



综述

数字化技术在重度磨耗咬合重建病例中的应用进展

邓碧霞^{1,2} 李思雨^{1,*}作者单位：¹北京大学口腔医学院·口腔医院综合治疗科，国家口腔疾病临床医学研究中心，口腔数字化医疗技术和材料国家工程实验室，口腔数字医学北京市重点实验室；²华中科技大学协和深圳医院口腔科

*通讯作者：李思雨，联系方式：010-82195586，电子邮箱：lisiyu981@163.com，通讯地址：北京市海淀区中关村南大街 22 号，100081

【摘要】 全口磨耗是一种常见的牙齿疾病，其主要特征是牙齿表面的磨损。对于严重的全口磨耗患者，咬合重建是一种有效的治疗方法。随着数字化技术的迅速发展，通过数字化进行咬合重建已成为生物医学工程领域的研究热点，其可在口腔扫描和分析、牙冠修复设计和制造、咬合分析和治疗计划等方面发挥重要作用，不仅可提高疾病的诊断准确性、降低误诊率，还可为患者提供更个性化的治疗方案。然而，数字化方法在实际应用中仍然面临技术、伦理和法律等方面的问题。因此，本综述将为研究人员提供一个全面了解数字化方法在重度磨耗咬合重建病例中应用进展的参考框架。

【关键词】 牙齿磨耗；计算机辅助设计；咬合重建；人工智能；数字化技术

Advancements in Digital Technology for the Rehabilitation of Severely Worn Dentition

Bixia Deng^{1,2}, Siyu Li^{1,*}. (¹Department of General Dentistry, Peking University School and Hospital of Stomatology, National Clinical Research Center for Oral Diseases, National Engineering Laboratory for Digital and Material Technology of Stomatology, Beijing Key Laboratory of Digital Stomatology, Beijing, P.R. China; ²Department of Stomatology, Huazhong University of Science and Technology Union Shenzhen Hospital, Shenzhen, Guangdong Province, P.R. China.)

Correspondence: Siyu Li. Tel: 010-82195586. Email: lisiyu981@163.com. Address: No.22 Zhongguancun South Avenue, Haidian District, Beijing 100081, P.R. China.

【Abstracts】 Severe worn dentition is a common dental disease characterized by the erosion of tooth surfaces. For patients with severe tooth wear, occlusal reconstruction is an effective treatment method. With the rapid development of digital technology, digital occlusal reconstruction has become a research focus in biomedical engineering. It plays a crucial role in oral scanning and analysis, crown restoration design and manufacturing, occlusal analysis, and treatment planning. Digital methods not only improve the accuracy of disease diagnosis and reduce misdiagnosis rates but also provide more personalized treatment options for patients. However, the practical application of digital methods still faces technical, ethical, and legal challenges. Therefore, this review aims to provide researchers with a comprehensive understanding and reference framework for applying digital methods in cases of severe tooth wear rehabilitation.

【Key words】 tooth wear; computer-aided design; occlusal reconstruction; artificial intelligence; digital technology

1 引言

牙齿磨耗又称牙齿磨损，是一种非龋性、非外伤性的牙体硬组织进行性损失，多表现为牙冠咬合面的缺损。常见的原因有酸性侵蚀、喜食

硬物等不良咀嚼习惯及夜磨牙^[1,2]。全牙列重度磨耗可能会导致牙齿的咀嚼功能降低、牙本质敏感、咀嚼困难等问题；如果放任不治疗，甚至可能会引起颞下颌关节紊乱等疾病^[1,2]。因此，咬合重建对于全口磨耗患者来说具有重要意义。

DOI: 10.12337/zgkqxjyzz.2024.01.002

基金项目：广东省临床医学基地教学改革研究项目（项目编号：2021JD088）

Supported by: Education Fund of Guangdong Province of China (No.2021JD088)

咬合重建旨在通过重建理想的咬合关系和恢复牙齿功能,改善患者的口腔健康和生活质量。谭建国^[3](2020)提出了八步法治疗程序进行患者序列修复治疗,近年来随着数字化技术的不断发展,数字化技术已经越来越多应用在全口磨耗患者咬合重建中。

