



协和医学杂志

Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital

ISSN 1674-9081, CN 11-5882/R



《协和医学杂志》网络首发论文

题目： 三维颜面特征在疾病诊治中的应用
作者： 强佳祺，黄久佐，唐馨，潘慧，龙笑，陈适
网络首发日期： 2024-12-11
引用格式： 强佳祺，黄久佐，唐馨，潘慧，龙笑，陈适. 三维颜面特征在疾病诊治中的应用[J/OL]. 协和医学杂志.
<https://link.cnki.net/urlid/11.5882.r.20241210.1540.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

三维颜面特征在疾病诊治中的应用

强佳祺¹, 黄久佐², 唐馨^{1,3}, 潘慧¹, 龙笑², 陈适¹

中国医学科学院北京协和医院¹ 内分泌科 国家卫健委内分泌重点实验室² 整形美容外科, 北京 100730

³中国医学科学院 北京协和医学院临床医学八年制, 北京 100730

通信作者: 陈适, E-mail:cs0083@126.com

龙笑, E-mail:pumclongxiao@126.com

【摘要】随着三维颜面成像设备的精确度和便携性的提高以及人工智能医学图像识别技术的发展, 疾病的三维颜面特征已在疾病诊治有广泛应用, 如内分泌代谢性疾病、呼吸系统疾病、神经肌肉疾病、遗传综合征和整形美容等领域。本文旨在梳理和总结三维颜面摄影测量和图像分析技术在疾病诊断、预后及疗效评估中的研究现状和发展趋势, 以期为相关研究和临床应用提供参考和借鉴。

【关键词】三维摄影测量技术; 人工智能辅助诊断; 面部; 研究进展

【中图分类号】 R58,R62,TP3-05 **【文献标识码】** A

DOI: 10. 12290 /xhyxzz. 2024-0717

Applications of Three-dimensional Facial Features in Disease Diagnosis and Treatment

QIANG Jiaqi¹, HUANG Jiuzuo², TANG Xin^{1,3}, PAN Hui¹, LONG Xiao²,
CHEN Shi¹

¹Department of Endocrinology, Key Laboratory of Endocrinology of National Health Commission, ²Department of Plastic and Aesthetic Surgery, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

³Eight-year Program of Clinical Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding authors: CHEN Shi, E-mail:cs0083@126.com

LONG Xiao, E-mail: pumclongxiao@126.com

强佳祺、黄久佐、唐馨对本文同等贡献

基金项目: 中央高水平医院临床科研专项 (2022-PUMCH-A-015, 2022-PUMCH-B-016)

【 Abstract 】 With the improvement in the accuracy and portability of three-dimensional (3D) facial imaging devices, and the development of medical image recognition technology in artificial intelligence, the analysis and automatic recognition of 3D facial characteristics of diseases have been widely applied in fields such as endocrine metabolic disorders, respiratory diseases, neuromuscular diseases, genetic syndromes, and plastic surgery. We aim to review and summarize the current research status and development trends of 3D facial photogrammetry and image analysis techniques in disease diagnosis, prognosis, and assessment of treatment, in order to provide references and insights for related research and clinical applications.

【 Key words 】 three-dimensional photogrammetry; artificial intelligence-based diagnosis; face; research progress

Funding: National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-A-015, 2022-PUMCH-B-016)

近年来，三维摄影测量技术以其高精度、非接触性和客观量化的优势，在疾病的颜面识别辅助诊断中展现了潜力和应用价值^[1,2]。与传统的二维图像相比，三维图像不仅能够捕捉面部形态的立体信息，更精确地反映颜面结构的细微变化，为临床提供更为详细和客观的依据^[3]；还能通过计算和分析面部各区域的形态学参数，如面部轮廓和五官的形状、大小和位置关系，进而揭示与特定疾病相关的颜面特征，为深入研究疾病的颜面表型提供了技术条件^[4]。

三维颜面图像可用于评估面部软组织的形态特征，不仅对疾病面部形态的观察和描绘有重要作用，而且在面部图像辅助疾病诊断以及治疗效果和预后评估中也有一定应用。三维颜面图像技术可应用于内分泌代谢性疾病^[5]、慢性呼吸系统疾病^[6,7]、神经肌肉疾病^[8]、遗传综合征^[9,10]和面部美容整形^[11]等领域，帮助医生更准确地识别和分析患者的颜面特征，从而为疾病的早期诊断、病情监测和治疗效果评估提供有力支持。本综述旨在梳理和总结三维颜面摄影测量和图像分析技术在各种疾病中的应用现状和发展趋势，通过深入探讨三维颜面图像技术的原理和方法，梳理这一技术在医学诊疗中的应用实例，为未来的研究和创新提供有益的启示，以期对相关研究和临床应用提供参考和借鉴。

1. 三维颜面图像的拍摄及测量

三维颜面图像由利用三维成像设备获取的三维形状数据构成，是后续面部特征的测量、分析、识别与评估的重要基础。三维扫描仪是一种非接触式的光学测量工具，能够在数秒内完成对整个头面部的扫描，得到坐标组合，并通过特定算法生成精度高达 0.1 毫米的三维模型；常用的三维扫描仪根据其可视化原理可分

