



在线全文

• 医学教育 •

数字化技术在口腔医学的临床应用现状与分析^{*}

赵一姣^{1,2}, 王 勇^{1,2△}

1. 北京大学口腔医学院·口腔医院, 数字化研究中心 国家口腔医学中心 国家口腔疾病临床医学研究中心 口腔生物材料和数字诊疗装备国家工程研究中心 口腔数字医学北京市重点实验室 国家卫生健康委口腔数字医学重点实验室(北京 100081);

2. 北京大学医学部医学技术研究院(北京 100191)

【摘要】 随着数字化技术在口腔医学中的日益成熟和普及, 其应用已涉及口腔医学各个临床专业, “数字化”已成为口腔医学重要的发展方向之一。目前口腔医学数字化技术的发展现状如何? 其在各口腔临床专业的应用情况如何? 这些都是口腔医生开展临床和科研工作较为关注的问题。本文从技术角度对目前口腔医学涉及的各种数字化技术进行梳理分类, 重点展开介绍口腔医学三维数据获取技术、口腔计算机辅助设计技术、口腔计算机辅助加工技术和口腔手术实施技术, 对其技术原理、技术特点、口腔二级学科应用情况和国产化技术发展现状进行详细阐述和评论, 并简要介绍了口腔数字化材料、口腔虚拟仿真教学和口腔多源数据管理等其他技术, 以期能为口腔医生的临床和科研应用提供参考。

【关键词】 数字化口腔医学 三维扫描 计算机辅助设计 计算机辅助制造

Current Status and Analysis of the Clinical Application of Digital Technology in Oral Medicine ZHAO Yijiao^{1,2}, WANG Yong^{1,2△}. 1. Center of Digital Dentistry, Peking University School and Hospital of Stomatology & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & National Engineering Research Center of Oral Biomaterials and Digital Medical Devices & Beijing Key Laboratory of Digital Stomatology & NHC Key Laboratory of Digital Stomatology, Beijing 100081, China; 2. Institute of Medical Technology, Peking University Health Science Center, Beijing 100191, China

△ Corresponding author, E-mail: kqcadc@bjmu.edu.cn

【Abstract】 With the increasing maturity and popularization of digital technology in oral medicine, its application has now expanded to various clinical subspecialties of oral medicine. Digitalization has become one of the important development directions of oral medicine. What is the current development status of digital technology in oral medicine? In what ways is digital technology applied across various clinical specialties of oral medicine? Dentists are particularly concerned about these issues in their clinical work and research. In this paper, all the digital technologies applied in oral medicine are organized and categorized from a technical perspective. In this paper, we focused on presenting three-dimensional data acquisition technology, dental computer-aided design technology, dental computer-aided processing technology, and oral surgery implementation technology. Their technical principles, technical characteristics, applications in oral medicine, a secondary discipline of medicine, and the development status of domestically-developed technology are described and reviewed in detail. The other technologies such as oral digital materials, oral virtual simulation teaching, and oral multi-source data management are briefly discussed. We intend to provide references for dentists to apply digital technology in clinical practice and research.

【Key words】 Digital dentistry Three-dimensional scanning Computer-aided design Computer-aided manufacture

随着口腔临床应用数字化技术日益成熟和普及, 其应用已涉及口腔各个临床专业。数字化技术为口腔临床诊疗的质量、效率提供了强有力的技术支撑, 在一定程度上可降低对医生临床经验的依赖, 为年轻医生的成长提供帮助, 为基层口腔诊疗的同质化提供技术支撑, 是口腔

医学重要的发展方向之一^[1-3]。当前口腔数字化技术中的国产技术和进口技术选择众多, 口腔临床又分为多个二级学科细分专业, 本文以数字化技术为主线, 对现有口腔临床各专业实际应用的数字化技术进行述评, 以期能为口腔临床医生临床应用和科研提供参考。参见表1。

1 口腔医学三维数据获取技术

口腔三维数据是数字化口腔医学的基础和前提, 数据获取设备仪器的使用便利性和精度对口腔临床非常重要。目前口腔三维数据获取技术已经可以满足口腔各个

^{*} 国家重点研发计划(No. 2022YFC2405401)、国家自然科学基金(No.82271039、No.82071171)和甘肃省重点研发计划项目(No. 21YF5A165)资助

△ 通信作者, E-mail: kqcadc@bjmu.edu.cn

出版日期: 2024-01-20

表 1 我国口腔数字化技术与口腔临床专业现状表 (2023年)

Table 1 The current status of dental digital technologies and clinical dental subspecialties in China (2023)

技术分类	修复	正畸	种植	外科	牙体	牙周	儿科
口腔医学三维数据获取技术							
牙颌模型扫描技术	√	√	√	√		√	
口内三维扫描技术	√	√	√	√	√	√	
面部三维扫描技术	√	√	√			√	
锥形束CT(CBCT)技术	√	√	√	√	√	√	
下颌运动轨迹记录分析技术	√	√	√				
其他专项扫描技术		√					
口腔计算机辅助设计和诊断(CAD)技术							
口腔固定修复数字化设计软件		√					
可摘局部义齿数字化设计软件						√	
黏膜支持的全口义齿数字化设计软件		√					
咬合板数字化设计软件	√						
头影测量数字化分析软件	√	√	√				
正畸矫治器数字化设计软件	√					√	
儿童间隙保持器数字化设计软件	√					√	
口腔颌面外科手术方案数字化设计软件			√				
口腔计算机辅助加工(CAM)技术	√	√	√	√	√	√	√
口腔手术实施技术							
口腔手术导板技术	√	√	√	√	√	√	
口腔手术导航技术		√	√	√			
口腔手术机器人技术		√					
口腔数字化相关材料	√	√	√	√	√	√	√
虚拟仿真口腔教学培训技术	√	√	√	√	√	√	
口腔多源数据管理技术		√					

临床专业(包括口腔修复、口腔正畸、口腔种植、牙体牙髓、儿童口腔及口腔颌面外科等)的诊断和手术设计需求。

1.1 牙颌模型扫描技术

牙颌模型扫描也称为“仓扫”,是最早的口腔三维数据获取技术,也是目前精度最高(可达5 μm)并被广泛使用的数字化技术,尤其应用于口腔技工室对石膏模型或印模的扫描场景^[4-7]。上下颌牙颌模型需要具有适宜的个性化的颌位关系,是数字化口腔诊疗的一项重要基础要求,也是口腔诊断口腔治疗的必要前提。通常可以通过三维数据配准(registration)技术实现上下咬合关系牙颌模型,部分扫描仪配套有专用的咬合关系扫描辅助装置。牙颌模型扫描数据格式通常为STL格式,搬运或长时间放置后,应进行仪器校准。

1.2 口内三维扫描技术

口内三维扫描也称为“口扫”,这一技术极大改善了口腔临床操作流程,是三维数据获取最便捷的技术,可提

高临床效率、促进口腔数字化技术的应用,实现无实体模型化的口腔诊疗,目前精度可达20 μm,并可实现彩色数据扫描,为进一步牙齿比色提供数据支撑。扫描数据格式可为STL,也可为彩色数据格式PLY或OBJ等。通过三维数据配准(registration)技术,可确立咬合关系的数字化模型。部分口扫仪器还具有小范围下颌运动三维数据扫描的功能,可基于动态咬合数据进行修复体设计,减少临床调殆难度和时间。也有一些口扫附带口腔健康诊断功能^[8-13]。