数字化技术在重度磨耗病例咬合重建中的应用主要体现在以下几个方面:①病因诊断;②治疗设计;③咬合关系转移;④修复设计与制作、长期监测与评估。通过采用现代数字化技术,可以精确地分析患者的咬合关系,制定个性化的治疗方案,减少手术风险和治疗时间,提高治疗效果和患者满意度。

本文根据不同学者的多项临床数据,将数字化方法及传统方法在重度磨耗病例咬合重建中的应用进行对比,系统分析2种方法的优缺点,并对数字化技术尚存的问题进行探讨,以期临床提供参考。

2 数字化技术在牙齿磨耗病因诊断中的作用

牙齿磨耗是口腔常见问题之一,主要病因可分为机械磨损和化学磨损。机械磨损多由于牙齿间的咬合接触而产生的,而化学磨损则是多由口腔环境中的酸性物质所致^[4]。对于全口牙列重度磨耗的预防和治疗来说,对牙齿磨耗的病因的准确诊断、磨耗程度的精准分级以及磨耗进展的及时监测均有重要意义。然而,牙齿磨耗不仅病因复杂,临床表现也常常多样,因此对其病因的诊断、程度的分级和进展的监测均有一定难度^[5]。

准确诊断磨耗的重要前提是应用规范一致的牙齿磨耗标准。目前基于不同的评价标准和适用范围,有多种磨耗指数分级法。临床上应用最广泛的为 Smith 和 Knight^[6](1984)提出的5级磨耗分级标准,近年来还有 Bartlett 等^[7](2008)提出的基础酸蚀检查(basic erosive wear examination, BEWE)和 Wetselaar 等^[8](2016)提出的牙体磨耗评估系统(the tooth wear evaluation system, TWES)分级标准。虽然由于指数分级法不需要特殊设备,临床医师可直接根据对患者的口腔检查自行评估分析,但是这种传统方法不仅耗时费力且容易有主观性偏差,无法得到精确定量的数值。此外,由于多种牙齿磨耗指数分级方法导致缺乏统一的标准,不同的研究结果无法直接比较。为了更精确、可靠地诊断和治疗

磨耗问题,需要采用更为精细定量的测量方法。

近年来,口腔数字化扫描技术的进步在很大程度上优化了精细定量的测量方法。利用数字化扫描和三维模型配准技术,可以精确、完整地反映牙齿表面的磨耗特征,对其进行精确定位和定量测量,以实现磨耗严重程度的精准评估和分级,同时也能够对磨耗病情进展进行纵向监测^[9,10]。目前常用的数字化扫描仪为 Lava(3M, 美国)、iTero(Align Technology, 美国)、Trios(3 Shape, 丹麦)等^[10,11]。Kumar 等^[12](2019)的研究结果表明:虽然口内扫描仪具有检测早期腐蚀性磨损及监测牙齿磨耗发展的能力,但很难检测到非常小的变化,需进一步完善测量过程。

另外,目前的共识认为:没有任何一种数字化三维图像的配准方法(无论是基于分割面、特征点、还是体素)能够真实地反映口内情况^[9]。配准后对修复体在时间区段损失的定量评价也是诊断的挑战。一般首选的评价参数是体积^[13],但由于经常无法获得患者未磨耗时数据,因此用体积分析评价比较困难。为此,有学者提出开发其他定量评价参数,如角度、距离、高度等^[14]。

目前较为理想及成熟的颌面磨耗分析方法是咬合指纹分析(occlusal fingerprint analysis, OFA)^[15],它通过体外模拟特定的下颌运动,分析牙齿三维模型的磨耗面的4个定量参数(面积、周长、倾斜方向角及倾斜程度角),从而推理、总结出磨耗面与下颌功能运动的联系,可帮助理解磨耗面的形成机制^[10,16,17],但是,OFA多被学者应用于人类考古学领域,而其对于咬合重建的临床指导意义仍需探索实践。

