

• 综述 •

脊柱侧凸常用步态特征评估参数应用及研究进展^{*}张静^{1,2} 综述 叶赛青^{1,2} 王谦^{1,2} 审校

(1. 四川大学华西医院康复医学中心, 四川 成都 610041; 2. 康复医学四川省重点实验室, 四川 成都 610041)

【摘要】 脊柱侧凸是一种脊柱的三维畸形,其导致一系列健康问题,如疼痛、姿势异常、步行模式异常等。步态评估有助于评估脊柱畸形改变对患者生活质量和日常活动能力障碍。三维步态分析系统包含时空参数、运动学和动力学评估方法,为脊柱侧凸患者提供客观的、量化的步态分析方法。其中,表面肌电和能量监测反映脊柱侧凸患者与健康人相比步行时肌肉生理学和能量变化。本综述对脊柱侧凸的三维步态分析、表面肌电和能量监测的研究进行总结,以全面客观的反映脊柱侧凸患者步行的生物力学改变。

【关键词】 脊柱侧凸;三维步态分析;表面肌电;能量监测;生物力学

【中图分类号】 R682.1⁺3 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2023.08.029

Application and research progress of gait characteristics of scoliosis of evaluation parameters

ZHANG Jing^{1,2} reviewing YE Saiqing^{1,2}, WANG Qian^{1,2} checking

(1. Center of Rehabilitation Medicine, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China;

2. Rehabilitation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

【Abstract】 Scoliosis is a three-dimensional deformity of the spine that causes a range of health problems such as pain, abnormal posture, abnormal walking patterns, etc. Gait assessment is useful in assessing the impact of spinal deformity changes on the patient's quality of life and impaired ability to perform daily activities. The 3D gait analysis system includes spatiotemporal parameters, kinematics and kinetic evaluation methods, providing an objective and quantitative gait analysis method for scoliosis patients. Among them, surface EMG and energy monitoring reflect changes in muscle physiology and energy when walking in scoliosis patients compared to healthy people. This review summarized studies of three-dimensional gait analysis, surface electromyography and energy monitoring of scoliosis to comprehensively and objectively reflect the biomechanical changes of walking in scoliosis patients. Walking biomechanical changes in scoliosis patients are manifested by decreased pelvic and hip range of motion, increased energy consumption, increased asymmetry of ground reaction forces, and increased duration of lumbar and pelvic muscle activation.

【Key words】 Scoliosis; 3D gait analysis; sEMG; Energy consumption; Biomechanics

良好的步行功能是维持生活质量的必备条件之一。为了得到步行能力评估的精准量化数据,三维步态分析系统已经逐渐临床化。三维步态分析系统包含三维光电捕捉系统、压力采集系统,同时可根据需要添加肌电检测系统和足底压力测试系统。临床三维步态分析的研究重点是站立位负荷的分布特点,以及步态过程中运动模式、节奏和关节力的对称性和平滑

性^[1]。分析后的结果可用于手术有效性评估、康复策略指导等^[2]。此外,三维步态分析可提供病理步态的诊断、监测运动和运动表现、观察训练和康复效果、设计拟人化步态、外骨骼系统的使用指导和假肢适配等^[3]。随着技术的不断改进,三维步态分析目前已广泛应用于临床医学、生物力学、康复工程和体育竞技类研究中。

表面肌电通过对特定肌群的检测,分析引起肌肉异常激活的原因,实时反映患者躯干和下肢特定肌群的电生理活动^[4]。然而,该技术在脊柱侧凸人群中的应用价值有待进一步的论证。但作为一种便利、无创性的评估方法,其优势明显,可动态监测肌肉活动,分析肌肉功能状态,预测脊柱进展风险,指导康复方案等。

基金项目:四川省康复辅具适配中心项目(TJCZCJJK001)

