

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.21.047

数字化CAD/CAM技术在口腔美学修复中的临床应用进展及疗效评价

杨超

(黄骅市人民医院, 河北 黄骅 061100)

[摘要] 数字化计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)技术凭借精准化、高效化及个性化优势,已成为口腔美学修复领域的核心技术支撑。本文系统梳理CAD/CAM技术在口腔美学修复中的发展脉络,重点阐述其在牙体缺损修复、种植体上部结构修复、可摘局部义齿修复等场景的临床应用进展,从修复精度、功能恢复、美学效果及患者满意度等维度进行疗效评价,并分析当前技术应用中的挑战与未来发展方向。

[关键词] CAD/CAM技术; 口腔美学修复; 数字化修复; 修复精度; 咀嚼效率

[中图分类号] R783

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2025)21-0187-04

Clinical Application Progress and Efficacy Evaluation of Digital CAD/CAM Technology in Oral Aesthetic Restoration

YANG Chao

(Huanghua Municipal People's Hospital, Huanghua 061100, Hebei, China)

[Abstract] Digital computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology has become the core technical support in the field of oral aesthetic restoration due to its advantages of precision, efficiency and personalization. This paper systematically sorts out the development context of CAD/CAM technology in oral aesthetic restoration, focuses on elaborating its clinical application progress in scenarios such as tooth defect restoration, implant superstructure restoration and removable partial denture restoration, conducts efficacy evaluation from dimensions including restoration precision, functional recovery, aesthetic effect and patient satisfaction, and analyzes the challenges in current technology application and future development directions.

[Key words] CAD/CAM Technology; Oral Aesthetic Restoration; Digital Restoration; Restoration Precision; Masticatory Efficiency

口腔美学修复(oral aesthetic restoration)不仅要求恢复牙齿的生理功能,更强调修复体与天然牙在形态、色泽、纹理等方面的仿生协调性,以实现自然美观的修复效果。传统口腔修复依赖手工操作完成印模制取、蜡型制作及修复体加工,存在周期长、精度低、个体差异大等局限,难以满足现代患者对美学修复的高品质需求^[1]。20世纪80年代,CAD/CAM技术开始引入口腔医学领域,历经数十年发展,已实现从单冠修复到复杂缺损修复的全场景覆盖。该技术通过口内扫描、虚拟设计、精准加工的数字化闭环流程,有

效突破传统修复技术的瓶颈,在修复精度、美学效果及治疗效率方面实现质的飞跃。目前,主流系统如CEREC、Planmeca、3Shape等已广泛应用于临床,成为口腔美学修复的关键技术手段^[2]。本文基于临床实践与技术发展现状,对CAD/CAM技术在口腔美学修复中的应用进展及疗效进行全面综述,以期为口腔临床医生提供技术参考,推动数字化修复技术的规范化应用与创新,从而更好地满足患者对口腔功能与美学修复的双重需求,为口腔医学领域的精准化、个性化治疗贡献理论依据与实践指导。

1 口腔美学修复中CAD/CAM技术的发展与技术体系

1.1 技术发展历程 CAD/CAM技术在口腔领域的发展可分为3个阶段:第一阶段为技术探索期,主要实现单冠、嵌体等简单修复体的数字化制作,扫描精度较低(毫米级),材料以树脂基复合材料为主^[3];第二阶段为技术成熟期,口内扫描精度提升至微米级,氧化锆、二硅酸锂等高强度陶瓷材料开始广泛应用,支持固定桥、贴面等复杂修复体的制作^[4];第三阶段为技术融合期,结合3D打印、FDA对椅旁系统的认证推动了技术普及,而高精度扫描技术、多轴切削设备及新型修复材料的突破则为技术发展提供了核心支撑。

1.2 核心技术体系构成

1.2.1 数据采集系统 数据采集是CAD/CAM技术的基础,主要通过口内扫描仪或模型扫描仪完成。口内直接扫描系统集成微型摄像头与实时处理芯片,采用光学成像或激光反射原理,可直接在口腔内获取牙齿、牙龈及咬合关系的三维数据,分辨率达亚微米级,尤其适用于复杂牙体预备边缘的细节捕捉。

