

# CAD/CAM技术在全口义齿设计制作中的应用进展

于波<sup>1</sup>综述, 董世涛<sup>2</sup>审校

(河北省承德市口腔医院 1.修复科; 2.特诊科 河北 承德 067000)

**[摘要]**随着数字化技术发展, 计算机辅助设计/计算机辅助制造 (Computer-aided design/Computer-aided manufacturing, CAD/CAM) 技术开始在全口义齿设计与制作中广泛应用, 其取代了传统义齿修复中的繁杂步骤, 并凸显了对医生技术依赖性低、设计加工精度高、容易被复制和推广等优势, 应用前景良好。本文对近年来国内外使用CAD/CAM技术制作全口义齿的研究文献进行回顾, 就CAD/CAM技术的概念、临床应用以及研究进展综述如下。

**[关键词]**计算机辅助设计/计算机辅助制造技术; 全口义齿; 设计; 制作; 进展

**[中图分类号]**R783.3 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1008-6455 (2025) 04-0180-04

## Application Progress of CAD/CAM Technology in the Design and Manufacture of Complete Dentures

YU Bo<sup>1</sup>, DONG Shitao<sup>2</sup>

(1. Department of Prosthetics, 2. Department of Special Clinic, Chengde Stomatological Hospital, Chengde 067000, Hebei, China)

**Abstract:** With the development of digital technology, computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology began to be widely used in the design and manufacture of complete dentures, which replaced the complicated steps in traditional denture repair, and highlighted the advantages of low dependence on dental technology, high design and processing accuracy, and easy to be copied, with good application prospects. This paper reviews the research literature on the use of CAD/CAM technology to make complete dentures at home and abroad in recent years. The concept, clinical application and research progress of CAD/CAM technology are summarized as follows.

**Key words:** computer-aided design/computer-aided manufacturing technology; complete denture; design; make; progress

全口义齿为口腔活动修复中最复杂的修复体, 临床操作步骤复杂, 对临床医生的技术要求较高<sup>[1]</sup>。因全球社会老龄化进程加快, 无牙颌病例数量日渐增多, 全口义齿设计制作需求也随之增大<sup>[2]</sup>。然而全口义齿主要经人工设计与手工制作, 其质量取决于医生技术, 常有修复失败情况发生<sup>[3]</sup>。李利霞等<sup>[4]</sup>经研究发现传统全口义齿修复失败率高达10%, 王稚英等<sup>[5]</sup>阐述正中咬合关系记录错误、垂直距离过高、过低、反复压痛、基托后缘过短等是全口义齿修复失败的主要原因。随着数字化技术的发展, 其在口腔固定修复中的全冠、嵌体、贴面和种植等操作中的应用频率日益升高, 相较于传统修复技术, 数字化技术具有明显的时效性、经济性和美观性<sup>[6-7]</sup>。但因为全口义齿制作造型复杂, 且所用材料复杂多样, 全口义齿很难用单一设备、工序制作完成, 因而数字化技术在全口义齿中的应用研究比较滞后。过去25年来, 国内外口腔固定修复体研究人员对计算机辅助设计/计算机辅助制造 (CAD/CAM) 技术进行了深入研究, 发现其已成为牙科领域越来越流行的一部分。CAD/CAM技术在牙科实验室和牙科办公室都有应用, 可应用于嵌体、镶嵌、贴面、牙

冠、固定部分义齿、种植基牙, 甚至全口重建, 越来越多的手工操作可经CAD/CAM技术完成, 不但节省了人力资源, 还更加精确, 可在任何时间中复制出精确的义齿, 并通过临床实践验证了其在口腔固定修复领域中的可行性<sup>[8-11]</sup>。本文以无牙颌患者的全口义齿设计与制作为主, 分析CAD/CAM技术在全口义齿设计和制作中的应用以及优越性。

### 1 CAD/CAM技术的概念及其在全口义齿中的作用原理

CAD技术指的是使用计算机软硬件生成, 运用数字和图像信息技术设计产品; CAM技术指的是由计算机控制的数控加工设备对人工牙齿、基托等产品进行自动加工成型的制作技术<sup>[12]</sup>。CAD作为数字化全口义齿系统关键技术部分, 不同系统各有其专用的CAD软件, 比如3Shape Dental System、Ceramill Mind软件等, 均根据计算机数据库中与全口义齿设计有关的原理和数据, 利用CAD软件对获得的无牙颌模型扫描数据、面部扫描数据、骀关系记录扫描数据等进行参数化和上下颌模型重建等, 使用软件检测其排牙重要参考标志, 自动确定纵骀曲线、中心、骀平面和横骀曲线等, 创立

