

文章编号: 1004-7220(2023)06-1160-07

# 不同侧弯类型对青少年脊柱生理曲度及骨盆运动学特征影响

刘 杨<sup>1</sup>, 王伟君<sup>1</sup>, 陆昕海<sup>1</sup>, 韩宗萍<sup>1</sup>, 汝首杭<sup>1</sup>, 陈晓生<sup>1,2</sup>, 朱智祥<sup>1,2</sup>,  
卓挺宇<sup>1</sup>, 杨 雷<sup>1,2</sup>, 颜 滨<sup>1,2</sup>

(1. 深圳市青少年脊柱健康中心, 广东 深圳 518000; 2. 深圳市第二人民医院 脊柱外科, 广东 深圳 518025)

**摘要:**目的 探讨不同弯形青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)患者站立位及行走时脊柱、骨盆运动学特征,为康复形体训练提供可参考建议。方法 使用 Diers 4D motion 模块测量 45 名单弯、45 名双弯 AIS 患者及 27 名健康青少年站立位及行走状态下胸曲角、腰曲角,以及骨盆旋转和骨盆倾斜参数。结果 站立位健康组胸曲角(40.67°)和腰曲角(39.68°)角度最大,步行时双弯组胸曲增大角度(6.1°)最大,健康组胸曲增大角度(-10.37°)最小;站立位下单弯组的骨盆倾斜方向与主弯同向。结论 相对于站立位,步行时 3 组胸曲角运动趋势主要以减少为主,且受到侧弯类型的影响,腰曲角则在 3 组中均表现为减少;两侧弯组站立位骨盆三维形态受腰椎代偿弯影响,且步行时骨盆旋转功能与腰椎代偿弯和骨盆初始位置有关。建议治疗师在进行患者骨盆功能评估和训练时,应充分考虑侧弯弯形可能带来对结果的影响,并有针对性地对盆活动度不足侧进行松解和功能训练,提高骨盆运动功能的对称性。

**关键词:** 青少年特发性脊柱侧凸; 骨盆运动功能; 脊柱; 表面形态

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.06.016

## Effects of Different Scoliosis Curves on Physiological Curvature of Spine and Kinematic Characteristics of Pelvis in Adolescents

LIU Yang<sup>1</sup>, WANG Weijun<sup>1</sup>, LU Xinhai<sup>1</sup>, HAN Zongping<sup>1</sup>, RU Shouhang<sup>1</sup>, CHEN Xiaosheng<sup>1,2</sup>,  
ZHU Zhixiang<sup>1,2</sup>, ZHUO Tingyu<sup>1</sup>, YANG Lei<sup>2</sup>, YAN Bin<sup>1,2</sup>

(1. Shenzhen Youth Spine Health Center, Shenzhen 518000, Guangdong, China; 2. Department of Spine Surgery, Shenzhen Second People's Hospital, Shenzhen 518025, Guangdong, China)

**Abstract: Objective** To explore kinematic characteristics of the spine and pelvis for adolescent idiopathic scoliosis (AIS) patients with different scoliosis curves during standing and walking, and provide reference suggestions for body training in rehabilitation. **Methods** The thoracic and lumbar angles, as well as pelvic rotation and pelvic tilt parameters of 45 patients with single curve, 45 patients with double-curve and 27 healthy adolescents were measured in standing position and during walking by using Diers 4D motion module. **Results** The thoracic angle (40.67°) and lumbar angle (39.68°) in healthy group in standing position were the largest, the thoracic enlargement angle (6.1°) in double-curve group was the largest, and the thoracic enlargement angle (-10.37°) in healthy group was the smallest. The rotation direction of the pelvis in scoliosis group was the same

收稿日期: 2023-03-13; 修回日期: 2023-04-19

基金项目: 深圳市自然科学基金项目(JCYJ20210324103010029)

通信作者: 颜滨, 主任医师, 硕士生导师, E-mail: yanbinzhiyou@163.com

as that of the main curve, and the inclination direction of the pelvis in single curve group was the same as the main curve. **Conclusions** Compared with the standing position, the motion trend of the thoracic angle in three groups during walking was mainly reduced, and affected by the scoliosis curve. The lumbar angle decreased in three groups. The three-dimensional (3D) pelvic morphology of scoliosis groups in standing position was affected by compensatory curve of the lumbar, and the dynamic rotation function of the pelvis was related to compensatory curve of the lumbar and initial position of the pelvis during walking. It is suggested that therapists should fully consider the potential impact of scoliosis curves on the results when evaluating and training the patient's pelvic function, and provide targeted relaxation and functional training on the side with insufficient pelvic mobility to improve the symmetry of pelvic motor function.

