

临床论著

成人最大腰椎前凸预测公式的建立及评价

牛升波, 杨 桓, 陈绍丰, 杨明园, 陈 凯, 白玉树, 杨长伟, 李 明

[海军军医大学(第二军医大学)长海医院骨科 200433 上海市]

【摘要】目的:建立一个新的预测成人最大腰椎前凸的公式,评价其可靠性和有效性。**方法:**收集 311 例健康成人的一般资料与站立位脊柱全长侧位 X 线片,在 X 线片上测量最大腰椎前凸(maximal lumbar lordosis, maxLL)、最大胸椎后凸(maximal thoracic kyphosis, maxTK)、骶骨倾斜角(sacral slope, SS)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)。应用 Pearson 相关分析在其中 220 例研究对象中分析 maxLL 与 maxTK、SS、PT 和 PI 之间的相关关系,利用与 maxLL 相关的变量进行多元回归分析,建立腰椎前凸预测公式;利用建立的公式对其余 91 例研究对象的 maxLL 进行预测,并与实际测量的 maxLL 进行比较,验证预测公式的可靠性与有效性。**结果:**maxLL 与 maxTK($r=0.564, P<0.001$)、SS($r=0.783, P<0.001$)、PT($r=-0.155, P=0.021$)和 PI($r=0.483, P<0.001$)有关。多元回归分析表明 maxLL 与 maxTK、PI 显著相关性($P<0.001$),建立预测公式为: $\text{maxLL}=0.6 \times \text{maxTK} + 0.5 \times \text{PI} + 3$ ($R^2=0.55$)。用公式预测的 maxLL 为 $49.32^\circ \pm 7.06^\circ$, 实际测量的 maxLL 为 $48.70^\circ \pm 9.46^\circ$, 差异无显著性($P=0.408$)。**结论:**maxTK 与 PI 是 maxLL 的主要影响因素,建立的预测公式预测成人最大腰椎前凸具有良好的可靠性与有效性。

【关键词】腰椎前凸;预测公式;交界椎体

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.11.03

中图分类号: R816 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-11-0976-07

Establishment and evaluation of the maximum lumbar lordosis prediction formula in adults/NIU Shengbo, YANG Huan, CHEN Shaofeng, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31 (11): 976-982

【Abstract】 Objectives: To establish a new formula for predicting the maximum lumbar lordosis in adults and evaluate its reliability and validity. **Methods:** The general data and standing full-length lateral X-ray radiographs of 311 healthy adults were collected. The maximal lumbar lordosis (maxLL), maximal thoracic kyphosis (maxTK), sacral slope (SS), pelvic tilt (PT), pelvic incidence (PI) were measured on X-ray radiographs. Pearson correlation analysis was performed to analyze the correlation between maxLL and maxTK, SS, PT, and PI in 220 subjects. The prediction formula of maximum lumbar lordosis was established by multiple regression analysis of variables associated with maxLL. The maxLL of the remaining 91 subjects was predicted by the established formula and compared with the actual measured maxLL to verify the reliability and validity of the prediction formula. **Results:** MaxLL was correlated with maxTK($r=0.564, P<0.001$), SS($r=0.783, P<0.001$), PT($r=-0.155, P=0.021$) and PI($r=0.483, P<0.001$). Multiple regression analysis showed that maxLL was significantly correlated with maxTK and PI($P<0.001$), and the established prediction formula was as follows: $\text{maxLL}=0.6 \times \text{maxTK} + 0.5 \times \text{PI} + 3$ ($R^2=0.55$). The maxLL predicted by the formula was $49.32^\circ \pm 7.06^\circ$, and the actually measured maxLL was $48.7^\circ \pm 9.46^\circ$, with no significant difference($P=0.408$). **Conclusions:** MaxTK and PI are the primary contributors to maxLL. The established prediction formula has good reliability and validity in predicting the maximum lumbar lordosis in adults.

