

### 3种口内扫描仪用于咬合关系记录的准确度研究

王思谕<sup>1</sup> 周哲青<sup>1</sup> 袁泉<sup>2</sup> 岳莉<sup>1</sup> 杨胜涛<sup>1</sup>

1. 口腔疾病防治全国重点实验室 国家口腔医学中心 国家口腔疾病临床医学研究中心  
四川大学华西口腔医院口腔修复工艺科, 成都 610041;
2. 口腔疾病防治全国重点实验室 国家口腔医学中心 国家口腔疾病临床医学研究中心  
四川大学华西口腔医院口腔种植科, 成都 610041

**[摘要]** **目的** 探究3种口内扫描仪用于获取最大牙尖交错位(MIP)咬合关系的准确度,为临床实践提供参考。**方法** 招募10名上下颌牙列完整、咬合关系正常的受试者。对照组采用面弓转移和咬合记录将位于MIP的上下颌石膏模型固定在颌架上,并使用桌面扫描仪对固定的模型进行扫描以获得数字化模型数据;实验组分别使用Trios 3、Carestream 3600以及Aoralscan 3口内扫描仪对受试者进行口内扫描以获取位于MIP时上下颌口扫模型数据。在对照组数字化模型的上下颌双侧中切牙、尖牙和第一磨牙上设置测量点并测量上下颌对应同名牙上测量点之间的距离,获得测量的距离之和 $D_A$ ,同时计算模型中切牙区、尖牙区以及第一磨牙区的测量点间距离之和,分别记为 $D_I$ 、 $D_C$ 、 $D_M$ 。将添加测量点的对照组上下颌模型分别与实验组上下颌口扫模型进行精确匹配,计算匹配后对照组模型的 $D_A$ 、 $D_I$ 、 $D_C$ 和 $D_M$ 。对对照组和实验组获得的 $D_A$ 、 $D_I$ 、 $D_C$ 、 $D_M$ 进行统计学分析,以评估3种口内扫描仪记录咬合关系的准确度。**结果** 对照组 $D_A$ 、 $D_I$ 、 $D_C$ 、 $D_M$ 的值分别为(39.58±6.40)、(13.64±3.58)、(14.91±2.85)、(11.03±1.56) mm, Trios 3组相应的值为(38.99±6.60)、(13.42±3.66)、(14.55±2.87)、(11.03±1.69) mm, Carestream 3600组相应的值为(38.57±6.36)、(13.56±3.68)、(14.45±2.85)、(10.55±1.41) mm, Aoralscan 3组相应的值为(38.16±5.69)、(13.03±3.54)、(14.23±2.59)、(10.90±1.54) mm。方差分析显示无论是整体偏差 $D_A$  ( $P=0.96$ ),还是局部偏差 $D_I$  ( $P=0.98$ )、 $D_C$  ( $P=0.96$ )、 $D_M$  ( $P=0.89$ ),3种口内扫描仪获取的数字化模型与对照组模型之间差异均无统计学意义。**结论** 在规范的操作流程下,3种口内扫描仪获取的MIP咬合关系与传统方法无差异,满足临床诊疗的需求。

**[关键词]** 口内扫描仪; 最大牙尖交错位; 咬合关系; 数字化牙科

**[中图分类号]** R783 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2024.2023277



本文链接 开放科学标识码

#### Trueness evaluation of three intraoral scanners for the recording of maximal intercuspal position

Wang Siyu<sup>1</sup>, Zhou Zheqing<sup>1</sup>, Yuan Quan<sup>2</sup>, Yue Li<sup>1</sup>, Yang Shengtao<sup>1</sup>

1. State Key Laboratory of Oral Diseases & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Dept. of Dental Technology, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China;
2. State Key Laboratory of Oral Diseases & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Dept. of Oral Implantology, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Supported by: National College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Program of Sichuan University (202310610205); Research Project on Higher Education Teaching Reform of Sichuan University (SCU10374)

**[收稿日期]** 2023-08-28; **[修回日期]** 2023-12-07

**[基金项目]** 四川大学“国家级大学生创新创业训练计划”项目(2-02310610205); 四川大学高等教育教学改革工程研究项目(SCU-10374)

**[作者简介]** 王思谕, 技师, 硕士, E-mail: 2732078280@qq.com

**[通信作者]** 杨胜涛, 技师, 硕士, E-mail: shengtao@scu.edu.cn

(202310610205); Research Project on Higher Education Teaching Reform of Sichuan University (SCU10374)

