

# 自主最大笑容三维面像与数字化三维牙列模型 整合方法的建立及其准确性研究

唐振兴<sup>1,2</sup> 钱语然<sup>1</sup> 任芮葶<sup>1</sup> 宋万忠<sup>3</sup> 李宇<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正畸科, 成都 610041;

2. 成都市第七人民医院(成都医学院附属肿瘤医院)口腔科, 成都 610213;

3. 四川大学计算机学院, 成都 610065

**[摘要]** **目的** 拟建立一种将自主最大笑容(AMS)三维面像与数字化三维牙列模型整合的方法,以实现在三维面像背景下显示数字化正畸终末位设计的目的。**方法** 利用Geomagic Studio软件,通过手动注册和全局注册功能,将AMS三维面像和初始牙列模型进行配准对齐,然后用终末位牙列模型在原位替换初始牙列模型,并去除AMS三维面像口内区域,从而实现AMS三维面像和终末位牙列模型的融合显示。计算AMS三维面像和初始牙列模型上4组对应标志点对间的距离,通过配对 $t$ 检验评估配准操作的准确性。**结果** 该方法成功实现了AMS三维面像与初始、终末三维牙列模型的整合。两次配准对齐后,点对间的平均距离分别为(1.19±0.55) mm和(1.55±0.59) mm。两次测量结果的差异无统计学意义( $P>0.05$ ),且具有很高的 consistency(组内相关性系数=0.914)。**结论** 本研究建立了AMS三维面像与数字化初始、终末三维牙列模型整合的方法。该方法具有较高的准确性,有助于实现在三维面像背景下数字化正畸终末位设计效果的显示,从而提升以隐形正畸为代表的数字化正畸终末位设计的质量。

**[关键词]** 数字化正畸; 排牙; 三维面像; 三维牙列模型; 隐形正畸; 自主最大笑容

**[中图分类号]** R783.5 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2024.2023407



本文链接 开放科学标识码

## Integration of autonomous maximal smile 3D image with digital 3D dental model and investigation of its accuracy

Tang Zhenxing<sup>1,2</sup>, Qian Yuran<sup>1</sup>, Ren Ruiting<sup>1</sup>, Song Wanzhong<sup>3</sup>, Li Yu<sup>1</sup>

1. State Key Laboratory of Oral Diseases & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Dept. of Orthodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Dept. of Stomatology, Chengdu Seventh People's Hospital (Affiliated Cancer Hospital of Chengdu Medical College), Chengdu 610213, China; 3. College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China

Supported by: Major Special Science and Technology Project of Sichuan Province (2022ZDZX0031); Exploration and R&D Project of West China Hospital of Stomatology, Sichuan University (Interdisciplinary Innovation Project, RD-03-202003)

Correspondence: Li Yu, E-mail: yuli@scu.edu.cn

**[Abstract]** **Objective** This study aims to establish an approach to integrate autonomous maximal smile (AMS) 3D facial image with digital 3D dental models to demonstrate the digital orthodontic set-up in the 3D facial context.

**[收稿日期]** 2023-11-28; **[修回日期]** 2024-03-18

**[基金项目]** 四川省重大科技专项项目(2022ZDZX0031); 四川大学华西口腔医院探索与研发项目(交叉学科创新项目RD-03-20-2003)

**[作者简介]** 唐振兴, 医师, 硕士, E-mail: 793832326@qq.com

**[通信作者]** 李宇, 教授, 博士, E-mail: yuli@scu.edu.cn

**Methods** Using Geomagic Studio software, the AMS 3D facial image and pre-treatment dental model were manually and globally registered. Subsequently, the pre-treatment dental model was substituted with the predicted post-treatment dental model. The intraoral region of the

AMS 3D facial image was removed, achieving a conjunctive display of the AMS 3D facial image and the post-treatment dental set-up. The distances between four groups of corresponding landmark pairs on the AMS 3D facial image and the pre-treatment dental set-up were calculated, and the accuracy of the registration operation was evaluated by paired *t*-test.