**Key words:** adolescent idiopathic scoliosis (AIS); pelvic motion function; spine; surface morphology

青少年特发性脊柱侧凸 (adolescent idiopathic scoliosis, AIS) 是一种复杂的脊柱和骨盆三维结构畸形, 患者的生理曲度和骨盆形态会在脊柱侧弯生长过程中发生变化<sup>[1-2]</sup>。因此, 脊柱生理曲度及骨盆运动学特征的研究对于 AIS 的病理演变、治疗及跟踪随访具有重要意义。

骨盆是脊柱向下方的延展, 是脊柱和下肢的纽带及脊柱的力学基础。一方面, 骨盆特有的多连杆系统结构有利于维持人体平衡和姿势稳定, 而骨盆的错位和过度旋转会影响脊柱的不稳定性, 影响脊柱侧弯的发生和进展<sup>[3]</sup>; 另一方面, 骨盆旋转也是脊柱平衡的重要补偿机制<sup>[4-5]</sup>, 对其深入研究有助于手术中脊柱融合策略的选择。

目前针对骨盆的研究主要集中在矢状面, 其中骨盆入射角 (pelvic incidence, PI) 通过与其相关的脊柱参数对脊柱的矢状位形态产生影响, 可真实反映骨盆的解剖形态。PI 个体间存在一定差异, 随着生长发育会有一些的变化, 但生长发育成熟后变化不大, 不会因为体位及其他矢状位参数的变化而变化<sup>[6]</sup>。一项针对 AIS 患者胸椎后凸不足、腰椎前凸和矢状位骨盆参数之间的关系的研究结果显示, 正常人胸曲角受 PI 的影响, AIS 胸弯患者腰曲角不受 PI 的影响<sup>[7]</sup>。此外, X 线测量骨盆旋转有一定局限性, 结果会受到体位等因素影响。CT 对骨盆旋转测量有明显优势, 但会增加患者的辐射剂量。目前, 国内外对骨盆旋转的研究较少, 更鲜见研究对于运动过程中的脊柱和骨盆的关联运动进行描述。

尽管脊柱侧弯会影响骨盆三维运动<sup>[8-9]</sup>, 但在躯干-骨盆耦合运动中, 主弯方向如何影响骨盆运动尚不清楚。此外, 医生在为患者进行手术定位时,

没有专门方案来解决骨盆对齐问题, 只是减少脊柱主弯畸形。因此, 了解骨盆运动及其在躯干-骨盆耦合运动中的整体作用, 有助于确定手术参数, 特别是与活动度相关的参数。基于以上现状, 本文通过研究三维脊柱畸形与骨盆运动学参数之间作用关系, 探寻 AIS 中脊柱弯形对骨盆运动学的影响。研究结果可为深入理解侧弯患者的骨盆三维运动以及为医生选择手术策略提供参考, 并为侧弯保守治疗中骨盆活动度的针对性功能训练提供理论支撑。

## 1 研究方法

### 1.1 实验对象

招募 117 名青少年, 分为单弯组 (包括右胸单弯、右胸腰单弯组) 45 人、双弯组 (包括右胸主弯左腰次弯、右胸腰主弯左腰次弯组) 45 人、健康对照组 27 人。受试者基本信息见表 1。所有青少年身体质量指数 (body mass index, BMI) 均低于  $29 \text{ kg/m}^2$ , 以减少肥胖对测量结果的影响<sup>[10]</sup>。本研究通过深圳市第二人民医院伦理委员会审批, 所有受试者自愿参与研究并签署知情同意书。

