

退变性胸腰椎后凸与陈旧性胸腰椎骨折后凸矢状面代偿模式的比较

周恒才, 朱 锋, 邱 勇, 蒋 健, 何守玉, 朱泽章, 刘 臻, 孙 旭

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:比较退变性胸腰椎后凸(DTK)与陈旧性胸腰椎骨折后凸(PTK)患者矢状面代偿模式的差异。**方法:**回顾性分析 2010 年 6 月~2015 年 2 月在我科门诊或在院接受治疗的 32 例 DTK 患者和 28 例 PTK 患者的一般资料,并纳入 30 例健康成人作为对照组。90 例研究对象中男性 42 例,女性 48 例,平均年龄 47.2 岁(30~70 岁),DTK 组、PTK 组和对照组年龄分别为 56.0 ± 7.3 岁、 39.0 ± 8.5 岁和 45.5 ± 5.5 岁。所有研究对象均拍摄立位全脊柱正、侧位 X 线片。分别测量三组研究对象脊柱矢状位后凸角(KA)、胸椎后凸角(TK)、腰椎前凸角(LL)、骨盆入射角(PI)、骨盆倾斜角(PT)、骶骨倾斜角(SS)及矢状位平衡(SVA),比较三组之间以上脊柱骨盆参数的差异。**结果:**(1)DTK 组和对照组的 TK 明显大于 PTK 组(分别为 $26.5^\circ\pm 5.8^\circ$ 、 $26.0^\circ\pm 6.3^\circ$ 和 $23.3^\circ\pm 7.8^\circ$, $P<0.05$),而 DTK 组与对照组比较无显著性差异($P>0.05$);(2)DTK 组的 LL、SS(分别为 $23.1^\circ\pm 12.4^\circ$ 、 $20.4^\circ\pm 7.7^\circ$)均明显小于 PTK 组(分别为 $43.4^\circ\pm 7.8^\circ$ 、 $30.4^\circ\pm 6.6^\circ$)和对照组(分别为 $42.1^\circ\pm 8.5^\circ$ 、 $31.1^\circ\pm 5.5^\circ$)($P<0.001$),而 PTK 组的 LL、SS 与对照组比较无显著性差异($P>0.05$);DTK 组的 SVA、PT(分别为 $62.7\pm 17.5\text{mm}$ 、 $26.1^\circ\pm 11.9^\circ$)均明显大于 PTK 组(分别为 $16.7\pm 7.1\text{mm}$ 、 $16.7^\circ\pm 8.6^\circ$)和对照组(分别为 $15.8\pm 7.4\text{mm}$ 、 $15.4^\circ\pm 6.6^\circ$)($P<0.001$),而 PTK 组与对照组的 SVA、PT 比较无显著性差异($P>0.05$);(3)DTK 组与 PTK 组的 KA(分别为 $46.7^\circ\pm 12.8^\circ$ 、 $46.0^\circ\pm 13.8^\circ$)无显著性差异($P>0.05$);DTK 组、PTK 组和对照组的 PI(分别为 $45.5^\circ\pm 9.7^\circ$ 、 $46.1^\circ\pm 8.8^\circ$ 、 $45.1^\circ\pm 8.8^\circ$)无显著性差异($P>0.05$)。**结论:**退变性胸腰椎后凸患者表现为腰椎前凸减小,骨盆后旋转,并最终出现躯干前倾的矢状面失代偿;陈旧性胸腰椎骨折后凸患者仅表现为 TK 减小、以骨折椎体为中心的局部后凸,而未发生整体脊柱骨盆参数的代偿。

【关键词】 胸腰椎后凸;退变性后凸;陈旧性骨折;矢状面代偿;脊柱骨盆参数

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2015.05.09

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2015)-05-0427-06

Comparison of sagittal compensatory mechanism between degenerative and post-traumatic kyphosis in thoracolumbar spine/ZHOU Hengcai, ZHU Feng, QIU Yong, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(5): 427-432

