

摄影测量技术在脊柱侧凸诊疗中的应用进展

王磊^{1,2}, 杨唐柱¹

【关键词】 脊柱侧凸; 摄影测量技术; 诊疗

【中图分类号】 R49; R681.5 【DOI】 10.3870/zgkf.2024.01.013

脊柱侧凸又称脊柱侧弯,是以冠状面偏离、矢状面失衡、水平面旋转为特征的三维畸形^[1]。根据发病原理主要分为原发性(特发性)脊柱侧凸(idiopathic scoliosis, IS)和继发性脊柱侧凸(nonstructural scoliosis, NS)^[2],其中 IS 更会导致运动、步态障碍及心理问题^[3-5]。临床上将站立位全脊柱正位 X 光片的脊柱弯曲角度即 Cobb 角 $\geq 10^\circ$ 作为脊柱侧凸诊断的金标准^[6]。对于脊柱侧凸的诊疗应遵循早发现、早诊断、早治疗的原则^[7]。

摄影测量是一种利用被摄物体影像来重建物体空间位置和三维形状的技术^[8]。在脊柱侧凸诊疗上,该技术主要是通过记录脊柱在冠状面及矢状面的细微变化来进行定量评估^[9-10]。因该技术不仅能减少辐射暴露,而且能通过比较受试者治疗前后的评估数据来监测后续的治疗效果,故近 10 余年已开始逐步应用于脊柱侧凸诊疗中^[11-13]。本文总结了摄影测量技术在脊柱侧凸筛查、诊断、治疗、预后方面的应用进展,分析其不足,以期为后续的研究提供参考。

1 在脊柱侧凸筛查中的应用

目前应用于临床的筛查方法常包括体格检查和相关无创的辅助检查。体格检查主要通过人工目视患者肩部、肩胛骨和臀部的对称性,观察 Adam 前屈试验是否阳性或应用脊柱测量尺测量躯干角度来评估^[14]。相关无创的辅助检查主要以脊柱侧凸仪、莫尔云文图像、光栅立体成像、人工智能测量为主^[15]。上述方法虽操作简便且辐射暴露低,但仍存在诸多问题:①人工体格检查工作量大、程序繁琐、效率低、主观性强、误诊及漏诊率高^[16-17];②莫尔云文图像由于仪器体积庞大、检查耗时长、效率低并不能适用于大面积的临床筛

查^[18];③光栅立体成像因对侧弯角度的测量存在明显偏差且临界值定义模糊,故其临床应用价值有限^[9];④脊柱侧凸仪对腰椎侧凸检测准确度低且对双下肢不等长的患者易存在假阴性^[19];⑤人工智能测量为新兴技术,其研究报道有限,实用价值有待进一步研究论证^[20]。

Gabor 等^[20]使用支持立体摄影的摄像机 3dMDtorso(3dMD LLC, Atlanta, GA)对 10 名 IS 患者进行躯干线性测量获取主干图像,通过使用人工测量尺进行对比,3D 立体摄影测量获得的躯干直径和周长与人工测量结果具有很强的一致性,表明摄影测量技术在筛查出躯干畸形患者具有一定的潜在价值。Rozilene 等^[21]使用 Toshiba KXO 15R (Toshiba, Tokyo, Japan)对 16 名受试者进行摄影测量,将 C7~L5 椎体进行人工标注,对获取的图像通过计算机处理软件得出受试者脊柱侧凸曲率角,通过与受试者 X 线 Cobb 角进行对比,两种方法的胸椎平均曲率角度分别为 36.43° 和 36.14° ,平均差值为 4.1° ,差异无统计学意义^[21]。可见摄影测量可能是放射测量方法的一种合适的替代方法,也可能成为替代体格检查及其他无创辅助检查的筛查手段。

2 在脊柱侧凸诊断中的应用

目前大部分地区对脊柱侧凸的确诊方法仍依赖于 X 线为主的影像学检查^[22],因其能测量出 Cobb 角及椎体旋转度,故为反映脊柱侧凸严重程度的重要手段。在 Cobb 角的测量过程中,主要是通过专业人员在 X 线成像图上进行人工测量,不仅耗时长且由于体位因素对端椎选择的影响,测量结果会因存在一定的主观性而具有相对误差。同时全脊柱 X 线摄片会存在辐射暴露问题^[23],对于接受长期随访的脊柱侧凸患者而言,辐射量的累积会增加患癌的风险^[24-26],尤其对于青少年脊柱侧凸患者,恶性疾病的患病风险更高^[27-28]。

