

未成年人骶骨参数与脊柱-骨盆矢状位参数的相关性研究

李 博, 宋 凯, 吴 兵, 成俊遥, 于 洋, 王兆瀚, 迟鹏飞, 王 征
(中国人民解放军总医院第一医学中心骨科 100853 北京市)

【摘要】目的:探讨未成年人骶骨参数与脊柱-骨盆矢状位参数的相关性。**方法:**对 120 例 2~17 岁正常未成年人自然站立位脊柱全长 X 线侧位片进行影像学参数测量。其中男性 55 例, 女性 65 例, 平均年龄 9.9 ± 3.2 岁。测量其腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS); 测量骶骨形态学参数: 骶 1-2(S1-2)的倾斜线与 S1 终板垂线的夹角(S1-2 倾斜角, S1-2T)、S1-2 倾斜线与 S5 尾 1(S5Co1)倾斜线的夹角(骶骨后凸角, sacral kyphosis, SK)、S1-S3 中点倾斜线与 S4 中点-Co1 倾斜线的夹角(新骶骨后凸角, SK')、S2 椎体前缘与 S4Co1 倾斜线夹角(α)、S1 上终板与 S2 椎体前缘夹角(β)、S4Co1 倾斜线与 S1 上终板夹角(θ); 测量骶骨体位学参数: S2 椎体前缘水平角(S2HA)、S5Co1 倾斜线水平角(S5Co1HA)。对 PI 与 LL、PI 与 SK'、LL 与 SK、S2HA 与 SS、S5Co1HA 与固定值 90° 行配对 t 检验并两两求差值, 对骶骨形态学参数与 PI、LL 以及 PI 与 LL 进行 Pearson 相关性分析, 制作 β 、 θ 与 PI 散点图并求得 β 、 θ 与 PI 线性回归方程; 分析儿童(2~9 岁)、青少年(10~17 岁)PI、SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 相关性。**结果:** $LL=50.3^\circ \pm 12.1^\circ$, $PI=43.9^\circ \pm 11.0^\circ$, $PT=5.7^\circ \pm 9.0^\circ$, $SS=36.4^\circ \pm 7.6^\circ$, $S1-2T=-15.5^\circ \pm 5.6^\circ$, $SK=51.4^\circ \pm 10.7^\circ$, $SK'=44.3^\circ \pm 10.5^\circ$, $\alpha=47.5^\circ \pm 9.7^\circ$, $\beta=68.5^\circ \pm 8.2^\circ$, $\theta=64.0^\circ \pm 13.0^\circ$, $S2HA=32.1^\circ \pm 9.0^\circ$, $S5Co1HA=90.3^\circ \pm 11.8^\circ$ 。PI 与 LL、S2HA 与 SS 均有统计学差异($P<0.01$), PI 与 SK'、LL 与 SK、S5Co1HA 与固定值 90° 均无统计学差异($P>0.01$), 差值关系为 $PI=SK' \pm 12^\circ$, $LL=(SK-1.4^\circ) \pm 15^\circ$, $S5Co1HA=90^\circ \pm 12^\circ$; S1-2T、SK、SK'、 α 、 β 、 θ 与 PI 均有相关性($P<0.01$), 相关性系数(r)分别为 0.578、0.440、0.429、0.374、0.641、-0.683; SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 有显著相关性($P<0.01$), r 值分别为 0.265、0.282、0.273、-0.314; S1-2T、 β 与 LL 无明显相关性($P>0.01$), r 值分别为 0.136、0.173; PI 与 LL 无相关性($r=0.164$, $P>0.01$); 线性回归方程: $PI=0.451\beta-0.39\theta+37.973$ ($r=0.728$)。儿童 PI、SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 的 r 值分别为 0.054、0.076、0.074、0.066、0.059, 均无明显相关性($P>0.01$); 青少年 PI 与 LL 无明显相关性($r=0.246$, $P>0.01$), SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 有显著相关性($P<0.01$), r 值分别为 0.391、0.417、0.411、0.481。**结论:** 未成年人 PI 可由 SK'、 β 、 θ 预测, PI 与 LL 无显著相关性; 青少年骶骨形态参数与 LL 具有良好相关性, 利用骶骨形态参数预测青少年 LL 可能比 PI 更稳定可靠。

【关键词】 骶骨; 脊柱-骨盆参数; 矢状位序列; 未成年人

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.03.01

中图分类号: R445.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-03-0193-07

Correlation between sacral parameters and the sagittal position parameters of spine and pelvis in juveniles/LI Bo, SONG Kai, WU Bing, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(3): 193-199

【Abstract】 Objectives: To explore the correlation between sacrum morphology and sagittal position parameters of the spine in juveniles. **Methods:** The full-length free-standing radiographs of 120 normal minors were reviewed, including 55 males and 65 females, with an average age of 5 years. Radiological parameters, including lumbar lordosis (LL), pelvic incidence (PI), sacral slope (SS), and pelvic tilt (PT) were measured. Ferguson method was used to measure the angles between S1-2 tilt and the vertical line of the upper end plate of S1 (S1-2T), between S1-2 tilt and S5Co1 tilt (sacral kyphosis, SK), between S1-3 tilt and S4Co1 tilt (SK'), be-