【Abstract】 Objectives: To compare the sagittal compensatory mode between degenerative thoracolumbar kyphosis(DTK) and post-traumatic thoracolumbar kyphosis(PTK). **Methods:** Retrospective analysis was conducted on 60 patients with thoracolumbar kyphosis treated in our hospital from June 2010 to February 2015 (32 DTK and 28 PTK). For comparison, 30 asymptomatic volunteers were included as control group. The average age of DTK, PTK and control group was 56.0 ± 7.3 , 39.0 ± 8.5 , 45.5 ± 5.5 years old, respectively. Standing long cassette posteroanterior and lateral X-ray films were taken for each patient. Kyphosis angle (KA), thoracic kyphosis(TK), lumbar lordosis(LL), pelvic incidence(PI), pelvic tilt(PT), sacral slope(SS) and sagittal vertical axis (SVA) were measured. Differences in these spino-pelvic parameters were compared among the three groups. **Results:** (1)The TK of DTK group and control group was significantly higher than that of PTK group ($26.5^\circ\pm 5.8^\circ$, $26.0^\circ\pm 6.3^\circ$ and $23.3^\circ\pm 7.8^\circ$, respectively)($P<0.05$), but no difference was found between DTK group and control group($P>0.05$). (2)The LL and SS were significantly lower in DTK group($23.1^\circ\pm 12.4^\circ$, $20.4^\circ\pm 7.7^\circ$)

基金项目:江苏省人力资源和社会保障厅“六大人才高峰”资助项目(编号:2012-WS-090)

第一作者简介:男(1989-),硕士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(025)83105113 E-mail:zhouhengcai@126.com

通讯作者:朱锋 E-mail:gulouspine@gmail.com

than those in PTK group($43.4^{\circ}\pm 7.8^{\circ}$, $30.4^{\circ}\pm 6.6^{\circ}$) and control group($42.1^{\circ}\pm 8.5^{\circ}$, $31.1^{\circ}\pm 5.5^{\circ}$)($P<0.001$). But there were no significant differences between PTK group and control group ($P>0.05$). Additionally, DTK group had higher SVA and PT($62.7\pm 17.5\text{mm}$, $26.1^{\circ}\pm 11.9^{\circ}$) than PTK group($16.7\pm 7.1\text{mm}$, $16.7^{\circ}\pm 8.6^{\circ}$) and control group ($15.8\pm 7.4\text{mm}$, $15.4^{\circ}\pm 6.6^{\circ}$)($P<0.001$), but the values of SVA and PT were similar in PTK group and control group($P>0.05$). (3)There was no significant difference in KA between DTK group and PTK group($46.7^{\circ}\pm 12.8^{\circ}$ vs $46.0^{\circ}\pm 13.8^{\circ}$); no significant difference was found in PI among the three groups ($45.5^{\circ}\pm 9.7^{\circ}$, $46.1^{\circ}\pm 8.8^{\circ}$, $45.1^{\circ}\pm 8.8^{\circ}$, $P>0.05$). **Conclusions:** Patients with DTK tend to present sagittal decompensation with decreased LL, retroversion of the pelvis and anterior-shifted SVA. However, regional kyphosis and decreased TK are the common sagittal profile in PTK patients with balanced spino-pelvic alignment.

【Key words】 Thoracolumbar kyphosis; Degenerative kyphosis; Post-traumatic fracture; Sagittal compensation; Spino-pelvic parameter

【Author's address】 Department of Spine Surgery, Affiliated Drum Tower Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing, 210008, China

随着脊柱生物力学和临床影像学研究的进展,人们对矢状面脊柱-骨盆参数的认识越来越深刻^[1-3]。一些学者认为^[4,5],脊柱畸形矫正的目的已不是单纯的矫正已有的脊柱畸形,更应该注重恢复与其年龄相对应的脊柱形态和冠矢状面平衡。既往研究表明,不同病因的脊柱畸形患者存在不同的代偿模式,因此充分理解脊柱畸形患者冠、矢状面代偿模式对手术方式制定和手术疗效至关重要^[6,7]。退变性胸腰椎后凸(degenerative thoracolumbar kyphosis, DTK)和陈旧性胸腰椎骨折后凸(post-traumatic thoracolumbar kyphosis, PTK)是两种较常见的成人脊柱矢状面畸形,虽然其畸形均发生在脊柱的胸腰段,但两者从发病、进展及治疗策略都存在显著差异,比较两者的脊柱矢状面形态有利于更好地理解各自的病理机制和代偿特点,为临床诊疗提供依据。但国内目前尚未见关于二者矢状面形态的比较研究。本研究通过对 DTK 与 PTK 脊柱-骨盆参数进行比较,探究两者矢状面代偿模式的差异,以期对两种脊柱畸形有更深入的认识。

