

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2023.08.011

· 综述 ·

颜面不对称三维评价方法的研究进展

杨怡卿, 刘亚非

河北医科大学第一医院口腔正畸科, 河北 石家庄(050000)

【摘要】 面部对称性评价是正畸、口腔、整形外科等研究颜面部美观相关学科所关注的热点。尽管国内外学者借助各种新兴技术与手段开展了很多有关颜面对称性评价的研究,但由于其内容和方法的复杂性以及个人评价的主观性,目前颜面不对称的评判仍尚未建立统一的标准。颜面不对称涉及面部长宽高三个方向的改变,属复杂的牙颌面畸形,其早期发现及精确评价尤为重要,临床上除了必要的牙颌面检查,还需配合相应的辅助手段来评价颜面不对称。本文通过对目前常用的三维评价方法进行总结归纳,按照评价手段将颜面不对称评价方法分为三维测量的定性分析、定量分析、动态分析、数理分析、人工智能分析等5大类方法。通过分析总结各类方法的临床应用特点、优势及局限性,发现虽然每种方法的精确度、评价范围、诊断性质、计算方法等均有不同,但随着三维测量技术的不断发展,三维评价方法将会越来越客观、精准、便捷,成为评价颜面部不对称的主流方法。

【关键词】 颜面不对称; 三维评价; 三维定性分析; 三维定量分析; 三维动态分析; 三维数理分析; 人工智能; 不对称指数; 矩阵分析; 卷积神经网络

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2023)08-0603-06

【引用著录格式】 杨怡卿, 刘亚非. 颜面不对称三维评价方法的研究进展[J]. 口腔疾病防治, 2023, 31(8): 603-608. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2023.08.011.

Research progress on three-dimensional evaluation methods for facial asymmetry YANG Yiqing, LIU Yafei.

Department of Orthodontics, the First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, China

Corresponding author: LIU Yafei, Email: yafei_lyf@sina.com, Tel: 86-311-87155930

【Abstract】 Facial symmetry evaluation has always been a hot topic of concern for doctors who engage in the study of facial beauty disciplines such as orthodontics, dentistry, and plastic surgery. Although scholars at home and abroad have carried out much research on the evaluation of facial symmetry with a variety of emerging technologies and methods, there is still a lack of unified standards for the evaluation of facial asymmetry due to the complexity of the content and methods and individual subjectivity. Facial asymmetry involves changes in the length, width and height of the face. It is a complex dental and maxillofacial malformation whose early identification and accurate evaluation are particularly important. Clinically, in addition to the necessary dental and maxillofacial examinations, it is also necessary to evaluate facial asymmetry with the help of corresponding auxiliary methods. This paper gives a summary of the commonly used three-dimensional evaluation methods. The evaluation methods of facial asymmetry can be divided into 5 categories: qualitative analysis, quantitative analysis, dynamic analysis, mathematical analysis, and artificial intelligence analysis. After the analysis and summarization of the characteristics, advantages and limitations of each method in clinical applications, it is found that although these methods vary in accuracy, evaluation scope, diagnosis nature and calculation method, etc., the three-dimensional evaluation methods are more objective, more accurate and more convenient and will become the mainstream evaluation method for facial asymmetry with further development of three-dimensional measurement technologies.

【Key words】 facial asymmetry; three-dimensional evaluation; three-dimensional qualitative analysis; three-di-

【收稿日期】 2022-09-28; **【修回日期】** 2022-11-18

【基金项目】 河北省科技计划项目(22377773D)

【作者简介】 杨怡卿, 医师, 硕士, Email: 1679633898@qq.com

【通信作者】 刘亚非, 主任医师, 硕士, Email: yafei_lyf@sina.com. Tel: 86-311-87155930



微信公众号

mensional quantitative analysis; three-dimensional dynamic analysis; three-dimensional mathematical analysis; artificial intelligence; asymmetric index; matrix analysis; convolutional neural network

J Prev Treat Stomatol Dis, 2023, 31(8): 603-608.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the Projects of Hebei Provincial Department of Science and Technology (No. 22377773D).