1.2.2 计算机辅助设计(CAD)系统 CAD系统是实现美学修复个性化设计的核心,通过专业软件导入扫描数据后,可自动识别预备体边缘线并生成修复体雏形。

1.2.3 计算机辅助制造(CAM)系统 CAM系统根据CAD设计文件,通过切削加工或3D打印技术完成修复体制作,主要包括椅旁切削设备与集中加工设备两类。椅旁切削设备多采用5轴数控技术,配备金刚石车针或激光雕刻装置,可在15~30 min内完成氧化锆、二硅酸锂等材料的修复体成型,支持嵌体、贴面、单冠等修复体的即刻制作。

1.2.4 修复材料体系 修复材料的性能直接决定美学修复效果与长期稳定性,CAD/CAM技术支持多种材料的精准加工,形成完善的材料应用体系。陶瓷材料是目前美学修复的首选材料。其中,氧化锆陶瓷(如3Y-TZP)具有优异的机械性能^[5]。钴铬合金等金属材料则主要用于可摘局部义齿支架^[6]。

2 CAD/CAM技术在口腔美学修复中的临床应用进展

2.1 前牙美学区修复 前牙美学区修复对形态仿生与色泽匹配要求极高,CAD/CAM技术在此领

域的应用已实现从微创修复到功能美学一体化的突破^[7]。与传统修复技术相比,数字化修复技术在治疗时效性、成本经济性 & 修复体美观度方面展现出更为突出的优势^[8, 9]。贴面修复中,CAD/CAM技术支持超薄贴面(最薄0.3 mm)的精准制作,通过口内扫描获取牙齿唇面形态数据后,在CAD软件中个性化设计贴面边缘形态与釉质衔接方式,确保修复体与天然牙的轮廓协调^[10]。采用二硅酸锂陶瓷制作的贴面,经数字化比色与分层染色处理,可实现与邻牙色泽梯度的完美匹配,解决传统贴面色泽单一、边缘不自然的问题^[11]。临床中,针对釉质发育不全、前牙间隙等病例,可通过椅旁即刻修复系统在2 h内完成贴面设计与粘接,显著缩短治疗周期^[2]。对于外伤致前牙缺损病例,采用CAD/CAM技术制作的全瓷冠边,显著优于传统铸造金属烤瓷冠,同时通过个性化染色技术可再现天然牙的透明度与光泽度^[8]。

2.2 牙体缺损修复 针对龋坏、磨损或外伤导致的牙体缺损,CAD/CAM技术可实现从微创修复到功能重建的精准治疗,根据缺损大小与部位选择嵌体、高嵌体或部分冠修复方案。采用聚合物渗透陶瓷制作的嵌体,不仅具有良好的耐磨性,且能通过数字化比色实现与牙体组织的色泽融合,解决传统树脂嵌体易老化、变色的问题^[12]。高嵌体修复适用于大面积牙体缺损(尤其是根管治疗后牙齿),CAD系统可根据基牙形态设计覆盖咬合面的修复体结构,通过生物力学模拟优化殆面接触点分布,增强基牙稳定性^[13]。

2.3 种植体上部结构修复 CAD/CAM技术与种植技术的结合实现了种植修复的精准化与美学化,涵盖种植体水平基台、冠桥修复体及临时修复体的数字化制作^[14, 15]。

2.4 可摘局部义齿修复 传统可摘局部义齿(RPD)制作依赖手工取模与支架加工,精度低且患者佩戴舒适度差。CAD/CAM技术通过数字化流程实现RPD的精准设计与制作,尤其适用于老年人Kennedy I、II类牙列缺损修复^[16]。对于伴有颌骨结构改变的老年患者,CAD/CAM技术可通过三维建模精准适配颌骨形态,减少食物嵌塞等并

