

数字化在根盾技术中的应用及研究进展

郑明昕^{1,2} 肖婷^{1,2} 刘玉洁^{1,2} 陆洁^{1,3} 李明^{1,3}

1. 湖南中医药大学口腔医(学)院 长沙 410208;

2. 长沙市口腔医院口腔修复科 长沙 410004;

3. 长沙市口腔医院特诊中心 长沙 410004

[摘要] 根盾技术是一种通过保留牙根颊侧部分来减少牙槽骨吸收的技术,其不仅能够有效降低骨吸收,促进软硬组织的健康恢复,而且能提升美学效果,从而提高患者满意度。然而,在根盾技术的临床实施过程中,仍面临数据精准性不足、根盾预备及修整实时跟踪困难以及术前术后评估不准确等问题。这些挑战亟需数字化技术的支持。数字化技术的引入能够显著提升根盾技术的效率、精准度、安全性及美学效果。本文旨在综合分析数字化技术在根盾技术中的应用及其对临床效果的影响。

[关键词] 数字化技术; 根盾技术; 即刻种植

[中图分类号] R783.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026133



本文链接

OSID 码

Application and research progress of digitization in socket shield technique

Zheng Mingxin^{1,2}, Xiao Ting^{1,2}, Liu Yujie^{1,2}, Lu Jie^{1,3}, Li Ming^{1,3}

1. School of Stomatology, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China; 2. Dept. of Prosthodontics, Changsha Stomatological Hospital, Changsha 410004, China; 3. Special Diagnosis Center, Changsha Stomatological Hospital, Changsha 410004, China

Supported by: University Joint Fund Project of Department of Science and Technology of Hunan Province (2025JJ90065)

[Abstract] The socket shield technique (SST) reduces alveolar bone resorption by preserving part of the buccal root. It effectively minimizes bone resorption, promotes healthy recovery of soft and hard tissues, and enhances aesthetic outcomes to improve patient satisfaction. However, its clinical implementation faces challenges like insufficient data accuracy, difficulties in real-time tracking of shield preparation and trimming, and inaccurate pre- and post-operative evaluations. These issues urgently require support from digital technologies, which can significantly boost SST's efficiency, precision, safety, and aesthetic results. This paper aims to comprehensively analyze the application of digital technologies in SST and their effect on clinical outcomes.

[Key words] digital technology; socket shield technique; immediate implant placement

2010年, Hürzeler等^[1]研究证实:种植体植入过程中,保留颊侧牙根片段,不会干扰骨整合过程,且未观察到明显炎症或骨吸收。自此,根盾技术被引入口腔种植领域,成为美学区种植治疗

的一种新选择。研究^[2-3]表明,与即刻种植及牙槽保存术相比,根盾技术在中短期临床应用中优势显著:可有效维持牙槽嵴唇侧骨量,稳定种植体边缘骨组织,并实现更理想的软组织美学效果。然而传统情况下^[4],根盾技术由自由手操作,高度依赖术者经验,存在诸多弊端。一方面,操作无量化标准,仅凭手感与判断,长时间手术易疲劳,致操作一致性和精确性差,不同医生、同一医生不同次手术的操作结果差异大,影响根盾制备质

[收稿日期] 2025-09-12; **[修回日期]** 2026-04-14

[基金项目] 湖南省科技厅高校联合基金项目(2025JJ90065)

[第一作者] 郑明昕, 硕士, Email: 20243578@stu.hnucm.edu.cn

[通信作者] 李明, 教授, 博士, Email: liming@hnucm.edu.cn

量与后续疗效。自由手预备根盾剩余牙根宽度仅2.00 mm, 显著小于2种导板组(2.655 mm和2.460 mm); 残留牙根长度达13.880 mm, 显著多于导板组(5.585 mm)^[5]。导板组在种植体偏移量、牙周指数、唇侧骨板吸收量及并发症发生率均显著低于自由手组, 粉白色美学评分及总满意度显著高于自由手组^[6]。另一方面, 无精密仪器辅助定位, 难以应对复杂牙根形态, 易出现牙根磨除量不当, 影响根盾稳定性, 增加二次手术风险。此外, 口腔操作空间狭小、视野受限, 易损伤邻近组织, 导致种植体植入方向不良、骨开窗等并发症。有学者对128例患者进行回顾性研究, 结果显示: 根盾技术并发症总发生率为19.5%; 182例患者的10年回顾性研究, 结果显示: 根盾技术并发症总发生率为11.5%。牙片暴露为最常见的并发症, 发生率约10%; 文献^[7]系统回顾显示: 27.27%报道骨结合失败, 为最严重并发症。数字化技术融入口腔种植后, 数字化导板、动态导航技术与根盾技术的融合, 可精准规划并实时引导手术路径, 解决传统操作中的精度难题, 为美学区种植提供更优方案。

本文系统综述了数字化导板导航在根盾技术中的应用, 梳理了其研究现状、应用价值与发展前景, 阐明该方向的核心内容与实践意义。

1 根盾技术的概论

1.1 根盾技术的内涵

根盾技术是保留患者唇侧牙根-牙周膜-束状骨复合体形成“盾牌”样结构, 可保护唇侧骨板、抑制骨壁吸收与牙龈退缩, 且种植体与根盾间隙可形成新生骨并实现良好骨整合, 从而提升种植修复美学效果^[8]。

1.2 根盾技术的适应证及禁忌证

1.2.1 适应证

众多研究^[1,9-12]表明, 该技术适用于以下适应证: 1) 上前牙无法保留者; 2) 唇侧骨板完整, 根方骨量充足; 3) 具有正常的咬合关系, 无紧咬牙或夜磨牙等; 4) 年满18周岁, 全身状况良好, 无手术禁忌证; 5) 口腔卫生良好, 不吸烟; 6) 无严重的牙周病及根尖周炎症。