第一作者简介: 男(1995-), 医学硕士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)66938302 E-mail: 824383476@qq.com

通讯作者: 王征 E-mail: wangzheng301@163.com

tween the anterior edge of S2 and S4Co1 tilt (α), between the upper endplate of S1 and the anterior edge of S2 (β), and between S4Co1 tilt and the upper endplate of S1(θ). The sacral position parameters including the horizontal angle of anterior edge of S2 (S2HA) and the horizontal angle of S5Co1 tilt (S5Co1HA) were measured. PI and LL, PI and SK', LL and SK, S2HA and SS, S5Co1HA and fixed value 90° were tested by paired-samples t test and the differences were calculated. The Pearson correlations between sacral morphological parameters and PI, LL and PI and LL were analyzed. The scatter plot of β , θ and PI was made and the linear regression equation of β , θ and PI was obtained. The correlations between PI, SK, SK', α , θ and LL in children (2-9 years) and adolescents (10-17 years) were analyzed by stages. **Results:** LL= $50.3^\circ\pm 12.1^\circ$, PI= $43.9^\circ\pm 11.0^\circ$, PT= $5.7^\circ\pm 9.0^\circ$, SS= $36.4^\circ\pm 7.6^\circ$, S1-2T= $-15.5^\circ\pm 5.6^\circ$, SK= $51.4^\circ\pm 10.7^\circ$, SK'= $44.3^\circ\pm 10.5^\circ$, α = $47.5^\circ\pm 9.7^\circ$, β = $68.5^\circ\pm 8.2^\circ$, θ = $64.0^\circ\pm 13.0^\circ$, S2HA= $32.1^\circ\pm 9.0^\circ$, and S5Co1HA= $90.3^\circ\pm 11.8^\circ$. There were significant differences between PI and LL, S2HA and SS, but there were no significant differences between PI and SK', LL and SK, S5Co1HA and 90° of fixed value. The difference was PI=SK' $\pm 12^\circ$, LL=(SK-1.4 $^\circ$) $\pm 15^\circ$, S5Co1HA= $90^\circ\pm 12^\circ$; S1-2T, SK, SK', α , β , θ were correlated with PI ($P<0.01$), and the correlation coefficients (r) were 0.578, 0.440, 0.429, 0.374, 0.641, -0.683, respectively. The r values of SK, SK', α , θ and LL were 0.265, 0.282, 0.273, -0.314, respectively, with significant correlation($P<0.01$). The r values of S1-2T, β and LL were 0.136, 0.173, respectively, without significant correlation ($P>0.01$). There was no correlation between PI and LL ($r=0.164$, $P>0.01$). Regression equation: PI= $0.451\beta-0.390+37.973$ ($r=0.728$). The r values of LL and PI, SK, SK', α , θ were 0.054, 0.076, 0.074, 0.066, 0.059, respectively, with no significant correlation. There was significant correlation between PI and LL ($r=0.246$, $P>0.01$). There were significant correlation between LL and SK, SK', α , θ ($r=0.391$, 0.417, 0.411, 0.481, $P<0.01$). **Conclusions:** Juvenile PI can be predicted by SK', β , and θ . Juvenile PI-LL has no correlation. There was a good correlation between the morphological parameters of sacrum and LL in adolescents. The use of sacral morphological parameters may be more stable and reliable than PI prediction to evaluate LL in adolescent.

【Key words】 Sacrum; Spino-pelvic parameters; Sagittal alignment; Juvenile

【Author's address】 Department of Orthopaedics, the First Medical Centre, Chinese PLA General Hospital, Beijing, 100853, China

脊柱-骨盆矢状位参数是判断脊柱矢状位平衡常用的指标,传统常用方法主要包括骨盆入射角(pelvic incidence,PI)参数系统和骨盆半径(pelvic radius,PR)-S1参数系统两种^[1-2]。然而两种方法都着重骨盆参数的研究,对骶骨自身形态与矢状面平衡关系的研究较少。宋凯等^[3]通过研究骶骨形态参数对脊柱矢状位平衡的影响,证实了骶骨形态参数与脊柱-骨盆参数之间的相关性,为脊柱矢状面平衡评估提供了一种新的参数计算方法。然而,此研究只涉及了成人,未成年人骶骨形态参数未纳入。本研究对正常未成年人的骶骨影像学参数进行分析,探讨未成年人骶骨参数与脊柱-骨盆矢状位参数的相关性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2013 年 1 月~2020 年 8 月因既往诊断“脊柱侧凸”在中国人民解放军总医院就诊患者的自然站立位脊柱全长 X 线侧位片影像学资料进

行回顾性分析。纳入标准:年龄 18 岁以下、Risser 征 4 级及以下、脊柱骨盆无冠矢状位畸形。排除标准:年龄 18 岁及以上,脊柱有明显畸形,受肿瘤、外伤、术后等外界因素影响。纳入对象共 120 例,其中男性 55 例,女性 65 例,年龄 2~17 岁(9.9 ± 3.2 岁)。年龄分组:儿童 59 例,2~9 岁(7.2 ± 1.7 岁);青少年 61 例,10~17 岁(12.5 ± 1.9 岁)。