为基于激光的扫描(laser-based scanning)、立体摄影测量(stereophotogrammetry)、结构光扫描(structured-light scanning)和 RGB-D (red, green, blue-depth) 传感器技术^[3]。

在测量时，激光扫描仪向面部投射人眼安全的激光束，通过收集散射光确定表面点的三维坐标，从而生成面部三维图像；立体摄影测量装置从多个方位捕捉面部三维表面数据，经过三角测量和校准，确定面部点的距离，最终拼接得到三维图像；结构光扫描仪则是将完整的结构图案（如条纹）投射到面部，通过感应图案变形计算出各点距离，从而重建三维图像；RGB-D 传感器将深度信息与彩色图像结合，依托结构光和飞行时间（Time-of-Flight, ToF）技术，测量反射波到达传感器所需的时间来确定点的距离，在传统 RGB 图像的基础上添加了距离信息，成本较低，有望替代立体摄影测量装置而在临床广泛应用^[3,12]。

表 1 常用三维颜面拍摄装置的工作原理

分类	工作原理
激光扫描仪	向面部投射激光束，通过收集散射光确定表面点的三维坐标 ^[3]
立体摄影测量	从多个方位摄影捕捉面部三维表面数据，经过三角测量和校准，生成三维图像 ^[3]
结构光扫描仪	将完整的结构图案投射到面部，通过感应图案变形计算出各点距离，从而重建三维图像 ^[3]
RGB-D 传感器	依托结构光或飞行时间技术，测量反射波到达传感器所需的时间来确定点的距离，生成彩色图像和深度信息结合的三维图像 ^[12]

传统的颜面测量是使用工具或平面照片对面部进行实际测量，已在医学、人类学、法医学等领域有着广泛的应用。相较于传统的直接测量和平面测量，三维摄影测量有着独特优势^[13-15]：（1）对被测量者的依从性要求相对较低，无需长时间保持固定的姿势或表情，使得测量过程更为舒适和便捷；（2）避免了直接测量时外力的物理接触对软组织形态的影响；（3）精确、可靠，可以对面深度、表面积、体积甚至面部的纹理色彩进行分析；（4）可用于评估面部组织在静止

和运动状态下的形态和功能。目前，三维摄影测量的诸多技术范式中，立体摄影法在临床应用较为广泛^[11]。

2. 疾病面部形态的观察与分析

颜面作为人体最显著的外部特征之一，承载着个体的遗传信息和生理特征^[16]。多种疾病不仅有内部结构和功能异常，还呈现典型的颜面特征。疾病颜面的三维特征分析，是在摄影测量、激光扫描等数据获取方法的基础上，将某种疾病患者的三维图像导入专业的分析软件，标定面容标记点，进行特征的描述和测量，目前已在内分泌代谢性疾病、慢性呼吸系统疾病、神经肌肉疾病、遗传综合征和面部整形美容中有较为广泛应用。

2.1 内分泌代谢性疾病

基于三维颜面图像的研究有助于揭示疾病的面部特征与激素和代谢水平的关联。此前多项研究表明，在肥胖和超重的情况下，BMI 升高使面容发生改变，这提示代谢异常可能对面容产生影响。随着 BMI 增加，脸颊浅层和深层脂肪室体积随之增加^[17]，针对 11347 名韩国成年人的研究发现，腹型肥胖与面容宽度存在关联，面容宽度与下颌宽度是 BMI 的预测指标^[18]；另一项 85 名男性和 21 名女性的研究发现，肥胖人群的下颌轮廓与 BMI 相关^[19]。肢端肥大症是由生长激素过度分泌引起的临床综合征，导致结缔组织、软骨、骨、皮肤和内脏器官过度生长，伴有代谢紊乱、心血管疾病、睡眠呼吸暂停等临床表现，可导致结肠等肿瘤风险增加^[20]。一项包含 39 名肢端肥大症患者和 39 名对照的三维面容研究发现，患者鼻子宽度、长度、高度和深度更大，上唇和下唇更厚，脸长、脸宽、下颌角-颏下点距离更长，鼻额角和鼻小柱-唇角更短；此外，胰岛素样生长因子 1（insulin-like growth factor 1, IGF-1）与鼻宽、下颌角-颏下点距离呈正相关，与鼻额角呈负相关^[21]。

2.2 慢性呼吸系统疾病

呼吸系统疾病导致的长期呼吸模式改变也会对患者面容产生影响，如哮喘、睡眠呼吸暂停综合征等。在一项针对 418 名哮喘患者和 3010 名对照的研究中，研究人员通过拍摄与分析受试者的三维面部图像，发现与对照组女性相比，有哮喘病史的女性拥有较宽的鼻宽和较短的中庭^[6]。在睡眠呼吸暂停综合征中，对 300

名病情程度为重、中、轻度的患者和 100 名对照的研究发现，颜面测量参数可用于预测诊断，最大准确率达到 91%^[7]；另一项研究发现，患者的下颌宽度、颈部周长和上颌体积与病情严重程度相关^[22]。

