

骶骨形态与脊柱骨盆矢状位参数的相关性研究

宋 凯, 吴 兵, 成俊遥, 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:探索人体骶骨形态与脊柱-骨盆矢状位参数的相关性。**方法:**回顾性分析 132 例 18~35 岁健康成年人自然站立位的腰骶部正侧位 X 线片资料, 测量其腰椎前凸角 (lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角 (pelvic incidence, PI)、骶骨倾斜角 (sacral slope, SS)、骨盆倾斜角 (pelvic tilt, PT); 采用 Ferguson 法测量 T12、L1-L5、S1-S5、S5Co1 相对 S1 上终板垂线的倾斜角。测量骶骨形态学参数: 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, sacral kyphosis, SK); 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)。测量骶骨体位学参数: S2 前缘水平角 (S2HA)、S5Co1 倾斜线水平角 (S5Co1HA)。对相关参数进行统计学描述、相关性分析、线性回归、配对检验。**结果:** S2 为矢状位腰骶段“端椎”; S1-2T 与 PI 及 LL 相关系数分别为 0.656、0.260 ($P<0.01$)。SK 与 PI 及 LL 相关系数分别为 0.527、0.434 ($P<0.01$)。S1、S2 倾斜角差值与下腰椎倾斜角相关; $PI=35^\circ+0.52\times\beta-0.37\times\theta$ ($R=0.87$); $LL=79^\circ-0.45\times\theta$ ($R=0.52$); $PI=\alpha\pm10^\circ$ 、 $LL=SK\pm12^\circ$; $SS=S2HA+1.5^\circ\pm12^\circ$ 、 $S5Co1HA=91^\circ\pm11^\circ$ 。**结论:** S1-2 相对 S1 终板垂线向后倾斜程度越大, PI、LL 越小, 骶椎后凸程度越大, PI、LL 越大; S1 相对 S2 倾斜程度差异可反映下腰椎的前凸贡献程度; 骶骨形态学参数可预测 PI、LL, 骶骨体位学参数可反映骨盆倾斜状态。

【关键词】 骶骨; 脊柱骨盆参数; 矢状位序列

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2020.06.03

中图分类号: R681.5, R814.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2020)-06-0493-07

Correlation study of sacral morphology and sagittal spino-pelvic alignment/SONG Kai, WU Bing, CHENG Junyao, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(6): 493-499

【Abstract】 Objectives: To explore the correlation of sacral morphology and sagittal spino-pelvic alignment. **Methods:** The full-length free-standing radiographs of 132 healthy adults aged from 18 to 35 were reviewed. 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 angle between T12, L1-L5, S1-S5, S5Co1 tilt and the vertical line of the upper endplate of S1. The sacral morphology parameters including the angle between S1-2 tilt and the vertical line of the upper end plate of S1(S1-2T), the angle between S1-2 tilt and S5Co1 tilt(sacral kyphosis, SK), the angle 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) were measured. The sacral position parameters including the horizontal angle of anterior edge of S2 (S2HA) and the horizontal angle of S5Co1 tilt(S5Co1HA) were measured. Statistical methods included statistical description, correlation analysis, linear regression and paired t test. **Results:** S2 was the sagittal lumbo-sacral "end vertebra". The correlation between S1-2T and PI and LL was 0.656 and 0.260 ($P<0.01$), and it was 0.527 and 0.434 between SK and PI and LL($P<0.01$). The angle between S1-S5, S5Co1 tilt and the vertical line of the upper end plate of S1 were related to PI and LL; the difference of the tilt between S1 and S2 was related to the lower lumbar tilt. $PI=35^\circ+0.52\times\beta-0.37\times\theta$ ($R=0.87$); $LL=79^\circ-0.45\times\theta$ ($R=0.52$); $PI=\alpha\pm10^\circ$; $LL=SK\pm12^\circ$; $SS=S2AEHA+1.5^\circ\pm12^\circ$; $S5Co1HA=91^\circ\pm11^\circ$. **Conclusions:** The degree of backward tilt of S1 and S2 are negatively correlated with PI and LL; SK is positively correlated with PI and LL; the difference of the tilt between S1 and S2 reflects the distribution of the lower lumbar spine to LL; the sacral morphology parameters could predict PI and LL, and

第一作者简介: 男(1984-), 主治医师, 医学博士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)66938302 E-mail: songkai200018@163.com

通讯作者: 王征 E-mail: wangzheng301@163.com

sacral position parameters reflect pelvic tilted state.

