

· 专题 · 儿童足外科 ·

足与青少年特发性脊柱侧凸关系的研究进展



全文二维码

李瑞琛 周治国 伍兴 李雄涛 沈先涛

华中科技大学同济医学院附属武汉儿童医院骨科, 武汉 430000

通信作者: 沈先涛, Email: xiantaoshen9815@aliyun.com

【摘要】 青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 是常见的儿童骨科疾病, 严重危害患者健康。足作为身体重力的基础支撑, 通过足与脊柱之间的生物力学联系, 在 AIS 的发生、发展过程中与脊柱相互作用。目前, 国内外专家重点关注足与 AIS 之间的关系, 通过探索 AIS 患者足部的变化及足部改变对脊柱的影响, 期望为 AIS 的预防、早期诊断、治疗和疗效评估提供新的思路。本文将对足形态、足底压力、足时空参数与 AIS 的关系及足部干预对 AIS 的影响进行综述。

【关键词】 脊柱侧凸; 足; 外科手术; 儿童

基金项目: 湖北省自然科学基金 (2022CFB460)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202305050-005

Research progress on the relationship between the foot and adolescent idiopathic scoliosis

Li Ruichen, Zhou Zhiguo, Wu Xing, Li Xiongtao, Shen Xiantao

Department of Pediatric Orthopedic Surgery, Wuhan Children's Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430000, China

Corresponding author: Shen Xiantao, Email: xiantaoshen9815@aliyun.com

【Abstract】 Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is a common pediatric orthopedic condition that poses serious health risks. The foot, as the foundational support for body weight, interacts with the spine through bio-mechanical connections, influencing the onset and progression of AIS. Currently, experts both domestically and internationally focus on the relationships between the foot and AIS, investigating changes in foot structure in AIS patients and the impact of these changes on the spine. The researches aim to provide new insights for AIS prevention, early diagnosis, treatment, and outcome evaluation. This review discusses the relationships between foot morphology, plantar pressure, spatio-temporal foot parameters, and AIS, as well as the effects of foot intervention on AIS.

【Key words】 Scoliosis; Foot; Surgical Procedures, Operative; Child

Fund program: Natural Science Foundation of Hubei Province (2022CFB460)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202305050-005

青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 是一种三维脊柱畸形, 其 Cobb 角大于 10° , 多见于青春期或青春期前后, 发病率为 $1\% \sim 3\%$, 与其他类型脊柱侧凸的区别是, AIS 通常没有先天畸形或神经肌肉异常^[1-2]。AIS 引起的并发症较多, 患者可表现出身体畸形、呼吸功能障碍、心理健康状况受损及生活质量下降。其病因较为复杂, 遗传因素、激素水平、环境因素以及生物力学因素均与 AIS 发病相关^[3]。足作为生物力学因素中的重要一环, 与下肢、骨盆、脊柱紧密联系, 承担着重要的支撑和动态机械结构功能。足参与了身体力

学结构的形成, 足的功能变化可引起身体其他部位的变化, 同时足上方结构的变化也可反映在足的变化上^[4-8]。因此, 充分理解足与人体其他结构间的联系, 从生物力学角度探究足与 AIS 的关系, 可为 AIS 的预防、早期诊断、治疗和疗效评估提供参考依据。本文就足形态、足底压力、足时空参数与 AIS 的关系及足部干预对于 AIS 的影响进行综述。

