

文章编号: 1004-7220(2022)05-0846-05

# 青少年特发性脊柱侧弯矢状位平衡与足底压力的相关性

贾品茹, 成慧, 张静, 董钊钊

(河北医科大学第三医院 康复科, 石家庄 050051)

**摘要:目的** 探讨青少年特发性脊柱侧弯(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)矢状位平衡与足底压力之间的相关性。**方法** 选取40名符合标准的AIS患者。对每位患者在X线片拍摄后进行足底压力测试。矢状位参数测量包括腰椎前凸(lumbar lordosis, LL)、胸椎后凸(thoracic kyphosis, TK)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、脊柱骶骨角(spine sacral angle, SSA)和C7矢状位垂直距离(C7-sagittal vertical axis, C7-SVA)。足底压力参数测量包括双脚前后足的接触面积和压力占比。分析矢状位参数与足底压力参数之间的相关性。**结果** 矢状位参数之间,LL与SS、PI、PT、SSA均有相关性;PI与SS、PT、SSA均有相关性;SS与SSA强相关;C7-SVA与SSA有相关性。在主弯侧,LL与后足及整足的接触面积呈负相关,与后足及整足的压力占比呈正相关;TK与前足压力占比呈负相关;PT与前、后足及整足接触面积均呈正相关。其他矢状位参数如SS、PI、SSA及C7-SVA与足底压力无关。在主弯对侧,矢状位参数与足底压力均无相关性。**结论** 在AIS中,矢状位平衡参数与足底压力分布密切相关,尤其是矢状位参数LL、TK、PT与足底压力指标最相关。

**关键词:** 青少年特发性脊柱侧弯; 矢状位平衡; 足底压力

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.05.012

## Correlation Between Sagittal Balance and Plantar Pressure in Adolescent Idiopathic Scoliosis

JIA Pinru, CHENG Hui, ZHANG Jing, DONG Zhaozhao

(Rehabilitation Department, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract: Objective** To explore the correlation between sagittal balance and plantar pressure in adolescent idiopathic scoliosis (AIS). **Methods** Forty patients meeting the criteria of AIS were selected. Plantar pressure test was conducted for each patient after they finished the X-ray shooting. The sagittal parameters included lumbar lordosis (LL), thoracic kyphosis (TK), sacral slope (SS), pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), spine sacral angle (SSA) and C7-sagittal vertical axis (C7-SVA). The plantar pressure parameters included contact area and pressure percentage of the forefoot and rearfoot. The correlation between sagittal parameters and plantar pressure parameters was analyzed. **Results** Among the sagittal parameters, LL was correlated with SS, PI, PT, SSA; PI was correlated with SS, PT, SSA; SS was strongly correlated with SSA; C7-SVA and SSA had a correlation. On the main curve side, LL was negatively correlated with contact area of the rearfoot and whole foot, and positively correlated with the pressure percentage of the rearfoot and whole foot; there was a negative correlation between TK and pressure percentage of the forefoot. PT was positively correlated with contact area of the forefoot, rearfoot and whole foot. Other sagittal parameters such as SS, PI, SSA and C7-SVA had no correlation with plantar pressures. On the opposite side of the main curve, there was no correlation

收稿日期: 2021-12-30; 修回日期: 2022-03-03

基金项目: 河北省医学科学研究重点课题计划(20160580)

通信作者: 张静, 教授, 主任医师, E-mail: jizhang2008@sina.com

between sagittal parameters and plantar pressures. **Conclusions** In the AIS, the sagittal balance is closely related to the plantar pressure distribution. In particular, the sagittal parameters LL, TK, and PT are most correlated to the plantar pressure parameters.