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

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

近年来,矢状位骨盆参数与脊柱矢状位序列的相关性成为国内外研究热点^[1-5]。然而,着重于骨盆参数的研究反而使研究者忽视了骶骨本身的形态规律及意义。事实上,20 世纪 80、90 年代,Abitbol 研究证实,人类的腰骶角及骶骨后凸有别于四足动物,并在出生后获得行走能力的过程中逐渐增大^[6,7]。可见,骶骨形态的发生与直立姿态及脊柱-骨盆矢状位序列同样密切相关。骶骨形态在成人骨骼发育成熟后除一些机械病损外,几乎不会再发生变化,是脊柱骨盆矢状位中最不易变化、也最难发生改变的部分。因此,如果骶骨与一般脊柱-骨盆矢状位参数存在较好的相关性,我们就可以利用其固定的形态化对骨盆脊柱序列进行评估及预测。本研究对 132 例健康成人自然站立位姿态下骶骨的影像学形态及矢状位序列进行分析,探索其与骨盆入射角(pelvic incidence,PI)、腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL)、骨盆前后倾状态等矢状位参数的关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料及影像学测量参数

回顾性分析 2018 年 1 月~2019 年 12 月仅因既往诊断为“脊柱侧凸畸形”而就诊于我院的 18~35 岁的门诊患者,后经自然站立位全脊柱 X 线排查后否认该诊断。纳入对象共 132 例,平均 26.1±4.8 岁,男性 70 例,女性 62 例。

影像学参数:测量骨盆入射角(pelvic incidence,PI)、骶骨倾斜角(sacral slope,SS)、骨盆倾斜角(pelvic tilt,PT)、腰椎前凸角(lumbar lordosis,LL)(Cobb 法,S1 上终板与 T12 上终板夹角)。采用 Ferguson 法标记胸 12(T12)、腰 1-腰 5(L1-L5)、骶 1-骶 5(S1-S5)、骶 5 尾 1(S5Co1)倾斜线(红线),第 1 尾骨(Co1)与余尾骨铰链点作为 S5Co1 倾斜线的下端标记点,测量其相对应 S1 上终板垂线的倾斜角 T12T、L1T-L5T、S1T-S5T、S1Co1T(倾斜线在左侧定义倾斜角为正值,右侧为负值)(图 1)。

测量骶骨形态学参数: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)(图 2);S2 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)(图 3a)。

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)(图 3b)。

由两位脊柱外科主治医生分别测量,间隔 1 个月后重复测量,测量时调取原始尺寸影像并将骶骨局部放大至全屏以提高测量精度。统计描述及相关分析时采用第一作者首次测量值。

1.2 统计学分析

统计描述各影像学参数,对 S1-2T、SK、 α 、 β 、 θ 、S2HA、S5Co1HA 进行信度检验;将 S1T-S5T、S1Co1T 相邻两两参数进行配对 *t* 检验;将 S1T-S5T、S1Co1T、PI、SS、PT、LL 行 Pearson 相关性分析;将 S2T 作为矫正角度,将 T12T、L1T-L5T、S1T-S5T、S1Co1T 行 Pearson 相关性分析;将 S1-2T、SK、 α 、 β 、 θ 与 PI 及 LL 行相关性分析并求得线性回归方程;将 PI 与 α 、LL 与 SK、SS 与 S2HA、S5Co1HA 与固定数值 90°行配对 *t* 检验。采用 SPSS 17.0 统计学软件进行数据分析。

2 结果

本研究共纳入受试对象 132 例,平均 26.1±4.8 岁(18~35 岁),男性 70 例,女性 62 例,其统计描述见表 1。S1-2T、SK、 α 、 β 、 θ 、S2HA、S5Co1HA 观察者内信度分别为 0.907、0.958、0.976、0.920、0.958、0.951、0.947,观察者间信度分别为 0.875、0.937、0.966、0.882、0.948、0.935、0.928。

相邻两骶骨的倾斜角配对比较显示(表 2),S1T-S2T 为正值,余为负值,即,除 S2 较 S1 向后方倾斜外,余尾端椎体均较头端椎体向前倾斜。说明 S2 为骶骨矢状面的“端椎”;相比而言,S1T-S2T、S5T-S5Co1 倾斜度差值较小,而 S2T-S3T、S3T-S4T、S4T-S5T 差值较大,即骶骨后凸的贡献主要在 S3、S4,说明骶骨矢状面的后凸“顶椎”为 S3、S4。

