

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2018.07.001

· 专家论坛 ·

数字化技术在口腔美学修复中的研究进展

廖岚, 曾丽君

南昌大学附属口腔医院修复二科, 江西 南昌(330003)



【作者简介】廖岚,教授、主任医师,博士研究生导师,南昌大学附属口腔医院党委书记。1993年南昌大学医学院口腔医学系本科毕业留院工作,2010年南昌大学材料科学与工程学院材料物理与化学专业硕士毕业,2015年南昌大学材料科学与工程学院材料物理与化学专业博士研究生毕业。荣获江西省百千万人才称号、江西省巾帼建功标兵、江西省高等学校中青年骨干教师、江西省卫生系统学术和技术带头人培养对象、江西省医学领先学科成员。多次赴英、澳、韩、美等国家学术访问和交流。2015—2016年受江西省“百人远航工程”人才项目资助公派赴美国Temple大学牙学院作访问学者1年。长期从事口腔疾病临床医疗、教学和科研,擅长各种口腔修复疑难杂症的诊治。在国内较早地开展了“显微修复牙体预备”、“数字化咬合测力”、“全程数字化种植”等技术,发表专业论著20余篇。承担国家自然科学基金及省级以上课题10余项。

【摘要】随着数字化、信息化及互联网技术广泛应用于口腔医学领域,数字化口腔美学修复技术也日新月异地改变着传统修复诊疗模式。数字化美学修复治疗的发展,与医学其他领域的数字化发展轨迹相类似,从不同临床治疗步骤的数字化技术介入,逐渐演变为贯穿整个治疗过程的数字化。数字化对于提高美学修复的精准度与质量,提高临床工作效率起到了积极的推动作用,造福了广大患者。数字化美学修复甚至可以取代传统的修复诊疗模式,促进美学修复进入完全数字化时代。功能、美学、微创是当今口腔修复的三大理念,而数字化口腔美学修复技术是集三者为一身的完美诠释。本文介绍目前美学修复治疗的数字化技术,述评数字化美学修复的优势、目前的局限性及今后发展方向。

【关键词】数字化; CAD/CAM; 美学修复; 美学区; 数据采集

【中图分类号】R783.4 【文献标志码】A 【文章编号】2096-1456(2018)07-0409-06

【引用著录格式】廖岚,曾丽君.数字化技术在口腔美学修复中的研究进展[J].口腔疾病防治,2018,26(7):409-414.

Updated research on digitalization in aesthetic restoration LIAO Lan, ZENG Lijun. Department of Prosthodontics, Affiliated Stomatological Hospital of Nanchang University, Nanchang 330003, China

Corresponding author: LIAO Lan, Email: liaolan5106@163.com, Tel: 0086-791-86350706

【Abstract】With the development of digitalization, information and internet technology, digital dental aesthetic restoration technology is changing the traditional mode of treatment. The development of digital aesthetic restoration therapy is similar to the digital development track in other fields of medicine, in which the use of digital technology for intervention in particular treatment steps is evolving to digitalization throughout the treatment process. Digitalization improves the precision and quality of aesthetic restoration, increases the efficiency of clinical work and is favorable for patients. Digitalization could replace traditional methods, propelling aesthetic restoration into a fully digitalized era. Function, aesthetics and minimal invasiveness are the three major concepts of contemporary prosthodontics, and digital aesthetic restoration technology represents a perfect interpretation of these three concepts. This paper describes recently developed digital technologies for aesthetic restoration and cites the advantages, limitations, and developmental direction of digital restoration dentistry.