1 资料与方法

1.1 一般资料

经本院伦理委员会批准,本研究回顾性分析 2010 年 6 月~2015 年 2 月在我科门诊或在院接受诊疗的 32 例 DTK 患者和 28 例 PTK 患者一般资料,并纳入 30 例健康成人作为对照组。90 例研究对象中男 42 例,女 48 例,平均年龄 47.2 岁(30~70 岁);均有站立位全脊柱正侧位 X 线片。(1)DTK 组患者纳入标准:①胸腰段退变性后凸

患者(顶椎 T11~L2), $20^{\circ}<$ 后凸角 $<60^{\circ}$;②45 岁 $\leq$ 年龄 $\leq$ 70 岁;③排除脊柱、髋关节手术史和冠状面侧凸 Cobb 角 $>10^{\circ}$ 及其他原因导致的胸腰段后凸畸形;(2)PTK 组患者纳入标准:①胸腰段椎体骨折后凸患者(T11~L2), $20^{\circ}<$ 后凸角 $<60^{\circ}$,脊柱明确外伤史 >1 年;②30 岁 $\leq$ 年龄 $\leq$ 50 岁;③单个胸腰椎椎体骨折;④排除脊柱、髋关节手术史及骨质疏松性骨折及其他可疑的病理性骨折;(3)对照组为年龄 40~50 岁无症状健康志愿者。

DTK 组后凸的跨度为 3~5 个椎体。PTK 组研究对象平均椎体骨折时间为 4.6 年(1~8 年),发生骨折的椎体均为陈旧性骨折后凸的顶椎。三组研究对象的一般资料数据见表 1。

1.2 脊柱骨盆影像学参数测量

在立位全脊柱侧位 X 线片上分别测量三组

表 1 DTK 组、PTK 组及对照组三组研究对象的一般资料数据

Table 1 Demographic data of DTK group, PTK group and control group

	DTK 组 DTK group	PTK 组 PTK group	对照组 Control group
例数 NO. of cases	32	28	30
性别(男/女) Gender	12/20	16/12	14/16
年龄(岁) Age	56.0 $\pm$ 7.3	39.0 $\pm$ 8.5	45.5 $\pm$ 5.5
后凸顶椎位置(个) Site of apex			
T11	7	7	
T12	13	9	
L1	9	8	
L2	3	2	

研究对象的以下脊柱骨盆参数(图 1): (1)胸椎后凸角(thoracic kyphosis, TK), T4 上终板与 T12 下终板所成夹角; (2)腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL), L1 上终板与 S1 上终板所成夹角; (3)骨盆入射角(pelvic incidence, PI), 经 S1 上终板中点做该终板的垂线, 该垂线与 S1 上终板的中点与两侧股骨头中心连线的夹角; (4) 骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT), S1 终板中点和两侧股骨头中心连线与垂直线的夹角; (5)骶骨倾斜角(sacral slope, SS), S1 上终板与水平线的夹角; (6) 矢状位平衡(Sagittal vertical axis, SVA), C7 铅垂线至 S1 上终板后缘的垂直距离。若铅垂线位于 S1 椎体后上缘前方, 则 SVA 为正值, 否则为负值; (7) 矢状位后凸角(kyphosis angle, KA), DTK 组为后凸头侧最倾斜椎体上终板与尾侧最倾斜椎体下终板成角, PTK 组为伤椎上一椎体上终板与伤椎下一椎体下终板成角。

1.3 统计学方法

使用 SPSS 18.0 统计学软件进行统计学分析。数据以均数±标准差的方式表示, 对三组以上脊柱骨盆参数采用独立样本 *t* 检验进行组间比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

三组研究对象脊柱-骨盆测量结果见表 2 和图 2、3。 (1)DTK 组与对照组 TK 比较无显著性差异 ($P > 0.05$), DTK 组和对照组 TK 明显大于 PTK 组 ($P < 0.05$); (2)PTK 组与对照组 LL、SS 比较无显著性差异 ($P > 0.05$), 而 DTK 组 LL、SS 均明显小于 PTK 组和对照组 ($P < 0.001$); PTK 组与对照组 SVA、PT 比较无显著性差异 ($P > 0.05$), 而 DTK 组 SVA、PT 均明显大于 PTK 组和对照组 ($P < 0.001$); (3)DTK 组与 PTK 组 KA 无显著性差异 ($P > 0.05$); DTK 组、PTK 组和对照组三组 PI 无显著性差异 ($P > 0.05$)。