通讯作者:王谦,E-mail:wangqianwind@163.com

引用本文:张静,叶赛青,王谦.脊柱侧凸常用步态特征评估参数应用及研究进展[J].西部医学,2023,35(8):1245-1248,封三.DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2023.08.029

步行中的能量监测通过 O_2 成本 ($mL/kg/min$)、 O_2 消耗 ($mL/kg/min$)、心率、 O_2 摄取 (L/min)、外周血氧饱和度 (SpO_2) 以及呼吸频率等测量得到,通过对能量的监测能反映受试者整体的功能水平^[5]。通常情况下,为了更好地反映脊柱侧凸患者的步行能力,临床量化评估将三维步态分析、表面肌电和能耗监测进行有机结合,为医师和治疗师提供患者客观的步态特点^[6]。

1 脊柱侧凸常用步态参数研究

1.1 时空参数 对脊柱侧凸患者时空参数变化的研究结论是相互矛盾的:有研究发现与年龄匹配的对照组相比,脊柱侧凸患者的步长减小^[7]、步频下降^[8]、跨步长减少^[7, 9-12]、步宽减小^[9]、支撑相时间下降^[7, 11, 13];相反,有研究证实两组受试者时空参数无差异性或者患者跨步长增加。这些时空参数的差异性可能与脊柱畸形的严重程度、脊柱畸形的位置、骨盆的相对位置、脊柱畸形受累的个数相关^[10, 14],还可能与实验本身样本量少、实验设计有缺陷有关。另外,有文章证实步速的下降与 Cobb 角度的增加相关。

有研究根据青少年特发性脊柱侧凸 (Adolescent Idiopathic Scoliosis, AIS) 患者在不同步行环境下的时空参数特点,总结出高级功能性步行时步态特点。Mallau 等^[9]对比 17 名患者和 16 名健康受试者在不同任务和环境下行走时步速的变化,结果显示,患者平地步行、直线行走和平衡木行走速度分别下降了 15%、16% 和 16%;同时,患者平地步行和直线行走的跨步长下降 9% 和 12%。时空参数的改变可能与躯干运动对称性下降^[10]、平衡控制能力下降^[15]、应对平衡干扰的适应性策略减小^[9]、能耗增加^[16],导致步行效率下降^[12]。

Chow 团队比较了 28 名 AIS 患者和 22 名健康受试者携带不同重量背包步行时空参数的变化。通过组间对比发现,患者和健康受试者在背包重量由体重的 0% 增加到体重的 7.5%、10%、12.5% 和 15% 时,两组受试者的步速、步长、跨步长和步频均下降且两组变化量无统计学差异性^[8]。Mosaad 等^[17]研究发现当背包重量达到体重的 7.5% 时,头部姿势改变,地面反作用力增加。在研究跨越障碍物步行时,Wu 团队对比 16 名重度 Lenke1 型 AIS 患者和 16 名健康受试者发现 AIS 患者凹侧进行迈步启动时,患者出现支撑相膝关节内收角度和摆动相膝关节屈曲角度的增加,降低了足的廓清机制,从而增加跌倒风险^[18]。

综上,脊柱侧凸患者步行过程中时空参数的变化不一致,可能受到脊柱侧凸严重程度、脊柱畸形位置、小样本量实验等诸多因素的影响;另外,对于难度较大的步行任务,脊柱侧凸患者的步行效率显著下降。这些也将成为康复治疗的方向。

1.2 运动学 脊柱侧凸患者使用不同的步行策略用以代偿脊柱畸形对步行功能的影响^[19-20]。Wu 团队研究严重胸椎侧凸患者步行特点发现,虽然脊柱侧凸畸形主要发生在冠状面,但步行时三个平面的姿势均发生适应性调整伴随相关的关节负荷改变^[21]。AIS 患者步行的运动学特点包括躯干前倾角度减小^[22]、躯干横断面运动异常^[22]、骨盆额状面和横断面运动减少,髋关节横断面、额状面和矢状面运动范围均减少,膝关节矢状面运动减少^[7, 11, 13, 16, 23-24]。其可能是由于脊柱畸形导致额状