Correspondence: Yang Shengtao, E-mail: shengtao@scu.edu.cn

**[Abstract]** **Objective** This clinical study aimed to assess the trueness of three intraoral scanners for the recor-

ding of the maximal intercuspal position (MIP) to provide a reference for clinical practice. **Methods** Ten participants with good occlusal relationship and healthy temporomandibular joint were recruited. For the control group, facebow transferring procedures were performed, and bite registrations at the MIP were used to transfer maxillary and mandibular casts to a mechanical articulator, which were then scanned with a laboratory scanner to obtain digital cast data. For the experimental groups, three intraoral scanners (Trios 3, Carestream 3600, and Aoralscan 3) were used to obtain digital casts of the participants at the MIP following the scanning workflows endorsed by the corresponding manufacturers. Subsequently, measurement points were marked on the control group's digital casts at the central incisors, canines, and first molars, and corresponding distances between these points on the maxillary and mandibular casts were measured to calculate the sum of measured distances ( $D_A$ ). Distances between measurement points in the incisor ( $D_I$ ), canine ( $D_C$ ), and first molar ( $D_M$ ) regions were also calculated. The control group's maxillary and mandibular digital casts with the added measurement points were aligned with the experimental group's casts, and  $D_A$ ,  $D_I$ ,  $D_C$ , and  $D_M$  values of the aligned control casts were determined. Statistical analysis was performed on  $D_A$ ,  $D_I$ ,  $D_C$ , and  $D_M$  obtained from both the control and experimental groups to evaluate the trueness of the three intraoral scanners for the recording of MIP. **Results** In the control group,  $D_A$ ,  $D_I$ ,  $D_C$ , and  $D_M$  values were (39.58±6.40), (13.64±3.58), (14.91±2.85), and (11.03±1.56) mm. The Trios 3 group had values of (38.99±6.60), (13.42±3.66), (14.55±2.87), and (11.03±1.69) mm. The Carestream 3600 group showed values of (38.57±6.36), (13.56±3.68), (14.45±2.85), and (10.55±1.41) mm, while the Aoralscan 3 group had values of (38.16±5.69), (13.03±3.54), (14.23±2.59), and (10.90±1.54) mm. Analysis of variance revealed no statistically significant differences between the experimental and control groups for overall deviation  $D_A$  ( $P=0.96$ ), as well as local deviations  $D_I$  ( $P=0.98$ ),  $D_C$  ( $P=0.96$ ), and  $D_M$  ( $P=0.89$ ). **Conclusion** With standardized scanning protocols, the three intraoral scanners demonstrated comparable trueness to traditional methods in recording MIP, fulfilling clinical requirements.

**[Key words]** intraoral scanner; maximal intercuspal position; occlusal relationship; digital dentistry

对于患者上下颌牙列咬合关系的精确记录和再现是进行精细口腔治疗的前提之一<sup>[1]</sup>, 其中下颌处于最大牙尖交错位 (maximal intercuspal position, MIP) 时上下颌牙列之间的咬合关系是临床最常获取的指标。传统诊疗流程中通常使用咬合记录材料在患者口内进行 MIP 咬合关系的获取, 并在体外石膏模型上再现牙列的咬合关系。此流程的精确性容易受到印模、模型及咬合记录材料精度、操作人员经验等因素的影响, 同时传统印模和咬合记录制取过程易引起患者的不适<sup>[2-4]</sup>。

随着数字化技术在口腔医学领域的快速发展和普及, 口内扫描技术成为临床牙列和周围软组织信息获取的数字化技术之一。已经有许多研究<sup>[5-7]</sup>报道口内扫描仪对于局部牙列信息获取的精度与传统技术一致或者高于传统印模技术。然而, 在进行全牙列信息的获取时, 有学者<sup>[8-9]</sup>研究发现口内扫描仪可能存在数据拼接变形的问题, 进而对获取的数据精确性产生影响。

在用口内扫描仪进行口内信息获取的过程中, 下颌位于 MIP 时上下颌牙列间咬合关系的获取是关键步骤之一。当获取的牙列数据发生变形时, 匹配所得的咬合关系可能产生误差。但目前口内扫描仪用于 MIP 咬合关系记录的准确度相关研究

较少。基于以上背景, 本实验采用临床研究, 分析 3 种常用口内扫描仪用于患者口内 MIP 咬合关系获取的准确度, 为临床实践提供参考和指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究对象

