

青少年特发性脊柱侧凸症患者下肢的生物力学分析

韩秀兰 许轶 李小金 王楚怀 张桂芳 李丹

【摘要】 目的 分析青少年特发性脊柱侧凸症(AIS)患者的下肢生物力学指标,探讨下肢生物力学异常与 AIS 之间的联系。**方法** 选取 AIS 患者 116 例(侧凸组)和健康青少年受试者 116 例(正常组),对 2 组受试者的胫骨扭转角、前后足平面夹角、髋关节旋转范围、双下肢长度差、踝关节旋转范围等下肢生物力学指标进行检测和比较,并采用多因素回归分析分析 AIS 患者脊柱侧凸的危险因素。**结果** 侧凸组双下肢长度差和前后足平面的夹角分别为(5.94±6.07)mm 和(0.17±4.72)°,分别与正常组的对(0.74±2.20)mm 和(-0.46±3.60)°比较,差异均有统计学意义($P<0.01$)。侧凸组左、右踝关节旋转范围差值为-1.27°,差值标准差为 3.28,经过符号秩和检验, Z 值为-4.83,差异有统计学意义($P<0.01$)。多因素回归分析,发现双下肢长度差和双前、后足平面夹角差是患脊柱侧凸的风险因素。双下肢长度差值优势比为 1.45,差异有统计学意义($P<0.01$),双下肢长度差增加一个单位(1 cm)的患脊柱侧凸的风险较低一个单位的脊柱侧凸高 1.45 倍,而双前、后足平面夹角差值优势比为 0.97,差异有统计学意义($P<0.01$),即前、后足平面夹角差值减少一个单位,患脊柱侧凸的风险是高一个单位的 0.97 倍。**结论** 双下肢的长度差与双前后足平面的夹角差值是 AIS 的危险因素。

【关键词】 青少年; 特发性脊柱侧凸症; 下肢; 生物力学

Biomechanical analysis of lower limbs in adolescents patients with idiopathic scoliosis Han Xiulan*, Xu Yi, Li Xiaojing, Wang Chuhuai, Zhang Guifang, Li Dan. * Department of Rehabilitation, Eastern Division, The First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510700, China
Corresponding author: Wang Chuhuai, Email: rehab@163.com

【Abstract】 Objective To analyze the biomechanical properties of the lower limb in patients with adolescent idiopathic scoliosis (AIS), and to explore the relationship between the biomechanical anomaly of lower limbs and AIS. **Methods** A total of 116 AIS patients were recruited as the observation group, and another 116 healthy counterparts were selected as the control group. The biomechanical properties of the lower limbs including the torsion angle of the tibia, forefoot-rearfoot angle, rotation angle of the hip joint, leg length difference, and pronation of the ankle were measured and compared between the 2 groups. Then multiple factors regression analysis was conducted to reveal the risk factors for AIS. **Results** Significant differences were observed between the AIS group and the control group in the leg length difference [(5.94±6.07) mm vs (0.74±2.20) mm] and forefoot-rearfoot angle [(0.17±4.72)° vs (-0.46±3.60)°] ($P<0.01$). In the AIS group, significant differences were found in the rotation amplitude of the left and right ankle, with a difference of -1.27° at standard deviation of 3.28 ($P<0.01$). Multi-factor regression analysis indicated that the leg length difference and forefoot-rearfoot angle were risk factors for AIS. The odds ratio of the leg length difference and forefoot-rearfoot angle were 1.45 and 0.97, respectively. **Conclusions** The leg length difference and forefoot-rearfoot angle are risk factors for AIS.

【Key words】 Adolescent; Idiopathic scoliosis; Lower limb; Biomechanics

脊柱侧凸是临床常见病之一,国际脊柱侧凸研究学会(scoliosis research society, SRS)对脊柱侧凸的定

义是,应用 Cobb's 方法测量站立位的脊柱正位 X 线全长片,如果脊柱的侧向弯曲角度 $>10^\circ$,则为脊柱侧凸^[1]。脊柱侧凸的病因复杂,目前未有确切、唯一的致病因素,临床上将原因未明的青少年脊柱侧凸称为特发性脊柱侧凸症(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)^[1]。随着医学生物力学的发展,有学者对 AIS 的生物力学进行了研究,但多为从脊柱本身生物力学的