一、足形态与青少年特发性脊柱侧凸的关系

足形态会在年龄增长、体重增加、运动强度过高或过低等因素的影响下逐渐发生变化。足形态变化会引起足踝或距下关节角度不对称、足底压力

分布异常,从而导致下肢生物力学改变,进而对人体的生物力学结构造成影响。及早发现并干预异常的足形态,对于人体生物力学结构的形成可能具有积极作用。

(一)低足弓

足弓是由足部的骨骼、关节和韧带组成的弓形结构,分为横弓、内侧纵弓和外侧纵弓三部分,在人体运动中具有减震、支撑和分散压力等功能,临床上常见的低足弓通常指内侧纵弓的降低,低足弓会导致足的负担增加,引起身体不适和运动受限。Zhu 等^[9]将 AIS 患者按侧凸的严重程度分组后分别与健康组进行比较,发现中度和重度 AIS 患者的足弓指数分别为 0.28 和 0.30,差异有统计学意义($P < 0.05$)。正常足弓指数的范围为 0.21 ~ 0.26,高于 0.26 则判定为扁平足,这意味着中度和重度 AIS 患者倾向于拥有低足弓,且侧凸程度越重,足弓水平越低。AIS 与低足弓之间的联系可能出于同一病因(如韧带松弛),也可能是低足弓影响了 AIS 的发生发展。一项大型队列研究发现,低足弓是脊柱退行性疾病的独立危险因素,提示低足弓对脊柱产生了影响^[10]。也有研究指出,低足弓是 AIS 的独立危险因素,低足弓改变了人体的力学结构,但低足弓对脊柱造成影响的具体机制目前尚不清楚^[11-12]。低足弓会引发运动学和生物力学改变,儿童更容易出现臀部、膝盖和背部疼痛或不适^[13]。低足弓儿童膝关节、髌关节的关节力矩不对称性增高,且有一定程度的骨盆旋转、骨盆倾斜,骨盆在维持矢状面平衡方面起重要作用,骨盆旋转和骨盆倾斜会诱发脊柱代偿性旋转和侧凸^[7-8,14-15]。目前类似研究较少,未来仍需要大样本研究进一步验证。

(二)跟骨外翻与拇外翻

跟骨外翻是跟骨向外旋转或移位,足内侧向下凹陷,外侧向上凸起的足部畸形。Park 等^[16]发现 AIS 患者胸椎不对称旋转角(asymmetrical thoracic rotation angles, ATRA)与跟骨外翻角呈正相关($r = 0.281$)。Khamis 等^[17]研究了四种站立状态下(包括正常站立及站立在 10°、15°、20°楔子上)人体的生物力学变化,该研究发现,随着楔子角度的增加,骨盆倾斜和旋转角度增大。Tateuchi 等^[18]研究了跟骨正常状态、诱导外翻 5°、诱导外翻 10°三种状态下单侧负重位髌关节、骨盆和胸部的三维角度,发现跟骨外翻角的增加会导致下肢旋转、骨盆倾斜和旋转、脊柱侧凸和旋转,且足弓水平低的受试者上述表现更为显著。可见跟骨外翻角通过影响骨盆的

状态,进而影响脊柱。此外,也有脊柱侧凸的变化引起足形态改变的报道, Park 等^[19]通过对 AIS 患者进行 Schroth 康复训练来纠正脊柱侧凸, AIS 患者接受康复训练后, Cobb 角平均减小 6.85°,左跟骨外翻角平均减小 3.76°,右跟骨外翻角平均减小 2.83°。拇外翻是一种进行性足部畸形,其特征为拇趾外侧偏移,第一跖骨相应内侧偏移。有研究指出拇外翻与脊柱退行性疾病的风险增加有关,提示拇外翻对脊柱同样产生了影响,同时拇外翻也与脊柱侧凸高度相关,但具体机制尚不明确^[20-21]。值得注意的是,跟骨外翻和拇外翻都是扁平足的典型表现^[22]。AIS 患者跟骨外翻角和拇外翻的变化从另一个角度提示 AIS 与低足弓之间存在联系。

二、足底压力与青少年特发性脊柱侧凸的关系

足底是身体与地面之间的主要接触点,负责承受来自身体重量和地面反作用力的力量。足底压力与人体生物力学结构密切相关, AIS 患者足底压力的变化能在一定程度上反映侧凸的严重程度和进展情况,足底承受的力量不平衡时,会引起脊柱负荷的异常分布,可能影响侧凸的发生发展。了解 AIS 患者足底压力的分布情况,可以为临床医师调整 AIS 患者生物力学结构、评估 AIS 治疗效果等提供参考依据^[5-6,23-24]。