2.3 神经肌肉疾病

由于面部神经和肌肉的病变，三维图像对神经系统受累的疾病的面部特征的分析有重要意义^[23]。帕金森病是好发于中老年的神经系统退行性疾病，黑质致密部多巴胺能神经元丢失和路易小体形成，可导致震颤、肌强直、动作迟缓、姿势平衡障碍等症状^[24]。一项研究用三维光电系统记录患者的面部表情和运动，分析发现帕金森病患者的摆姿势微笑和自主露齿微笑时的运动参数异常^[25]，六种基本情感的面部表情的速度更慢、振幅更低^[26]。脊髓性肌萎缩症（spinal muscular atrophy, SMA）是一种好发于儿童神经肌肉病，由脊髓前角 α -运动神经元退化变性导致。主要表现为以四肢近端为主的进行性肌无力和肌萎缩，随着疾病进展，可出现呼吸、消化、骨骼等多系统受累^[27]。一项对 22 名 2 型脊髓性肌萎缩症患儿的研究发现了因肌肉活动异常导致的特殊面部特征，其中错牙合和咀嚼肌的改变导致了患儿中的喂养问题^[8]。

2.4 遗传综合征

在 7000 多种已知的罕见的综合征中，约 30%~40% 呈现畸形的颜面特征^[28]，包括眼距宽、突眼、鞍鼻、低位耳、小耳、牙齿发育不良、唇裂、腭裂、巨头、小头畸形等。对遗传综合征面容的研究，有助于客观、定量地揭示罕见疾病的颜面特征，并辅助早期识别和诊断。

Prader-Willi 综合征是一种因缺乏父源染色体 15q11.2-q13 区域相关基因的表达而引起的多系统受累的复杂遗传性疾病，发病率为 1/30 000~1/10 000，已被列入我国第一批罕见病目录。患者可表现为食欲过盛、生长障碍、肌张力障碍、性腺发育异常、神经和精神运动发育异常等^[29,30]。通过对 15 名患者的三维颜面测量发现，患者有更小的双额直径、面部深度、睑裂、下颌骨支长度、下唇高度和外眦-鼻根的相对位置^[31]。

马凡综合征是一种结缔组织遗传性疾病，以常染色体显性遗传为主，多数典型表型的患者携带编码结缔组织蛋白原纤维蛋白-1 的基因 *FBN1* 的突变。该疾病发病率为 1/5000-1/3000，已被列入我国第一批罕见病目录^[32,33]。患者可表现为主动脉根部扩张、四肢修长、晶状体脱位、心脏二尖瓣脱垂等。一项对 61 名患者

的研究发现,与对照组相比,马凡综合征患者的面部差异度更大,面部高度更小,85%的患者有睑裂下斜^[34]。

唐氏综合征由 21 染色体异常引起,可导致智力低下、小头、身材矮小及特殊面貌。通过对比 28 名唐氏综合征患者和 429 名健康对照的 50 个三维颜面标记点,发现唐氏综合征患者面部中三分之一发育不良,鼻突出程度减少,面部下部的凸度减少^[35]。

2.5 面部整形美容

在面部整形美容领域,三维面部形态可用于评估衰老和制定美学标准辅助整形手术规划。在对面部老化的评估中,三维颜面测量可对其中的多种面部形态进行量化,并对不同指标与年龄的相关性进行描绘,包括上睑下垂、眼袋膨出、泪沟凹陷、鼻唇沟凹陷、红唇变薄、中面部下垂等等^[36,37]。此外,三维颜面测量技术可以计算和刻画“平均脸”,通过对相貌出众的人群进行面部软组织形态测量,定量建立美学标准,为整形手术的规划提供重要的基线数据,指导整形美容手术实践^[38]。

3. 三维颜面图像在疾病诊断识别中的应用

疾病的早期发现和准确诊断是提升治疗效果和患者生存率的关键。医学图像分析是人工智能 (artificial intelligence, AI) 与医学交叉中发展最快的领域,在放射影像、病理、皮肤疾病、眼科、消化道疾病等领域均有进展,已被应用于多种医学图像的自动化识别,包括肺结节、结肠息肉、眼底等等^[39-41]。AI 颜面识别技术在近年也有了飞速发展,对于表型多样、诊断流程复杂的疾病,AI 颜面识别辅助诊断系统可基于颜面特征进行自动分类诊断,充分发挥 AI 省时、便宜、方便的优势,有助于疾病的早期筛查,对诊疗路径的优化有重要意义。由于颜面固有的三维特性,相较于二维图像,采用三维颜面数据进行识别和辅助诊断更具优势。在应对光照变化、姿态变动及化妆等因素对数据产生的干扰时,三维面部图像均表现出更强的稳健性。

一项包含 3327 名患有 396 种不同综合症的患者、727 名患者亲属以及 3003 名无关对照的大规模研究,构建了基于高维正则化判别分析模型 (high-dimensional regularized discriminant analysis models, HDRDA) 的三维识别诊断系统,准确性为 73%,敏感性为 49%;此外,表型的严重程度和面部特征的独特性被确定为诊断准确性的重要预测因素^[10]。进一步比较诊断排序前三名的分类结果