发症发生^[17]。

3 CAD/CAM技术在口腔美学修复中的疗效评价

3.1 修复精度评价 修复精度是衡量美学修复效果的核心指标，CAD/CAM技术通过数字化扫描与精准加工，可将修复体边缘密合性误差控制在0.1 mm以内，部分高端系统甚至可达50 μ m以下。临床研究显示^[18]，采用CAD/CAM技术制作的全瓷冠，边缘密合度误差 ≤ 0.1 mm的患者占比达73.3%。在邻接关系方面，CAD系统可通过虚拟设计精准控制修复体与邻牙的接触力度，避免因过松导致的食物嵌塞或过紧引起的牙周损伤，临床调改率较传统技术降低60%以上^[19]。咬合精度方面，借助虚拟咬合分析工具，CAD/CAM系统可模拟患者动态咬合轨迹，提前检测早接触点并优化设计，减少临床试戴时的调磨时间。修复后咬合纸检查显示^[20]，CAD/CAM组患者咬合高点发生率仅为3.3%，显著低于传统组26.7%。CAD/CAM技术通过口内光学扫描直接获取微米级精度的三维数据，设计阶段可360°可视化调整咬合面形态，配合数控切削的自动化加工，从源头规避了人为操作误差，使修复体与对颌牙尖窝关系更精准匹配。

3.2 功能恢复评价 借助CAD/CAM数字化设计与切削，修复体牙尖斜度及咬合面形态得以个体化优化。最新RCT结果显示^[21]，软食（面包）咀嚼效率CAD/CAM组（ 90.1 ± 3.1 ）%，传统组（ 83.8 ± 4.7 ）%；中硬度食物（苹果）（ 72.4 ± 4.2 ）% vs （ 65.9 ± 3.9 ）%；高硬度食物（生胡萝卜）（ 60.8 ± 3.6 ）% vs （ 46.5 ± 5.4 ）%，三组差异有统计学意义（ $P < 0.01$ ），这种咀嚼效率的差异可能与修复体功能形态的精准性直接相关：CAD/CAM技术通过口内扫描获取的三维数据可精准复刻天然牙咬合面的尖窝、沟嵴形态，配合数控切削的稳定加工精度，能更好地还原正常咬合接触关系，确保咬合力均匀传递^[16]。

3.3 美学效果评价 在形态仿生方面，CAD/CAM系统可通过扫描对侧天然牙，实现修复体形态的对称设计，其粉色美学指数、白色美学指数明显升高^[22]。前牙美学区修复后，患者微笑协调性良好，社交自信评分显著提高^[23, 24]。口腔美学修复

中，CAD/CAM技术结合VAS与USPHS标准评估，在修复体形态、颜色、纹理及核心指标上优于传统组，还能改善前牙修复患者微笑协调性、提高社交自信。

3.4 患者满意度与长期稳定性评价 研究显示^[25]，CAD/CAM组患者舒适度VAS评分显著高于传统印模组，且椅旁CAD/CAM全瓷冠1、3、5年累计成功率均高于传统烤瓷冠，两类指标的组间差异均具有统计学意义。

4 总结

数字化CAD/CAM技术凭借“扫描-设计-加工-修复”的数字化闭环流程，从根本上重构了传统口腔美学修复的运作逻辑，其核心价值在于打破了传统技术对人工经验的依赖，实现了修复精度、美学呈现、功能恢复与治疗效率的系统性升级。这种升级不仅体现在修复体与牙体组织的适配性更优、美学效果更贴合天然牙形态与色泽，更在于能以更高效的治疗周期满足患者对功能与美观的双重需求，同时减少传统操作中可能出现的人为误差，提升治疗的稳定性。从当前临床应用来看，CAD/CAM技术虽已展现出显著优势，但仍面临现实挑战：复杂修复病例（如多单位固定桥、严重咬合异常修复）中，数字化设计的精准度与临床实际需求的匹配度仍需优化；现有加工材料在极端咬合压力下的耐用性与天然牙的生物相容性仍有提升空间。不过，这些挑战并非技术瓶颈，随着人工智能在数字化设计中的深度融入（如自动优化咬合关系、预判修复体长期稳定性）、3D打印技术与CAD/CAM流程的无缝衔接，以及兼具高强度与仿生特性的新型修复材料的研发，该技术必将突破现有局限，实现从“标准化修复”向“个性化精准修复”的跨越，覆盖更多复杂临床场景。

[参考文献]

- [1]梁珉,蔡丹,周自恒,等.口腔美学修复中应用数字化微笑设计技术的研究进展[J].中国卫生标准管理,2023,14(17):190-193.
- [2]朱劼,何燕,胡波.CAD/CAM技术在前牙瓷贴面修复中的应用[J].中国美容医学,2025,34(6):163-167.