【Key words】 Lumbar lordosis; Predictive formula; Transitional vertebra

【Author's address】 Department of Orthopaedics, Changhai Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai, 200433, China

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:81972035)

第一作者简介:男(1984-),博士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(021)31161706 E-mail:niushengbo@163.com

共同第一作者:杨桓 E-mail:alexxyang_chyy@126.com

通讯作者:李明 E-mail:limingch@21cn.com;杨长伟 E-mail:changwei_y@qq.com

脊柱骨盆矢状面参数与患者健康相关生存质量(health-related quality of life, HRQOL)评估中的躯体功能、疼痛、心理健康、自我形象和治疗满意度有显著相关性^[1-7]。恢复脊柱矢状面平衡是脊柱疾病矫形手术中的基本要求^[7-10],特别是对严重矢状面失平衡的患者^[11,12]。脊柱的整体平衡以脊柱骨盆参数间的相互作用为特征,胸椎后凸(thoracic kyphosis, TK)和腰椎前凸(lumbar lordosis, LL)的相互关系表明其在矢状面平衡中具有独特的意义^[8,13]。LL 的丢失与患者不良的临床结果显著相关^[14,15]。为了达到最佳的矢状面平衡,在脊柱矫形手术中需要恢复局部脊柱参数(TK 和 LL)间正常相互关系,尤其是要恢复最佳的 LL^[8,16-18]。截骨术被认为对矢状面退行性不平衡的患者是有益的,如 Smith-Petersen 截骨术(Smith-Petersen osteotomy, SPO)可以在每个截骨平面上使腰椎前凸恢复 10°,经椎弓根截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)可以在每个截骨平面上使腰椎前凸恢复 30°~40°,椎体切除术(vertebral column resection, VCR)则可以获得更大的矫形度数^[19-21]。然而,截骨矫形对矢状面平衡的恢复缺乏有效参考,尤其是 LL 的恢复。尽管已有多种预测 LL 的公式被提出,以恢复理想的 LL^[17,22-25],但这些公式使用的变量存在争议,忽略了局部脊柱参数相互关系的重要性,从而影响预测的准确性^[26,27]。在 Yamato 等^[28]、Lee 等^[25]、Legaye 等^[22]和 Schwab 等^[23]建立的预测公式中,只有 PI 被用来预测理想的 LL。但是,LL 已被证实受到许多变量的影响^[17],仅用 PI 来预测理想的 LL 是不合适的;在 Rose 等^[29]建立的公式中同时使用了 TK 与 PI,但是与以上四个预测公式一样,纳入的胸椎后凸与腰椎前凸参数都是根据传统经典的解剖学分段(TK 与 LL)定义的,从功能角度区分的最大胸椎后凸(maximal thoracic kyphosis, maxTK)与最大腰椎前凸(maximal lumbar lordosis, maxLL)因为同时包含脊柱弯曲曲度与弯曲内椎体数量两个维度,相比传统经典的解剖学分段更能代表人体脊柱真实的胸腰椎曲度及其相互作用。为此,我们在全面考虑脊柱骨盆参数的特征及其相互作用的基础上建立了一个新的能够预测健康成人 maxLL 的公式,并评价其预测效果的可靠性与有效性。

1 资料与方法

1.1 研究对象

2017 年 1 月~2018 年 8 月招募健康成人志愿者。纳入标准:(1)无腰椎间盘突出症、腰椎管狭窄症、脊柱畸形(包括 Meyerding 分级 I 度以上腰椎滑脱)、休门氏病、脊柱外伤或骨折、强直性脊柱炎等脊柱疾病的成人;(2)无脊柱、髋关节置换、膝关节置换手术史者。排除标准:(1)有腰痛和(或)下肢疼痛和(或)麻木症状者;(2)肿瘤、感染、骨质疏松症、神经肌肉疾病、全身性疾病(如风湿病)、精神或心理障碍者与怀孕等不能拍摄 X 线片者;(3)髋关节、膝关节、踝关节异常或双下肢不等长者;(4)全脊柱侧位 X 线片显示存在腰骶移行椎或两个股骨头水平移位或第一骶椎上终板不规则或其他原因不能完成脊柱骨盆矢状位参数测量者。符合纳入和排除标准的 311 例成人纳入本研究,年龄 18~80 岁。本研究经我校机构评审委员会批准,所有研究对象均签署了关于研究的书面知情同意。

1.2 数据收集

收集所有研究对象的人口学资料,在其全脊柱侧位 X 线片上,分别由两名 2 年以上工作经验的脊柱外科医师测量/计算脊柱骨盆矢状位参数,包括:(1)maxTK, T4 椎体与 TK 和 LL 交界椎体之间的 Cobb 角^[2,24];(2)maxLL,交界椎体和 S1 椎体之间的 Cobb 角^[2,24];(3)骶骨倾斜角(sacral slope, SS), S1 椎体上终板与水平线之间的夹角;(4)骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT),铅垂线与 S1 椎体上终板中点至双侧股骨头中心连线中点连线之间的夹角;(5)骨盆入射角(pelvic incidence, PI), S1 椎体上终板的垂线与 S1 椎体上终板中点至双侧股骨头中心连线中点连线之间的夹角;(6)交界椎体,脊柱后凸转变为前凸的交界点,确定方法与描述冠状面异常 Cobb 角方法相同^[29],即倾斜角度最大的椎体(图 1)。取两名医师各参数测量值的平均值作为最终结果,PT 由公式 $PT=PI-SS$ 计算得来。

