

# 数字化技术在口腔修复材料、工艺与临床决策中的协同与创新

余涛 王兴强<sup>(通讯作者)</sup>

河南省洛阳市联勤保障部队第九八九医院口腔科 河南 洛阳 471000

**【摘要】**：口腔修复领域正经历从传统工艺向数字化技术的深刻转型。本文系统综述了数字化融合如何通过高性能材料研发、CAD/CAM与3D打印等先进工艺、以及人工智能(AI)与VR/AR临床决策系统的协同创新，推动口腔修复向精准化、高效化与个性化发展。数字化技术显著提升了修复体精度、优化了临床流程并改善了患者体验。未来，跨学科合作与智能化诊疗将是持续发展的关键动力。

**【关键词】**：口腔修复；数字化技术；CAD/CAM；3D打印；临床决策

DOI:10.12417/2982-3838.25.04.017

## 引言

随着数字化技术的快速发展，口腔修复领域正经历一场从传统手工工艺到数字化制造的转型，该技术不仅提高了修复体的精度和质量，还优化了临床工作流程，提升了患者的治疗体验。而修复材料、制作工艺和临床决策是口腔修复数字化转型的三大核心要素，三者的协同创新是实现高效、精准修复的关键。通过数字化材料的研发、先进制造工艺的应用以及临床决策支持系统的构建，口腔修复能够更好地满足患者对功能、美学和舒适度的高要求。本文将系统分析口腔修复数字化融合的现状与未来发展方向，探讨如何通过协同创新推动口腔修复领域的持续进步。

## 1 数字化材料在口腔修复中的应用

### 1.1 高性能陶瓷材料的数字化应用

高性能陶瓷材料因其优异的生物相容性、美学性能和机械强度，在口腔修复中占据重要地位。数字化技术的发展为陶瓷材料的应用带来了新的机遇。通过计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)系统，可以精确设计和制造陶瓷修复体，实现个性化定制。例如，氧化锆陶瓷因其高强度和良好的美学效果，成为全瓷修复体的首选材料，通过数字化制造工艺能够精确控制陶瓷的烧结过程，确保修复体的尺寸精度和机械性能，此外，数字化技术还可以实现陶瓷材料的表面处理和美学优化，如通过激光雕刻和染色技术，使修复体的颜色和纹理更接近天然牙齿。

### 1.2 复合树脂材料的数字化创新

复合树脂材料因其良好的美学性能和操作便利性，在口腔修复中广泛应用。数字化技术为复合树脂材料的创新提供了新的途径。通过数字化印模和CAD/CAM技术，可以快速制造复合树脂修复体，提高修复效率和质量。例如，数字化复合树脂材料可用于制作临时修复体和直接修复体，通过精确的三维建模和打印技术，实现修复体的快速成型。此外，数字化技术还可以优化复合树脂的配方和性能，提高其耐磨性和抗老化能力。

### 1.3 生物活性材料的数字化开发

生物活性材料在口腔修复中的应用日益受到关注。这些材料不仅能够恢复口腔功能和美学，还能促进组织再生和修复。数字化技术为生物活性材料的开发提供了新的工具。通过计算机辅助设计和3D打印技术，可以精确制造具有生物活性的修复体。例如，生物活性玻璃和羟基磷灰石等材料可以通过3D打印技术制造成个性化的牙冠、牙桥和种植体。这些材料能够与周围组织形成良好的结合，促进骨组织和软组织的再生。数字化技术还可以优化生物活性材料的表面处理和功能化，提高其生物相容性和修复效果。

## 2 数字化制造工艺在口腔修复中的应用

### 2.1 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术

CAD/CAM技术是口腔修复数字化制造的核心。通过三维扫描和计算机辅助设计，可以精确设计修复体的形状、尺寸和美学效果。CAD/CAM系统能够将设计数据直接传输到制造设备，实现自动化生产。例如，全瓷修复体和金属修复体的制造可以通过CAD/CAM技术实现高精度和高效率。CAD/CAM技术不仅提高了修复体的质量和精度，还缩短了生产周期，减少了人为误差。此外，CAD/CAM技术还可以实现修复体的个性化定制，满足不同患者的需求。

### 2.2 3D打印技术在口腔修复中的应用

3D打印技术为口腔修复带来了新的制造方式。通过数字化模型和3D打印设备，可以快速制造出个性化的修复体。3D打印技术具有高精度、高效率 and 低成本的优点，适用于复杂形状和个性化设计的修复体制造。例如，3D打印可用于制造牙冠、牙桥、种植体和临时修复体等。3D打印技术不仅能够提高修复体的精度和质量，还能缩短患者的等待时间，改善治疗体验。此外，3D打印技术还可以结合生物活性材料，制造具有生物功能的修复体。通过计算机模拟和优化设计，可以提高修复体的生物相容性和修复效果，为口腔修复提供新的技术手段。