(一)足底压力分布

足底压力分布是指足部接触地面的区域所承受力量的分布情况。通常情况下,足底压力分布并不均匀,不同的力学结构和步态特征会导致足底压力呈现出不同的分布模式。Zhu 等^[9]研究发现足底压力分布与侧凸严重程度有关,与健康组相比,中度和重度 AIS 患者内侧足跟压力显著增加,外侧足跟压力显著降低;重度 AIS 患者第一跖骨压力显著增加,第三、四、五跖骨压力显著降低。Catan 等^[5]评估了 32 例主腰弯且为左侧凸的 AIS 患者,与健康组相比,足总压力、第一和第五跖骨压力、足跟压力存在显著差异,且左足总压力较右足和健康组均显著增加,提示 AIS 患者的足底压力分布受侧凸主弯侧的影响,主弯凸侧足底压力高于主弯凹侧。这与游国鹏等^[25]主弯凹侧足底压力值明显高于主弯凸侧的研究结论不符,可能与纳入 AIS 的侧凸类型及观察指标不同有关。韩秀兰等^[23]研究发现,与健康组相比,右侧凸组左足压力显著降低,右足压力显著增加;左侧凸组右前足压力显著降低,右后足压力显著增加; S 型侧凸组左前足压力显著降低。以上研究表明, AIS 患者足底压力分布与侧凸的严重

程度、侧凸的主弯曲线以及侧凸类型均有关系,AIS 患者侧凸的变化可以在足底压力分布上得到反映。

(二) 足底压力与脊柱骨盆参数的相关性

当前很多研究关注足底压力与脊柱矢状面参数、脊柱冠状面参数、骨盆参数之间的相关性,并已证实 AIS 患者脊柱骨盆参数主要与主弯侧足底压力存在显著相关性,而与主弯对侧无显著相关性。Yi 等^[26]的研究提示,AIS 患者脊柱矢状面参数胸椎后凸角(thoracic kyphosis,TK)与主弯侧前半足压力占比($r = -0.35, P = 0.02$)呈负相关,骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT)与主弯侧后半足压力占比($r = 0.35, P = 0.02$)及整足压力占比($r = 0.45, P = 0.003$)呈正相关。贾品茹等^[27]对 AIS 患者脊柱矢状面参数的进一步研究提示,腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL)与主弯侧后半足压力占比($r = 0.338, P < 0.05$)及整足压力占比($r = 0.324, P < 0.05$)呈正相关。从相关性研究结果中可以看出,AIS 患者胸椎越往后凸,腰椎越往前凸,其前足压力占比越小,后足压力占比越大,这可能是身体为了保持平衡,将重心后移的结果。陈梦婕等^[28]对 AIS 患者脊柱冠状面参数与足底压力之间的关系进行分析,用第七颈椎侧方偏移(C7 vertebra plumb line,C7PL)与主弯顶点侧方偏移(apical translation of the major curve,AT)来反映冠状位平衡。在 AIS 患者主弯侧,前半足压力占比与 C7PL($r = 0.400, P = 0.008$)及 AT($r = 0.331, P = 0.030$)均呈正相关。脊柱骨盆参数与足底压力间的生物力学联系,主要体现在人体姿势的调节上,AIS 患者矢状面异常的胸椎后凸或腰椎前凸,及冠状面脊柱侧凸会引起身体平衡受损,身体为保持姿势的稳定,重心会相应移动,因而导致足接触面积和足底压力的改变^[26-28]。脊柱矢状面平衡与冠状面平衡也并非互相独立,两者通过椎体的旋转联系,AIS 患者通常伴有椎体旋转;骨盆在脊柱平衡的维持上也发挥了重要的作用,骨盆侧倾、骨盆前后倾也影响了脊柱平衡^[14,29]。此外,地面施加的反作用力通过足底向上传导,由双侧足底压力的异常分布产生的不平衡力矩,会引起脊柱负荷异常分布,可能影响侧凸的发生发展。AIS 患者的足底压力与骨盆、骨盆与脊柱、足底压力与脊柱之间均存在相关性,但足底压力与脊柱之间的因果关系及作用机制还有待进一步研究^[14,26-29]。

三、足时空参数与青少年特发性脊柱侧凸的关系

足时空参数是评估足部运动的量化指标,包括

步态周期、步行速度、步长、步宽等。在日常活动中,行走是最普遍的运动形式,这一运动看似简单,但维持正常步态却是一个非常复杂的过程,需要完整的多系统协作^[30]。AIS 影响了人体生物力学结构,改变了人体运动模式,几乎所有关于 AIS 患者足时空参数的研究都发现了姿势控制策略的改变、步态异常及行走效率下降^[4,6,31-34]。对足时空参数的分析可以尽早反映并评估 AIS 的进展情况。