Isis 等^[29]通过改进前期摄影测量技术,对 61 名受试者 C7~S2 每相隔一个椎体棘突处用双面胶带贴附反射标记,通过 Cybershot DSC-F717 (Sony, Tokyo,

基金项目:湖北省自然科学基金计划项目(2020BCB054)

收稿日期:2023-02-15

作者单位:1. 武汉科技大学附属武昌医院康复医学科,武汉 430063;2. 武汉科技大学医学院,武汉 430065

作者简介:王磊(1996-),男,硕士研究生,主要从事骨科康复方向的研究。

通讯作者:杨唐柱,258582639@qq.com

Japan) 进行摄影测量,获得的图片在基于数字图像的姿势评估(Digital Image Based Postural Assessment, DIPA)软件上分析图像^[29],该软件根据模拟出的脊柱曲线使用切线法计算脊柱倾斜角。此研究通过与 X 线 Cobb 角进行对比,相关系数显示具有较好的相关性,平均差值非常接近于 0,接受者操作特性(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线下面积优良,范围在 95%~99%^[29]。后续研究对 58 名疑似脊柱不对称的患者进行摄影测量,在受试者背曲情况下测量受试者躯干旋转角(Angle of Trunk Rotation, ATR)^[30],通过与脊柱侧凸仪测量进行对比具有良好的相关性^[28]。从目前研究来看,虽并无实验研究证实摄影测量可以直接测量椎体旋转度进而完全替代金标准 X 线,但从其对脊柱侧凸角度测量的精度及 3D 技术发展来看,其可能成为替代影像学方法之一。

3 在脊柱侧凸治疗中的应用

临床上一般根据 Cobb 角度的大小来制定脊柱侧凸患者的治疗方案^[31]。治疗中不仅要考虑脊柱侧凸的局部,还要注意维持脊柱整体的平衡,如在治疗过程中对脊柱曲线的认识不足可能会导致严重的不良后果。Eric^[32]等通过招募 200 名脊柱侧凸患者和 200 名无症状受试者进行研究,利用 3D 摄影测量技术,从脊柱的冠状面及矢状面投影重建脊柱的三维曲线,获得了由几何参数描述的颈、胸和腰区域连续三维脊柱曲线,通过与 X 线构建的脊柱曲线对比无明显差异。Mainard-Simard^[33]、Sudo 等^[34]也通过研究表明,通过摄影测量技术可将脊柱三维可视化,用于脊柱侧凸治疗的每个护理阶段的评估。综上,摄影测量建模有助于医务人员通过在 3 个不同的平面上显示脊柱不同程度的变形来确认脊柱侧凸部位及类型。对于无需特殊干预治疗的患者,摄影测量技术在能够及时监测病情的进展同时降低了连续影像学检查带来的辐射暴露风险;对于中重度的患者,摄影测量技术更有助于医务人员更充分了解患者脊柱的变形程度,选择合适的治疗方案,及时评估疗效。

4 在预测脊柱侧凸患者预后中的应用

对于脊柱侧凸的手术治疗指征尚存在争议,且手术对患者的创伤大、并发症较多、操作难度大,目前对于大多数脊柱侧凸尤其是 IS 患者应优先保守治疗^[35-36]。而保守治疗需行多次检查以便监测脊柱侧凸病情进展并对治疗方案进行及时的调整^[37]。考虑到金标准 X 线检查存在辐射暴露风险,且多次的放射检测会增加恶性疾病的患病风险,相对比下,摄影测量

技术不仅能降低辐射暴露风险,而且能全面采集并整合患者多方面的信息,及时为治疗提供指导意见。Justyna 等^[38]招募 50 名脊柱侧凸志愿者,通过摄影测量及 X 线监测受试者脊柱侧凸角度及脊柱前凸、后凸曲率大小的变化,发现两种方法测得的数据差异无统计学意义,测得的脊柱前后凸曲率变化具有较好的相关性,表明摄影测量技术在预测脊柱侧凸患者预后方面具有很大的潜力。