空间三维坐标系,排牙曲线,在曲线上标记牙齿三维顶点标志点,从人工牙三维数据库中自选取牙齿模型并按排牙原则完成三维虚拟排列、设计基托和牙龈形态等任务,最终在计算机屏幕中表现出全口义齿三维图像,结束全口义齿建模<sup>[13]</sup>。随后,建立并运用虚拟颌架,其可参考临床采集的数据进行三维空间观察,模拟患者开口、闭口、前伸、后退以及侧方等功能性运动,自动识别、检测咬合接触关系,利用颜色梯度显示其接触部位的具体位置、范围、上下虚拟牙齿之间非接触区距离,在收到计算机指令后自动精准地选磨调颌,取出咬合高点<sup>[14]</sup>。最后,将CAD设计的3D图像发送给医生,检查确定后开始进行全口义齿CAM。从目前情况看,各个系统CAD软件均比较成熟,但仍存在改进空间,如三位数转换配准融合精度不够高,虚拟颌架无法完全精准模拟人体口颌系统生理运动等。

CAM技术的作用在于将CAD软件设计好的全口义齿三维数据传送到CAM系统上进行自动加工,最后进行实物制造<sup>[15]</sup>。在全口义齿中CAM技术应用有如下几种:加法加工技术和减法加工技术。其中加法加工技术即增量加工技术,是一种3D打印技术,其原理是对物体三维图形以软件分割为连续、多层叠加的二维图像,再用快速成型设备在加工程序下自动堆放材料使其形成连续层,最终逐层堆积成物体原型,其中包括立体光刻技术、分层实体制造技术和选择性激光烧结技术<sup>[16]</sup>。加法加工技术在全口义齿中可使用到的方法仅限于3D打印牙列与基托、个别托盘、物理石膏阴模等,但打印聚合物、金属尚有限,无法打印牙科陶瓷类材料,常用材料多为石膏、聚乳酸类、蜡块和树脂类。减法加工技术即去除式加工技术,要求将物体三维CAD数据导入计算机程序控制的电动铣削设备中,从而获得物体原型。该技术用于制作全口义齿时主要使用如下方法,即铣削基托、牙列等,生产效率较高,但材料方面仅限于蜡块、树脂类<sup>[17]</sup>。我国目前使用的排牙技术是在CAD设计后使用机器人辅助制作全口义齿排牙,但也能做到排牙,基托制造尚处于试验阶段。

## 2 CAD/CAM技术在全口义齿设计与制作中的应用

2.1 制模:上下颌模型制备是全口义齿制作基础,印模精准与否决定了全口义齿质量。CAD/CAM技术作为一种数字化设计和制造技术,其用于全口义齿印模可划分为直接、间接两类,扫描方式可分为口内直接扫描、模型三维扫描。其中,口内直接扫描指的是使用小型口内三维扫描设备,置入无牙颌者口腔,扫描测量牙槽嵴及其周围软组织,获得印模数据。相较于传统技术,口内直接扫描用于上下颌模型制备中可避免使用流动性印模材料为患者带来的恶心想,并实施补充扫描,避免印模出现伸展不足、表面缺陷等问题。然而,口内三维扫描也存在一些不足,如扫描范围大、耗时久、扫描数据拼接时有误差等,因而其尚不适用于无牙颌功能数字化印模制备,更适合通过扫描牙颌印模获得无牙颌功能模型数据。间接印模步骤与传统技术基

本相同,区别在于个别托盘制作,其步骤繁琐、技术要求高、经验技巧依赖性强,且在软化蜡片加压贴合模型表面时,蜡片容易变形。CAD技术有适合边缘伸展的优点,可克服上述缺陷,为终印模材料预留比较均匀的三维空间,并为患者设计个性化托盘。Xu X等<sup>[18]</sup>研究发现,3D打印个别托盘能提高终印模的精准度。个别托盘打印技术包括光固化成型技术、熔融堆积成型技术,其打印精准度极高,在预留空间分布上接近1 mm。Huang Z等<sup>[19]</sup>经研究证明了通过CAD/3D打印制造单个托盘新方法的可行性,并表示使用CAD技术制造的单个托盘印模厚度均匀,与通过常规工艺制作的印模相比,具有可接受的精度水平。CAD技术设计个别托盘,避免了传统技术中铅笔在石膏上画线设计、涂蜡缓冲填倒凹和铺树脂片等步骤,避免患者长时间等待,同时因省略材料加工程序,减少了材料浪费,经济性优势突出<sup>[20]</sup>。