1.2.2 禁忌证

研究^[12-16]表明: 颊侧垂直向牙根折裂, 骨面或骨面下水平向折裂, 牙根有内外吸收病灶, 中度

或重度牙周病(附着丧失>3 mm)、紧咬牙或夜磨牙、骨量不足(牙根区骨长度<3 mm)、咬合异常或障碍、手术禁忌、精神疾病、凝血功能障碍、严重肝肾功能不全、恶性肿瘤、妊娠或哺乳期者禁用根盾技术。

1.3 根盾技术的技术要点

根盾制备时, 要兼顾根盾横截面形态、长度、厚度、高度及与种植体间跳跃间隙等。

1.3.1 根盾的截面形态

根盾技术保留唇侧牙根形成规则半月形根片^[17], 保护束状骨-牙周膜复合体, 维持唇侧软硬组织轮廓。罗震等^[18]将根盾制备成“C”形。Kumar等^[19]根据临床方案将根盾分为颊侧全“C”形、颊侧半“C”形根盾、近端根盾、舌腭根盾、颊侧多根盾。

1.3.2 根盾的长度

目前, 学术界对根盾长度尚无统一观点。Pozzi等^[20]聚焦于锥形束计算机断层扫描(cone-beam computed tomography, CBCT)矢状面的根盾形态, 关注根盾制备组织切除, 其推荐长度为6~8 mm。Kumar等^[19]推荐根盾长度保持在根长2/3以保证牙周组织、束骨和颊骨保持完好, 核心是保护牙周及骨组织完整性。Zhang等^[21]将11牙的区域保留长度8.45 mm根盾, 术后6个月, 11牙区域唇侧轮廓得到良好维持; 2年回访中, 根盾长度5.67 mm, 根盾被缓慢吸收。该研究为根盾长度选择提供了时间维度的参考。Trejo等^[22]将根盾设置为7~8 mm, 并表明由于各患者的牙齿牙槽解剖结构不同, 理想根盾的尺寸各不相同。

1.3.3 根盾的厚度

根盾厚度是根盾技术成败的关键。Tan等^[23]聚焦于骨吸收程度, 根盾厚度0.5~1.5 mm时, 骨吸收与厚度呈负相关。陈光能等^[24]发现: 2.0 mm厚根盾, 可降低暴露、折裂、移位的风险。Shinde等^[25]采用有限元法分析即刻种植中根盾应力分布, 结果显示: 根盾厚度在0.5~2 mm内增加时, 牙根段及骨组织内的应力与主微应变均随之增大。

1.3.4 根盾的高度

一些学者^[1,26]建议: 根片高度设为骨面上1 mm。Mitsias等^[27]认为: 根盾高于牙槽嵴顶0.5~1 mm, 能支撑并封闭唇侧软组织。研究^[12,18]表明: 根盾高度与牙槽嵴顶平齐, 可减少排斥反应、暴露风险。Tan等^[23]认为: 根盾高度对牙槽骨吸收影响不大, 0.5~1.5 mm厚度才是关键。

1.3.5 跳跃间隙

学术界对根盾与种植体间隙尚无统一观点,主要分歧在于间隙大小、植骨材料、临床观察重点。Huang等^[28]指出:间隙填充骨替代材料,避免接触致根盾移位、缺血性坏死。Pozzi等^[20]提出:1.5~2 mm间隙针对性填充; > 2 mm时,需填骨增量材料及可吸收异种胶原基质。郑锦川等^[29]认为:在跳跃间隙内植骨可避免根片损伤移位。

1.4 根盾技术的并发症

根盾技术易出现感染、排斥反应、根盾吸收和暴露等并发症^[30-32]。数字化技术的引入,可有效降低并发症,提升手术安全性:数字化导板能术前精准规划根盾位置、角度及高度,术中可控植入,从源头减少暴露风险;动态导航可实时监控种植体与根盾位置,精准控制根盾植入深度与轴向,减少骨开窗、骨开裂及位置偏差等并发症。在临床操作中,若导板就位不良,可清理软组织干扰、核对术前设计与口内解剖标志、调整术区骨面或更换分段式导板等应急处理;动态导航出现偏差时,应暂停操作,重新配准校准,必要时转为直视操作,保障手术精度与安全性。

2 数字化根盾技术

自由手预备根盾面临诸多挑战^[15,18]:操作复杂,根盾片易移位、松动、脱落;技术敏感性高,难控制牙根磨除量,术者须反复检查分根深度和角度;受术野及牙根解剖影响,易磨除过多,引发骨开窗、损伤邻牙等并发症;若车针过于锋利,易损伤唇侧骨板及牙龈,使根盾技术成为一项较难技术。导板辅助根盾技术^[21,32],精准规划制备路径,降低术者经验依赖,操作标准化,新手也能快速上手,简便易行。动态导航灵活多变,无需大开口度,术中实时调整操作路径,适配不同复杂病例^[20,33]。相较于传统自由手操作,各类数字化技术为根盾制备带来新突破,但也各有利弊^[34]。

