

ICam4D 摄影测量技术应用于口腔种植固定修复的临床效果

陈 艳,王梦婷,史 凡,唐金鑫,薛昌敖,宋 鑫

[摘要] **目的** 比较 ICam4D 摄影测量技术结合口内扫描技术与传统的夹板印模技术、传统开窗取模技术应用于全牙列口腔种植固定修复的临床效果。**方法** 选取已经完成种植手术需要进行终修复的全口牙列缺失患者 14 例,单颌牙列缺失患者 18 例,共 46 个牙列。分成 ICam4D 组(A 组)和夹板组(B 组)及开窗组(C 组)共 3 组:A 组 16 个,运用 ICam4D 摄影测量技术结合口内扫描技术来制取印模;B 组 15 个,应用传统的夹板技术来制取印模;C 组 15 个,仅应用开窗式印模杆取模,不在印模杆上绑夹板。比较 3 组患者的修复体边缘适合性、印模制取舒适度、耗时、对修复的满意度、患者随访观察。从而获得 ICam4D 摄影测量技术结合口内扫描技术用于口腔种植固定修复的临床效果。**结果** 修复体边缘适合性差异无统计学意义。印模制取舒适度评分为:A 组(95.77 ± 2.30),B 组(60.02 ± 7.56),C 组(71.92 ± 6.55),两两比较差异均有统计学意义($P < 0.001$)。耗时为:A 组(16.53 ± 3.24)min,B 组(59.38 ± 10.74)min,C 组(25.46 ± 5.63)min,组间两两比较差异有统计学意义($P < 0.001$)。修复体满意度,差异无统计学意义。**结论** ICam4D 摄影测量技术结合口内扫描技术应用于口腔种植固定修复取模用时更短,患者舒适度更高,且修复体边缘适合性佳,建议临床推广。

[关键词] ICam4D 摄影测量技术;传统夹板印模技术;口腔种植固定修复

[中图分类号] R783.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-9872(2026)01-0061-05

[doi] 10.13591/j.cnki.kqyx.2026.01.010

The clinical effect of ICam4D photogrammetry technology applied in the fixed restoration of oral implants

CHEN Yan, WANG Mengting, SHI Fan, TANG Jinxin, XUE Chang'ao, SONG Xin. (Department of Stomatology, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China)

Abstract: **Objective** To compare the clinical effects of ICam4D photogrammetry technology combined with intraoral scanning technology, traditional splint impression technology and traditional window impression technology in full dentition oral implant fixed prosthodontics. **Methods** A total of 46 cases of dentition, including 14 patients with complete dentition and 18 patients with single-jaw dentition, who had completed implant surgery and needed final restoration, were divided into three groups: the ICam4D group (Group A), the splint group (Group B), and the window group (Group C). Group A included 16 cases, in which ICam4D photogrammetry technology combined with intraoral scanning technology was used to take impressions. Group B included 15 cases, in which traditional splint technology was used to take impressions. Group C included 15 cases, in which only window impression rods were used for impression taking without splints. The marginal adaptation of the prosthesis, impression-taking comfort, time consumption, satisfaction with the restoration, and patient follow-up observations were compared among the three groups to evaluate the clinical effect of ICam4D photogrammetry technology combined with intraoral scanning technology in oral implant fixed prosthodontics. **Results** There was no statistically significant difference in the marginal adaptation of the prosthesis. The impression-taking comfort scores were: Group A (95.77 ± 2.30), Group B (60.02 ± 7.56), and Group C (71.92 ± 6.55). There were statistically significant differences among the three groups ($P < 0.001$). The time consumption was: Group A (16.53 ± 3.24)min, Group B (59.38 ± 10.74)min, and Group C (25.46 ± 5.63)min. There was a statistically significant difference ($P < 0.001$). There was no statistically significant difference in the satisfaction with the restoration. **Conclusion** ICam4D photogrammetry technology combined with intraoral scanning technology is more time-efficient, provides higher patient comfort, and has better marginal adaptation of the prosthesis in oral implant fixed prosthodontics. It is recommended for clinical promotion.