表 1 受试者基本信息

Tab. 1 Basic information of the subjects

| 参数                                    | 单弯组        | 双弯组       | 健康组       |
|---------------------------------------|------------|-----------|-----------|
| 年龄/岁                                  | 12.0±2.2   | 12.2±1.8  | 12.7±1.7  |
| 身高/cm                                 | 160.7±12.3 | 159.7±9.5 | 163.0±9.9 |
| 体质量/kg                                | 49.0±12.6  | 46.1±9.6  | 46.1±12.2 |
| BMI/( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) | 19.0±2.9   | 20.0±2.6  | 18.7±2.3  |
| Cobb 角/(°)                            | 17.7±5.7   | 21.3±9.7  | —         |

侧弯患者入组标准为: ① 半年内无腰部和下肢外伤史; ② 无运动功能障碍; ③ 无明显腰痛和

下背部疼痛;④年龄9~17岁;⑤被临床医生诊断为AIS。排除标准为:①有任何已知的脊柱疾病、神经疾病;②半年内未做过骨盆或腹部手术;③姿势疼痛、或之前进行过特定姿势训练和怀孕人群;④有任何背部皮肤疤痕者不会被纳入测试;⑤ $BMI \geq 29 \text{ kg/m}^2$ 。

健康青少年入组标准为:在2020~2022年深圳市中小學生校园脊柱侧弯筛查中结果为非侧弯并自愿参与本研究的青少年,年龄9~17岁。

## 1.2 实验设备

本测试分别使用分别采用 Diers (DIERS International GmbH 公司,德国)系统中 Formetric 4D Average 和 Formetric 4D Motion 模块采集站立位及步行时骨盆的三维运动学参数和脊柱的生理曲度参数。横向误差小于 0.20 mm,深度误差小于 0.25 mm。Formetric 4D Average 模块采集频率 2 Hz/s,采集时间为 6 s,Formetric 4D Motion 模块采集频率 60 Hz/s,采集时间为 5 s。该设备已被证明具有良好的可重复性,以及和 X 线强相关性<sup>[11-13]</sup>。

## 1.3 试验过程

受试者在数据采集前要脱掉鞋袜和上衣,使上身裸露,降低裤线,露出骶骨,去除掉耳环、项链等可能遮挡腰背部皮肤或可能反光的物品,确保头发不会遮挡背部和颈部的皮肤。步行前,操作员将跑步机上安全绳卡在受试者左腰,以确保受试者在摔倒、走出跑步机履带情况下安全绳断开,跑步机立

即停止运行。数据采集前受试者在跑步机上以习惯速度行走 1~2 min [见图 1(a)]。动静态测量前操作员会在遮挡室内其他光源,并调节升降柱使基准线对齐肩胛骨下角,确保受试者头部到臀部全部出现在摄像机内再开始测试。测试时操作者会调节跑步机速度至受试者最适步行速度,待受试者匀速行走状态稳定后,开始数据采集。操作员采集受试者 5 s 内稳定的步行数据后,通知受试者采集结束,并停止跑步机运行。

## 1.4 实验参数

临床上是通过 Cobb 角度来诊断脊柱侧凸,根据 2016 Sosort 指南,特发性脊柱侧弯分型如下:①胸弯。顶椎在第 1、2 胸椎椎间盘至第 11、12 胸椎椎间盘之间;②胸腰弯。顶椎在第 12 胸椎至第 1 腰椎之间;③腰弯。顶椎在第 1、2 腰椎椎间盘;④主弯。双弯中 Cobb 角度较大的弯 [见图 1(c)]。

拐点定义:凸曲线与凹曲线的连接点,曲线上二阶导数为 0 的点 [见图 1(d)]。拐点包括颈胸拐点 (inflection point cervical thoracic, ICT)、胸腰拐点 (inflection point thoracic lumbar, ITL) 和腰骶拐点 (inflection point lumbar sacral, ILS)。