1.3 预测公式的建立与验证

将所有研究对象分为两组,最初纳入的 220 例研究对象为 A 组,其相关数据作为预测公式的计算数据集;随后纳入的 91 例研究对象为 B 组,其相关数据作为预测公式的验证数据集。正态性检验表明 A、B 两组年龄、maxTK、maxLL、PT、SS、PI 均服从正态分布,方差相等。将 A 组中 maxLL 分别与年龄、maxTK、PT、SS、PI 进行 Pearson 相关

分析,然后将与 maxLL 显著相关的变量进行全局择优法 (Enter) 多因素线性回归分析筛选出 maxLL 的独立影响因素,再将筛选出的相对不稳定的独立影响因素用个体稳定不变的脊柱骨盆形态参数 PI 通过多因素回归分析进行校正,从而建立 maxLL 的预测公式。在 B 组中,利用新建立的公式计算 maxLL,与实际测量的 maxLL 进行比较,分析是否存在显著性差异,完成对新建立预测方程的可靠性与有效性验证。因为交界椎体的位置直接影响 maxLL 与 maxTK 的大小,所以在比较预测值与实际值差异前,对 A、B 组间交界椎体位置分布情况进行比较。

1.4 统计分析

计量资料用均值和标准差表示,使用 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) 进行统计分析。A、B 两组交界椎体位置分布的比较采用 χ^2 检验,采用独立两样本 t 检验比较 A、B 两组间计量资料差异。采用 Pearson 相关检验分析 maxLL 与其他参数的相关性,进一步多因素回归分析 (Enter 法) 筛

选出 maxLL 的独立影响因素。经检验公式预测的 maxLL 与实际 maxLL 差值服从正态分布,采用配对 t 检验进行比较。 $P < 0.05$ 为有统计学意义。

2 结果

两名测量者测量 331 例研究对象参数的组内相关系数 (interclass correlation coefficient, ICC) 分别为: maxTK 0.92 ($P < 0.001$)、maxLL 0.89 ($P < 0.001$)、SS 0.89 ($P < 0.001$)、PI 0.94 ($P < 0.001$),一致性较高。

A 组平均年龄为 46.00 岁, B 组的平均年龄为 46.68 岁。两组研究对象的交界椎体的位置分布、一般特征及各影像学参数见表 1、2, 两组间比较无显著性差异 ($P > 0.05$)。

maxLL 与其他脊柱骨盆参数及年龄的相关性见表 3, maxLL 与 maxTK ($r = 0.564, P < 0.001$)、SS ($r = 0.783, P < 0.001$)、PT ($r = -0.155, P = 0.021$) 和 PI ($r = 0.483, P < 0.001$) 有显著相关性, 与年龄无显著相关性 ($r = -0.031, P = 0.643$)。将与 maxLL 显著相关的变量进行多因素线性回归分析, 结果显示 maxTK ($P < 0.001$) 与 SS ($P < 0.001$) 是 maxLL 的独立影响因素, 而 PT 与 PI 对 maxLL 无显著性影响 (P 值分别为 0.477、0.629)。用 PI 替换 SS 校正后进行回归分析, 结果显示 maxTK、PI 与 maxLL 显著相关 (表 4), 最终建立的最大腰椎前凸预测公式: $\text{maxLL} = 0.6 \times \text{maxTK} + 0.5 \times \text{PI} + 3$ ($R^2 = 0.55$)。

利用预测公式计算 B 组的 maxLL 为 $49.32^\circ \pm 7.69^\circ$, 实际测量 B 组的 maxLL 为 $48.70^\circ \pm 9.46^\circ$, 差异无显著性 ($P = 0.408$)。二者存在显著相关关系 ($r = 0.683, P < 0.001$, 图 2)。