【Key words】Digitalization; CAD/CAM; Aesthetic restoration; Aesthetic region; Data collection

【收稿日期】2018-01-06; 【修回日期】2018-05-10

【作者简介】廖岚,教授,博士, Email: liaolan5106@163.com

功能、美学、微创是当今口腔修复的三大理念,而数字化口腔美学修复技术是集三者为一身的完美诠释。本文简要概述在口腔美学修复诊疗过程中数字化技术的优势、不足及发展方向,为其临床应用提供参考。

1 数字化口腔美学修复的概况

数字化口腔美学修复是将数字化设备用于美学修复治疗,替代传统的治疗手段,提高修复治疗的效果。数字化口腔美学修复并非是在治疗过程中简单应用某些数字化技术,而是应用数字化技术进行数据连接与叠加,实现口腔美学修复治疗过程中的连贯性与可重复性,以提高美学修复的精确性和可预见性。

2 数字化技术在口腔美学修复中的优势及不足

在数字化口腔美学修复过程中,主要包括了四个关键治疗步骤:数据采集、数据分析、计算机辅助设计和计算机辅助制作,每个步骤中都包含了许多不同的数字化技术。

2.1 数据采集

数据采集的内容包括数字化印模、数字化面部三维扫描、数字化口腔影像学以及数码静态、运动数据等。

2.1.1 数字化口腔印模 数字化口腔印模技术是指运用数字化扫描设备对患者的牙体及周围软硬组织状况进行扫描,从而获得数字化印模,为后续修复体的虚拟设计提供精确的数据。主要通过以下两种方式获取数据:口外间接采集和口内直接采集^[1]。目前,口内扫描方式已经成为主流发展方向,其操作简便,易存储,还集成了比色这一特殊功能^[2]。

数字化印模相比于传统印模方式优势显著,主要体现在以下几个方面:高效、高精密度、高接受度、存储简单。就高效方面而言,Joda等^[3]通过随机对照研究比较口内扫描与常规取模的时效性,口内扫描平均总工作时间为 (5.01 ± 1.56) min(学生)和 (4.53 ± 1.34) min(牙医),而常规取模,平均总工作时间为 (12.03 ± 2.00) min(学生)和 (10.09 ± 1.15) min(牙医),口内扫描明显比传统方式更高效^[3]。针对精密度方面,数字化印模可以通过重复放置探头位置多次获取细节,覆盖盲区,以完善印模,避免了传统印模如果制取失败需要重新制取整个印模的弊端^[4]。Heike等^[5]的研究表明

无论是口内还是口外扫描,单冠预备体扫描结果对照其相应CAD模型,偏差都在 $\pm 20 \mu\text{m}$ 的基准范围内,表现出高精度度;Gan等^[6]测算得出整个牙列的精确度平均值为 $(59.52 \pm 11.29) \mu\text{m}$,软腭组织的平均精确度为 $(55.26 \pm 11.21) \mu\text{m}$,说明口内扫描仪获取整个上颌的数字模型是可行的。相对于传统印模法,数字化印模可避免取印模时易出现的恶心呕吐、材料误吸等弊端,因此患者更易接受数字化印模^[7]。研究表明口内扫描可省去选择托盘、调拌材料等需要的时间,因此口腔医生更倾向于选择数字化印模^[3];数字化印模还可以指导备牙,扫描结果可显示出预备体是否切削量不足或者存在倒凹等,使医生更倾向选择数字化印模。此外,数字化印模易存储,测量方便,方便管理,有利于医患沟通,可远程网络传输,方便远程会诊及与技师交流;亦可椅旁数控加工,高效便捷。

现阶段扫描技术上仍然存在一些局限性,如受软组织和液体影响,需要隔湿,难以获取邻面接触点和倒凹区的准确信息,准确度受操作者手法差异以及扫描设备本身的影响。此外,数字化印模的适应证目前相对较窄,对于多颗牙缺失的活动义齿修复应用较为局限,全牙列扫描时精密度会有所降低。针对这类问题可以通过调整扫描策略来弥补;操作者手法问题可以通过专业学习与练习解决。随着技术的不断完善,数字化印模将会逐步替代传统技术,使前牙美学修复全程数字化更进一步。

2.1.2 数字化面部三维扫描 数字化面部三维扫描是指应用面部实体轮廓扫描技术对患者进行面部扫描,数据通过软件与CBCT扫描的颌骨数据以及获取的口内软硬组织数据整合,形成一个患者的虚拟颜面部轮廓外形数据,简化了传统临床常用石膏模型—诊断蜡型—诊断饰面口内试戴的繁琐步骤。采集技术主要包括结构光扫描、激光扫描、数字化立体测量等方法^[8-10]。