的敏感性，在涵盖 43 种不同遗传综合征的 1907 名受试者中，基于主成分分析和多层感知机的三维模型为 61.6%，基于卷积神经网络的二维模型为 53.4%，三维模型更优^[42]。在肢端肥大症中，基于人工智能的面部识别技术的自动检测方面也表现出理想的性能，研究者测量了 62 名患者和 62 名对照的 58 个三维面部参数，利用机器学习提取可用于预测诊断的面部参数，构建分类模型，诊断准确率在女性达到 92.86%，男性达到 75%^[43]。

深度学习是机器学习的分支，通过模拟人类神经网络，组合多个非线性处理层，从原始数据中获得不同层次的抽象特征，以完成目标检测、分类和分割任务；不同的深度学习方法对应不同类型的神经网络^[44]。深度学习技术在三维人脸识别中有广泛应用。在计算机视觉研究领域，现行的三维人脸识别算法可根据图像类型细分为：基于彩色图像的三维人脸识别、依托高质量三维扫描数据的识别以及基于低质量 RGB-D 图像的三维人脸识别^[45]。一方面，可将三维人脸数据转换为二维图像，以借鉴应用二维人脸识别的深度学习算法；另一方面，通过设计全新的网络架构，使得神经网络能够直接处理三维体素或原始三维数据，从而提升识别精准度与效率^[46,47]。一项研究引入了深度学习卷积网格自动编码器模型（convolutional mesh autoencoder models, CMA），使用来自健康个体和三种颅缝早闭综合征患者的三维颅面数据进行训练模型；结果显示该模型在二元分类（综合征和健康个体）及多类分类（Apert 综合征、Crouzon 综合征、Muenke 综合征和健康个体）中均表现出高灵敏度和特异性^[48]。

4. 三维面部特征用于评估预后和疾病疗效

由于三维颜面图像可以有效捕捉面部形态的变化，不仅能够提供精确的距离和角度信息，还能提供体积变化、表面积和表面曲度等数据，其全面、精确的优势使其在预后评估和疗效观察中具有一定的应用前景。

在 Prader-Willi 综合征中，研究者对面部特征与内分泌代谢异常、夜间睡眠呼吸和生长发育情况进行了关联分析。与对照组相比，患者下颌宽度增大、下颌角更为尖锐、上唇更为纤薄、眼眶相对于 Frankfurt 平面的倾斜度更为显著，耳廓相对于面部中平面的角度有所减小。这些面部形态的人体测量学特征与患者的体成分、糖代谢指标、夜间低氧血症以及生长激素治疗的持续时间呈现出相关性，提示以上特征在预后评估方面有潜在应用^[31]。

在内分泌代谢性疾病中，三维颜面特征可以反映体内一定时期内的激素水平，反映治疗前后的改善情况。例如在肢端肥大症中，患者因垂体腺瘤分泌过多

的生长激素而表现出特征性面容，一项对 30 名垂体生长激素腺瘤切除术后患者的随访研究发现，手术治疗后面部症状得到改善，其中临床缓解的患者，鼻翼宽度、鼻尖突起、面部曲线长度、色素痣面积均减少；鼻翼宽度的变化与生长激素的谷值及 IGF-1 下降有关；手术后更好地控制激素水平，可更快改善面部症状^[49]。在脂肪营养不良的患者中，瘦素治疗使患者耳前、颊部和下颌下区域的面部软组织体积减少，提示瘦素治疗可改善脂肪分布^[50]。

在面部整形美容中，三维摄影测量技术可以测定特定人群的面部区域的标准值作为整形美容手术的对照^[51]，还可以通过线性、角度或体积的度量来反映治疗前后的差异，还有助于模拟软组织形态变化较大的手术效果，更为直观的体现手术方案设计的优势，在颌面外科、眼部整形、鼻部整形、皮肤紧致、冷冻溶脂和注射美容等多个领域中均有报道^[52-57]。一项研究通过三维立体摄影技术对中国单侧唇腭裂儿童手术修复后的面部特征进行分析，与正常健康组相比，患儿术后的患侧鼻翼基底宽度更宽、鼻子更平坦、鼻孔底部更宽、上唇长度更短以及上唇红厚度更薄^[58]。三维摄影测量法还可以用于评估区域颈阔肌注射肉毒杆菌毒素 A 后面部下垂的改善情况^[59]和面部软组织填充后的面部提升效果^[60]。三维摄影通过增强面容的可视化，有助于医生和患者双方更直观地在术前沟通手术目标和预期结果，在术后评价综合评估手术效果，促进以患者为中心的医疗模式^[61]。

在口腔疾病中，三维摄影测量技术可以辅助评估患者在正畸及手术治疗前后的面部形态变化。在骨性一类的患者中，经拔牙正畸的患者颞唇沟的凹陷度增加，而未拔牙患者该区域无显著变化，两组之间鼻唇沟角和下唇厚度有显著差异^[62]。在骨性二类错合的患者中，功能性矫治器治疗后患者的面部深度增加了 1.39mm^[63]。另有研究发现快速上颌扩张术和下颌中线牵引成骨治疗可以为上下颌骨缺损提供有效的非拔牙治疗替代方案，其中下颌中线牵引成骨可以改善下颌骨横向和垂直方向的面部软组织轮廓^[64]。正颌手术治疗后的患者上颌骨的位置和形态，以及鼻部和上唇等软组织亦通过三维摄影测量法观察到了变化^[65]。