1.2 影像学参数测量

1.2.1 脊柱-骨盆参数 在自然站立位脊柱全长 X 线侧位片上测量:(1)腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL),骶1(S1)上终板的切线与 T12 上终板的切线的夹角(图 1a);(2)骨盆入射角(pelvic incidence,PI);(3)骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT);(4)骶骨倾斜角(sacral slope,SS)(图 1b)。

1.2.2 骶骨形态参数 (1)Ferguson 法标记 S1-2 的倾斜线,测量其相对应与 S1 终板垂线的夹角即 S1-2 倾斜角(S1-2T);(2)骶骨后凸(sacral kyphosis,SK),S1-2 倾斜线与 S5 尾 1(S5Co1)倾斜线的夹角(图 1b);(3)新骶骨后凸(SK'),S1-S3

椎体中点倾斜线 (S1-3) 与 S4 椎体中点至尾 1 (coccyx 1, Co1) 椎体倾斜线 (S4-Co1) 的夹角 (图 1c); (4) α , S2 椎体前缘与 S4Co1 倾斜线夹角; (5) β , S1 上终板与 S2 椎体前缘夹角; (6) θ , S4Co1 倾斜线与 S1 上终板夹角 (图 1d)。

1.2.3 骶骨体位学参数 (1) S2HA, S2 椎体前缘与水平线夹角; (2) S5Co1HA, S5Co1 倾斜线与水平线夹角 (图 1e)。

18 例幼儿因骶骨未发育完全, 骶骨平台呈圆顶形且骶椎未完全融合 (图 2), 以 S1 上终板两端弧形拐点连线作为骶骨上终板切线, 以 S1 上弧形终板中点与 S2 下终板中点连线为 S1-2 倾斜线, 以 S2 腹侧上下最远端点连线为 S2 前缘, 以 S4 上弧形终板中点与 Co1 腹侧下最远点连线为 S4Co1 倾斜线, 以 S5 上弧形终板中点与 Co1 腹侧下最远点连线为 S5Co1 倾斜线后进行测量。由两位脊

柱外科研究生分别测量, 重复测量 2 次求平均值, 测量时调取无压缩影像并将骶骨局部放大至全屏以提高测量精度。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析, 设定 $P < 0.01$ 为差异有统计学意义。对 PI 与 LL、PI 与 SK'、LL 与 SK、S2HA 与 SS、S5Co1HA 与固定值 90° 行配对 t 检验, 对 PI 与 LL、PI 与 SK'、LL 与 SK、S2HA 与 SS、S5Co1HA 与固定值 90° 求两两差值; 对 S1-2T、SK、SK'、 α 、 β 、 θ 与 PI、LL 进行 Pearson 相关性分析, 制作 β 、 θ 与 PI 散点图并求得 β 、 θ 与 PI 线性回归方程。为探究本研究 PI-LL 相关性结果是否受低龄骶骨形态影响, 对现有样本量按儿童 (2~9 岁)、青少年 (10~17 岁) 两个年龄段分组, 其中儿童 59 例, 青少年 61 例, 分析两组 PI、SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 的相关性。