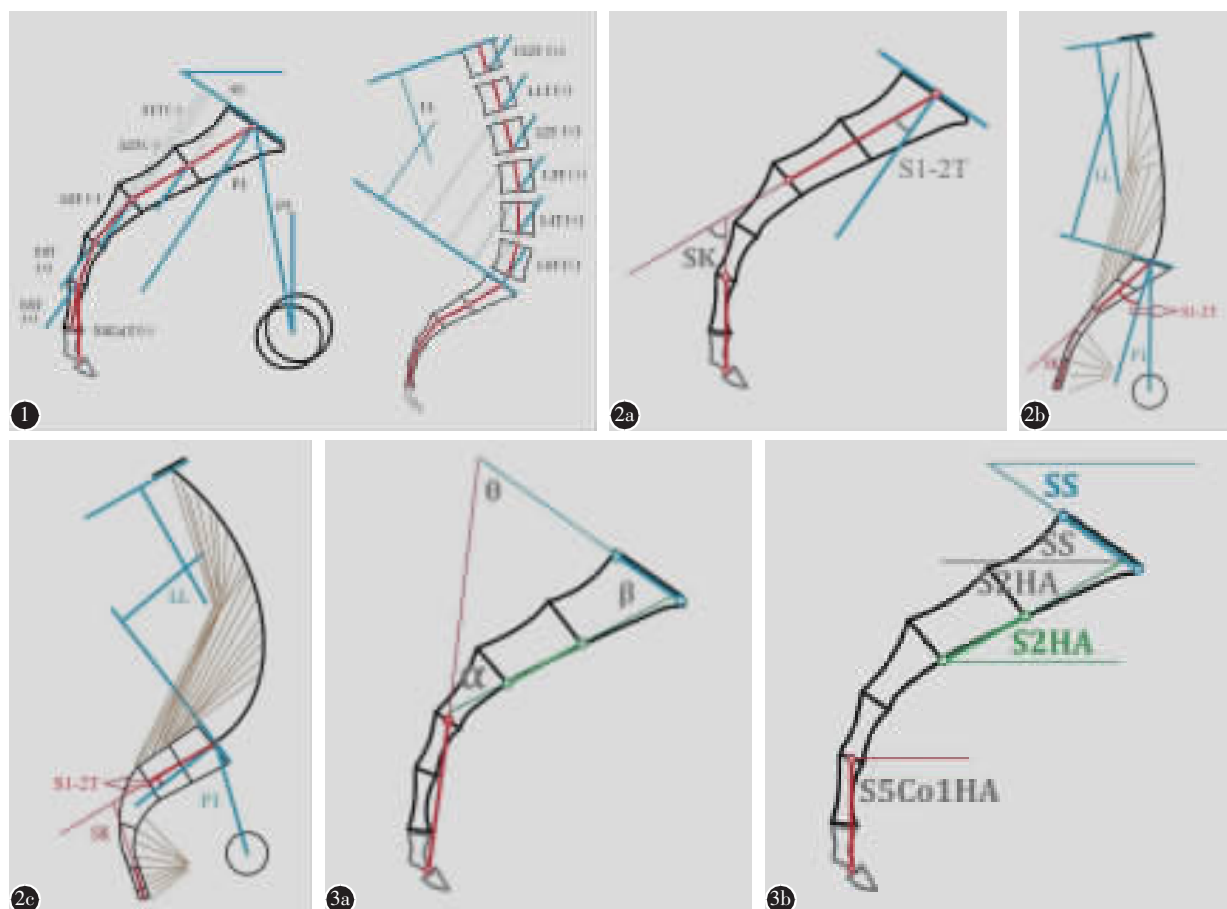


图 1 脊柱-骨盆矢状位参数测量示意图 **图 2 a** S1-2 倾斜线与 S1 终板垂线夹角(S1-2T)、S1-2 倾斜线与 S5Co1 倾斜线夹角(骶骨后凸,SK) **b** S1-2T 的绝对角度越大,SK、PI、LL 越小 **c** S1-2T 的绝对角度越小,SK、PI、LL 越大 **图 3 a** S2 前缘与 S4Co1 倾斜线夹角(α)、S1 上终板与 S2 前缘夹角(β)、S4Co1 倾斜线与 S1 上终板夹角(θ) **b** S2 前缘水平角(S2HA)、S5Co1 倾斜线水平角(S5Co1HA)

Figure 1 Schematic diagram of sagittal spino-plevic parameters **Figure 2 a** The angle between S1-2 and the vertical line of the upper end plate of S1(S1-2T), the angle between S1-2 and S5Co1(sacral kyphosis, SK) **b** A high absolute S1-2T leads to low SK, PI and LL **c** A low absolute S1-2T leads to high SK, PI and LL **Figure 3 a** The angle between the anterior edge of S2 and S4Co1 tilt(α), the upper endplate of S1 and the anterior edge of S2(β), S4Co1 tilt and the upper endplate of S1(θ) **b** The horizontal angle of anterior edge of S2(S2HA), the horizontal angle of S5Co1 (S5Co1HA)