**Results** The novel approach effectively facilitated the integration of AMS 3D facial images with the pre-treatment and predicted post-treatment 3D dental models. The average distances between the pairs of points were (1.19±0.55) mm and (1.55±0.59) mm for the two registrations, respectively. Notably, no statistically significant difference was observed between the two measurements ( $P>0.05$ ), indicating a high agreement (intraclass correlation coefficient=0.914). **Conclusion** This study established an approach to integrate AMS 3D facial images with digital 3D dental models. Through this approach, the digital orthodontic set-up design can be displayed in the context of a 3D facial image, which may help to improve the quality of outcome set-up in digital orthodontics, such as clear aligner therapy.

**[Key words]** digital orthodontics; dental set-up; 3D facial image; 3D dental model; clear aligner therapy; autonomous maximal smile

数字化排牙是利用数字化扫描、三维重建、图像分割等技术,模拟和设计患者牙齿移动结果的过程<sup>[1]</sup>。该技术已在临床和教学中被广泛应用,其能够提高正畸治疗的可视化效果<sup>[2-3]</sup>。在以无托槽隐形矫治为代表的数字化正畸系统中,医生可以通过数字化排牙来观察数字化牙列模型从初始位(模拟治疗前)到终末位(模拟治疗后)的改变。

然而,目前常用的数字化排牙系统只能显示牙列形态,不能同时显示牙列与面部软组织的关系。在设计终末位时,不能仅关注牙列本身,还应考虑排牙效果对面容美学的影响。牙列中线、颊间隙、露齿量、露龈量、笑弧等美学指标都需要在笑容背景下评估<sup>[4-9]</sup>。因此,将数字化牙列与笑容图像整合,对于设计更加符合美学标准的排牙结果具有重要意义。

正畸临床上常规拍摄的笑容照片是姿势笑容,在这种笑容状态下,上下牙列通常是分开的,无法与处于咬合状态的牙列模型匹配。我国学者<sup>[10]</sup>提出了自主最大笑容(autonomous maximal smile, AMS)这一概念。AMS指的是让牙齿咬合于最大牙尖交错位,尽量咧开嘴唇,最大程度暴露牙齿和牙龈的一种特殊笑容;AMS具有良好的可重复性,并且所反映的露龈量和颊廊大小接近真实笑容<sup>[10]</sup>。而AMS状态下拍摄的三维面部图像,即AMS三维面像,由于其牙列处于最大牙尖交错位咬合状态,具有了与初始位三维牙列模型整合的可能。

因此,本研究旨在建立一种将AMS三维面像与数字化三维牙列模型整合的方法,以实现在三维面部背景下呈现排牙效果的方法,并对该方法的整合准确性进行初步评估。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究对象

本研究经四川大学华西口腔医院伦理审查委员会批准(审批号:WCHSIRB-CT-2021-330)。采用随机抽样法从四川大学华西口腔医院筛选出13位采用隐适美矫治的成年患者作为样本。纳入标准:1)成年患者;2)正畸治疗前采用3dMD设备(3dMD LLC公司,美国)拍摄AMS三维面像,拍摄时要求患者保持自然头位,后牙咬合于最大牙尖交错位,通过笑容动作尽可能多地暴露牙列与牙龈,直至达到稳定的最大笑容位;3)正畸治疗前除第三磨牙外无缺牙。排除标准:1)有颌面部手术史或创伤史;2)前牙反胎;3)AMS状态下,上下唇缘垂直距离小于6 mm。

