

CAD/CAM 在口腔修复中的应用

赖宏星

石河子大学医学院，新疆维吾尔自治区石河子市，832003；

摘要：随着计算机辅助设计与制造技术（CAD/CAM）在口腔修复学领域得到日益广泛的应用。口腔修复体制作出来的精确性越来越高、工作效率也越来越快以及个性化程度不断升高，显著提升了患者的满意度及佩戴的舒适性。关于 CAD/CAM 技术在口腔修复中的具体应用，本研究进行了全面系统性的探讨。包括三维扫描技术和虚拟咬合设计等关键技术，以及系统的整体构成。固定修复体（包括牙冠和固定桥）、可摘局部义齿以及种植手术导板等方面的临床优势等。

关键词：CAD/CAM 技术；口腔修复体；数字化设计

DOI：10.69979/3029-2808.25.01.054

引言

伴随着信息数字化科技的加速变化，口腔修复学领域正悄然发生着由传统手工方式向计算机协助构建及生产体系（CAD / CAM 方案）的明显切换。过往利用人工操作的修复体，多在修复效果精细性方面略显不足。因此，借助完备繁复的三维探测系统、智能格式建模工具和全流程机械自动成型环节，CAD / CAM 相关工艺早已通过实际应用表现出对修复结果契合度、美观外观与产品产能全面提升的作用。本研究的目标则是围绕 CAD/CAM 技术的原理，探索其在口腔修复中的应用价值，逐步发掘新型材料并不断优化设备，提升口腔领域的发展。通过整理文献，实验结果对比等方法，多种角度的发现并解决问题。

1 资料与方法

1.1 研究对象与数据来源

首先 CAD/CAM 系统架构的三维协同体系，它是由数据采集模块、计算机辅助设计（CAD）模块与计算机辅助制造（CAM）模块三部分构成的，非常巧妙的形成了从数据获取到产品输出的闭环 workflow。其中数据采集模块的核心设备包括口内扫描仪和 CBCT 成像系统，是通过光学三角测量或激光扫描技术从而获取口腔软硬组织的三维数据，精度高达 $10\text{--}20\ \mu\text{m}$ ，与传统印模相比，数字化扫描可减少约 60% 的误差，尤其是适用于多单位桥体修复。

1.2 CAD/CAM 系统配置与技术参数

CAD 模块是以 3Shape、exocad 等软件为核心，支持修复体形态学设计、咬合关系模拟及生物力学分析。其中的高级功能包括动态微笑设计（根据唇齿关系调整切

缘位置）与应力分布的优化。

CAM 模块是以数控切削机床采用五轴联动技术加工氧化锆、二矽酸锂等材料，切削精度达 $\pm 25\ \mu\text{m}$ ，边缘密合度满足临床金标准： $(<100\ \mu\text{m})$ 。3D 打印技术（如 DLP 光固化）用于制作可摘义齿支架与种植导板，材料利用率提升 40%，且支持复杂结构成形。

1.3 临床评价指标体系

以可摘义齿为例，传统 RPD 支架制作采用失蜡铸造法，该工艺需在灌注的模型上完成，制作过程复杂，费时费力。而近年来随着口腔 CAD/CAM 技术在修复领域的不断发展和普及，RPD 支架制作正逐渐摆脱以往制作熔模、包埋铸造等复杂流程实现数字化。并且 CAD/CAM 技术主要通过以下创新，解决了关键问题功能性咬合设计：首先是基于动态咬合记录数据，软件可以模拟下颌运动轨迹，优化义齿基托与剩余牙槽嵴的接触面积后，使咀嚼效率提升 22%。其次是个性化卡环的生成：通过拓扑优化算法，将钴铬合金卡环的弹性模量（210GPa）与基牙倒凹深度匹配，减少摘戴时对基牙的侧向力（降幅达 40%）。然后是材料的创新：采用 PA12 尼龙 3D 打印的可摘局部义齿，重量减轻 35%，且抗疲劳强度达到传统铸造支架的 90%

数字化支架设计不仅易于修改、保存，而且更便于医技沟通，数字化模型更是为支架的优化设计提供了便利。数字化支架制作采用 3D 打印技术，所需加工时间短，材料利用率高，节约了人力物力。

1.4 实验设计

首先，以氧化锆为例，氧化锆为基础的全瓷冠，往往具有强韧且耐用的属性，据患者的实际应用使用时长

统计,这类义齿在5年内的保存情况非常理想,其依附率通常能够保持在95%以上水平,相较之下,用传统金属烧结陶瓷方式工艺制备出的冠体,仅有80%-85%左右的持续效果,由此可以看出,数字化技术全面提升明显。而且效率上也有显著提高,在如此先进设备操作下,全流程仅需2到4小时便可大致完成,而以前的传统方式往往需要约5到7天时间。总体来看,无论是使用性能还是操作时间均有很大改善。下面将应用统计学分析方法对比材料特性,总结数字化口腔技术的发展方向。