**1.4.1 胸曲角和腰曲角** ①站立位胸曲角:站立状态下的胸曲角度;②站立位腰曲角:站立状态下的腰曲角;③胸曲增大角度:运动中最大胸曲角-站立位胸曲角;④胸曲减少角度:站立位胸曲角-运动中最小胸曲角;⑤腰曲增大角度:运动中最大

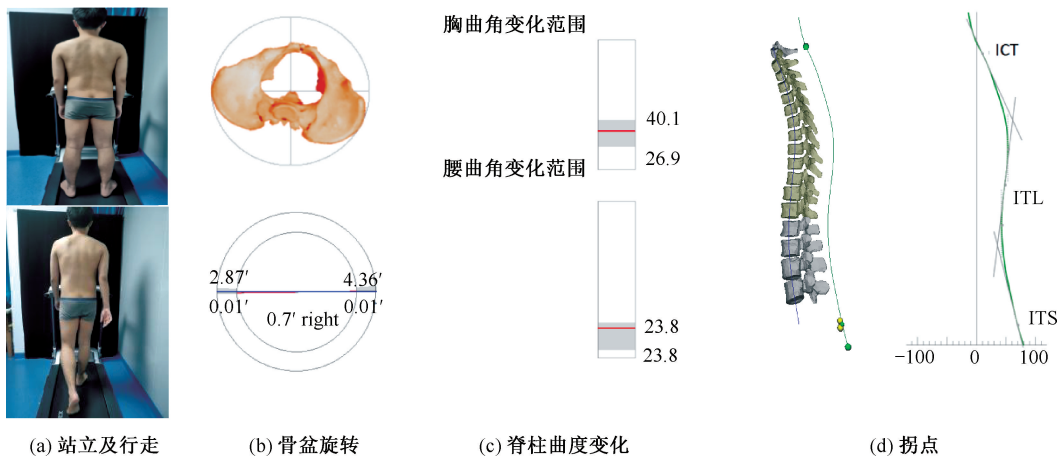


图1 测试及参数示意图

Fig. 1 Testing and parameter diagram (a) Standing and walking, (b) Pelvic rotation, (c) Changes of spinal curve, (d) Inflection point

腰曲角-站立位腰曲角;⑥ 腰曲减少角度:站立位腰曲角-运动中最小腰曲角(见表2)。

表2 脊柱曲度和骨盆参数

Tab.2 Spine curve and pelvic parameters

| 部位 | 参数    | 定义  |
|----|-------|---|
| 脊柱 | 胸曲角   | 过颈胸拐点和胸腰拐点两点的切线的夹角                                  |
|    | 腰曲角   | 过胸腰拐点和腰骶拐点两点的切线的夹角                                  |
|    | 骨盆倾斜角 | 髂后上棘连线和水平线在额状面的夹角,正值代表右侧髂后上棘高于左侧,负值代表左侧髂后上棘高于右侧     |
| 骨盆 | 骨盆旋转角 | 过左右髂后上棘表面法线与前后方向水平线在水平面内所形成角度的平均值,正值代表骨盆右旋,负值代表骨盆左旋 |

1.4.2 骨盆参数 ① 站立位骨盆倾斜角:站立状态下的骨盆额状面倾斜角;② 站立位骨盆旋转角:站立状态下的骨盆水平面旋转角度;③ 骨盆左倾变化角度:步行中骨盆左倾最大角-站立位骨盆倾斜角;④ 骨盆右倾变化角度:步行中骨盆右倾最大角-站立位骨盆倾斜角;⑤ 骨盆左旋变化角度:步行中骨盆左旋最大角度-站立位骨盆水平旋转角度;⑥ 骨盆右旋变化角度:步行中骨盆右旋最大角度-站立位骨盆水平旋转角度(见表2)。

### 1.5 统计方法

使用 SPSS 25.0 对各组数据进行统计分析,对数据进行正态性检验和方差齐性检验。各组站立腰曲角、站立胸曲角均服从正态分布且方差齐性的数据,组间采用独立样本 *t* 检验比较差异性,数据结果以均数±标准差形式表示;其他两组对比数据至少 1 组不服从正态分布,采用非参数秩和检验比较差异性,数据结果以中位数四分位数间距表示。*P*<0.05 代表差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 胸曲角和腰曲角参数