2.2 颌位关系记录与转移:传统技术是通过口内使用蜡制颌托确定无牙颌患者的颌位关系,再使用面弓转移上颌架方式,把颌位关系转移到机械牙合架上。医生一般按经验使用机械式颌架观察义齿牙列空间关系和运动状态,由于无法精准记录牙列咬合面咬合早接触区、干扰区体积,无法达到精准调和。由于CAD/CAM技术应用,数字化上下颌模型开始用于临床,虚拟颌架系统也应运而生,其可用于分析静态与动态咬合,使修复体的咬合面形态无限接近生理状态,减小机械颌架应用时造成的误差。陶进京等<sup>[21]</sup>报道虚拟颌架可以为CAD/CAM铣削氧化锆粘接桥修复体咬合调整提供帮助。Buzayan MM等<sup>[22]</sup>使用开源3D模式铰接上颌和下颌3D弓模型,以模拟和评估作为虚拟实体模型一部分的咬合,不但更精确,且成本效益较高。Cramer von Clausbruch S等<sup>[23]</sup>使用CAD/CAM系统开发虚拟颌架程序,可将患者下颌运动轨迹输入系统后精准模拟该患者的下颌运动,再利用减法机制去除其咬合干扰点。Wimmer T等<sup>[24]</sup>使用三维坐标测量仪掌握了机械颌架的牵伸运动轨迹,构建虚拟颌架,并利用虚拟蜡刀消除颌干扰点,最终证明CAD/CAM技术纳入全口义齿制造中有助于简化程序。

2.3 排牙:全口义齿排列原则是功能、美观和组织保健,有学者基于此开发了自动化排牙系统,并不断更新<sup>[25]</sup>。在传统技术中,人工排牙优劣取决于技师实践经验以及排牙理论掌握精度,但因现实排牙中存在的客观局限性,技师极难实现理论排牙。然而,在虚拟环境中可将理论排牙原则参数化,使用控制程序调整人工牙位置,准确设定人工牙之间及其与颌平面之间的三维关系,比如CAD系统可借助计算机在下颌牙槽嵴上排牙,在冠状位、矢状位以及水平面上移动,调节牙位三维位置及其长宽高。排牙后自动生成牙龈形态,与传统排牙技术相比更快且具有个性化,但在专业化和智能化上有待提高。事实上,CAD技术用于排牙中也并非完全自动化,医师、技师以及患者均可参与其中,实现医患交流,将智能化、个性化整合,满足患者个性化排牙要求的前提下,自动调节邻接和咬合关系,逐渐

形成标准化排牙系统,这是未来CAD技术的发展方向和研究重点。Zhang YD等<sup>[26]</sup>提出了一种全口义齿多机械手排牙方法,并设计了一种基于多机械手和牙弓发生器的新型全口义齿制造机构,利用多机械手排牙机器人原型系统可以根据颌弓参数自动设计和制造一套适合患者的全口义齿。Negreiros WM等<sup>[27]</sup>使用开源CAD软件程序为全口义齿患者设计完整的牙弓数字化试牙排列方法,不但再现牙齿和牙龈解剖结构,且这种具有成本效益、省时和通用性的方法使牙科专业人员能够为全口义齿患者数字化计划进行挑战性的治疗,应用前景良好。Cheng C等<sup>[28]</sup>表明牙齿排列中牙根与下颌之间的关系信息的准确性、有效性和缺乏是牙齿排列技术中的关键问题,使用CAD虚拟排齿系统能够很好地排列异常牙齿,并且具有足够的灵活性。

2.4 义齿试戴与终义齿制作:当前一些数字化全口义齿系统,利用颌位测定装置进行义齿试戴或者直接省略改步骤,但大部分医师认为正确试戴义齿,可校准义齿发音、咬合以及美学,增加终义齿的稳定度和精度<sup>[29]</sup>。义齿试戴可采取三维打印方式,包括CAM加法加工技术和减法加工技术,前者如北大使用3DP技术制作了聚乳酸一体试牙模型,后者多采取数控切削技术,整体制作完成一体试牙蜡型后安插人工牙<sup>[30]</sup>。