参考既往发表的相关文献及前期预实验<sup>[10-11]</sup>, 确定样本量为 10。根据如下纳入及排除标准招募 10 位受试者。

**纳入标准:** 上下颌牙列完整, 无阻生牙、多生牙; 未进行过正畸或者修复治疗; 咬合关系正常; 牙周健康状况正常; 无颞下颌关节疾病。

**排除标准:** 正在接受正畸治疗的患者; 咬合不稳定或者具有颞下颌关节疾病的患者; 患有牙周炎及其他严重牙周疾病的患者; 有其他严重系统性疾病的患者。

本实验经过四川大学华西口腔医院伦理委员会批准通过 (伦理批件编号: WCHSIRB-D-2021-542)。所有受试者均签署知情同意书。

### 1.2 模型数据获取

以传统的精细石膏模型结合咬合记录硅橡胶获取的 MIP 咬合记录数据作为对照组, 实验组采

用 Trios 3 (3Shape 公司, 丹麦)、Carestream 3600 (Carestream Health 公司, 美国) 和 Aoralscan 3 (杭州先临三维科技股份有限公司) 口内扫描仪, 按照厂家推荐的标准流程进行受试者上下颌牙列数据和 MIP 咬合关系的数字化获取。所有操作均由同一名具有丰富临床经验和口扫经验的人员完成。

### 1.2.1 对照组模型数据获取

对受试者口腔进行清洁, 利用硅橡胶二次印模法获取受试者口内精细印模, 使用牙科Ⅳ型石膏灌注模型。引导患者重复咬合于 MIP, 并利用咬合记录硅橡胶 (granit D45, Muller-Omicron G-

mbH 公司, 德国) 记录上下颌牙列位于 MIP 时的咬合关系 (图 1A)。使用机械面弓 (Artex, Amann Girrbach 公司, 德国) 获取上颌牙列相对于双侧铰链轴的位置关系, 再通过配套的转移台将上颌石膏模型转移至实体骀架上。对获取的咬合记录进行修整, 然后通过咬合记录将下颌石膏模型转移至实体骀架上 (图 1B)。使用桌面扫描仪 (DS-MIX, 杭州先临三维科技股份有限公司) 的骀架扫描功能对模型进行扫描, 将获得的数据以 STL (standard tessellation language) 格式导出作为对照组模型 (图 1C)。



图 1 对照组模型的获取  
A: 使用咬合记录硅橡胶获取口内 MIP 咬合记录; B: 利用 MIP 咬合记录及机械面弓将上下颌模型固定到骀架上; C: 使用桌面扫描仪获得 MIP 数字化模型。

图 1 对照组模型的获取

Fig 1 Acquisition of the control group's digital casts

### 1.2.2 实验组模型数据获取

Trios 3 组 (实验组 1): 按照厂家推荐的使用环境和标准操作流程, 进行口内扫描仪的精度和颜色校准。清洁并吹干受试者的口腔, 利用开口器隔开受试者颊侧软组织和牙列, 按照厂家推荐的标准扫描策略, 分别完成上颌牙列 (图 2A) 和下颌牙列 (图 2B) 信息的获取。引导受试者重复咬合于 MIP, 首先将口内扫描仪放置在受试者后牙区牙列颊侧, 引导患者稳定咬合到 MIP, 打开

口内扫描仪的咬合扫描功能, 获取从第二磨牙到第一前磨牙的上下颌牙列颊面数据<sup>[12]</sup>。由扫描仪自动完成上下颌牙列与咬合记录数据的匹配 (图 2C)。对于软件无法自动完成匹配的情况, 由操作者按照软件流程, 手动选择匹配点完成上下颌牙列与咬合记录数据的手动匹配。重复这一步骤完成对侧咬合记录数据的获取和匹配。最后将获得的扫描数据以 STL 格式导出。



图 2 使用 Trios 3 口内扫描仪获取 MIP 上下颌牙列模型数据  
A: 上颌牙列口扫模型数据; B: 下颌牙列口扫模型数据; C: 匹配得到的 MIP 上下颌牙列模型。