Key words: ICam4D photogrammetry technology; traditional splint impression technology; oral implant fixed restoration

Stomatology, 2026, 46(1): 61-65

基金项目:江苏省自然科学基金(BK20240267);南京市卫生科技发展专项资金(YKK21142)

作者单位:南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)口腔科,江苏南京(210006)

通信作者:宋 鑫 E-mail:songxin623@163.com

全牙列种植固定修复因咀嚼效率高、舒适度良好,患者可以即刻拥有固定的临时义齿,深受牙列缺失患者的青睐^[1]。制取印模的精确性至关重要,它关系到修复体是否被动就位,植体及修复体能否长久稳固。目前,传统夹板式印模技术仍然是全牙列

种植固定修复取模的经典方式^[2],但是技术敏感性高、方法较为复杂。随着计算机技术的发展,数字化印模技术在口腔领域的应用也突飞猛进^[3]。口内扫描制取植体的数字化印模方法应用在单颗牙或小跨度的缺失病例时,精确度较高^[4],但随着扫描范围的扩大,扫描精度随之下降,尤其是全牙列缺失的患者,因为无相对明显、固定的参照物,图像拼接有困难,扫描精确度随之下降,在缺失牙大于5颗时,不宜采用口内扫描的方式制取印模^[5-8]。立体摄影测量技术(stereophotogrammetry,SPG)目前已应用于全口种植的数字化印模制取。与传统印模方法和口内扫描相比,SPG具有一定的优势,然而其临床效果尚存争议^[9-10]。因此,本研究通过ICam4D摄影测量技术结合口内扫描技术和传统的夹板印模技术以及传统开窗取模技术对比,观察研究3种方法的修复体边缘适合性、印模制取舒适度、耗时、对修复的满意度、患者随访,以观察ICam4D摄影测量技术结合口内扫描技术用于口腔种植固定修复的临床效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2021—2023年于南京市第一医院口腔科行全牙弓种植固定修复的患者,其中全口牙列缺失患者14例,单颌牙列缺失患者18例,共32例患者,46个全牙弓种植固定修复牙列。植体选用韩国登腾Superline植体。本研究经南京市第一医院伦理委员会审核并批准(编号:KY20230302-01-KS-01)。

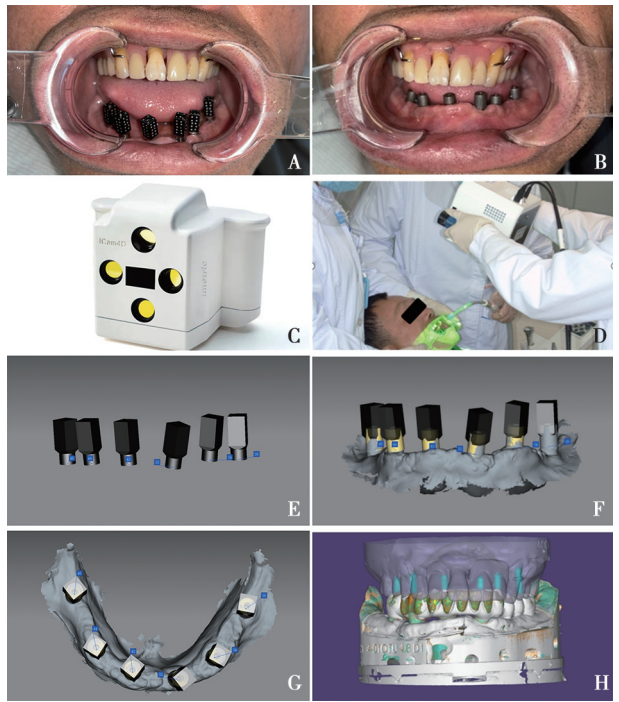
纳入标准:①种植手术后,已完成骨整合,需要进行终修复的患者。②已安装复合基台,完成临时修复,并且戴用临时修复3~6个月,已适应修复体的咬合关系,未出现颞下颌关节症状,无头颈肩背不适症状。③患者无严重基础疾病,意识清晰,能准确表达戴用义齿的感受。排除标准:①患者无法配合,不同意该研究的相关要求,不愿意参加该研究。②部分植体未完成骨整合,部分植体有边缘骨吸收。③患者口腔卫生差,依从性差,经过口腔卫生宣教,仍然无法有效清洁修复体。

1.2 方法

根据纳入标准,经过检查和筛选,种植修复患者分为3组,ICam4D组(A组)和传统夹板组(B组)及开窗组(C组)。终修复体均选用纯钛切削支架+爱尔创全瓷冠的修复方式,并且在同一家义齿加工中心制作。