颜面不对称畸形通常是指面部两侧大小不同或不协调^[1]。人群中颜面部不对称很常见,在中国的发生率高达25%^[2]。随着三维立体摄影技术设备以及相关软件的发展,分析评价面部不对称性的方法也由传统的直接人体测量法及二维头影测量评价方法等逐渐向三维评价方法发展^[3-4]。本文对常用的评价颜面不对称的三维测量评价方法及其特点进行综述。

1 通过三维测量定性分析评价颜面不对称

面部色差图,即使用不同的颜色来显示两者之间的差异,从而定性分析评价颜面不对称。具体步骤为:①获取三维面部图像;②确定正中矢状面;③对面部三维图像在正中矢状面进行切割,用切割后的左右侧脸镜像生成对侧脸并组合成一个完整的面部;④将镜像组合生成的面部与真实的面部进行重叠比较;⑤计算机用不同颜色显示出真实面部与镜像面部的差异。

有研究使用暖色系为真实面部比镜像面部凸起部分,冷色系为真实面部比镜像面部凹陷部分来分析评价面部不对称性^[5]。此方法为非定量测量评价颜面不对称,适用于对面部是否存在不对称进行评判性的研究。

2 通过三维测量定量分析评价颜面不对称

2.1 距离/角度的三维测量分析

通过测量各标志点之间的三维距离/角度,评价面部对称性,是三维测量分析面部不对称中最开始被使用的方法^[6]。具体测量步骤:①人工选取面部标志点,包括中线标志点及双侧标志点等;②确定参考平面;③分别测量中线标志点、双侧标志点等距参考平面的距离,以及各三维标志点组成的线段距离和角度值;④通过以上各数据的差值来评价面部不对称性。

Thiesen等^[7]以颈顶点距正中矢状面的距离将受试者分为相对对称、中度不对称或重度不对称

3组,进行三维测量得出中度和重度不对称者存在多处骨性不对称。El Minawi等^[8]对埃及女性进行三维距离/角度测量分析,提供了埃及女性面部测量数据库及与年龄相关的面部测量变化。Şahan等^[9]比较单侧上颌尖牙阻生患者和无阻生尖牙患者的面部对称性,发现在有阻生尖牙的患者中,面部左右两侧的线性测量值存在差异。此方法特点为直接进行三维测量,适用于评价具体组织结构在三维方向上的不对称,不足之处为只能评价具体结构,缺乏对面部不对称的整体性评价。

2.2 面积的三维测量分析

将面部按照解剖标志点连线分成若干部分,通过面积测量比较左右面积的不同,对面部不对称畸形进行定量定位分析。具体步骤:①用激光三维扫描术^[10]等获取三维图像,将扫描后的面部表面分割成大量的三角形;②根据三维坐标可求出每个三角形的面积,将各三角形的面积相加得到总面积;③比较左右侧的总面积。Lum等^[11]运用不对称点云转换成的三角形面积测量分析冠状面、横断面、矢状面的面部不对称,发现大多数不对称发生在冠状面,其次是横断面,最少的在矢状面。

Djordjevic等^[12]分析了双胞胎的面部对称性发现,异卵双胞胎和同卵双胞胎的面部下1/3是最不对称的。此方法特点是三维扫描分割的三角面片数量越多,则其测量越精确。

2.3 体积的三维测量分析

对正常一侧脸镜像的体积和畸形侧的体积进行比较。具体步骤为:①获取面部三维图像,计算机建立一个三维模型以便精确测量体积;②确定参考平面(矢状面、冠状面、水平面),参考平面上每个像素点在三维空间形成一个三角平面;③将所有三角平面至三维表面的垂直高度累计即是体积。