1.3 面部三维扫描技术

口腔面部三维数据是患者重要的诊疗信息数据。随着数字化技术的不断发展,面部三维数据扫描(也称“三维面扫”)已逐渐成为常态化的口腔临床应用技术,为涉及口腔颜面部形态相关(如口腔正畸、口腔正颌以及全口义齿等)的临床诊断和治疗方案数字化设计提供更丰富的数据支撑。目前的三维面扫技术也可支持彩色数据,

分为固定式扫描和椅旁式扫描,扫描速度在0.8 s至几分钟,精度一般约为0.2 mm。动态三维面部扫描技术(也称“四维面扫”),可为临床提供丰富表情面部三维数据,帮助实现更加全方位的口腔诊断和治疗方案设计^[14-17]。

1.4 锥形束CT (CBCT) 技术

CBCT技术的普及应用为口腔临床获取颌骨、关节和牙根等三维体数据(内部数据)提供选择,不再依赖大型螺旋CT设备技术,为口腔种植、口腔正畸、牙体牙周等口腔门诊专业诊断提供了更丰富的数据支持,其精度(分辨率)多在200 μm ,标准数据格式为DICOM。基于CBCT数据衍生的各类技术(如头影测量、AI分割、种植方案设计、无托槽透明正畸矫治设计及口腔多源数据集成管理等)为临床提供越来越多的辅助支撑。口腔技师也需要学习掌握与DICOM数据相关的知识和软件。CBCT数据技术使口腔诊疗全面进入三维时代^[18-20]!

1.5 下颌运动轨迹记录分析技术

早期的下颌运动轨迹记录分析仪器主要用于临床诊断,设备仪器配件多,且操作繁琐,患者体验不佳。新一代的下颌运动轨迹记录分析技术(口语也称为“电子面弓”),具有小巧、轻便、操作简单等特点,提供了丰富的诊断分析软件功能,并可与口腔修复CAD软件集成,使全可调式骀架有望成为临床常规操作,为口腔咬合重建、关节疾病诊疗提供新的技术解决方案。更进一步可以用患者的三维下颌运动轨迹真实数据直接进行口腔修复体的设计以及咬合调整,最大程度接近患者真实的咬合情况。另外,部分口内扫描仪还可记录小范围的下颌运动数据,用于动态咬合的诊断分析和咬合设计^[21-22]。

在前述口腔多源三维数据经配准整合而成的静态“虚拟患者”数据基础上,再与患者个体的真实下颌运动轨迹数据相集成(坐标系统一),将形成真正的动态“虚拟患者”,可在体外以数字形态最大程度仿真模拟患者,为实现全方位诊断分析和口腔治疗方案设计提供更为全面的数据基础。

1.6 其他专项扫描技术

除以上所述外,还有一些其他的专项三维扫描技术,如无牙颌种植直接法扫描技术。无牙颌种植直接法扫描仪采用立体摄影技术,可在口外一次直接获得准确的多颗种植体位置信息,简化了传统手工开窗夹板制取印模的繁琐流程,可大大提高临床操作效率和准确性,降低临床经验的依赖,在一定程度上降低了临床操作的技术敏感性^[23-25]。

综上,各种口腔医学三维扫描技术获取的口腔多源三维数据(牙颌、颌骨、面部等),经配准(registration)整

合可形成全信息的“虚拟患者”,用于实现更全面的诊断、种植、修复、颌面外科及正畸等数字化治疗方案设计^[25-29]。目前,在牙颌模型扫描、口内三维扫描、面部三维扫描和CBCT扫描方面,国产品牌扫描设备的扫描精度和功能实现已完全可以满足口腔临床及技工室应用需求,但尚未有国产下颌运动轨迹记录设备面市,有待突破。

2 口腔计算机辅助设计及辅助加工技术

2.1 口腔计算机辅助设计和诊断 (CAD) 技术

2.1.1 口腔固定修复数字化设计软件

固定修复(包括种植固定修复)是口腔修复最常见的修复类型,包括各类贴面、嵌体、冠和桥等修复类型。采用口腔数字化专业软件[如Sirona(德国)、3shape(丹麦)、Exocad(德国)及UPcad(中国)等]进行固定修复的设计,可提高修复体设计的效率和质量一致性,降低口腔技师手工技术要求和劳动强度。该类软件也有助于无模化口腔修复流程以及远程协作。部分修复设计软件支持全可调式数字骀架的功能,可方便进行个性化咬合调整。与实体骀架相比,其操作步骤和过程大为简化,有望成为常规流程环节。口腔固定修复体设计软件是口腔修复数字化技术的基础,应用数量巨大,其发展方向是设计过程AI智能化及自动化^[30-32]。临床口腔医生固定修复的牙体预备应与修复材料、修复体加工方式以及修复类型相适配。

2.1.2 可摘局部义齿 (RPD) 数字化设计软件

由于我国区域内人口众多,经济发展不均衡,在很长一段时间内,RPD都将会具有相当比例的临床需求。其优点是只需少量的牙体预备且义齿再次调整修改成本较低,尤其是在基层有很大的需求。RPD支架的数字化设计[常用软件如3shape(丹麦)、Exocad(德国)、南京前知(中国)及山东维视(中国)等]和金属3D打印制作,可大大提高RPD支架的设计效率和制作质量,降低技师的劳动强度和经验依赖性。因此,近年来RPD支架在我国临床应用的推广普及与金属3D打印设备的国产化(成本优势)及打印质量的提升密切相关。RPD牙列目前可采用预成的人工牙、切削的树脂牙以及3D打印的树脂牙列。增减材复合加工技术在RPD方面也有初步应用。金属支架与树脂基托不同材料的结合,目前还需要采用传统的制作工艺技术^[33-36]。

此外,RPD的牙体预备导板(如导平面、骀支托凹及就位道确定等)也可采用数字化软件进行设计,进而可在术前完成RPD的设计制作,患者第二次就诊时即可进行牙体预备和义齿的初戴。

2.1.3 黏膜支持的全口义齿数字化设计软件

第四次全国口腔健康流行病学调查显示,随着我国社会进入老龄化阶段,无牙颌患者大于1 000万人。考虑到患者全身身体条件、颌骨条件以及经济情况等,常规黏膜支持可摘式全口义齿(包括单颌总义齿)仍然是一种广泛的临床选择,其无创可逆的修复特点尤其适合老年患者。总义齿设计和制作涉及印模、颌位关系、咬合关系及美学等多个环节,并需要充分考虑义齿的功能、稳定和固位等,通常需要患者多次就诊,是口腔修复中最为复杂的一种修复技术。全口义齿的数字化技术(如快速设计和打印个性化“诊断义齿”——一种闭口式个别托盘)可在一定程度上降低临床和技师操作难度,简化流程和制作工艺,从而可相对容易地获得符合规范的终印模和颌位关系记录,为最终的全口义齿质量奠定良好的基础,也减少了患者的就诊次数。

主流口腔修复设计软件(如3shape、Exocad等)通常包括有全口义齿设计模板,其牙列支持一一调整的模式,符合口腔技师的传统操作习惯,临床也有较大的自由度,但采用软件进行一一排牙需要技师一定时间的学习和适应。我国自主研发的数字化全口义齿系统(如山东维视的固易美),采用义齿数据库模板多参数匹配的策略,在个性化终印模和颌位关系的数据基础上,可快速实现符合咬合关系的上下颌牙列,再辅以个性化的基托形态,大大简化了临床医生和技师的操作难度和流程。