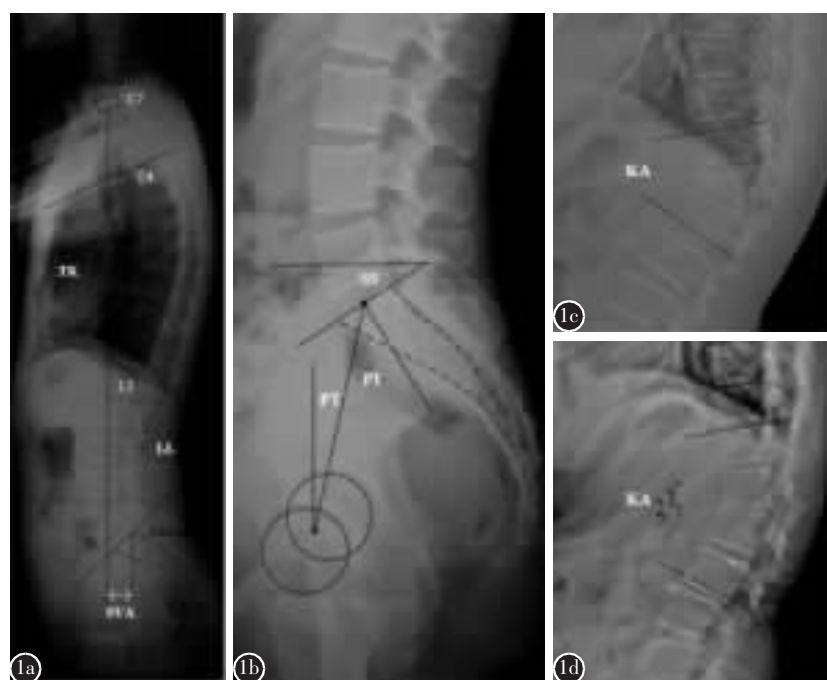


图 1 脊柱-骨盆参数测量方法 **a** 胸椎前凸角(TK, T4 上终板与 T12 下终板所成夹角)、腰椎前凸角(LL, L1 上终板与 S1 上终板所成夹角)及矢状面平衡(SVA, C7 铅垂线至 S1 上终板后缘的垂直距离)的测量方法 **b** 骨盆入射角(PI, S1 上终板中点的垂线与 S1 上终板的中点和两侧股骨头中心连线的夹角)、骨盆倾斜角(PT, S1 终板中点和两侧股骨头中心连线与垂直线的夹角)及骶骨倾斜角(SS, S1 上终板与水平线的夹角)测量方法 **c** 陈旧性胸腰椎骨折后凸角(KA, 伤椎上一椎体上终板与伤椎下一椎体下终板成角)测量方法 **d** 退变性胸腰椎后凸角(KA, 后凸头侧最倾斜椎体上终板与尾侧最倾斜椎体下终板成角)测量方法

Figure 1 Variables of spino-pelvic

parameters **a** TK(angle between the superior end plate of T4 and the inferior end plate of T12), LL(angle between the superior end plate of L1 and the superior end plate of S1) and SVA(distance between a vertical line through the middle of the C7 vertebral body and the anterior superior corner of the sacrum) **b** PI (angle between the perpendicular to the upper plate of S1 in its middle and the line joining this point to the bi-coxo-femoral axis), PT (angle between the vertical and the line joining the middle of the upper plate of S1 to the bi-coxo-femoral axis) and SS (angle between the horizontal and the upper plate of S1) **c** KA (angle between the superior end plate of the vertebral body above the fracture body and the inferior end plate of the vertebral body below the fracture body) in PTK patients **d** KA (angle between the superior endplate of the upper and the inferior endplate of the lower kyphosis vertebra) in DTK patients

表 2 DTK 组、PTK 组及对照组研究对象的脊柱-骨盆参数 (x±s)
Table 2 Comparison of spino-pelvic parameters among DTK group, PTK group and control group