1.2.1 ICam4D

取下临时修复体,用扭力扳手检查复合基台是否有松动情况,若有则查找原因,排除植体周围炎、植体骨整合失败等原因,根据复合基台为直角或角度基台,上紧合适的扭力。于复合基台水平安装口外扫描体(ICam Bodies),口外扫描体有4个面,每个面有10个激光点,安装时,注意尽量让其中两个面对着唇颊侧(见图1A),以便于ICam4D口外扫描仪(Imetric 4D Imaging Sarl,瑞士)能识别更多的激光定位点。在每次开始扫描前,需要先把仪器对着校准盘,缓慢移动,进行校准,校准完成后,用开口器牵拉患者口角,使口外扫描体充分暴露,然后缓慢地将ICam4D从一侧移动到另一侧(图1D)。启动测量过程,软件将自动检测要进行测量的最佳位置。取下口外扫描体,安装软组织扫描体(ICam Refs)(图1B),用3Shape口扫仪(3Shape,丹麦)进行口内扫描,记录牙龈的数字化印模。植体位置数据与牙龈数据匹配(图1E、F、G)。安装临时修复体。



A:安装口外扫描体;B:安装软组织扫描体;C:口外扫描仪;D:口外扫描;E、F、G:口外扫描体、软组织扫描体的数据在软件中拟合;H:技师设计修复体。

图1 扫描与设计

Fig.1 Scanning and design

1.2.2 夹板组

取下临时修复体,同样的方法检查复合基台,安装开窗取模杆,用钢丝+聚甲基丙烯酸甲酯材料(GC公司,日本)把每个取模杆连接,再把连接钢丝从中间磨断,取模杆连接在口内后,用树脂重新连接断开的钢丝,形成“夹板式”固定。在托盘上开孔,在取

模杆周围铺满硅橡胶印模材(GC 公司,日本),并在托盘内放置硅橡胶,取模,确保取模杆从托盘开孔部位穿出。等待硅橡胶固化后,取出印模,把替代体连接至取模杆上。

1.2.3 开窗组

取下临时修复体,检查复合基台,在复合基台水平安装开窗取模杆,托盘开孔,同样的,用硅橡胶制取印模,待硅橡胶固化后,取出印模,把替代体连接

表 1 修复体边缘适合性评价标准

Tab.1 Evaluation criteria for the suitability of prosthesis edges

级别	评价标准
I	顺利就位,被动就位,无翘动现象,与基台边缘密合,无明显可见缝隙,X 线显示基台边缘与义齿边缘连续,无台阶
II	就位顺利,边缘较密合或有能卡住探针的缝隙,X 线显示基台边缘与义齿边缘不连续,有缝隙
III	不能顺利就位或就位后翘动,边缘可见明显缝隙,X 线显示基台边缘与义齿边缘有明显间隙,可见台阶状影像

1.3.2 印模制取耗时

A 组,从安装口外扫描体开始计算时间,至 3Shape 口内扫描,记录牙龈的数据为结束时间,时间单位 min。B 组和 C 组,均从安装取模杆开始计算时间,至硅橡胶印模材完成固化,从口内取出为结束时间。以单颌为单位,全口上下牙列缺失患者按两组数据分别记录。

1.3.3 患者完成印模制取后填写舒适度评分

采用视觉模拟评分法(visual analogue scale,VAS)对义齿感知满意程度进行评分,给患者一条长约 100 mm 的直线(跟患者解释其含义,线的两端分别为 0 和 100 分,0 分表示非常不满意,100 分表示非常满意),请患者自主评分。

1.3.4 患者完成对修复体的满意度评分

修复完成 1 个月后,采用 VAS 评分法,请患者分别对义齿的美观、咀嚼、发音满意度、其他等总体满意度(如稳固度、易清洁满意度等)。

1.3.5 修复后随访

修复后 3 个月、6 个月、1 年对修复体随访,观察有无植体周围炎、螺丝松动,口腔卫生情况,咬合是否均衡等。

1.4 统计学方法

使用 IBM SPSS 21.0 对数据进行统计分析。连续型变量(均符合正态分布)组间比较采用单因素方差分析(One-way ANOVA),若方差分析结果具有统计学意义($P<0.05$),则采用 Bonferroni 法进行两两比较;分类变量(性别)的组间比较采用 Fisher 精确概率法;等级资料(边缘适合性)采用 Kruskal-Wallis H 检验。 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