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.06.011

作者单位:510700 广州,中山大学附属第一医院东院康复医学科(韩秀兰、许轶、王楚怀、张桂芳、李丹);中山大学附属第一医院东院护理部(李小金)

通信作者:王楚怀,Email:rehab@163.com

改变,如椎旁肌肉的不对称性、骨盆的不对称性等方面的研究^[2-5]。目前,鲜见对 AIS 患者的下肢生物力学如胫骨扭转角,髋关节的旋转范围差异以及踝关节旋转范围等的研究报道。本研究拟分析 AIS 患者的胫骨扭转角,踝关节旋转范围等以探索下肢生物力学异常与特发性脊柱侧凸症之间联系。

资料与方法

一、研究对象及分组

侧凸组纳入标准:①符合 AIS 临床诊断标准^[1], Cobb 角度在 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$;②年龄 10~18 岁,病因不明;③无家族性脊柱侧凸和肌肉骨骼外伤史,无生长发育障碍史,不存在其他异常 X 线片征象者;④无神经、肌肉、骨骼异常患病史。

正常组纳入标准:①年龄 10~18 岁;②身高和体重、鞋码与侧凸组匹配, Cobb 角 $<10^{\circ}$, 身体无明显不对称;③无下肢生物力学纠正史;④无神经系统疾病、骨骼肌肉外伤、生长发育障碍史,以及曾配制矫形鞋垫、支具等。

选取 2010 年 10 月至 2014 年 9 月在中山大学附属第一医院东院康复科收治且符合上述侧凸组纳入标准的 AIS 患者 116 例,设为侧凸组,其中男 35 例,女 81 例;年龄 10~18 岁,平均 (14.86 ± 2.59) 岁;平均身高 (160.67 ± 11.84) cm;平均体重 (48.73 ± 15.25) kg;右侧胸凸 27 例,右侧胸腰凸 29 例,右侧腰凸 6 例,左侧胸凸 7 例,左侧胸腰凸 3 例,左侧腰凸 21 例,胸腰段脊柱 S 型侧凸为 23 例。

选取 2010 年 10 月至 2014 年 9 月的华南农业大学的大学一年级新生、广州市第八十四中学、中山大学附属第一医院实习生等符合上述正常组纳入标准的健康青少年志愿者 116 例,设为正常组,其中男 48 例,女 68 例;平均年龄 (15.38 ± 2.64) 岁;平均身高 (161.62 ± 14.64) cm;平均体重 (52.23 ± 14.18) kg。

2 组受试者的性别、年龄、身高、体重等一般资料经统计学分析比较,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。数据收集前由经专门培训的康复医师对参与对象进行检查程序讲解,并签署知情同意书,且本研究方案经中山大学附属第一医院东院伦理委员会批准。

二、研究方法

参考《下肢和足的生物力学评估技术》中的测量方法对 2 组受试者进行下肢生物力学测量^[6],具体如下。

1. 双下肢长度差:受试者取仰卧位,摆放好双侧髌前下棘以确保骨盆朝前并且水平,在双踝关节下缘各划一横线,测量两横线间的距离,以确定双下肢长度的差值^[6]。

2. 前、后足平面夹角:受试者取仰卧位,将膝关节

置于中立位,标记距舟关节的等分点,从胫骨棘下三分之一处取一点,将以上两点连接成一条直线,然后将第二趾骨头与距舟关节等分点连成一条直线。将以上两条直线在膝关节中立位的情况下摆成一条直线,量取前足平面和后足平面之间的夹角^[6]。比较双足的前、后足平面夹角的差值。

3. 髋关节旋转范围:仰卧位时,利用重力量角器来测量髋关节的旋转范围,将重力量角器的中点始终指向膝关节的中点,伴随髋关节向内旋转或者向外旋转,量角器指针所指向的度数即为髋关节内旋或外旋的度数。获取每个个体左、右侧向内旋转范围的差值和向外旋转范围的差值。

4. 胫骨扭转角:膝关节中立位时,重力量角器的两个脚分别指向内外踝的中点,指针所指向的读数即为胫骨扭转角度数,指针指向内读为负值,指向外读为正值。将 $>18^{\circ}$ 的规定为外八字足, $<13^{\circ}$ 的规定为内八字足, $13^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 为正常足,统计 2 组受试者双侧胫骨扭转角的情况,包括双侧胫骨扭转角均为正常足,一侧为正常足而另一侧为外八字足,一侧为正常足而另一侧内八字足,双侧均为内八字足,双侧均为外八字足和一侧内八字足另一侧外八字足的例数。