表 2 三维颜面图像在各类疾病识别诊断和预后评估中的应用

疾病分类	面部形态特点	具体应用
内分泌代谢性疾病	<p>脸颊浅层和深层脂肪室体积增加^[17]；面部与下颌宽度是 BMI 的预测指标^[18]，下颌轮廓与 BMI 相关^[21]</p>	提示面部特征与代谢的关联，量化激素水平对面部特征的影响，辅助监测药物和手术治疗后面容

	肢端肥大症	鼻子宽度、长度、高度和深度更大，上唇和下唇更厚，脸长、脸宽、下颌角-颞下点距离更长，鼻额角和鼻小柱-唇角更短，鼻宽、下颌角-颞下点距离与 IGF-1 呈正相关，鼻额角与 IGF-1 呈负相关 ^[21]	特征的改变，作为病情缓解的监测指标
	脂肪营养不良	脂肪分布不均	
慢性呼吸系统疾病	哮喘	较宽的鼻宽和较短的中庭 ^[6]	辅助诊断慢性呼吸系统疾病，判断病情严重程度
	睡眠呼吸暂停综合征	颈围增加，面下部高度、下颌宽度和前下颌高度有增大趋势 ^[66]	
神经肌肉疾病	帕金森病	摆姿势微笑和自主露齿微笑时的运动参数异常 ^[25] ，六种基本情感的面部表情的速度更慢、振幅更低 ^[26]	测量面部肌肉活动状态的参数，预测面部神经和肌肉病变，辅助诊断神经肌肉疾病
	脊髓性肌萎缩症	肌肉活动异常导致特殊面部特征，其中错牙合和咀嚼肌异常可导致喂养问题 ^[8]	
遗传综合征	Prader-Willi 综合征	更小的双额直径、面部深度、睑裂、下颌骨支长度、下唇高度和外眦-鼻根的相对位置 ^[31]	定量揭示遗传疾病颜面特征，辅助早期识别和诊断
	马凡综合征	面部差异度大，面部高度更小，睑裂下斜 ^[34]	
	唐氏综合征	面部中三分之一发育不良，鼻突出程度减少，面下部凸度减少 ^[35]	
整形美容及口腔颌面手术		上睑下垂、睑袋膨出、泪沟凹陷、鼻唇沟凹陷、红唇变薄、中面部下垂、唇腭裂、口腔正畸等 ^[36,37]	量化美学标准，合理规划整形手术，评估手术效果

5. 发展与展望

在三维颜面成像技术广泛应用于特征分析、自动识别以及疾病预后评估之前，仍存在需解决的问题。首先，提高三维摄影测量的准确性，包括提高拍摄的可重复性和测量的精确度，以减少对操作者技能的依赖。其次，三维成像设备的成本问题亟待解决。虽然已出现一些低成本的便携式设备，但高精度设备的高昂价格限制了在基层医疗机构和偏远地区的普及。因此，降低设备成本，使这项技术更加普及化，是未来亟待突破的瓶颈。在算法开发方面，当前的训练集往往基于小样本量，这可能导致算法偏见。为了避免因训练数据集的偏差，需要提高数据集的质量，或者利用大规模的三维人脸数据集来完善预训练模型，并在特定数据集上进行参数微调，从而开发出更具普适性的三维面部分析模型。此外，由于三维图像包含大量详细信息，需要较大的计算资源和内存。因此，提高算法的处理速度，满足实时应用的计算能力需求，也是当前技术发展的一个重要方向。

近年来，通过三维摄影技术获取的软组织模型可以与 CT 扫描重建的颅颌面骨骼模型相结合。三维软组织与骨骼的叠加模型在疾病颌面部特征描绘、辅助诊断、术前模拟和术后效果评估中均有一定的应用潜力^[67]。然而，由于这项技术对软硬件的要求较高，成本较大，操作耗时，目前在临床应用中的普及程度仍有待提高。未来的研究需要进一步降低技术门槛、减少成本并提高操作的便捷性。

6. 总结

总结来说，随着三维颜面成像设备的精确度和便携性的提高，疾病三维颜面特征分析、自动识别和疗效预后评估已在疾病诊疗中应用广泛。三维图像相较于传统的平面照片提供了更多的深度和立体空间信息，使得更精确的面部形态测量成为可能，有助于揭示人眼难以分辨的细微但关键的面部变化，不仅量化了颜面体征，还为病情监测和疗效判断提供了辅助信息。对于种类繁多易混淆、诊断复杂耗时的疾病，三维颜面图像数据也可基于机器学习和深度学习算法，训练为自动识别分类的系统，辅助临床决策，从而减少基层医师的误诊、漏诊和错诊，提高诊断效率，早期干预并改善预后。此外，目前的三维图像均已数字化，易于存储，可共享和远程分析，对于提高诊断效率和促进跨地区医疗合作亦有重要意义。