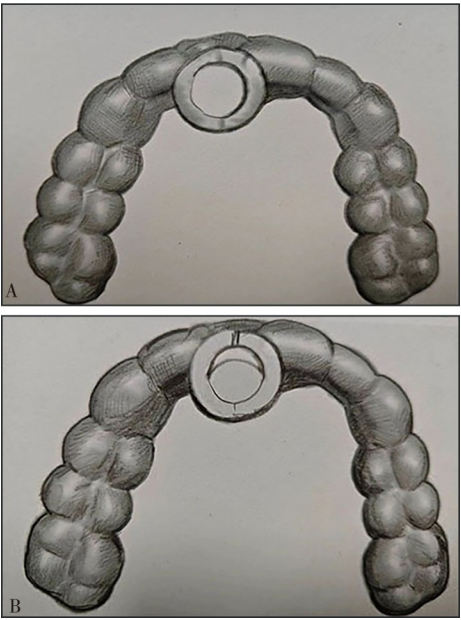
2.1 导板辅助根盾技术

1987年,导板为数字化口腔种植打下基础,如今依托成熟的CBCT,计算机辅助设计和计算机辅助制造(computer aided design and computer aided manufacturing, CAD/CAM)及3D打印设备,导板持续改良。数字化技术能采集患者口腔组织信息,模拟修复效果,确定三维位置,3D打印制作导板^[35-37]。导板辅助根盾技术,可精准规划

路径,降低对术者经验依赖,流程标准化易于掌握。但导板占据一定空间,张口度小时导板难以就位;且术中若与预期不符时,无法实时调整修改。导板还会阻碍冷却水流动,增加组织灼伤风险,不利于术后愈合。

2.1.1 垂直向导板引导根盾预备

导板可用于切割根盾。de Mello Vasconcellos等^[5]的体外研究针对11牙设计2种垂直向导板:A组导板(如图1A,参考de Mello Vasconcellos等^[5]研究绘制的A组导板示意图)套筒位于颊侧,B组导板(如图1B,参考de Mello Vasconcellos等^[5]研究绘制的B组导板示意图)在套筒基础上于颊侧增设定向狭缝。操作如下:30个模型均分至徒手操作、A组导板、B组导板。用锥形末端钻石钻头切割11牙冠,保留约2 mm龈上牙根;再用超声波切割刀,借助导板进行切割。得出结论为导板选择需结合牙医技能与切割精度:A组导板更易操作、切割便捷,但存在倾斜风险,适合经验丰富的外科医生;B组导板切割更精准,更适合初学者。2种导板均优于徒手操作,可简化手术并标准化保留根盾尺寸。



A: A组导板; B: B组导板。

图1 2种导板对比

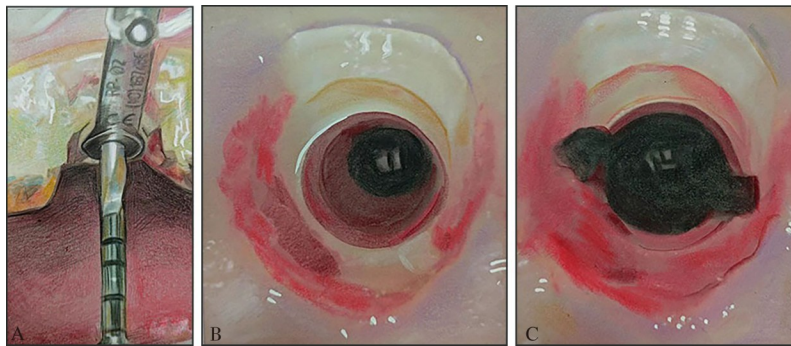
Fig 1 Comparison of two sets of guide plates

2.1.2 导板联合外科钻头预备根盾

Trejo等^[22]采用导板辅助制备根盾,通过逐级外科钻头扩孔形成根盾。根盾导板及骨质制备示意图见图2。其中,图2A为参考Trejo等^[22]研究绘

制的导板示意图, 导板套筒: 覆盖在术区淡黄色树脂导向结构, 为钻头提供精确通道。钻头位置: 中央带螺旋刃和深度标记的金属杆, 从套筒中向下延伸, 是钻孔工作端。限制挡板: 钻头手柄上金属圆盘, 用于限制钻孔深度。图2B、C为参考Trejo等^[22]研究绘制的骨质减少示意图。具体步骤: 1) 低速钻穿牙齿, 折断牙冠; 2) 根盾截骨时, 逐渐减少颊部骨质, 形成较厚的牙本质颊侧根盾层; 3) 拔除腭根前, 对牙齿进行近中、远中垂直

切开; 4) 使用专为根盾制备设计的外科钻头, 通过近远中、上下及前后方向扫动, 预备出1.5 mm宽、7~8 mm长根盾, 拔除根尖并确认根盾稳定。该病例中, 导板缩短根盾制作时间, 精准确定即刻种植位置, 简化操作流程。该导板对短根牙齿效果理想, 能辅助拔除牙齿腭侧部分并从根尖钻孔。然而针对长根牙齿, 在去除根尖及侧方牙本质、保留根盾存在一定难度, 需直视截骨以明确根尖与侧方牙本质。



A: 导板与钻头放置; B: 逐渐减少颊部骨质; C: 根片唇腭侧分离。

图2 根盾导板及骨质制备示意图

Fig 2 Schematic of socket shield guide and bone preparation

2.1.3 导板引导改良根盾预备

Zhu等^[38]提出改良根盾技术, 核心是借助导板引导环钻(如图3, 参考Zhu等^[38]研究绘制的导板示意图。导板套筒: 最上方贴合牙面的透明导向结构。环钻钻头: 套筒中央的金属柱状部件, 带刻度)钻至预定深度截骨。先用硬质合金裂纹钻, 制备近远中沟, 再将环钻嵌入沟槽, 按导板指定方向钻孔。截骨深度依牙根长度预设, 无创切除腭段后, 保留牙根颊侧, 预备好根盾。传统根盾技术存在精度欠佳、手术耗时、可预测性低等问题。改良技术通过引导环钻钻至预设深度, 提升可预测性并缩短治疗时间, 实现精准钻孔, 减少牙根活动性, 保证牙根切开处与种植体的间距均匀, 促进种植体表面均匀骨整合, 使种植体在腭部牙槽窝内获得良好的稳定性。然而该技术的长期临床成效, 仍需开展持续性追踪观察。