随着人工智能技术的日趋成熟,人工神经网络(artificial neural network, ANN)已具备强大的鲁棒性(robustness)和多功能性。在口腔医学领域中,ANN已经在三维解剖特征自动化分割和识别上取得了良好的效果。将数据驱动的深度学习方法应用于口腔医学图形图像处理的研究结果表明,该方法辅助设计出来的全冠修复体同时具备天然牙解剖形态特征以及临床适用性,表现出优于传统经典算法的良好前景^[18-21]。可见,早期利用数字化技术获得磨耗面的深度信息并用ANN构建样本数据集,还可提高对牙齿磨耗定量评价的精确性,从而帮助医师进行预后判断。

将人工智能技术与口内数字化扫描技术结合,用于牙齿磨耗的自动化评估分级,可以在短时间内

对大量牙齿磨耗信息进行汇总分析, 精确、高效地协助医师进行病因诊断和磨耗程度分级, 使诊断从主观判断转向客观科学判断, 进而为牙齿磨耗的治疗方案设计、预后判断和预防策略制订提供坚实的基础^[22]。

3 数字化技术在牙齿磨耗的治疗设计中的作用

在明确牙齿磨耗病因后, 首先按照面部引导的治疗方案设计原则, 从最终的美学重建目标出发, 进行牙列重度磨耗功能美学重建的多学科治疗方案设计^[3]。

临床上, 主要根据患者下颌姿势位的唇齿关系等因素确定理想的上中切牙切缘位置, 基于最终修复目标的上中切牙切缘位置即可进一步确定多学科治疗方案^[3]。传统进行多学科治疗设计和美学重建设计时, 常根据患者的面部观察、研究模型和数码照片等二维、静态的资料^[3], 这种设计对后期效果的预测多是基于经验, 比较主观和片面, 且医师与技师沟通效率低。目前利用数字化技术可通过面部扫描、口内牙列扫描结合颌骨和牙槽骨锥形束电子计算机断层扫描 (cone beam computerized tomography, CBCT) 数据, 构建患者完整的数字化颌面部结构, 建立数字化的患者下颌姿势位时的唇齿关系, 从而进行三维、甚至四维动态的数字化多学科治疗设计以及美学重建设计, 弥补传统方法的不足^[23]。

叶红强等^[24] (2020) 的研究表明, 在前牙美学修复中, 应用三维数字化仿真技术的试验组患者, 无论是仿真度的视觉模拟评分 (visual analogue scales, VAS) 还是满意度评分, 均显著高于使用传统技师经验法的对照组。另一项邱淑婷等^[25]

(2022) 的研究表明: 前牙修复体设计中, 与初学者区域迭代最近点 (iterative closest point, ICP) 算法对比, 参照姿势微笑位下普氏分析 (weighted Procrustes analysis, WPA) 算法自动构建的口唇对称参考平面 (symmetry reference plane, SRP), 患者对修复效果的满意度更高。可见, 在美学修复中应用数字化方法, 能解决因经验不足及沟通引起的问题, 提高治疗效果及患者满意度。

对牙列磨耗患者来说, 美学重建设计完成后, 还需进行咬合重建设计。传统方法中, 通常使用机械面弓、半可调或全可调骀架获取资料, 但仅可在一定程度上模拟患者下颌前伸、侧方运动等个性化

资料, 无法完全再现患者的个性化下颌运动特征^[26]。随着数字化技术的发展, 出现了以超声传感式、磁性传感式、光学传感式为特征的多种下颌运动轨迹描记设备, 这些设备可完整、准确地获取下颌髁点、磨牙点和切点的三维空间运动轨迹, 不仅如此, 还可在数字化设计软件中操控虚拟牙科患者 (virtual dental patient, VDP) 进行前伸及开闭口运动, 可直观全面地分析下颌运动过程中的干扰特征, 预测到个体下颌运动的路径以及可能产生的危害。通过分析患者个性化下颌运动参数, 结合美学和咬合设计目标, 可帮助规避临床上使用传统方法无法预测的风险。但是这些下颌运动轨迹描记设备在获取和分析咬合关系的准确性仍需进一步研究^[27-31]。