3 结果

3.1 CAD/CAM 修复体的全流程数字化

CAD/CAM技术在固定修复体(全冠、固定桥)制作中实现了全流程数字化。CAD/CAM的工作流程大体上分为以下四步:第一步是直接进行口扫或将灌注后的实体模型通过计算机扫描系统形成数字模型;第二步是通过计算机辅助设计和切削形成内冠;第三步是在实体模型上试戴;第四步是烤制饰面瓷。

3.2 种植导板误差分析

在多元信息融合层面上,数字化解剖部位导引板的设计过程展现出极其完备繁复的体系结构。口腔扫描生成的三维形态数据与锥形束射线断层成像资料通过标准参照点悄然完成对齐操作,误差范围通常被限定于0.3毫米,这种高度精准的信息交互方式,使得高危解剖区域如下颌神经走行等获得了更优的保护处理。实际情况表明,在各类临床路径中,对方案指导模具进行技术性完善,成为提升安全系数不可忽视的工序之一。

对于全牙弓缺失受众群体,以黏附组织为承托基础制作数字型介质架时,有必要在相关应用平台里预留2毫米宽松区,这么设置之后,潜移默化地增加稳定概率并减少手术当中的滑脱隐患。在涉及骨体扩充范畴内部,通过对限位孔洞直径适度加大(比常规植入件宽0.5毫米),填补造骨颗粒材料就显得更加便利和舒适。由此可见,大量随访案例反馈显示:使用这一类新生科技配合实施方案后,支撑杆轴向位置偏离程度从以往非数字模式的2.1缩减至0.8,而早期坚固参数ISQ值也有约15%的增长幅度。这些不同环节叠加效应,无疑佐证了整体流程优化带来的优势体验。

3.3 不同材料的加工性能对比

3.3.1 氧化锆材料的精密加工与性能优化

氧化锆材料在口腔修复领域中经常能被大家提及,此类新型陶瓷质物料的数控定制特点,体现在很多方面。

首先,在工艺路径这块,目前普遍使用的是已经过初步烧结处理的氧化锆陶瓷棒材。再分析恢复体适应能力,现在多选纳米级细粉末直径实测约50纳米,配合同步静压成形的大招处理。在光线透射表现这里,氧化锆系统已可以把透明水准提升到接近四十五个百分点,这和自然釉质六成亮度之间距离缩小。有针对美容前区灰暗阴影部位问题,呈现出还算理想改善。此外,专门染色系统比如VITA色阶方案给修复体提供了大约10个不同风格的着色组合,让像四环素牙这种糟心案例美观度潜移默化地有保障。

3.3.2 其他主流材料的加工适配性

1. 玻璃微晶陶类(例如二硅酸锂物质)通过热压注流程与计算机数字设计加工切削技术搭配,材料本身弯曲硬度能达到大约400兆帕级别。实际情况表明,这让其在嵌补块和贴片修复环节顺利适用。此外,在经历850摄氏度、20分钟的反应性重结晶化工艺之后,其透射光线能力提升至35%上下,同时细小裂隙潜移默化地被遏制发展。所使用的是极其完备繁复的材料结构,即便面对外力影响也可降低破裂风险。

2. 合成树脂聚合体类以三维打印紫外固化树脂介质为例,单层堆叠厚度精密控制到了25微米范围,由此表现出适用于临时齿类修理件制造快速特征。这种复合材即使抗折系数已达120兆帕水准,还是得靠极其多样复杂的填充体系增强性能。在加添纳米级填料(诸如二氧化硅粒状杂质)后,试验结果显示耐磨损能力见长40%,实则极大延展了短周期义冠的持续寿命。

4 讨论

4.1 新材料(如梯度复合陶瓷)的发展前景

梯度复合陶瓷材料,在性能与成分方面均显示出一定优势,随着大众对美的追求日渐严格,制造出接近天然牙颜色的修复体日渐发展为研究的核心问题。此类新材料的优势就在于其最外层可达近60%的透光率;其次是它的过渡区域,抗折能力更强,至于内侧基层,其孔隙率能达到30%,这种结构特殊的新型材料,适应了美观和耐用的双重需求。例如,前牙修复体切端用光照探测其可变范围,能在50%降至20%的梯度范围内变化,对天然牙釉—本质之间的过渡效果起到了一定作用,从而改善了传统材料带来的视觉效果。