2.1.4 导板引导无瓣式根盾技术

Holbrook^[39]针对使用固定桥修复失败(11牙冠缺失、12—21牙为固定桥)的病例, 采用导板引导无瓣式根盾技术治疗(如图4, 参考Holbrook^[39]研究绘制的导板示意图。导板套筒: 图中导板上的白色圆柱形导向部件, 带中心孔, 用于引导种植钻头精准进入术区)。关键操作: 切开固定

桥并保留12、21牙冠, 用导板辅助根盾技术, 保留11牙根面颊侧部分, 刮除其他牙根碎片与牙胶, 即刻在舌侧放置种植体。相比计算机引导手术, 使用此导板可减少患者辐射暴露、降低成本且准确性相当; 相比翻瓣植入手术, 无瓣式手术能减轻患者疼痛, 优化种植体位置, 提升美观修复效果。



图3 导板引导环钻预备根盾

Fig 3 Preparation of socket shield with trephine guided by surgical guide

2.1.5 金属导板引导根盾预备

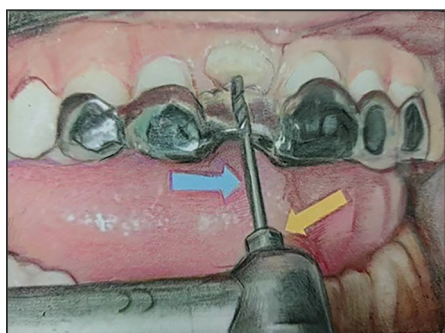
Song等^[40]对形态不规则且根尖弯曲的11牙, 设计了牙支持式钴铬合金导板(如图5, 参考Song等^[40]研究绘制的导板示意图, 钴铬导板就位): 在11牙舌侧设限制挡板, 硬质合金钻安装深度锁定环, 挡板上边缘曲线可限制硬合金钻冠根

方向移动。导板用钴铬合金制成,术中钻头按设计分离牙根至计划深度(锁定环到挡板上缘),再沿近远中方向移动钻头,将牙根分离为唇、腭侧,形成1.5 mm厚度根盾。该导板通过限制钻头在唇腭和冠根方向的移动,有助于保持牙龈边缘水平和轮廓。术后3年CBCT复查,11牙唇侧骨板厚度维持在2.8 mm,种植体周围软组织质量良好,11牙牙龈边缘水平和轮廓与21牙相同。改良钴铬合金导板无需根尖周X线片即可保障根盾的形态。该导板虽薄、窄,但需具备足够强度,而光聚合树脂导板无法承受高速硬质合金钻的切削与移动力,这是金属导板的独特优势。



图4 导板就位

Fig 4 Guide seating



蓝色箭头表示硬质合金钻,黄色箭头表示深度锁定环。

图5 钴铬导板就位

Fig 5 Cobalt-chromium guide in place

Chen等^[31]针对11牙折裂,治疗时先确定种植体位置,再据此确定根盾的轮廓与厚度,设计出钛根盾导板的近中端、舌侧位置,以及根盾预备所需的碳化钨器械尺寸,以制备根盾(如图6,参考Chen等^[31]研究绘制的导板示意图。导板套筒:导板中央通道,引导钻头方向。碳化钨钻头:经套筒深入种植位点,为骨预备工作端,杆部蓝环为深度标记。限制挡板:导板边缘翼板,贴合邻牙与牙龈,控制钻孔深度)。光聚合树脂难以承受碳化钨旋转器械的切削力,磨损会导致导板变形,

影响手术精准执行。而使用钛导板,术中可正确引导碳化钨旋转器械的方向和延伸范围,从而提高手术效率与安全性。然而金属导板制造成本较高,增加临床使用的经济投入,导致其尚未广泛推广。

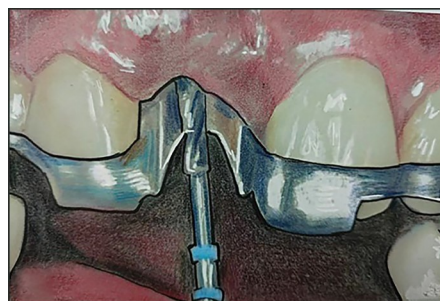


图6 钛导板引导根盾预备

Fig 6 Titanium guide-assisted socket shield preparation

2.1.6 新型双根盾导板

以往研究中^[31-32,40],导板虽能控制根盾厚度与宽度,却无法将其缩小至根盾预期计划高度。Zhang等^[21]基于体外研究,提出了新型导板,以引导根盾精确降低到牙槽骨水平。在这项研究中,设计了2个导板。第一个导板(如图7A,参考Zhang等^[21]研究绘制的导板示意图)预备根盾弧面的厚度和宽度;第二个导板(如图7B,参考Zhang等^[21]研究绘制的导板示意图)设计了一条凹槽导轨,用于引导硬质合金圆形旋转钻。通过第二个导板,旋转钻的深度可以控制,根盾可以精确地降低到牙槽骨水平。但双根盾导板制作需医生结合患者病情与口腔解剖制定方案,再与技师沟通尺寸、精度等,制作繁琐且成本高。

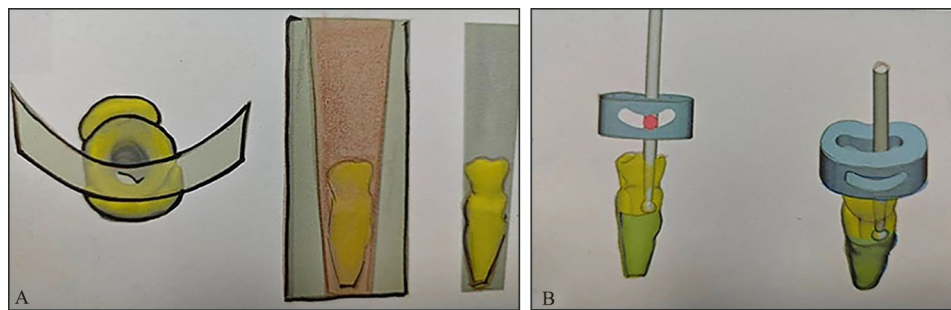
2.1.7 双导板(根盾导板+种植导板)