将 S2T 作为矫正角度,将 T12T、L1T-L5T、S1T-S5T、S1Co1T 行 Person 相关性分析,如表 3 示:S1T-S2T 与 L5T-S2T、L4T-S2T、L3T-S2T、L2T-S2T、L1T-S2T、T12T-S2T 相关系数逐渐降低,而 S3T-S2T、S4T-S2T、S5T-S2T、S5Co1-S2T 与 L5T-S2T、L4T-S2T、L3T-S2T、L2T-S2T、L1T-S2T、T12T-S2T 相关系数逐渐升高。上骶椎(S1、S2)的倾斜差异程度与下腰椎倾斜差异程度相关,下骶椎(S5、S5Co1)的倾斜度与上腰椎倾斜差异程度相关。

骶骨形态学参数与 PI 及 LL 的相关性如表 4

所示。S1-2T 与 PI、LL 之间正相关,但因其为矢量方向测量,S1-2T 实际为负值,故 S1-2T 绝对值越大,S1、S2 相对 S1 终板垂线越往后方倾斜,PI、LL 越小。骶骨后凸(sacral kyphosis,SK)同样与 PI、LL 正相关,其为正值,故 SK 角度越大,PI、LL 越大。反之亦然,如图 2 所示。PI、LL 与骶骨形态学参数部分相关散点图见图 4。

多元线性回归可见,PI 可通过 θ 、 β 预测。LL 可通过 θ 、SK、PI 预测。相关线性回归方程如下: $PI=35+0.52\times\beta-0.37\times\theta$ ($R=0.87$); $PI=81-0.54\times\theta$ ($R=0.80$); $PI=0.88\times\beta-15$ ($R=0.74$); $LL=15+0.55\times$

PI+0.19×SK (R=0.57); LL=18+0.69×PI (R=0.54); LL=79-0.45×θ (R=0.52); LL=30+0.4×SK (R=0.43)。

骶骨形态学、体位学参数与 LL、PI 差异见表 5。在现有样本量的基础上,PI 与 α、LL 与 SK、SS 与 S2HA、固定值 90°与 S5Co1HA 统计学无明显差异 ($P<0.05$), 即 $PI=\alpha\pm 10^\circ$, $LL=SK\pm 12^\circ$, $SS=$

$S2HA+1.5^\circ\pm 12^\circ$, $S5Co1HA=91^\circ\pm 11^\circ$ 。

3 讨论

20 世纪 90 年代, Legaye、Dubousset 等提出矢状位骨盆参数^[1]。Roussouly 等以骨盆参数、腰前凸 (lordosis, LL) 等为体系, 对正常人直立姿态下的矢状位序列进行分型, 揭示了其与众多脊柱疾病相关^[2]。Schwab 等认为, $LL=PI\pm 9^\circ$ 可粗略的作为直立姿态下骨盆参数与腰椎前凸的配比关系^[3]。骨盆参数、LL 等评价体系在人体矢状位平衡研究中意义重大, 成为国内外脊柱领域的研究热点^[4,5]。然而, 着重于骨盆参数的研究反而使研究者忽视了骶骨本身的形态规律及意义。

在漫长的人类发展史中, 智人由四足进化为双足, 解放了双手, 极大地促进了文明的进步。在这个漫长的过程中, 脊柱序列矢状位上的“S”形变化对于直立行走的贡献功不可没。通俗地讲, 相比四足动物, 人类脊柱在“矢状位上发生了脊柱侧凸”, 而恰恰是这种侧凸畸形的发生, 为人类的直立行走做出了重要贡献。既往观点认为, 人类直立行走的关键在于“腰前凸”的形成^[8-10]。我们可以将“腰前凸”看作矢状位脊柱畸形的“原发性”及“主弯”。当腰椎前凸形成后, 主弯上下形成了“代偿弯”, 即“胸椎后凸 (thoracic kyphosis, TK)”、“骶椎后凸 (sacral kyphosis, SK)”。

既往很多研究已证实, LL 与 TK 有明确的相关性, 在矢状位平衡良好的个体中, 大的 LL 对应大的 TK, 小 LL 对应小的 TK^[2,5]。遗憾的是, LL 与 SK 相关性研究甚少。由于骶骨在发育成熟后融为一体, 如 SK 与 LL 存在密切关系, 我们就可以利用其固定的形态化 LL 进行预测。