**Key words:** adolescent idiopathic scoliosis (AIS); sagittal balance; plantar pressure

青少年特发性脊柱侧弯(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)是一种青春期出现的复杂脊柱三维结构畸形,其特征是脊柱横断面椎体旋转、额面的侧弯以及矢状面的异常排列<sup>[1]</sup>。AIS在女性人群中易感性更高,患病率为2%~4%<sup>[2]</sup>。AIS患者通常表现出不同的严重程度和曲线模式<sup>[3]</sup>。脊柱、骨盆以及下肢作为整体相互作用,共同维持躯干在矢状面上的整体与局部平衡。通过脊柱骨盆矢状位参数可反映脊柱矢状位的平衡程度,在AIS诊断与治疗中不应被忽视。术前全面评估脊柱畸形患者的脊柱骨盆矢状面形态,对于制定手术策略以及预测术后矢状位平衡重建至关重要<sup>[4]</sup>。近年来,AIS患者脊柱-骨盆矢状位参数已被广泛研究<sup>[5-7]</sup>。但关于矢状位参数与足底压力的相关性研究,还鲜有报道。

足底压力分析可用于多种临床疾病平衡功能评估,能直观评估平衡调控时双侧下肢运动学和动力学参数的变化<sup>[8]</sup>。研究发现,与健康青少年相比,AIS患者存在足底压力双侧不对称、前后不均匀、前半足负重小、后半足负重大等差异<sup>[9-10]</sup>。青少年特发性脊柱侧弯的形式与胸部后凸和骨盆不对称等畸形密切相关,脊柱畸形影响到姿势与平衡<sup>[11]</sup>。本文探讨矢状位平衡与足底压力之间的相关性,为AIS诊断、治疗及预防提供科学的参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取2021年6月~2021年10月在河北医科大学第三医院脊柱外科和康复科门诊就诊的40名AIS患者为研究对象。本研究经河北医科大学第三医院伦理委员会批准。足底压力测试前,受试者及家属均了解其实验过程及目的,并由家长代为签署知情同意书,填写患者基础信息问卷以了解受试者年龄、体重、身高以及是否存在其他疾病等信息。其中,男性13例,女性27例,年龄(13.98±2.18)岁,身高(164.98±7.45)cm,体重(50.73±9.47)kg,身体质量指数(body mass index, BMI)为(18.58±

3.22)kg/m<sup>2</sup>,Cobb角为21.26°±9.20°。

纳入标准:①患者拍摄全脊柱正侧位拼接X线片检查,经临床医生诊断确诊为脊柱侧弯;②Cobb角大于10°;③体重不超过70kg;④年龄10~18岁;⑤没有脊柱和下肢疾患或手术史;⑥腿长差异小于1cm;⑦能够独立行走;⑧没有任何非特发性病因。

排除标准:①体重大于70kg;②脊柱、骨盆和下肢有除侧弯以外的疾病或手术史;③下肢长短差异不小于1cm;④不能站立;⑤X线片资料不全,无法测量矢状位参数;⑥不能积极配合测量足底压力数据的情况。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 影像学测量方法** 患者在放射科进行全脊柱正侧位X线片拍摄,并由同一人在医院PACS系统上对所有患者进行矢状位参数测量。矢状位参数包括:①腰椎前凸(lumbar lordosis, LL),L1椎体上终板与S1椎体上终板之间的角度;②胸椎后凸(thoracic kyphosis, TK),T5椎体上终板与T12椎体下终板之间的角度;③骶骨倾斜角(sacral slope, SS),S1上终板与水平线的夹角;④骨盆入射角(pelvic incidence, PI),经过S1上终板中点和双侧股骨头中心连线的中点(hip axis, HA)的直线,与经S1终板中点垂直于S1终板的直线的夹角;⑤骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT),经S1终板中点与HA的直线,与铅垂线之间的夹角,成角于双侧股骨头中点水平的腹侧为负,背侧为正;⑥脊柱骶骨角(spino-sacral angle, SSA),C7中心与S1上终板中点的连线与S1上终板的夹角;⑦C7矢状位垂直距离(C7-sagittal vertical axis, C7-SVA),经C7椎体中心所作的铅垂线与S1后上缘的水平距离,若铅垂线位于S1后上缘前方,则为正值,反之为负值<sup>[12]</sup>。