目前全口终义齿的制作还处于不断研发过程中,目前有三种常见的制作技术:①传统制作工艺技术。该技术基于数字化设计终义齿数字模型进行3D打印,以此为基础采用常规传统工艺技术对预成人牙和基托进行装盒充胶或注塑工艺形成终义齿,类似复制义齿技术。②数控切削技术。该技术对基托和牙列分别进行切削加工,进而通过粘接形成终义齿,或采用预成的多色树脂块进行一体化终义齿的切削加工。③3D打印工艺技术。该技术对基托和牙列分别进行3D打印加工,进而通过粘接形成终义齿,或采用一体化终义齿的打印加工后,对基托部分进行染色。数字化加工终义齿是全口义齿最终的发展方向和目标,目前仍处于研发测试和产品医疗器械注册阶段^[37-41]。

2.1.4 咬合板数字化设计软件

多数口腔固定修复设计软件都具有个性化咬合板(splint,也称骀垫)的设计功能,可用于颌位调整、咬合调整以及关节调整等过渡性(诊断性)治疗、夜磨牙、运动护齿和松动牙保持等临床需求。数字化设计咬合板较传统手工压模技术而言具有厚度非均一等个性化特点,更

符合口腔临床的要求。咬合板的数字化加工除可采用相应力学性能的树脂材料外,还可采用PEEK材料,该材料具有较好的美观性和力学性能^[42-44]。

2.1.5 头影测量数字化分析软件

口腔临床涉及面型、颅颌骨等特征比例分析或有形貌改变时,应进行头影测量分析,临床多用于正畸和正颌。目前基于二维头颅定位侧位片的头影测量软件已经成熟,可实现AI自动定点,具有快速简单准确的特点。随着临床三维数据的普及应用(如CBCT三维数据、面部三维数据等),三维头影测量分析软件也快速发展,为临床全面诊断分析提供了基础。由于医学伦理等因素,三维头影测量分析尚未有正常值作为参照^[45-47]。

2.1.6 正畸矫治器数字化设计软件

随着定制式无托槽透明矫治技术的快速发展,利用专业设计软件实现以医生为主导的定制式无托槽矫治器技术方案成为可能(3shape、mastero、美立刻等)。从三维口腔数字模型分析、诊断分析、可视化的治疗方案设计以及系列模型打印和膜片制作,全流程均可以椅旁实现,给患者提供更好的就医体验,实现正畸医生充分的主导作用^[48-49]。个性化固定矫治器(舌侧、颊侧)的数字化设计以及相应的间接粘接导板也可由正畸医生主导完成。间接粘接导板可减少医生椅旁操作时间,降低对临床经验的依赖。此外各类固定矫治器的辅助装置也可在医生椅旁进行数字化设计,通过金属3D打印完成加工制作,其流程更加流畅,避免了手工制作环节,提高了质量一致性^[50-53]。

2.1.7 儿童间隙保持器数字化设计软件

儿童处于快速生长发育期,乳牙恒牙有规律地进行替换,如乳牙早失,这一阶段的间隙保持将非常重要。目前临床常用的4类间隙保持器(丝圈式、舌弓式、腭弓式及可摘式等)均可通过数字化软件进行三维设计(如3shape、山东维视等),通过金属3D打印或非金属数控切削进行一体化加工。必要时甚至可在椅旁完成加工,以方便儿童患者,特别是全麻患者。与传统手工弯制焊接相比,其组织面更加贴合,强度也更好。

2.1.8 口腔颌面外科手术方案数字化设计软件

与口腔门诊临床以牙齿健康为主有所不同,口腔颌面外科是我国口腔的一大特色。随着数字化技术的不断深入发展,基于口腔三维数据(CT数据、牙列数据以及面部数据等)和相应的颌面外科专业的软件(如ProPlan、北京百特康等),口腔颌面外科专业实现了以患者牙列咬合为导向的颌骨修复重建,患者颌面外科手术同期即可完成种植体植入和临时修复体戴入。这一技术已经在临床

实施应用,极大地改变了传统的口腔颌面外科,使患者体验有了巨大的变化。数字化设计的手术方案可通过导板或导航引导进行截骨、骨块定位来实施手术。正颌外科所需要的咬合板和创伤整复手术方案都可以基于数字技术进行术前手术规划,实施手术可采用3D打印手术导板或手术导航。基于手术软件规划,采用手术机器人是颌面外科的一个重要发展方向^[54-57]。

2.2 口腔计算机辅助加工(CAM)技术

CAM包括数控切削(也称为减法加工)和3D打印(也称为加法加工或增材制造),各类口腔材料如金属、陶瓷、树脂、聚醚醚酮(PEEK)和“蜡型”材料均可进行CAM加工制造。目前各类CAM加工精度均可满足临床需求,尤其是氧化锆陶瓷的切削加工已成为义齿的主流加工技术。数字化加工技术的加工效率和质量一致性得到了义齿加工行业的普遍认可,传统铸造工艺已日渐减少。3D打印工艺尤其适合形态复杂的结构,具有批量生产的优势,且原材料利用率高。随着其精度的不断提高,3D打印有望成为口腔行业加工的主流技术。各类3D打印的手术导板(贴面预备导板、RPD导平面预备导板、种植导板、牙周夹板、临床冠延长导板、拔牙用分牙导板、种植支抗导板、根尖手术导板及自体牙移植模型等)可为临床提高手术准确性提供技术支撑,尤其适合年轻口腔医生或复杂的病例。国产CAM加工技术(切削加工、3D打印)在设备和材料价格以及本地化服务等方面的优势越来越明显,正逐渐成为我国口腔行业的主流技术^[58-63]。

3 口腔手术实施技术

3.1 口腔手术导板技术

口腔手术导板是口腔医生实施手术的辅助手段,即在主诊医生的主导下,通过基于患者的真实多源口腔三维数据在相应的专业软件中进行手术规划,以此设计出相应的手术辅助导板,并通过3D打印技术制作导板(树脂类、金属类)。手术导板可有效降低临床医生对自由手经验的依赖,提高手术的安全性和精准性,是当前口腔临床手术普遍应用的一类数字化技术。导板材料可选择树脂和金属等以适用于不同的临床场合。目前除种植手术导板有众多的设计软件外,口腔手术导板还可用于临床冠延长手术、颌骨修整手术、复杂牙拔除用分牙手术、正畸微种植支抗植入、牙体根尖手术、开髓定位和牙体充填用导板以及少部分牙体预备导板等。适当精度的三维数据(CBCT及牙列等)和相应的专业设计软件,是手术导板临床应用普及的重要因素。随着我国国产3D打印机的技术成熟和相应的材料普及,口腔手术导板的制作成

本优势和本地化服务优势愈加明显。目前根管治疗以及全冠牙体预备尚未有合适的导板可真实应用于临床实践^[59-63]。

3.2 口腔手术导航技术

手术导航是链接虚拟世界(软件)和现实世界(手术)的有效手段,可辅助医生精准微创实施手术。在患者多源口腔三维数据的基础上,通过相应的专业软件(口腔种植、根尖手术及颌面外科等)进行手术规划设计后,医生利用手术导航系统可实时跟踪手术器械的空间位置,并在患者口腔真实三维数据引导下实施手术。目前导航技术在口腔种植、牙体牙髓和口腔颌面外科等专业已经应用于临床,效果良好,尤其是对年轻口腔医生的成长作用非常显著。导航手术的精度取决于三维数据本身以及分割精度、手术器械注册及标定板实时跟踪(红外或超声等)等,目前精度约为0.2~0.5 mm^[64-66]。

