

正常国人脊柱-骨盆矢状位序列拟合关系研究

孙卓然, 李危石, 陈仲强, 于森, 赵文奎

(北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

【摘要】目的:建立国人腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)与骨盆矢状位序列间的拟合关系。**方法:**采用影像学分析,对 171 例正常青年志愿者进行影像学检查,男 94 例,女 77 例,年龄 23.0 ± 1.8 岁(18~28 岁)。均行全脊柱正侧位 X 线片检查,利用院内影像归档与通信系统测量脊柱与骨盆矢状位参数,包括骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、LL、胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK)、颈椎前凸角(cervical lordosis, CL)、矢状位平衡(sagittal vertical axis, SVA)。利用 Pearson 检验进行 LL 与其他各参数间相关性分析,利用线性回归分析建立 LL 与其他各参数间线性拟合关系。根据既往研究 $LL=PI+9$,以 PI 测量值为基础,运用配对样本 t 检验进行 LL 预测值与实际测量值间对比。**结果:**PI 为 $44.6^\circ \pm 9.5^\circ$, LL 为 $48.4^\circ \pm 10.8^\circ$, SS 为 $34.4^\circ \pm 8.0^\circ$, TK 为 $24.2^\circ \pm 9.6^\circ$, CL 为 $7.9^\circ \pm 9.6^\circ$, SVA 为 -20.5 ± 30.1 mm; LL 与 PI、SS、TK、CL、SVA 呈显著相关($P < 0.05$)。运用多元线性回归分析, $LL=2.958+0.760 SS+0.323 TK+0.198 PI+0.122 CL-0.118 SVA$;运用简单线性回归分析, $LL=0.623 PI+20.611$ 。根据既往文献报道 $LL=PI+9$,以此计算出的 LL 预测值 $53.7^\circ \pm 9.5^\circ$ 与实际测量值差异显著($t=7.025, P < 10^{-6}$)。**结论:**以 PI 为自变量的简单线性回归 $LL=0.623 PI+20.611$ 能准确估计个体的 LL,在西方人群中得到的 $LL=PI+9$ 结果并不适用于国人 LL 的估计。

【关键词】 骨盆入射角;腰椎前凸角;线性回归

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2015.01.01

中图分类号:R816.8, R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2015)-01-0001-05

Radiographic analysis of spino-pelvic sagittal alignment and prediction of lumbar lordosis in Chinese asymptomatic subjects/SUN Zhuoran, LI Weishi, CHEN Zhongqiang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(1): 1-5

【Abstract】 Objectives: To investigate a prediction equation of lumbar lordosis from selective spinal and pelvic sagittal parameters in Chinese asymptomatic subjects. **Methods:** This was a prospective radiological analysis by using full-spine standing lateral radiographs of Chinese volunteers. One hundred seventy-one volunteers[94 males, 77 females; mean age 23.0 ± 1.8 years(range, 18-28 years)] participated in this series. Pelvic and spinal parameters were measured, including pelvic incidence(PI), pelvic tilt(PT), sacral slope(SS), lumbar lordosis(LL), thoracic kyphosis(TK), cervical lordosis(CL), sagittal vertical axis(SVA). Pearson correlation test was calculated and a multifactor regression analysis was conducted by using the lumbar lordosis(dependent variable) and the other spinal and pelvic parameters(independent variables) to determine the best sets of predictors. According to a formula proposed by Duval-Beaupere, $LL=PI+9$, a paired sample t test was conducted between the predicted and measured values. **Results:** PI was $44.6^\circ \pm 9.5^\circ$, LL was $48.4^\circ \pm 10.8^\circ$, SS was $34.4^\circ \pm 8.0^\circ$, TK was $24.2^\circ \pm 9.6^\circ$, CL was $7.9^\circ \pm 9.6^\circ$, SVA was -20.5 ± 30.1 mm. LL was significantly correlated with PI, SS, TK, CL and SVA($P < 0.05$). Based on a multifactor regression analysis, LL predictive equation was $LL=2.958+0.760 SS+0.323 TK+0.198 PI+0.122 CL-0.118 SVA$. Only based on PI, predictive equation was $LL=0.623 PI+20.611$. According to $LL=PI+9$, there was a significant difference between measured and predicted lordosis($t=7.025, P < 10^{-6}$). **Conclusions:** Using simple linear regression analysis, LL can be precisely predicted, $LL=0.623 PI+20.611$. The formula proposed by Duval-Beaupere($LL=PI+9$) can not be applied in Chinese subjects.