**1.2.2 足底压力测量方法** 在患者进行X线片拍摄后,同一天内通过Medtrack-Gait足底压力系统(芯康生物医学科技(杭州)有限公司)采集患者静态足底压力分布情况。患者脱去鞋袜,在测试板上进行2min适应性站立行走。静态测量:嘱咐患

者目视前方,双手垂于身体两侧,精神自然放松,面对墙站立在压力板上保持不动。动态测量:嘱咐患者听见语音播报开始时,以正常步速从压力板的一侧自然走向另一侧。共采集3次数据取平均值。用自带MedTrack电脑软件进行数据分析,参数采用测量中的双脚前足与后足的压力占比及接触面积。

### 1.3 统计方法

数据分析采用SPSS 21.0软件。对患者的基本信息、Cobb角、矢状位参数、足底压力数据进行描述性分析,计量资料均以均数±标准差表示。检验数据正态性,符合正态分布的数据运用Pearson相关性检验(双侧)分析矢状位各参数间的相关性以及足底压力分布与矢状位参数之间的相关性。采用配对样本 $t$ 检验分析主弯侧和主弯对侧前足与后足的压力占比及接触面积。设定置信区间为95%, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 矢状位参数之间相关性分析

在矢状位参数之间,TK与其他参数的相关性均较差( $P>0.05$ )。LL与SS( $P<0.001$ )、PI( $P=0.018$ )、PT( $P=0.008$ )、SSA( $P<0.001$ )均有相关性,且LL与SS、SSA强相关。PI与SS( $P=0.001$ )、PT( $P=0.04$ )、SSA( $P=0.001$ )均有相关性。SS与SSA( $P<0.001$ )强相关。PT与SS( $P=0.074$ )、SSA( $P=0.170$ )无相关性。C7-SVA与SSA( $P=0.025$ )有相关性(见表1)。

### 2.2 前足和后足接触面积及压力占比比较

如图1所示,前足接触面积均明显大于后足( $P<0.01$ ),前足压力占比均明显小于后足( $P<0.01$ )。

表2 矢状位参数与足底压力之间相关性分析

Tab.2 Correlation analysis between sagittal parameters and plantar pressure

参数	前足接触面积	前足压力占比	后足接触面积	后足压力占比	整足接触面积	整足压力占比
LL	-0.305	-0.127	-0.353*	0.338*	-0.427*	0.324*
TK	-0.066	-0.387*	-0.063	0.241	-0.083	-0.141
SS	-0.131	0.081	-0.246	0.105	-0.255	0.252
PI	-0.116	-0.083	-0.011	0.208	-0.068	0.194
PT	0.399*	0.040	0.352*	-0.146	0.475*	-0.160
SSA	-0.187	0.077	-0.161	0.094	-0.220	0.232
C7-SVA	0.159	-0.146	0.061	0.134	0.129	0.008

注: \* $P<0.05$ 。LL:腰椎前凸;TK:胸椎后凸;SS:骶骨倾斜角;PI:骨盆入射角;PT:骨盆倾斜角;SSA:脊柱骶骨角;C7-SVA:C7矢状位垂直距离。

表1 各矢状位参数之间的相关性分析(相关系数)

Tab.1 Correlation analysis between the sagittal parameters (correlation coefficient)

参数	TK	SS	PI	PT	SSA	C7-SVA
LL	0.088	0.801*	0.373#	-0.415*	0.639*	0.307
TK		-0.068	-0.169	-0.307	-0.216	0.101
SS			0.492*	-0.285	0.753*	0.270
PI				0.327#	0.496*	0.048
PT					-0.222	-0.044
SSA						0.354#

注: \* $P<0.01$ , # $P<0.05$ 。LL:腰椎前凸;TK:胸椎后凸;SS:骶骨倾斜角;PI:骨盆入射角;PT:骨盆倾斜角;SSA:脊柱骶骨角;C7-SVA:C7矢状位垂直距离。