### 2.3 数字化精密铸造技术

数字化精密铸造技术是口腔修复制造中的重要工艺。通过数字化模型和精密铸造设备，可以制造出高精度的金属修复体。数字化精密铸造技术能够精确控制铸造过程中的温度、压力和时间等参数，确保修复体的质量和性能。例如，金属牙冠和牙桥的制造可以通过数字化精密铸造技术实现高精度和高效率。数字化精密铸造技术不仅提高了修复体的质量和精度，还减少了铸造缺陷和误差。此外，数字化精密铸造技术还可以结合 CAD/CAM 技术，实现修复体的个性化定制。

## 3 数字化临床决策支持系统在口腔修复中的应用

### 3.1 数字化诊疗规划平台

数字化诊疗规划平台是口腔修复领域制定临床方案的重要辅助系统。借助 CBCT(Cone beam Computer Tomography)、数字化曲面断层等影像技术，能够对患者口腔结构进行精细评估，为后续修复治疗提供科学支持。数字化诊断系统可生成高分辨率三维图像，辅助医生明确牙齿、颌骨及软组织相关病症。基于诊断信息，治疗规划系统可形成个性化的修复方案。例如，通过计算机模拟与优化设计，能够预估修复效果，帮助医生选定更适配的修复体类型及材料，还能提前预判咬合关系是否协调、修复体就位后是否存在组织压迫问题。该系统的运用不仅提升了诊断精度与治疗可预见性，也优化了临床操作流程，减少了术中调整的时间成本，改善了患者的就诊体验。

### 3.2 VR/AR 技术在临床决策中的支持作用

虚拟现实(Virtual Reality VR)与增强现实(Augment Reality AR)技术为口腔修复的临床决策提供了创新支持手段。VR 通过构建沉浸式虚拟场景，使医生能够在虚拟环境中模拟修复过程，预先评估治疗结果。例如，借助 VR 可模拟牙齿修复、种植手术或正畸矫治过程，进而优化治疗路径，还能让医生反复演练复杂病例的操作步骤，熟练掌握关键技术要点。AR 技术则将虚拟信息融合于真实操作环境中，提供实时手术导航与治疗指引。例如，通过 AR 设备将患者三维影像同步叠加至手术视野中，可辅助医生实现精准操作，提升手术的安全性与精确度。

### 3.3 人工智能与大数据在临床决策中的集成应用

人工智能(Artificial Intelligence AI)与大数据技术为口腔修复临床决策提供了有力的数据支撑与分析工具。通过采集和分析大量口腔修复病例数据，AI 算法能够辅助实现病情的早期识别与疗效预测。例如，基于患者的影像及临床资料，AI 系统可快速生成诊断意见与治疗推荐，为医生提供决策参考，还能结合患者年龄、口腔条件等因素，筛选出并发症发生率最低的治疗方案。大数据技术则可用于优化治疗方案，提升治疗成效与患者满意度。例如，通过分析修复体的临床使用数据，能够改进修复体设计及材料选择，从而延长修复体寿命并提升其

性能。AI 与大数据的结合不仅提高了临床决策的效率与准确性，也推动了口腔修复诊疗向智能化发展，为患者提供更为优质的服务。

## 4 数字化融合对口腔修复临床实践的影响

### 4.1 提升修复体精度与品质

数字化技术显著提升了口腔修复体的精度与质量。依托 CAD/CAM 技术、3D 打印与数字化精密铸造等手段，可精准制造符合患者口腔解剖特征的修复体。高精度修复体不仅能够更好地恢复口腔功能，也能提升美学表现，满足患者对修复效果的高期待。例如，全瓷修复体与种植体的制造精度可达微米级，保障修复体与天然牙齿的密合度，有效减少食物嵌塞、继发龋等问题。此外，数字化技术可通过计算机模拟力学测试，优化修复体的咬合面形态与受力分布，进一步提升机械性能与生物相容性，从而延长修复体使用寿命，增强其长期稳定性，降低后期维护成本。

### 4.2 优化临床操作流程

数字化技术优化了口腔修复的临床工作流程。从数字化诊断到修复体的制作与就位，整体过程更为高效、便捷。数字化影像技术(如 CBCT、口内扫描仪)可快速生成患者口腔的三维模型，精准捕捉牙齿、牙槽骨的细微结构，减少诊断时间与误差。CAD/CAM 和 3D 打印技术可实现修复体“即刻制作、即刻佩戴”，大幅缩短患者的等候周期。此外，数字化技术也支持远程会诊与远程治疗，提升了医疗服务的可及性与便利性。例如，借助网络传输患者的口腔模型与修复体设计数据，可实现在异地制作与安装修复体，减少患者赴院次数，尤其方便偏远地区或行动不便的患者。