3 讨论

在脊柱矫形手术中恢复矢状面序列的重要性越来越受到脊柱外科医生的重视^[1-7]。然而, 完全恢复每个矢状面参数是一项艰巨的任务, 因为除了一些形态参数如 PI 在术前和术后保持不变, 其他参数变化很大, 难以预测^[30]。LL 是矫形手术中可以恢复的矢状面参数之一^[8, 28, 31]。为了达到最佳的脊柱骨盆矢状面平衡, 重建理想的 LL 是必要的^[17, 18]。这就需要术前准确预测 LL 的大小^[26]。SS 和 LL 之间的相互关系是矢状面平衡的重要组成部分。Roussouly 分型^[29]是根据胸腰椎弯曲顶点的位置、交界椎体的位置、每个弯曲的椎体数量、

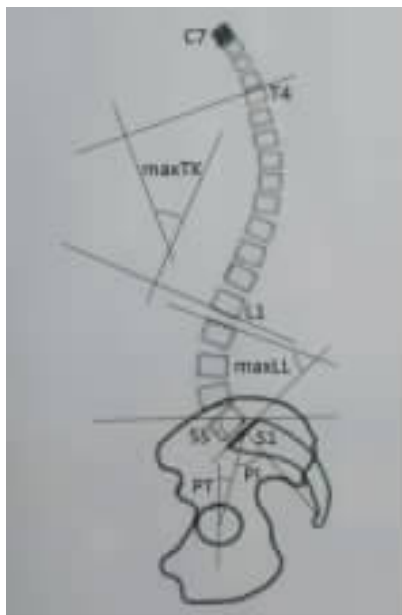


图 1 脊柱-骨盆矢状位参数测量示意图 (maxTK: 最大胸椎后凸, maxLL: 最大腰椎前凸, SS: 骶骨倾斜角, PT: 骨盆倾斜角, PI: 骨盆入射角, 其中 L1 为 TK 和 LL 交界椎体)

Figure 1 Sketch diagram of sagittal parameter measurement of the spine and pelvis (maxTK, maximal thoracic kyphosis; maxLL, maximal lumbar lordosis; SS, sacral slope; PT, pelvic tilt; PI, pelvic incidence; L1 is the transitional vertebra located at the junction of thoracic kyphosis and lumbar lordosis)

脊柱后凸和前凸的度数、SS 等对正常人矢状面序列的分类,能够为腰凸顶点位置提供一定参考,但因为不能量化,所以其对 LL 的预测指导意义有限。目前已经有一些预测公式^[17,22-25,28,31]被用来确定不同人群 LL 的目标值,但这些公式中引入的变量不尽相同(表 5)。在 Yamato 等^[28]的研究中,只将 PI 纳入预测公式,LL 可以通过 $LL=0.45 \times PI + 31.8$ 来确定。在 Vialle 等^[24]的公式中 LL 可以由 $\max LL = -2.72 - 1.1 \times PI + 1.1 \times PT - 0.31 \times \max TK$ 预测。但这些公式有的因为忽略了参数间的相互作用而片面地纳入参数,有的则纳入会随脊柱骨盆位置的变化而变化的参数,脊柱和骨盆位置、手术选择对 PT 测量的影响使公式的预测稳定性受到影响,且变量过多不便于公式应用,均不能准确预测理想的 LL。本研究的目的是在考虑脊柱骨盆参数间相互作用基础上更全面稳健地建立一个新的能

表 1 两组研究对象交界椎体位置分布

Table 1 Comparison of positional distribution of transitional vertebra of subjects between the two groups

	A组 (n=220) Group A	B组 (n=91) Group B
T11	19	8
T12	56	15
L1	87	36
L2	58	32

注:两组间比较 $P=0.262$

Note: Comparison between the two groups, $P=0.262$

表 2 两组研究对象的年龄和影像学参数的比较

Table 2 Comparison of general characteristics and radiographic parameters of subjects between the two groups

	A组 (n=220) Group A	B组 (n=91) Group B	P值 P value
年龄(岁) Age	46.00±16.08 (18.00~78.00)	46.68±17.17 (18.00~78.00)	0.738
maxTK(°)	36.04±10.39 (9.00~77.00)	37.04±9.93 (20.00~83.00)	0.433
maxLL(°)	47.44±11.10 (14.00~88.00)	48.70±9.46 (27.00~75.00)	0.341
SS(°)	31.54±8.31 (11.00~57.00)	32.18±7.91 (13.00~53.00)	0.535
PT(°)	16.00±7.88 (-9.00~39.00)	15.93±8.27 (-2.00~37.00)	0.944
PI(°)	47.64±10.97 (11.00~78.00)	48.11±10.68 (24.00~84.00)	0.727