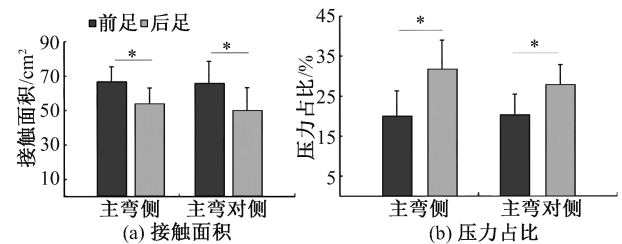


图1 前足和后足接触面积及压力占比比较(\* $P<0.01$ )

Fig.1 Comparisons of contact area and pressure percentage between the forefoot and rearfoot (a) Contact area, (b) Pressure percentage

### 2.3 矢状位参数与主弯侧足底压力之间的相关性分析

在主弯侧,LL与后足( $P=0.025$ )及整足( $P=0.006$ )的接触面积呈负相关,与后足( $P=0.033$ )及整足( $P=0.041$ )的压力占比呈正相关;TK与前足压力占比( $P=0.014$ )呈负相关,与其他参数无相关性;PT与前足( $P=0.011$ )、后足( $P=0.026$ )及整足( $P=0.002$ )接触面积均呈正相关。其他矢状位参数如SS、PI、SSA和C7-SVA与足底压力无关。在主弯侧的对侧,矢状位参数与足底压力均无相关性(见表2)。

### 3 讨论

AIS 患者稳定性降低,具有中度跌倒风险,存在平衡功能障碍<sup>[13]</sup>。脊柱侧弯是一种三维结构畸形,故冠状位、矢状位、横断位对脊柱平衡的影响值得关注。足底压力分析能够客观准确地反映静动态平衡状况。研究表明,AIS 患者冠状位平衡与足底压力相关,颈7(C7)侧方偏移和主弯顶点侧方偏移这两个指标最能够反应冠状位平衡状况<sup>[14]</sup>。脊柱的矢状位排列是了解脊柱病理生物力学的关键。人类站立姿势需要脊柱和骨盆共同保持平衡以达到能耗最小,矢状位平衡与疗效、健康生存质量密切相关<sup>[7]</sup>。本文研究矢状位平衡与足底压力分布之间的关系,结果发现,主弯侧足底压力分布与 LL、TK、PT 相关性较好;主弯对侧矢状位参数与足底压力分布无相关性;前足的接触面积大于后足,前足的压力占比小于后足。

脊柱和骨盆之间的相互关系非常重要,共同维持着矢状位的平衡<sup>[15]</sup>。首先,分析 AIS 患者矢状位脊柱、骨盆参数之间的相关性,发现 LL 与骨盆参数密切相关,该结果与文献<sup>[5-6]</sup>的研究结论相似。Upasani 等<sup>[16]</sup>研究指出,在胸弯或腰弯的特发性脊柱侧凸青少年中,LL 与 TK 不相关,该结果与本文结果一致。LL 与 TK 之间似乎独立存在,可能是两者之间并不存在某种代偿机制,也可能是样本量过少或 AIS 患者侧弯程度较轻导致的结果。此外,本文还发现,TK 与矢状位骨盆参数无关,文献<sup>[17]</sup>也得到了类似的结果。后凸畸形似乎只是一种结构参数,是脊柱侧弯的特征之一,与骨盆参数无关。本文结果还表明,TK 与前足压力占比呈负相关,而与后足无关。本文推测原因是胸部后凸,身体的重心更偏向于后方,为了维持身体的平衡使重心前移,导致前足负荷增加。