Nkenke等^[13]用此技术测量面中部骨折软组织体积变化,提出除了经典的线性和角度测量外,确

定软组织体积的变化对于实现更完整的面部形状评估非常重要。Lo等^[14]使用每个区域的体积差异研究骨性Ⅲ类患者正颌手术前后软硬组织的变化关系,发现可根据硬组织的移动计划准确地预测出上唇、颏部关键区域的软组织皮肤轮廓变化。Ajmera等^[15]发现下颌中线标志点和颏部周围区域对整体面部不对称特征有显著影响。此方法因比较整体体积的差异,所以特别适用于解剖标志点少的情况。

3 通过三维测量动态分析评价颜面不对称

以上研究多为静态面部对称性研究,有学者对面部动态的对称性也做了研究。具体步骤:①设计面部观察点(上下睑缘点、内外眦点、口角点、下唇中点等)及面部表情或面部动作;②图像采集,多台相机组成采集设备,传入计算机系统;③数据处理,通过计算各观察点在相应面部运动中的最大移动距离、最大移动速度等获得双侧的对称比。

邱天成等^[16]评估正常人表情运动(闭唇笑、露齿笑、噘嘴、鼓腮)的可重复性,结果闭唇笑、露齿笑、鼓腮表情具有一定的可重复性,但是噘嘴动作的可重复性较差。Lee等^[17]研究单侧唇裂伴腭裂修复患者在微笑时的三维面部位移,显示腭裂组微笑时瘢痕区向上和向后位移较小,腭裂侧下唇的侧向位移较大,非腭裂侧鼻翼的向后位移较大。Nasir等^[18]研究发现个体间运动过程中的唇形状更均匀,静止形态的嘴唇形状不影响嘴唇的运动。此方法优势为动态三维图像能够更真实地表现面部表情,使研究更加可靠。

4 通过三维测量数理分析评价颜面不对称

4.1 计算不对称指数

具体步骤:①人工选取面部标志点;②确定参考平面;③将每个标记点的坐标记为 (x, y, z) 。 x 为标记点到正中矢状面的距离,左侧为正,右侧为负; y 为标记点到眶耳平面的距离,上方为正,下方为负; z 为标记点到冠状面的距离,前方为正,后方为负。对于双侧的标记点,不对称指数= $\sqrt{(xl-xr)^2+(yl-yr)^2+(zl-zr)^2}$ (l 代表同一标记点的左侧标记点, r 代表同一标记点右侧标记点, x 、 y 、 z 分别为该标记点的坐标值的绝对值)。不对称指

数越小,对称性越好^[19],此方法应用广泛。

徐雅婷等^[20]测量分析骨性Ⅲ类面部不对称畸形的患者正颌正颌联合治疗前后,面部软硬组织各部分对称性的改变。Ben Bouhjar等^[21]运用此方法研究得出唇腭裂患者的不对称性明显高于非唇腭裂受试者,最严重的不对称性见于单侧完全性唇腭裂患者。田凯月等^[22]将不对称指数法应用于对数字化设计矫治下颌前突偏斜面部不对称畸形患者的疗效评价。Blasi等^[23]通过对称和不对称标志点的不对称性指数的均值和标准差建立面部不对称性评价图。此方法优点为可用于评估整体面部和个别标志点的不对称性,较为直观简单地体现正颌或正颌前后软硬组织的变化差异。不足之处为需要确定面部参考平面,因此参考平面的精确度影响最后的结果。

4.2 计算均方根差值

有研究显示正常成人面部不对称的均方根差值为 $(0.80 \pm 0.24) \text{ mm}$ ^[24]。均方根差测量具体步骤:①获取三维面部图像;②确定正中矢状面;③生成镜像图像,将镜像图像与真实的面部进行比较,均方根差= $\sqrt{\sum ti^2}$ (ti 是选定区域的公差),再计算两侧均方根差值。