基于此理念, 本研究对骶骨形态、PI、LL 进行相应测量及分析。由于 S1-S5 的椎体逐步细长化, 因此, 在我们研究骶骨序列时放弃了 Cobb 法, 而采用 Ferguson 法。本研究结果证实, SK 确实与 PI、LL 确实存在很好的相关性, 与既往研究相符。

既往文献认为, 骶骨整体为后凸形态, S1、S2 为后凸顶点^[11-15], 但本研究结果可见, S1 与 S2 倾斜差异虽仅仅为 1.4° , 但其仍为前凸趋势, S2 至 S5Co1 为后凸, 因此, 本研究影像学所示, 从矢状位序列上, S1、S2 实际延续了腰椎前凸, 同样是“主弯”的组成部分, 而 S2 尾端骶椎呈现后凸趋

表 1 影像学参数统计描述

Table 1 Statistical description of the radiological parameters

	$\bar{x}\pm s$
胸 12 倾斜角 (T12T)	52.7±11.2
腰 1 倾斜角 (L1T)	53.5±10.8
腰 2 倾斜角 (L2T)	52.2±9.6
腰 3 倾斜角 (L3T)	47.0±8.0
腰 4 倾斜角 (L4T)	37.4±8.2
腰 5 倾斜角 (L5T)	21.9±6.5
骶 1 倾斜角 (S1T)	-15.2±5.4
骶 2 倾斜角 (S2T)	-16.5±7.3
骶 3 倾斜角 (S3T)	-4.0±10.7
骶 4 倾斜角 (S4T)	9.4±14.0
骶 5 倾斜角 (S5T)	27.2±13.9
骶 5 尾 1 倾斜角 (S5Co1T)	34.4±13.3
骨盆入射角 (PI)	46.3±8.5
骨盆倾斜角 (PT)	11.1±6.5
骶骨倾斜角 (SS)	35.2±7.2
腰椎前凸角 (LL)	50.3±11.0
骶 1-2 倾斜角 (S1-2T)	-15.9±5.3
骶骨后凸 (SK)	50.3±11.9
骶 2 前缘-骶 4 尾 1 倾斜线夹角 (α)	46.4±10.5
骶 1 终板-S2 椎体前缘角 (β)	69.0±7.2
骶 4 尾 1-骶 1 终板夹角 (θ)	64.6±12.7
骶 2 前缘水平角 (S2HA)	33.8±7.2
骶 5 尾 1 水平角 (S5Co1HA)	90.8±10.9

表 2 S1-S5 倾斜角差异

Table 2 Difference in S1T-S5T

	$\bar{x}\pm s$	<i>t</i>	<i>P</i>
骶 1 倾角-骶 2 倾角 S1T-S2T	1.359±7.431	2.093	0.038
骶 2 倾角-骶 3 倾角 S2T-S3T	-12.550±8.032	-17.883	0.000
骶 3 倾角-骶 4 倾角 S3T-S4T	-13.412±7.986	-19.221	0.000
骶 4 倾角-骶 5 倾角 S4T-S5T	-17.802±9.404	-21.666	0.000
骶 5 倾角-骶 5 尾 1 倾角 S5T-S5Co1T	-7.183±5.681	-14.472	0.000

表 3 腰骶椎相对 S2 倾斜度相关性分析

Table 3 Correlation of lumbo-sacral tilt with S2T as baseline

	腰 5 倾角-骶 2 倾角 (L5T-S2T)	腰 4 倾角-骶 2 倾角 (L4T-S2T)	腰 3 倾角-骶 2 倾角 (L3T-S2T)	腰 2 倾角-骶 2 倾角 (L2T-S2T)	腰 1 倾角-骶 2 倾角 (L1T-S2T)	胸 12 倾角-骶 2 倾角 (T12T-S2T)
骶 1 倾角-骶 2 倾角 S1T-S2T	0.566 ^①	0.429 ^①	0.390 ^①	0.283 ^①	0.234 ^①	0.209 ^②
骶 3 倾角-骶 2 倾角 S3T-S2T	0.007	0.133	0.180 ^②	0.170	0.268 ^①	0.296 ^①
骶 4 倾角-骶 2 倾角 S4T-S2T	-0.033	0.076	0.131	0.192 ^②	0.298 ^①	0.286 ^①
骶 5 倾角-骶 2 倾角 S5T-S2T	0.049	0.102	0.167	0.219 ^②	0.354 ^①	0.405 ^①
骶 5 尾 1 倾角-骶 2 倾角 S5Co1-S2T	-0.019	0.047	0.141	0.222 ^②	0.367 ^①	0.431 ^①