### 1.2 AMS三维面像与初始牙列模型配准对齐

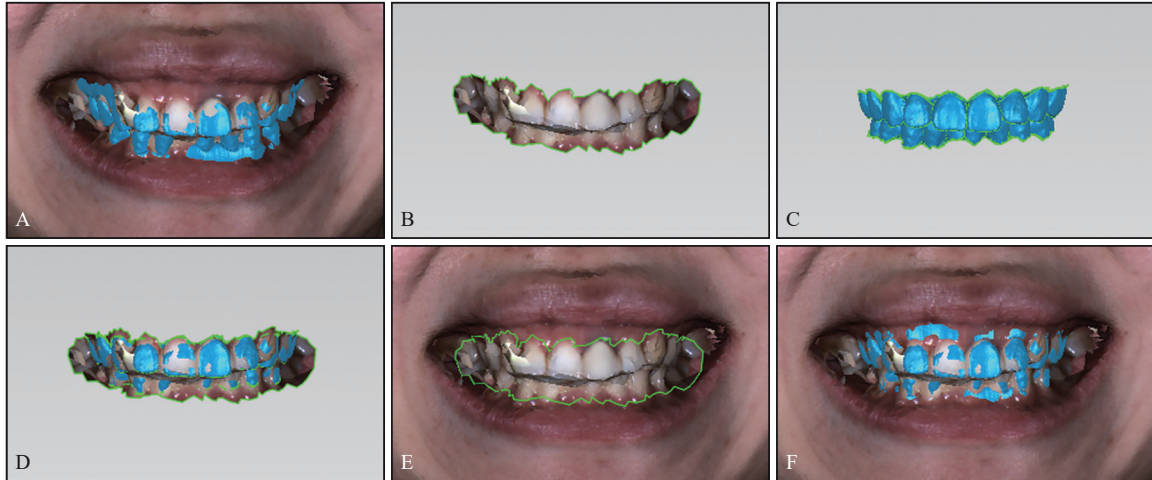
从ClinCheck软件中导出患者STL格式第一系列牙套初始牙列模型,将其与AMS三维面像一同导入Geomagic Studio软件(3D Systems公司,美国)。首先通过手动注册功能,将初始牙列模型作为固定对象,AMS三维面像作为浮动对象,将二者初步对齐(图1A)。然后,通过“选择表面”功能,使用“套索工具”选取三维面像的牙列部分,新建为对象1(图1B);选取初始牙列模型中上下颌左侧第二前磨牙至右侧第二前磨牙之间的牙体唇颊面部分,新建为对象2(图1C)。接着,通过全局注册功能,将对象2设置为固定对象,对象1设置为浮动对象,进行精确配准对齐(图1D)。最后,通过全局注册功能,将对象1作为固定对象,AMS三维面像作为浮动对象,进行精确配准对齐(图1E)。经过上述步骤,实现AMS三维面像与初

始牙列模型的配准对齐 (图1F)。

### 1.3 准确性及可靠性评价

手动标记AMS三维面像与初始三维牙列的双侧上颌中切牙远中切角点 (UR1D、UL1D) 和双侧上颌尖牙牙尖点 (UR3C、UL3C) (共4组点对) (图2); 通过坐标值计算这4组点对的间距。由同一操作者在1周后重复上述配准对齐步骤1次。采

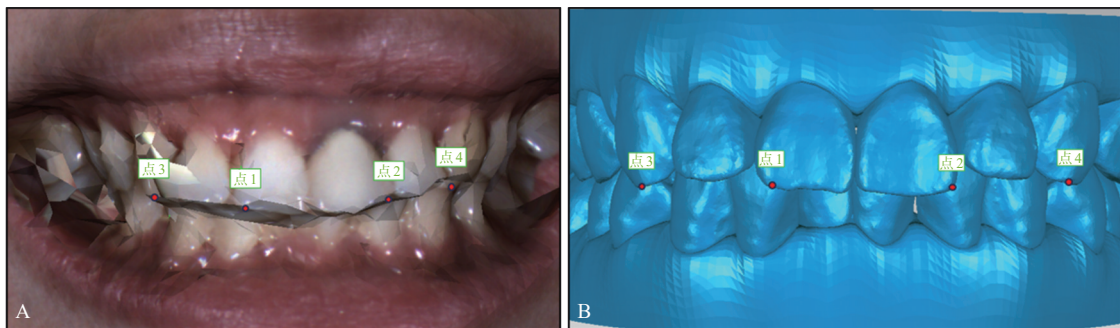
用SPSS 21.0软件 (IBM公司, 美国) 进行统计分析: 2次测量的4组点对间距的绝对大小用于评价该方法的准确性, 并用配对样本t检验评估2次测量结果是否存在差异; 2次测得的4个点对间距的组内相关性系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 用于评价该方法的可靠性。