图 2 使用 Trios 3 口内扫描仪获取 MIP 上下颌牙列模型数据

Fig 2 Maxillary and mandibular arch scans obtained by Trios 3 intraoral scanner

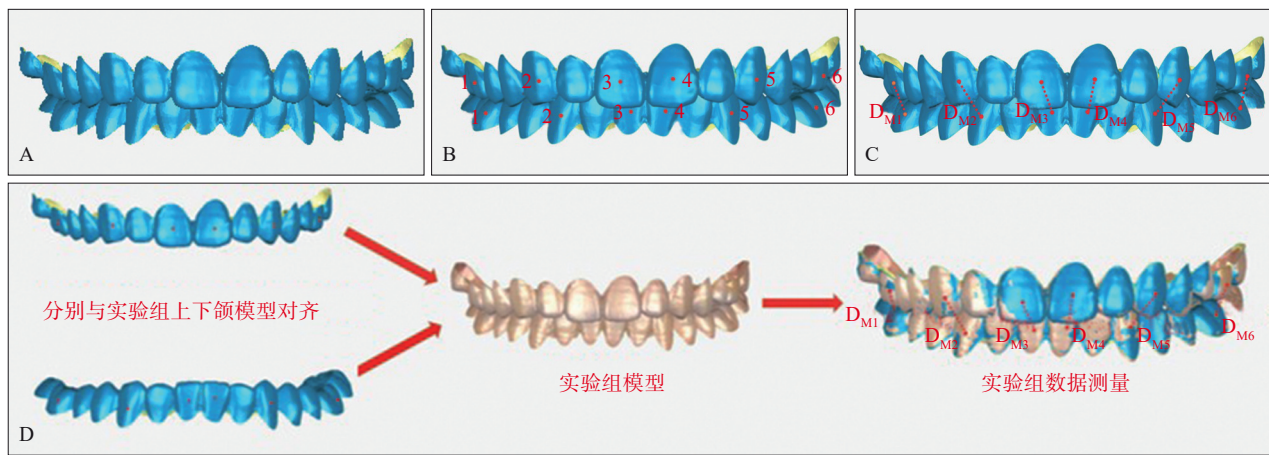
Carestream 3600 组 (实验组 2) 和 Aoralscan 3 组 (实验组 3) 的操作流程与实验组 1 类似, 均由同一操作者按照对应厂家推荐的扫描流程进行扫描, 分别将获得的数据以 STL 格式导出。

## 1.3 数据测量

### 1.3.1 去除软组织

将获取的对照组和实验组 STL 数据导入逆向工程软件 Geomagic wrap (3D Systems 公司, 美

国)中,选择并删除牙龈和牙槽黏膜等软组织数据,只保留模型的牙列部分数据(图3A)。



A: 去除软组织的对照组模型; B: 在对照组模型上增加测量点; C: 测量编号相同的测量点之间的距离; D: 将添加测量点的对照组上下颌模型与实验组模型对齐并进行距离测量。

图3 对照组和实验组数据测量

Fig 3 Distance measurements of control and experimental groups

1.3.2 添加对照组模型测量点

使用Geomagic wrap中的“特征-点”功能,分别在对照组模型上下颌牙列的两侧中切牙、尖牙、第一磨牙的唇颊面中1/3区域内创建点特征作为测量点,从右向左依次将点特征编号为1至6(图3B)。

1.3.3 对照组数据测量

分别测量对照组上下颌模型上编号相同的测量点间的距离作为对照组数据,结果记为D\_M1~D\_M6<sup>[13]</sup>(图3C)。

1.3.4 实验组数据测量

选中实验组口扫模型和对照组模型的上颌,在“对齐-手动注册”功能中,选择实验组口扫模型作为固定部分,使用“n点注册”功能将添加点特征的对照组上颌模型与处于MIP的口扫上颌模型进行对齐,然后使用“全局注册”功能完成模型间的精细对齐。使用相同的步骤完成添加点特征的下颌对照组模型与处于MIP的口扫下颌模型的精准对齐。测量与实验组口扫模型对齐后的对照组模型上对应的测量点间的距离(图3D)作为实验组数据,Trios组记为D\_T1~D\_T6, Carestream 3600组记为D\_C1~D\_C6, Aoralscan组记为D\_A1~D\_A6。

1.4 数据分析

分别计算对照组和实验组6对测量点间距离的总和,记为D\_A,作为评价整体咬合关系的指标。同时计算对照组和实验组模型两侧中切牙区、尖牙区以及第一磨牙区测量点间距离之和,分别记为D\_I、D\_C、D\_M,作为局部咬合关系的评估指标。