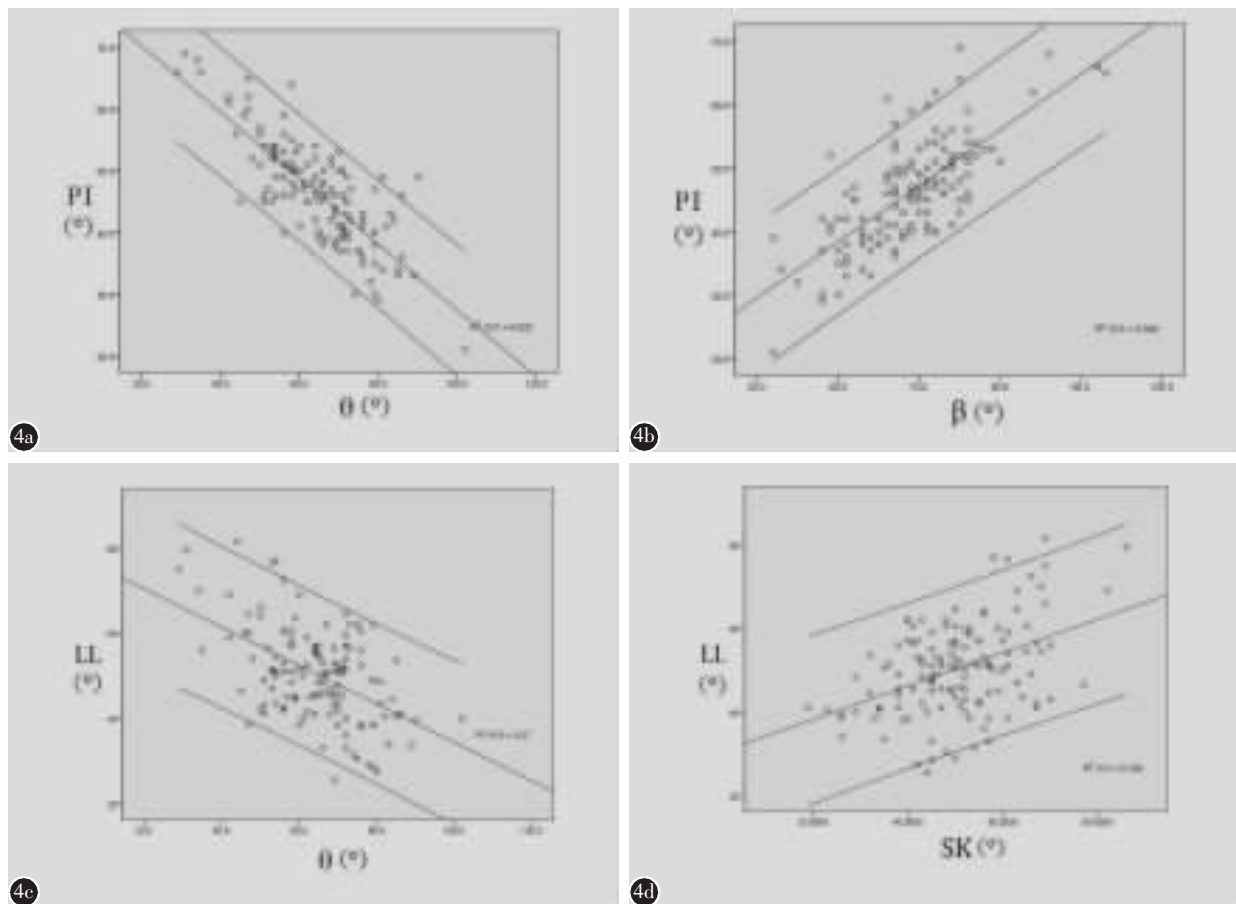
注: ① $P<0.01$; ② $P<0.05$ Note: ① $P<0.01$; ② $P<0.05$ 图 4 a PI 与 θ 的散点及线性拟合图 b PI 与 β 的散点及线性拟合图 c LL 与 θ 的散点及线性拟合图 d LL 与 SK 的散点及线性拟合图

Figure 4 a Scatter diagram and linear fitting of PI and θ b Scatter diagram and linear fitting of PI and β c Scatter diagram and linear fitting of LL and θ d Scatter diagram and linear fitting of LL and SK