4 数字化技术在诊断性临时修复体和咬合关系转移中的作用

美学设计及咬合设计后需进行美学表达和咬合表达。2017 年关于牙列重度磨耗治疗方案的欧洲共识^[32]强调, 治疗顺序应从“无创→微创→有创”, 从“可逆→半可逆→不可逆”, 通过骀垫、诊断饰面及临时冠等方法, 从基准诊断性咬合关系逐级调改、磨合、复制、转移, 直至于最终的临时修复体上确定患者最终的咬合关系。对于重度磨耗的患者来说, 常需制作咬合垫和诊断性的临时修复体, 并且需要最终修复体能精准地复制患者已适应的临时修复体形态。

传统的交叉上骀架方法涉及多个步骤, 包括印模制取、模型灌制、咬合记录的制取、面弓转移、模型交叉上骀架等, 每个步骤均存在潜在的误差, 这些误差可能无法量化, 但会影响最终修复体的咬合精度^[33]。此外, 传统堆塑蜡型的方法制作出的修复体容易受人为因素影响, 无法精准复制临时修复体的骀面形态, 导致戴牙时临床医师需进行咬合调整, 增加诊疗时长, 也可能导致患者的咬合不适。而数字化方法制作的修复体可达到预测的美学和功能效果, 提高临床效率和提升修复精准度。李峥等^[34] (2021) 的研究表明: 戴用传统堆塑蜡型的方法制作的修复体 (对照组) 的临床调骀时间为戴用数字化方法制作的修复体 (实验组) 的 8 倍左右, 另外, 研究结果还显示对照组复诊次数更多、初戴修复体时患者咬合的舒适度评分较低。

影响修复咬合精度的还有印模制取, 随着数字化印模技术精度的提高, 无论是利用口内扫描仪直接口内扫描, 还是间接扫描传统印模或模型, 这 2

种方法制作的修复体的边缘间隙均在可接受的范围之内 ($\leq 120\mu\text{m}$)^[35]。尽管如此,高涵琪等^[36](2022)的研究表明,对于牙列重度磨损患者,制取全牙列预备体数字工作模型时,使用口内扫描仪间接扫描传统印模的准确度和精确度更高,因此,建议优先选择间接法印模扫描技术制取牙列重度磨损全牙列数字工作模型^[36]。

但是,在传统印模的制取过程中,由于软组织受材料挤压可产生变形,而且软组织口内扫描时缺乏特征、成像精度较差且拼接误差大,配准困难,因此,谭建国^[33]建立了数字化三点区段模型转移法,通过在牙列的前牙区和双侧后牙区 3 个区域各保留 1~2 个临时冠,建立牙列的数字三点区段模型作为中间模型,并利用这个中间模型来实现数字工作模型与数字最终临时修复体模型的精确配准。除此之外,为了提高配准度,Renne 等^[37](2017)还提出在软组织角化龈等动度较低区域粘接 3~5 个树脂材料制作的标志点,来提高口内扫描时软组织数据的获取精度。与传统方法相比,随着配准度的提高,数字化方法各种潜在误差更小,更能精准地把患者已适应的临时修复体形态转移到最终修复体上。

5 数字化技术在口腔修复体的设计、制作、长期监测及评估的作用

目前,以计算机辅助设计与辅助制作 (computer-aided design and computer-aided manufacturing, CAD/CAM) 为基础的口腔数字化修复技术已在临床上广泛应用。常规 CAD 咬合设计多基于设备系统中内置的咬合模块。这些模块提供了两种方式制作修复体:一种是通过“生物再造 (biogeneric reconstruction)”功能根据预先储存的天然牙形态数据库生成形态适合的修复体;另一种是使用镜像复制 (mirror-image) 模式生成与对侧天然牙对称的修复体。然而,通过此类功能制作的修复体并非基于患者的动态咬合关系生成。为解决这一难题及提高修复体的精准度,可构建三维与四维 VDP 以及应用数字化下颌运动轨迹描记系统记录患者的口腔运动轨迹。通过模拟下颌运动过程,实现下颌运动的可视化,在治疗全程可轻松进行多次测量和比较,进而帮助医师进行病例预测、及时调整治疗方案,提高治疗效果和患者满意度^[26]。