终义齿制作是基于CAD三维打印和CAM数控切削方式完成<sup>[31]</sup>。对于三维打印技术来说,多色一体化打印可达到真彩打印和高精度目标,同时节省材料,但该技术所用材料更适用于视觉参考模型,材料的生物安全性以及机械强度有待提升<sup>[32]</sup>。对于数控切削技术而言有两种方式,其一是先切削基托,在基托预留人工牙凹槽,再将人工牙插入基托中完成全口义齿制作,或是在基托人工牙位置形成凸起的基桩,经切削和基桩匹配的树脂与基托粘接,制作终义齿,但该方法不利于保障全口义齿咬合精准度与稳定性;其二是整体切削基托、人工牙,保证精度,并在基托、人工牙交界处使用CAD技术进行仿生设计<sup>[33]</sup>。

### 3 CAD/CAM技术的优势与不足

#### 3.1 CAD/CAM技术的优势

3.1.1 节省成本:医生椅旁工作时间即患者就诊时间,传统全口义齿修复要求牙医工作时间大约为2 h,目前尚无CAD/CAM系统下医生工作时间的数据研究,但在全口义齿设计与制作中的制模、排牙等阶段均可节省时间。Smith PB等<sup>[34]</sup>将北美一所牙科学校的大型诊所将数字义齿技术引入了学生的临床体验中,发现CAD/CAM技术在制造数字义齿时创造了节约成本的效益:使用3D打印可以节省大量成本,完成义齿制造步骤的访视次数、插入后访视次数的减少进一步节省了开支,由此可见与传统的实验室制造的全口义齿相比,利用内部CAD/CAM铣削技术实现四步系统可以在材料成本、医生椅旁工作时间成本方面均实现显著的成本节约。

3.1.2 提高全口义齿制作质量:质控是医疗行业重要指标,传统技术以手工操作为主,质控成本高。CAD/CAM技术

可使用三维扫描、数字化设计和加工以及原材料工业批量制备等提高个性化义齿制作质量稳定性<sup>[35]</sup>。赵文艳等<sup>[36]</sup>在牙列缺失修复中对传统义齿和数字化义齿进行了分组对照实验分析,后者使用全口诊断义齿设计软件、CAD软件和3D打印设备快速制作出全口诊断义齿,该组患者对义齿的主观满意度明显较高,且戴用义齿后调整义齿次数明显较少,当天咀嚼效率较高,证明了CAD/CAM制作全口义齿的优越性,认为其可提高患者主观满意度,减少就诊次数,且技工室加工流程更具优势。Park J等<sup>[37]</sup>发现在全口义齿设计中使用CAD/CAM技术可以提高这些框架的性能和效率,其设计的特定于患者的牙科框架与传统设计有很大不同,但可能用更少的材料实现更好的结构完整性,提高患者主观满意度。

3.1.3 降低医生个人经验的依赖性:医生临床经验十分宝贵,但传统全口义齿设计和制作流程对医生个人临床经验的依赖性较高,年轻医生则很难制作出高质量全口义齿。CAD/CAM技术的运用可降低医生对临床经验的依赖性,Kalberer N等<sup>[38]</sup>研究表明在目前的制造标准下CAD/CAM铣削全口义齿无需依赖传统义齿制备经验,其在全口义齿凹版表面制备上的真实性和准确性方面显著优于传统方法。Miyazaki T等<sup>[39]</sup>研究发现牙科CAD/CAM系统的使用不仅在牙冠领域,而且在牙科的其他领域都很有前景,将有助于老年社会患者的健康和生活质量。

3.1.4 提高可复制性:CAD/CAM技术作为数字化技术,其特征为全部三维数据化,患者义齿信息能够长期保存,在需要时亦可快速制作“复制”义齿,用于调整和重衬,从而快速、简单地制作出新义齿。此外,该技术可利用互联网远程传输和异地加工优势,便于推广、普及。