有学者设计双导板辅助根盾与种植技术。Xie等^[41]针对21牙牙折病例,首先根据修复体预期位置,确定种植体放置方向和深度,设计出种植体导板,然后根据种植体和修复体的位置,设计出根盾形状,在唇侧放1.0 mm钻针设计出根盾导板(如图8,参考Xie等^[41]研究绘制的导板示意图。导板套筒:黄色树脂导板中央的圆柱形通道,为钻针提供精准导向。钻头:钻针经套筒深入种植位点,为骨预备的工作端。限制挡板:导板边缘翼状结构,贴合邻牙,控制钻孔深度),2个导板均设计为牙支持式,确保稳定性。术中在根盾导板的引导下制备牙根,之后使用种植体导板预备种植窝洞。在此病例中,使用双导板预备根盾和种植窝洞,降低根盾准备的难度,减少牙槽窝的损伤,保证种植体的准确性,缩短手术时间,获得了以修复

为导向的种植体,具有良好的外形和美学效果。

Zhang等^[32]对修复失败的11牙采用根盾技术联合即刻种植修复。治疗中设计了2块独立导板,分别用于根盾精准预备和种植体定位植入。第一个为牙支持式导板,专门指导残根预备操作(如图9,参考Zhang等^[32]研究绘制的导板示意图。导板套筒:白色树脂导板中央的锥形通道,为钻针提供精准导向。钻头:钻针经套筒深入种植位点,为骨预备的工作端。限制挡板:导板边缘翼状结构,贴合邻牙,控制钻孔深度与方向),为确保根

盾厚度精确达到1.0 mm,选用锥形钻孔套装进行根盾预备。该导板能保证根盾预备厚度精准,从根管内部连续钻孔,有效去除根管充填材料,这是根盾技术成功实施的关键环节。第二个导板用于截骨、钻孔和种植体放置。此研究提出双导板的协同应用,可显著降低因根盾预备不当、种植体植入位置偏差引发的并发症风险。但导板预备根盾时,需选用全新锋利的钻头,以较快转速操作,减少对牙根的作用力,保留健康牙周膜且在导板与牙根间预留间隙,避免热损伤。



A: 第一个导板设计; B: 第二个导板设计。

图 7 2个导板设计图

Fig 7 Design drawings of two guides

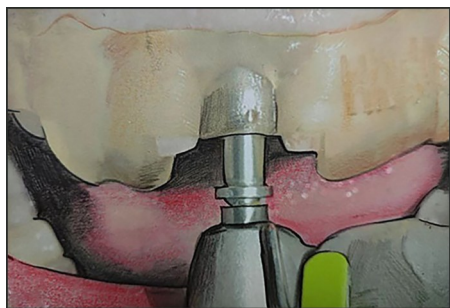


图 8 根盾导板引导根盾预备

Fig 8 Socket shield preparation guided by socket shield guide

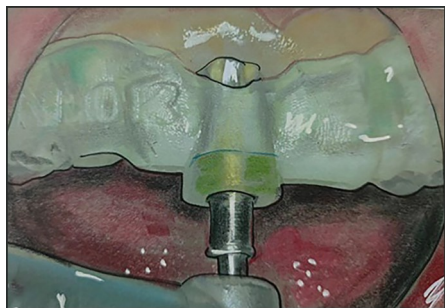


图 9 根盾导板引导根盾预备

Fig 9 Socket shield preparation guided by socket shield guide

Firlej等^[42]借助2个导板,构建2条独立操作轨迹。针对无法保留的11牙,先制作第一个导板(如图10,参考Firlej等^[42]研究绘制的导板示意图。

导板套筒:树脂导板上的黑色环形垂直通道,为钻针提供精准导向。限制挡板:集成于导板边缘,通过卡抱邻牙实现固位,间接控制钻孔深度)用于通过根管精准去除根尖,同时预留足够厚度和长度来预备根盾。第二个导板则用于确定种植体位点。使用钻石钻进行近远中向切开,分离颊侧牙根后,将剩余牙体组织与根尖一同取出。双导板的应用,既能精确定位根尖,保障根盾的厚度与长度达标,又能优化种植位点预备轨迹,让种植体植入不压迫根盾。



图 10 预备根盾的导板形态

Fig 10 Morphology of the socket shield guide

2.2 动态导航辅助根盾技术

动态导航1992年起源于神经外科,1995年由Fortin引入口腔种植外科。国内2008年推出种植

导航系统,用于种植孔骨预备^[36,43-44]。2019年,有学者^[45]使用动态导航制备根盾;2022年,Pozzi等^[20]报道了根盾技术同动态导航结合的前瞻性研究。2023年,刘泉等^[33]将其用于11牙根折患者预备根盾。该技术灵活,无需大开口度,实时调整路径,适配复杂病例。但该技术要求术者同时关注术区与导航屏幕,操作难度较高,效果依赖医生的设备熟练程度,若操作不熟练影响手术质量。