	TK(°)	LL(°)	SVA(mm)	PI(°)	PT(°)	SS(°)	KA(°)
DTK 组 (n=32) DTK group	26.5±5.8 ^①	23.1±12.4 ^{①②}	62.7±17.5 ^{①②}	45.5±9.7	26.1±11.9 ^{①②}	20.4±7.7 ^{①②}	46.7±12.8
PTK 组 (n=28) PTK group	23.3±7.8 ^②	43.4±7.8	16.7±7.1	46.1±8.8	16.7±8.6	30.4±6.6	46.0±13.8
对照组 (n=30) Control group	26.0±6.3	42.1±8.5	15.8±7.4	45.1±8.8	15.4±6.6	31.1±5.5	—

注:①与 PTK 组比较 $P<0.05$;②与对照组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with PTK group, $P<0.05$; ②Compared with control group, $P<0.05$



图 2 患者女性,66 岁,退变性胸腰椎后凸 a 立位全脊柱正位 X 线片示脊柱无侧凸 b 矢状面腰椎前凸减小和躯干前倾 c 骨盆侧位 X 线片示骨盆后旋转 图 3 患者男性,63 岁,陈旧性胸腰椎骨折后凸 a 立位全脊柱正位 X 线片示脊柱无侧凸 b 矢状面 TK 减小和骨折椎体为中心的局部后凸 c 骨盆参数在正常范围内

Figure 2 A 66-year-old female with degenerative kyphosis in her thoracolumbar spine a No scoliosis in the coronal plane b Sagittal decompensation in the sagittal plane with decreased LL, anterior-shifted SVA c Retroversion of the pelvis Figure 3 A 63-year-old male with post-traumatic kyphosis in his thoracolumbar spine a No scoliosis in the coronal plane b Balanced spino-pelvic alignment only with regional kyphosis and decreased TK c Pelvic parameters are at normal levels

3 讨论

DTK 和 PTK 是常见于成人的两种脊柱矢状面畸形。退变性后凸是由于脊柱及邻近组织退变而导致的单纯矢状面畸形,最常发生于脊柱腰段或胸腰段,亚洲人群发生率居高,早期表现为平背或腰椎前凸丢失,后期会出现后凸畸形导致的下腰痛和腰背部畸形^[8,9]。陈旧性骨折后凸是椎体骨折后较为严重的并发症,由于骨折椎体高度没有恢复,导致局部矢状面形态异常,最终引起椎旁肌疲劳和腰背部疼痛,而当后凸角度大于 30°时症状会更加明显^[10-12]。DTK 和 PTK 存在一些临床共性,如除了影像学上两者均表现为胸腰段后凸畸形外,更有研究证实采取后路截骨矫形能更好地

恢复两者脊柱的形态和改善症状^[13-15]。目前对 PTK 的矢状面形态研究比较少见,更未见 DTK 与 PTK 矢状面形态比较研究。本研究首次研究了 PTK 的矢状面代偿模式,并与 DTK 进行比较,有利于更好地发现两者病理机制和代偿特点,也为手术矫正进展后凸的同时是否需要重建脊柱稳定性提供参考依据。

本研究采用的骨折后凸测量方法因具有较好的可重复性和精确性已经被广泛接受^[16]。DTK 后凸的测量方法与测量 PTK 后凸原理相同,且后凸测量的跨度基本保持一致(前者 3~5 个椎体,后者 3 个椎体),统计学分析二者后凸角(KA)比较无显著性差异,因此在两组后凸角测量方法及角

度一致的情况下,更有利于分析其他脊柱骨盆参数的差异,保证研究的可信度。另外,选取 PTK 患者年龄介于 30~50 岁,以保证 PTK 组患者脊柱骨盆未发生退变,这样得到的 PTK 患者脊柱骨盆参数是可靠的;本次研究也纳入了 30 例无症状的健康中老年志愿者,这批志愿者可以提供此年龄段正常脊柱-骨盆参数数值,可以较好地分析年龄因素对矢状面形态的影响,便于对两种后凸参数的比较。

PI 是研究脊柱矢状面脊柱骨盆形态的重要参数。PI 反映骨盆旋转代偿能力,PI 较大时将为骨盆的旋转提供更大活动范围,使其能在更大范围内来调节脊柱序列,而较小的 PI 意味着 PT 的可变空间较小,对脊柱序列的调节能力降低^[17]。PI 在骨骼发育成熟后将保持不变,只有在骶髂关节不稳定的情况下 PI 才会发生改变,如骶骨骨折、骶骨肿瘤切除等^[18-20]。在本研究纳入的三组研究对象中,DTK 组、PTK 组和对照组 PI 值比较无显著性差异,同样说明了 DTK 和 PTK 同样不会造成 PI 的改变。