面对线异常引起骨盆错位、骨盆形态不对称以及双侧腰椎和骨盆肌肉激活时间延长,从而导致了躯干上半部平衡的补偿机制^[25]。有研究针对脊柱侧凸患者矢状面对线进行研究,发现,胸椎后凸主要依赖于脊柱畸形,而腰椎前凸主要受骨盆结构的影响。Syczewska 团队对脊柱畸形与骨盆的相关性进行了深入研究,通过对不同程度脊柱畸形患者步态的对比,发现异常步行模式与骨盆畸形成正相关^[14, 25]。

大部分研究重点关注脊柱和骨盆的解剖学改变,有研究发现脊柱侧凸患者的肩关节运动学角度存在异常,主要表现为肩胛骨位置异常、肩胛胸壁关节向上旋转范围下降以及肱骨抬高时面对线异常^[26-27]。由于目前针对脊柱侧凸患者肩关节运动学变化的研究较少,因此,需要大量高质量的研究明确脊柱侧凸患者步行时肩关节及肩胛带的运动模式。

1.3 步态对称性 对步态对称性的研究结果不具有一致性。有研究发现脊柱侧凸患者躯干对称性下降^[10]、脊柱活动范围下降^[28],且姿势控制策略各异。其可能与畸形曲线的位置、脊柱畸形的程度有关。

Nishida 等^[29]总结出单胸段 AIS (Lenke 1) 患者步行主要表现为躯干明显向脊柱凹侧旋转,即横断面躯干运动不对称;而单腰段 AIS (Lenke 5) 患者步行支撑相凸侧侧屈角度增加,即冠状面躯干运动不对称。因此,曲线位置影响了冠状面和横断面平衡,在步态中腰椎曲线比胸椎曲线可能导致更多的冠状面运动失衡。这与 Yang 团队的结论一致^[24]。Pesenti 等^[30]研究不同脊柱畸形曲线位置在步行中对躯干的影响,发现脊柱畸形曲线的位置主要影响患者步行时躯干冠状面和矢状面,对横断面躯干运动无差异。这与之前的研究结果存在矛盾,其可能是受试者的差异性,即 Nishida 团队选择的是单节段畸形的患者而 Pesenti 团队选择的是 Lenke1 和 5 型为主的脊柱侧凸患者。

Park 团队研究发现特发性脊柱侧凸患者胸廓和骨盆横断面同相运动模式明显增加,反相运动模式相对较低,且横断面和额状面的协调性明显低于健康组,骨盆在三个轴向上的运动幅度均显著降低,这一异常模式可能是由于脊柱畸形引起的躯干失衡的一种代偿机制^[11]。

1.4 动力学 脊柱侧凸畸形产生不对称的躯干旋转,从而导致脊柱的负荷不对称,因此其可以改变质量中心的位置和体重分布从而影响患者步行稳定性^[31]和双侧额状面地面反作用力对称性^[24, 32]。有研究发现,与健康对照组相比,AIS 患者步行时髋关节侧向力矩下降^[33],地面反作用力对称性下降^[19, 24]、纵向地面反作用力增加^[19, 34]、侧向地面反作用力增加^[24],其可能是由于脊柱畸形导致畸形曲线双侧做功峰值的差异性增加^[20, 34-35]、姿势控制策略的改变、平衡控制能力下降、腰椎和骨盆肌肉的收缩时间较长导致肌肉效率降低或由于实验中纳入特定病例相关^[31, 33]。

地反力的变化也可反映步行对称性但研究结果不具有一致性。有研究发现脊柱侧凸患者步行中至少有一个动力学参数(接触时间、纵向地反力的两个峰值和支撑相负重比例)存在不对称性^[35]。Park 等^[36]发现地反力时间和幅度上的差异性与脊柱严重程度和骨盆矢状面的对线相关。Raison 团队发现