注: maxTK, 最大胸椎后凸; maxLL, 最大腰椎前凸; SS, 骶骨倾斜角; PT, 骨盆倾斜角; PI, 骨盆入射角

Note: maxTK, maximal thoracic kyphosis; maxLL, maximal lumbar lordosis; SS, sacral slope; PT, pelvic tilt; PI, pelvic incidence

表 3 maxLL 与其他脊柱骨盆参数及年龄的相关性

Table 3 Correlation between maxLL and other spinopelvic parameters and age

	年龄(岁) Age	maxTK (°)	maxLL (°)	SS (°)	PT (°)	PI (°)
年龄(岁) Age	r 1 P					
maxTK (°)	r 0.283 P <0.001	1				
maxLL(°)	r -0.031 P 0.643	0.564 <0.001	1			
SS(°)	r -0.213 P 0.001	0.083 0.218	0.783 <0.001	1		
PT(°)	r 0.266 P <0.001	-0.081 0.232	-0.155 0.021	-0.107 0.113	1	
PI(°)	r 0.040 P 0.554	0.006 0.932	0.483 <0.001	0.680 <0.001	0.646 <0.001	1

表 4 maxLL 与其他参数的多元回归分析

Table 4 Multiple regression analysis between maxLL and other parameters

	回归系数 B	标准误 SE	t值 t value	P值 P value
未校正 Unadjusted				
常数 Constant	-2.004	1.593	-1.283	0.201
maxTK	0.533	0.027	19.753	<0.001
SS	0.885	0.210	4.214	<0.001
PT	-0.152	0.213	-0.713	0.477
PI	0.100	0.207	0.484	0.629
校正 Adjusted				
常数 Constant	2.718	2.854	0.952	0.342
maxTK	0.599	0.049	12.285	<0.001
PI	0.486	0.046	10.505	<0.001

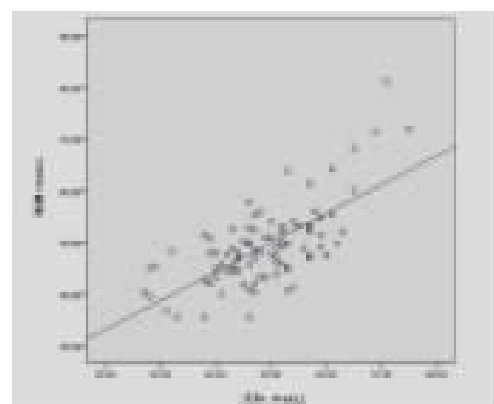


图 2 实际测量的 maxLL 与公式预测的 maxLL 之间相关性的散点图($r=0.683, P<0.001$)

Figure 2 Scatter plot of the correlation between the actual maxLL and the maxLL predicted by the formula ($r=0.683, P<0.001$)

够预测健康成人 maxLL 的公式,并评估其预测的可靠性与有效性。

在本研究中,A、B 两组研究对象的交界椎体为 T11、T12、L1、L2,maxLL 与 maxTK($r=0.564, P<0.001$)、SS($r=0.783, P<0.001$)、PI($r=0.483, P<0.001$)及 PT($r=-0.155, P=0.021$)显著性相关,这说明 A 组志愿者中个体 maxTK、PI 和 SS 越大,其 maxLL 越大,而 PT 越小,其 maxLL 越大,反之亦然。保持矢状面平衡的代偿机制非常复杂,它是地面与脊柱、骨盆和下肢构成的理想动态链相互作用的结果^[32,33]。腰椎退行性疾病和腰痛患者的脊柱以 LL 和 SS 减小、矢状位失平衡和 PT 增加为特征^[33],为保持整个矢状面平衡,一些代偿机制会启动,包括 maxTK 的减小和骨盆后倾(PT 增加,SS 减小)。在 Xu 等^[17]建立的预测公式中纳入了年龄因素,然而本研究发现年龄与 maxLL 之间无统计学意义的相关性($r=-0.031, P=0.643$)。其原因可能在于一方面年龄与 LL 之间的关系存在争议;另一方面 Xu 等的公式预测效能可能归因于年龄与 TK、PT 和 SS 之间的相关性,而不是年龄本身。脊柱骨盆矢状位参数与年龄之间的关系是有争议的。Hammerberg 等^[34]评估 50 例健康志愿者的脊柱骨盆参数,未发现年龄增长与脊柱骨盆参数之间的任何关系。而 Mac-Thiong 等^[35]的研究发现年龄仅与 PT 和 SS 弱相关;Zhu 等^[36]在研究