数字化面部三维扫描的优势主要体现在节约时间及简化治疗流程、增加美学和功能预期。Zhao等^[11]研究得出使用非接触式三维测量系统进行面部扫描,精度高达 0.059 mm ,可以获得相对准确的三维参考人脸模型,用于进一步的三维评价。面部三维扫描最显著的优势是扫描时间短,无需依赖于复杂的扫描设备,节约临床时间。Hassan等^[12]应用面部实体三维真彩扫描技术配合

CAD/CAM技术,制作即刻全口义齿,与传统修复相比简化了设计和制造程序,且具有良好的稳定性、固位力及美感,患者满意度和接受度较高。在复杂病例诊疗中能极大地改善医患沟通和团队合作。例如在传统全口种植修复中,为确保种植体植入位置及术后功能最佳,常需要多次临床评估与步骤,结果修复过程耗时长、费用高且不适感明显。Hassan等^[13]通过面部扫描与咬合记录结果,术前创建虚拟排牙,虚拟临床评估,供医生与患者参考,术后即刻通过数控加工制作出临时修复体。

随着科学技术的发展,解决了数据匹配问题,数字化面部三维扫描将广泛应用于美学修复治疗过程中,提高治疗效率与精度。

2.1.3 数字化口腔影像学 口腔医学影像数字化起源于医学影像的数字化,数字化应用不仅使放射科工作模式发生了巨变,也改变了患者就医模式,使口腔医学相关诊断向无胶片时代迈进。其优势主要体现在以下几个方面,①明显提高临床诊断准确性,例如目前正广泛应用于口腔的CBCT可获取亚毫米级的分辨率图像,扫描时间短、低辐射剂量,改变了传统的经验模式^[14];②数字化放射较传统模式无需冲洗胶片,节约空间与资源,患者等待时间明显缩短,医生阅片不再需要特定设备,影像资料直接传输至椅旁工作站,数据也可供院内会诊与远程会诊,充分体现了“互联网+”时代的特征,为实现在线医疗提高支持,为患者提供更专业的影像学指导。Burgess^[15]认为数字化容积数据(DICOM)成像有两个创新包括互联网图像传输和使用移动设备查看。在多点之间共享图像,网络传输便利,中型和大型的牙科设备开始利用DICOM和基于“云”的存储和检索^[16-17];并且提供强大全面的分析工具,数字化容积数据可以很好地与可见数据相叠加,为美学区种植制定非常准确的治疗计划,在设计软件上形成模拟植入,并且可以生成导板指导术中种植体的精准植入^[18-19]。③方便患者资料的管理,实现影像学资料电子化管理。

对医院而言,数据安全将是一大挑战,操作系统一旦出现问题,可能出现全医院的影像学诊断瘫痪,应加强备份以保证影像学数据的高保险和高安全;对影像医师而言,主要挑战在于如何在巨大的工作量中防止对微小病变的漏诊;对影像设备操作技术人员来说,需要不断规范影像检查的操作来适应技术的不断发展;在全新环境下,患者面临的问题更多,如辐射剂量增加、检查费用增

加等。

2.1.4 其他资料 口腔美学修复还需要记录患者的运动数据、静态的规范口腔数码摄影、动态视频等。现代数字化系统正在不断尝试整合DICOM数据、面部扫描、运动数据和动态视频。Agarwal等^[20]研究发现动态视频可以实现有效的记录,在休息、讲话和微笑的过程中支持图像捕捉,可同时分析和测量不同变量,有助于制定治疗计划,同时显著降低成本,最大限度地降低治疗误差。Desai等^[21]认为牙科数码摄影技术进步已经使前牙美学修复发生革命性的变化,随着数码相机的出现,摄影已经成为医患沟通及病史记录的一种简易方式。因此,数码相机应被视为每个牙医的必要设备,摄影技术和培训也应该纳入到牙科领域的课程中。