3.2 CAD/CAM技术的不足:CAD/CAM技术对三维扫描软件、数字化加工设备要求较高,口腔医院、义齿加工单位必然要在设备购买、技术学习方面增加资金投入,技术成本和学习成本增加毋庸置疑。但从长远效益来看,相关成本投入是必须且值得的。

### 4 展望

CAD/CAM技术在全口义齿中的临床应用前景良好,越来越受业内关注,但此项技术尚未彻底研发,多个技术环节存在限制。笔者认为,CAD/CAM技术下一步的研究方向可分为三个方面:其一是全口义齿修复流程标准化,尤其是CAD技术,在获取下颌数字化运动信息、排牙简便化和智能化、基托与人工牙的形态和界面设计等方面应更加精确;其二是数字化全口义齿材料开发,无论是三维打印,或者说数控切削,均可开发出同时满足工艺、临床性能要求的基托和人工牙材料;其三是加深临床研究,提供大量临床报道和数据分析,从而为不断完善CAD/CAM技术提供反馈,并加快其在临床上的推广。

#### [参考文献]

- [1]Rasaie V, Abduo J. Current techniques for digital complete denture fabrication[J]. Int J Comput Dent, 2022,25(2):181-199.



- [2] Goodacre B J, Goodacre C J. Additive manufacturing for complete denture fabrication: A Narrative Review[J]. J Prosthodont, 2022,31(S1):47-51.
- [3] Devi B V, Ahmed N, Ganapathy D, et al. Expectation of treatment outcomes in complete denture wearers[J]. J Adv Pharm Technol Res, 2022,13(Suppl 1):S277-S281.
- [4] 李利霞, 刘勤. BPS与传统全口义齿修复用于低平牙槽嵴全口义齿修复的疗效观察[J]. 贵州医药, 2022,46(6):917-918.
- [5] 王稚英, 李瑞飘. 无牙颌即刻负重种植义齿风险因素的研究进展[J]. 口腔医学研究, 2019,35(9):821-826.
- [6] 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.
- [7] Watanabe H, Fellows C, An H. Digital technologies for restorative dentistry[J]. Dent Clin North Am, 2022,66(4):567-590.
- [8] Taylor M, Masood M, Mnatzaganian G. Complete denture replacement: a 20-year retrospective study of adults receiving publicly funded dental care[J]. J Prosthodont Res, 2022,66(3):452-458.
- [9] Blatz M B, Conejo J. The current state of chairside digital dentistry and materials[J]. Dent Clin North Am, 2019,63(2):175-197.
- [10] Beckers O, Coppey E, Mommaerts M Y. Computer-aided design and manufacturing construction of a pilot guide for a bone-anchored epithesis to replace an absent pinna[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2021,50(6):815-819.
- [11] 徐薇, 安磊, 于晓波, 等. CAD/CAM个性化基台在缺牙种植修复中的美学效果评价[J]. 中国美容医学, 2022,31(9):137-140.
- [12] Carneiro Pereira A L, Bezerra de Medeiros A K, de Sousa Santos K, et al. Accuracy of CAD-CAM systems for removable partial denture framework fabrication: A systematic review[J]. J Prosthet Dent, 2021,125(2):241-248.
- [13] Gruber S, Kamnoedboon P, Özcan M, et al. CAD/CAM complete denture resins: An in vitro evaluation of color stability[J]. J Prosthodont, 2021,30(5):430-439.
- [14] Kouveliotis G, Tasopoulos T, Karoussis I, et al. Complete denture digital workflow: Combining basic principles with a CAD-CAM approach[J]. J Prosthet Dent, 2022,127(4):550-555.
- [15] Millet C, Virard F, Dougnac-Galant T, et al. CAD-CAM immediate to definitive complete denture transition: A digital dental technique[J]. J Prosthet Dent, 2020,124(6):642-646.
- [16] You S G, You S M, Kang S Y, et al. Evaluation of the adaptation of complete denture metal bases fabricated with dental CAD-CAM systems: An in vitro study[J]. J Prosthet Dent, 2021,125(3):479-485.
- [17] Masri G, Mortada R, Ounsi H, et al. Adaptation of complete denture base fabricated by conventional, milling, and 3-D printing techniques: An in vitro study[J]. J Contemp Dent Pract, 2020,21(4):367-371.
- [18] Xu X, Xie Q, Zhang L, et al. A digitally designed and 3D printed individual tooth tray for taking subgingival impression of complete crown preparation[J]. J Dent Sci, 2021,16(4):1335-1338.