5. 踝关节旋转范围:站立位进行立姿跟骨休息位 (rest standing position of calcaneus, RCSP) 及立姿跟骨中立位 (neutral standing position of calcaneus, NCSP) 的测量。让患者直立于坚硬的木板上,治疗师位于患者后方,沿内踝上下缘高度水平线与跟腱中线交叉点标出上下两个点,接着从小腿下三分之一水平线与跟腱中线交叉处标记一点,将此点与跟腱中点的上面那个点连成一条直线,而跟腱中点下面的那个点与跟骨中点连成一条直线,用半圆量角器完成立姿跟骨休息位 (RCSP) 的测量和将距下关节置于中立位时的立姿跟骨中立位 (NCSP) 的测量,两者之间的差值即为踝关节的旋转范围差^[6]。

三、统计学处理

用统计学软件 SPSS 16.0 版比较两组调查对象之间的差异性。符合正态分布的计量资料用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,不满足时用中位数 (四分位间距) 进行描述,组内数值变化用配对 t 检验,组间数值用两独立样本 t 检验;不符合正态分布的计量资料用秩和检验,计数资料用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、2 组受试者生物力学测量比较

侧凸组的双前、后足平面夹角差值、双下肢长度差值、髋关节外旋范围差值与正常组比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),详见表 1。

表 1 2 组受试者双前后足平面夹角差值、双下肢长度差值、髋关节旋转范围差值比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	双前、后足平面夹角差值	两下肢长度差	髋关节内旋范围差值	髋关节外旋范围差值
侧凸组	116	0.17±4.72	5.94±6.07	8.15±7.01	7.40±6.74
正常组	116	-0.46±3.60 ^a	0.74±2.20 ^a	7.28±5.97	5.74±6.42 ^a

注:与正常组比较,^a $P < 0.05$

二、2 组受试者胫骨扭转角的比较

2 组受试者的胫骨扭转角,经 χ^2 检验 $\chi^2 = 5.76$,差异无统计学意义($P > 0.05$),详见表 2。

表 2 2 组受试者胫骨扭转角情况分析 [例 (%)]

组别	例数	正常足	一足正常, 一足内八	一足正常, 一足外八
侧凸组	116	4 (3.40)	20 (17.20)	18 (15.50)
正常组	116	11 (9.50)	22 (19.00)	13 (11.20)

组别	例数	双足内八	双足外八	一足内八, 一足外八
侧凸组	116	35 (30.20)	26 (22.40)	13 (11.2)
正常组	116	39 (33.60)	23 (19.80)	8 (6.90)

注:2 组受试者的胫骨扭转角比较 $\chi^2 = 5.76, P > 0.05$

三、2 组受试者踝关节旋转范围差值比较

侧凸组左、右踝旋转范围差值经过符号秩和检验, Z 值为-4.83,差异有统计学意义($P < 0.01$),侧凸组的踝关节旋转范围差值左踝小于右踝。正常组两踝关节旋转范围差值经过符号秩和检验, Z 值为-1.94,差异无统计学意义($P > 0.05$),详见表 3。

表 3 2 组受试者左-右踝关节旋转范围差值的符号秩和检验

组别	例数	左右差值	差值标准差	差值中位数	四分位数间距	Z	P
侧凸组	116	-1.27	3.28	-2.00	(-3.00~0)	-4.83	0.00 ^a
正常组	116	-0.88	4.89	0.00	(-4.00~2.00)	-1.94	0.06

注:侧凸组左-右踝比较,^a $P < 0.01$

四、多因素分析

将双下肢长度差、髋关节外旋范围差、双前后足平面夹角差值、踝关节旋转范围差值等单因素分析指标加入 logistic 回归方程,做多因素回归分析(ward 法):进入=0.05,排除=0.10,最后进入方程的指标见表 4。由表 4 可见,两下肢长度差的常数项为 0.37,优势比为 1.45,95%置信区间(1.30, 1.62),回归系数为 45.90,差异有统计学意义($P < 0.01$),即两下肢长度差增加一个