2.2 数据分析与计算机辅助设计

最早的微笑设计是应用PPT、keynote、Photoshop等平面设计软件通过对患者的面部微笑像进行符合美学规律的修图来实现2D的微笑设计,虽然操作简单,但是该方法存在一些局限性——2D的微笑设计,只能通过技师制作的诊断蜡型来呈现立体修复效果,不具有良好的重复性;平面设计忽视了下颌功能运动及牙齿的立体形态。目前已经出现了多种3D微笑设计软件,克服平面微笑设计的缺陷,通过患者面部照片、术前口内扫描和面部三维扫描数据,可同时完成前牙美学设计和唇舌侧立体形态设计,与虚拟颌架相结合,进行所有功能运动的检查。病例报告与回顾性研究都证明了3D数字微笑设计不仅是美学指导,而且其增加了治疗阶段的可预测性,如Zanardi等^[22]应用微笑设计指导美学修复中的牙龈改形术,为患者达到微笑矫正的效果;Cattoni等^[23]对28名需要接受美学区修复患者的口内扫描STL文件与3D数字微笑系统相匹配,以获得牙齿和微笑设计的虚拟3D预览,患者认可模拟结果后进行修复,2年后随访结果显示108颗修复体中没有表现出剥离、碎裂、微渗漏、变色或继发龋,在对患者满意度问卷调查中64%的患者认为数字化微笑设计非常有效,36%认为有效;通过上述CAD程序完成美学设计后,创建出数字蜡型,最后可通过立体光刻技术打印出实体诊断模型,制作引导牙体预备和冠延长术的导板、制作临时修复体和诊断饰面等。Abduo等^[24]通过对13例接受固定义齿修复的患者数字化诊断蜡型和传统诊断蜡型对照研究发现,与传统蜡型相比,数字化蜡型具有更大的单齿对

称性。

制取患者状态模型、计划模型、预备模型,使医、患、技三方都可以直观地看到修复前后的立体效果,便于医患、医技沟通;患者参与设计,增强了患者对修复的信心,且可以妥善保存患者资料。在前牙美学修复设计时纳入患者的三维状态模型,能精准预测,降低错误率,使修复体更好地融入到口面部这个整体中,给患者带来美丽微笑。

2.2.1 数字化模拟种植设计 美学区种植修复术前设计尤为重要,数字化表面数据与影像学检查获得的数字化容积数据相叠加,以此为基础,利用设计软件进行美学区种植术式的3D规划,为种植体的植入进行精确的定点、定深、定方向,在三维虚拟模型上设计种植体,进行术前评估,避开重要结构位置,可直观进行术前谈话,充分贯透以美学引导修复、以修复引导种植的理念,最大程度利用患者现存骨量,优化种植体的位置和上部结构位置,收到最佳美学效果。通过数字化设计并制作的种植导板应用到术中引导种植体的植入,安全精准,大幅度提升了美学区种植的成功率与患者满意度。Filius等^[25]研究测量结果为在数字化导板指导下种植植入的平均偏差为1.41 mm (SD 0.55),平均中心偏差为1.20 mm (SD 0.54),平均角偏差为5.27° (SD 2.51),使用计算机设计的手术导板有助于骨量少、间隙有限的病例种植。胡文等^[26]的临床报道表明15例应用数字化种植设计的患者在2~7年的随访期内未出现种植体松动,对比随诊相片,软组织外观稳定,问卷调查结果患者对最终修复满意。Joda等^[27]通过随机对照研究证明数字化种植体冠修复较传统方式更高效,并且可以降低30%的整体治疗成本。

2.2.2 数字化虚拟颌架 紧跟数字化时代发展趋势,颌架也经历从实物颌架向虚拟颌架转变的过程。虚拟颌架的主要创新包括VR软件环境取代了繁琐的机械装置实体;数字化印模取代了传统石膏模型;以三维空间中的运动模拟取代了实物颌架上的手动观察。主要分为两种类型:根据实物颌架设计和根据人牙颌系统设计。目前国内市场上美学修复中主要应用的是前者,通过逆向工程手段复制实物颌架的形态结构,然后在CAD/CAM软件中通过输入患者个性化的口颌系统参数,三维模拟患者的下颌运动并指导义齿咬合设计,但是各种指标参数往往被简化,甚至多数时候