260 例健康志愿者的脊柱骨盆参数正常值时分析了其与年龄之间的关系,结果表明 TK、SS、PT 与年龄相关,而 LL、PI 与年龄不相关。在以往的研究中发现,年龄与椎间盘退变性疾病(degenerative disc diseases,DDD)的发生有关^[37]。DDD 会导致 LL 减小,从而导致矢状面畸形^[38]。LL 减小可被认为是矢状面不平衡的起因^[39]。LL 的减小到代偿机制的启动是一个渐进的过程^[40]。代偿机制包括骨盆后倾、胸腰椎过伸、膝关节屈曲、踝关节屈曲,最后是颈椎过伸^[41]。所以,我们认为在有 DDD 等脊柱疾病的人群中,邻近节段等维持矢状位平衡的代偿能力不能完全代偿年龄增长造成的 LL 减小,这时年龄与 LL 是相关的。本研究发现年龄与 maxLL 不相关,而与 maxTK、SS、PT 显著性相关,一方面是因为本研究纳入的人群为无脊柱疾患的健康人群,作为 maxLL 邻近节段的 maxTK、SS 代偿能力正常;另一方面本研究作为横断面研究,与纵向研究相比,研究本身就不容易发现时间与脊柱骨盆矢状位参数间的关系。

在未校正的回归分析中,纳入与 maxLL 显著相关的变量进行分析,结果表明 maxTK 和 SS 是对 maxLL 的独立影响因素。脊柱矢状面平衡被描述为 TK 和 LL 相互联系的曲线,TK 和 LL 的关系在矢状面平衡中起关键作用^[13,26,27]。此外,相邻节段的伸展(TK 和 LL 的改变)也是维持矢状面平衡的重要代偿机制^[27,33]。因此,不难理解为什么 maxTK 对 LL 的形态有显著影响。SS 是一个随年龄和骨盆位置变化的位置参数,其大小变化也是维持矢状面平衡的一种代偿机制^[33],因此,它也是 LL 的重要影响因素。然而,SS 随着脊柱和骨盆位置的变化而变化,用来预测 LL 显得不够稳定。因此,用 SS 预测理想的 LL 是不合理的。PI 是一个固定的形态参数,它不会随着年龄的增加和位置的变化而变化^[18]。与其他骨盆参数相比,PI 在决定矢状面曲线形态中发挥着重要作用^[42]。基于这个理论,很多学者用 PI 来估计理想的 LL^[17,22-25,28,31]。在本研究中,PI 与 SS 之间存在显著性相关关系($r=0.680, P<0.001$),这与 Vialle 等^[24]($r=0.81$)、Mac-Thiong 等^[35]($r=0.76$)的研究相一致。考虑到术前 SS 难以预测、PI 在决定腰椎前凸形态中的主导作用、PI 与 SS 显著相关等因素,我们用 PI 代替 SS 进行校正回归分析(所有 $P<0.001$),最终建立了一个新的腰椎前凸预测公式: $\max LL=0.6 \times$

表 5 本研究预测公式与其他预测公式的比较

Table 5 Comparison between the prediction formula in this study and other prediction formulas

作者 Author	公式 Equations	研究对象 Subjects
本研究 This study	$\max LL=0.6 \times \max TK+0.5 \times PI+3$	无症状成人 Asymptomatic adults
Xu 等 ^[17]	$LL=0.508 \times PI-0.088 \times \text{年龄}+28.6$	无症状志愿者 Asymptomatic volunteers
Yamato 等 ^[28]	$LL=0.45 \times PI+31.8$	ASD 患者 ASD patients
Lee 等 ^[25]	$LL=0.96 \times (0.74 \times PI+0.8)+17.42$	无症状志愿者 Asymptomatic volunteers
Legaye 等 ^[22]	$LL=1.087 \times (0.548 \times PI+12.7)+21.61$	年轻成人 Young adults
Schwab 等 ^[23]	$LL=PI+9$	无症状成人 Asymptomatic adults
Vialle 等 ^[24]	$\max LL=-2.72-1.1 \times PI+1.1 \times PT-0.31 \times \max TK$	无症状志愿者 Asymptomatic volunteers
Rose 等 ^[31]	$LL=45-TK-PI$	PSO 患者 Patients underwent PSO