PI 是唯一独立的解剖学参数,它不随体位、姿势改变而变化<sup>[7]</sup>。有研究证明, $PI=PT+SS$ ,PI 决定了骨盆的方向和前凸的大小。PI 低提示骨盆参数较低,脊柱前凸扁平;PI 高提示骨盆倾斜,脊柱前凸明显,即 PI 较大表示骶骨坡度较陡,矢状面曲线较大<sup>[15]</sup>。AIS 患者 PI 增大,骨盆前旋,通过调节 LL、PT 相应增大,以维持脊柱直立与平衡。本文发现,LL 与主弯侧后足及整足的接触面积和压力占比均

有相关性,腰椎越往前凸,身体为了保持平衡使重心后移,增加后足负荷,减少前足的接触面积。PT 与主弯侧前后足及整足接触面积均呈较强正相关,而其他骨盆参数 PI、SS、SSA 与足底压力无相关性。

矢状面轴向距离(sagittal vertical axis, SVA)是评估脊柱矢状位平衡的可靠指标。SVA 随年龄增长而增加,SVA 越大预示躯干越向前屈,引起背部肌肉力量减弱,躯干平衡破坏<sup>[18]</sup>。本文结果表明,SVA 均值为负值,说明躯干相对向后移产生代偿作用,使患者的后足负荷增加。Lafage 等<sup>[19]</sup>研究发现,在 SVA 发生偏移时,膝、踝关节位置的变化可能会发挥补偿作用,以保持与足部的重力线关系,SVA 并没有改变重力线的作用。本研究也证明了 SVA 与足底压力并无相关性。

此外,与 C7-SVA 等线性距离相比,角度参数 SSA 对射线方式和放大率的变化不太敏感<sup>[20]</sup>。研究发现,AIS 患者的 SSA 要高于相应的正常人群,且 SSA 与 LL、PI、SS 显著相关<sup>[5,16]</sup>。SSA 的代偿性变化使得躯体重力线尽量维持在股骨头轴心附近,达到以最小能量消耗来负荷重量、维持矢状位平衡的目的<sup>[12]</sup>。因此,SSA 更多是对矢状位失平衡的一种代偿,对维持整体平衡方面具有优势,且与足底压力并不相关。

脊柱平衡是指施加在脊柱上的外力(主要是重力)和躯干肌肉反应之间的平衡,在感觉神经调节的指导下,保持稳定的直立姿势,无论是静态还是动态<sup>[21]</sup>。而失去平衡意味着患者由于脊柱畸形、肌肉骨骼结构老化或神经退行性疾病等因素导致躯体失衡,动力机制不足以代偿<sup>[21]</sup>。在儿童和青少年中,骨骼生长速度过快和姿势控制异常会影响脊柱的矢状位排列,从而影响脊柱平衡。患者通常会引起背痛和姿势异常,还可能由于对疼痛和畸形感到焦虑而导致心理健康问题。对于 AIS 患者,需要重视其足部的生物力学变化,而足底压力测试是一个较好的重复检测手段,能够及时了解患者病情变化程度,进而阻断或延缓脊柱生物力学改变对下肢骨骼肌肉的影响<sup>[22]</sup>。

本文结果表明,AIS 矢状位参数 LL、TK、PT 与足底压力指标相关,说明足底压力可能反映患者的矢状位平衡情况。其临床意义在于足底压力测试

或许可以作为 X 线检查结果的补充,以全面评估矢状位平衡,了解保守治疗前后或手术前后的效果变化。在未来,足底压力测试有可能会成为放射检查的有效替代方式,观察患者的恢复情况,从而减少多次拍摄 X 线的辐射。

本研究的局限性如下:① AIS 是一种脊柱三维畸形,本文针对矢状位平衡与足底压力的关系开展研究,尚不涉及冠状位和横断位与足底压力的关系;② 样本量较少,没有对不同 AIS 类型的样本进行分类研究;③ 尚不能用具体机制去阐释矢状位参数与足底压力的相关性,有待于进一步研究。