口腔医师主要通过下颌运动轨迹描记系统将动态咬合数据整合至三维 VDP 进行四维 VDP 的

构建。四维 VDP 的构建不仅能获得患者个性化殆平面,获取髁突运动数据,而且还能通过软件动态模拟下颌运动过程,实时自动计算评价髁突功能状态的量化指标,从而获取牙齿咬合接触关系、颞下颌关节变化等信息,进而预测治疗效果及防范风险^[38,39]。此外,可以使用三维立体打印技术 (three dimensional printing technology, 3DPT) 制作出符合患者下颌运动轨迹的个性化三维殆架及牙列模型,并在其上试戴修复体,从而提高临床工作效率^[30]。不仅如此,文献表明,CBCT 数据与口内扫描结合后的三维重建的髁突精确性高、可重复率好,能充分捕捉骨组织的形态学变化,有利于进行长期监测和评估^[40]。

另外,随着 ANN 的发展,田素坤等^[41](2021)提出了一种基于条件生成对抗网络 (conditional generative adversarial network, CGAN) 的缺失牙体功能性咬合面形态生成网络。该方法是利用计算机模拟技术,结合患者的颌骨和牙列影像数据,构建一个能够生成具有正确咬合接触关系和正常咀嚼功能的功能性咬合面模型的人工神经网络。该网络结合了预备体、条件模型及其磨损面的深度信息,同时考虑了颌位空间位置关系和牙齿磨损等因素作为约束条件,以生成满足具体患者需要的功能性咬合面。虽然实验结果表明,采用该方法设计出来的全冠修复体具有足够的天然牙解剖形态特征以及较高的临床适用性,但目前仍处于研究阶段。而 CAD/CAM 技术已经成为口腔修复专业领域的常规工具,可以制作高精度和可靠的修复体。

因此可以推断,目前基于四维 VDP 及 CAD/CAM 技术制作的修复体应该是更精确的,且利用数字化流程可以进行多次测量和比较,帮助医师及时修改治疗方案,提高临床的工作效率和治疗效果。然而,目前很少有学者对使用上述这些新方法制作的修复体进行长期监测及客观评价,还需要大量的进一步临床研究。

6 结论

综上所述,数字化技术在全口磨损患者的咬合重建中具有广阔的应用前景。与传统方法相比,通过口内数字化扫描、运动捕捉系统、人工智能技术、CAD/CAM 技术可协助临床医师对磨损的病因、程度分级、磨损进展、咬合分析、下颌运动等进行更精确高效的科学判断,制定个性化的预防策略和治

疗方案, 转移更准确的咬合关系, 提高医技的沟通效率, 制造出舒适度更高的修复体, 且可更容易及时监测和评估修复体后期的变化, 从而提高治疗效果和患者的体验。

数字化技术在全口磨耗患者的咬合重建中已经取得了许多积极的成果, 但是仍然存在一些问题亟待验证和解决, 主要涉及在两个方面:

一是技术准确度和精确度方面: 设备的精度和稳定性、操作者的技能水平和经验、患者的配合度、数据采集时的环境因素会影响数字化模型采集的质量, 从而影响后续制作的修复体的准确性。设备的高成本也对数字化技术的推广产生了阻碍。不仅如此, 利用 CBCT 对口腔进行三维扫描时会对患者造

成多次辐射, 造成不良影响。另外, 由于技术的局限性, 数字化技术制造的修复体通常是基于正常的口腔解剖结构及平均统计数据设计的, 可能无法准确预测和模拟非稳定的咬合力分布, 因此不适用于一些特殊的病例, 如颞下颌关节紊乱病、重度牙周炎等。