AIS 患者 L5-S1 节段侧方作用力存在显著差异性^[37]。步行中动力学的变化可能是由于脊柱变形引起整体姿势控制策略的改变和深浅感觉的改变^[9,24]。

Gao 团队研究轻、中、重度脊柱侧凸患者压力中心 (Center of Pressure, CoP) 在步行中的差异性, 通过对比 30 名 AIS 患者和 30 名健康受试者, 发现不同组间在站立阶段的 CoP 位移、速度和加速度存在差异, 其中中度脊柱侧凸组的偏差最为显著, 所有实验组中足区域 CoP 轨迹的内侧-外侧移动偏差最大且足部间 CoP 进展模式也有不对称的趋势, 其结果提示脊柱侧凸患者日常行走时运动能力受到异常负荷的风险^[38]。Zhu 团队收集了 32 例健康受试者和 64 例轻、中、重度患者, 通过比较足部姿势、足底压力和步行能力的差异性, 发现中度和重度脊柱侧凸患者的足部姿势明显异常且重度患者步行中支撑相中期时间延长, 前向推进延后^[39]。另外, 有研究证实脊柱侧凸患者额状面和矢状面平衡均与足底压力的分布相关^[40-41]。

有研究显示脊柱侧凸患者中有 2/3 的 Lenkel 型受试者显示髋关节负荷不对称, 这种不对称性与胸椎畸形曲线顶点的平移和冠状面的不平衡有关, 而与胸椎主曲线的幅度无关; 相反, 是否存在继发性腰椎曲线的畸形影响其对称性和负荷特点, 在躯干的代偿机制中起着重要作用^[42]。

1.5 肌肉激活 步行过程中, AIS 患者动态调整中脊旁肌群的紧张度增加以及腰方肌、竖脊肌、臀中肌的电活动持续时间明显增加^[7, 11, 13, 23, 43]。同时, 患者股二头肌、半膜肌、股直肌、腓肠肌和胫前肌的肌电活动峰值与健康受试者存在显著性差异^[44]。有研究证实了骨盆运动角度的减小可能是由于腰椎和骨盆肌肉的长期激活导致, 即患者由于脊柱畸形导致肌肉激活模式的双侧不对称性^[28]。

成年退行性脊柱侧凸患者使用不同助行器肌群激活存在差异性, 患者使用手杖步行增加了腓肠肌内侧的激活强度, 降低了半腱肌、股直肌、腓肠肌内侧和胫前肌激活时长, 因此, 使用手杖可以潜在地促进躯干和下肢神经肌肉控制和步态力学。

1.6 能量监测 能量监测通过 O₂ 成本 (mL/kg/min)、O₂ 消耗 (mL/kg/min)、心率、O₂ 摄取 (L/min)、外周血氧饱和度 (SpO₂) 以及呼吸频率。步行中的每一步都需要质量中心的上下位移。骨盆和髋关节在额状面的运动是质量中心在垂直位移最小化的决定因素, 从而在步行时最大限度降低能量消耗。相反, Mahaudens 等^[7]证实了质量中心垂直平面位移的减少和骨盆、髋关节运动范围的下降与肌肉做功的减少成正相关。脊柱侧凸患者步行能量消耗的研究结果不一致^[5,43], 其可能是由于脊柱畸形的严重程度和能量监测不同的方法^[5]。

Mahaudens 团队纳入同年龄段健康对照组 13 人和不同严重程度 AIS 患者 (组 1: 12 人, Cobb 角度不大于 20°; 组 2: 13 人, Cobb 角度介于 20°~40°; 组 3: 16 人, Cobb 角度大于 40°), 通过比较步行时能量监测, 发现 3 组 AIS 患者步行能耗均增加^[43]。其中平均能耗增加 30%, 氧气消耗量增加 3.9 mL/Kg-min^[16]。而有研究证实患者步行中氧气消耗量减少或无明显增加^[5]。有研究显示, 心率、呼吸频率、氧饱反映能耗大小, 并发现 AIS 患者步行时平均心率和呼吸频率加快, 在 6 分钟步行测试时氧饱和度低, 步行距离短^[45]。