【Key words】 Pelvic incidence; Lumbar lordosis; Linear regression

【Author's address】 Orthopaedic Department, Peking University Third Hospital, Beijing, 100191, China

基金项目:北京市科委首都市民健康项目培育(Z131100006813038)

第一作者简介:男(1986-),医学博士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)82267368 E-mail:puh3_szzr@outlook.com

通讯作者:李危石 E-mail:liweishi@medmail.com.cn

骨盆矢状位形态序列对脊柱矢状位序列调节的重要性已经在很多学者的研究中得到证明^[1-5]。骨盆入射角(PI)代表骨盆矢状位形态,与腰椎前凸角(LL)间密切相关。许多西方学者提出了描述 LL 的计算公式,尤其是 Duval-Beaupere 等^[6]提出的 $LL=PI+9$,作为 LL 的初步估计公式,将这种拟合关系广泛应用在脊柱矫形手术策略制定中。但现有的拟合关系都是在西方人群中计算得出的。李危石等^[7]发现,国人 PI、LL 显著小于西方人群。在国人中,LL 与 PI 间是否还维持着同样的拟合关系,能否用同样的拟合关系来评估矫形手术中 LL 的重建,目前尚不清楚。为此,我们对 171 例青年志愿者进行影像学研究,分析脊柱-骨盆矢状位序列拟合关系,旨在建立适合国人解剖特点的 LL 与骨盆矢状位序列的线性拟合关系,为国人脊柱矫形手术腰椎前凸重建策略提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究经北京大学第三医院伦理委员会批准(项目编号 IRB00006761-2012066),于 2012 年 6 月~2012 年 8 月在医院周边高校招募项目研究志愿者,所有志愿者签署知情同意书。入选标准:(1) 年龄 18~30 岁;(2) 除外慢性腰腿痛及既往有脊柱畸形、脊柱手术及骨盆、髋关节、下肢疾病史;

(3) 全脊柱正侧位 X 线片无脊柱滑脱表现,冠状位脊柱侧凸 Cobb 角 $<10^\circ$,无矢状位后凸畸形。共 171 名志愿者纳入研究,其中男性 94 名,女性 77 名。记录各志愿者年龄、体重、性别、身高,并计算身高体重指数(body mass index, BMI), $BMI = \text{体重}(\text{kg}) / \text{身高}(\text{m})^2$ 。

1.2 影像学测量

所有志愿者签署研究知情同意书后,行负重位全脊柱(包含双侧髋关节)正侧位 X 线片检查。投照源固定,连续曝光后自动拼接成像。摄片体位依据 Horton 等^[8]研究,取直立位,充分伸展膝关节、髋关节,肘关节完全屈曲,双拳置于同侧锁骨上。通过院内影像归档与通信系统(Centricity RIS/PACS, GE healthcare)进行影像学参数测量。所有测量由两位作者(孙卓然,李危石)测量,结果取平均值并记录。各参数及测量方法如下。(1) 骨盆矢状位形态及序列参数(图 1):① PI, 经 S1 上终板中点作一条垂直于终板的直线,再经 S1 上终板的中心和股骨头中心点作一条直线,两条直线间的夹角;② 骨盆倾斜角(PT), 经过 S1 上终板中点以及两侧股骨头中心连线中点的直线与铅垂线间的夹角;③ 骶骨倾斜角(SS), S1 终板与水平线间的夹角。(2) 脊柱矢状位序列参数(图 2):① LL, L1 上终板与 S1 上终板间夹角;② 胸椎后凸角(TK), T4 上终板与 T12 下终板间夹角;③ 颈椎前