使用平均值替代。后者的设计理念是希望在虚拟环境中重建患者个性化上下颌骨、牙列、下颌功能运动轨迹三维模型,避免受实体颌架固有的设计缺陷影响,前景可观,虽然目前还未有产品化的系统面世,但这是虚拟颌架未来的发展方向。

与传统颌架相比,虚拟颌架优势主要体现在以下几个方面^[28-29]:其一,虚拟颌架为临床程序提供了可量化、可重复和可靠的方法,这个程序使牙医和牙科技师在完全数字化的环境中工作,而不需在机械颌上安装石膏模型。其二,为实现3D微笑设计提供基础,软件将数字化诊断蜡型与工作光学模型进行重合,可以检测美学设计的咬合功能,指导美学修复与临床调颌。其三,克服了石膏模型上颌架观测容易磨损牙尖的缺陷,虚拟颌架可重复性好,可记忆存储测算的数值,后续制作的修复体误差小。其指导生产的修复体比机械颌架更精确,适用于由CAD/CAM系统实现的从单冠到多冠的复杂病例修复。虚拟咬合程序的准确性大于传统的模型咬合记录。

2.3 计算机辅助制造

随着Mormann等一批数字化时代的先驱者在20世纪80年代对口内扫描技术和口腔专用椅旁计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)技术的开发^[30],口腔修复体的制作发生了革新。

2.3.1 数控制作工艺 现代材料加工质量在某些领域已经远超传统加工方式。削减制作工艺包括铣削和研磨方法目前仍然处于主导地位。添加路径是分层制作工艺,主要分为熔融沉积成型(fused deposition modeling, FDM)、光敏树脂选择性固化(stereolithography, SLA)、金属增材制造(selective laser melting, SLM)和3D喷墨打印技术^[31]。其中,SLA技术即利用激光有选择地固化光敏树脂的激光快速成型技术,原理为数控紫外激光在光固化树脂液面上按二维截面逐点进行扫描,使树脂固化,固化后再逐层扫面,最终形成立体实物。现在通常用于制作种植导板(图1a),且其应用逐渐被扩展到包括临时修复体和失蜡法铸造树脂模型(图1b);3D喷墨打印技术已经可以对不同的材料进行处理,从金属、树脂材料到陶瓷等数字化修复流程中的创新材料,从颜色到形态均可以做个性化的制作。Kim等^[32]的研究表明相比于传统制作工艺,3D喷墨打印技术更快,成本更低,精确度大,可以制作出许多个性化设计形态,由于所需材料很少,属于绿色节能加工。

2.3.2 数控制作产品 计算机辅助制造对于美学修复而言起到了重要的帮助作用,数字化制作已经扩展到了修复产品的各个方面,包括临时修复体、Mock-up(诊断饰面)、殆垫、模型、定制种植体、种植导板,甚至全口义齿。

2.3.3 数控制作方式 工作方式分为椅旁工作和外部加工,其中椅旁工作具有速度快、效率高的优势,椅旁一次完成高品质个性化修复体,大幅度减少了患者复诊次数,患者不再需要佩戴临时修复

体,更不需要另行安排时间复诊。与传统修复相比,与操作相关的错误被最小化,数控椅旁加工一直被很多临床医师认为是最理想的美学区修复形式^[33]。也可以通过设计软件完成各种形态修复体的设计后,通过工业化的生产平台进行外部加工,采用最优材料以达到最好的质量要求,无模型工作流程仅需传输数据,减除了每个工作步骤都需要翻制一个物理模型的繁琐步骤,以及多个物理模型的贮存成本、制作成本和运输成本。



现有数字化技术在材料的匹配、对新材料的适应等方面存在一定的局限性,比如超薄贴面尚不能用3D打印的方法制作出来。

2.3.4 机器人的临床应用 种植机器人系统主要包括主控计算机、机器人本体以及导航系统,为机器人采集种植术区和安装在机械臂末端的种植手机的实时空间位姿,机器人获取这些信息后,可在术中自动定位种植术区,并按手术方案自动精确调整种植手机在术区的位姿,完成植入窝洞的制备,使口腔疾病治疗迈入了机器人时代。种植牙机器人具有精准、高效、微创、安全等优点^[34]。相信不久的将来,对于自主牙体预备机器人的研发可能实现,美学修复全程数字化的目标会得到进一步发展。