综上, 脊柱侧凸患者的步态特点包括骨盆和髋关节运动范围减小、能耗增加、地反力的不对称性增加^[32]以及腰椎和骨盆肌肉激活时长增加^[28]。

2 总结与展望

传统的脊柱侧凸评估主要采用影像学、临床查体和量表评估三方面。三维步态分析系统可以提供人体移动过程中脊柱侧凸患者生物力学的改变, 允许临床医师或评估者了解躯干和下肢各关节改变与病种的相关性, 为传统评估方式提供新的方向。同时, 表面肌电和能耗监测系统可以提供脊柱在动态活动中躯干和下肢目标肌群激活差异性和能耗改变的新数据, 为临床医师提供针对性的结局指标, 更好地反映步行中特定肌群的电生理活动变化和能量损耗的情况。临床上, 为了更好地掌握疾病及其不同治疗策略对患者的步态、功能, 以及生活质量的影响, 将三维步态分析、表面肌电和能耗监测系统和传统影像学检查进行有机结合, 达到优化评估体系, 提供量化的针对性的步行功能相关结局指标的目的。因此, 传统评估结合三维步态分析、表面肌电和能耗监测或将成为今后临床功能评估的新趋势。随着新技术的不断更新, 为更好地了解脊柱侧凸患者的步行能力, 应选择恰当的评估方案进行测评。在使用新的评估体系时, 也存在一定的弊端。三维步态分析系统、表面肌电的准确使用均需要进行专业的培训或跨学科团队的合作, 因此对相关专业技术人员的技术要求较高。同时, 评估的费用较高、耗时较长等问题, 需要在评估前选择合适的受试者, 达到合理分配医疗资源, 避免医疗资源的浪费。

【参考文献】

- [1] KIOPFER-KRAMER I, BRAND A, WACKERLE H, *et al.* Gait analysis-Available platforms for outcome assessment[J]. Injury, 2020, 51 Suppl 2:s90-s96.
- [2] HADDAS R, JU K L, BELANGER T, *et al.* The use of gait analysis in the assessment of patients afflicted with spinal disorders[J]. European spine journal, 2018, 27(8): 1712-1723.
- [3] 吴南, 仇建国, 朱源棚, 等. 人工智能在脊柱畸形诊疗中的应用[J]. 山东大学学报(医学版), 2023, 61(3):14-20.
- [4] 谢鸿儒, 孟琳, 张泽佩, 等. 表面肌电分析在特发性脊柱侧凸椎旁肌病变研究中的应用进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 32(9): 843-847.
- [5] WALLACE J, KING J, WHITE H, *et al.* A Cross-sectional Study of Chest Kinematics and VO₂ in Children With Adolescent Idiopathic Scoliosis During Steady-state Walking[J]. Spine, 2016, 41(9): 778-784.
- [6] 毛锐涛, 陈禹彤. 生物力学在青少年特发性脊柱侧弯中的应用进展[J]. 智慧健康, 2019, 5(2): 67-69.
- [7] MAHAUDENS P, BANSE X, MOUSNY M, *et al.* Gait in adolescent idiopathic scoliosis: kinematics and electromyographic analysis[J]. European spine journal, 2009, 18(4): 512-521.
- [8] CHOW D H, KWOK M L, AU-YANG A C, *et al.* The effect of load carriage on the gait of girls with adolescent idiopathic scoliosis and normal controls[J]. Medical engineering & physics, 2006, 28(5): 430-437.
- [9] MALLAU S, BOLLINI G, JOUVE J L, *et al.* Locomotor skills

