,为龈缘边缘、邻面牙龈乳头提供持续个性化的被动支撑,阻断软组织的自发塌陷和退缩过程,主动引导牙龈沿预设形态完成重建。在此基础上,将修复体边缘达到微米级别,降低菌斑定植,减少种植体周围黏膜炎的发生。与传统人工临时冠相比,数字预成型临时冠能更好地保持牙龈生物学形态和龈乳头饱满度,为实现二期全瓷修复打下坚实的美学基础。

2.4.2 即刻负荷的生物力学安全边界

美学区即刻种植即刻加载的生物力学风险较大,种植体-骨界面的过度微动可能阻碍骨整合进程,导致边缘骨吸收。目前国际上统一的循证诊断标准是:种植体术后初期稳定度 $\geq 35 \text{ N} \cdot \text{cm}$,术后唇侧皮质骨板完整无断裂,患牙未发生化脓性牙周和根尖炎症;咬合面的设计要求完全消除侧方的咬合力和早期接触,仅保留很小范围的正中接触^[19]。采用数字仿真技术,可精确模拟患者术后咬合应力分布情况,将种植体-骨界面微动值严格控制在 $100 \mu\text{m}$ 内,即为骨整合发生的关键安全值。针对薄龈生物型和骨量临界值低的高风险患者,可采用数字系统预判应力集中区,适当推迟加载时间,以实现即刻修复美学要求和种植体远期骨整合稳定性的平衡。

3 未来展望

现阶段,美学区数字化即刻种植技术尚存在软组织动态变形预测不足、复杂骨缺损修复标准不高、诊疗费用高、人机交互智能化程度低等问题,其未来的研究方向将是动态的、智能的、集成的、再生化的。如人工智能算法的应用能够自动识别牙龈生物学类型、骨缺损分型和软组织萎缩风险,实现一键生成个性化种植修复方案,降低人工设计误差^[20]。通过实时动态的软组织动态采集技术,可实现对口腔粘膜移位和软组织变形的实时监控,并对种植路径和修复体进行动态调整。同时,“一站式”椅边数字系统的应用,将进一步简化诊疗过程,形成“扫描-设计-手术-修复”的闭环体系,推动美学区即刻种植技术由精准手术向可预测、可复刻、无创化的标准化诊疗方向发展。

4 总结

将数字化技术应用于术前评估、术中导航、术后软组织塑形等全过程,可有效弥补传统即刻种植方式三维定位不足和软组织诱导缺陷,减少前牙美域种植术后软硬组织萎缩风险,提高种植修复的预测性和美学修复度,促进口腔种植技术由经验手术向精准修复转变。未来,可结合人工智能技术和软组织实时动态感知技术,建立“一站

式”的闭环数字化诊疗系统,促进口腔美学种植诊疗向无创、智能化和标准化方向发展。

[参考文献]

- [1]杨昭霞,李邈.前牙美学区即刻种植修复要点及临床观察[J].中国医师杂志,2023,25(12):1854-1858.
- [2]刘卿,林勇.上前牙即刻种植修复的美学效果及其对骨量与牙周组织健康的影响[J].中国口腔种植学杂志,2025,30(6):587-593.
- [3]王京京,许雨浓.上颌前牙美学区牙列缺损患者早期种植失败的影响因素分析[J].现代医学与健康研究电子杂志,2025,9(17):112-115.
- [4]李熠,陆丞,邱立新.美学区即刻种植长期效果的影响因素及临床决策[J].口腔疾病防治,2025,33(9):719-731.
- [5]陈红萍,黄继标.对比分析基于CBCT的双尖牙区即刻种植和位点保存延期种植对牙周炎患者种植牙治疗效果[J].吉林医学,2025,46(10):2447-2450.
- [6]郑军,高文冰,周文,等.CBCT 3D重建下纯钛切削桥架联合二氧化锆冠在即刻全口种植即刻修复中的应用[J].中国美容医学,2025,34(4):147-150.
- [7]肖菲,刘云,关振群.上颌前牙单牙即刻种植后即刻修复和延期修复对种植体周围软组织美学效果的影响[J].中国美容医学,2025,34(10):149-153.
- [8]沈洁,陈志敏,周君,马三成.口内扫描取模结合CBCT在前牙美学区单颗牙缺失种植修复中的应用[J].中国美容医学,2025,34(12):144-147.
- [9]王萌,金泽高,靳勇勇.3D打印应用于口腔种植牙技术的效果[J].临床医学,2025,45(7):27-30.
- [10]孙挺,汤志军.Straumann种植体在上颌前牙区即刻种植修复中的应用效果[J].医学临床研究,2026,43(3):492-494.
- [11]张维丹,汪婷,刘玉洁,等.3种数字化技术在前牙美学区种植中的精度分析[J].实用口腔医学杂志,2024,40(5):691-697.
- [12]阮慧,张昊,庞杰.数字化导板在美学区即刻种植中的应用效果研究[J].陕西医学杂志,2026,55(2):225-229,234.
- [13]蒋忠伟,周红丽,杨贝宁.数字化种植导板在美学区即刻种植中的精度研究[J].中国口腔种植学杂志,2023,28(5):377-382.
- [14]罗雨商,王青.动态导航系统在上颌骨骨量不足的口腔种植手术中的应用及展望[J].中国医疗设备,2025,40(10):155-160,184.
- [15]孙思敏,张森林.运用动态导航种植计划预成美学区临时固定修复体的临床研究[J].临床口腔医学杂志,2025,41(9):530-535.
- [16]王晔,于森,丁玉琳,等.基于种植机器人动态导航系统辅助下即刻种植体三维位置精度与红色美学指数关系[J].中国医学装备,2026,23(3):43-47.
- [17]白银,马传强,龚承基,等.口腔手术机器人辅助下即刻种植手术治疗前牙区牙缺失的效果观察[J].机器人外科学杂志(中英文),2025,6(8):1390-1394.
- [18]冯爱菊,孙兴坤,周玉,姜雅萍.计算机辅助的国产六维数字化导板在上颌前牙区种植手术中的应用研究[J].口腔材料器械杂志,2026,35(2):74-78.
- [19]张邃,何东宁.上前牙美学区即刻种植的研究现状[J].口腔疾病防治,2020,28(5):331-335.
- [20]齐志强,李雪寒,王雪雅,等.自主式口腔种植机器人系统即刻与延期种植的精度对比分析[J].中华口腔医学杂志,2026,61(3):395-400.

收稿日期: 2026-6-7 编辑: 扶田