A: AMS三维面像与初始牙列的初步对齐; B: 选取的AMS三维面像牙列表面; C: 选取的初始牙列表面; D: 所选的AMS三维面像牙列表面与所选的初始牙列表面的精确配准; E: AMS三维面像与所选的AMS三维面像牙列表面的精确配准; F: AMS三维面像与初始牙列配准对齐。

图 1 AMS三维面像与初始牙列配准对齐的步骤

Fig 1 The steps for registering the AMS 3D facial image with the pre-treatment dental model



A: AMS三维面像上定位的标志点, 点1~4分别代表右上、左上中切牙远中切角点以及右上、左上尖牙牙尖点; B: 初始牙列模型上定位的标志点, 点1~4分别代表右上、左上中切牙远中切角点以及右上、左上尖牙牙尖点。

图 2 AMS三维面像和初始牙列模型上4组对应点对的定位

Fig 2 The location of four pairs of corresponding points on the AMS 3D facial image and the pre-treatment dental model

### 1.4 终末位牙列在AMS背景下的呈现

由于在上述的配准对齐过程中, 未改变初始牙列模型的位置, 且ClinCheck导出的STL格式终末位牙列模型与初始牙列模型具有相同坐标系, 在Geomagic Studio软件中导入终末位牙列模型, 选取AMS三维面像的口内区域并删除, 同时隐藏初始牙列模型, 即可实现三维AMS面像与终末位牙列模型的叠加。