3.3 口腔手术机器人技术

医疗手术机器人是辅助医生精准微创实施手术的重要手段,并大幅减少手术时间,降低对自由手经验的依赖,尤其适合复杂手术、基层医疗机构和年轻医生使用。对口腔种植的强烈需求和口腔种植手术的特点,我国率先在口腔种植手术机器人领域取得突破,目前已有多款种植手术机器人产品获得国家医疗器械注册证(北京瑞医博、北京雅客智慧、苏州迪凯尔等)。种植手术机器人在无牙颌种植及颧骨种植方面有其独特的优势。牙体牙髓专业的根尖手术、口腔种植取骨块手术等也可采用种植手术机器人进行规划和实施手术^[67-70]。

手术机器人的应用主要分为患者三维数据处理准备、标定注册(手术器材与人体以及数据进行坐标关联)、实时位置跟踪以及手术机器臂执行手术等环节,目前其精度与导航手术相当。手术导板、手术导航、手术机器人均是辅助口腔医生实施手术的有效手段,均需要基于患者个性的多源口腔三维数据进行术前充分的手术规划设计。三者各有其适应的场合和优势,临床医生应进行针对性的选择(采购成本、学习曲线、患者数量、医疗服务价格项目等)。

4 口腔数字化相关材料

口腔数字化相关材料是指可采用数字化加工的材料,包括切削加工(减法)和3D打印(加法或增材制造)两大类。材料类型包括金属、陶瓷和高分子树脂材料等。目前口腔数字化材料技术已经相对成熟,材料的磨耗性能、色彩和力学强度等可满足口腔临床个性化定制的各类需要(如修复体/义齿、导板、植入物和辅助治疗装置

等)。口腔加工设备和相关材料的国产化已有长足的进步,大大降低了临床使用和技术维护成本^[71-74]。

5 虚拟仿真口腔教学培训技术

口腔仿头模操作训练是口腔医学生进入临床实践的必要环节。随着虚拟现实技术——特别是带有力反馈的虚拟现实技术的发展,虚拟仿真口腔教学培训系统已逐步应用于口腔医学这一操作性极强的临床医学学科。目前已经有多款国内外的产品(Moog、迪凯尔、众绘等)应用于牙周、牙体、种植、口腔修复和颌面外科等各临床专业。虚拟仿真培训系统可自我学习、自我评价的能力以及不断丰富病例数据,必将使其成为今后口腔医学生培训的重要手段。另外,口腔情景问诊训练系统也有利于基层规范化和同质化训练^[75-77]。

6 口腔多源数据管理技术

随着口腔数字化技术的不断发展,口腔临床上多学科多次就诊产生了大量的多源三维数据(包括牙列、面部、颌骨、关节、下颌运动及CAD数据等)。建立一个与医疗机构信息系统(HIS、PACS等)有效集成的统一数据管理平台成为一项重要工作,可以提高诊疗效率和降低管理成本。数据存储有本地存储和云存储两种类型,其中本地存储又分为集中式和分布式两种方式;用户端有基于客户端和浏览器两种方式,甚至手机移动端也可提供协同支持。临床数据的统一集成管理也为下一步临床大数据分析提供了结构化的数据基础。

7 其他技术

各类先进的信息技术在口腔医学都有程度不同的应用,不仅促进了口腔医学的全面发展,而且能够更好地服务患者。例如:①基于大数据的深度学习,可应用于龋病诊断、病理诊断及骨龄推断等临床诊断,也可提高二维及三维口腔医学临床数据标志点确定的自动化程度(如二维头影测量分析)。②随着国内5G网络的普及和口腔数字技术的发展,利用5G网络传输速度快、延迟率低及移动等特点,发挥口腔医学专家的诊断和治疗方案设计的技术优势,远程医疗系统可惠及基层和偏远地区患者。③语音识别技术的成熟为口腔电子病历的输入提供了一种新的方式,经过特定词汇的训练,可形成结构化的口腔专科电子病历。④口腔专科医技患三方沟通交流的软件系统也应运而生(特别是基于移动端),如口腔修复的技工单系统可规范口腔修复医技沟通、提高信息传递的效率和质量。医患沟通软件平台可借助手机的便利性,

使患者有更好的就医体验和知情权。

综上,随着口腔医学信息化、数字化在深度和广度上的不断拓展,口腔临床数字化技术的应用普及是发展趋势。从口腔数字化技术的角度分析,三维数据获取技术、数字化制造技术、导板技术、导航技术在各口腔临床学科中应用较为广泛;从口腔临床专业的角度分析,口腔修复、口腔正畸、口腔种植和口腔颌面外科的数字化技术应用较为全面和深入,“全数字化诊疗流程”已在上述临床专业得到体现,而其他口腔临床学科的数字化技术应用差距主要体现在“数字化软件技术”的应用——即数字化诊断和治疗设计方面。上述“差距”的另一种体现,即目前已有商品化的口腔修复、正畸、种植、颌面外科专用数字设计软件,而其他临床学科欠缺专业设计软件,这种现象一定程度上影响了数字化技术在牙体、牙周、儿科等学科临床的应用普及,但也为相关学科数字诊断设计软件的国产化研发提供了契机。

因此,为了进一步提升我国基层口腔医疗水平,助力健康中国,口腔医学数字化技术的国产化研发任重道远。相信未来我国将在口腔手术机器人技术(牙体预备机器人、颌面外科手术机器人及正畸弓丝弯制机器人等)、多色材料一体化3D打印技术、细胞3D打印组织工程技术和自动化、智能化诊断治疗方案设计软件技术等方面有新的突破^[78-82]。

* * *

作者贡献声明 赵一姣负责论文构思、初稿写作和审读与编辑写作,王勇负责论文构思、经费获取和审读与编辑写作。所有作者已经同意将文章提交给本刊,且对将要发表的版本进行最终定稿,并同意对工作的所有方面负责。

Author Contribution ZHAO Yijiao is responsible for conceptualization, writing--original draft, writing--review and editing. WANG Yong is responsible for conceptualization, funding acquisition, and writing--review and editing. All authors consented to the submission of the article to the Journal. All authors approved the final version to be published and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

Declaration of Conflicting Interests All authors declare no competing interests.

参 考 文 献

- [1] 赵一姣, 王勇. 从工程技术角度谈口腔医学椅旁数字化技术. *中华口腔医学杂志*, 2018, 53(4): 230-235. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.04.004.
ZHAO Y J, WANG Y. Understanding chair-side digital technology for stomatology from an engineering viewpoint. *Chin J Stomatol*, 2018, 53(4): 230-235. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.04.004.
- [2] TINSCHERT J, NATT G, HASSENPFUG S, et al. Status of current