患者的基本情况、修复体边缘适合性取模耗时、

至取模杆上。

1.3 观察指标

1.3.1 观察修复体边缘适合性

根据修复体适合性评价标准^[11-12],见表 1。评估修复体的边缘密合度。采用谢菲尔德实验^[13],观察支架被动就位情况。将修复体放置在口内,只拧紧 1 颗二级螺丝,观察整个支架的被动就位情况,检查支架与所有复合基台是否没有间隙。

取模舒适度、患者满意度情况见表 2~4。终修复效果见图 2。修复后 3 个月、6 个月、1 年复查,均未发现螺丝松动、桥架断裂等并发症,但在 1 年时,有 1 例患者的 1 颗种植体有 1 个螺纹暴露,该患者口腔卫生较差,牙结石较多,未能按医嘱做好口腔清洁工作。1 例患者的 1 颗植体牙龈高度降低,复合基台暴露。

表 2 患者的基本情况表

Tab.2 Patient basic information

组别	<i>n</i>	年龄/岁	性别(男/女)
ICam4D 组	16	56.47±8.59	10/6
夹板组	15	60.38±9.67	8/7
开窗组	15	58.10±12.36	9/6
统计值		$F=0.561$	$\chi^2=0.814$
<i>P</i>		0.574	0.706

表 3 修复体边缘适合性情况表

Tab.3 Fitness conditions for prosthesis edges

组别	<i>n</i>	I	II	III
ICam4D 组	16	16	0	0
夹板组	15	14	1	0
开窗组	15	14	1	0

$\chi^2=0.990,P=0.021$ 。

3 讨 论

随着数字化技术在口腔种植领域的快速发展,以 ICam4D 口外扫描系统为代表的数字化取模技术正在挑战传统印模方法的临床地位^[14]。ICam4D 摄影测量法是一种高精度的非接触式口外三维扫描系统,由 4 个高清摄像镜头和 1 个投影镜头组成,集摄影测量和结构光扫描技术于一体,通过口外扫描不同的种植系统配备的专用连接扫描体,从而精确确定植体之间的相对位置关系^[15],仅需几分钟即可一次性获取整个牙弓的数据信息,避免了口内扫描法需要的多幅图像的拼接及算法的叠加导致的误差累积放大。有研究表明,口外摄影测量法可获取线性

表 4 印模时长及修复体舒适、满意度 VAS 评分

Tab.4 The duration of the impression and the VAS score for the comfort and satisfaction of the restoration

组别	n	印模时长/min	舒适度 VAS 评分	满意度 VAS 评分			
				美观	咀嚼	发音	其他等总体满意度
ICam4D 组	16	16.53±3.24	95.77±2.30	92.27±4.56	94.02±4.27	91.87±5.43	93.46±2.64
夹板组	15	59.38±10.74	60.02±7.56	93.48±3.23	90.02±4.23 *	95.24±2.36	92.86±3.96
开窗组	15	25.46±5.63	71.92±6.55	91.56±4.45	93.43±2.78	92.47±3.22	92.58±4.07
F		147.420	148.980	0.769	4.563	2.962	0.240
P		<0.001	<0.001	0.085	0.054	0.043	0.150

* : 与 ICam4D 组比较,P<0.05,差异有统计学意义。



图 2 终修复

Fig.2 Final restoration

误差小于 5 μm 的多颗牙的立体位置关系,完全满足临床被动就位的精度要求^[16]。不足的是,ICam4D 摄影测量法无法获取口内黏膜信息,需要结合口内扫描法获取口腔黏膜的数字化信息,并通过计算机设计软件来获得最终修复体。

本研究通过比较 ICam4D 口外扫描结合口内扫描技术、树脂夹板切断重连硅橡胶印模及传统开窗硅橡胶取模 3 种技术在全牙列种植固定修复中的应用效果,揭示了不同取模方式的优势与局限性。

在精确性方面,ICam4D 口外扫描系统结合口内扫描技术展现出了显著的优势^[17]。本研究数据显示其植体位置转移误差低,表现在 ICam4D 组的修复体的边缘适合性均达到 I 级标准,修复体满意度 VAS 评分均值高于另外两组。这与 Ma 等^[18]的研究结论相符,其认为光学扫描可避免传统印模过程中材料的收缩、托盘移位等误差来源。特别是对于全牙列多颗植体的情况,ICam4D 通过动态参考系稳定技术,能有效降低长跨度扫描的累计误差。Gómez-Polo 等^[19]在综述中阐述 ICam4D 的准确性为 10~49 μm,精度为 2~203 μm,ICam4D 在全口种植扫描精度方面具有较高的优势,有良好的发展和应用前景^[20-21]。