## 2 结果

### 2.1 三维牙列与AMS三维面相叠加显示

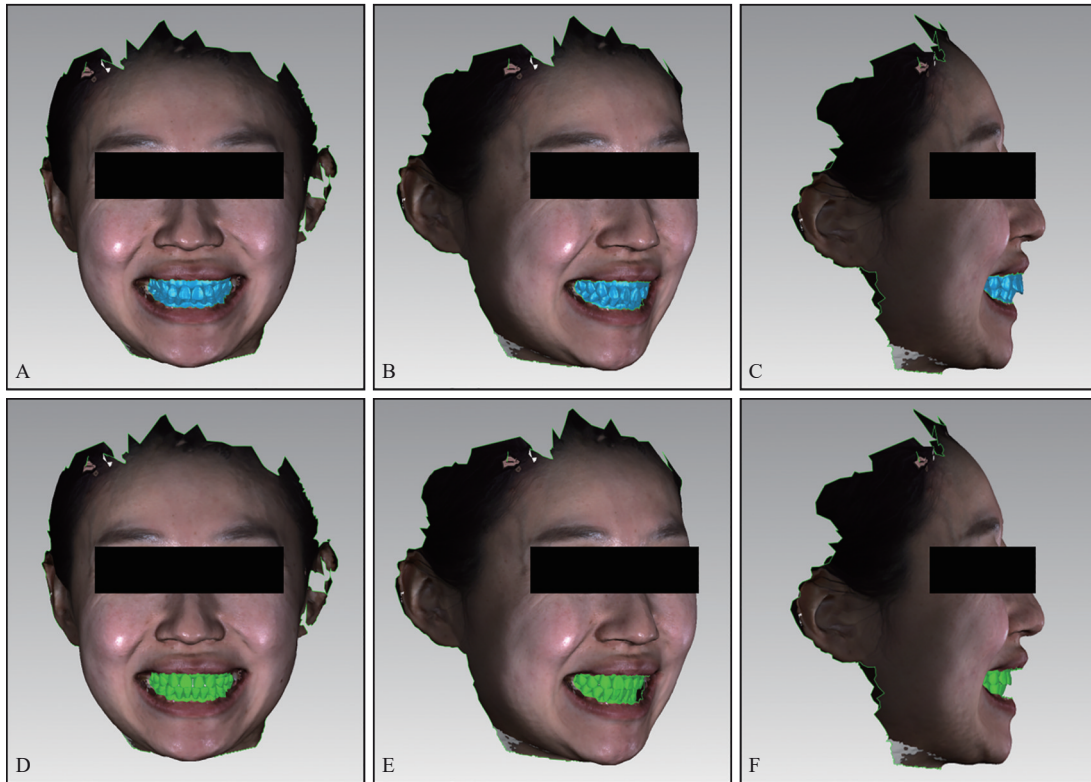
图3展示了初始牙列和终末位牙列分别与AMS三维面相叠加的直观效果。

### 2.2 准确性评价

表1显示了配准对齐后, AMS三维面像右上

颌中切牙远中切角点 (UR1D)、左上颌中切牙远中切角点 (UL1D)、右上颌尖牙牙尖点 (UR3C) 以及左上颌尖牙牙尖点 (UL3C) 与初始牙列模型上对应点的距离。第一次配准操作下, 所测的 52

组点对的间距平均值为 (1.19±0.55) mm; 第二次配准操作下, 所测的 52 组点对的间距平均值为 (1.55±0.59) mm; 配对 *t* 检验显示 2 次结果的差异无统计学意义 (*P*>0.05)。



A、D: 初始和终末位牙列模型与 AMS 三维面像正面叠加; B、E: 初始和终末位牙列模型与 AMS 三维面像 45°侧面叠加; C、F: 初始和终末位牙列模型与 AMS 三维面像 90°侧面叠加。

图 3 初始牙列模型和终末位牙列模型分别与 AMS 三维面像的叠加效果对比

Fig 3 Comparison of the superimposition effects of the pre-treatment dental model and the predicted post-treatment dental model with the AMS three-dimensional facial image

表 1 配准对齐后 AMS 三维面像与初始牙列模型对应点对间的距离

Tab 1 The distance between the corresponding point pairs of the AMS 3D facial image and the pre-treatment dental models after registration mm

点对名称	第一次测量	第二次测量	差值	<i>P</i> 值
UR1D	1.21±0.55	1.21±0.63	0.002±0.382	0.986
UL1L	1.18±0.50	1.34±0.51	-0.158±0.322	0.103
UR3C	1.30±0.68	1.30±0.68	-0.005±0.284	0.950
UL3C	1.09±0.51	1.16±0.57	-0.075±0.287	0.363
合计	1.19±0.55	1.25±0.59	-0.059±0.318	0.187

2.3 可靠性评价

表 2 显示了 2 次测量结果的组内一致性。由同一操作者按同一流程进行先后 2 次配准对齐操作后, 4 组不同点对间距的 2 次测量结果的 ICC 均大于 0.75, 且所测的 52 组点对 2 次测量结果总体的 ICC 为 0.914, 表明该方法具有较好的可靠性。

表 2 2 次测量结果的组内一致性

Tab 2 The intra-group consistency of the two measurement results

点对名称	组内相关系数	95% 置信区间	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
UR1D	0.892	0.639~0.967	8.623	<0.001
UL1D	0.873	0.585~0.961	8.960	<0.001
UR3C	0.958	0.861~0.987	21.963	<0.001
UL3C	0.924	0.759~0.977	13.027	<0.001
合计	0.914	0.852~0.951	11.857	<0.001

3 讨论

笑容是人类最重要的面部表情之一, 也是评价正畸治疗效果的重要依据。传统意义的笑容分为两类, 即真实笑容和姿势笑容 (又称社交笑容)。真实笑容是由内在情感驱动的自发表情<sup>[1]</sup>, 能反映牙齿和牙龈的最大暴露量, 但难以自主控