- [19] Huang Z, Wang X Z, Hou Y Z. Novel method of fabricating individual trays for maxillectomy patients by computer-aided design and rapid prototyping[J]. J Prosthodont, 2015,24(2):115-120.
- [20] 金恩龙, 赵甜, 陈虎, 等. 基于医师满意度的计算机辅助设计和三维打印上颌可定位个别托盘技术临床初步评价[J]. 中国药物与临床, 2018,18(10):1657-1660.
- [21] 陶进京, 黄昱, 衣颖杰, 等. 虚拟颌架在CAD/CAM铣削氧化锆粘接桥中的应用[J]. 中国美容医学, 2021,30(6):139-142.
- [22] Buzayan M M, Seong L, Elkezza A, et al. Digital workflow for articulating maxillary and mandibular 3D arch models using an open source 3D modeling software program[J]. Quintessence Int, 2020,51(9):776-779.
- [23] Cramer von Clausbruch S, Faust A. Advanced crown and bridge design[J]. Int J Comput Dent, 2003,6(3):293-302.
- [24] Wimmer T, Gallus K, Eichberger M, et al. Complete denture fabrication supported by CAD/CAM[J]. J Prosthet Dent, 2016,115(5):541-546.
- [25] Kreulen C M, Crins L A M J, Opdam N J M, et al. Rehabilitation of worn dentition with CAD-CAM restorations: a case report[J]. J Adhes Dent, 2022,24(1):187-194.
- [26] Zhang Y D, Jiang J G, Liang T, et al. Kinematics modeling and experimentation of the multi-manipulator tooth-arrangement robot for full denture manufacturing[J]. J Med Syst, 2011,35(6):1421-1429.
- [27] Negreiros W M, Jamjoom F Z, Gallucci G, et al. Designing a complete-arch digital trial tooth arrangement for completely edentulous patients by using an open-source CAD software program: A dental technique[J]. J Prosthet Dent, 2021,125(3):387-391.
- [28] Cheng C, Cheng X, Dai N, et al. Personalized orthodontic accurate tooth arrangement system with complete teeth model[J]. J Med Syst, 2015,39(9):84.
- [29] Stephens A P. Full denture try-in[J]. J Ir Dent Assoc, 1969,15(6):126-128.
- [30] 张力, 姚丽娜, 袁玮, 等. 数字印模技术在下颌游离端可摘局部义齿制作中的应用[J]. 口腔医学, 2021,41(12):1111-1116.
- [31] Jasiūnaitė A, Verenis A M, Ivanauskienė E, et al. A comparison of mechanic properties regarding complete removable dentures, which were made from polymethylmethacrylate (PMMA) during conventional and CAD/CAM processes[J]. Stomatologija, 2022,24(1):3-12.
- [32] 沈妍汝, 陈虎, 马珂楠, 等. 多色多硬度牙颌模型感光聚合物喷射一体化三维打印精度初探[J]. 中华口腔医学杂志, 2021,56(7):652-658.
- [33] 闫越琪, 翟紫荻, 刘晋禹, 等. 新型数控切削全口义齿基托树脂材料的制备及性能初步评价[J]. 中国实用口腔科杂志, 2022,15(3):309-314.
- [34] Smith P B, Perry J, Elza W. Economic and clinical impact of digitally produced dentures[J]. J Prosthodont, 2021,30(S2):108-112.
- [35] Goujat A, Abouelleil H, Colon P, et al. Marginal and internal fit of CAD-CAM inlay/onlay restorations: A systematic review of in vitro studies[J]. J Prosthet Dent, 2019,121(4):590-597.e3.
- [36] 赵文艳, 杨欣, 刘微, 等. 数字化全口义齿修复牙列缺失的临床疗效观察[J]. 宁夏医学杂志, 2021,43(9):841-843.
- [37] Park J, Lee D, Sutradhar A. Topology optimization of fixed complete denture framework[J]. Int J Numer Method Biomed Eng, 2019,35(6):e3193.
- [38] Kalberer N, Mehl A, Schimmel M, et al. CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: An in vitro evaluation of trueness[J]. J Prosthet Dent, 2019,121(4):637-643.
- [39] Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, et al. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience[J]. Dent Mater J, 2009,28(1):44-56.

[收稿日期] 2023-02-27

本文引用格式: 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.