注:ASD,成人脊柱畸形;PSO,经椎弓根截骨术

Note: ASD, adult spinal deformity; PSO, pedicle subtraction osteotomy

$\max TK + 0.5 \times PI + 3$ 。在验证分析中, 公式预测的 $\max LL$ 均值为 49.32° , 与实际测量的 $\max LL$ 无显著性差异 ($P=0.408$), 表明公式预测能力可靠有效。

应用本预测公式时需要注意几个问题。首先, 本研究是健康人群中获得的最大腰弯预测公式, PI 作为一个稳定的形态参数在姿势变化及术前和术后保持不变; 然而, $\max TK$ 是一个姿势性参数, 它随姿势的变化会影响公式预测的准确性。其次, 脊柱矢状位会因退变发生变化, LL 与 TK 会相互影响, 导致交界椎体的位置发生变化。

本研究建立了一个可靠的预测公式, 但仍存在一些局限性。首先, 我们在研究中招募的所有研究对象均来自单中心的健康成人, 这可能会导致选择偏倚, 并损害统计效能。其次, 矢状面参数在不同性别之间存在差异已经被证实, 因此, 预测公式的效能在男性和女性之间可能存在差异, 然而在本研究中没有对此做出分析。最后, 对于需要进行脊柱矫形手术的患者而言, 其脊柱序列是异常的, 在矫形过程中需要的腰凸大小要综合考虑患者的年龄、性别、术后生存质量评价与参数间的相互关系等众多因素。因此, 在健康成人人群中建立的 $\max LL$ 预测公式能否为脊柱矫形手术中腰椎前凸的恢复提供参考需要验证。

4 结论

在健康人群中 $\max TK$ 和 PI 是 $\max LL$ 的独立影响因素, $\max LL$ 的预测公式为: $\max LL = 0.6 \times \max TK + 0.5 \times PI + 3$, 可以为健康人群最大腰椎前凸的预测提供一定参考, 但在需要矫形的退变性疾病患者中的作用尚待证实。

5 参考文献

- Schwab F, Ungar B, Blondel B, et al. Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study[J]. Spine, 2012, 37(12): 1077-1082.
- 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.
- Glassman SD, Berven S, Bridwell K, et al. Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis[J]. Spine, 2005, 30(6): 682-688.
- La Maida GA, Zottarelli L, Mineo GV, et al. Sagittal balance in adolescent idiopathic scoliosis: radiographic study of spino-

pelvic compensation after surgery[J]. Eur Spine J, 2013, 22 (Suppl 6): S859-867.

- Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Results of lumbar pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance: a minimum 5-year follow-up study [J]. Spine, 2007, 32(20): 2189-2197.
- Mac-Thiong JM, Transfeldt EE, Mehdood AA, et al. Can C7 plumbline and gravity line predict health related quality of life in adult scoliosis[J]. Spine, 2009, 34(15): E519-527.
- Lafage V, Schwab F, Vira S, et al. Spino-pelvic parameters after surgery can be predicted: a preliminary formula and validation of standing alignment[J]. Spine, 2011, 36(13): 1037-1045.
- Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. An analysis of sagittal spinal alignment following long adult lumbar instrumentation and fusion to L5 or S1: can we predict ideal lumbar lordosis[J]. Spine, 2006, 31(20): 2343-2352.
- Lee JH, Na KH, Kim JH, et al. Is pelvic incidence a constant, as everyone knows? changes of pelvic incidence in surgically corrected adult sagittal deformity [J]. Eur Spine J, 2016, 25(11): 3707-3714.
- Hikata T, Watanabe K, Fujita N, et al. Impact of sagittal spinopelvic alignment on clinical outcomes after decompression surgery for lumbar spinal canal stenosis without coronal imbalance[J]. J Neurosurg Spine, 2015, 23(4): 451-458.
- Ondra SL, Marzouk S, Koski T, et al. Mathematical calculation of pedicle subtraction osteotomy size to allow precision correction of fixed sagittal deformity[J]. Spine, 2006, 31 (25): E973-979.
- Simmons EH. Kyphotic deformity of the spine in ankylosing spondylitis[J]. Clin Orthop Relat Res, 1977, 128: 65-77.
- Mehta VA, Amin A, Omeis I, et al. Implications of spinopelvic alignment for the spine surgeon[J]. Neurosurgery 2015, 76(Suppl 1): S42-56.
- Lazennec JY, Ramare S, Arafati N, et al. Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain[J]. Eur Spine J, 2000, 9(1): 47-55.
- Korovessis P, Stamatakis M, Baikousis A. Segmental roentgenographic analysis of vertebral inclination on sagittal plane in asymptomatic versus chronic low back pain patients [J]. J Spinal Disord, 1999, 12(2): 131-137.
- Park P, Garton HJ, Gala VC, et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature[J]. Spine, 2004, 29(17): 1938-1944.
- Xu L, Qin X, Zhang W, et al. Estimation of the ideal lumbar lordosis to be restored from spinal fusion surgery: a predictive formula for chinese population[J]. Spine, 2015, 40 (13): 1001-1005.
- Smith JS, Bess S, Shaffrey CI, et al. Dynamic changes of the pelvis and spine are key to predicting postoperative sagittal alignment after pedicle subtraction osteotomy: a