(一) 足时空参数特征

1. 步态周期 在行走过程中,人体的步态可以分为支撑相和摆动相两个阶段。支撑相是指足接触地面到离开地面的这一段时间,摆动相是指足离开地面到再次接触地面的这一段时间。AIS 组的支撑相较健康组显著降低,摆动相较健康组显著增加^[6]。不同严重程度 AIS 患者的步态周期也存在差异,重度 AIS 患者的承重反应期提前,站立末期延迟^[9]。这可能是因为随着侧凸程度的进展,AIS 患者需要更多的时间来维持姿势稳定。支撑相和摆动相时间比例的改变会影响行走效率,并增加行走过程中的能量消耗^[35]。

2. 步行速度 步行速度是指在单位时间内的行走距离。8 项研究比较了 AIS 组与健康组之间的步行速度,其中 4 项研究发现 AIS 组的步行速度较健康组显著降低,另外 4 项研究则发现 AIS 组的步行速度与健康组无显著差异^[4,6,30,32-34,36-37]。Zhu 等^[9]研究发现,中重度 AIS 组步行速度较轻度 AIS 组显著降低,提示步行速度与侧凸程度有关。Bortone 等^[30]研究了 lenke 1~5 型 AIS 患者的步行速度,发现侧凸类型与步行速度无显著相关性。AIS 患者的步行速度与步长之间可能也存在联系,多项研究指出 AIS 患者在步长缩短的同时,往往伴随着步行速度下降^[4,30,32];但部分研究不赞同步长缩短是步行速度下降的原因,且未发现 AIS 患者与健康人的步长存在显著差异^[6,33,37-38]。此外,AIS 患者在运动中肌肉消耗的能量显著增加,以及侧凸对肺部压迫引起的通气功能下降,均是导致步行速度下降的可能原因^[2,35]。

3. 步频、步长/步幅与步宽 步频是指单位时间内行走的步数。Bortone 等^[30]研究提示,AIS 组的步频较健康组显著降低。然而,多项研究在进行侧凸类型、侧凸程度分组及负重试验后均未观察到 AIS 组与健康组之间存在步频上的显著差异^[6,32-33,37-39]。步长是指某一步左右足跟或足尖之间的距离,步幅是指相邻两步同侧足跟或足尖

之间的距离。9 项研究比较了 AIS 组与健康组之间的步长与步幅,其中 5 项研究发现 AIS 组的步长与步幅较健康组显著降低,4 项研究发现 AIS 组的步长与步幅较健康组无显著差异^[4,6,30,32-34,36-37,39]。Mallau 等^[36]研究提示,AIS 组的地面走、直线走时步幅较健康组分别缩短 9% 和 12%。步长与步幅缩短可能是为了平衡身体重心和保持稳定而进行的姿势调整。步宽是指双足中轴线的水平距离。4 项研究观察了 AIS 患者的步宽情况,3 项研究提示 AIS 组的步宽较健康组无显著差异^[6,33,36];而 Bortone 等^[30]研究提示 AIS 组的步宽较对照组显著增加。

(二)影响足时空参数的脊柱相关生物力学因素

由于行走过程的复杂性,AIS 对足时空参数的生物力学影响也是多方面的。在肢体对称与姿势控制方面,Wu 等^[33]发现 AIS 患者在行走过程中,脊柱、骨盆和下肢的运动存在明显异常,肢体在主弯凸侧与主弯凹侧表现出了明显的不对称。肢体不对称会对步态和姿势控制产生影响,进而影响患者的行走能力^[37]。在脊柱骨盆相关性方面,Syczewska 等^[40]发现 AIS 患者步长与 Cobb 角($r = -0.338$, $P = 0.002$)呈负相关,步长随脊柱侧凸 Cobb 角的增加而缩短。Thummerer 等^[41]研究发现,即使在没有脊柱侧凸的情况下,步行速度与脊柱、骨盆参数也具有显著相关性,这表明 AIS 患者步行速度的降低很可能与脊柱侧凸同时伴随了骨盆倾斜、骨盆旋转有关。在关节活动方面,AIS 患者关节活动范围受到一定限制。与健康组相比,AIS 患者表现为骨盆、髋关节前后方向和水平方向运动范围减小,膝关节弯曲和伸直过程中的角度减小^[4,33,39]。关节活动受限与 AIS 引起的身体僵硬、腰和骨盆相关肌肉激活时间延长以及姿势控制受损有关。关节活动范围减小可能会对 AIS 患者步长、步幅产生一定的影响^[30]。在肌肉活动方面,AIS 患者的肌肉收缩激活时间增加,且力量明显弱于正常人^[32,39]。Mahaudens 等^[39]研究发现在步态周期中,AIS 患者的腰方肌、脊柱伸肌、臀中肌、股直肌、半腱肌、胫骨前肌在步态周期中收缩时间占 46%,较健康组的 35% 显著增加。肌肉收缩时间的增加可能会对步态周期、步态稳定性、步幅和能量消耗产生影响。Haber 等^[32]进一步研究发现,AIS 患者的肌肉激活时间存在差异,主弯凸侧肌肉激活的峰值较主弯凹侧推迟,这种差异会对下肢步态的对称性产生影响。