- CAD/CAM technology in dental medicine. *Int J Comput Dent*, 2004, 7(1): 25–45.
- [3] DURET F, BLOUIN J L, DURET B. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc*, 1988, 117(6): 715–720. doi: 10.14219/jada.archive.1988.0096.
- [4] 赵一姣, 原福松, 谢晓艳, 等. 牙颌模型激光扫描数据与锥形束CT数据配准方法的精度比较. *中华口腔医学杂志*, 2013, 48(3): 173–176. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2013.03.012.
- ZHAO Y J, YUAN F S, XIE X Y, *et al*. Accuracy of different registration methods for laser-scanned dental cast data and maxiUofacial cone-beam CT data. *Chin J Stomatol*, 2013, 48(3): 173–176. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2013.03.012.
- [5] 朱玉佳, 蒋博, 孙玉春, 等. 口腔三维冠根整合模型构建方法的研究进展. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(4): 280–284. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20190905-00337.
- ZHU Y J, JIANG B, SUN Y C, *et al*. Research and development of three-dimensional reconstruction of tooth crown and root with digital models. *Chin J Stomatol*, 2020, 55(4): 280–284. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20190905-00337.
- [6] 徐敏, 白石柱, 张燕, 等. 无牙上颌数字模型配准方法的建立及初步应用. *实用口腔医学杂志*, 2022, 38(2): 209–213. doi: 10.3969/j.issn.1001-3733.2022.02.011.
- XU M, BAI S Z, ZHANG Y, *et al*. Establishment and preliminary application of digital model registration of maxillary edentulous jaw. *J Pract Stomatol*, 2022, 38(2): 209–213. doi: 10.3969/j.issn.1001-3733.2022.02.011.
- [7] JUNG S, PARK C, YANG H S, *et al*. Comparison of different impression techniques for edentulous jaws using three-dimensional analysis. *J Adv Prosthodont*, 2019, 11(3): 179–186. doi: 10.4047/jap.2019.11.3.179.
- [8] 王勇. 口内数字印模技术. *口腔医学*, 2015, 35(9): 705–709.
- WANG Y. Intraoral digital impression technique. *Stomatology*, 2015, 35(9): 705–709.
- [9] 张馨月, 李虹, 赵一姣, 等. 两种结构光口内三维扫描仪获取单冠预备体数据质量的模型评价. *中华口腔医学杂志*, 2016, 51(7): 432–436. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2016.07.011.
- ZHANG X Y, LI H, ZHAO Y J, *et al*. Evaluation of the quality of three-dimensional data acquired by using two kinds of structure light intra-oral scanner to scan the crown preparation model. *Chin J Stomatol*, 2016, 51(7): 432–436. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2016.07.011.
- [10] 曹悦, 陈俊锴, 邓珂慧, 等. 三款口内三维扫描仪获取无牙颌红膏初印模精度的对比评价. *北京大学学报(医学版)*, 2020, 52(1): 129–137. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2020.01.021.
- CAO Y, CHEN J K, DENG K H, *et al*. Accuracy of three intraoral scans for primary impressions of edentulous jaws. *J Peking Univ (Health Sci)*, 2020, 52(1): 129–137. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2020.01.021.
- [11] 曹悦, 陈俊锴, 赵一姣, 等. 口内三维扫描技术临床应用精度的研究进展. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(3): 201–205. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2020.03.012.
- CAO Y, CHEN J K, ZHAO Y J, *et al*. Research and development of clinical application accuracy of intraoral three-dimensional scanning technology. *Chin J Stomatol*, 2020, 55(3): 201–205. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2020.03.012.
- [12] 李琳琳, 陈虎, 李伟伟, 等. 正常合力咬合状态下后牙移动的口内三维扫描测量和分析. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(10): 743–749. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200513-00264.
- LI L L, CHEN H, LI W W, *et al*. Investigation of posterior teeth displacement under normal bite force by an intraoral scanner. *Chin J Stomatol*, 2020, 55(10): 743–749. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200513-00264.
- [13] LO RUSSO L, CARADONNA G, TROIANO G, *et al*. Three-dimensional differences between intraoral scans and conventional impressions of edentulous jaws: A clinical study. *J Prosthet Dent*, 2020, 123(2): 264–268. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.04.004.
- [14] 赵一姣, 熊玉雪, 杨慧芳, 等. 3种不同原理面部扫描仪测量精度的评价. *北京大学学报(医学版)*, 2014, 46(1): 76–80. doi: 10.3969/j.issn.1671-167X.2014.01.016.
- ZHAO Y J, XIONG Y X, YANG H F, *et al*. Evaluation of measurement accuracy of three facial scanners based on different scanning principles. *J Peking Univ (Health Sci)*, 2014, 46(1): 76–80. doi: 10.3969/j.issn.1671-167X.2014.01.016.
- [15] 赵一姣, 熊玉雪, 杨慧芳, 等. 2种三维面部扫描仪测量精度的定量评价. *实用口腔医学杂志*, 2016, 32(1): 37–42. doi: 10.3969/j.issn.1001-3733.2016.01.008.
- ZHAO Y J, XIONG Y X, YANG H F, *et al*. Quantitative evaluation of the measurement accuracy of 2 three-dimensional facial scanners. *J Pract Stomatol*, 2016, 32(1): 37–42. doi: 10.3969/j.issn.1001-3733.2016.01.008.
- [16] LANE C, HARRELL W, Jr. Completing the 3-dimensional picture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008, 133(4): 612–620. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.03.023.
- [17] TOMA A M, ZHUROV A, PLAYLE R, *et al*. Reproducibility of facial soft tissue landmarks on 3D laser-scanned facial images. *Orthod Craniofac Res*, 2009, 12(1): 33–42. doi: 10.1111/j.1601-6343.2008.01435.x.
- [18] 闫弘静, 李志民, 冯婧, 等. 锥形束临床应用现状分析. *口腔医学研究*, 2019, 35(2): 155–158. doi: 10.13701/j.cnki.kqxyj.2019.02.013.
- YAN H J, LI Z M, FENG J, *et al*. Investigation and analysis of clinical application of CBCT. *J Oral Sci Res*, 2019, 35(2): 155–158. doi: 10.13701/j.cnki.kqxyj.2019.02.013.
- [19] 鞠昊, 朱红华, 段涛, 等. CBCT的基本原理及在口腔各科的应用进展. *医学影像学杂志*, 2015, 25(5): 907–909.
- JU H, ZHU H H, DUAN T, *et al*. The research progress of basic principle and application of CBCT. *J Med Imaging*, 2015, 25(5): 907–909.
- [20] De ANDRADE P F, SILVA J N N, SOTTO-MAIOR B S, *et al*. Three-dimensional analysis of impacted maxillary third molars: a cone-beam computed tomographic study of the position and depth of impaction. *Imaging Sci Dent*, 2017, 47(3): 149–155. doi: 10.5624/isd.2017.47.3.149.
- [21] 孙方方, 张丽仙, 吴国锋. 下颌运动轨迹记录的数字化技术. *实用口腔医学杂志*, 2020, 36(6): 980–984. doi: 10.3969/j.issn.1001-3733.2020.06.035.
- SUN F F, ZHANG L S, WU G F. Digital technology for recording mandibular motion trajectories. *J Pract Stomatol*, 2020, 36(6): 980–984. doi: 10.3969/j.issn.1001-3733.2020.06.035.
- [22] 胡婷姿, 杨海萍, 肖沛, 等. Zebris下颌运动分析系统的应用与研究现状. *口腔医学*, 2021, 41(12): 1129–1133. doi: 10.13591/j.cnki.kqyx.2021.12.015.
- HU T Z, YANG H P, XIAO P, *et al*. Application and research of Zebris mandibular motion analysis system. *Stomatology*, 2021, 41(12): 1129–1133. doi: 10.13591/j.cnki.kqyx.2021.12.015.
- [23] 孙玉洁, 马博文, 岳新新, 等. 摄影测量与传统印模技术制取牙列缺失