采用GraphPad Prism 9.0统计学软件对数据进行分析,首先使用Shapiro-Wilk检验和Levene检验进行数据正态性和方差齐性检验,随后采用单因素方差分析,对获取的对照组和实验组整体咬合关系和局部咬合关系评估指标进行分析。若方差分析显示差异具有统计学意义,进一步使用SNK-q检验对测得的距离值进行两两比较,显著性水平α=0.05。

2 结果

对照组和3个实验组的D\_A、D\_I、D\_C、D\_M结果见表1和图4。单因素方差分析显示,4个组的D\_A之间差异无统计学意义(P>0.05),4个组在3个区段的距离之间差异也无统计学意义(P>0.05)(表2)。

表1 对照组和实验组测量的D\_A、D\_I、D\_C、D\_M  
Tab 1 The measured values of D\_A, D\_I, D\_C, and D\_M in the control and experimental groups mm, x̄±s

| 距离  | 对照组        | 实验组1       | 实验组2       | 实验组3       |
|-----|------------|------------|------------|------------|
| D_I | 13.64±3.58 | 13.42±3.66 | 13.56±3.68 | 13.03±3.54 |
| D_C | 14.91±2.85 | 14.55±2.87 | 14.45±2.85 | 14.23±2.59 |
| D_M | 11.03±1.56 | 11.03±1.69 | 10.55±1.41 | 10.90±1.54 |
| D_A | 39.58±6.40 | 38.99±6.60 | 38.57±6.36 | 38.16±5.69 |

3 讨论

口内扫描仪是数字化诊疗流程中重要的数据

采集设备,在临床中得到广泛使用<sup>[14-15]</sup>,相较于传统印模制取,其在患者舒适度、数据可视化等方面具有独特的优势。目前的口内扫描仪主要基于光学扫描技术<sup>[16]</sup>,常规的工作流程为先单独获取上下颌牙列数据,再通过扫描患者咬合状态下双侧牙列颊面获得数字化咬合记录,通过口内扫描仪完成上下颌牙列和咬合记录的匹配,进而再现上下颌咬合关系。然而扫描策略、扫描过程中的温度及光照强度等外界因素和牙弓宽度、口内潮湿度、牙齿表面性质等患者因素<sup>[17-19]</sup>都有可能造成牙列数据及数字化咬合记录的变形,影响咬合关系匹配的精度。有学者<sup>[20]</sup>关于口内扫描仪咬合匹配精度的研究发现不同牙弓位置的数字化咬合记

录配准获得的咬合关系存在差异,并且相对于局部牙列扫描,全牙弓扫描中的差异更为明显,其原因为扫描获得的数字化牙列模型在一个或多个平面上向咬合记录侧发生倾斜,导致接近数字化咬合记录的区域出现更多的模型穿孔现象。此后也有学者<sup>[21]</sup>在进行数字化咬合记录精度的体内研究时发现口扫模型之间存在穿孔现象,并指出其存在可能会影响咬合记录的精度。而MIP咬合关系的获取精度直接影响临床的治疗方案分析及修复体的制作,因此针对口内扫描仪用于MIP咬合关系记录的准确度进行研究,具有一定的临床意义。