作者贡献：强佳祺负责论文构思、文献收集和论文初稿撰写；黄久佐负责论文构思、文献分析和初稿撰写；唐馨负责文献收集、论文初稿撰写；潘慧负责论文修订；陈适、龙笑负责选题设计、终稿校对。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] KAU C H, RICHMOND S, ZHUROV A I, 等. Reliability of measuring facial morphology with a 3-dimensional laser scanning system[J]. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics, 2005, 128(4): 424-430.
- [2] ENCISO R, SHAW A M, NEUMANN U, 等. Three-dimensional head anthropometric analysis[C/OL]//Medical Imaging 2003: Visualization, Image-Guided Procedures, and Display: 卷 5029. SPIE, 2003: 590-597[2024-04-15]. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/5029/0000/Three-dimensional-head-anthropometric-analysis/10.1117/12.479752.full>.
- [3] PETRIDES G, CLARK J R, LOW H, 等. Three-dimensional scanners for soft-tissue facial assessment in clinical practice[J]. Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery: JPRAS, 2021, 74(3): 605-614.
- [4] APONTE J D, BANNISTER J J, HOSKENS H, 等. An interactive atlas of three-dimensional syndromic facial morphology[J]. American Journal of Human Genetics, 2024, 111(1): 39-47.
- [5] PASCALI M A, GIORGI D, BASTIANI L, 等. Face morphology: Can it tell us something about body weight and fat?[J]. Computers in Biology and Medicine, 2016, 76: 238-249.
- [6] AL ALI A, RICHMOND S, POPATH H, 等. The influence of asthma on face shape: a three-dimensional study[J]. European Journal of Orthodontics, 2014, 36(4): 373-380.
- [7] EASTWOOD P, GILANI S Z, MCARDLE N, 等. Predicting sleep apnea from three-dimensional face photography[J]. Journal of clinical sleep medicine: JCSM: official publication of the American Academy of Sleep Medicine, 2020, 16(4): 493-502.
- [8] PUCCIARELLI V, GIBELLI D, MASTELLA C, 等. 3D Facial morphology in children affected by spinal muscular atrophy type 2 (SMAII)[J]. European Journal of Orthodontics, 2020, 42(5): 500-508.
- [9] RICHMOND S, HOWE L J, LEWIS S, 等. Facial Genetics: A Brief Overview[J]. Frontiers in Genetics, 2018, 9: 462.
- [10] HALLGRÍMSSON B, APONTE J D, KATZ D C, 等. Automated syndrome diagnosis by three-dimensional facial imaging[J]. Genetics in Medicine: Official Journal of the American College of Medical Genetics, 2020, 22(10): 1682-1693.
- [11] 崇煜明, 龙笑. 三维摄影测量技术在面部软组织形态评估中的应用与展望[J]. 中国美容整形外科杂志, 2023, 34(6): 366-369.

- [12]SHAIKH M B, CHAI D. RGB-D Data-Based Action Recognition: A Review[J]. *Sensors*, 2021, 21(12).
- [13]GHODDOUSI H, EDLER R, HAERS P, 等. Comparison of three methods of facial measurement[J]. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2007, 36(3): 250-258.
- [14]LÜBBERS H T, MEDINGER L, KRUSE A, 等. Precision and accuracy of the 3dMD photogrammetric system in craniomaxillofacial application[J]. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 2010, 21(3): 763-767.
- [15]VAN DER MEER W J, DIJKSTRA P U, VISSER A, 等. Reliability and validity of measurements of facial swelling with a stereophotogrammetry optical three-dimensional scanner[J]. *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2014, 52(10): 922-927.
- [16]KAUR P, KRISHAN K, SHARMA S K, 等. Facial-recognition algorithms: A literature review[J]. *Medicine, Science, and the Law*, 2020, 60(2): 131-139.
- [17]ESTLER A, GRÖZINGER G, ESTLER E, 等. Quantification of Facial Fat Compartment Variations: A Three-Dimensional Morphometric Analysis of the Cheek[J]. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 2023, 152(4): 617e-627e.
- [18]LEE B J, KIM J Y. Predicting visceral obesity based on facial characteristics[J]. *BMC complementary and alternative medicine*, 2014, 14: 248.
- [19]CHANDA A, CHATTERJEE S. Predicting Obesity Using Facial Pictures during COVID-19 Pandemic[J]. *BioMed Research International*, 2021, 2021: 6696357.
- [20]MELMED S. Acromegaly pathogenesis and treatment[J]. *The Journal of Clinical Investigation*, 2009, 119(11): 3189-3202.
- [21]GUO X, MENG T, HUANG J, 等. 3D Facial Analysis in Acromegaly: Gender-Specific Features and Clinical Correlations[J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2018, 9: 722.
- [22]LIN S W, SUTHERLAND K, LIAO Y F, 等. Three-dimensional photography for the evaluation of facial profiles in obstructive sleep apnoea[J]. *Respirology (Carlton, Vic.)*, 2018, 23(6): 618-625.
- [23]MATTHEWS H, DE JONG G, MAAL T, 等. Static and Motion Facial Analysis for Craniofacial Assessment and Diagnosing Diseases[J]. *Annual Review of Biomedical Data Science*, 2022, 5: 19-42.
- [24]中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组;中国医师协会神经内科医师分会帕金森病及运动障碍专业. 中国帕金森病的诊断标准(2016版)[J]. *中华神经科杂志*, 2016, 49(4): 268-271.