[3]王苏娟,陈志岭,赵梓杨,等.CAD/CAM纯钛烤瓷冠与钴铬烤瓷冠在牙体缺损修复中的效果对比[J].山东医药,2024,64(31):68-70.

[4]于波,董世涛.CAD/CAM技术在全口义齿设计制作中的应用进展[J].中国美容医学,2025,34(4):180-183.

[5]于海洋.关于牙体预备里的数字追问——从目测经验类比到数字引导[J].华西口腔医学杂志,2021,39(1):9-19.

[6]Sailer I,Strasding M,Valente NA,et al.A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic multiple-unit fixed dental prostheses[J]. Clin Oral Implants Res,2018,29 Suppl 16:184-198.

[7]孙志荣,张燕,张晓林,等.数字化技术在可摘局部义齿基牙全瓷冠崩瓷后再修复中的应用1例[J].实用口腔医学杂志,2021,37(2):278-279.

[8]邹蕾,鄢荣曾,李乐兰,等.数字化印模和传统印模对全口义齿修复临床效果的比较[J].中国医药导报,2023,20(36):99-103.

[9]Watanabe H,Fellows C,An H.Digital Technologies for Restorative Dentistry[J].Dent Clin North Am,2022,66(4):567-590.

[10]张希,柳登岳,孙津龙,等.CAD/CAM技术在前牙瓷贴面美学修复中的应用效果观察[J].中国美容医学,2023,32(3):132-135.

[11]刘伟,文爱杰.二硅酸锂铸瓷贴面在牙列重度磨耗修复中的临床应用[J].口腔医学,2019,39(8):719-723.

[12]李瑶,陈冬婕,吕泳容,等.CEREC椅旁CAD-CAM技术修复活髓牙牙体缺损的护理配合[J].中国医药科学,2017,7(16):169-171,184.

[13]张伟,吴友农.CAD/CAM技术在牙体缺损嵌体修复中的应用[J].口腔医学,2017,37(7):668-672.

[14]周冯娟,滕敏华,李冠达,等.后牙种植CAD/CAM螺丝固位上部结构修复临床效果的初步观察[J].中国口腔种植学杂志,2013,18(3):138-142,148.

[15]李秀敏,于勇.CAD/CAM切削技术在可摘局部义齿支架制作中的应用分析[J].名医,2022(16):42-44.

[16]罗廷凤,王开明,任光祥,等.基于CAD/CAM背景的高职可摘局部义齿修复工艺技术课程改革[J].卫生职业教育,2019,37(21):43-45.

[17]陶进京,黄罡,黄丽娟,等.CAD/CAM切削技术在可摘局部义齿支架制作中的应用[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2019,13(5):299-303.

[18]汪振华,王金玉,李声.寒天印模材料在烤瓷冠桥修复中的临床应用[J].新疆医科大学学报,2003,26(5):486-487.

[19]Vavříčková L,Dostálová T,Charvát J,et al.Evaluation of the three-year experience with all-ceramic crowns with polycrystalline ceramic cores[J].Prague Med Rep,2013,114(1):22-34.

[20]樊帆,苗微铭,邓小林.电子面弓应用于恢复后牙固定修复体咬合功能的临床研究[J].口腔医学,2023,43(11):1019-1023.

[21]左杨,许晓波,刘蕾,等.椅旁CAD/CAM全瓷冠修复后牙牙体缺损的疗效评价[J].上海口腔医学,2025,34(1):83-87.

[22]许雪红,程少龙,吴昭君.CAD/CAM氧化锆桩核在前牙美学修复中的效果观察[J].中国医疗美容,2025,15(6):112-116.

[23]宋应博.CAD/CAM全瓷高嵌体修复后牙牙体缺损的临床效果观察[J].新疆医学,2023,53(9):1095-1097,1107.

[24]邹长萍.CAD/CAM全瓷高嵌体修复后牙牙体缺损的效果分析[J].实用临床医药杂志,2017,21(7):135-137.

[25]温玉洁,于世德,汪竹红,等.数字化与传统印模应用于瓷贴面修复的随机对照临床研究[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2021,15(3):148-154.

收稿日期: 2025-10-19 编辑: 扶田