- 种植修复印模精度的比较研究. *中华口腔医学杂志*, 2022, 57(2): 167-171. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210407-00164.
- SUN Y J, MA B W, YUE X X, *et al.* Accuracy of photogrammetry and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: an *in vitro* comparative study. *Chin J Stomatol*, 2022, 57(2): 167-171. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210407-00164.
- [24] MIZUMOTO R M, YILMAZ B, MCGLUMPHY E A, Jr, *et al.* Accuracy of different digital scanning techniques and scan bodies for complete-arch implant-supported prostheses. *J Prosthet Dent*, 2020, 123(1): 96-104. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.01.003.
- [25] 周永胜, 叶红强. 口腔修复中虚拟患者的构建和应用. *中华口腔医学杂志*, 2022, 57(10): 997-1002. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20220722-00402.
- ZHOU Y S, YE H Q. Construction and application of virtual patients in prosthodontics. *Chin J Stomatol*, 2022, 57(10): 997-1002. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20220722-00402.
- [26] MEHL A. The "virtual patient" in medicine and dentistry. *Int J Comput Dent*, 2013, 16(1): 3-5.
- [27] 王思维, 叶嘉慧, 刘云松, 等. 数字化虚拟仿真设计在口腔美学修复中的应用和研究进展. *中华口腔医学杂志*, 2022, 57(1): 101-106. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210408-00166.
- WANG S W, YE J H, LIU Y S, *et al.* Application and research progress of digital virtual simulated design in dental esthetic rehabilitation. *Chin J Stomatol*, 2022, 57(1): 101-106. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210408-00166.
- [28] XIAO Z, LIU Z, GU Y. Integration of digital maxillary dental casts with 3D facial images in orthodontic patients. *Angle Orthod*, 2020, 90(3): 397-404. doi: 10.2319/071619-473.1.
- [29] 杜雪, 瞿方, 刘伟才. 三维虚拟牙科患者的建立及其在美学修复中的应用. *国际口腔医学杂志*, 2018, 45(6): 695-702. doi: 10.7518/gjkq.2018.06.013.
- DU X, QU F, LIU W C. Establishment of a three-dimensional virtual dental patient and its application in esthetic restoration. *Int J Stom*, 2018, 45(6): 695-702. doi: 10.7518/gjkq.2018.06.013.
- [30] 吕培军, 李彦生, 王勇, 等. 国产口腔修复CAD-CAM系统的研究与开发. *中华口腔医学杂志*, 2002, 37(5): 367-370. doi: 10.3760/j.issn:1002-0098.2002.05.016.
- LV P J, LI Y S, WANG Y, *et al.* The research and development of CAD-CAM system in restorative dentistry. *Chin J Stomatol*, 2002, 37(5): 367-370. doi: 10.3760/j.issn:1002-0098.2002.05.016.
- [31] 王勇. 浅谈口腔修复计算机辅助设计与制作系统在我国的应用及研发——从一个工程师的角度. *北京大学学报(医学版)*, 2008, 40(1): 4-6. doi: 10.3321/j.issn:1671-167X.2008.01.002.
- WANG Y. Discussion on the application and research and development of computer-aided design and production system for prosthodontics in China--from the perspective of an engineer. *J Peking Univ (Health Sci)*, 2008, 40(1): 4-6. doi: 10.3321/j.issn:1671-167X.2008.01.002.
- [32] 郑韵哲, 吴琳, 王勇. 计算机辅助制作技术在口腔修复领域的应用. *国际口腔医学杂志*, 2008, 35(6): 704-708. doi: 10.3969/j.issn.1673-5749.2008.06.031.
- ZHENG Y Z, WU L, WANG Y. Computer aided manufacturing technology in the field of application of prosthodontics. *Int J Stom*, 2008, 35(6): 704-708. doi: 10.3969/j.issn.1673-5749.2008.06.031.
- [33] 马珂楠, 陈虎, 叶红强, 等. 可摘局部义齿计算机辅助设计与辅助制作研究应用进展. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(5): 485-490. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200921-00509.
- MA K N, CHEN H, YE H Q, *et al.* Advances in computer aided design and computer aided manufacturing of removable partial denture. *Chin J Stomatol*, 2021, 56(5): 485-490. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200921-00509.
- [34] 韩静, 吕培军, 王勇. 可摘局部义齿支架的计算机辅助设计与快速制造. *中华口腔医学杂志*, 2010, 45(8): 457-461. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2010.08.004.
- HAN J, LV P J, WANG Y. Computer aided design and rapid manufacturing of removable partial denture frameworks. *Chin J Stomatol*, 2010, 45(8): 457-461. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2010.08.004.
- [35] YE H, NING J, LI M, *et al.* Preliminary clinical application of removable partial denture frameworks fabricated using computer-aided design and rapid prototyping techniques. *Int J Prosthodont*, 2017, 30(4): 348-353. doi: 10.11607/ijp.5270.
- [36] TAKAICHI A, FUEKI K, MURAKAMI N, *et al.* A systematic review of digital removable partial dentures. Part II: CAD/CAM framework, artificial teeth, and denture base. *J Prosthodont Res*, 2022, 66(1): 53-67. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_20_00117.
- [37] 孙玉春, 孙儒, 邓珂慧, 等. 全口义齿数字化修复技术的研发和应用进展. *中华口腔医学杂志*, 2018, 53(1): 60-65. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.01.013.
- SUN Y C, SUN R, DENG K H, *et al.* Research and development of digital design and fabrication of complete denture. *Chin J Stomatol*, 2018, 53(1): 60-65. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.01.013.
- [38] 王勇. 全口义齿数字化技术分析. *国际口腔医学杂志*, 2020, 47(1): 1-9. doi: 10.7518/gjkq.2020001.
- WANG Y. Analysis of digital complete denture technology. *Int J Stom*, 2020, 47(1): 1-9. doi: 10.7518/gjkq.2020001.
- [39] 周永胜, 孙玉春, 王勇. 数字化全口义齿的临床应用和研究进展. *华西口腔医学杂志*, 2021, 39(1): 1-8. doi: 10.7518/hxkq.2021.01.001.
- ZHOU Y S, SUN Y C, WANG Y. Clinical application and research progress of digital complete denture. *West Chin J Stomatol*, 2021, 39(1): 1-8. doi: 10.7518/hxkq.2021.01.001.
- [40] 王嘉莹, 季怡轩, 岳莉, 等. 数字化全口义齿系统的研究进展. *中国实用口腔科杂志*, 2022, 15(2): 236-241. doi: 10.19538/j.kq.2022.02.023.
- WANG J Y, JI Y X, YUE L, *et al.* Research progress of digital complete denture systems. *Chin J Pract Stomatol*, 2022, 15(2): 236-241. doi: 10.19538/j.kq.2022.02.023.
- [41] 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 Prosthet Dent*, 2019, 121(4): 637-643. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.09.001.
- [42] 王时敏, 李峥, 王冠博, 等. 全程数字化夜磨牙保护殆垫的制作和初步应用. *北京大学学报(医学版)*, 2019, 51(1): 105-110. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2019.01.019.
- WANG S M, LI Z, WANG G B, *et al.* Preliminary clinical application of complete digital workflow of design and manufacturing occlusal splint for sleep bruxism. *J Peking Univ (Health Sci)*, 2019, 51(1): 105-110. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2019.01.019.
- [43] BERNTSEN C, KLEVEN M, HEIAN M, *et al.* Clinical comparison of