如图2所示,健康组站立位胸曲角最大,3组组间差异无统计学意义(*P*>0.05);步行时双弯组胸曲增大角度最大,健康组胸曲增大角度最小(*P*<0.01);健康组胸曲减小角度最大,双弯组胸曲减小角度最小(*P*<0.05)。步行时,胸曲角在站立位角度基础上呈上下波动的趋势,单弯组和健康组胸曲减小角度均大于增大的角度(*P*<0.01);站立位腰曲角健康组最大,3组组间差异无统计学意义

(*P*>0.05);由于步行时腰曲最大和最小角度均明显低于站立位腰曲角,故图2中腰曲角增大角度并不实际存在,实际为减小角度,但根据参数定义,将其表述为腰曲角增大角,且数值为负。腰曲增大角度健康组与双弯、单弯组差异明显(*P*<0.01);胸曲减小角度健康组最大,与双弯组差异无统计学意义(*P*<0.01);胸曲增大角度,健康组与双弯、单弯组差异无统计学意义(*P*<0.01,*P*<0.05)。

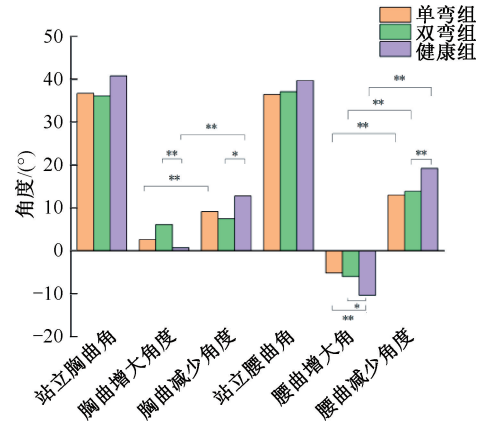


图2 胸曲角和腰曲角比较(\**P*<0.05, \*\**P*<0.01)

Fig.2 Comparison of thoracic and lumbar angles

### 2.2 骨盆参数

如图3所示,站立位下3组均出现骨盆右旋,侧弯组骨盆旋转方向与主弯一致,单弯组和双弯组骨盆相对健康组分别旋右和旋左,且单弯组和双弯组组间差异有统计学意义(*P*<0.05)。运动中双弯组骨盆左旋角度最小,健康组骨盆左旋最大,且有显著差异(*P*<0.05);双弯组骨盆右旋角度大于单弯组

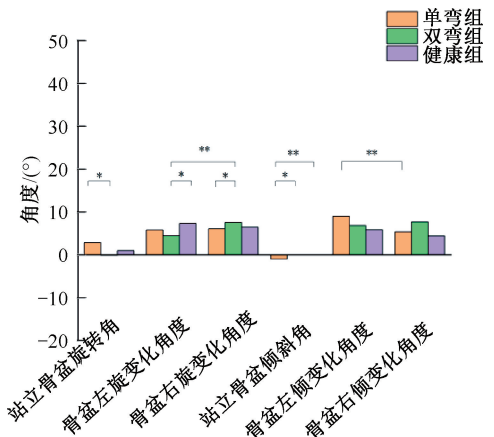


图3 骨盆参数比较(\**P*<0.05, \*\**P*<0.01)

Fig.3 Comparison of pelvic parameters

( $P < 0.05$ ), 双弯组组内右旋显著大于左旋。

站立位下单弯组的骨盆倾斜方向与主弯同向, 骨盆右倾(左侧骨盆高度>右侧骨盆高度), 且与另外两组差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); 步行时, 骨盆左倾变化角度单弯组最大, 健康组最小, 骨盆右倾变化角度双弯组最大, 健康组最小, 但步行时3组组间左倾和右倾变化角度差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 脊柱曲度