- critical analysis of preoperative planning techniques[J]. *Spine*, 2012, 37(10): 845–853.
19. Le Huec JC, Leijssen P, Duarte M, et al. Thoracolumbar imbalance analysis for osteotomy planification using a new method: FBI technique[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 669–680.
20. Gill JB, Levin A, Burd T, et al. Corrective osteotomies in spine surgery[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2008, 90(11): 2509–2520.
21. Kim KT, Park DH, Lee SH, et al. Results of corrective osteotomy and treatment strategy for ankylosing spondylitis with kyphotic deformity[J]. *Clin Orthop Surg*, 2015, 7(3): 330–336.
22. Legaye J, Duval-Beaupere G. Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation [J]. *Acta orthopaedica Belgica*, 2005, 71(2): 213–220.
23. 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.
24. 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.
25. Lee CS, Chung SS, Park SJ, et al. Simple prediction method of lumbar lordosis for planning of lumbar corrective surgery: radiological analysis in a Korean population[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(1): 192–197.
26. Yang C, Yang M, Wei X, et al. Lumbar lordosis minus thoracic kyphosis (LI-TK): a novel regional predictor for sagittal balance in elderly populations[J]. *Spine*, 2016, 41(5): 399–403.
27. Yang M, Yang C, Chen Z, et al. Lumbar lordosis minus thoracic kyphosis: remain constant in adolescent idiopathic scoliosis patients before and after correction surgery [J]. *Spine*, 2016, 41(6): E359–363.
28. Yamato Y, Hasegawa T, Kobayashi S, et al. Calculation of the target lumbar lordosis angle for restoring an optimal pelvic tilt in elderly patients with adult spinal deformity [J]. *Spine*, 2016, 41(4): E211–217.
29. 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.
30. Song K, Zheng G, Zhang Y, et al. A new method for calculating the exact angle required for spinal osteotomy[J]. *Spine*, 2013, 38(10): E616–620.
31. 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.
32. Le Huec JC, Saddiki R, Franke J, et al. Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 558–563.
33. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, et al. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 626–633.
34. Hammerberg EM, Wood KB. Sagittal profile of the elderly [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2003, 16: 44–50.
35. Mac-Thiong JM, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Age- and sex-related variations in sagittal sacropelvic morphology and balance in asymptomatic adults[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 572–577.
36. Zhu Z, Xu L, Zhu F, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis in asymptomatic adults: norms in Chinese populations [J]. *Spine*, 2014, 39(1): E1–6.
37. Choi YS. Pathophysiology of degenerative disc disease [J]. *Asian Spine J*, 2009, 3(1): 39–44.
38. Shah A, Lemans JVC, Zavatsky J, et al. Spinal balance/alignment: clinical relevance and biomechanics[J]. *J Biomech Eng*, 2019, 141(7): 1–14.
39. Le Huec JC, Charosky S, Barrey C, et al. Sagittal imbalance cascade for simple degenerative spine and consequences: algorithm of decision for appropriate treatment[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 699–703.
40. Niu S, Zhai X, Chen Y, et al. Optimal indicators for identification of compensatory sagittal balance in patients with degenerative disc disease [J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2021, 22(1): 1–9.
41. Hasegawa K, Okamoto M, Hatsushikano S, et al. Normative values of spino-pelvic sagittal alignment, balance, age, and health-related quality of life in a cohort of healthy adult subjects[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3675–3686.
42. 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.

(收稿日期:2021-07-14 末次修回日期:2021-09-07)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 卢庆霞)