- conventional and additive manufactured stabilization splints. *Acta Biomater Odontol Scand*, 2018, 4(1): 81–89. doi: 10.1080/23337931.2018.1497491.
- [44] SALMI M, PALOHEIMO K S, TUOMI J, *et al*. A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study. *J R Soc Interface*, 2013, 10(84): 20130203. doi: 10.1098/rsif.2013.0203.
- [45] 刘力嘉, 毛婧, 龙欢, 等. 二维与三维头影测量自动定点的研究进展. *国际口腔医学杂志*, 2022, 49(1): 100–108. doi: 10.7518/gjkq.2022006.
- LIU L J, MAO J, LONG H, *et al*. Research progress on two-dimensional and three-dimensional cephalometric automatic landmarking. *Int J Stom*, 2022, 49(1): 100–108. doi: 10.7518/gjkq.2022006.
- [46] 张紫涵, 熊鑫, 王军. 三维头影测量的研究现状和应用发展. *国际口腔医学杂志*, 2020, 47(6): 739–744. doi: 10.7518/gjkq.2020092.
- ZHANG Z H, XIONG X, WANG J. Research status and application development of three-dimensional cephalometry. *Int J Stom*, 2020, 47(6): 739–744. doi: 10.7518/gjkq.2020092.
- [47] HWANG H W, PARK J H, MOON J H, *et al*. Automated identification of cephalometric landmarks: Part 2-Might it be better than human? *Angle Orthod*, 2020, 90(1): 69–76. doi: 10.2319/022019-129.1.
- [48] 李晶, 韩高峰, 王硕, 等. 用于简单病例无托槽隐形矫治器制作的3D打印模型精度研究. *中华口腔正畸学杂志*, 2021, 28(4): 184–187. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20210902-21402.
- LI J, HAN G F, WANG S, *et al*. Accuracy evaluation of 3D-printed dental models used for the fabrication of clear aligners in mild malocclusions. *Chin J Orthod*, 2021, 28(4): 184–187. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20210902-21402.
- [49] 李晶, 毛渤淳, 王林川, 等. 基于自行数字化隐形矫治设计对正畸轻度复发病例的临床疗效研究. *中华口腔正畸学杂志*, 2022, 29(1): 8–12. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20211203-22102.
- LI J, MAO B C, WANG L C, *et al*. Efficacy of the chair-side-made clear aligners by digital setup and 3D printing in mild relapse cases. *Chin J Orthod*, 2022, 29(1): 8–12. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20211203-22102.
- [50] 白玉兴. 口腔正畸无托槽隐形矫治技术指南(2021版)解读. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(10): 989–991. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210807-00358.
- LI J, MAO B C, WANG L C, *et al*. Efficacy of the chair-side-made clear aligners by digital setup and 3D printing in mild relapse cases. *Chin J Orthod*, 2021, 56(10): 989–991. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210807-00358.
- [51] CHARALAMPAKIS O, ILIADI A, UENO H, *et al*. Accuracy of clear aligners: a retrospective study of patients who needed refinement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2018, 154(1): 47–54. doi: 10.1016/j.ajodo.2017.11.028.
- [52] 毕云鹏, 王旭东, 程凡, 等. 一种新型下颌前移矫治器治疗阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征的初步研究. *河南医学研究*, 2021, 30(28): 5198–5201. doi: 10.3969/j.issn.1004-437X.2021.28.004.
- BI Y P, WANG X D, CHENG F, *et al*. Preliminary study of the efficacy of a novel mandibular advancement device in the therapy of obstruction sleep apnea-hypopnea syndrome. *Henan Med Res*, 2021, 30(28): 5198–5201. doi: 10.3969/j.issn.1004-437X.2021.28.004.
- [53] 钱毅, 邓超, 许晓波, 等. 3D打印树脂夹板对牙周病患者正畸疗效保持的效果评价. *上海口腔医学*, 2023, 32(3): 323–327. doi: 10.19439/j.sjos.2023.03.020.
- QIAN Y, DENG C, XU X B, *et al*. Evaluation of the effect of 3D printing resin splint based on the retention effect of orthodontic treatment in patients with periodontal disease. *Shanghai J Stomatol*, 2023, 32(3): 323–327. doi: 10.19439/j.sjos.2023.03.020.
- [54] 郭传斌. 数字医学技术是口腔颌面外科发展的一个重要方向. *中华口腔医学杂志*, 2017, 52(4): 201–203. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2017.04.001.
- GUO C B. Digital medical techniques play an important role in the development of oral and maxillofacial surgery. *Chin J Stomatol*, 2017, 52(4): 201–203. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2017.04.001.
- [55] 彭歆, 章文博. 数字化外科技术在下颌骨缺损重建中的应用. *口腔疾病防治*, 2017, 25(9): 545–553. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2017.09.001.
- PENG X, ZHANG W B. Application of digital surgical techniques in mandibular reconstruction. *J Prev Treat Stom Dis*, 2017, 25(9): 545–553. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2017.09.001.
- [56] 胡敏, 谭新颖, 鄢荣曾, 等. 3D打印技术在口腔颌面外科领域中的应用进展. *中国实用口腔科杂志*, 2014, 7(6): 335–339. doi: 10.7504/kq.2014.06.004.
- HU M, TAN X Y, YAN R Z, *et al*. Application progress of 3D printing technology in the field of oral and maxillofacial surgery. *Chin J Pract Stomatol*, 2014, 7(6): 335–339. doi: 10.7504/kq.2014.06.004.
- [57] GEUSENS J, SUN Y, LUEBBERS H T, *et al*. Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing-assisted mandibular reconstruction with a fibula free flap. *J Craniofac Surg*, 2019, 30(8): 2319–2323. doi: 10.1097/SCS.0000000000005704.
- [58] 赵一姣, 王勇. 口腔医学与数字化制造技术. *中国实用口腔科杂志*, 2012, 5(5): 257–261. doi: 10.3969/j.issn.1674-1595.2012.05.001.
- ZHAO Y J, WANG Y. Digital manufacturing technology for stomatology. *Chin J Pract Stomatol*, 2012, 5(5): 257–261. doi: 10.3969/j.issn.1674-1595.2012.05.001.
- [59] 庞莉苹, 许铭炎, 郭伟忠, 等. 数字化外科导板在口腔种植修复中的应用分析. *中国口腔种植学杂志*, 2022, 27(5): 292–298. doi: 10.12337/zgkqzzxz.2022.10.006.
- PANG L P, XU M Y, GUO W Z, *et al*. Analysis of the use of digital surgical guides in dental implant restoration. *Chin J Oral Implantol*, 2022, 27(5): 292–298. doi: 10.12337/zgkqzzxz.2022.10.006.
- [60] 张震宇, 赵彬, 马艳宁. 基于数字化影像学的导板与导航技术在口腔医学中的应用. *口腔医学*, 2023, 43(7): 667–672. doi: 10.13591/j.cnki.kqyx.2023.07.016.
- ZHANG Z Y, ZHAO B, MA Y N. Application of guide and navigation technology based on digital imaging in stomatology. *Stomatology*, 2023, 43(7): 667–672. doi: 10.13591/j.cnki.kqyx.2023.07.016.
- [61] 满毅, 杨幕童. 种植机器人、动态导航及全程导板在口腔种植领域的临床应用进展. *中国口腔种植学杂志*, 2023, 28(3): 146–151. doi: 10.12337/zgkqzzxz.2023.06.004.
- MAN Y, YANG M T. Progress in clinical application of implant robotics, dynamic navigation system and full-guide template in the field of oral implantology. *Chin J Oral Implantol*, 2023, 28(3): 146–151. doi: 10.12337/zgkqzzxz.2023.06.004.
- [62] 王勇, 彭玲燕, 赵一姣. 数字化序列导板技术用于“终末牙列”患者即刻种植即刻修复. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2023, 17(4): 239–243. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.04.002.
- WANG Y, PENG L Y, ZHAO Y J. Digital sequential guide techniques of immediate implant placement and restoration for patients with terminal dentition. *Chin J Stomatol Res*, 2023, 17(4): 239–243. doi: 10.3877/cma.j.