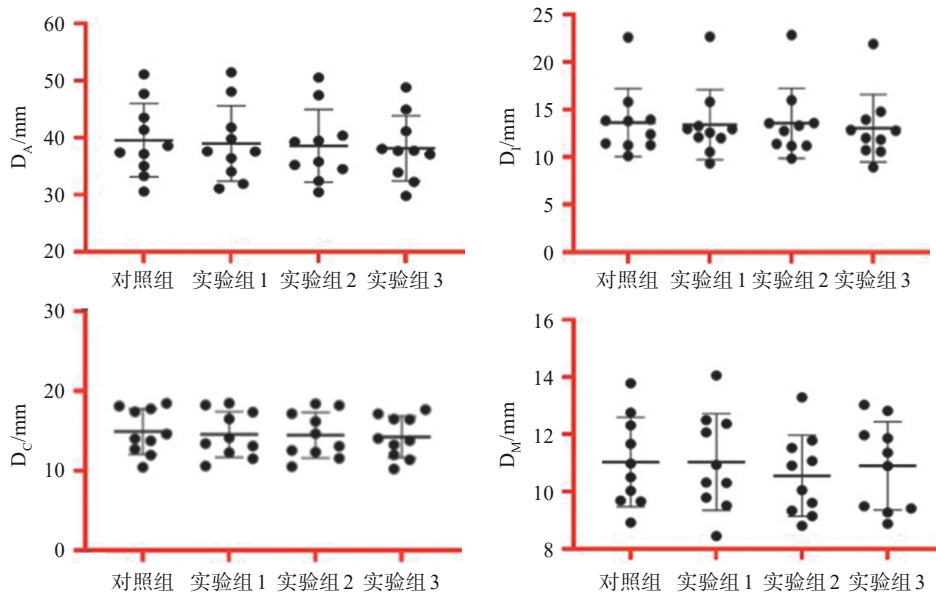


图4 对照组和实验组测得的 $D_A$ 、 $D_I$ 、 $D_C$ 、 $D_M$ 的散点图

Fig 4 Scatter plots for  $D_A$ ,  $D_I$ ,  $D_C$ , and  $D_M$  in the control and experimental groups

表2 对照组和实验组获得的 $D_A$ 、 $D_I$ 、 $D_C$ 、 $D_M$ 值的方差分析

Tab 2 Variance analysis of  $D_A$ ,  $D_I$ ,  $D_C$ , and  $D_M$  values in the control and experimental groups

| 距离    | 变异来源 | SS       | df | MS    | F值    | P值   |
|-------|------|----------|----|-------|-------|------|
| $D_I$ | 组间变异 | 2.22     | 3  | 0.74  | 0.057 | 0.98 |
|       | 组内变异 | 471.60   | 36 | 13.10 |       |      |
|       | 总变异  | 473.80   | 39 |       |       |      |
| $D_C$ | 组间变异 | 2.41     | 3  | 0.80  | 0.10  | 0.96 |
|       | 组内变异 | 281.20   | 36 | 7.81  |       |      |
|       | 总变异  | 283.60   | 39 |       |       |      |
| $D_M$ | 组间变异 | 1.52     | 3  | 0.50  | 0.21  | 0.89 |
|       | 组内变异 | 87.31    | 36 | 2.42  |       |      |
|       | 总变异  | 88.83    | 39 |       |       |      |
| $D_A$ | 组间变异 | 11.13    | 3  | 3.70  | 0.094 | 0.96 |
|       | 组内变异 | 1 418.00 | 36 | 39.39 |       |      |
|       | 总变异  | 1 429.00 | 39 |       |       |      |

本实验采用传统硅橡胶二次印模法制取的石膏模型作为对照组,并利用咬合记录硅橡胶再现模型的MIP咬合关系,利用桌面扫描仪将位于MIP的石膏模型扫描为对照组数字化模型。有研究<sup>[22-24]</sup>显示硅橡胶二次印模法可以获得具有良好精度的模型,本实验中所使用的咬合记录硅橡胶线性变化率为0.1%,具有良好的精度和稳定性,同时本实验所用的桌面扫描仪精度在 $7\mu\text{m}$ 以内,可以尽可能地减少对照组模型咬合关系和口内真实咬合关系之间的误差。在数据分析的过程中,通过在对照组上下颌模型双侧中切牙区、尖牙区和磨牙区颊侧添加测量点,并测量上下颌模型对应测量点之间的距离作为咬合关系的评估指标。为了对实验组口扫模型的咬合数据进行评估,将添加测量点的对照组上下颌模型分别与处于MIP的

实验组口扫模型的上下颌牙列进行精准对齐,随后测量对齐后的对照组模型测量点之间的距离作为实验组的咬合关系评估指标。Revilla-León等<sup>[12]</sup>在研究具有不同牙齿数目和不同位置的数字化咬合记录对口内扫描仪获得的颌位关系的影响时,在模型上下颌的第一磨牙和尖牙上放置了直径为1 mm的铅球并测量上下颌模型对应铅球之间的距离作为咬合关系的评估指标。Mei等<sup>[25]</sup>针对咬合记录的扫描策略对于咬合关系影响的研究中也通过在模型的唇侧和颊侧的牙龈表面添加立方体作为评估指标。本研究中所使用的评估方法与这些研究<sup>[12,25]</sup>提出的咬合关系评估方法相一致。此方法由于不需要在实验组口扫模型上重新进行测量点的选择,可以避免由于测量点位置不同带来的实验误差。由于软组织的动度大,无法保证对照组模型和实验组模型软组织数据的一致性,因此在进行数据分析之前先对模型的软组织进行去除以减小其带来的匹配偏差。为了针对扫描模型的整体咬合关系和不同牙位区段的咬合关系进行评估,本研究分别选择了所有测量点之间的距离之和及中切牙区、尖牙区和磨牙区段的测量距离之和进行分析。