有学者^[45]应用动态导航对24牙进行根盾预备。导航系统完成注册、校准和跟踪后,进行根盾预备:导航引导钻头到计划位置后,沿着近远中方向切割根部,分离颊舌部,取出舌骨碎片,用钻石钻将颊根断端缩小到颊骨冠部水平,修饰颊侧根盾成C形,完成根盾预备。本病例中,动态导航实时可视化切割器械与解剖位置,提高了手术精准度。刘泉等^[33]对11牙根折在动态导航指引下,用慢速涡轮机去除11牙根管充填材料,确定种植入点及轴向,用小球钻、先锋钻及高速涡轮机,沿近远中向将11牙分为唇腭侧2个根片,保留唇侧根片于骨面上0.5~1.0 mm,厚度0.5~1.0 mm,

长度6 mm,横截面呈月牙形。本病例中,术前可精细调整种植体与唇侧根片位置,降低因钻针撞击根片致其松动风险。术中实时反馈降低术者人为误差,精准复刻术前设计。一项前瞻性研究^[20]表明:动态导航简化了种植体和桥接部位的根盾预备。术中先拔除牙冠,切断并劈开牙根,腭部切除,颊侧根盾缩小到颊部冠的水平,修正轮廓后,用导航引导麻花钻一直钻到根尖部分,得到厚0.5~1 mm、长6~8 mm的根盾,动态导航引导桥体根盾技术采用相同术式。此前瞻性研究得出以下结论:动态导航简化操作,降低根盾技术的敏感性,克服自由手操作困难,缩短时间,减少并发症,实现预设根盾到种植体距离,便于即刻种植。

3 导板辅助根盾技术和动态导航辅助根盾技术的对比

导板辅助根盾技术和动态导航辅助根盾技术的对比详见表1。

表 1 2种技术的对比
Tab 1 Comparison of the two techniques

对比维度	导板辅助根盾技术	动态导航辅助根盾技术
核心技术	术前通过采集患者口腔数据,经CAD/CAM软件模拟后,据根盾修复体位置确定三维路径,再3D打印导板引导根盾制备	术中依托实时导航定位追踪手术器械,无需预制导板,可根据根盾制备实际情况调整路径
制备根盾优势	1) 术前定制,精准规划根盾制备路径,降低术者经验依赖; 2) 流程标准化,新手易上手	1) 无需额外张口度,适配口腔解剖复杂、张口受限的根盾病例; 2) 可实时调整制备路径,应对复杂情况
操作局限性	1) 导板占据口腔空间,不适于张口度小的患者; 2) 无法术中实时修改,灵活性不佳; 3) 阻碍冷却水流动,增加组织高温灼伤风险	1) 术者需同时关注手术区域与导航屏幕,难度较高; 2) 手术效果依赖术者熟练程度与经验
对根盾术后影响	冷却效果不足增加组织灼伤风险,不利于术后愈合与根盾修复	1) 无导板阻挡,冷却水流动顺畅; 2) 操作熟练度不足影响根盾制备精度,影响修复效果

4 小结

导板、动态导航在提升根盾技术效果、优化手术精准性及减少并发症等方面发挥了重要作用^[46],将成为口腔医学种植领域的主流发展方向。

5 展望

根盾制备技术敏感性高,自由手操作易引发牙根过度磨除、根盾脱落等并发症,增加手术风险与时长,而数字化技术与根盾术结合是破局关

键。导板、动态导航与根盾技术协同,可精准规划路径,降低人为误差,显著提升手术精准度,减少颊侧骨吸收,优化种植美学效果。当前,全程数字化技术(导板^[21,41]、动态导航及种植机器人^[47-48])与根盾技术及种植手术的融合仍较为小众,未来应推进技术研发、临床验证及推广,作为口腔种植精准化、微创化的重要方向。种植机器人操作稳定、视野清晰,能按预设精准操作,减少人为误差,提升手术稳定性与可重复性。目前,尚无其辅助根盾技术的研究,现有种植机器人机械臂多为“直上直下”的垂直运动模式,轨迹局限于预设线性路径,难以满足根盾制备的多

维度弧形需求,是当前技术融合的核心瓶颈。未来可以种植机器人辅助根盾技术为重点的研究方向,针对技术瓶颈明确具体突破路径:针对根盾多维度预备需求,优化种植机器人机械臂轨迹算法,突破线性运动局限,实现颊舌向、近远中向灵活精准操作;开发根盾制备与种植体植入一体化机器人程序,进一步提升手术精准度与效率,同时推进临床试点验证,完善技术体系,推动临床普及。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