Codari等^[25]将单侧面部按三叉神经范围分为上中下3个部分,每部分选取10个解剖标记点,计算均方根差和双因素方差分析面部不对称性。Cassi等^[26]仅在水平方向进行三叉神经的划分,并结合了整个面部,使用均方根差量化面部不对称性。Ozsoy^[27]通过比较原始模型与镜像模型的均方根差值定量评估面部不对称程度,结果表明均方根差是面部不对称评价中准确可靠的方法。均方根差数值越小,对称性越好。此方法优点是具有良好的可重复性和准确性,也能够量化整个或部分面部的不对称性。不足之处为以正中矢状面生成的镜像三维图像及最后结果的精确性受正中矢状面的准确程度的影响。

4.3 矩阵分析

计算形状差异矩阵比值,随着几何形态测量的发展成熟,目前标志点坐标的人体几何形状比较逐渐成为研究的主流。其中以欧氏距离矩阵分析(Euclidean distance matrix analysis, EDMA)最为常用。EDMA分析方法是一种形态分析方法,具体步骤:①获取面部图像;②测量能较好反应出物

体解剖学形态特征的标志点坐标;③利用两个标志点之间的距离线段组成的形状矩阵描述该物体的二维或三维形态特征^[28],并在此基础上对该物体的形态特征进行不同方向的研究。当两类物体形状特征完全相同时,形状差异矩阵所有比值等于1;当差异矩阵比值大于1.05或小于0.95时,表明两类物体平均形状存在至少5%的差异,即可评价面部不对称性。

Anas等^[29]使用EDMA方法比较及量化二维和三维成像技术评估面部形态的差异。朱玉佳等^[30]通过EDMA方法,对面部重要解剖标志点进行量化评估,并基于该量化评估结果建立了一种基于赋权普氏分析算法的三维面部对称参考平面自动构建方法。此方法较为客观和全面,可对任意不规则物体进行二维或三维结构的形态特征量化分析,最重要的是不依赖于面部参考平面。

上述方法中标志点的选择大多是人工标记,所以标志点选择的准确性直接影响颜面不对称性的测量评价。其次,参考平面的精确度也是影响颜面不对称测量评价的一个重要因素。然而,目前仍没有统一的标准方法定义参考平面。

5 人工智能在颜面不对称三维评价中的应用

5.1 应用人工智能构建面部模型

具体步骤:①构建生成一个面部模型(anthropometric mask, AM);②通过变形以匹配不同的三维图像,再生成对应的镜像模型;③将新构造出的模型与对应的镜像进行重叠;④分析评价面部不对称性。

Al-Rudainy等^[31]构建了一个包含7 190个点的双侧对称的AM,通过普氏分析将AM和镜像上相对应的点进行重叠,最后通过计算对应两点之间的三维距离评价三维方向上的面部对称性。Ekrami等^[32]以Claes等^[33]构建的AM为基础,创造了一个包含7 160个点的双侧对称AM来分析面部不对称性。现有研究表明,面部模型法对面部不对称性的分析更为真实可信,且面部模型避免了人工标记标志点及参考平面精确度带来的误差。

5.2 应用卷积神经网络,构建机器学习模型

基于卷积神经网络,直接从其图像中提取人脸的几何形状,从单一图像中进行快速有效的三维重建,是基于计算机的深度学习的方法。具体

步骤:①图像采集,选定个体模型;②使用卷积神经网络模型体系结构和参数调整新模型的构建;③利用新构建的模型预测新数据的面部对称性。

Lin等^[34]提出了一种卷积神经网络迁移学习方法来对面部对称性进行评分,用于帮助医生精准评判面部对称性,该方法的准确率达到90%。Takeda等^[35]使用320个后前位头影图构建了一个深度学习的卷积神经网络算法,通过卷积神经网络算法可以及时评估分析面部不对称性,减少正畸诊断的工作量。此方法优势为从单一图像中重建几何形状且可以被合并到实时的人脸重建系统中。不足之处为需要成千上万的样本来构建一个很好的网络。然而,在三维情况下,目前还没有合适的大型数据集。