本实验结果表明3种口内扫描仪所获取的咬合关系无论是牙列整体,还是中切牙、尖牙、第一磨牙等局部牙列区段,其准确度均与对照组模型类似,说明实验所用的3种口内扫描仪均可获得与传统方法类似的MIP咬合关系。不同口内扫描仪的扫描原理和扫描精度差异是影响实验结果的根本因素,本实验中Trios 3采用了光学切片真彩扫描技术,而Carestream 3600和Aoralscan 3则采用了结构光三角测量技术。同时根据不同扫描仪厂家提供的标准数据,Trios 3的扫描精度为10 μm,而Carestream 3600和Aoralscan 3的扫描精度为15 μm,实验结果显示3种口内扫描仪原理和扫描精度的差异对咬合关系获取准确度的影响差异无统计学意义。在实验过程中,操作人员按照口内扫描仪厂家推荐的标准流程进行扫描仪的校准,并在符合厂家和文献推荐的温度和光源环境下严格按照标准扫描流程进行操作<sup>[18,26-27]</sup>,同时在获取完整牙弓数据的基础上尽量减小口内扫描仪扫描的数据数量以减少可能的数据拼接误差<sup>[20]</sup>,提示临床上按照厂家推荐的标准扫描流程可以获得良好的数字化咬合关系记录,同时操作者的扫描经验对于扫描结果的精度也有一定的影响。有学者<sup>[28]</sup>对不同口内扫描仪获取正中关系位咬合关系

的准确度进行了研究,发现部分口内扫描仪的准确度低于传统方法,与本实验的结果不一致,其可能原因为该研究的扫描样本量为1,存在一定局限性。同时该研究在匹配对照组模型和口扫模型时并未去除多余的软组织,引入了匹配的误差。

综上所述,本实验在厂家推荐的标准应用环境和扫描策略下,采用3种口内扫描仪获取的MIP咬合关系的准确度在整体和局部上都与传统硅橡胶咬合记录法类似,能满足临床治疗的要求。但未来需要进一步增加口内扫描仪的品牌和数目,以及研究的样本量。此外,本研究将基于硅橡胶二次印模法制取的精细石膏模型和硅橡胶咬合记录获取的MIP咬合关系作为对照组,但是仍然无法避免在印模、模型及咬合记录制取和殆架转移过程中存在的误差,未来需要一步优化研究方案,以更好地反映患者口内真实的咬合关系。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

#### [参考文献]

- [1] Tripodakis AP, Vergos VK, Tsoutsos AG. Evaluation of the accuracy of interocclusal records in relation to two recording techniques[J]. J Prosthet Dent, 1997, 77(2): 141-146.
- [2] Thongthammachat S, Moore BK, Barco MT, et al. Dimensional accuracy of dental casts: influence of tray material, impression material, and time[J]. J Prosthodont, 2002, 11(2): 98-108.
- [3] Naumovski B, Kapushevska B. Dimensional stability and accuracy of silicone-based impression materials using different impression techniques—A literature review [J]. Pril (Makedon Akad Nauk Umet Odd Med Nauki), 2017, 38(2): 131-138.
- [4] Al-Odinec NM, Al-Hamzi M, Al-Shami IZ, et al. Evaluation of the quality of fixed prosthesis impressions in private laboratories in a sample from Yemen[J]. BMC Oral Health, 2020, 20(1): 304.
- [5] Aragón ML, Pontes LF, Bichara LM, et al. Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review [J]. Eur J Orthod, 2016, 38(4): 429-434.
- [6] Kong L, Li Y, Liu Z. Digital versus conventional full-arch impressions in linear and 3D accuracy: a systematic review and meta-analysis of *in vivo* studies[J]. Clin Oral Investig, 2022, 26(9): 5625-5642.