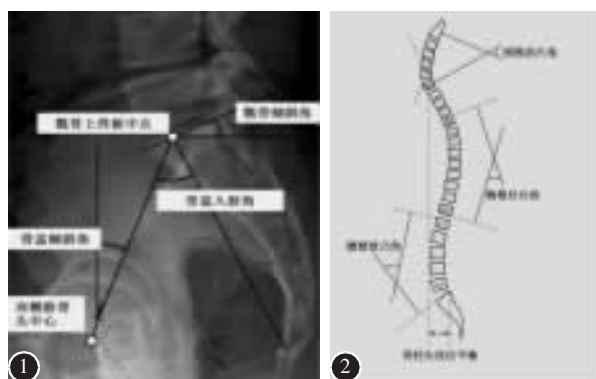


图 1 在全脊柱侧位 X 线片上测量:骨盆入射角,经 S1 上终板中点并垂直于终板的直线与经 S1 上终板的中心和股骨头中心点直线间的夹角;骨盆倾斜角,经过 S1 上终板中点以及两侧股骨头中心连线中点的直线与铅垂线间的夹角;骶骨倾斜角, S1 终板与水平线间的夹角 图 2 在全脊柱侧位 X 线片上测量脊柱矢状位参数的示意图:腰椎前凸角, L1 上终板与 S1 上终板间夹角;胸椎后凸角, T4 上终板与 T12 下终板间夹角;颈椎前凸角, C2 后壁与 C7 后壁间夹角;脊柱矢状位平衡,经 C7 椎体中心所作的铅垂线与 S1 后上缘的水平距离

Figure 1 Schematic diagram of pelvic sagittal morphology

and alignment parameters on the whole spine X-ray film: PI, the angle between the line perpendicular to the middle of the cranial sacral end-plate and the line extending from the middle of the cranial sacral endplate to the center of the bicoxofemoral axis; PT, the angle between the vertical line and the line joining the middle of the sacral plate and the center of the bicoxofemoral axis; SS, the angle between the horizontal line and the cranial sacral end-plate tangent

Figure 2 Schematic diagram of spinal sagittal parameters on the whole spine X-ray film: LL, the angle between the cranial endplate of L1 and the endplate of S1; TK, the angle between the superior endplate of T4 and the inferior endplate of T12 by Cobb method; CL, the angle between the posterior wall of C2 and the posterior wall of C7 by Cobb method; The sagittal vertical axis is determined on the basis of deviation of the C7 plumb line, originating at the center of the C7 vertebral body, from the posterior superior endplate of S1

凸角(CL),C2 后壁与 C7 后壁间夹角;④脊柱矢状位平衡(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。

1.3 数据处理与统计

采用 SPSS 17.0 软件进行统计学分析,分为三步:(1)对样本年龄、身高、体重、性别、BMI、各参数进行描述性分析;(2)运用 Pearson 检验进行 LL 与其他各参数间相关性分析,统计学差异为 $P<0.05$;(3)以 LL 的影响因子为自变量,LL 为因变量,运用线性回归分析,分别建立 LL 与自变量间的多元回归和简单回归拟合关系。

2 结果

志愿者年龄为 23.0 ± 1.8 岁(18~28 岁),PI、PT、SS、LL、TK、CL 及 SVA 的平均值、标准差、范围及标准误差见表 1。171 例志愿者的 PI 为 $44.6^\circ\pm 9.5^\circ$,男性 PI 为 $43.7^\circ\pm 9.7^\circ$,女性 PI 为 $45.9^\circ\pm 9.2^\circ$,性别间无统计学差异($P=0.128$)。

LL 与其他各参数间相关性分析结果见表 2,LL 与 PI、SS、TK、CL、SVA 显著相关($P<0.05$),LL 与 PT 无相关性($P>0.05$)。

应用逐步回归法对自变量进行筛选(表 3),依次纳入 SS、SVA、TK、PI、CL,排除 PT。应用这 5 个参数预测 LL 的公式为: $LL_1=2.958+0.760\ SS+0.323\ TK+0.198\ PI+0.122\ CL-0.118\ SVA$ ($R_1=0.856, R_1^2=0.733$),通过标准系数比较发现,各自变量对 LL 值预测的效用依次为 SS、SVA、TK、PI、CL(表 4),LL 测量值与预测值残差为 0.000 ± 5.500 ,残差平均值的 95%置信区间为 $(-0.830, 0.830)$ 。在上述预测公式中,自变量参数 SS、SVA、TK、CL 为位置参数,在某些疾病中会发生相应改变。只有 PI 是解剖参数,在成年后会保持不变,所以,以 PI 为单一自变量,则 LL 预测值为: $LL_2=0.623\ PI+20.611$ ($R_2=0.547, R_2^2=0.299$),测量值与预测值残差为 0.000 ± 9.063 ,残差平均值的 95%置信区间为 $(-1.368, 1.368)$ 。