脊柱矢状面排列相关研究一直是脊柱侧弯发病机制的研究热点之一<sup>[14-17]</sup>, 脊柱的矢状面曲度常被作为脊柱侧弯发生和发展的预后因素。有研究显示, 脊柱矢状面错位排列有利于脊柱缓冲压力、维持稳定。步行状态下, 人体颈、胸、腰椎前方向上进行同步位移移动, 同时进行上下移动和左右摆动的协调运动, 时刻调整人体的重心, 维持步行运动的稳定性。此时, 胸椎、腰椎各自的旋转和侧屈, 腰椎和骶骨区域侧屈和旋转均进行空间角度和空间位移的生物力学耦合运动, 共同起到维持姿态稳定、吸收能量、缓冲减震的作用<sup>[18]</sup>。动作捕捉研究显示, 人体步行存在环节运动特性, 躯干各环节在水平面旋转和冠状面侧曲较为明显, 而在矢状面上做屈伸运动的范围较小。而与三维动捕红外采集的研究方法不同, 本文采用表面形态学的动态模式获取患者步行状态下背部、骨盆、下肢的实时同步变化数据, 弥补了X线不能动态采集和三维动捕中反光点与皮肤相对滑动的问题。本文发现, 站立位健康组胸曲角最大, 步行时健康组和单弯组胸曲角增大角度均小于减少的角度, 双弯组增大和减少角度一致(见图2)。该结果证明, 人体行走时胸椎的生理曲度角度变化规律主要以角度减少为主, 这是由于步行时人体背部肌肉适度紧张, 在一定程度上抵消前进方向上前倾力矩, 保持躯干直立和维持平衡。双弯组由于结构稳定的脊柱代偿结构, 步行时胸曲减少角度小于正常组和单弯组, 而更多地采用增加胸曲角的方式来保证脊柱的屈伸功能。站立位腰曲角与胸曲角特征一致, 各组腰曲减少角度均大于腰曲增大角度, 且健康组腰曲变化角度最多。步行时人体胸曲角及骨盆的变化、腹肌、臀后侧肌

群收缩共同导致腰曲角度的减少, 导致步行过程中腰曲角一直保持小于站立时腰曲角的状态。综上所述, 步行时胸椎和腰椎生理曲度的动态变化规律共同参与人体步行时整体姿势的稳定和缓冲策略。

#### 3.2 骨盆参数

尽管站立位下脊柱矢状面参数(后凸和前凸)与骨盆形态参数(骨盆入射角、骨盆倾斜角、骶骨倾斜角)之间存在显著相关性<sup>[19]</sup>, 但这些参数仅为腰椎-骨盆相邻处的矢状面特征, 致密的解剖学连接使其在人体行走时骨盆动力学变化过程中总是保持相对稳定。以往研究中也很难找到仅从矢状面参数清楚地呈现骨盆动态作用下的变化。因此, 这一研究方向上应重点关注骨盆额状面倾斜和水平面旋转参数的静、动态情况。

骨盆被认为是人体中除颈、胸、腰椎外第4个旋转平面, 即“骨盆椎”<sup>[20]</sup>, 具有代偿旋转扭矩以及协同其他节段或平面维持身体平衡作用。Gum等<sup>[21]</sup>认为, 不同侧弯类型下左右髂骨宽度不一致是由骨盆旋转引起, 同时在大多数具有代偿性胸腰/腰椎曲线的患者中, 骨盆横向补偿旋转的方向与主胸部的方向相同。本文的研究结果与其一致, 步行中双弯组骨盆向右旋转代偿角度大于左旋( $P < 0.05$ ), 证明骨盆的异常形态可能与骨盆在主弯方向水平旋转的耦合效应有关<sup>[22]</sup>。邱勇等<sup>[23]</sup>研究认为, 在双弯弯形中腰弯柔韧性可能是影响主胸弯骨盆旋转的重要因素之一, 腰弯患者柔韧性好且腰椎活动度较大, 其骨盆容易向腰弯相反方向代偿性旋转; 反之, 腰弯僵硬且活动度差会制约骨盆代偿旋转, 使骨盆伴随腰弯保持向腰弯侧旋转。骨盆和腰椎间存在协同代偿关系, 当腰椎代偿显著时, 骨盆代偿则减弱; 反之, 当腰椎代偿减弱时, 骨盆代偿则增加。本文结果表明, 静态站立位下单弯、双弯组和健康组均出现骨盆右旋, 单弯组和双弯组之间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 双弯组骨盆相对正常组左旋(见图2), 这是由于双弯组中代偿弯左凸导致骨盆相对左旋所致。步行过程中单弯组和健康组左右两个方向上的旋转角度差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 双弯组的右旋变化角度大于左侧( $P < 0.05$ ), 骨盆更多地使用右旋来代偿站立下相对向左的初始旋转。通过两侧弯组步行时骨盆双向旋转的对比分析得知, 双弯组的代偿性腰弯限制了