5 在脊柱侧凸诊疗中的不足

5.1 数据采集过程繁琐 目前绝大多数基于摄影测量技术的研究都需要配合人工背部标注点位以达到准确识别脊柱节段的效果,虽然配合此方法能够使准确度得到保证,但是此过程耗时较长,增加了操作的繁琐性。在脊柱侧凸筛查中,如果摄影测量技术仍需要配合人工标注多个点位,那么该项技术相比于人工体格检查便缺少一定的优势。虽就目前所有摄影测量技术相关研究来看^[37, 39-40],均已加入一定数量的人工点位,但从后续研究对比既往研究来看,点位数量在逐渐减少,而准确度有所提高,说明摄影测量技术的识别精度正在提高。如想继续推进摄影测量技术在临床筛查中的应用,减少或无需加入人工干预措施相当有必要。

5.2 适用人群相对局限 摄影测量技术作为脊柱侧凸诊疗研究领域的新兴技术,就目前的研究来看,仍处于起步阶段。虽然目前许多研究已经证实在轻中度脊柱侧凸患者人群中摄影测量技术与金标准 X 线相对比,两种方法测得数据的相关性较高,但从重度脊柱侧凸患者研究数据来看,摄影测量的检测结论虽均为阳性,但其测量得到的脊柱侧凸角度值与 Cobb 角差异较大^[11, 21, 41],这使得摄影测量技术在制定治疗方案及观察预后方面受到了一定的局限。目前摄影测量技术仍只能应用于脊柱侧凸的筛查中,对于确诊方面仍需后续配合影像学手段确诊^[27]。虽然在摄影测量技术发展的十几年中不少学者不断积极改进技术的缺陷,但就目前所有的研究来看,该技术仍一直未得到推广应用,处于不成熟阶段。对现有技术缺陷的改进需要进一步创建及部署,尤其是对于重度脊柱侧凸患者侧弯角度的测量方面需要后续研究进一步提高识别的精度。

5.3 技术研发难度、成本问题 该项技术需配合计算机程序的运算及相关摄像设备的改进,属于跨学科(医科与工科)合作研发的技术。在应用于大规模脊柱侧凸筛查的应用场景中,大量的数据对程序运算的稳定性有一定的考验。且技术识别的精度依赖于摄影设备,对于摄像设备的改进也需要相关专业团队的参与,

这样极大增加了该技术的人工成本。对于后期计算应用程序与设备的长期维护也是该技术研发难度之一。若该技术能如期应用于临床实践,在筛查方面,该技术能否得到患者的依从;在确诊方面,确诊后的患者需反复检测所带来的经济成本能否优于 X 线检查也是值得考虑的问题之一。

5.4 法律伦理 摄影测量技术在应用于脊柱侧凸诊疗中也存在许多法律及伦理问题。在临床实践中,该技术需要采集患者多项涉及隐私的信息,如何有效保护患者隐私;摄影测量技术测得的海量数据,如何能保证数据的安全性;摄影测量技术结论与传统技术结论是否存在出入;摄影测量技术的研发涉及到多个部门,若产生医疗事故,在法律和道德等层面上的责任划分问题,都是仍需后续研究值得讨论的问题。我国对于摄影测量在脊柱侧凸诊疗方面的研究尚少,相关法律法规有待完善,这都是阻碍摄影测量技术在我国推广应用的问题。

6 小结与展望

摄影测量技术凭借着较高的准确度及灵敏度开始逐步用于脊柱侧凸诊疗的研究中。在脊柱侧凸筛查方面,摄影测量技术能减轻医生在人工体格检查的负担,缩短检查时间,解决检查难度大、人工成本高的问题,有望能应用在校园、基层社区、家庭随访等大规模筛查场景中。在脊柱侧凸诊断方面,摄影测量技术凭借计算机自动测量及运算程序的优势,不会存在如人工误差等问题。在治疗及随访方面,摄影测量技术有望能降低患者因频繁辐射暴露所带来的恶性疾病患病风险及经济成本,及时为患者提供个性及有效的治疗方案,促进患者的康复,一定程度上缩短患者的治疗时间,减轻患者的痛苦。

现阶段摄影测量技术仍有一些不足,需专业医师、统计学家、计算机专家及相关法律法规部门等跨学科合作团队对诸如数据采集过程繁琐问题、重度侧凸患者识别精度问题、技术成本问题、数据安全性问题、及相关法律法规和伦理等问题进一步改进或解决,促使该技术能在临床实践中推广应用。