6 参考文献

- [1] Hürzeler MB, Zuhr O, Schupbach P, et al. The socket-shield technique: a proof-of-principle report[J]. *J Clin Periodontol*, 2010, 37(9): 855-862.
- [2] 龚佳明, 赵瑞敏, 李婉昕, 等. 根盾技术对即刻种植临床效果的影响: 基于随机对照研究的Meta分析[J]. *国际口腔医学杂志*, 2022, 42(5): 537-547.
Gong JM, Zhao RM, Li WX, et al. The socket-shield technique for immediate implant placement: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Stomatol*, 2022, 42(5): 537-547.
- [3] Santhanakrishnan M, Subramanian V, Ramesh N, et al. Radiographic and esthetic evaluation following immediate implant placement with or without socket shield and delayed implant placement following socket preservation in the maxillary esthetic region—a randomized controlled clinical trial[J]. *Clin Cosmet Investig Dent*, 2021, 13: 479-494.
- [4] Pohl S, Kher U, Salama MA, et al. The socket shield technique with proximal extensions for single-rooted teeth[J]. *Int J Esthet Dent*, 2022, 17(4): 424-435.
- [5] de Mello Vasconcellos JM, Pereira DV, Fukuoka GL, et al. Modified surgical guide for root sectioning in the socket shield technique: *in vitro* study[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2025, 37(2): 338-345.
- [6] Wang ZG, Liu JW, Wang XQ, et al. Effect of CAD/CAM guide plate combined with socket-shield technique in immediate implantation of anterior teeth aesthetic area and its influence on aesthetics[J]. *Front Surg*, 2022, 8: 833288.
- [7] 林曦, 李少冰, 丁祥龙, 等. “盾构术”的临床应用及潜在风险[J]. *口腔疾病防治*, 2021, 29(2): 115-118.
- [8] Lin X, Li SB, Ding XL, et al. Application of the socket shield technique and its potential risks[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2021, 29(2): 115-118.
- [9] Schwimer C, Pette G, Gluckman H, et al. Human histologic evidence of new bone formation and osseointegration between root dentin (unplanned socket-shield) and dental implant: case report[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2018, 33(1): e19-e23.
- [10] Kotsakis GA, Nguyen TT, Siormpas K, et al. Clinical outcomes of retention of the buccal root section combined with immediate implant placement: a systematic review of longitudinal studies[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2023, 25(1): 23-34.
- [11] Atieh MA, Shah M, Abdulkareem M, et al. The socket shield technique for immediate implant placement: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2021, 33(8): 1186-1200.
- [12] 田慧, 冯笑梅, 文勇. 根盾技术在美学区的应用及研究进展[J]. *口腔颌面外科杂志*, 2021, 31(3): 189-192.
Tian H, Feng XM, Wen Y. Recent advances and application of the socket-shield technique in the aesthetic zone[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2021, 31(3): 189-192.
- [13] 姚晨阳. 上颌前牙区根盾术即刻种植与常规即刻种植的临床效果评价[D]. 青岛: 青岛大学医口腔医学院, 2022.
Yao CY. Comparison of socket-shield technique and routine immediate implantation in anterior maxillary region[D]. Qingdao: College of Stomatology, Qingdao University, 2022.
- [14] 张永鑫. 1. 根盾技术应用在前牙区的修复效果: 荟萃分析; 2. 拔牙后即刻种植治疗[D]. 杭州: 杭州师范大学口腔医学院, 2024.
Zhang YX. 1. The therapeutic effect of socket shield technology in the anterior teeth area: a Meta analysis; 2. Immediate implant placement after tooth extraction[D]. Hangzhou: School of Stomatology, Hangzhou Normal University, 2024.
- [15] 鲁颖, 廖宛琳, 陈旭峰, 等. 美学区根盾技术与常规即刻种植术的临床效果研究[J]. *临床口腔医学杂志*, 2023, 39(11): 668-672.

- Lu Y, Liao WL, Chen XF, et al. Clinical study on outcomes of socket shield technique versus conventional immediate implant placement in the aesthetic zone[J]. J Clin Stomatol, 2023, 39(11): 668-672.
- [15] 胡志斌, 邱荣华, 孙传红. 根盾技术在美学区即刻种植治疗中的美学效果[J]. 中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志, 2025, 33(2): 124-127, 155.
- Hu ZB, Qiu RH, Sun CH. The aesthetic effect of socket shield technique immediate implant placement treatment in the aesthetic zone[J]. Chin J Otorhinolaryngol Integr Med, 2025, 33(2): 124-127, 155.
- [16] 赵兴, 范淑霞, 刘磊. 根盾技术在上颌单颗前牙即刻种植修复中的应用效果研究[J]. 黑龙江科学, 2022, 13(10): 96-97.
- Zhao X, Fan SX, Liu L. Study on the effect of root shield technique in immediate implant restoration of single maxillary anterior tooth[J]. Heilongjiang Sci, 2022, 13(10): 96-97.
- [17] 朱蒙飞, 刘鑫, 唐旭炎. 根盾技术和不翻瓣即刻种植在不同牙龈生物型的种植美学比较[J]. 口腔医学, 2023, 43(4): 327-333.
- Zhu MF, Liu X, Tang XY. Comparison of the esthetics in different gingival biotypes between the socket-shield technique and the flap-less immediate implant[J]. Stomatology, 2023, 43(4): 327-333.
- [18] 罗震, 刘宏, 吴王喜. 根盾术的研究进展[J]. 中国口腔种植学杂志, 2023, 28(2): 119-123.
- Luo Z, Liu H, Wu WX. Research progress of the socket shield technique[J]. Chin J Oral Implantol, 2023, 28(2): 119-123.
- [19] Kumar PR, Kher U. Shield the socket: procedure, case report and classification[J]. J Indian Soc Periodontol, 2018, 22(3): 266-272.
- [20] Pozzi A, Arcuri L, Kan J, et al. Navigation guided socket-shield technique for implant and pontic sites in the esthetic zone: a proof-of-concept 1-year prospective study with immediate implant placement and loading[J]. J Esthet Restor Dent, 2022, 34(1): 203-214.
- [21] Zhang X, Zhao LX, Li L, et al. Self-designed surgical guides for accurate socket shield preparation: an *in vitro* evaluation supported by a clinical report[J]. J Prosthodont, 2024, 33(5): 436-442.
- [22] Trejo PM, Rivas R, Trejo CC, et al. Soft and hard tissue evaluation of guided socket shield implant cases[J]. Clin Adv Periodontics, 2025, 15(1): 54-62.
- [23] Tan Z, Kang J, Liu WJ, et al. The effect of the heights and thicknesses of the remaining root segments on buccal bone resorption in the socket-shield technique: an experimental study in dogs[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2018, 20(3): 352-359.
- [24] 陈光能, 罗思阳, 王梅, 等. 上颌中切牙种植盾构术中不同根盾片厚度的有限元分析[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(10): 2052-2060.
- Chen GN, Luo SY, Wang M, et al. Finite element analysis of various root shield thicknesses in maxillary central incisor socket-shield technique[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2025, 29(10): 2052-2060.
- [25] Shinde A, Madhav VNV, Saini RS, et al. Finite element analysis of stress distribution on residual root structure in socket shield procedure following immediate dental implant placement: an *in vitro* study[J]. BMC Oral Health, 2024, 24(1): 366.
- [26] Yang S, Chen JH, Li A, et al. Accuracy of autonomous robotic surgery for single-tooth implant placement: a case series[J]. J Dent, 2023, 132: 104451.
- [27] Mitsias M, Siormpas K, Kontsiotou-Siormpa E, et al. A step-by-step description of PDL-mediated ridge preservation for immediate implant rehabilitation in the esthetic region[J]. Int J Periodontics Restorative Dent, 2015, 35(6): 835-841.
- [28] Huang H, Shu LJ, Liu YF, et al. Immediate implant combined with modified socket-shield technique: a case letter[J]. J Oral Implantol, 2017, 43(2): 139-143.
- [29] 郑锦川, 尹路, 林美慧, 等. 美学区连续缺失采用盾构术即刻种植修复的应用研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2023, 39(6): 814-817.
- Zheng JC, Yin L, Lin MH, et al. Immediate implantation and repair of continuous loss of aesthetic area by socket-shield technique[J]. J Pract Stomatol, 2023, 39(6): 814-817.
- [30] Ogawa T, Sitalaksmi RM, Miyashita M, et al. Effectiveness of the socket shield technique in dental implant: a systematic review[J]. J Prosthodont Res, 2022, 66(1): 12-18.
- [31] Chen L, Yang Z, Liu XQ, et al. CAD-CAM titanium