势,因此,我们认为 S2 实际为腰前凸及骶后凸的“端椎”,而非“顶椎”。就解剖学角度而言,竖脊肌止于上骶椎后方,S1、S2 仍位于“主弯”腰前凸的张力带中;而 S3 至 S5Co1 受骶棘韧带、骶结节韧

带、肛尾韧带的牵拉,为反向张力带,故形成骶后凸“代偿弯”。骶髂关节的相关研究表明,S2 与 S3 对应部分的骶髂关节坎入髂骨的方向相反,且骶髂关节的旋转中心在 S2 下部对应的区域^[16]。这变

相证明了本研究认为 S2 为“端椎”的可靠性。

人的完全直立姿态形成依赖于足够程度的“主弯”,基于 S1、S2 作为“主弯”部分的理念,其在骨性结构上对主弯的贡献程度越大,则单纯腰椎所需的形变(LL)就越小。这也就解释了为何当 S1、S2 向后方偏离 S1 中点垂线程度越大,LL 就越小。

与此同时,为遵循局部前凸序列的顺应性,S1 及 S2 的后倾程度差异越大,则腰骶段前凸程度就越高,则下腰段前凸就应越明显,这就解释了本研究表 3 所示的为何 S1T-S2T 与下腰椎相关系数更高。临床实践中,我们碰到的绝大多数腰椎疾病患者,其责任节段主要集中在腰骶部分。近期研究表明,下腰椎前凸比整体 LL 在很多情况下更能有效地反映患者的活动能力及生活质量^[17,18]。因此,重视 S1、S2 的倾斜差异对于我们重建下腰椎前凸具有重要意义。

本研究定义了 5 个骶骨形态学参数,S1-2 倾斜线与 S1 终板垂线夹角 (S12T)、S1-2 倾斜线与 S5Co1 倾斜线夹角(SK)、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),这 5 个骶骨形态学参数不随个体体位变化而变化。信度检验结果显示,其可靠性均较好。

S1-2T、SK 的意义已于前文讨论。而 α 角类似于 SK(代表骶骨后凸程度),与 PI、LL 正相关; β 角类似于 S1-2T,反映 S1、S2 的后倾程度,与 PI、LL 正相关; θ 代表尾端骶骨倾斜程度,与 PI、LL 负相关。事实上, α 、 β 、 θ 的定义,一方面是基于其与 PI、LL 较好的相关性,另一方面则是基于其影像学上的可识别性。

本研究中发现,我们可以通过线性回归公式预估 PI 及 LL。当然,预测精度越高,需要介入变量越多。公式越简单($PI \approx \alpha$, $LL \approx SK$,见表 5),其准确性相对下降,但实用性增加。

通过骶骨形态对 PI 或 LL 进行预测,有时在临床中非常有必要,譬如,当影像学未包含双侧髋臼或髋臼显影不清时,我们则可以利用骶骨形态对矢状位序列进行考量并制定矫形方案。另一方面,如回归公式所示,当 PI 及骶骨形态共同作为预测因素时,LL 的精确获得高于单纯利用 PI 作为自变量计算 LL。

与此同时,本研究定义了 2 个骶骨体位学参

表 4 骶骨形态学参数与 PI 及 LL 的相关性

Table 4 Correlation between sacral morphology parameters and PI and LL

	骨盆入射角 (PI)	腰椎前凸角 (LL)
骨盆入射角 PI	1	0.536 ^①
骶 12 倾斜角 S12T	0.656 ^①	0.260 ^①
骶骨后凸 SK	0.527 ^①	0.434 ^①
骶 2 前缘-骶 4 尾 1 倾斜线夹角 α	0.452 ^①	0.398 ^①
骶 1 终板-S2 椎体前缘角 β	0.741 ^①	0.334 ^①
骶 4 尾 1-骶 1 终板夹角 θ	-0.795 ^①	-0.520 ^①

注:① $P<0.01$;② $P<0.05$

Note: ① $P<0.01$; ② $P<0.05$

表 5 骶骨形态学、体位学参数与 LL、PI 差异

Table 5 Difference between morphology and position parameters and PI and LL

	$\bar{x} \pm s$	t	P
骨盆入射角-腰椎前凸角 PI-LL	-3.992 $\pm$ 9.636	-4.742	0.000
骨盆入射角-骶 2 前缘-骶 4 尾 1 倾斜线夹角/PI- α	-0.099 $\pm$ 10.105	-0.112	0.911
腰椎前凸角-骶骨后凸角 LL-SK	0.000 $\pm$ 12.219	0.000	1.000
骶 2 前缘水平角-骶骨倾斜 角/S2HA-SS	1.458 $\pm$ 12.494	1.336	0.184
骶 5 尾 1 倾斜水平角-90 S5Co1HA-90	0.80153 $\pm$ 10.94280	0.838	0.403