根据 Duval-Beaupere 等^[9]的预测公式 $LL=PI+9$,以本研究中样本测量 PI 值为基础,计算出 LL 预测值为 $53.7^\circ\pm 9.5^\circ$,运用配对样本 t 检验,与实际测量值 $48.4^\circ\pm 10.8^\circ$ 相比,有统计学差异($t=7.025, P<10^{-6}$)。

3 讨论

骨盆矢状位形态不但参与脊柱矢状位平衡的调节,而且与脊柱矫形手术策略的制定、患者术后生活质量密切相关,这在许多研究中已经得到证实^[1-5]。在正常人群中,脊柱序列与骨盆序列密切相关。骨盆主要通过两种机制调节躯干的矢状位平衡,第一,PI、SS 与 LL 密切相关,PI 通过调整 SS 的大小,改变 LL,从而调整脊柱的序列,影响整体矢状位平衡;第二,当腰椎曲度失去代偿变化

表 1 各参数平均值、标准差、范围、标准误

Table 1 Mean value, standard deviation, range and standard error of each parameter

参数 Parameter	平均值±标准差 ($\bar{x}\pm s$)	范围 Range	标准误 Standard error
BMI	21.6±3.2	16.1~43.3	0.250
PI(°)	44.6±9.5	20.0~88.8	0.727
PT(°)	10.2±6.4	-4.6~32.0	0.492
SS(°)	34.4±8.0	0.3~68.5	0.611
LL(°)	48.4±10.8	21.9~81.5	0.828
TK(°)	24.2±9.6	3.2~53.1	0.737
CL(°)	7.9±9.6	-21.8~39.9	0.734
SVA(mm)	-20.5±30.1	-89.6~77.6	2.304

表 2 LL 与脊柱-骨盆参数 Pearson 检验的的相关系数

Table 2 Coefficients of Pearson test between lumbar lordosis and spino-pelvic parameters

	LL
PT	-0.100 ^①
SS	0.744 ^②
PI	0.547 ^②
TK	0.437 ^②
CL	0.178 ^②
SVA	-0.241 ^②

注:① $P>0.05$;② $P<0.05$

Note: ① $P>0.05$; ② $P<0.05$

表 3 逐步回归法(Stepwise selection)对自变量的选择

Table 3 The multivariate variable selection(Stepwise selection)

序号 Model size	R	R ² R-squared	调整 R ² R-squared change	自变量 Independent variable
1	0.729	0.532	0.529	SS
2	0.791	0.626	0.622	SS, SVA
3	0.841	0.707	0.702	SS, SVA, TK
4	0.850	0.722	0.715	SS, SVA, TK, PI
5	0.856	0.733	0.725	SS, SVA, TK, PI, CL

表 4 不同模型自变量的回归系数与常量
Table 4 The regression coefficients and intercepts in different model size

模型 Model size	回归系数 Regression coefficient	P值 P value	标准系数 Standardized coefficient
多元线性回归分析 Multiple linear regression			
SS	0.760	<10 ⁻⁶	0.564
SVA	-0.118	<10 ⁻⁶	-0.329
TK	0.323	<10 ⁻⁶	0.289
PI	0.198	0.005	0.174
CL	0.122	0.009	0.108
常量 1 Intercept 1	2.958	<10 ⁻⁶	0
简单线性回归分析 Simple linear regression			
PI	0.623	<10 ⁻⁶	0.547
常量 2 Intercept 2	20.611	<10 ⁻⁶	0

的能力时,骨盆直接通过 PT 的变化,即骨盆围绕双侧股骨头的中心旋转的变化,影响整体矢状位平衡。由于 PI 是骨盆矢状位形态参数,不受骨盆位置的变化,PI=PT+SS,PI 的大小决定了骨盆调整 LL 能力的大小,PI 起到核心的作用。