PT 和 SS 是骨盆代偿状态的重要指标,其数值之和反映 PI 的大小(即 $PI=PT+SS$)^[7],在 PI 保持不变的情况下,二者此消彼长。PT 是一个与骨盆位置有关的指标,骨盆围绕着股骨头中心点不同旋转程度可以引起 PT 的变化,同时 PT 变化体现了骨盆后旋转的程度。在椎间盘退变性疾病或退变性脊柱畸形患者中,骨盆以过度的后倾来代偿腰椎前凸的减小以维持身体重心、保持直立平衡,这便造成了 PT 的增加和 SS 的减小^[6,21,22]。PT 值大小与生活质量相关。Schwab 等^[21]回顾性分析 125 例成人脊柱畸形患者的一般资料发现,PT 值越大,患者的生活质量越差。此外,PT 越大,术后发生近端交界区失败(proximal junctional failure, PJF)的危险性越高^[23]。本研究纳入的 32 例 DTK 患者,其 PT 值明显大于中年健康成人,SS 值也明显小于中年健康成人,这一结果说明在 DTK 患者中存在明显的骨盆后倾。由于 DTK 患者的 LL 同样低于另外两组,结合之前的分析可以认为,骨盆后倾是由于代偿 LL 的减小引起的。然而,PTK 组的 PT 和 SS 与对照组比较无显著性差异,因此可认为本组 PTK 患者不存在骨盆的代偿变化。

TK 是几种矢状面参数中较为独立的参数,它与年龄有关,与骨盆参数之间没有直接相关性,但

脊柱后凸畸形会对 TK 有明显的影响^[24,25]。而 LL 与骨盆参数联系密切,它可以反映患者的健康状态及手术预后。Kim 等^[26]认为对于需要手术固定到 L5 或者 S1 的成人脊柱侧凸患者而言,将 LL 恢复到理想状态是非常具有挑战性的。他同时指出,术前 LL 大于 TK 20°可以在术后获得较好的平衡。在临床实践中,LL 矫正到 $PI\pm 9^\circ$ 更有利于成人脊柱畸形患者形态和功能的恢复,此时之前失代偿的 SVA 和 PT 才会相应回复到正常区间^[6],而 TK 也会在一定程度上自发性矫正^[27]。本研究纳入的 DTK 患者平均 TK 与对照组比较无显著性差异,原因可能是多方面的。DTK 患者年龄较大,年龄因素导致胸椎本该存在一定的后凸增大,但为了代偿这类患者的胸腰椎退变性后凸,会有胸椎后凸减小的趋势,因此本组 TK 值没有发生较大的变化。与之相比 PTK 组患者 TK 明显减小,原因是 PTK 组患者年龄相对较小,年龄因素使这类患者不会有较大的胸椎后凸,TK 的减小主要是由于代偿胸腰椎后凸引起。另外,DTK 组 LL 明显减小,严重的脊柱退变导致了 DTK 患者存在明显的腰椎前凸减小;而 PTK 组没有发生脊柱明显的退变,所以 LL 没有发生显著改变。

Gelb 等^[4]报道,随着年龄的增加,SVA 也会相应增加。年龄较大的人群或是退变性脊柱疾病患者,常以骨盆的后旋(PT 增加)代偿身体重心的前倾来维持整体躯干的平衡^[28]。SVA 的大小与生活质量和健康状态有关^[29]。SVA 越大的患者,其疼痛程度和功能丢失越严重。对于成人脊柱畸形患者而言,矢状面平衡状态被认为是影响手术疗效的重要指标。Glassman 等^[2]发现 $SVA<50\text{mm}$ 的患者手术疗效明显好于 $SVA>50\text{mm}$ 的患者。本研究中 DTK 患者的 SVA 明显大于健康对照组,再次说明 DTK 患者存在明显的身体前倾状态,因此对此类患者除了矫正局部后凸畸形,还要注意矢状面平衡的恢复;而 PTK 组患者 SVA 与对照组相当,说明 PTK 患者无明显躯干失平衡,对这部分患者的手术目的是局部畸形矫正。