### 参考文献:

- [ 1 ] ALMANSOUR H, PEPKE W, BRUCKNER T, *et al.* Three-dimensional analysis of initial brace correction in the setting of adolescent idiopathic scoliosis [J]. *J Clin Med*, 2019, 8(11): 1804.
- [ 2 ] MAN GC, WANG WW, YIM AP, *et al.* A review of pinealectomy-induced melatonin-deficient animal models for the study of etiopathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Int J Mol Sci*, 2014, 15(9): 16484-16499.
- [ 3 ] GALBUSERA F, CINA A, PANICO M, *et al.* The importance of curve severity, type and instrumentation strategy in the surgical correction of adolescent idiopathic scoliosis: An *in silico* clinical trial on 64 cases [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 1799.
- [ 4 ] 邱勇. 重视脊柱骨盆矢状面平衡在退变性脊柱畸形治疗中的作用 [J]. *中华医学杂志*, 2013, 93(15): 1121-1122.
- [ 5 ] MAC-THIONG JM, LABELLE H, CHARLEBOIS M, *et al.* Sagittal plane analysis of the spine and pelvis in adolescent idiopathic scoliosis according to the coronal curve type [J]. *Spine*, 2003, 28(13): 1404-1409.
- [ 6 ] 胡攀攀, 于森, 刘晓光, 等. Lenke 1 型青少年特发性脊柱侧弯脊柱-骨盆矢状位与冠状位参数的相关性 [J]. *北京大学学报(医学版)*, 2015, 47(2): 248-252.
- [ 7 ] 叶峰, 胡建新, 施建雄, 等. 青少年特发性脊柱侧凸术前后矢状位脊柱骨盆参数的研究及意义 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2016, 24(9): 845-850.
- [ 8 ] 林强, 郑煜欣, 廖婉晨, 等. 脑卒中患者静态平衡的足底压力分析 [J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27(3): 290-296.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 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): e251592.
- [ 11 ] KIM K, MULLINEAUX DR, JEON K. A comparative study of spinal deformity and plantar pressure according to the static standing posture of female adolescents with or without idiopathic scoliosis [J]. *Iran J Public Health*, 2019, 48(2): 345-346.
- [ 12 ] 胡攀攀, 于森, 刘晓光, 等. 青少年特发性脊柱侧凸的冠状位畸形对矢状位参数的影响 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(6): 511-517.
- [ 13 ] 周璇, 杜青, 赵黎, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者的静态平衡功能研究 [J]. *中国康复医学杂志*, 2010, 25(10): 953-956.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] LEGAYE J, DUVAL-BEAUPERE G, HECQUET J, *et al.* Pelvic incidence: A fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves [J]. *Eur Spine J*, 1998, 7(2): 99-103.
- [ 16 ] UPASANI VV, TIS J, BASTROM T, *et al.* Analysis of sagittal alignment in thoracic and thoracolumbar curves in adolescent idiopathic scoliosis: How do these two curve types differ? [J]. *Spine*, 2007, 32(12): 1355-1359.
- [ 17 ] 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*, 2021, 83: 105308.
- [ 18 ] 闫瑞忠, 郭志坚, 韩树峰. 脊柱骨盆运动单位矢状位平衡与髋关节功能相关性的研究进展 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2021, 36(5): 555-557.
- [ 19 ] LAFAGE V, SCHWAB F, SKALLI W, *et al.* Standing balance and sagittal plane spinal deformity: Analysis of spinopelvic and gravity line parameters [J]. *Spine*, 2008, 33(14): 1572-1578.
- [ 20 ] MAC-THIONG JM, ROUSSOULY P, BERTHONNAUD E, *et al.* Sagittal parameters of global spinal balance: Normative values from a prospective cohort of seven hundred nine Caucasian asymptomatic adults [J]. *Spine*, 2010, 35(22): E1193-E1198.
- [ 21 ] ABELIN-GENEVOIS K. Sagittal balance of the spine [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2021, 107(1S): 102769.
- [ 22 ] 陈禹彤, 姚黎清, 李旺祥, 等. 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.