四、足部干预对特发性脊柱侧凸的影响

对于 AIS 患者足形态、足底压力、足时空参数的变化,临床上尝试采用矫形鞋垫进行调整,AIS 患者在穿戴矫形鞋垫后骨盆倾斜角、高压力的足底压力百分比均出现了显著降低^[42]。使用矫形鞋垫干预 AIS 的发生发展,其机制主要是通过矫形鞋垫刺激本体感觉、改变足形态、改善足底压力分布及足时空参数,同时调整人体生物力学异常,使骨盆保持良好平衡,进而达到纠正脊柱侧凸的目的^[43]。韩秀兰等^[23]在不同侧凸类型的 AIS 患者佩戴矫形鞋垫前后,立刻进行足底测压和全脊柱 X 线片拍摄,对比两次结果,观察到矫形鞋垫短时间内有效调整了 AIS 患者的足底压力分布,但对侧凸无明显疗效。朱飞龙等^[44]对佩戴矫形鞋垫 2 个月的 AIS 患者进行分析,发现矫形鞋垫有效改善了人体异常的生物力学和步态表现,但对侧凸的疗效不明显;另一项 AIS 患者佩戴矫形鞋垫 6 个月的前瞻性研究,同样未观察到其对侧凸的治疗效果^[45]。然而, Lee 等^[43]的研究中 AIS 患者佩戴矫形鞋垫 (18.6 ± 0.70) 个月,AIS 患者 Cobb 角由最初的 (22.03 ± 4.39)° 减少到 (18.86 ± 7.53)°,且年龄较小、侧凸程度较轻的 AIS 患者 Cobb 角改善更为显著。佩戴矫形鞋垫对 AIS 患者的足形态、足底压力、步态表现、人体生物力学均有改善效果,但是在 AIS 患者侧凸的疗效上,各研究结果不一致,这可能是由于样本选择、研究设计和随访时间等因素的差异所致。

五、小结

随着生物力学的发展以及对人体结构整体观认识的加深,AIS 患者的相关研究已经不再局限于脊柱侧凸,而是开始关注身体其他部位与脊柱侧凸之间的关系。足作为身体最基础的支撑和运动部位,在生物力学上与 AIS 关系密切。足对脊柱的生物力学作用主要表现在足形态的变化,例如低足弓、拇外翻、跟骨外翻等。这些变化会导致足踝或距下关节角度不对称以及足底压力分布异常,同时引起胫骨、股骨发生旋转,及行走姿势的改变,进而导致骨盆倾斜、骨盆旋转,最终可能出现脊柱侧凸。而 AIS 对足的生物力学作用则表现在很多方面,例如身体平衡受损、姿势控制策略改变、骨盆倾斜、肢体不对称、关节活动受限等,这些变化在足部以足形态改变、足底压力分布异常、足时空参数变化的形式表现。因此对于 AIS 患者,建议进行系统性的足部评估。足部参数一定程度上可以作为诊断 AIS 的方法和评估 AIS 治疗效果的手段,同时足部力学