6 总结及展望

综上所述,相较于直接测量法和二维分析方法,三维评价方法在空间维度上,实现了从平面到立体,从二维到三维;在研究资料上,实现了从X线头影测量到计算机三维模型测量;在研究范围上,实现了从静态分析逐步向动态分析扩展。因此,三维评价方法逐渐成为测量分析面部不对称软组织的主要方法。

从上述的三维分析评价方法中可以看出,面部特征的三维测量评价方法正处于一种快速发展的状态,每种方法的精确度、评价范围、诊断性质、计算方法等尽管均各有不同,但大多逐渐不再依赖人主观评分或者定位解剖标志点,朝着更加客观精准的方向在发展。随着各类软硬件技术如三维立体摄影技术等不断的发展与进步,三维面部不对称诊断技术在口腔正畸学领域发挥着越来越重要的作用,并且正在向通过融合颜面部软硬组织、上下颌骨及牙列,构建全组织虚拟模型的方向发展。相信面部不对称性的测量评价诊断分析方法会朝着更加简便、迅速、精准可靠的方向发展。

【Author contributions】 Yang YQ wrote the article. Liu YF designed the study and reviewed the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Laura P, Domenico D, Ingrid T, et al. Facial asymmetry detected with 3D methods in orthodontics: a systematic review [J]. Open Dent J, 2022, 16(Suppl 2): e187421062111251. doi: 10.2174/