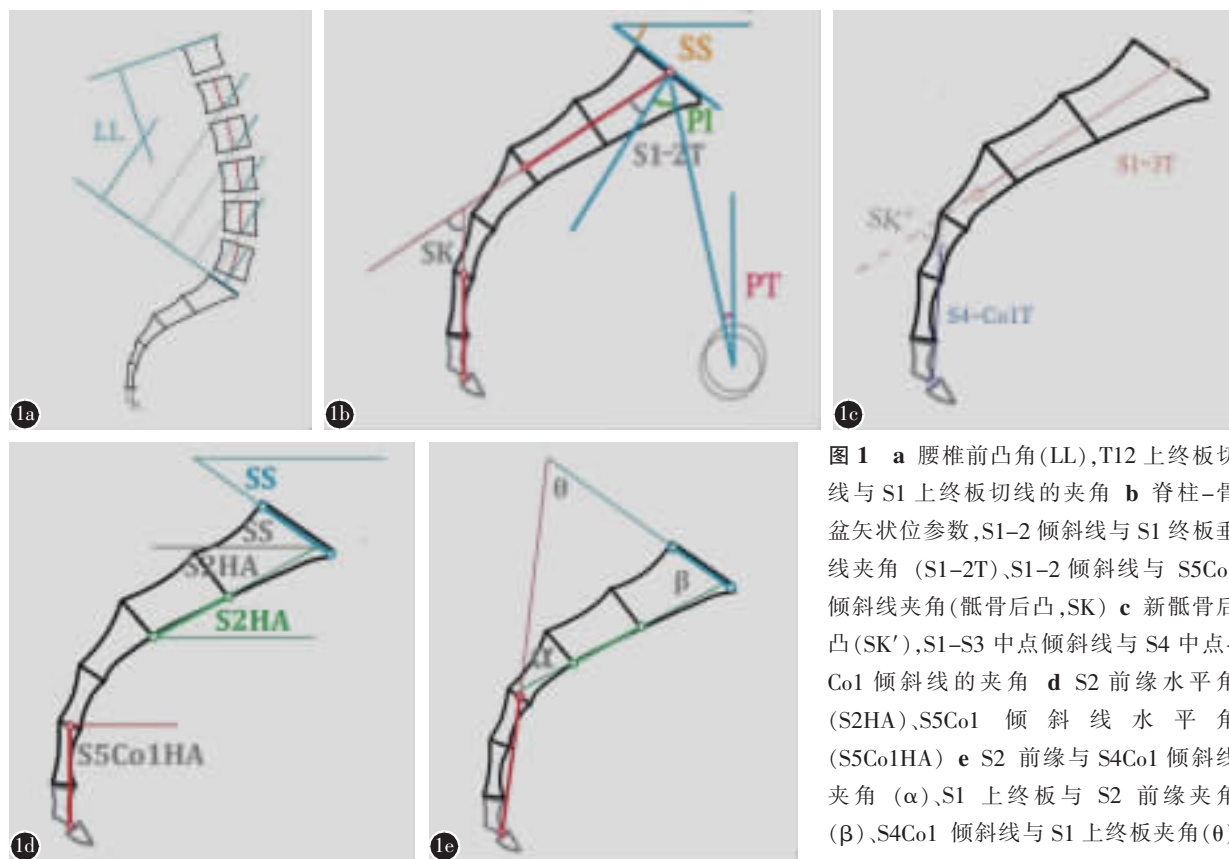


图 1 a 腰椎前凸角(LL), T12 上终板切线与 S1 上终板切线的夹角 b 脊柱-骨盆矢状位参数, S1-2 倾斜线与 S1 终板垂线夹角 (S1-2T)、S1-2 倾斜线与 S5Co1 倾斜线夹角 (骶骨后凸, SK) c 新骶骨后凸 (SK'), S1-S3 中点倾斜线与 S4 中点-Co1 倾斜线的夹角 d S2 前缘水平角 (S2HA)、S5Co1 倾斜线水平角 (S5Co1HA) e S2 前缘与 S4Co1 倾斜线夹角 (α)、S1 上终板与 S2 前缘夹角 (β)、S4Co1 倾斜线与 S1 上终板夹角 (θ)

Figure 1 a Schematic diagram of lumbar

lordosis parameters. The angle between the tangent of the upper endplate of T12 and the tangent of the upper endplate of S1 b Schematic diagram of sagittal spino-plevic parameters. The angle between S1-2 and the vertical line of the upper end plate of S1 (S1-2T), and the angle between S1-2 and S5Co1 (sacral kyphosis, SK) c The angle between S1-3 tilt and S4Co1 tilt (SK') d The horizontal angle of anterior edge of S2 (S2HA), and the horizontal angle of S5Co1 (S5Co1HA) e The angles between the anterior edge of S2 and S4Co1 tilt (α), the upper endplate of S1 and the anterior edge of S2 (β), and S4Co1 tilt and the upper endplate of S1 (θ)

2 结果

未成年人脊柱-骨盆矢状位参数、骶骨形态学参数、骶骨体位学参数测量结果见表 1;部分影像学参数差值及统计学差异结果见表 2。在总体样本量中,PI 与 LL 有统计学差异,SS 与 S2HA 有统计学差异,PI 与 SK'、LL 与 SK、S5Co1HA 与固定值 90°无统计学差异,即 $PI=SK'\pm 12^\circ$, $LL=(SK-$

$1.4^\circ)\pm 15^\circ$, $S5Co1HA=90^\circ\pm 12^\circ$ 。

未成年人骶骨形态参数与 PI 和 LL 的相关性系数见表 3,SK、 α 与 PI、LL 呈正相关,SK、 α 越大,PI、LL 越大;S1-2T 与 PI 呈正相关,但 S1-2T 为负值,即相对 S1 终板垂线向前倾斜,即 S1-2T 绝对值越大,S1-2 向前倾斜越大,则 S1-2T 绝对值越大,PI 越小。Pearson 相关性分析结果显示,未

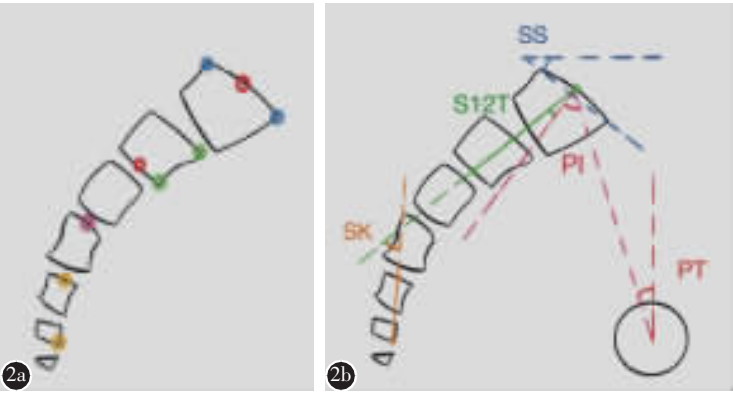


图 2 a 幼儿骶骨影像学参数倾斜线:连接蓝点为骶骨上终板切线,连接红点为 S1-2 倾斜线,连接绿点为 S2 前缘,连接黄点为 S5Co1 倾斜线,连接紫点与尾 1 黄点为 S4Co1 倾斜线 b 幼儿骶骨部分影像学参数角:骨盆入射角(PI)、骨盆倾斜角(PT)、骶骨倾斜角(SS)、S1-2 倾斜线与 S1 终板垂线夹角(S1-2T)、S1-2 倾斜线与 S5Co1 倾斜线夹角(骶骨后凸,SK)