- and balance strategies in adolescents idiopathic scoliosis[J]. *Spine*, 2007, 32(1): E14-22.
- [10] KRAMERS-DE QUERVAIN I A, MULLER R, STACOFF A, *et al.* Gait analysis in patients with idiopathic scoliosis[J]. *European spine journal*, 2004, 13(5): 449-456.
- [11] PARK H J, SIM T, SUH S W, *et al.* Analysis of coordination between thoracic and pelvic kinematic movements during gait in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *European spine journal*, 2016, 25(2): 385-393.
- [12] HABER C K, SACCO M. Scoliosis: lower limb asymmetries during the gait cycle[J]. *Archives of physiotherapy*, 2015, 5:4. doi: 10.1186/s40945-015-0001-1.
- [13] MAHAUDENS P, RAISON M, BANSE X, *et al.* Effect of long-term orthotic treatment on gait biomechanics in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *The spine journal*, 2014, 14(8): 1510-1519.
- [14] SYCZEWSKA M, GRAFF K, KALINOWSKA M, *et al.* Does the gait pathology in scoliotic patients depend on the severity of spine deformity? Preliminary results[J]. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 2010, 12(1): 25-28.
- [15] GAUCHARD G C, LASCOMBES P, KUHNAST M, *et al.* Influence of different types of progressive idiopathic scoliosis on static and dynamic postural control[J]. *Spine*, 2001, 26(9): 1052-1058.
- [16] MAHAUDENS P, DETREMBLEUR C, MOUSNY M, *et al.* Gait in adolescent idiopathic scoliosis: energy cost analysis[J]. *European spine journal*, 2009, 18(8): 1160-1168.
- [17] MOSAAD D M, ABDEL-AZIEM A A. Backpack carriage effect on head posture and ground reaction forces in school children [J]. *Work (Reading, Mass)*, 2015, 52(1): 203-209.
- [18] WU K W, LI J D, HUANG H P, *et al.* Bilateral asymmetry in kinematic strategies for obstacle-crossing in adolescents with severe idiopathic thoracic scoliosis[J]. *Gait Posture*, 2019, 71: 211-218. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.05.007.
- [19] BRUYNEEL A V, CHAVET P, BOLLINI G, *et al.* Lateral steps reveal adaptive biomechanical strategies in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Ann Readapt Med Phys*, 2008, 51(8): 630-641.
- [20] BRUYNEEL A V, CHAVET P, BOLLINI G, *et al.* Dynamical asymmetries in idiopathic scoliosis during forward and lateral initiation step[J]. *European spine journal*, 2009, 18(2): 188-195.
- [21] WU K W, WANG T M, HU C C, *et al.* Postural adjustments in adolescent idiopathic thoracic scoliosis during walking[J]. *Gait Posture*, 2019, 68: 423-429. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.12.024.
- [22] PESENTI S, PROST S, POMERO V, *et al.* Characterization of trunk motion in adolescents with right thoracic idiopathic scoliosis[J]. *European spine journal*, 2019, 28(9): 2025-2033.
- [23] KIM D S, PARK S H, GOH T S, *et al.* A meta-analysis of gait in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Journal of clinical neuroscience*, 2020, 81:196-200. doi:10.1016/j.jocn.2020.09.035.
- [24] YANG J H, SUH S W, SUNG P S, *et al.* Asymmetrical gait in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *European spine journal*, 2013, 22(11): 2407-2413.
- [25] SYCZEWSKA M, GRAFF K, KALINOWSKA M, *et al.* Influence of the structural deformity of the spine on the gait pathology in scoliotic patients [J]. *Gait Posture*, 2012, 35(2): 209-213.
- [26] TURGUT E, GUR G, AYHAN C, *et al.* Scapular kinematics in adolescent idiopathic scoliosis: A three-dimensional motion analysis during multiplanar humeral elevation[J]. *Journal of biomechanics*, 2017, 61:224-231. doi:10.1016/j.jbiomech.2017.07.029.
- [27] RAPP VAN RODEN E A, RICHARDSON R T, RUSSO S A, *et al.* Shoulder Complex Mechanics in Adolescent Idiopathic Scoliosis and Their Relation to Patient-perceived Function[J]. *Journal of pediatric orthopedics*, 2018, 38(8): 446-454.
- [28] MAHAUDENS P, MOUSNY M. Gait in adolescent idiopathic scoliosis. Kinematics, electromyographic and energy cost analysis[J]. *Studies in health technology and informatics*, 2010, 158:101-106.
- [29] NISHIDA M, NAGURA T, FUJITA N, *et al.* Position of the major curve influences asymmetrical trunk kinematics during gait in adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Gait Posture*, 2017, 51: 142-148.
- [30] PESENTI S, POMERO V, PROST S, *et al.* Curve location influences spinal balance in coronal and sagittal planes but not transversal trunk motion in adolescents with idiopathic scoliosis: a prospective observational study[J]. *European spine journal*, 2020, 29(8): 1972-1980.
- [31] KARIMI M T, KAVYANI M, KAMALI M. Balance and gait performance of scoliotic subjects: A review of the literature[J]. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 2016, 29(3): 403-415.
- [32] DARYABOR A, ARAZPOUR M, SHARIFI G, *et al.* Gait and energy consumption in adolescent idiopathic scoliosis: A literature review[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2017, 60(2): 107-116.
- [33] YAZJI M, RAISON M, AUBIN C E, *et al.* Are the mediolateral joint forces in the lower limbs different between scoliotic and healthy subjects during gait? [J]. *Scoliosis*, 2015, 10(Suppl 2): s3. doi:10.1186/1748-7161-10-s2-s3.
- [34] BRUYNEEL A V, CHAVET P, BOLLINI G, *et al.* Gait initiation reflects the adaptive biomechanical strategies of adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2010, 53(6-7): 372-386.
- [35] CHOCKALINGAM N, DANGERFIELD P H, RAHMATALLA A, *et al.* Assessment of ground reaction force during scoliotic gait[J]. *European spine journal*, 2004, 13(8): 750-754.
- [36] PARK Y S, LIM Y T, KOH K, *et al.* Association of spinal deformity and pelvic tilt with gait asymmetry in adolescent idiopathic scoliosis patients: Investigation of ground reaction force [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2016, 36:52-57. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2016.05.005.
- [37] RAISON M, BALLAZ L, DETREMBLEUR C, *et al.* Lumbosacral joint efforts during gait: comparison between healthy and scoliotic subjects[J]. *Studies in health technology and informatics*, 2012, 176:113-116.