- [25]MARSILI L, AGOSTINO R, BOLOGNA M, 等. Bradykinesia of posed smiling and voluntary movement of the lower face in Parkinson's disease[J]. *Parkinsonism & Related Disorders*, 2014, 20(4): 370-375.
- [26]BOLOGNA M, BERARDELLI I, PAPARELLA G, 等. Altered Kinematics of Facial Emotion Expression and Emotion Recognition Deficits Are Unrelated in Parkinson's Disease[J]. *Frontiers in Neurology*, 2016, 7: 230.
- [27]北京医学会医学遗传学分会;北京罕见病诊疗与保障学会. 脊髓性肌萎缩症遗传学诊断专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2020, 100(40): 3130-3140.
- [28]HART T C, HART P S. Genetic studies of craniofacial anomalies: clinical implications and applications[J]. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 2009, 12(3): 212-220.
- [29]陈晓红;丰利芳;姚辉. Prader-Willi综合症的遗传学研究进展[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2021, 36(1): 77-80.
- [30]中华医学会医学遗传学分会遗传病临床实践指南撰写组. Prader-Willi综合症的临床实践指南[J]. *中华医学遗传学杂志*, 2020, 37(3): 318-323.
- [31]DOLCI C, RIGAMONTI A E, CAPPELLA A, 等. Robustness of Distinctive Facial Features in Prader-Willi Syndrome: A Stereophotogrammetric Analysis and Association with Clinical and Biochemical Markers in Adult Individuals[J]. *Biology*, 2022, 11(8): 1148.
- [32]JUDGE D P, DIETZ H C. Marfan's syndrome[J]. *The Lancet*, 2005, 366(9501): 1965-1976.
- [33]HILHORST-HOFSTEE Y, RIJLAARSDAM M E, SCHOLTE A J, 等. The clinical spectrum of missense mutations of the first aspartic acid of cbEGF-like domains in fibrillin-1 including a recessive family[J]. *Human Mutation*, 2010, 31(12): E1915-E1927.
- [34]DOLCI C, PUCCIARELLI V, GIBELLI D M, 等. The face in marfan syndrome: A 3D quantitative approach for a better definition of dysmorphic features[J]. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*, 2018, 31(3): 380-386.
- [35]FERRARIO V F, DELLAVIA C, SERRAO G, 等. Soft tissue facial angles in Down's syndrome subjects: a three-dimensional non-invasive study[J]. *European Journal of Orthodontics*, 2005, 27(4): 355-362.
- [36]CHONG Y, LI J, LIU X, 等. Three-dimensional anthropometric analysis of eyelid aging among Chinese women[J]. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery: JPRAS*, 2021, 74(1): 135-142.

- [37]CHONG Y, DONG R, LIU X, 等. Stereophotogrammetry to reveal age-related changes of labial morphology among Chinese women aging from 20 to 60[J]. *Skin Research and Technology*, 2021, 27(1): 41-48.
- [38]KIM Y C, KWON J G, KIM S C, 等. Comparison of Periorbital Anthropometry Between Beauty Pageant Contestants and Ordinary Young Women with Korean Ethnicity: A Three-Dimensional Photogrammetric Analysis[J]. *Aesthetic Plastic Surgery*, 2018, 42(2): 479-490.
- [39]PEI Q, LUO Y, CHEN Y, 等. Artificial intelligence in clinical applications for lung cancer: diagnosis, treatment and prognosis[J]. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 2022, 60(12): 1974-1983.
- [40]HASSAN C, SPADACCINI M, IANNONE A, 等. Performance of artificial intelligence in colonoscopy for adenoma and polyp detection: a systematic review and meta-analysis[J]. *Gastrointestinal Endoscopy*, 2021, 93(1): 77-85.e6.
- [41]WANG S, ZHANG Y, LEI S, 等. Performance of deep neural network-based artificial intelligence method in diabetic retinopathy screening: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy[J]. *European Journal of Endocrinology*, 2020, 183(1): 41-49.
- [42]BANNISTER J J, WILMS M, APONTE J D, 等. Comparing 2D and 3D representations for face-based genetic syndrome diagnosis[J]. *European journal of human genetics: EJHG*, 2023, 31(9): 1010-1016.
- [43]MENG T, GUO X, LIAN W, 等. Identifying Facial Features and Predicting Patients of Acromegaly Using Three-Dimensional Imaging Techniques and Machine Learning[J/OL]. *Frontiers in Endocrinology*, 2020, 11[2022-05-08]. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fendo.2020.00492>.
- [44]LI J, JIANG P, AN Q, 等. Medical image identification methods: A review[J]. *Computers in Biology and Medicine*, 2024, 169: 107777.
- [45]罗常伟, 於俊. 三维人脸识别研究进展综述[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2020, 61(1): 77-88.
- [46]GUO Y, WANG H, WANG L, 等. 3D Face Recognition: Two Decades of Progress and Prospects[J]. *ACM Computing Surveys*, 2023, 56(3): 54:1-54:39.
- [47]BHOPLE A R, SHRIVASTAVA A M, PRAKASH S. Point cloud based deep convolutional neural network for 3D face recognition[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2021, 80(20): 30237-30259.
- [48]O' SULLIVANE, VAN DE LANDE L S, PAPAIOANNOU A, 等. Convolutional mesh autoencoders for the 3-dimensional identification of FGFR-related craniosynostosis[J]. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 2230.