本研究通过相关性分析发现,LL 与 PI、SS、SVA、CL、TK 密切相关,所以我们首先选取这 5 个参数进行 LL 的多元线性回归分析,并在线性回归中,用逐步法对自变量进行进一步选择,最终纳入 PI、SS、SVA、CL、TK 5 个参数,其中包括了骨盆形态学参数 PI、骨盆矢状位序列参数 SS、脊柱矢状位序列参数 TK 与 CL、躯干整体矢状位平衡参数 SVA,得到多元线性回归公式,其中决定系数 $R_1^2=0.733$,表明具有很好的线性相关。但在这个线性回归预测公式中,所有的自变量均为正常成人的矢状位参数值。实际临床应用中,在脊柱病理状态下,病变相邻节段的矢状位参数会发生代偿性变化。例如,对于胸腰椎角状后凸畸形患者,会出现胸腰段后凸畸形改变,胸椎后凸减小,腰椎前凸代偿性增加,且骨盆以双侧股骨头为中心出现代偿性向后旋转等变化^[9],TK、SS、甚至整体矢状位 SVA 都会与正常值不同,所以利用患者术前的 TK、PI、SS、SVA 在多元线性回归公式中计算 LL 需矫正重建的程度不准确。鉴于骨盆的矢状位形态参数 PI 在成人肌肉骨骼发育成熟后,就始终保持不变,即使在脊柱畸形和严重退变情况下,PI

依然保持不变^[9-11],因此用 PI 值作为基础计算患者 LL 更为可行。为此,我们单独以 PI 为自变量,利用简单线性回归,得出 LL₂ 预测值=0.623 PI+20.611,决定系数 $R_2^2=0.299$,与多元线性回归结果相比,尽管决定系数较小,线性程度不如多元线性回归,但在临床应用中更加简便、有效。

由于随着年龄增长,脊柱会发生不同程度的退变,LL 可能会发生改变。Korovessis 等^[12]报道正常成人的 LL 在青春期后达到最大,且在 70 岁以后出现明显减小的趋势。Kobayashi 等^[13]对 100 例平均年龄 62.0 岁老年正常人群进行平均 12 年的随访,发现在末次随访时,仅 34 例 LL 的变化在 5°范围内。为此,在本研究中,我们选择 18~28 岁正常青年成人作为研究对象,既可以保证脊柱、骨盆发育成熟,又可以最大程度地减少由年龄增长所致退变因素对脊柱-骨盆矢状位序列及平衡的影响,目的在于描述无明显脊柱退变情况下的正常 LL 与骨盆矢状位参数间的拟合关系。对于老年人群,LL 与骨盆矢状位序列间是否维持着同样的线性关系,简单线性回归预测的准确性如何,需要纳入更大样本量、无症状老年人群、甚至严格的纵向性研究中进一步验证。

Boulay 等^[14]对 149 例正常成人进行脊柱-骨盆矢状位序列分析,发现样本 PI 为 $53.13^\circ \pm 9.04^\circ$,LL 测量值为 $66.36^\circ \pm 9.47^\circ$,并提出预测公式为 $LL = -9.13847 + 0.19225 \text{ Kyphosis} + 1.54225 \text{ Sacral_Slope} - 0.26799 \text{ Incidence} + 1.39705 \text{ T9_Tilt}$ ($R^2=0.894$),其中 T9_Tilt 为 T9 椎体倾斜角。Lagaye 等^[15]对 49 例正常成人进行矢状位序列分析,发现男性 PI 为 $53.2^\circ \pm 10.3^\circ$,LL 测量值为 $61.4^\circ \pm 10.2^\circ$,女性 PI 为 $48.2^\circ \pm 7.0^\circ$,LL 测量值为 $58.1^\circ \pm 10.8^\circ$,并提出预测公式为 $LL = 0.3172 \text{ Kyphosis} + 1.118 \text{ Sacral_Slope} - 0.05543 \text{ Incidence} - 0.791 \text{ Pelvic_tilt} + 0.3247 \text{ Overhang S1} + 5.511$ ($r=0.949$),其中 Overhang S1 为 S1 终板中点距双侧股骨头中心的垂直距离。通过各研究间的对比,我们发现,尽管各预测公式中的常量和自变量的回归系数不尽相同,且采用了不同的矢状位平衡参数 (SVA、T9_Tilt、Overhang S1),但各预测公式都采用了骨盆矢状位参数 (PI、PT、SS) 和相邻节段参数 (TK) 为基础作为自变量,并且都有较高的决定系数值,表现出密切的线性相关。但由于目前许多学者报道了不同的描述脊柱-骨盆矢状位序列及平衡的参数^[4,16],在不同的