- issn.1674-1366.2023.04.002.
- [63] CHEN S, OU Q, LIN X, *et al.* Comparison between a computer-aided surgical template and the free-hand method: a systematic review and meta-analysis. *Implant Dent*, 2019, 28(6): 578–589. doi: 10.1097/ID.0000000000000915.
- [64] 郭传瑛. 口腔颌面导航手术. 北京: 北京大学医学出版社, 2020.
GUO C B. Oral and maxillofacial navigation surgery. Beijing: Peking University Medical Press, 2020
- [65] STEFANELLI L V, DEGROOT B S, LIPTON D I, *et al.* Accuracy of a dynamic dental implant navigation system in a private practice. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2019, 34(1): 205–213. doi: 10.11607/jomi.6966.
- [66] 陈晨, 王富市, 张睿, 等. 计算机辅助显微根尖手术的体外模型研究. *中华口腔医学杂志*, 2022, 57(1): 44–51. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210928-00443.
CHEN C, WANG F S, ZHANG R, *et al.* An *in vitro* model study of computer-guided endodontic microsurgery. *Chin J Stomatol*, 2022, 57(1): 44–51. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20210928-00443.
- [67] 陈江. 机器人在口腔种植领域的应用. *中国口腔种植学杂志*, 2022, 27(5): 274–279. doi: 10.12337/zgkqzzxxz.2022.10.003.
CHEN J. Application of robots in the field of dental implantology. *Chin J Oral Implantol*, 2022, 27(5): 274–279. doi: 10.12337/zgkqzzxxz.2022.10.003.
- [68] 赵瑞峰, 李志文, 白石柱. 机器人在口腔医学领域的应用. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2022, 3(5): 351–366. doi: 10.12180/j.issn.2096-7721.2022.05.002.
ZHAO R F, LI Z W, BAI S Z. Application of robots in stomatology. *Chin J Robt Surg*, 2022, 3(5): 351–366. doi: 10.12180/j.issn.2096-7721.2022.05.002.
- [69] 柯怡芳, 张耀鹏, 王勇, 等. 机器人在口腔修复领域的研发及应用现状. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(9): 939–944. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200924-00512.
KE Y F, ZHANG Y P, WANG Y, *et al.* Application and outlook of robotics in prosthetic dentistry. *Chin J Stomatol*, 2021, 56(9): 939–944. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20200924-00512.
- [70] ZHOU W, LIU Z, SONG L, *et al.* Clinical factors affecting the accuracy of guided implant surgery—a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract*, 2018, 18(1): 28–40. doi: 10.1016/j.jebdp.2017.07.007.
- [71] 王勇. 口腔材料与口腔数字化技术. *口腔材料器械杂志*, 2023, 32(3): 153–157. doi: 10.11752/j.kqcl.2023.03.01.
WANG Y. Dental materials and dental digital technology. *Chin J Dent Mater Dev*, 2023, 32(3): 153–157. doi: 10.11752/j.kqcl.2023.03.01.
- [72] 连书齐, 张昀, 张修银. 口腔3D打印材料的研究现状. *口腔材料器械杂志*, 2018, 27(2): 109–111. doi: 10.11752/j.kqcl.2018.02.12.
LIAN S Q, ZHANG Y, ZHANG X Y. Research status of dental 3D printing materials. *Chin J Dent Mater Dev*, 2018, 27(2): 109–111. doi: 10.11752/j.kqcl.2018.02.12.
- [73] ZHANG Y, LAWN B R. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*, 2018, 97(2): 140–147. doi: 10.1177/0022034517737483.
- [74] BRANCO A C, COLAÇO R, FIGUEIREDO-PINA C G, *et al.* Recent advances on 3D-printed Zirconia-based dental materials: a review. *Materials (Basel)*, 2023, 16(5): 1860. doi: 10.3390/ma16051860.
- [75] 马赛, 殷琦, 王富, 等. 浅谈口腔虚拟仿真实操训练系统的发展现状. *口腔颌面修复学杂志*, 2023, 24(3): 235–240. doi: 10.19748/j.cn.kqxf.1009-3761.2023.3.013.
MA S, YIN Q, WANG F, *et al.* Development of virtual simulation systems for pre-clinical dental skill training. *Chin J Prosthodont*, 2023, 24(3): 235–240. doi: 10.19748/j.cn.kqxf.1009-3761.2023.3.013.
- [76] 王富, 田敏, 马赛. Simodont虚拟仿真系统在口腔修复牙体预备教学中的应用. *中国实用口腔科杂志*, 2022, 15(1): 36–40. doi: 10.19538/j.kq.2022.01.007.
WANG F, TIAN M, MA S. Application of Simodont virtual simulation system in dental restorative preparation teaching. *Chin J Pract Stomatol*, 2022, 15(1): 36–40. doi: 10.19538/j.kq.2022.01.007.
- [77] VINCENT M, JOSEPH D, AMORY C, *et al.* Contribution of haptic simulation to analogic training environment in restorative dentistry. *J Dent Educ*, 2020, 84(3): 367–376. doi: 10.21815/JDE.019.187.
- [78] 高梓翔, 朱玉佳, 温奥楠, 等. 三维颌面解剖标志点自动确定算法的研究进展. *现代口腔医学杂志*, 2022, 36(6): 420–424.
GAO Z X, ZHU Y J, WEN A N, *et al.* Research progress on automatic determination algorithm of three-dimensional facial anatomical landmark points. *J Modern Stomatol*, 2022, 36(6): 420–424.
- [79] 赵一姣, 高林, 王勇. 颌面点云数据解剖标志点及对称参考平面的构建算法浅析. *中华口腔医学杂志*, 2023, 58(6): 510–517. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20230218-00049.
ZHAO Y J, GAO L, WANG Y. Advances in algorithms for three-dimensional craniomaxillofacial features construction based on point clouds. *Chin J Stomatol*, 2023, 58(6): 510–517. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20230218-00049.
- [80] 高梓翔, 王晶, 温奥楠, 等. 基于非刚性配准算法的上颌骨复合体三维数据自动定点研究. *中华口腔医学杂志*, 2023, 58(6): 556–562. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20230218-00053.
GAO Z X, WANG J, WEN A N, *et al.* Study on the method of automatically determining maxillary complex landmarks based on non-rigid registration algorithms. *Chin J Stomatol*, 2023, 58(6): 556–562. doi: 10.3760/cma.j.cn112144-20230218-00053.
- [81] GRISCHKE J, JOHANNSMIEIER L, EICH L, *et al.* Dentromcs: towards robotics and artificial intelligence in dentistry. *Dent Mater*, 2020, 36(6): 765–778. doi: 10.1016/j.dental.2020.03.021.
- [82] ZHU Y, ZHAO Y, WANG Y. A review of three-dimensional facial asymmetry analysis methods. *Symmetry (Basel)*, 2022, 14(7): 1414.1–10. doi: 10.3390/sym14071414.

(2023-09-08收稿, 2024-01-07修回)

编辑 姜 恬



开放获取 本文使用遵循知识共享署名—非商业性使用4.0国际许可协议(CC BY-NC 4.0), 详细信息请访问

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>。

OPEN ACCESS This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0). For more information, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

© 2024 《四川大学学报(医学版)》编辑部

Editorial Office of *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*