结构的改善可能有助于 AIS 的预防和治疗。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Dunn J, Henrikson NB, Morrison CC, 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. DOI: 10.1001/jama.2017.11669.
- [2] Kuznia AL, Hernandez AK, Lee LU. Adolescent idiopathic scoliosis: common questions and answers[J]. Am Fam Physician, 2020, 101(1): 19-23.
- [3] Peng Y, Wang SR, Qiu GX, et al. Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Chin Med J (Engl), 2020, 133(4): 483-493. DOI: 10.1097/CM9.0000000000000652.
- [4] Park HJ, Sim T, Suh SW, et al. Analysis of coordination between thoracic and pelvic kinematic movements during gait in adolescents with idiopathic scoliosis[J]. Eur Spine J, 2016, 25(2): 385-393. DOI: 10.1007/s00586-015-3931-0.
- [5] Cağan L, Cerbu S, Amaricai E, et al. Assessment of static plantar pressure, stabilometry, vitamin D and bone mineral density in female adolescents with moderate idiopathic scoliosis[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(6): 2167. DOI: 10.3390/ijerph17062167.
- [6] Liu YN, Li XL, Dou XR, et al. Correlational analysis of three-dimensional spinopelvic parameters with standing balance and gait characteristics in adolescent idiopathic scoliosis: a preliminary research on Lenke V[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2022, 10: 1022376. DOI: 10.3389/fbioe.2022.1022376.
- [7] Boryczka-Trefler A, Kalinowska M, Szczerbik E, et al. Effect of plano-valgus foot on lower-extremity kinematics and spatiotemporal gait parameters in children of age 5-9[J]. Diagnostics (Basel), 2021, 12(1): 2. DOI: 10.3390/diagnostics12010002.
- [8] Jafarnejadgero A, Majlesi M, Madadi-Shad M. The effects of low arched feet on lower limb joints moment asymmetry during gait in children: a cross sectional study[J]. Foot (Edinb), 2018, 34: 63-68. DOI: 10.1016/j.foot.2017.11.005.
- [9] Zhu FL, Hong QQ, Guo XQ, 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.
- [10] Chou MC, Huang JY, Hung YM, et al. Flat foot and spinal degeneration: evidence from nationwide population-based cohort study[J]. J Formos Med Assoc, 2021, 120(10): 1897-1906. DOI: 10.1016/j.jfma.2020.12.019.
- [11] 谈瀛. 青少年特发性脊柱侧凸的生物力学危险因素分析[J]. 颈腰痛杂志, 2019, 40(2): 234-236. DOI: 10.3969/j.issn.1005-7234.2019.02.028.
Tan Y. Analysis of biomechanical risk factors for adolescent idiopathic scoliosis[J]. The Journal of Cervicodynia and Lumbodynia, 2019, 40(2): 234-236. DOI: 10.3969/j.issn.1005-7234.2019.02.028.
- [12] 田飞, 杨一帆, 丁桃. 青少年脊柱侧凸的生物力学因素相关性研究[J]. 中国康复理论与实践, 2018, 24(4): 453-456. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2018.04.014.
Tian F, Yang YF, Ding T. Correlation between adolescent scoliosis and biomechanical factors[J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2018, 24(4): 453-456. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2018.04.014.
- [13] Kothari A, Dixon PC, Stebbins J, et al. Are flexible flat feet associated with proximal joint problems in children? [J]. Gait Posture, 2016, 45: 204-210. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.02.008.
- [14] 陈峰, 沈建雄, 邱贵兴. 青少年特发性脊柱侧凸骨盆参数与脊柱矢状面参数的相关性[J]. 中华医学杂志, 2013, 93(7): 487-490. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2013.07.003.