- 18742106-v16-e2111251.
- [2] 徐玉婷, 张晓蓉. 下颌偏斜畸形的诊治进展 [J]. 医学综述, 2019, 25(6): 1192-1196. doi: 10.3969/j.issn.1006-2084.2019.06.028.
- Xu YT, Zhang XR. Diagnosis and treatment of mandibular asymmetry [J]. Med Recapitul, 2019, 25(6): 1192-1196. doi: 10.3969/j.issn.1006-2084.2019.06.028.
- [3] Shan Z, Hsung RT, Zhang C, et al. Anthropometric accuracy of three-dimensional average faces compared to conventional facial measurements [J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 12254. doi: 10.1038/s41598-021-91579-4.
- [4] Li C, Teixeira H, Tanna N, et al. The reliability of two- and three-dimensional cephalometric measurements: a CBCT study [J]. Diagnostics (Basel), 2021, 11(12): 2292. doi: 10.3390/diagnostics11122292.
- [5] Wu Z, Gao X, Long H, et al. Quantitative analysis of facial symmetry by using three-dimensional technology [J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 277. doi: 10.1186/s12903-022-02315-x.
- [6] Alqattan M, Djordjevic J, Zhurov AI, et al. Comparison between landmark and surface-based three-dimensional analyses of facial asymmetry in adults [J]. Eur J Orthod, 2015, 37(1): 1-12. doi: 10.1093/ejo/ejt075.
- [7] Thiesen G, Freitas MPM, Araújo EA, et al. Three-dimensional evaluation of craniofacial characteristics related to mandibular asymmetries in skeletal Class I patients [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2018, 154(1): 91-98. doi: 10.1016/j.ajodo.2017.10.031.
- [8] El Minawi H, El Saloussy Y, Sabry M, et al. Facial anthropometry and analysis in Egyptian women [J]. Plast Reconstr Surg Glob Open, 2022, 10(5): e4333. doi: 10.1097/GOX.0000000000004333.
- [9] Şahan AO, Akan B. Evaluation of facial asymmetry by stereophotogrammetry in individuals with unilateral maxillary impacted canine [J]. J Orofac Orthop, 2021, 82(4): 226-235. doi: 10.1007/s00056-021-00285-3.
- [10] Javaid M, Haleem A, Pratap Singh R, et al. Industrial perspectives of 3D scanning: features, roles and its analytical applications [J]. Sens Int, 2021, 2: 100114. doi: 10.1016/j.sintl.2021.100114.
- [11] Lum V, Goonewardene MS, Mian A, et al. Three-dimensional assessment of facial asymmetry using dense correspondence, symmetry, and midline analysis [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2020, 158(1): 134-146. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.12.014.
- [12] Djordjevic J, Jadallah M, Zhurov AI, et al. Three-dimensional analysis of facial shape and symmetry in twins using laser surface scanning [J]. Orthod Craniofac Res, 2013, 16(3): 146-160. doi: 10.1111/ocr.12012.
- [13] Nkenke E, Langer A, Laboureux X, et al. Validation of *in vivo* assessment of facial soft-tissue volume changes and clinical application in midfacial distraction: a technical report [J]. Plast Reconstr Surg, 2003, 112(2): 367-380. doi: 10.1097/01.prs.0000070720.66260.ae.
- [14] Lo LJ, Weng JL, Ho CT, et al. Three-dimensional region-based study on the relationship between soft and hard tissue changes after orthognathic surgery in patients with prognathism [J]. PLoS One, 2018, 13(8): e0200589. doi: 10.1371/journal.pone.0200589.
- [15] Ajmera DH, Hsung RTC, Singh P, et al. Three-dimensional assessment of facial asymmetry in Class III subjects. Part 1: a retrospective study evaluating postsurgical outcomes [J]. Clin Oral Invest, 2022, 26(7): 4947-4966. doi: 10.1007/s00784-022-04463-4.
- [16] 邱天成, 刘筱菁, 薛竹林, 等. 基于三维动态照相机的正常人面部表情可重复性研究 [J]. 北京大学学报(医学版), 2020, 52(6): 1107-1111. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2020.06.020.
- Qiu TC, Liu XJ, Xue ZL, et al. Evaluation of the reproducibility of non-verbal facial expressions in normal persons using dynamic stereophotogrammetric system [J]. J Peking Univ Health Sci, 2020, 52(6): 1107-1111. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2020.06.020.
- [17] Lee D, Tanikawa C, Yamashiro T. Impairment in facial expression generation in patients with repaired unilateral cleft lip: effects of the physical properties of facial soft tissues [J]. PLoS One, 2021, 16(4): e0249961. doi: 10.1371/journal.pone.0249961.
- [18] Nasir SH, Popat H, Richmond S. The effect of resting morphological lip shape during lip movement: a three-dimensional motion analysis study [J]. Heliyon, 2020, 6(6): e04093. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04093.
- [19] Evangelista K, Teodoro AB, Bianchi J, et al. Prevalence of mandibular asymmetry in different skeletal sagittal patterns [J]. Angle Orthod, 2022, 92(1): 118-126. doi: 10.2319/040921-292.1.
- [20] 徐雅婷, 吴嵩, 宋志芸, 等. 三维摄影技术结合锥形束CT评估颜面部不对称患者正颌手术前后的软硬组织变化 [J]. 口腔医学, 2020, 40(2): 117-120. doi: 10.13591/j.cnki.kqyx.2020.02.005.
- Xu YT, Wu S, Song ZY, et al. Analysis of the soft and hard tissue changes after orthognathic surgery in patients with facial asymmetry by three-dimensional photography combined with cone-beam computed tomography scans [J]. Stomatology, 2020, 40(2): 117-120. doi: 10.13591/j.cnki.kqyx.2020.02.005.
- [21] Ben Bouhjar N, Kleinheinz J, Dirksen D, et al. Facial and midfacial symmetry in cleft patients: comparison to non-cleft children and influence of the primary treatment concept [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2019, 47(5): 741-749. doi: 10.1016/j.jcms.2019.01.041.
- [22] 田凯月, 李倩倩, 刘筱菁, 等. 数字化设计矫治下颌前突偏斜畸形的疗效评估 [J]. 中华口腔医学杂志, 2016, 51(10): 594-599. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2016.10.005.
- Tian KY, Li QQ, Liu XJ, et al. Evaluation of therapeutic effect of virtual design for correcting facial asymmetry of skeletal Class III deformity [J]. Chin J Stomatol, 2016, 51(10): 594-599. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2016.10.005.
- [23] Blasi A, Nucera R, Ronsivalle V, et al. Asymmetry index for the photogrammetric assessment of facial asymmetry [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2022, 162(3): 394-402. doi: 10.1016/j.ajodo.2021.04.030.