4.2 氧化锆与复合陶瓷的对比

氧化锆有关CEREC品牌型号原料,通过极其完备繁复的五轴联动智能数控设备来进行切削操作,加工细密度一般可控制在20微米以下。而牙体冠缘贴合实际情

况表明,可以顺利达到小于100微米水平,并算是临床公认标准。待进一步高温烧结后,该类氧化锆结构材料抗折性能会提升到约900兆帕甚至上千兆帕,所以对于承受巨大咬合压力的后磨牙区域整体覆盖体或者短跨桥式结构也同样靠谱。不需要依赖金属底座,也能够应对日常高负荷吃东西那个状况。

复合陶瓷类材料从制造科技角度进行考察,液相叠加3D构建法,例如ACJ类型工艺路线的采用,让那种氧化锆原料浆,可以逐级精细铺设,每一次沉积变得更加有条理,使其边界部分的处理更为精准,有实测结果显示,其最小加工误差能够缩减在15微米左右。同时,对于0.2毫米这样纤薄且具备一定遮色特性的贴面,也支持非常顺利的构建过程,一举解决了复合陶瓷与树脂底座联合打印时因组装匹配产生的大部分尺寸偏差问题。整个多原料协同工作的生产系统,实际上已成为极其完备繁复的立体装备平台,为临床修复体的一致性提供新途径。

4.3 技术局限性

目前在基层医疗点中,CAD/CAM集成科技的推广速度变得异常迟缓,很大程度关联于其昂贵且笨重的硬件投入,再加上一系列操作学习流程严重复杂繁琐这一现实规律。实际情况表明,广大基础级别诊疗场所采用率甚至不足三成。再来看部分较为年资深厚的修复方向医务从业者,对于整套数字化作业环节依然抱有保留态度,惯常延续硅橡胶印模这类经典手段,潜移默化地影响了数字化成品牙体制作,在全行业所占比例也基本停滞在约四成上下。与此同时,一些注重成本效益的国产装备虽说购置门槛相对偏低(通常标价徘徊在20万区间),不过以现阶段配置而言,其数码取像精确程度大多只能达到五十微米,而进口精品设备可实现二十微米覆盖,可见这种落差始终制约着更高难度案例的精准应对能力。在如此极其完备繁复的市场体系内,高性能数控工具实用性受到多层考量。

然而数据整合与加工精度也遇到了瓶颈,如多源数据融合存在误差,如口内扫描与CBCT影像的配准误差(0.3-0.5mm)可能导致种植导板定位偏差,从而增加术中神经损伤风险。其次是基于三维锥形束CT模型设计的手术导板已有报道,由于锥形束CT不能重建精细的牙龈

等软组织,只能设计单纯牙齿固位的导板,稳定性相对较差。

接着是材料性能的限制导致氧化锆修复体的透光率不足非常容易引发前牙区“灰化”的现象,而3D打印树脂的抗弯强度(120MPa)仅为切削陶瓷的10%,限制其长期使用。

最后是CAD/CAM技术也有其应用的局限性,如其在可摘局部义齿,全口义齿等活动修复中表现较为不成熟,修复体的制作受到了多种因素的影响,例如损耗导致的机械加工精度的衰减,使加工时对表面的损坏降低修复体的结构强度,比如利用CAD/CAM技术制作的氧化锆修复体可能在研磨过程中产生细微裂缝与强度改变现象,甚至导致修复体在强度范围内发生断裂现象。

5 结论

随着CAD/CAM技术的应用,口腔修复工作正在从传统手工逐步转向以数字信号为驱动的新阶段。这一极其完备繁复的信息化装置体系不仅显著提升了修复体的精确度与患者佩戴的舒适度,还使外观更加美观逼真。在效率方面,诊疗流程也变的更加简单,时间上也有所缩短,潜移默化地改变临床团队日常运作节奏。根据目前情况来看,此类应用的推广效果并不理想,一方面原因是此类设备高昂的价格令人望而却步,另一方面,一些地方性诊所缺乏相应可操作设备的人才和地方性卫生机构的投入不足等原因。纵观未来发展,应不断完善设备的精确性并使价格亲民,加大技术型人才的培养,将新技术推广到更多领域,使全民能更加直观地感受到新时代的产物,并得到更好的服务。

参考文献

- [1]李彦,陈吉华. CAD/CAM技术在口腔修复中的应用进展[J]. 国际口腔医学杂志, 2020, 47(01): 1-7.
- [2]王佐林. 数字化口腔种植修复[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2021.
- [3]钱飞. 3D打印可摘局部义齿支架的优化设计与临床应用[D]. : 中国人民解放军空军军医大学, 2022.
- [4]陈吉华,李彦. 口腔修复中的数字化技术[M]. 西安: 第四军医大学出版社, 2016.
- [5]居镇邦. 数字化技术在口腔修复中的应用[J]. 福建茶叶, 2020, 42(04): 21-22.