- [38] GAO C C, CHERN J S, CHANG C J, *et al.* Center of pressure progression patterns during level walking in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *PLoS One*, 2019, 14(4): e0212161. doi: 10.1371/journal.pone.0212161.
- [39] ZHU F, HONG Q, GUO X, *et al.* A comparison of foot posture and walking performance in patients with mild, moderate, and severe adolescent idiopathic scoliosis[J]. *PLoS One*, 2021, 16(5): e0251592. doi:10.1371/journal.pone.0251592.
- [40] MA Q, LIN H, WANG L, *et al.* Correlation between spinal coronal balance and static baropodometry in children with adolescent idiopathic scoliosis[J]. *Gait Posture*, 2020, 75:93-97. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.10.003.
- [41] YI L, HOUWEI L, LIN W, *et al.* Evaluation of correlation between sagittal balance and plantar pressure distributions in adolescent idiopathic scoliosis: A pilot study[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2021, 83:105308. doi: 10.1016/j.clinbiomech. 2021.105308.
- [42] SKLENSKY J, URBASEK K, SVEHLIK M, *et al.* The relationship of hip loading asymmetry and radiological parameters of the spine in Lenke type 1 idiopathic scoliosis[J]. *Gait Posture*, 2022, 94:160-165. doi:10.1016/j.gait.2022.03.005
- [43] MAHAUDENS P, THONNARD J L, DETREMBLEUR C. Influence of structural pelvic disorders during standing and walking in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. *The spine journal*, 2005, 5(4): 427-433.
- [44] GARG B, GUPTA M, MEHTA N, *et al.* Influence of Etiology and Onset of Deformity on Spatiotemporal, Kinematic, Kinetic, and Electromyography Gait Variables in Patients with Scoliosis-A Prospective, Comparative Study[J]. *Spine*, 2021, 46(6): 374-382.
- [45] ALVES V L, AVANZI O. Objective assessment of the cardio-respiratory function of adolescents with idiopathic scoliosis through the six-minute walk test[J]. *Spine*, 2009, 34(25):926-929.