骨盆步行时左旋功能,进一步证明了脊柱侧弯类型会导致骨盆形态和功能的改变。本文研究结果可为临床侧弯手术提供参考和理论支持,即静止状态下骨盆起始位置和腰弯的侧凸会对骨盆的运动功能产生影响。一项临床手术研究表明,尽管骨盆和脊柱腰骶节段未进行融合,但其活动度因脊柱融合而明显减少<sup>[24]</sup>。因此,建议对脊柱侧弯的骨盆运动学进行更多的研究,以了解脊柱各节段和骨盆的动力学之间的耦合运动关系。本文发现,运动过程中单弯组对受试者的骨盆旋转影响不明显,而有左侧代偿弯的双弯组会发生骨盆双向不对旋转。脊柱弯形个数越少,骨盆旋转活动性的完整性越大,双侧旋转越趋于对称。

有研究显示,侧弯人群静止站立位和步行时骨盆的三维参数与正常人没有差异<sup>[25-26]</sup>,但这些研究未根据侧弯类型进行分组,可能导致骨盆真实运动被混杂因素干扰。本文在细化分组后发现,在骨盆旋转方面除双弯组比健康组步行时骨盆左旋更小( $P < 0.05$ )外,其余参数侧弯组与健康组差异无统计学意义( $P > 0.05$ );骨盆倾斜方面,仅单弯组与健康组站立位骨盆倾斜差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),双弯组与健康组差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),但单弯、双弯组差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。这些差异可能是由于选用不同侧弯人群所呈现出现的固有区别。骨盆在站立位下冠状面倾斜程度,不仅受到腰椎节段脊柱畸形的影响,还和主胸弯节段及脊柱变形程度有关。步行状态下评估骨盆最大倾斜角度的对齐情况反映了参数的空间特征,其中任何可能影响空间运动参数变化的因素都会影响参数的测量值。本文显示,步行中仅观察到单弯组在左右方向骨盆倾斜差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),组间骨盆侧倾差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),说明步行时侧弯组间及侧弯组与健康组间骨盆额状面倾斜角度相近,但主弯方向引起的站立时骨盆初始倾斜程度会引起运动中骨盆的活动度不一致,这与骨盆旋转参数在静、动态下的因果影响关系相同。因此,侧弯类型会影响站立位和步行时骨盆的三维参数。