单位(1 cm)患脊柱侧凸的风险是低一个单位的 1.45 倍;前后足平面夹角差值的常数项为-0.04,优势比为 0.97,95%置信区间(0.94, 0.99),回归系数 6.70,差异有统计学意义($P < 0.05$),即前、后足平面夹角差值减少一个单位(1°),患脊柱侧凸的风险是高一个单位的 0.97 倍。详见表 4。

讨 论

AIS 是青少年最为常见的脊柱畸形,占脊柱侧凸总发病人群的 85% 以上^[7]。国内外的学者做了大量的研究^[8],但目前尚未发现 AIS 确定、唯一的致病因素。多种因素联合作用是 AIS 的发病机制,这仍然是目前医学界的共识。近年来,随着医学生物力学研究的发展,发现椎旁肌、骨盆等生物力学因素对 AIS 的形成和发展有一定的影响^[9]。

本研究结果显示,侧凸组的双下肢长度差值显著大于正常组,差异有统计学意义($P < 0.01$)。下肢(包括足)位于人体的下端,在人体站立和行走时,对人体起着支撑作用,其生物力学状态将决定人的整体姿势形态和脊柱的力学状态,双下肢长度一致是为人体提供平衡稳定的支撑的基础,当出现长度差时,将引起身体两侧受力的不平衡。McCaw 和 Bates^[9]的研究认为,双下肢不等长,会引起双下肢代偿性的改变,如长腿侧的足部旋前增加,长腿侧有负重更多的趋势,而脊柱也将代偿性的向长腿侧侧屈,以减少双下肢不等长所带来的影响,久之可能使功能性的脊柱侧凸向结构性的脊柱侧凸进展。

人体在步行时,经历足跟着地-全足着地-前足离地的过程,由于负重的需要,当出现前、后足平面夹角时,在全足着地和前足离地时均会导致前足跖跗关节内侧代偿性受力增加。当双足外翻出现差值时,可能代偿性引起向上不平衡力的传递。游国鹏等^[10]的研究提出,特发性脊柱侧凸患者以不同的速度运动时,其运动速度并不表现出明显的双侧差异性,这可能与人体站立时有自我调整有关,但由于人体组织可感知身体变化的敏感性,任何引起身体压力、运动速度、功能发挥的肌肉、骨骼应力变化,都将代偿性引起身体对称性的改变。

表 4 2 组受试者多因素 logistic 回归分析

变量	常数项	标准误	回归系数	P	优势比	优势比 95% 置信区间	
						下限	上限
两下肢长度差	0.37	0.06	45.90	<0.01	1.45	1.30	1.62
双前后足平面夹角差值	-0.04	0.01	6.70	0.01	0.97	0.94	0.99
常数项	-0.56	0.93	0.37	0.55	0.57	-	-

注:-为无对应数据

本研究结果还发现, AIS 患者双髋关节向外旋转范围的差值最为明显, 这与国外的研究结果相似^[2]。髋关节是全身最大且最稳定的关节, 具有精确的对位与控制, 但同时具有较大的活动度, 以满足人们日常生活的需要。当髋关节因为各种原因损伤时, 将导致髋关节应力分布发生改变, 如当髋关节后伸范围降低时, 髋关节内旋也随之增大^[11]。为了代偿髋关节内旋和外旋范围的变化, 腰椎将更多地前凸或后伸代偿, 同时脊柱区的肌群, 如多裂肌也将受到影响^[12]。Jeff 等^[2]的研究发现, 当脊柱向一侧侧凸时, 骨盆将代偿性的向侧凸侧倾斜, 从而引起侧凸侧髋关节旋转代偿, 因此要维持脊柱的良好形态, 骨盆作为连接人体上半身和下半身的纽带, 必须保持前、后方向和左、右方向的平衡。本研究中, 2 组受试者间的髋关节内旋范围差值比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 可能与本研究所收集的病例数不够有关。