总之,数字化美学修复的优势显而易见,已经在诸多方面远远超越了传统修复方式,具有更好的发展潜力。

3 展望——未来发展方向,全程数字化

数字化技术介入口腔美学修复中,从各个阶段的应用逐渐贯穿整个治疗过程,改变了传统口腔修复诊疗模式。但仍存在一些问题,相关软件的兼容性较差,软件与设备之间的数据尚未全面开放,在一个软件中设计的修复体可能不能在另

一个品牌的CAD/CAM程序中制作;购置和维护相关设备的成本较大;数据信息管理的稳定性和稳定性,解决这些问题是未来主要发展目标。尽管目前还处在完善阶段,但其进展迅速给口腔美学修复带来了全新的理念,对提高口腔美学修复的治疗效果与效率起到了积极的推动作用。随着科技的发展,若数据能在不同系统中进行转换,整合为一个完整的数字化修复流程,便可全面补充传统修复工作流程,甚至实现全程数字化,使美学修复过程更快,更便捷,更低成本。

参考文献

- [1] Bonnet G, Batisse C, Bessadet M, et al. A new digital denture procedure: a first practitioners appraisal[J]. BMC Oral Health, 2017, 17(1): 155.
- [2] Richert R, Goujat A, Venet L, et al. Intraoral scanner technologies: a review to make a successful impression[J]. J Healthc Eng, 2017: 8427595.
- [3] Joda T, Lenherr P, Dedem P, et al. Time efficiency, difficulty, and operator's preference comparing digital and conventional implant impressions: a randomized controlled trial[J]. Clin Oral Implants Res, 2017, 28(10): 1318-1323.
- [4] kim JE, AmelyaA, ShinY, et al. Accuracy of intraoral digital impressions using an artificial landmark[J]. J Prosthet Dent, 2017, 117(6): 755-761.
- [5] Heike R, Salmen H, Moldan M, et al. Accuracy of intraoral and ex-