- [49]DU F, CHEN Q, WANG X, 等. Long-term facial changes and clinical correlations in patients with treated acromegaly: a cohort study[J]. *European Journal of Endocrinology*, 2021, 184(2): 231-241.
- [50]K M, M S, M F, 等. Facial soft tissue volume decreases during metreleptin treatment in patients with partial and generalized lipodystrophy[J/OL]. *Endocrine*, 2017, 58(2)[2024-10-15]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28993984/>.
- [51]MODABBER A, PETERS F, GALSTER H, 等. Three-dimensional evaluation of important surgical landmarks of the face during aging[J]. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger: Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, 2020, 228: 151435.
- [52]DAY K M, KELLEY P K, HARSHBARGER R J, 等. Advanced Three-Dimensional Technologies in Craniofacial Reconstruction[J]. *Plastic & Reconstructive Surgery*, 2021, 148(1): 94e-108e.
- [53]MILLER T R. Long-term 3-Dimensional Volume Assessment After Fat Repositioning Lower Blepharoplasty[J]. *JAMA Facial Plastic Surgery*, 2016, 18(2): 108-113.
- [54]DE GREVE G, MALKA R, BARNETT E, 等. Three-Dimensional Technology in Rhinoplasty[J]. *Facial Plastic Surgery*, 2022, 38(05): 483-487.
- [55]JACONO A A, MALONE M H, TALEI B. Three-Dimensional Analysis of Long-Term Midface Volume Change After Vertical Vector Deep-Plane Rhytidectomy[J]. *Aesthetic Surgery Journal*, 2015, 35(5): 491-503.
- [56]JAIN M, SAVAGE N E, SPITERI K, 等. A 3-Dimensional Quantitative Analysis of Volume Loss Following Submental Cryolipolysis[J]. *Aesthetic Surgery Journal*, 2020, 40(2): 123-132.
- [57]HONG J Y, JEONG G J, KWON T R, 等. Efficacy and Safety of a Novel Botulinum Toxin A for Masseter Reduction: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled, Optimal Dose-Finding Study[J]. *Dermatologic Surgery*, 2021, 47(1): e5-e9.
- [58]OTHMAN S A, AIDIL KOAY N A. Three-dimensional facial analysis of Chinese children with repaired unilateral cleft lip and palate[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 31335.
- [59]H L, H Z, X C, 等. Application of Three-Dimensional Technology in Evaluating the Lower Face Lifting by Regional Platysma Injection with Botulinum Toxin-A[J/OL]. *Aesthetic plastic surgery*, 2022, 46(5)[2024-10-14]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34993595/>.

[60]HAIDAR R, FREYTAG M D D L, FRANK K, 等. Quantitative Analysis of the Lifting Effect of Facial Soft-Tissue Filler Injections[J]. Plastic and Reconstructive Surgery, 2021, 147(5): 765e-776e.

[61]G L, P C, GS H, 等. Three-Dimensional Surface Imaging and the Continuous Evolution of Preoperative and Postoperative Assessment in Rhinoplasty[J/OL]. Facial plastic surgery : FPS, 2016, 32(1)[2024-10-14]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26862969/>.

[62]SF I, JP M, R H. Three-dimensional assessment of the effects of extraction and nonextraction orthodontic treatment on the face[J/OL]. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics, 2002, 121(3)[2024-10-14]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11941338/>.

[63]LUYTEN J, VIERENDEEL M, DE ROO N M C, 等. A non-cephalometric three-dimensional appraisal of soft tissue changes by functional appliances in orthodontics: a systematic review and meta-analysis[J]. European Journal of Orthodontics, 2022, 44(4): 458-467.

[64]ÖZTÜRK S A, MALKOÇ S, YOLCU Ü, 等. Three-dimensional soft tissue evaluation after rapid maxillary expansion and mandibular midline distraction osteogenesis[J]. The Angle Orthodontist, 2021, 91(5): 634-640.

[65]VAN LOON B, VAN HEERBEEK N, BIERENBROODSPOT F, 等. Three-dimensional changes in nose and upper lip volume after orthognathic surgery[J]. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2015, 44(1): 83-89.

[66]B A, A J. Facial phenotype in obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome: a systematic review and meta-analysis[J/OL]. Journal of sleep research, 2017, 26(2)[2024-10-15]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28019049/>.

[67]MAAL T J J, PLOOIJ J M, RANGEL F A, 等. The accuracy of matching three-dimensional photographs with skin surfaces derived from cone-beam computed tomography[J]. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2008, 37(7): 641-646.