Chen F, Shen JX, Qiu GX. Features of pelvic parameters in adolescent idiopathic scoliosis and their relationships with spinal sagittal parameters[J]. Natl Med J China, 2013, 93(7): 487-490. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2013.07.003.
- [15] Stylianides GA, Dalleau G, Begon M, et al. Pelvic morphology, body posture and standing balance characteristics of adolescent able-bodied and idiopathic scoliosis girls[J]. PLoS One, 2013, 8(7): e70205. DOI: 10.1371/journal.pone.0070205.
- [16] Park J, Lee SG, Bae J, et al. The correlation between calcaneal valgus angle and asymmetrical thoracic-lumbar rotation angles in patients with adolescent scoliosis[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(12): 3895-3899. DOI: 10.1589/jpts.27.3895.
- [17] Khamis S, Dar G, Peretz C, et al. The relationship between foot and pelvic alignment while standing[J]. J Hum Kinet, 2015, 46: 85-97. DOI: 10.1515/hukin-2015-0037.
- [18] Tateuchi H, Wada O, Ichihashi N. Effects of calcaneal eversion on three-dimensional kinematics of the hip, pelvis and thorax in unilateral weight bearing[J]. Hum Mov Sci, 2011, 30(3): 566-573. DOI: 10.1016/j.humov.2010.11.011.
- [19] Park J, So WY. The effect of the schroth rehabilitation exercise program on spinal and feet alignment in adolescent patients with idiopathic scoliosis: a pilot study[J]. Healthcare (Basel), 2022, 10(2): 398. DOI: 10.3390/healthcare10020398.
- [20] Steinberg N, Siev-Ner I, Zeev A, et al. The association between hallux valgus and proximal joint alignment in young female dancers[J]. Int J Sports Med, 2015, 36(1): 67-74. DOI: 10.1055/s-0034-1384550.
- [21] Hsu TL, Lee YH, Wang YH, et al. Association of hallux valgus with degenerative spinal diseases: a Population-Based cohort study[J]. Int J Environ Res Public Health, 2023, 20(2): 1152. DOI: 10.3390/ijerph20021152.
- [22] 刘万林. 儿童足踝畸形诊疗现状[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(8): 701-706. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202206037-001.
Liu WL. Current status of diagnosing and treating foot and ankle deformities in children[J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21(8): 701-706. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202206037-001.
- [23] 韩秀兰, 许轶, 李小金, 等. 青少年特发性脊柱侧弯患者的足底压力差异分析及穿戴矫形鞋垫的影响[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2017, 38(4): 582-589. DOI: 10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).2017.0093.
Han XL, Xu Y, Li XJ, et al. Analysis of plantar pressure differences in patients with adolescent idiopathic scoliosis and influence of insoles on patients[J]. J Sun Yat-sen Univ (Med Sci), 2017, 38(4): 582-589. DOI: 10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).2017.0093.
- [24] Pasha S, Baldwin K. Are we simplifying balance evaluation in adolescent idiopathic scoliosis? [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2018, 51: 91-98. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2017.11.011.
- [25] 游国鹏, 杜青, 陈楠, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者步态运动学及足底压力特征分析[J]. 中华物理医学与康复杂志,