- [7] Keul C, Güth JF. Accuracy of full-arch digital impressions: an *in vitro* and *in vivo* comparison[J]. Clin Oral Investig, 2020, 24(2): 735-745.
- [8] Yehia A, Abo El Fadl A, El Sergany O, et al. Effect of different span lengths with different total occlusal convergences on the accuracy of intraoral scanners[J]. J Prosthodont, 2023. doi: 10.1111/jopr.13686.
- [9] Chen Y, Zhai Z, Watanabe S, et al. Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners[J]. J Dent, 2022, 124: 104220.
- [10] DeLong R, Ko CC, Anderson GC, et al. Comparing maximum intercuspal contacts of virtual dental patients and mounted dental casts[J]. J Prosthet Dent, 2002, 88(6): 622-630.
- [11] Zimmermann M, Ender A, Attin T, et al. Accuracy of buccal scan procedures for the registration of habitual intercuspation[J]. Oper Dent, 2018, 43(6): 573-580.
- [12] Revilla-León M, Alonso Pérez-Barquero J, Zubizarreta-Macho Á, et al. Influence of the number of teeth and location of the virtual occlusal record on the accuracy of the maxillo-mandibular relationship obtained by using an intraoral scanner[J]. J Prosthodont, 2023, 32(3): 253-258.
- [13] Ren S, Morton D, Lin WS. Accuracy of virtual interocclusal records for partially edentulous patients[J]. J Prosthet Dent, 2020, 123(6): 860-865.
- [14] 陈玲, 陈成, 李志勇, 等. 口内扫描数字化印模对固定修复临床应用效果的Meta分析[J]. 华西口腔医学杂志, 2021, 39(3): 306-312.
- Chen L, Chen C, Li ZY, et al. Clinical performance of intraoral digital impression for fixed prosthodontics: a Meta-analysis[J]. West China J Stomatol, 2021, 39(3): 306-312.
- [15] Burzynski JA, Firestone AR, Beck FM, et al. Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions: time and patient satisfaction[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2018, 153(4): 534-541.
- [16] 奚祺, 吴国锋. 数字化口内扫描技术的发展与应用[J]. 实用口腔医学杂志, 2021, 37(1): 136-140.
- Xi Q, Wu GF. Development and application of digital intraoral scanning technology[J]. J Pract Stomatol, 2021, 37(1): 136-140.
- [17] Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans: part 2—patient factors[J]. J Esthet Restor Dent, 2023, 35(1): 241-249.
- [18] Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans. Part 1: operator factors[J]. J Esthet Restor Dent, 2023, 35(1): 230-240.
- [19] Revilla-León M, Subramanian SG, Özcan M, et al. Clinical study of the influence of ambient lighting conditions on the mesh quality of an intraoral scanner[J]. J Prosthodont, 2020, 29(8): 651-655.
- [20] Edher F, Hannam AG, Tobias DL, et al. The accuracy of virtual interocclusal registration during intraoral scanning[J]. J Prosthet Dent, 2018, 120(6): 904-912.
- [21] Abdulateef S, Edher F, Hannam AG, et al. Clinical accuracy and reproducibility of virtual interocclusal records [J]. J Prosthet Dent, 2020, 124(6): 667-673.
- [22] Chen SY, Liang WM, Chen FN. Factors affecting the accuracy of elastometric impression materials[J]. J Dent, 2004, 32(8): 603-609.
- [23] Surapaneni H, Samatha YP, Shankar YR, et al. Polyvinylsiloxanes in dentistry: an overview[J]. Trends Biomater Artif Organ, 2013, 27(3): 115-123.
- [24] Dugal R, Railkar B, Musani S. Comparative evaluation of dimensional accuracy of different polyvinyl siloxane putty-wash impression techniques—*in vitro* study[J]. J Int Oral Health, 2013, 5(5): 85-94.
- [25] Mei J, Ma L, Chao J, et al. Three-dimensional analysis of the outcome of different scanning strategies in virtual interocclusal registration[J]. J Adv Prosthodont, 2022, 14(6): 369-378.
- [26] Revilla-León M, Subramanian SG, Özcan M, et al. Clinical study of the influence of ambient light scanning conditions on the accuracy (trueness and precision) of an intraoral scanner[J]. J Prosthodont, 2020, 29(2): 107-113.
- [27] Revilla-León M, Subramanian SG, Att W, et al. Analysis of different illuminance of the room lighting condition on the accuracy (trueness and precision) of an intraoral scanner[J]. J Prosthodont, 2021, 30(2): 157-162.
- [28] Revilla-León M, Agustín-Panadero R, Zeitler JM, et al. Differences in maxillomandibular relationship recorded at centric relation when using a conventional method, four intraoral scanners, and a jaw tracking system: a clinical study[J]. J Prosthet Dent, 2023. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.12.007.

(本文编辑 杜冰)