研究中纳入了不同的参数,会得到不同的多元线性回归公式,难以在不同研究间做横向比较,同时也会使其在临床应用中变得复杂。Duval-Beaupere 等^[6]运用线性回归方法预测 $LL=PI+9$,单纯利用 PI 来预测 LL 大小,作为术中腰椎前凸重建的参考,已被广泛应用,更为简便、有效^[6,17,18]。但国人正常的 PI 和 LL 值显著小于西方人群^[7],所以将公式 $LL=PI+9$ 应用在国人 LL 预测中,可能会夸大估计国人 LL 的大小,不能准确估计国人 LL。本研究发现,如按照西方人群的线性回归公式计算国人腰椎前凸,会明显增加 LL 的预测值,与实际测量值有显著性差异。为此我们提出,不能将 $LL=PI+9$ 用于国人 LL 的预测,而 $LL=0.623 PI+20.611$ 可以作为国人正常 LL 预测值的初步估计。

Schwab 等^[17]提出为使脊柱畸形患者获得术后良好的疗效和矢状位平衡, SVA 小于 5cm, PT 小于 25° , 同时需要将 LL 重建在 $LL=PI\pm 9^\circ$ 范围内。本研究提出国人 $LL=0.623 PI+20.611$, 对于国人脊柱畸形患者,为使患者获得良好的矢状位平衡,以正常的拟合关系为基础,利用患者个体 PI 值探究脊柱畸形患者个体化的 LL 重建范围,将在未来研究中进一步探讨。

4 参考文献

1. Li WS, Li G, Chen ZQ, et al. Sagittal plane analysis of the spine and pelvis in adult idiopathic scoliosis[J]. Chin Med J (Engl), 2010, 123 (21): 2978-2982.
2. Chaléat-Valayer E, Mac-Thiong JM, Paquet J, et al. Sagittal spino-pelvic alignment in chronic low back pain[J]. Eur Spine J, 2011, 20 (5): 634-640.
3. 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.
4. 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): E1193-1198.
5. 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.
6. 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.
7. 李危石, 孙卓然, 陈仲强. 正常脊柱-骨盆矢状位参数的影像学研究 [J]. 中华骨科杂志, 2013, 33(5): 447-453.
8. Horton WC, Brown CW, Bridwell KH, et al. Is there an optimal patient stance for obtaining a lateral 36" radiograph? a critical comparison of three techniques[J]. Spine, 2005, 30(4): 427-433.
9. 李危石, 陈仲强, 郭昭庆, 等. 胸椎及胸腰段角状后凸畸形对骨盆矢状位形态及序列的影像[J]. 中华外科杂志, 2011, 49 (2): 135-139.
10. Mac-Thiong JM, Labelle H, Roussouly P. Pediatric sagittal alignment[J]. Eur Spine J, 2011, 20(Suppl 5): 586-590.
11. Lee CS, Chung SS, Kang SC, et al. Normal patterns of sagittal alignment of the spine in young adults radiological analysis in a Korean population[J]. Spine, 2011, 36(25): E1648-1654.
12. Korovessis PG, Stamatakis MV, Baikousis AG. Reciprocal angulation of vertebral bodies in the sagittal plane in an asymptomatic Greek population[J]. Spine, 1998, 23(6): 700-705.
13. Kobayashi T, Atsuta Y, Matsuno T, et al. A Longitudinal study of congruent sagittal spinal alignment in an adult cohort[J]. Spine, 2004, 29(6): 671-676.
14. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis[J]. Eur Spine J, 2006, 15 (4): 415-422.
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. Vrtovec T, Janssen M, Likar B, et al. A review of methods for evaluating the quantitative parameters of sagittal pelvic alignment[J]. Spine J, 2012, 12(5): 433-446.
17. Schwab F, Patel A, Ungar B, et al. Adult spinal deformity postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? an overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery [J]. Spine, 2010, 35(25): 2224-2231.
18. Rose PS, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy [J]. Spine, 2009, 34(8): 785-791.

(收稿日期:2014-08-31 末次修回日期:2014-12-29)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)