传统开窗取模的精确度高,曾被视为全口种植修复取模中的金标准。但在本研究中有 1 例边缘适

合性表现为 II 度,这可能由于印模材料流动性受长跨度影响、开窗螺旋旋紧过程中的微变形以及灌模时石膏膨胀系数的差异等因素,导致了开窗取模法精确性降低。

夹板印模技术是在开窗取模的基础上连接各取模杆,使取模杆间形成刚性连接,避免植体间相对的位置方向发生变形。目前常用的方法有树脂夹板切断重连法、牙线树脂连接法、车针连接法、预成刚性连接杆法^[22]。有学者比较了这 4 种印模杆连接方式的取模精确度,发现树脂夹板切断重连法的精确度最高^[11]。本研究中采用的是树脂夹板切断重连印模技术,其与 ICam4D 口外扫描系统结合口内扫描技术在精确度上无统计学差异。说明树脂夹板切断重连印模技术在无牙颌修复取模中仍具有适用性。

在临床效率方面,ICam4D 组单颌取模时间显著短于夹板印模组和开窗取模组。数字化流程省去了印模材料凝固、模型灌制等步骤,且可实现“即扫即得”的模型预览^[12]。但需指出,对于张口度受限或存在明显软组织移动的患者,ICam4D 可能需要追加扫描次数,可能会延长操作时间。开窗取模因需逐个连接转移杆、确认被动就位,其操作时间最长,且技术敏感性高。本研究中 13.3%病例需重复取模,主要由于转移杆松动或印模材料撕裂。树脂夹板切断重连印模技术,需连接各取模杆,且需等待自凝树脂固化,临床时间成本仍高于数字化取模。

在患者体验感方面,ICam4D 组患者舒适度评分显著高于两种传统方法。数字化取模避免了传统印模材料的异味、呕吐反射及长时间张口不适,特别适用于咽反射敏感患者。但需注意,部分张口度较小的患者,可在修复前评估患者口腔情况,合理使用开口器或由助手配合牵拉口角等方式,改善张口度,保持扫描过程的稳定性。

开窗取模因需多次旋紧转移杆螺丝,易造成黏膜压痛,本研究中有 3 例患者的 3 个牙列因此中断操作需局麻后继续。树脂夹板切断重连印模有患者反映树脂发热及材料流动带来的不适感。

各种无牙颌种植取模方法精度比较,是一个值得关注的问题,但是存在较大争议,没有一个公认合理的比较标准。2018 年的 ITI 共识指出全口无牙颌的植体上部模型经口内扫描的精度可以满足临床要求,但多数学者认为目前数字化口内印模技术的精度无法取代传统印模,其广泛应用仍需要更多的科学研究证明^[21]。另外,也有多数研究显示,数字化印模的精度在多颗植体的情况下尚未达到临床应用的精度要求,传统夹板切开重连开窗式取模仍是多颗牙缺失及牙列缺失患者口内植体印模的标准方法^[13]。研究只集中于比较植体位置及方向,没有无牙颌黏膜精度比较。虽有部分体外研究显示,植体数字化印模误差小于临床所接受的误差阈值,但体外研究相对于体内实际应用时扫描难度大幅度降低,研究结果应被谨慎解读。体外研究比较了不同印模方式的精度,口腔内的环境相关因素以及植体相关因素的影响难以在体外研究中体现。因此,更多更深入的临床研究仍需开展,对上述结论需进行进一步验证。

本研究证实 ICam4D 口外扫描在全牙列种植修复中具有精度高、效率优、患者体验好的综合优势,但传统方法在特定情况下仍不可完全替代。临床选择需综合考虑病例特点、设备条件及患者需求。未来研究可进一步探索混合取模技术的优化方案。

[参 考 文 献]