【参考文献】

- [1] Dunn J, Henrikson N B, Morrison C C, et al. Screening for Adolescent Idiopathic Scoliosis: Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force[J]. *Jama*, 2018, 319(2): 173-187.
- [2] Govindarajan A, Govindarajan A, Tanamala S, et al. Role of an Automated Deep Learning Algorithm for Reliable Screening of Abnormality in Chest Radiographs: A Prospective Multicenter Quality Improvement Study[J]. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 2022, 12(11): 2724.
- [3] 朱飞龙, 张明, 陈伟. 青少年特发性脊柱侧凸患者步态特征的研究进展[J]. *中国康复*, 2022, 37(1): 52-56.
- [4] 青少年特发性脊柱侧凸与伏案时长的相关性研究及其足底压力分析[J]. *中国康复*, 2020, 35(4): 187-190.
- [5] 缪蓓, 杨剑, 潘正启. 团体心理辅导对青少年特发性脊柱侧凸患者矫形器治疗期间自我外观评价和生活质量的影响[J]. *中国康复*, 2018, 33(1): 29-31.
- [6] 项林奕, 朱津博, 葛依婷, 等. 人工智能技术在脊柱侧凸诊疗中的应用进展[J]. *中华骨科杂志*, 2022, 42(6): 388-394.
- [7] 王莉, 黄晓琳, 谢凌峰, 等. 青少年特发性脊柱侧凸康复治疗现状与进展[J]. *中国康复*, 2017, 32(3): 249-253.
- [8] Zhang Z, Kang J, Feng L, et al. Practical zoom camera calibration method for close-range photogrammetry[J]. *Optics letters*, 2023, 48(2): 243-246.
- [9] Mohokum M, Mendoza S, Udo W, et al. Reproducibility of rasterstereography for kyphotic and lordotic angles, trunk length, and trunk inclination: a reliability study[J]. *Spine*, 2010, 35(14): 1353-1358.
- [10] Alexandre A S, Sperandio E F, Yi L C, et al. Photogrammetry: A Proposal Of Objective Assessment Of Chest Wall In Adolescent Idiopathic Scoliosis[J]. *Revista Paulista de Pediatria*, 2019, 37(2): 225-233.
- [11] Saad K R, Colombo A S, Ribeiro A P, et al. Reliability of photogrammetry in the evaluation of the postural aspects of individuals with structural scoliosis[J]. *Journal of bodywork and movement therapies*, 2012, 16(2): 210-216.
- [12] Hirsch C, Ilharberborde B, Mazda K. EOS suspension test for the assessment of spinal flexibility in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 2015, 24(7): 1408-1414.
- [13] Pivotto L R, Navarro I, Candotti C T. Radiography and photogrammetry-based methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane: A systematic review with meta-analysis[J]. *Gait & posture*, 2021, 84: 357-367.
- [14] Kwok G, Yip J. Postural Screening for Adolescent Idiopathic Scoliosis with Infrared Thermography[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 14431.
- [15] Moreira R, Teles A, Fialho R, et al. Can human posture and range of motion be measured automatically by smart mobile applications[J]. *Medical hypotheses*, 2020, 142: 109741.
- [16] Aroeira R M, De Las Casas E B, Pertence A E, et al. Non-invasive methods of computer vision in the posture evaluation of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Journal of bodywork and movement therapies*, 2016, 20(4): 832-843.
- [17] Pedersen P H, Vergari C, Alzakri A, et al. A reduced micro-dose protocol for 3D reconstruction of the spine in children with scoliosis: results of a phantom-based and clinically validated study using stereo-radiography[J]. *European radiology*, 2019, 29(4): 1874-1881.