综合以上分析,我们认为,DTK 患者由于诸多退变因素,矢状面表现为腰椎前凸减小,骨盆后旋转,并最终出现躯干前倾的失代偿模式;PTK 患者如年龄较轻,无明显脊柱退变,可表现为矢状面 TK 减小、以骨折椎体为中心的局部后凸,而未发生脊柱骨盆参数的代偿。

4 参考文献

1. Angevine PD, McCormick PC. The importance of sagittal balance: how good is the evidence[J]. *J Neurosurg Spine*, 2007, 6(2): 101-103.
2. Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, et al. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity [J]. *Spine*, 2005, 30(18): 2024-2029.
3. 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.
4. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, et al. An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers[J]. *Spine*, 1995, 20(12): 1351-1358.
5. Farcy JP, Weidenbaum M, Glassman SD. Sagittal index in management of thoracolumbar burst fractures[J]. *Spine*, 1990, 15(9): 958-965.
6. 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.
7. 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.
8. Lamartina C, Berjano P. Classification of sagittal imbalance based on spinal alignment and compensatory mechanisms [J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(6): 1177-1189.
9. Jang JS, Lee SH, Min JH, et al. Lumbar degenerative kyphosis: radiologic analysis and classifications[J]. *Spine*, 2007, 32(24): 2694-2699.
10. Malcolm BW, Bradford DS, Winter RB, et al. Post-traumatic kyphosis: a review of forty-eight surgically treated patients [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1981, 63(6): 891-899.
11. Gertzbein SD. Scoliosis Research Society: multicenter spine fracture study[J]. *Spine*, 1992, 17(5): 528-540.
12. Roberson JR, Whitesides TE Jr. Surgical reconstruction of late post-traumatic thoracolumbar kyphosis[J]. *Spine*, 1985, 10(4): 307-312.
13. Cho KJ, Kim KT, Kim WJ, et al. Pedicle subtraction osteotomy in elderly patients with degenerative sagittal imbalance[J]. *Spine*, 2013, 38(24): E1561-1566.
14. 朱锋, 邱勇. 陈旧性胸腰椎骨折后凸畸形的临床评价与手术治疗[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2003, 13(5): 315-318.
15. Cecchinato R, Berjano P, Damilano M, et al. Spinal osteotomies to treat post-traumatic thoracolumbar deformity [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014, 24(Suppl 1): S31-37.
16. Kuklo TR, Polly DW, Owens BD, et al. Measurement of thoracic and lumbar fracture kyphosis: evaluation of intraobserver, interobserver, and technique variability [J]. *Spine*, 2001, 26(1): 61-66.
17. Vaz G, Roussouly P, Berthounaud E, et al. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine [J]. *Eur Spine J*, 2002, 11(1): 80-87.
18. Mac-Thiong JM, Berthounaud E, Dimar JR 2nd, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth [J]. *Spine*, 2004, 29(15): 1642-1647.
19. Mac-Thiong JM, Roussouly P, Berthounaud 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.
20. Gottfried ON, Omeis I, Mehta VA, et al. Sacral tumor resection and the impact on pelvic incidence [J]. *J Neurosurg Spine*, 2011, 14(1): 78-84.
21. 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.
22. 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.
23. Lafage V, Ames C, Schwab F, et al. Changes in thoracic kyphosis negatively impact sagittal alignment after lumbar pedicle subtraction osteotomy: a comprehensive radiographic analysis[J]. *Spine*, 2012, 37(3): E180-187.
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. Jang JS, Lee SH, Min JH, et al. Influence of lumbar lordosis restoration on thoracic curve and sagittal position in lumbar degenerative kyphosis patients[J]. *Spine*, 2009, 34(3): 280-284.
26. 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.
27. Le Huec JC, Faundez A, Dominguez D, et al. Evidence showing the relationship between sagittal balance and clinical outcomes in surgical treatment of degenerative spinal diseases: a literature review[J]. *Int Orthop*, 2015, 39(1): 87-95.
28. Lafage V, Schwab F, Skalli W, et al. Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters[J]. *Spine*, 2008, 33(14): 1572-1578.
29. 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.

(收稿日期:2015-01-18 末次修回日期:2015-05-13)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)