## 4 结论

相对于站立位,步行时人体胸曲角运动趋势主要以减少为主,且受侧弯类型的影响,腰曲角则在

所有人群中均表现为减少;单弯、双弯组站立位骨盆三维参数受腰椎代偿弯影响,且步行时骨盆运动学旋转功能与腰椎代偿弯和骨盆站立位初始位置有关。

## 参考文献:

- [1] CHEUNG K, CHOOI YS. Hip adduction differences in adolescent idiopathic scoliosis a cause or effect of scoliosis? [C]//Proceedings of the 25<sup>th</sup> Annual Congress of the Hong Kong Orthopaedic Association. Hong Kong: [s. n.], 2005.
- [2] CHERNUKHA KV, DAFFNER RH, REIGEL DH. Lumbar lordosis measurement [J]. *Spine*, 1998, 23(1): 74-79.
- [3] DALLEAU G, LEROYER P, BEAULIEU M, et al. Pelvis morphology, trunk posture and standing imbalance and their relations to the Cobb angle in moderate and severe untreated AIS [J]. *PLoS One*, 2012, 7(7): 36755.
- [4] FARO FD, MARKS MC, PAWELEK J, et al. Evaluation of a functional position for lateral radiograph acquisition in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2004, 29(20): 2284-2289.
- [5] GARBOSSA D, PEJRONA M, DAMILANO M, et al. Pelvic parameters and global spine balance for spine degenerative disease: The importance of containing for the well being of content [J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(Suppl 6): 616-627.
- [6] 张波波,陶惠人. 青少年特发性脊柱侧弯与骨盆关系的研究进展[J]. *中国矫形外科杂志*, 2016, 24(13): 1198-1201.
- [7] JEAN-LUC C, GEOFFRAY A, YAGOUBI F, et al. Relationship between thoracic hypokyphosis, lumbar lordosis and sagittal pelvic parameters in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(11): 2414-2420.
- [8] QIU XS, ZHANG JJ, YANG SW, et al. Anatomical study of the pelvis in patients with adolescent idiopathic scoliosis [J]. *J Anat*, 2012, 220(2): 173-178.
- [9] 侯颖,李翔宇,孔超,等. 基于骨盆代偿及胸椎代偿对腰椎退变患者脊柱-骨盆矢状面平衡的评估方法[J]. *中国骨与关节杂志*, 2022, 11(11): 825-830.
- [10] KNOTT P, MARDJETKO S, TAGER D, et al. The influence of body mass index (BMI) on the reproducibility of surface topography measurements [J]. *Scoliosis*, 2012, 7(Suppl): 18.
- [11] FRERICH JM, HERTZLER K, KNOTT P, et al. Comparison of radiographic and surface topography measurements in adolescents with idiopathic scoliosis [J]. *Open Orthop J*, 2012, 6: 261-265.

- [12] KNOTT P, STURM P, LONNER B, *et al.* Multicenter comparison of 3D spinal measurements using surface topography with those from conventional radiography [J]. *Spine Deform*, 2016, 4(2): 98-103.
- [13] 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]. *Eur Spine J*, 2013, 22(2): 367-371.
- [14] XIONG B, SEVASTIK J, HEDLUND R, *et al.* Sagittal configuration of the spine and growth of the posterior elements in early scoliosis [J]. *J Orthop Res*, 1994, 12(1): 113-118.
- [15] 王宏卫, 刘新宇, 万熠. 基于脊柱矢状面曲线建立腰椎 L4-5 力学简化模型及其有效性验证[J]. *医学与哲学*, 2017, 38(5): 50-53.
- [16] 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.
- 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.
- [17] JEAN M, MAC T. 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.
- [18] 赵国如. 基于多刚体逆向运动学原理的人体运动测试技术及运动耦合特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [19] LEGAYE J, DUVAL BG, 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.
- [20] DUBOUSSET J. Importance of pelvic vertebra in the spinal balance. Application to surgery of the spine in children and adolescent [M]//Foot balance and spine. Paris: Frison-Roche, 1998; 141-149.
- [21] GUM JL, ASHER MA, BURTON DC, *et al.* Transverse plane pelvic rotation in adolescent idiopathic scoliosis: Primary or compensatory? [J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(10): 1579-1586.
- [22] SABA P, ARCHANA PS, CARL EA, *et al.* Characterizing pelvis dynamics in adolescent with idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2010, 35(17): 820-826.
- [23] QIU XS, WANG ZW, QIU Y, *et al.* Preoperative pelvic axial rotation: A possible predictor for postoperative coronal decompensation in thora-columbar /lumbar adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(6): 1264-1272.
- [24] Wafa S, REINHARD DZ, LOTFI M, *et al.* Importance of pelvic compensation in posture and motion after posterior spinal fusion using CD instrumentation for idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2006, 31(12): 359-366.
- [25] MAHAUDENS P, THONNARD JL, DETERMBLEUR C. Influence of structural pelvic disorders during standing and walking in adolescents with idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 2005, 8(1): 185-186.
- [26] ZABJEK KF, LEROUX MA, COILLARD C, *et al.* Evaluation of segmental postural characteristics during quiet standing in control and idiopathic scoliosis patients [J]. *Clin Biomech*, 2005, 20(5): 483-490.