- [18] Porto F, Gurgel J L, Russomano T, et al. Moiré topography: characteristics and clinical application[J]. *Gait & posture*, 2010, 32(3): 422-424.
- [19] Mangone M, Raimondi P, Paoloni M, et al. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography[J]. *European spine journal*, 2013, 22(2): 367-371.
- [20] Gabor L R, Chamberlin A P, Levy E, et al. Digital stereophotogrammetry as a new technique to quantify truncal deformity: a pilot study in persons with osteogenesis imperfecta[J]. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 2011, 90(10): 844-850.
- [21] Aroeira R M, Leal J S, De Melo Pertence A E. New method of scoliosis assessment: preliminary results using computerized photogrammetry[J]. *Spine*, 2011, 36(19): 1584-1591.
- [22] Terheyden J H, Wetterkamp M, Gosheger G, et al. Rasterstereography versus radiography for assessing shoulder balance in idiopathic scoliosis: A validation study relative to patients' self-image[J]. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 2018, 31(6): 1049-1057.
- [23] Madera M, Brady J, Deily S, et al. The role of physical therapy and rehabilitation after lumbar fusion surgery for degenerative disease: a systematic review[J]. *Journal of neurosurgery Spine*, 2017, 26(6): 694-704.
- [24] Drerup B. Rasterstereographic measurement of scoliotic deformity [J]. *Scoliosis*, 2014, 9(1): 22.
- [25] Paul S M, Chamberlin A P, Hatt C, et al. Reliability, validity, and precision of an active stereophotogrammetry system for three-dimensional evaluation of the human torso[J]. *Medical engineering & physics*, 2009, 31(10): 1337-1342.
- [26] Simony A, Hansen E J, Christensen S B, et al. Incidence of cancer in adolescent idiopathic scoliosis patients treated 25 years previously[J]. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 2016, 25(10): 3366-3370.
- [27] Bassani T, Stucovitz E, Galbusera F, et al. Is rasterstereography a valid noninvasive method for the screening of juvenile and adolescent idiopathic scoliosis? [J]. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 2019, 28(3): 526-535.
- [28] Albertsen I M, Dettmann K, Babin K, et al. Spinal postural changes during the modified Matthiass test in healthy children : Interday and interrater reliability of dynamic rasterstereographic measurements[J]. *Advances in orthopedics*, 2018, 47(7): 567-573.
- [29] Navarro I, Candotti C T, Furlanetto T S, et al. Validation of a Mathematical Procedure for the Cobb Angle Assessment Based on Photogrammetry[J]. *Journal of chiropractic medicine*, 2019, 18(4): 270-277.
- [30] Navarro I, Candotti C T, Do Amaral M A, et al. Validation of the Measurement of the Angle of Trunk Rotation in Photogrammetry[J]. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 2020, 43(1): 50-56.
- [31] Da Rosa B N, Secrieru J, Candotti C T. Analysis of postural asymmetry on sagittal plane between right and left side views using photogrammetry[J]. *Journal of bodywork and movement therapies*, 2022, 29: 251-256.
- [32] Berthonnaud E, Papin P, Deceuninck J, et al. The use of a photogrammetric method for the three-dimensional evaluation of spinal correction in scoliosis[J]. *International orthopaedics*, 2016, 40(6): 1187-1196.
- [33] Mainard-Simard L, Lan L, Fort D. The advantages of 3D imagery in diagnosing and supervising children's and teenagers' scoliosis [J]. *Archives de pédiatrie : organe officiel de la Société française de pédiatrie*, 2017, 24(10): 1029-1035.
- [34] Sudo H, Kokabu T, Abe Y, et al. Automated noninvasive detection of idiopathic scoliosis in children and adolescents: A principle validation study[J]. *Scientific reports*, 2018, 8(1): 17714.
- [35] Sanz-Pena I, Arachchi S, Curtis-Woodcock N, et al. Obtaining patient torso geometry for the design of scoliosis braces. A study of the accuracy and repeatability of handheld 3D scanners[J]. *Prosthetics and orthotics international*, 2022, 46(4): e374-e382.
- [36] 王纯, 夏楠, 王莉, 等. 青少年特发性脊柱侧凸的自然发展过程再认识[J]. *中国康复*, 2021, 36(5): 305-308.
- [37] Leal J S, Aroeira R M C, Gressler V, et al. Accuracy of photogrammetry for detecting adolescent idiopathic scoliosis progression [J]. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, 2019, 19(2): 321-329.
- [38] Drzał-Grabiec J, Truszczyńska A, Tarnowski A, et al. Comparison of parameters characterizing lumbar lordosis in radiograph and photogrammetric examination of adults[J]. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 2015, 38(3): 225-231.
- [39] De Blasiis P, Fullin A, Sansone M, et al. Quantitative Evaluation of Upright Posture by x-Ray and 3D Stereophotogrammetry with a New Marker Set Protocol in Late Onset Pompe Disease[J]. *Journal of neuromuscular diseases*, 2021, 8(6): 979-988.
- [40] Tabard-Fougère A, Bonnefoy-Mazure A, Dhoub A, et al. Radiation-free measurement tools to evaluate sagittal parameters in AIS patients: a reliability and validity study[J]. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 2019, 28(3): 536-543.
- [41] Roy S, Grünwald A T D, Alves-Pinto A, et al. A Noninvasive 3D Body Scanner and Software Tool towards Analysis of Scoliosis [J]. *BioMed research international*, 2019, 2019: 4715720.