(收稿日期:2022-10-12;修回日期:2023-07-04;编辑:黎仕娟)

(上接第 1244 页)

- [21] BANAEI H, AHMED M U, LOUTFI A. Data mining for wearable sensors in health monitoring systems: a review of recent trends and challenges[J]. *Sensors (Basel)*, 2013, 13(12): 17472-17500.
- [22] SALEM J E, MANOUCHEHRI A, BRETAGNE M, *et al.* Cardiovascular Toxicities Associated With Ibrutinib[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(13):1667-1678.
- [23] 李康, 贺佳. 医学统计学[M]. 第 7 版. 人民卫生出版社, 2018:54-63.
- [24] XU Z, XU J, YAO Z, *et al.* Evaluating medical device adverse event signals using a likelihood ratio test method[J]. *J Biopharm Stat*, 2021, 31(1):37-46.
- [25] OGUNWALE A N, HAMEED F, VALDEZ L, *et al.* Elevated parathyroid hormone levels in older women treated for osteoporosis using denosumab[J]. *Eur Geriatr Med*, 2021.
- [26] KHINEA, AMINIM, NAINGS. Abstract #1003150: Elevated Parathyroid Hormone Levels Following Denosumab Treatment; A Case Series[J]. *Endocrine Practice*, 2021, 27(6S):S95.
- [27] MAINI K, DUA A. Temporomandibular Syndrome[B]. *Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*, 2023.
- [28] ANDOHT, MURATA H, TOYOSAKA A, *et al.* A Case of Intracranial Epidural Abscess Secondary to Medication-Related Osteonecrosis of the Jaw[J]. *Gan To Kagaku Ryoho*, 2019, 46(2):271-273.
- [29] MCNAMARA L M. Osteocytes and Estrogen Deficiency[J]. *Curr Osteoporos Rep*, 2021, 19(6):592-603.
- [30] LAIMER J, HECHENBERGER M, MÜLLER D, *et al.* Dental pathologies in tumor patients with bone metastases or multiple myeloma scheduled for antiresorptive therapy[J]. *Future Oncol*, 2021, 17(21):2705-2711.
- [31] IKUTA K, SAKAI T, KOIKE H, *et al.* Successful treatment with denosumab for pelvic fibrous dysplasia: A case report and review of the literature[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(49):e28138. doi: 10.1097/MD.00000000000028138.
- [32] POLYZOSSA, MAKRAS P, TOURNIS S, *et al.* Off-label uses of denosumab in metabolic bone diseases[J]. *Bone*, 2019, 129: 115048. doi: 10.1016/j.bone.2019.115048.
- [33] DÜRR HR, GRAHNEIS F, BAUR-MELNYK A, *et al.* Aneurysmal bone cyst: results of an off label treatment with Denosumab[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 456. doi: 10.1186/s12891-019-2855-y.
- [34] 伍俊妍, 郑志华. 超药品说明书用药处方评价[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2021:2-8.
- [35] 郑冬妮, 周后凤, 任常谕, 等. 基于 FAERS 挖掘阿法替尼相关不良反应信号[J]. *中国药业*, 2021, 30(14):90-93.

(收稿日期:2022-04-22;修回日期:2023-07-07;编辑:黎仕娟)