Figure 2 a The oblique line of sacrum radiological parameters in children: the line connecting the blue points is the tangent line of the superior endplate of sacrum, that connecting the red points is the S1-2 oblique line, connecting the green points is the leading edge of S2, connecting the yellow points is the S5Co1 oblique line, and connecting the purple point and the yellow point of caudal 1 is the S4Co1 oblique line b Radiological parameters of sacrum in children: pelvic incidence angle (PI), pelvic tilt angle (PT), sacral slope angle (SS), angle between S1-2 inclined line and S1 endplate vertical line (S1-2T), and angle between S1-2 inclined line and S5Co1 inclined line (sacral kyphosis, SK)

the superior endplate of sacrum, that connecting the red points is the S1-2 oblique line, connecting the green points is the leading edge of S2, connecting the yellow points is the S5Co1 oblique line, and connecting the purple point and the yellow point of caudal 1 is the S4Co1 oblique line b Radiological parameters of sacrum in children: pelvic incidence angle (PI), pelvic tilt angle (PT), sacral slope angle (SS), angle between S1-2 inclined line and S1 endplate vertical line (S1-2T), and angle between S1-2 inclined line and S5Co1 inclined line (sacral kyphosis, SK)

表 1 120 例未成年人影像学参数的测量结果 (°)
Table 1 Measurement results of the radiological parameters of 120 minors

	$\bar{x}\pm s$
骨盆入射角 Pelvic incidence(PI)	43.9±11.0
骨盆倾斜角 Pelvic tilt(PT)	5.7±9.0
骶骨倾斜角 Sacral slope(SS)	36.4±7.6
腰椎前凸角 Lumbar lordosis(LL)	50.3±12.1
骶 1-2 倾斜角 S1-2T	-15.5±5.6
骶骨后凸 Sacral kyphosis(SK)	51.4±10.7
新骶骨后凸 SK'	44.3±10.5
S2 椎体前缘与 S4Co1 倾斜线夹角 α	47.5±9.7
S1 上终板与 S2 椎体前缘夹角 β	68.5±8.2
S4Co1 倾斜线与 S1 上终板夹角 θ	64.0±13.0
S2 椎体前缘与水平线夹角 S2HA	32.1±9.0
骶 5 尾 1 倾斜线与水平线夹角 S5Co1HA	90.3±11.8

表 2 影像学参数差值及配对样本 t 检验结果
Table 2 Difference and paired sample of t test of radiological parameters

	$\bar{x}\pm s$	t 值 t value	P 值 P value
PI-LL	-6.4±15.0	-4.660	<0.01
LL-SK	-1.4±14.5	-1.021	0.309
PI-SK'	-0.4±11.5	-0.352	0.725
S2HA-SS	-4.2±14.6	-3.184	0.002
S5Co1HA-90°	-0.3±11.8	0.277	0.782

表 3 骶骨形态学参数与 PI 及 LL 的相关系数
Table 3 Correlation coefficient between sacral morphology parameters and PI and LL

	PI	LL
S1-2T	0.578 ^①	0.136 ^②
SK	0.440 ^①	0.265 ^①
SK'	0.429 ^①	0.282 ^①
α	0.374 ^①	0.273 ^①
β	0.641 ^①	0.173 ^②
θ	-0.683 ^①	-0.314 ^①

注:①P<0.01;②P≥0.01
Note: ①P<0.01; ②P≥0.01

成年人 PI 与 LL 无显著相关性 ($r=0.164, P>0.01$); 多元线性回归发现, 未成年 PI 可由 β 、 θ 预测, 线性回归方程为: $PI=0.451\beta-0.39\theta+37.973$ ($r=0.728$), PI 与 β 、 θ 相关散点图如图 3 所示。

儿童与青少年部分影像学参数的比较见表 4, 儿童 LL 与青少年 LL 无统计学差异 ($P>0.01$), 儿童 PI、SK、SK'、 α 、 θ 与青少年均具有统计学差异 ($P<0.01$)。儿童和青少年 PI、SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 相关性系数见表 5, 儿童 LL 与 PI、SK、SK'、 α 、 θ 的 r 值分别为 0.054、0.076、0.074、0.066、0.059, 均无显著相关性 ($P>0.01$); 青少年 PI 与 LL 无显著相关性的 ($r=0.246, P>0.01$), SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 均有显著相关性 (r 值分别为 0.391、0.417、0.411、0.481, 均 $P<0.01$)。