本研究中, 踝关节旋转范围差值比较, 侧凸组左、右足间的差值, 差异有统计学意义 ($P<0.01$)。有研究证实, 正常人体在站立和步行时, 踝关节处于轻度内翻状态, 以减少内侧纵弓的压力, 使人体的重量由足跟向足外侧及前足传递, 而踝关节旋前时, 跟骨外翻, 会引起胫骨和腿旋前, 以及骨盆前倾^[13]。踝关节的过度旋前, 足部吸收地面震荡随之能力下降, 地面的反作用力会向上传递, 引起膝关节、髋关节和脊柱区肌肉激活模式的改变。有研究认为, 踝关节过度旋前, 是引起髋关节和脊柱损害的因素之一^[14]; 同时, 踝关节旋转范围的改变可影响双足底支撑面积的大小, 从而影响骨盆平衡的维持^[15], 并进一步向胸椎、颈椎传递, 引起脊柱的相应变化^[11-12]。踝关节过度旋前等不良的下肢生物力学姿势可能导致站立及运动中椎旁肌肉和韧带的过度牵拉^[15], 使其长期承受应力, 最终导致脊柱的相应改变。

本研究结果证实, 下肢生物力学的变化与 AIS 有一定的联系, 且双下肢的长度差与双前、后足平面夹角差值是 AIS 的危险因素。因此对于青少年, 应多关注他们的下肢生物力学变化, 一旦发现异常, 可通过体育锻炼、自我牵伸和穿戴矫形鞋垫等方式进行纠正。本研究由于病例数和随访时间的限制, 无法明确是患者下肢生物力学指标异常导致了脊柱侧凸形成, 还是因为脊柱侧凸症, 引起了双下肢生物力学的不平衡性, 这还有待更深入地研究来加以明确。

参 考 文 献

- [1] 叶启彬. 脊柱侧弯外科学 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2003:46.
- [2] Gum JL, Asher MA, Burton DC, et al. Transverse plane pelvic rotation in adolescent idiopathic scoliosis; primary or compensatory [J]. Eur Spine, 2007, 16(7):1579-1586. DOI: 10.1007/s00586-007-0400-4.
- [3] Mahaudens P, Banse X, Mousny M, et al. Gait in adolescent idiopathic scoliosis; kinematics and electromyographic analysis [J]. Eur Spine, 2009, 18(2):512-521. DOI: 10.1007/s00586-009-0899-7.
- [4] 张嘉. 不对称应力对脊柱生长的影响及脊柱侧弯侧推矫正机制的研究 [D]. 北京: 中国协和医科大学, 中国医学科学院, 2004.
- [5] Fortin C, Nadeau S, Labelle H. Inter-trial and test-retest reliability of kinematic and kinetic gait parameters among subjects with adolescent idiopathic scoliosis [J]. Eur Spine, 2008, 17(1):204-216. DOI: 10.1007/s00586-007-0469-9.
- [6] Blake RL, Ferguson HJ. Correlation between limb length discrepancy and asymmetrical rearfoot position [J]. J Am Podiatr Med Assoc, 1993, 83(11):625-633.
- [7] 柯扬, 何家雄, 等. 佛山市青少年脊柱侧凸患病率调查 [J]. 实用医学杂志, 2012, 28(5):832-834. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2012.05.058.
- [8] Rowe DE, Bernstein SM, Riddick MF, et al. A meta analysis of the efficacy of nonoperative treatments for idiopathic scoliosis [J]. Bone Joint Surg Am, 1997, 79(5):664-674.
- [9] McCaw ST, Bates BT. Biomechanical implications of mild leg length inequality [J]. Br J Sports Med, 1991, 25(1):10-13. DOI: 10.1136/bjism.25.1.10.
- [10] 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.
- [11] Peng B, Wu W, Hou S, et al. The pathogenesis of discogenic low back pain. J Bone Joint Surg Br, 2005, 87(1):62-67. DOI: 10.1302/0301-620X.87B1.15708.
- [12] Ihme N, Olszynska B, Lorani A, et al. Relationship of an increased internal rotation of the hip with pelvic tilt, spinal alignment and posture—does the so-called antetorsion syndrome exist [J]. Z Orthop, 2002, 140(4):423-427. DOI: 10.1055/s-2002-33389.
- [13] 邝适存, 郭霞. 肌肉骨骼系统基础生物力学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008:117-191.
- [14] Pinto RZ, Souza TR, Trede RG, et al. Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. Man Ther, 2008, 13(6):513-519. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2007.06.004.
- [15] Tateuchi H, Tsukagoshi R, Fukumoto Y, et al. Pelvic instability and trunk and hip muscle recruitment patterns in patients with total hip arthroplasty [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2013, 23(1):151-158. DOI: 10.1016/j.jelekin.2012.08.005.

(修回日期: 2016-06-01)

(本文编辑: 阮仕衡)