制和重复展示<sup>[12]</sup>；即使通过诱导方法引发真实笑容，也很难从固定角度（如正面）拍摄到，因此不适合在正畸常规诊疗中使用。姿势笑容是有意识发出的笑容，能自主展示，但牙齿和牙龈暴露量小于真实笑容，导致露龈笑等问题无法充分显现<sup>[10]</sup>。这两种笑容状态下，上下牙列通常都是分开的。AMS是我国学者<sup>[10]</sup>于2018年提出的一种特殊的笑容概念，它与传统意义上的笑容不同，但具有以下优势：一是患者在呈现AMS时，不需要依靠面部肌肉的记忆，可以自主控制，且重复性高，可作为日常诊疗的参考资料之一；二是AMS状态下牙齿暴露量和牙龈暴露量与真实笑容相似，能较准确地反映出露齿量和露龈量；三是AMS状态下的上下牙列紧密咬合，与数字化牙模的咬合状态一致，便于二者的整合。基于此，本研究首次建立了一种新方法，将AMS三维面像与数字化三维牙列模型进行整合，实现了在任意三维视角下展示与AMS面部背景相融合的排牙效果。这一方法的主要临床价值在于：在数字化排牙方案确定之前，可以让正畸医生对当前的排牙效果与笑容的匹配程度进行验证，评估所设计的牙移动方案是否符合AMS下的笑容美学要求，并据此对排牙方案进行调整或确认。

为了验证该整合方法的准确性，同一操作人员进行了2次配准操作。本研究选取了AMS三维面像和初始牙列模型上对应的4个解剖标志点：双侧上颌中切牙远中切角点、双侧上颌尖牙尖点，并计算了它们之间的欧氏距离。结果显示，在第一次配准操作下，各组点对的平均距离为 $(1.19\pm 0.55)$  mm，在第二次配准操作下，各组点对的平均距离为 $(1.55\pm 0.59)$  mm。根据文献<sup>[13]</sup>中提出的误差水平评价标准，当点对之间的距离小于2 mm时，可以认为配准对齐是成功的。点对空间位置的偏差可能有2种来源：一是配准对齐不够准确引起的误差；二是标记解剖标志点时产生的定位误差，由于三维面像的细节不如三维牙列模型清晰，因此在确定双侧上颌中切牙远中切角点和尖牙尖点时，可能存在定点误差，这可能在一定程度上夸大了点对之间的位置偏差，从而低估了配准对齐的准确性。2次测量结果具有很高的一致性 $(ICC=0.914)$ 。因此，可以认为该方法的准确性和可靠性均能满足临床使用的需求。

本研究的方法与数字化正颌外科领域整合牙列模型与三维面像的方法不同。后者需要将牙列模型和三维面像分别与锥形束CT（cone beam CT，

CBCT）重建后的牙列部分和软组织部分进行配准对齐<sup>[14-15]</sup>，而本研究不需要获取CBCT数据，从而降低患者的辐射和成本，也不需要进行三维重建和阈值分割等操作，操作更为简单。此外，上述方法要求患者在拍摄CBCT和三维面像时的面部表情一致，然而拍摄CBCT的时长较长，患者难以长时间保持AMS的表情。Shen等<sup>[16]</sup>在2022年提出并验证了一种基于生成对抗网络（generative adversarial network, GAN）的正畸微笑效果模拟方法，该方法可以根据患者的二维正面微笑图像和牙齿移动参数，模拟出正畸后的微笑效果图像。爱齐公司也推出了其二维正面微笑模拟功能in-face，使患者和医生能够直观地预览矫治后正面微笑的变化。苏晓霞等<sup>[17]</sup>利用二维照片、Photoshop和ClinCheck Pro，将正畸牙移动动画嵌入扣除口内像的微笑图像内。然而，以上方法都只能模拟二维笑容效果，只能从单一角度观察笑容，从而忽略某些潜在问题<sup>[9]</sup>。全面的微笑评价需要从多个不同的角度观察，只能通过三维笑容图像实现。此外，上述方法中所用的笑容照片是二维的，牙列模型却是三维的，二维图像和三维图无法实现真正的配准对齐。本文建立的方法，首次实现了AMS三维面像与三维数字牙模的整合，其模拟结果更加准确和真实，且能够从任意视角观察，提高了数字化正畸疗效可视化模拟的水平。

本研究的主要局限性为：1) 作为初期研究，纳入样本量较少，在判断该方法准确性方面可能存在一定偏差，未来增加样本量能进一步增加结果的可靠性；2) 该方法的配准目前完全由手动操作，较为耗时，未来可望通过机器学习后辅助配准，简化操作流程。