3 讨论

脊柱-骨盆矢状位平衡一直是脊柱外科领域研究的热点^[4-7], 骶骨在脊柱-骨盆矢状位平衡中因其成熟后稳定不易变化的结构特点而逐渐受到脊柱外科医生^[8,9]的重视。既往研究^[3]证实, 新定义的成人骶骨形态参数与 PI、LL 具有良好的相关性, 并且通过多元回归分析证实了成人 PI、LL 可由骶骨形态参数 (β 、 θ 等) 进行预测, 若患者影像资料因清晰度问题而无法测量 PI 等骨盆参数时, 可通过测量骶骨形态参数来评估患者脊柱-骨盆矢状位平衡; 定义了新的骶骨体位参数 (S2HA、S5Co1HA), 相比较测量 PT、SS, 骶骨体位参数更能直观方便地判断骨盆倾斜程度。总之, 为减小患者经济损失以及方便临床应用, 骶骨形态参数为脊柱-骨盆矢状位平衡评估提供了一种新的可

能。本研究为探讨未成年人骶骨形态的特点, 纳入 120 例未成年研究对象, 分析未成年人骶骨形态参数与 PI 等脊柱-骨盆矢状位参数的相关性。

3.1 未成年人骶骨形态体位参数与脊柱-骨盆矢状位参数的关系

本研究结果显示, 未成年人 PI 相关于骶骨所有形态学参数。其中 β 、 θ 相关性最高, β 与 PI 呈正相关, θ 与 PI 呈负相关; LL 与部分骶骨参数相关, SK、 α 与 LL 呈正相关, θ 与 LL 呈负相关。说明前期研究^[3]所定义的骶骨形态参数在未成年人中同样与 PI 具有良好的相关性, 并且 PI 可由 β 、 θ 预测。对于骶骨形态体位学参数, 可粗略认为未成年人 $LL=(SK-1.4^\circ)\pm 15^\circ$, $S5Co1HA=90^\circ\pm 12^\circ$, 虽精确度不高, 但临床应用更方便。因此, 我们认为未成年人也可通过骶骨参数来预测评估脊柱-骨盆矢状位平衡状态。但未成年人 $PI=SK'\pm 12^\circ$, 与成人 $PI\approx\alpha$ 的结果^[3]有所不同, 这可能是未成年人处于发育期导致的结果。Marty^[10]与 Tardieu^[11]等的研究证实 PI 与 SS、LL 之间有相关性, 认为骶骨形态间接影响了人体脊柱矢状位曲度。Legaye 等^[1]认为 PI 与 SS、LL、胸椎后凸 (thoracic kyphosis, TK) 相关并共同搭建了人体最佳的站立平衡状态。前期研究^[3]提出了新骶骨骨盆参数 S2HA 和 S5Co1HA, 在成人骶骨中, $S2HA\approx SS$, $S5Co1HA\approx 90^\circ$, 即当 $S2HA>SS$, $S5Co1HA<90^\circ$ 时, 骶骨前倾; 反之当骶骨后倾时, $S2HA<SS$, $S5Co1HA>90^\circ$ 。这比以往通过测量 $SS\approx 35^\circ$ 或 $PT\approx 11^\circ$ 来判断骨盆或骶骨倾斜更为方便实用。本研究发现未成年人 S5Co1HA 同样接近 90° , 证明 S5Co1HA 在未成年人中同样可适用于判断骶骨倾斜程度; 而 S2HA

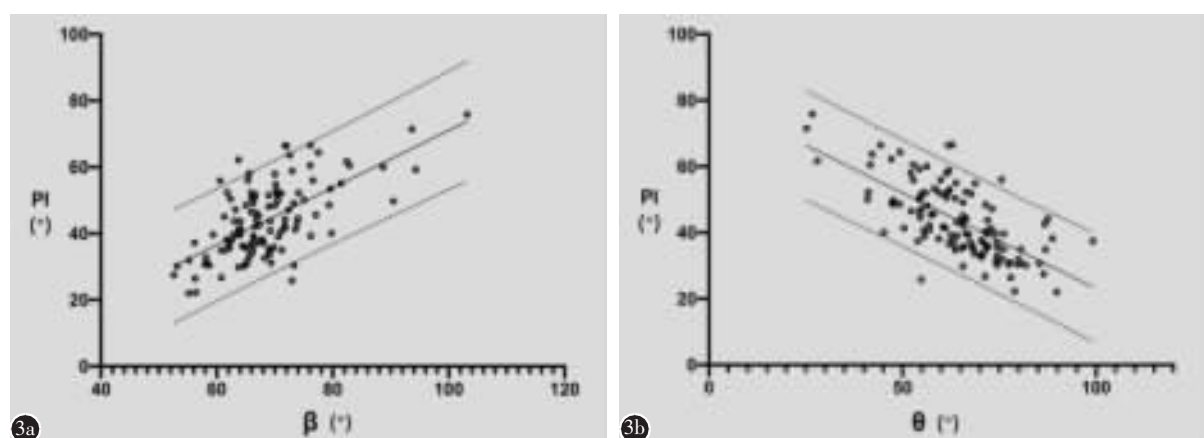


图 3 a PI 与 β 的散点及线性拟合图 b PI 与 θ 的散点及线性拟合图

Figure 3 a Scatter diagram and linear fitting of PI and β b Scatter diagram and linear fitting of PI and θ