- 2013,35(7):537-541. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.07.007.
- You GP, Du Q, Chen N, et al. Gait kinematics and foot pressure distribution in adolescent idiopathic scoliosis [J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2013, 35(7):537-541. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.07.007.
- [26] 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.
- [27] 贾品茹, 成慧, 张静, 等. 青少年特发性脊柱侧弯矢状位平衡与足底压力的相关性 [J]. 医用生物力学, 2022, 37(5):846-850. DOI:10.16156/j.1004-7220.2022.05.012.
- Jia PR, Cheng H, Zhang J, et al. Correlation between sagittal balance and plantar pressure in adolescent idiopathic scoliosis [J]. J Med Biomech, 2022, 37(5):846-850. DOI:10.16156/j.1004-7220.2022.05.012.
- [28] 陈梦婕, 罗义, 马琪超, 等. 青少年特发性脊柱侧弯的冠状位平衡与足底压力的相关性 [J]. 中华全科医学, 2020, 18(4):542-546. DOI:10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.001293.
- Chen MJ, Luo Y, Ma QC, et al. Correlation between spinal coronal balance and static plantar pressure in children with adolescent idiopathic scoliosis [J]. Chin J Gen Pract, 2020, 18(4):542-546. DOI:10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.001293.
- [29] 张伟, 何希, 王季, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者冠状面 Cobb 角与矢状面参数的相关性分析 [J]. 临床骨科杂志, 2021, 24(6):782-786. DOI:10.3969/j.issn.1008-0287.2021.06.007.
- Zhang W, He X, Wang J, et al. Correlation analysis of Cobb angle and sagittal parameters in adolescent idiopathic scoliosis patients [J]. J Clin Orthop, 2021, 24(6):782-786. DOI:10.3969/j.issn.1008-0287.2021.06.007.
- [30] Bortone I, Piazzolla A, Buongiorno D, et al. Influence of clinical features of the spine on Gait Analysis in adolescent with idiopathic scoliosis [C]//2020 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA). Piscataway, NJ: IEEE Press, 2020; 1-6. DOI:10.1109/MeMeA49120.2020.9137131.
- [31] 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. DOI:10.1016/j.rehab.2016.10.008.
- [32] Haber CK, Sacco M. Scoliosis: lower limb asymmetries during the gait cycle [J]. Arch Physiother, 2015, 5:4. DOI:10.1186/s40945-015-0001-1.
- [33] Wu KW, Wang TM, Hu CC, 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.
- [34] Schmid S, Studer D, Hasler CC, et al. Quantifying spinal gait kinematics using an enhanced optical motion capture approach in adolescent idiopathic scoliosis [J]. Gait Posture, 2016, 44:231-237. DOI:10.1016/j.gaitpost.2015.12.036.
- [35] Mahaudens P, Detrembleur C, Mousny M, et al. Gait in adolescent idiopathic scoliosis: energy cost analysis [J]. Eur Spine J, 2009, 18(8):1160-1168. DOI:10.1007/s00586-009-1002-0.
- [36] Mallau S, Bollini G, Jouve JL, et al. Locomotor skills and balance strategies in adolescents idiopathic scoliosis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32(1):E14-E22. DOI:10.1097/01.brs.0000251069.58498.eb.
- [37] Yang JH, Suh SW, Sung PS, et al. Asymmetrical gait in adolescents with idiopathic scoliosis [J]. Eur Spine J, 2013, 22(11):2407-2413. DOI:10.1007/s00586-013-2845-y.
- [38] Chow DHK, Kwok MLY, Au-Yang ACK, et al. The effect of load carriage on the gait of girls with adolescent idiopathic scoliosis and normal controls [J]. Med Eng Phys, 2006, 28(5):430-437. DOI:10.1016/j.medengphys.2005.07.013.
- [39] Mahaudens P, Banse X, Mousny M, et al. Gait in adolescent idiopathic scoliosis: kinematics and electromyographic analysis [J]. Eur Spine J, 2009, 18(4):512-521. DOI:10.1007/s00586-009-0899-7.
- [40] 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. DOI:10.1016/j.gaitpost.2011.09.008.
- [41] Thummerer Y, von Kries R, Marton MA, et al. Is age or speed the predominant factor in the development of trunk movement in normally developing children? [J]. Gait Posture, 2012, 35(1):23-28. DOI:10.1016/j.gaitpost.2011.07.018.
- [42] 赵燕, 王楚怀, 李丹, 等. 矫形鞋垫用于青少年特发性脊柱侧弯体位调整的研究 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(9):684-686. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.09.013.
- Zhao Y, Wang CH, Li D, et al. Application of orthotic insole in postural adjustment of adolescent idiopathic scoliosis [J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2018, 40(9):684-686. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.09.013.
- [43] Lee JG, Yun YC, Jo WJ, et al. Correlation of radiographic and patient assessment of spine following correction of nonstructural component in juvenile idiopathic scoliosis [J]. Ann Rehabil Med, 2018, 42(6):863-871. DOI:10.5535/arm.2018.42.6.863.
- [44] 朱飞龙, 张明, 郭晓琦, 等. 矫形鞋垫对青少年特发性脊柱侧弯患者脊柱畸形和步行的改善效果 [J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(6):645-652. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2021.06.004.
- Zhu FL, Zhang M, Guo XQ, et al. Effect of insoles on patients with adolescent idiopathic scoliosis [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2021, 27(6):645-652. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2021.06.004.
- [45] Wang B, Sun Y, Guo XQ, et al. The efficacy of 3D personalized insoles in moderate adolescent idiopathic scoliosis: a randomized controlled trial [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1):983. DOI:10.1186/s12891-022-05952-z.

(收稿日期:2023-05-31)

本文引用格式: 李瑞琛, 周洽国, 伍兴, 等. 足与青少年特发性脊柱侧凸关系的研究进展 [J]. 临床小儿外科杂志, 2024, 23(11):1023-1028. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202305050-005.

Citing this article as: Li RC, Zhou ZG, Wu X, et al. Research progress on the relationship between the foot and adolescent idiopathic scoliosis [J]. J Clin Ped Sur, 2024, 23(11):1023-1028. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202305050-005.