综上，本研究首次建立了一种将AMS三维面像与数字化牙模整合的方法。基于本研究所纳入的样本，该方法的准确性达到临床可接受水平。若将该方法应用于数字化正畸终末位设计，能帮助医生更好地观察面部软组织背景下的排牙结果，以获得更好的笑容美学疗效。

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

#### [参考文献]

- [1] Jain P, Gupta M. Digitization in dentistry: clinical applications[M]. Cham: Springer International Publishing, 2021: 189-221.
- [2] Fiori A, Minervini G, Nucci L, et al. Predictability of

- crowding resolution in clear aligner treatment[J]. *Prog Orthod*, 2022, 23(1): 43.
- [3] Tang Z, Chen W, Mei L, et al. Relative anchorage loss under reciprocal anchorage in mandibular premolar extraction cases treated with clear aligners[J]. *Angle Orthod*, 2023, 93(4): 375-381.
- [4] Gao J, Wang X, Qin Z, et al. Profiles of facial soft tissue changes during and after orthodontic treatment in female adults[J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1): 257.
- [5] Nanda RS, Ghosh J. Facial soft tissue harmony and growth in orthodontic treatment[J]. *Semin Orthod*, 1995, 1(2): 67-81.
- [6] Sarver DM, Ackerman MB. Dynamic smile visualization and quantification: part 2. Smile analysis and treatment strategies[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2003, 124(2): 116-127.
- [7] Dong JK, Jin TH, Cho HW, et al. The esthetics of the smile: a review of some recent studies[J]. *Int J Prosthodont*, 1999, 12(1): 9-19.
- [8] 曹礼, 杨琳, 白丁. 正面微笑的美学研究[J]. *国际口腔医学杂志*, 2009, 36(4): 496-498.
- Cao L, Yang L, Bai D. Research of frontal smile esthetics in dental clinic[J]. *Int J Stomatol*, 2009, 36(4): 496-498.
- [9] 谢乙加, 邹训明, 徐晓梅, 等. 颊间隙美学的研究进展[J]. *国际口腔医学杂志*, 2018, 45(1): 106-111.
- Xie YJ, Zou XM, Xu XM, et al. Research progress on esthetics of buccal corridor[J]. *Int J Stomatol*, 2018, 45(1): 106-111.
- [10] Wang S, Lin H, Yang Y, et al. Use of autonomous maximal smile to evaluate dental and gingival exposure[J]. *Korean J Orthod*, 2018, 48(3): 182-188.
- [11] van der Geld PA, Oosterveld P, van Waas MA, et al. Digital videographic measurement of tooth display and lip position in smiling and speech: reliability and clinical application[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007, 131(3): 301.e1-301.e8.
- [12] Tarantili VV, Halazonetis DJ, Spyropoulos MN. The spontaneous smile in dynamic motion[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2005, 128(1): 8-15.
- [13] Zitová B, Flusser J. Image registration methods: a survey [J]. *Image Vis Comput*, 2003, 21(11): 977-1000.
- [14] Codari M, Pucciarelli V, Tommasi DG, et al. Validation of a technique for integration of a digital dental model into stereophotogrammetric images of the face using cone-beam computed tomographic data[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 54(5): 584-586.
- [15] 刘露露, 林阳阳. 数字化正颌外科中相关配准问题的研究进展[J]. *中华整形外科杂志*, 2020, 36(3): 341-345.
- Liu LL, Lin YY. Advances in research on registration related problems in digital orthognathic surgery[J]. *Chin J Plast Surg*, 2020, 36(3): 341-345.
- [16] Shen F, Liu J, Li H, et al. OrthoGAN: high-precision image generation for teeth orthodontic visualization[J]. *arXiv*, 2022, doi: 10.48550/arXiv.2212.14162.
- [17] 苏晓霞, 周力, 廖立, 等. 动态微笑美学模拟教学法在口腔正畸教学中的应用评价[J]. *上海口腔医学*, 2023, 32(2): 220-224.
- Su XX, Zhou L, Liao L, et al. Application of digital dynamic smile aesthetic simulation teaching method in orthodontic practicum[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2023, 32(2): 220-224.

(本文编辑 张玉楠)