表 4 儿童与青少年影像学参数的比较 ($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

Table 4 Comparison of radiological parameters between children and adolescents

	2~9 岁 (2~9 years) (n=59)	10~17 岁 (10~17 years) (n=61)
PI	40.1±9.5	47.5±11.2 ^①
LL	49.8±11.8	50.7±12.5
SK	47.7±8.8	55.4±13.1 ^①
SK'	41.1±7.7	47.0±12.0 ^①
α	44.7±7.5	50.0±11.0 ^①
θ	67.7±10.8	60.4±14.0 ^①

注:①与 2~9 岁组比较 $P<0.01$ Note: ①Comparison of parameters between children and adolescents, $P<0.01$

表 5 儿童与青少年 PI 和骶骨形态参数与 LL 的相关系数

Table 5 Correlation coefficients of PI and sacral morphological parameters with LL in children and adolescents

	2~9 岁 (2~9 years) (n=59)	10~17 岁 (10~17 years) (n=61)
LL-PI	0.054 ^①	0.246 ^①
LL-SK	0.076 ^①	0.391 ^②
LL-SK'	0.074 ^①	0.417 ^②
LL- α	0.066 ^①	0.411 ^②
LL- θ	0.059 ^①	0.481 ^②

注:① $P>0.01$;② $P<0.01$ Note: ① $P>0.01$; ② $P<0.01$

与 SS 有 4° 之差,这可能与部分未成年人骶骨未完全融合有关。

3.2 儿童与青少年 PI 和骶骨形态参数与 LL 的相关性分析

既往研究证实了成人 PI 与 LL 具有显著相关性^[1,12]。本研究发现,未成年人 PI 与 LL 无明显相关性,但 SK、 θ 等骶骨形态参数与 LL 有显著相关性,因此猜想骶骨形态参数较 PI 更适合预测未成年人的 LL。Bailey 等^[13]在研究儿童及青少年 PI 与 LL 相关性时,发现在 2~9 岁年龄人群 PI 与 LL 无显著相关性,但该研究结果为 PI 随年龄增大而变化不大,LL 随年龄增加而增加,且 PI 与 LL 的相关性随年龄增加而增强,所以 Bailey 猜测未成年人 PI 可能对成人 LL 有预测价值。为探究 PI 与 LL 相关性结果是否受低龄骶骨影响,本研究按照 Bailey 研究方法将未成年人分为儿童(2~9 岁)与青少年(10~17 岁)两组,分析骶骨形态参数和 PI 与 LL 的相关性,发现儿童 PI、SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 均无显著相关性,青少年 PI 与 LL 同样无显著相

关性,但 SK、SK'、 α 、 θ 与 LL 有显著相关性。对儿童与青少年的骶骨参数、脊柱-骨盆参数进行比较,发现从儿童发育到青少年,PI、SK、SK' 与 α 增加, θ 减少,但 LL 变化趋势不大;SK、SK'、 α 三者均反映骶骨后凸角,所以变化趋势一致, θ 代表下端骶骨倾斜程度,与 SK 相反,随年龄增加,SK 增大, θ 减小,我们认为这是儿童发育至青少年骶骨周围韧带肌肉刚性逐渐增强的结果。本研究结果显示,LL 随年龄增加变化不大;Choufanni 等^[14]根据胎儿 MRI 腰骶角研究发现腰骶角在胎儿时期即存在,认为骶骨前倾为基因所致,后天因素影响较小;也有学者^[15]研究认为上腰椎(L1、L2)弧度为固定值,约为 20° ,下腰椎(L3~L5)弧度与 SS 一致,随 SS 变化而变化,即 $LL=SS+20^\circ$,这可解释本研究 LL 随年龄变化不大的结果。Chaléat-Valayer 等^[16]发现肌瘫患儿存在不匹配的 PI-LL 关系,他认为这是肌肉肌腱畸形虚弱无力、骨骼发育不成熟的结果。有学者^[17]研究发现无腰痛等症状青少年(平均年龄 13 岁)的 PI 与 LL 存在良好相关性,但研究结果中 PI 却不随年龄变化。既往研究已经证实 PI 随年龄而不断增加至成人后稳定^[18],而 LL 也会随姿势、身材、体重、年龄等因素受到影响^[13,19,20],儿童青少年 PI 与 LL 的不稳定匹配导致儿童青少年 PI 与 LL 的相关性研究一直存有争议。从表 5 可看出,青少年骶骨形态参数较 PI 与 LL 的相关性更强。因此我们认为除传统 PI 参数系统和 PR-S1 参数系统,利用骶骨参数预测青少年 LL 可能更稳定可靠,儿童及婴幼儿还需收集更多样本再进一步分析讨论。