数,S2 前缘水平角 (S2HA)、S5Co1 倾斜线水平角 (S5Co1HA),如同 SS 及 PT,其随个体体位变化而变化。正如本研究表 5 所示,SS $\approx$ S2HA, S5Co1HA $\approx$ 90°(即 S5Co1 垂直地面)。

理论上,当骶骨后倾时,S2HA>SS,S5Co1HA<90°;当骶骨前倾时,S2HA<SS,S5Co1HA>90°。这比考虑 SS $\approx$ 35°或 PT $\approx$ 11°更为方便实用。

本研究不足:(1)本研究将尾 1(Co1)纳入骶骨测量,其中一方面是考虑其对 S5 的延续性^[9]。一般来讲,Co1 与 Co2 间的不连续性更为显著,拐角更大,其绞连点更容易识别。但是,其在部分变异个体测量时仍然存在很大困难。(2)骶骨后凸可能与平卧姿势有关^[7],本研究未能涉及。(3)本研究为初步研究,未涉及骶骨形态与脊柱骨盆序列在病理性疾患个体中不匹配情况,未能个体化规划出患者的最佳脊柱-骨盆矢状位序列,整体研究水平和深度不足。(4)本研究数据较多,梳理不

够清晰,不利于理解。

4 结论

S1、S2 相对 S1 终板垂线向后倾斜绝对程度与 PI、LL 负相关;骶骨后凸(SK)与 PI、LL 正相关;S1 相对 S2 倾斜程度差异反映下腰椎的前凸贡献程度;骶骨形态学参数可预测 PI、LL,骶骨体位学参数可反映骨盆倾斜状态。

5 参考文献

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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): E599-606.
5. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, et al. Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine [J]. Eur Spine J, 2013, 22(6): 834-841.
6. Abitbol MM. Evolution of the lumbosacral angle[J]. Ame J Phys Anthropol, 1987, 72(3): 361-372.
7. Abitbol MM. Sacral curvature and supine posture[J]. Am J Phys Anthropol, 1989, 80(3): 379-389.
8. Farfan HF. The biomechanical advantage of lordosis and hip extension for upright activity: man as compared with other anthropoids[J]. Spine, 1978, 3(4): 336-342.
9. Amonoo-Kuofi HS. Changes in the lumbosacral angle, sacral inclination and the curvature of the lumbar spine during

aging[J]. Cells Tissues Organs, 1992, 145(4): 373-377.

10. Tardieu C, Bonneau N, Hecquet J, et al. How is sagittal balance acquired during bipedal gait acquisition? Comparison of neonatal and adult pelves in three dimensions. Evolutionary implications[J]. J Hum Evol, 2013, 65(2): 209-222.
11. 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.
12. Baker JF, Don AS, Robertson PA. Pelvic incidence: computed tomography study evaluating correlation with sagittal sacropelvic parameters[J]. Clin Anat, 2020, 33(2): 237-244.
13. McKay G, Torrie PA, Dempster G, et al. The relationship between sacral kyphosis and pelvic incidence[J]. Asian Spine J, 2018, 12(1): 74-79.
14. Borisov VN, Prokhorov MA. Curvature of the human sacrum based on morphometric data [J]. Arkh Anat Gistol Embriol, 1982, 83(8): 72-75.
15. Antoniadis SB, Hammerberg KW, Dewald RL. Sagittal plane configuration of the sacrum in spondylolisthesis [J]. Spine, 2000, 25(9): 1085-1091.
16. Vleeming A, Schuenke MD, Masi AT, et al. The sacroiliac joint: an overview of its anatomy, function and potential clinical implications[J]. J Anat, 2012, 221(6): 537-567.
17. Yilgor C, Sogunmez N, Yavuz Y, et al. Relative lumbar lordosis and lordosis distribution index: individualized pelvic incidence-based proportional parameters that quantify lumbar lordosis more precisely than the concept of pelvic incidence minus lumbar lordosis[J]. Neurosurg Focus, 2017, 43(6): E5.
18. Yilgor C, Sogunmez N, Boissiere L, et al. Global alignment and proportion(GAP) score[J]. J Bone Joint Surg Am, 2017, 99(19): 1661-1672.
19. Sunay SK, Kudret CK, Dilek SD. Anatomic and morphometric evaluation of the coccyx in the adult population[J]. Journal of Harran University Medical Faculty, 2019, 16(2): 221-226.

(收稿日期:2020-04-30 修回日期:2020-06-03)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)