- [1] 顾新华. 萎缩无牙颌患者数字化种植即刻修复工作流程[J]. 口腔疾病防治, 2020, 28(12): 749-758.
- [2] Papaspyridakos P, Chen CJ, Gallucci GO, *et al.* Accuracy of implant impressions for partially and completely edentulous patients: A systematic review[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2014, 29(4): 836-845.
- [3] Di Fiore A, Meneghello R, Graiff L, *et al.* Full arch digital scanning systems performances for implant-supported fixed dental prostheses: A comparative study of 8 intraoral scanners[J]. J Prosthodont Res, 2019, 63(4): 396-403.
- [4] 付馨靓,王浩,甘雪琦. ICam4D 摄影测量技术在无牙颌种植固定修复中的应用 1 例并文献回顾[J]. 口腔医学, 2022, 42(1): 72-78.
- [5] Chen YM, Zhai ZH, Watanabe S, *et al.* Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners[J]. J Dent, 2022, 124: 104220.
- [6] 游杰,闫文娟,林丽婷,等. 数字化口内扫描技术专家共识[J]. 口腔疾病防治, 2024, 32(8): 569-577.
- [7] Kim MK, Son K, Yu BY, *et al.* Effect of the volumetric dimensions of a complete arch on the accuracy of scanners[J]. J Adv Prosthodont, 2020, 12(6): 361-368.
- [8] Kaewbuasa N, Ongthiemsak C. Effect of different arch widths on the accuracy of three intraoral scanners[J]. J Adv Prosthodont, 2021, 13(4): 205-215.
- [9] 雷妍汐,袁泉,吕鸣樾. 立体摄影测量技术在全口种植修复印模制取中应用的文献回顾[J]. 中国口腔种植学杂志, 2024, 29(6): 590-595.
- [10] Gómez-Polo M, Barmak AB, Ortega R, *et al.* Accuracy, scanning time, and patient satisfaction of stereophotogrammetry systems for acquiring 3D dental implant positions: A systematic review[J]. J Prosthodont, 2023, 32(S2): 208-224.
- [11] 江波,张雪丹,向梅,等. 数字化印模应用于全牙弓种植固定修复的临床研究[J]. 口腔医学研究, 2019, 35(9): 906-909.
- [12] 张丹丹,李娟,周荣华,等. ICam4D 摄影测量技术应用于全牙弓种植固定终修复的临床研究[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2024, 25(1): 22-27.
- [13] Jemt T, Hjalmarsson L. measurements of precision of fit of implant-supported frameworks. A comparison between “virtual” and “physical” assessments of fit using two different techniques of measurements[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2012, 14(Suppl 1): e175-182.
- [14] Sánchez-Monescillo A, Hernanz-Martín J, González-Serrano C, *et al.* All-on-four rehabilitation using photogrammetric impression technique[J]. Quintessence Int, 2019, 50(4): 288-293.
- [15] 林继超,苏恩典,庄怡园,等. 数字化印模在口腔种植中的应用现状[J]. 口腔医学, 2019, 39(6): 544-546.
- [16] 张丹丹,周荣华,施丽珍,等. ICam4D 摄影测量技术应用于全口种植咬合重建 1 例[J]. 中国临床案例成果数据库, 2023, 5(1): E00960-E00960.
- [17] Revilla-León M, Att W, Özcan M, *et al.* Comparison of conventional, photogrammetry, and intraoral scanning accuracy of complete-arch implant impression procedures evaluated with a coordinate measuring machine[J]. J Prosthet Dent, 2021, 125(3): 470-478.
- [18] Ma BW, Yue XX, Sun YJ, *et al.* Accuracy of photogrammetry, intraoral scanning, and conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation: An *in vitro* comparative study[J]. BMC Oral Health, 2021, 21(1): 636.
- [19] Gómez-Polo M, Álvarez F, Ortega R, *et al.* Influence of the implant scan body bevel location, implant angulation and position on intraoral scanning accuracy: An *in vitro* study[J]. J Dent, 2022, 121: 104122.
- [20] Yan YW, Lin X, Yue XX, *et al.* Accuracy of 2 direct digital scanning techniques-intraoral scanning and stereophotogrammetry-for complete arch implant-supported fixed prostheses: A prospective study[J]. J Prosthet Dent, 2023, 130(4): 564-572.
- [21] Zhang YJ, Qian SJ, Lai HC, *et al.* Accuracy of photogrammetric imaging versus conventional impressions for complete arch implant-supported fixed dental prostheses: A comparative clinical study[J]. J Prosthet Dent, 2023, 130(2): 212-218.
- [22] Alsharbaty MHM, Alikhasi M, Zarrati S, *et al.* A clinical comparative study of 3-dimensional accuracy between digital and conventional implant impression techniques[J]. J Prosthodont, 2019, 28(4): e902-e908.

(收稿日期:2025-05-07)

(本文编辑:徐 晶)