3.3 不足及结论

本研究虽然纳入的研究对象从影像学上排除了畸形等病理因素,但患者均为担心身体不对称来门诊就诊,理论上讲并非绝对“正常人”。关于幼年骶骨测量的方法,由于幼年骶骨处于发育状态导致骶椎呈圆顶形且不完全融合,本研究所采取的测量方法对幼儿骶骨参数的准确率有影响,且为标记点连线测量角,点的测量误差可能也是导致本研究 $PT+SS \neq PI$ 的原因。如何对发育中的骶骨参数测量也是未来需要探讨的问题。目前对未成年人的 PI 与 LL 相关性仍存在争议,且大多数研究对象为畸形或无症状者,对于正常未成年人,尤其婴幼儿及儿童 PI 与 LL 相关性的进一步研究,需要通过加大样本量及病例的筛查来深入讨论。

对于脊柱-骨盆矢状位失衡的患者,手术恢复矢状面正常腰前凸对患者日后的生活质量有重要意义^[21-23]。本研究结果发现,青少年的骶骨形态参数较 PI 与 LL 的相关性更强,所以对于特发性脊柱侧凸、发育性椎体滑脱的青少年患者,利用骶骨参数来预测脊柱-骨盆矢状面平衡可能较 PI 更可靠,但骶骨形态参数与 LL 的相关性仍较弱,能否替代 PI 有待进一步深入研究。

综上所述,未成年人 PI 可由骶骨形态参数预测,骶骨体位参数可描述骨盆倾斜程度;未成年人 PI 与 LL 无显著相关性;儿童、青少年骶骨参数有差异;青少年骶骨形态参数与 LL 具有良好相关性;利用骶骨形态参数预测青少年 LL 可能比 PI 更稳定可靠。

4 参考文献

- Legaye J, Duval-Beaupère 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.
- Jackson RP, Peterson MD, McManus AC, et al. Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients[J]. *Spine*, 1998, 23(16): 1750-1767.
- 宋凯, 吴兵, 王征, 等. 骶骨形态与脊柱骨盆矢状位参数的相关性研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2020, 30(6): 493-499.
- Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position [J]. *Spine*, 2005, 30(3): 346-353.
- Schwab F, Lafage V, Patel A, et al. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient[J]. *Spine*, 2009, 34(17): 1828-1833.
- Lafage V, Schwab F, Patel A, et al. Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity[J]. *Spine*, 2009, 34(17): E599-E606.
- Barrey C, Roussouly P, Le Huec JC, et al. Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(Suppl 6): S834-S841.
- 杜长志, 孙旭, 王斌, 等. 青少年 L5/S1 发育不良性滑脱患者的骶骨矢状面形态[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2016, 26(11): 991-998.
- Wang Z, Parent S, Mac-Thiong JM, et al. Influence of sacral morphology in developmental spondylolisthesis[J]. *Spine*, 2008, 33(20): 2185-2191.
- Marty C, Boisaubert B, Descamps H, et al. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients[J]. *Eur Spine J*, 2002, 11(2): 119-125.
- Tardieu C, Bonneau N, Hecquet J, et al. How is sagittal balance acquired during bipedal gait acquisition? comparison of neonatal and adult pelvis in three dimensions: evolutionary implications[J]. *J Hum Evol*, 2013, 65(2): 209-222.
- Vialle R, Levassor N, Rillardon L, et al. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87(2): 260-267.
- Bailey JF, Shefi S, Soudack M, et al. Development of pelvic incidence and lumbar lordosis in children and adolescents[J]. *Anat Rec*, 2019, 302(12): 2132-2139.
- Choufani E, Jouve JL, Pomero V, et al. Lumbosacral lordosis in fetal spine: genetic or mechanic parameter[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(9): 1342-1348.
- Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 578-585.
- Chaléat-Valayer E, Bernard JC, Deceuninck J, et al. Pelvic-spinal analysis and the impact of onabotulinum toxin A injections on spinal balance in one child with cerebral palsy [J]. *Child Neurol Open*, 2016, 3: 2329048X16679075.
- Sullivan TB, Marino N, Reighard FG, et al. Relationship between lumbar lordosis and pelvic incidence in the adolescent patient: normal Cohort analysis and literature comparison[J]. *Spine Deform*, 2018, 6(5): 529-536.
- Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth [J]. *Spine*, 2004, 29(15): 1642-1647.
- Cil A, Yazici M, Uzumcugil A, et al. The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood [J]. *Spine*, 2005, 30(1): 93-100.
- Shefi S, Soudack M, Konen E, et al. Development of the lumbar lordotic curvature in children from age 2 to 20 years [J]. *Spine*, 2013, 38(10): E602-E608.
- Oh SK, Chung SS, Lee CS. Correlation of pelvic parameters with isthmic spondylolisthesis[J]. *Asian Spine J*, 2009, 3(1): 21-26.
- Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis in the presence of L5-S1 isthmic lysis and low-grade spondylolisthesis[J]. *Spine*, 2006, 31(21): 2484-2490.
- Labelle H, Mac-Thiong JM, Roussouly P. Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 641-646.

(收稿日期:2020-09-17 末次修回日期:2021-01-18)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 李伟霞)