- [24] 刘皓, 谷岩. 三维面部影像在面部软组织不对称研究中的进展 [J]. 中华口腔正畸学杂志, 2021, 28(3): 157-161. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20201012-21308.
- Liu H, Gu Y. A review on facial soft-tissue asymmetry studies with three-dimensional facial imaging [J]. Chin J Orthod, 2021, 28(3): 157-161. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20201012-21308.
- [25] Codari M, Pucciarelli V, Stangoni F, et al. Facial thirds - based evaluation of facial asymmetry using stereophotogrammetric devices: application to facial palsy subjects [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2017, 45(1): 76-81. doi: 10.1016/j.jcms.2016.11.003.
- [26] Cassi D, Battistoni G, Magnifico M, et al. Three-dimensional evaluation of facial asymmetry in patients with hemifacial microsomia using stereophotogrammetry [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2019, 47(1): 179-184. doi: 10.1016/j.jcms.2018.11.011.
- [27] Ozsoy U. Comparison of different calculation methods used to analyze facial soft tissue asymmetry: global and partial 3-dimensional quantitative evaluation of healthy subjects [J]. J Oral Maxillofac Surg, 2016, 74(9): 1847.e1-1847.e9. doi: 10.1016/j.joms.2016.05.012.
- [28] Santana N, Starbuck JM. Breaking symmetry: a quantitative analysis of facial skeleton disharmony in children born with bilateral cleft lip and palate [J]. Anat Rec (Hoboken), 2019, 302(10): 1726-1732. doi: 10.1002/ar.24111.
- [29] Anas IY, Bamgbose BO, Nuhu S. A comparison between 2D and 3D methods of quantifying facial morphology [J]. Heliyon, 2019, 5(6): e01880. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01880.
- [30] 朱玉佳, 赵一姣, 郑盛文, 等. 基于赋权形态学分析的三维面部对称参考平面构建方法 [J]. 北京大学学报(医学版), 2021, 53(1): 220-226. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2021.01.034.
- Zhu YJ, Zhao YJ, Zheng SW, et al. A method for constructing three-dimensional face symmetry reference plane based on weighted shape analysis algorithm [J]. J Peking Univ Health Sci, 2021, 53(1): 220-226. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2021.01.034.
- [31] Al-Rudainy D, Ju X, Mehendale FV, et al. Longitudinal 3D assessment of facial asymmetry in unilateral cleft lip and palate [J]. Cleft Palate Craniofac J, 2019, 56(4): 495 - 501. doi: 10.1177/1055665618780108.
- [32] Ekrami O, Claes P, White JD, et al. Measuring asymmetry from high-density 3D surface scans: an application to human faces [J]. PLoS One, 2018, 13(12): e0207895. doi: 10.1371/journal.pone.0207895.
- [33] Claes P, Walters M, Clement J. Improved facial outcome assessment using a 3D anthropometric mask [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2012, 41(3): 324-330. doi: 10.1016/j.ijom.2011.10.019.
- [34] Lin HH, Chiang WC, Yang CT, et al. On construction of transfer learning for facial symmetry assessment before and after orthognathic surgery [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2021, 200: 105928. doi: 10.1016/j.cmpb.2021.105928.
- [35] Takeda S, Mine Y, Yoshimi Y, et al. Landmark annotation and mandibular lateral deviation analysis of posteroanterior cephalograms using a convolutional neural network [J]. J Dent Sci, 2021, 16(3): 957-963. doi: 10.1016/j.jds.2020.10.012.

(编辑 罗燕鸿)



官网