二是治疗有效性方面: 数字化流程是否能真实提高咬合重建的临床工作效率和治疗效果, 尚需大量数据的支持和客观的评价。

因此, 在牙列磨耗的咬合重建中需要提高数字化技术的精度和准确性, 谨慎选择患者和技术方案, 以确保治疗效果和患者满意度。

参考文献

- [1] 周永胜. 口腔修复学 [M]. 第 3 版. 北京: 北京大学出版社, 2020.
- [2] 骆小平. 牙齿磨损的病因、分类及修复重建治疗进展 [J]. 中华口腔医学杂志, 2016, 51(10):577-582.
- [3] 谭建国. 一步一步做好牙列重度磨耗的功能美学重建 [J]. 中华口腔医学杂志, 2020, 55(9):696-700.
- [4] Van't Spijker A, Rodriguez JM, Kreulen CM, et al. Prevalence of tooth wear in adults[J]. Int J Prosthodont. 2009; 22(1):35-42.
- [5] 谭建国. 数字化技术在牙列重度磨耗功能美学重建中的应用 [J]. 中华口腔医学杂志, 2022, 57(10):1009-1114.
- [6] Smith BG, Knight JK. An index for measuring the wear of teeth[J]. Br Dent J. 1984; 156(12):435-438.
- [7] Bartlett D, Ganss C, Lussi A. Basic Erosive Wear Examination (BEWE): a new scoring system for scientific and clinical needs[J]. Clin Oral Investig. 2008; 12 Suppl 1(Suppl 1):S65-S68.
- [8] Wetselaar P, Lobbezoo F. The tooth wear evaluation system: a modular clinical guideline for the diagnosis and management planning of worn dentitions[J]. J Oral Rehabil. 2016; 43(1):69-80.
- [9] Wulfman C, Koenig V, Mainjot AK. Wear measurement of dental tissues and materials in clinical studies: A systematic review[J]. Dent Mater. 2018; 34(6):825-850.
- [10] 蓝凯文, 戴驰, 聂嘉祺, 等. 牙磨耗评价的临床应用和研究进展 [J]. 中华口腔医学研究杂志 (电子版), 2021, 14(5):267-271.
- [11] 黄婉怡, 战德松. 口内扫描数字化印模系统分类及其应用 [J]. 中国实用口腔科杂志, 2017, 10(8):452-457.
- [12] Kumar S, Keeling A, Osnes C, et al. The sensitivity of digital intraoral scanners at measuring early erosive wear[J]. J Dent. 2019; 81:39-42.
- [13] DeLong R. Intra-oral restorative materials wear: rethinking the current approaches: how to measure wear[J]. Dent Mater. 2006; 22(8):702-711.
- [14] Lee SP, Nam SE, Lee YM, et al. The development of quantitative methods using virtual models for the measurement of tooth wear[J]. Clin Anat. 2012; 25(3):347-358.
- [15] Kullmer O, Benazzi S, Fiorenza L, et al. Technical note: Occlusal fingerprint analysis: quantification of tooth wear pattern[J]. Am J Phys Anthropol. 2009; 139(4):600-605.
- [16] Fiorenza L, Menter CG, Fung S, et al. The functional role of the Carabelli trait in early and late hominins[J]. J Hum Evol. 2020; 145:102816.
- [17] Fiorenza L, Benazzi S, Kullmer O, et al. Dental macrowear and cortical bone distribution of the Neanderthal mandible from Regourdou (Dordogne, Southwestern France)[J]. J Hum Evol. 2019; 132:174-188.
- [18] 慕创创, 李刚. 基于神经网络的深度学习在医学影像中的研究进展 [J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(7):492-497.
- [19] Carrillo-Perez F, Pecho OE, Morales JC, et al.

- Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review[J]. *J Esthet Restor Dent*. 2022; 34(1):259-280.
- [20] Shan T, Tay FR, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry[J]. *J Dent Res*. 2021; 100(3):232-244.
- [21] 李骋, 陈虎, 王勇, 等. 人工神经网络对口腔三维解剖特征分割与识别的研究进展 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2022, 57(5):540-546.
- [22] Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Maganur PC, et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry-A systematic review[J]. *J Dent Sci*. 2021; 16(1):508-522.
- [23] Ye H, Wang KP, Liu Y, et al. Four-dimensional digital prediction of the esthetic outcome and digital implementation for rehabilitation in the esthetic zone[J]. *J Prosthet Dent*. 2020; 123(4):557-563.
- [24] 叶红强, 柳玉树, 王冠博, 等. 三维数字化仿真设计与实现技术在前牙美学修复中的应用 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2020, 55(10):729-736.
- [25] 邱淑婷, 朱玉佳, 王时敏, 等. 姿势微笑位口唇对称参考平面的数字化构建及初步应用验证 [J]. *北京大学学报*, 2022, 54(1):193-199.
- [26] Lepidi L, Galli M, Mastrangelo F, et al. Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand?[J]. *J Prosthodont*. 2021; 30(1):24-35.
- [27] Úry E, Fornai C, Weber GW. Accuracy of transferring analog dental casts to a virtual articulator[J]. *J Prosthet Dent*. 2020; 123(2):305-313.
- [28] Woodford SC, Robinson DL, Mehl A, et al. Measurement of normal and pathological mandibular and temporomandibular joint kinematics: A systematic review[J]. *J Biomech*. 2020; 111:109994.
- [29] Lanis A, Gallucci G, Pedrinaci I. Full mouth oral rehabilitation of a severely worn dentition based on a fully digital workflow[J]. *J Esthet Restor Dent*. 2023; 35(4):596-608.
- [30] Yar R. Digital workflows for the management of tooth wear[J]. *Br Dent J*. 2023; 234(6):427-431.
- [31] Revilla-León M, Kois DE, Zeitler JM, et al. An overview of the digital occlusion technologies: Intraoral scanners, jaw tracking systems, and computerized occlusal analysis devices[J]. *J Esthet Restor Dent*. 2023; 35(5):735-744.
- [32] Loomans B, Opdam N, Attin T, et al. Severe Tooth Wear: European Consensus Statement on Management Guidelines[J]. *J Adhes Dent*. 2017; 19(2):111-119.
- [33] 谭建国. 一步一步做好牙列重度磨耗咬合重建中咬合关系的复制和转移 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(8):825-828.
- [34] 李峥, 柳玉树, 王时敏, 等. 数字化方法复制暂时修复体殆面形态在重度磨耗病例中的应用 [J]. *北京大学学报*, 2021, 53(1):62-68.
- [35] Takeuchi Y, Koizumi H, Furuchi M, et al. Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses[J]. *J Oral Sci*. 2018; 60(1):1-7.
- [36] Gao H, Liu X, Liu M, et al. Accuracy of three digital scanning methods for complete-arch tooth preparation: An in vitro comparison[J]. *J Prosthet Dent*. 2022; 128(5):1001-1008.
- [37] Renne WG, Evans ZP, Mennito A, et al. A novel technique for reference point generation to aid in intraoral scan alignment[J]. *J Esthet Restor Dent*. 2017; 29(6):391-395.
- [38] Revilla-León M, Zeitler JM, Kois JC. Digital maxillomandibular relationship and mandibular motion recording by using an optical jaw tracking system to acquire a dynamic virtual patient[J]. *J Prosthet Dent*. 2022:S0022-3913(22)00338-9.
- [39] 孙欣荣, 冯玥, 刘伟才. 多模态数据融合的可视化技术在咬合重建中的应用 [J]. *华西口腔医学杂志*, 2022, 40(4):468-475.
- [40] Méndez-Manjón I, Haas OL Jr, Guijarro-Martínez R, et al. Semi-Automated Three-Dimensional Condylar Reconstruction[J]. *J Craniofac Surg*. 2019; 30(8):2555-2559.
- [41] 田素坤, 戴宁, 袁福来, 等. 基于条件生成对抗网络的缺失牙体功能性咬合面形态设计方法 [J]. *中国机械工程*, 2021, 32(3):331-340.

引文格式: 邓碧霞, 李思雨. 数字化技术在重度磨耗咬合重建病例中的应用进展 [J]. *中国口腔医学继续教育杂志*, 2024, 27(1): 7-12.