- traoral digital data acquisition for dental restorations[J]. *J Appl Oral Sci*, 2016, 24(1): 85-94.
- [6] Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of intraoral digital impressions for whole upper Jaws, including full dentitions and palatal soft tissues[J]. *PLoS One*, 2016, 11(7): e0158800.
- [7] Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, et al. Intraoral scanning systems - a current overview[J]. *Int J Comput Dent*, 2015, 18(2): 101-129.
- [8] Clausner T, Dalal SS, Crespo-García M. Photogrammetry-based head digitization for rapid and accurate localization of EEG electrodes and MEG fiducial markers using a single digital SLR camera[J]. *Front Neurosci*, 2017, 11: 264.
- [9] Cheung MY, Almukhtar A, Keeling A, et al. The accuracy of conformation of a generic surface mesh for the analysis of facial soft tissue changes[J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0152381.
- [10] Lanis A, Álvarez Del Canto O. The combination of digital surface scanners and cone beam computed tomography technology for guided implant surgery using 3Shape implant studio software: a case history report[J]. *Int J Prosthodont*, 2015, 28(2): 169-178.
- [11] Zhao YJ, Xiong YX, Wang Y. Three-dimensional accuracy of facial scan for facial deformities in clinics: a new evaluation method for facial scanner accuracy[J]. *PLoS One*, 2017, 12(1): e0169402.
- [12] Hassan B, Greven M, Wismeijer D. Integrating 3D facial scanning in a digital workflow to CAD/CAM design and fabricate complete dentures for immediate total mouth rehabilitation[J]. *J Adv Prosthodont*, 2017, 9(5): 381-386.
- [13] Hassan B, Gonzalez B, Tahmaseb A, et al. A digital approach integrating facial scanning in a CAD-CAM workflow for complete-mouth implant-supported rehabilitation of patients with edentulism: a pilot clinical study[J]. *J Prosthet Dent*, 2017, 117(4): 486-492.
- [14] Venkatesh E, Elluru SV. Cone beam computed tomography: basics and applications in dentistry[J]. *J Istanbul Univ Fac Dent*, 2017, 51 (3Suppl1): S102-S121.
- [15] Burgess J. Digital DICOM in dentistry[J]. *Open Dent J*, 2015, 9: 330-336.
- [16] Cardelli P, Turrini R, Bulletti A, et al. New online management software and DICOM viewer for dentistry[J]. *Int J Comput Dent*, 2011, 14(2): 147-153.
- [17] Kim C, Baek SH, Lee T, et al. Efficient digitalization method for dental restorations using micro-CT Data[J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 44577.
- [18] 栾丽丽, 肖慧娟, 刘辉, 等. SurgiGuide 数字化黏膜支持式导板全程引导牙种植术的精确度研究[J]. *口腔疾病防治*, 2017, 25 (9): 575-581.
- [19] Mascha F, Winter K, Pietzka S, et al. Accuracy of computer-assisted mandibular reconstructions using patient-specific implants in combination with CAD/CAM fabricated transfer keys[J]. *Cranio-maxillofac Surg*, 2017, 5(17): 1010-5182.
- [20] Agarwal A, Seth K, Parmar S, et al. Dental videographic analysis using digital age media[J]. *Int J Clin Pediatr Dent*, 2016, 9(4): 355-363.
- [21] Desai V, Bumb D. Digital dental photography: a contemporary revolution[J]. *Int J Clin Pediatr Dent*, 2013, 6(3): 193-196.
- [22] Zanardi PR, Laia Rocha Zanardi R, ChaibStegun R, et al. The use of the digital smile design concept as an auxiliary tool in aesthetic rehabilitation: a case report[J]. *Open Dent J*, 2016, 10: 28-34.
- [23] Cattoni F, Mastrangelo F, Gherlone EF, et al. A new total digital smile planning technique (3D-DSP) to fabricate CAD-CAM mock-ups for esthetic crowns and veneers[J]. *Int J Dent*, 2016, 7: 1-5.
- [24] Abduo J. Morphological symmetry of maxillary anterior teeth before and after prosthodontic planning: comparison between conventional and digital diagnostic wax-ups[J]. *Med Princ Pract*, 2016, 25 (3): 276-281.
- [25] Filius MAP, Kraeima J, Vissink A, et al. Three-dimensional computer-guided implant placement in oligodontia[J]. *Int J Implant Dent*, 2017, 3(1): 30.
- [26] 胡文, 伍永昌, 陈俊兰, 等. 基于CT数据制作的上前牙种植个体化全瓷冠的应用[J]. *口腔疾病防治*, 2017, 25(9): 582-585.
- [27] Joda T, Brägger U. Time-efficiency analysis of the treatment with monolithic implant crowns in a digital workflow: a randomized controlled trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2016, 27(11): 1401-1406.
- [28] Koralakunte PR, Aljanakh M. The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry[J]. *J Clin Diagn Res*, 2014, 8 (7): 25-28.
- [29] Solaberrieta E, Otegi JR, Goicoechea N, et al. Comparison of a conventional and virtual occlusal record[J]. *J Prosthet Dent*, 2015, 114(1): 92-97.
- [30] Ender A, Wiedhahn K, Mörmann WH. Chairside multi-unit restoration of a quadrant using the new Cerec 3D software[J]. *Int J Comput Dent*, 2003, 6(1): 89-94.
- [31] Schweiger J, Beuer F, Stimmelmayer M, et al. Histo-anatomic 3D printing of dental structures[J]. *Br Dent J*, 2016, 221(9): 555-560.
- [32] Kim SY, Shin YS, Jung HD, et al. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2018, 153(1): 144-153.
- [33] Batson ER, Cooper LF, Duquum I, et al. Clinical outcomes of three different crown systems with CAD/CAM technology[J]. *J Prosthet Dent*, 2014, 112(4): 770-777.
- [34] 吴秦. 口腔种植机器人空间映射装置的研发及其应用研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2016.

(编辑 张琳, 管东华)