### 4.3 改善患者就诊体验

数字化技术明显改善了患者的治疗体验。通过虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术，患者能够在治疗前直观了解治疗步骤与预期效果，如通过 3D 模型预览修复后的牙齿形态，减轻治疗前的紧张与顾虑。数字化制造技术可快速制作个性化修复体，避免传统工艺中多次取模、反复调整的繁琐流程，缩短等待时间，提高患者满意度。此外，数字化技术还可提升修复体的美学表现，通过色彩扫描与匹配技术，使修复体的色泽、纹理更接近天然牙齿，增强患者的自信心。例如，通过计算机模拟与优化设计，可制作出与天然牙高度相似的全瓷修复体，优化患者的美学感受，让患者更愿意主动配合治疗。

## 5 口腔修复数字化融合的未来展望

### 5.1 跨学科合作与技术创新

未来，口腔修复的数字化融合将更加依赖跨学科合作和技术创新。口腔医学将与计算机科学、材料科学、生物医学工程等多学科紧密合作，共同解决数字化技术在临床应用中的技术难题。例如，通过与材料科学家合作，开发更适合数字化

制造的高性能材料;与计算机科学家合作,优化CAD/CAM系统和3D打印技术。此外,技术创新也将是推动口腔修复数字化融合的重要动力。例如,开发更高分辨率的影像技术、更精准的制造工艺和更智能的临床决策系统,为口腔修复提供更强大的技术支持。

### 5.2 智能化诊断与治疗方案设计

随着人工智能和大数据技术的发展,智能化诊断与治疗方案设计将成为口腔修复的重要发展方向。通过收集和分析大量的口腔修复数据,AI算法可以实现对患者病情的早期诊断和精准预测。智能化诊断系统可以根据患者的影像和临床数据,快速生成诊断报告和治疗建议,为医生提供决策支持。此外,大数据技术可以优化治疗方案,提高治疗效果和患者的满意度。例如,通过分析大量的修复体使用数据,可以优化修复体的设计和材料选择,提高修复体的使用寿命和性能。

### 5.3 人才培养与技术普及

数字化技术的广泛应用需要大量具备数字化技能的口腔

修复专业人才。未来,口腔修复教育将更加注重数字化技术的教学和培训,培养学生的数字化思维和操作能力。通过举办培训班、学术会议和在线课程等方式,提高在职医生的数字化技术水平。此外,技术普及也是推动数字化技术发展的重要环节。通过降低设备成本和简化操作流程,使数字化技术能够更广泛地应用于基层口腔医疗机构。例如,开发低成本的数字化影像设备和简易的CAD/CAM系统,降低数字化技术的入门门槛。

## 6 总结

口腔修复的数字化融合正在推动该领域从传统手工工艺向精准、高效、个性化方向发展。通过高性能材料的应用、先进制造工艺的优化和临床决策支持系统的构建,口腔修复能够更好地满足患者对功能、美学和舒适度的高要求。未来,跨学科合作、技术创新和人才培养将是推动口腔修复数字化融合的重要动力。通过智能化诊断与治疗方案设计、跨学科合作和人才培养,口腔修复领域将实现更高效、更精准和更个性化的修复服务,为患者提供更优质的医疗服务,推动口腔修复领域的持续进步。

### 参考文献:

- [1] 郑园娜,张桂华.口腔椅旁数字化单颗前牙美学修复病例——数字化与传统工艺的融合应用[C]//中华口腔医学会口腔修复工艺学专业委员会.第14次口腔修复工艺学学术年会论文汇编.,2024:1229.
- [2] 黎光华.口腔义齿桥数字化设计技术研究[D].广东工业大学,2018.
- [3] 许志强,姚江武.数字化口腔修复(29)——融合牙的数字化固定桥修复(附病例报告)[J].临床口腔医学杂志,2017,33(03):176-179.
- [4] 高凤娇,费磊,王云龙.基于三维配准的口腔三维测量数据融合技术[J].黑龙江科学,2016,7(22):40-41.
- [5] 王奇峰.修复牙牙弓线提取及磨牙冠数控加工关键技术研究[实现][D].南京航空航天大学,2009.
- [6] Karnik Atharva, Chhajer Harsita, Venkatesh Swapna. Transforming Prosthodontics and oral implantology using robotics and artificial intelligence[J]. Frontiers in Oral Health, 2024, 5. 1442100
- [7] 李婧,董岩,王富,等.数字化口腔教学评估系统在口腔修复牙体预备评价中的应用[J].中华医学教育杂志,2024,44(11):838-842.
- [8] Yu Haiyang, Wu Jiacheng, Shui Yusen, et al. Digital full-mouth fixed occlusal reconstruction (partI): the "5-19N" clinical technical solution for dentulous situation[J]. West China Journal of Stomatology, 2025, 43(3): 325-335.
- [9] Shen Z, Song L. Trend of collaboration and sharing in digitalized restorative dentistry[J]. Chinese Journal of Stomatology, 2020, 55(12): 932-937.
- [10] 曲畅,孔莘子,徐嘉,等.数字化导板引导上颌种植修复1例[J].中国临床案例成果数据库,2023,05(01):E00255-E00255.