- preparation template for the socket-shield technique[J]. *J Prosthet Dent*, 2020, 123(6): 786-790.
- [32] Zhang X, Wang J, Wan QB, et al. Guided residual root preparation for socket-shield procedures: a clinical report[J]. *J Prosthet Dent*, 2020, 124(6): 625-631.
- [33] 刘泉, 陈洁银, 刘梅秀, 等. 动态导航与根盾术在即刻种植中的联合应用[J]. *中国口腔种植学杂志*, 2023, 28(2): 124-127.
- Liu Q, Chen JY, Liu MX, et al. Combined use of computer-assisted dynamic navigation and socket shield technique in immediate implant placement[J]. *Chin J Oral Implantol*, 2023, 28(2): 124-127.
- [34] Oh MY, Park D, Chai YJ, et al. Transoral robotic thyroidectomy: lessons learned from consecutive series of 1, 000 patients[J]. *Surgery*, 2024, 176(6): 1627-1634.
- [35] 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.
- Long XJ, Pan XB, Tang ZB, et al. Research progress of digital composite guides in edentulous implant and restoration[J]. *Chin J Geriatr Dent*, 2025, 23(1): 47-52.
- [36] 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.
- Liu ZH, Bu LT, Wu MX, et al. Digital implant guides in full-mouth implant surgery and restoration: a progress review[J]. *Stomatology*, 2025, 45(3): 161-167.
- [37] 焦明阳, 周煜萃, 蒋正源, 等. 数字化导板技术在牙髓治疗领域的研究进展[J]. *国际口腔医学杂志*, 2024, 51(5): 550-557.
- Jiao MY, Zhou YC, Jiang ZY, et al. Research progress on digital template technology in endodontic treatment[J]. *Int J Stomatol*, 2024, 51(5): 550-557.
- [38] Zhu GB, Froum SJ, Praisonta S, et al. A modified socket-shield technique: simplifying the root sectioning process[J]. *Compend Contin Educ Dent*, 2024, 45(4): 199-202.
- [39] Holbrook SE. Model-guided flapless immediate implant placement and provisionalization in the esthetic zone utilizing a nanostructured titanium implant: a case report[J]. *J Oral Implantol*, 2016, 42(1): 98-103.
- [40] Song ZJ, Li ZL, Li XD, et al. Design and application of modified CAD/CAM socket-shield preparation template in immediate implantation in the esthetic area[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2023, 35(8): 1186-1193.
- [41] Xie CF, Su ED, Yan MD, et al. Dual-guide template-guided socket-shield preparation and immediate implantation in maxillary anterior region implant surgery[J]. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*, 2023, 124(6): 101469.
- [42] Firlej M, Schwimer C, Martin R, et al. Guided selective preservation of tooth (SPOT) protocol: fully guided socket-shield technique[J]. *Compend Continuing Educ Dent*, 2025, 46(2): 84-93.
- [43] 蒋茹雪, 董强. 口腔种植动态导航和手术机器人的研究进展[J]. *中国医疗设备*, 2025, 40(1): 164-168, 180.
- Jiang RX, Dong Q. Advances in dynamic navigation and surgical robotics in implant dentistry[J]. *China Med Devices*, 2025, 40(1): 164-168, 180.
- [44] 陈泉林, 陈琳, 王彬晨, 等. 红外光学定位动态导航技术在口腔种植领域应用的研究进展[J]. *实用口腔医学杂志*, 2022, 38(5): 570-577.
- Chen QL, Chen L, Wang BC, et al. Application of infrared optical positioning dynamic navigation technology in implant surgery[J]. *J Pract Stomatol*, 2022, 38(5): 570-577.
- [45] Chen JT. A novel application of dynamic navigation system in socket shield technique[J]. *J Oral Implantol*, 2019, 45(5): 409-415.
- [46] Wang J, Wang B, Liu YY, et al. Recent advances in digital technology in implant dentistry[J]. *J Dent Res*, 2024, 103(8): 787-799.
- [47] Jia JY, Yu YE, Cao X, et al. Accuracy of robotic computer-assisted implant surgery in clinical dental implant placement: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Dent*, 2026, 166: 106321.
- [48] Tuygunov N, Mattheos N, Tsoi J, et al. Contemporary applications of robotic systems in dental implantology: a review[J]. *Int Dent J*, 2026, 76(1): 109335.

(本文编辑 王姝)