

DOI:10.16781/j.0258-879x.2017.07.0897

· 论 著 ·

## 成人中上胸椎椎弓根钉进钉点与后柱骨性标志的定位关系和变化规律的影像学测量

卢政好<sup>1</sup>, 周菁华<sup>2</sup>, 王卫国<sup>3\*</sup>

1. 南华大学附属南华医院脊柱外科, 衡阳 421002
2. 南华大学附属南华医院放射科, 衡阳 421002
3. 中南大学湘雅三医院骨科, 长沙 410013

**[摘要]** **目的** 通过三维重建 CT 图像测量参数探讨成人中上胸椎椎弓根钉进钉点(PSEP)与后柱骨性标志的定位关系和变化规律。**方法** 选取排除了畸形的 30 例成人中上胸椎 CT 图像进行三维重建, 观察横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘等后柱骨性标志的解剖特征。在重建后的 T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub> 特定 CT 图像上测定以下参数: (1) 基础参数, 即 PSEP 至中线的距离 (PMD)、横突椎板凹至中线距离 (CMD) 和半椎板宽度 (HLW); (2) 目标参数, 即点凹距离 (PCD)、进钉点定位比 (EPLR) 和点嵴距离 (PRD)。比较所有参数两侧测量值的差异和基础参数间测量值的差异, 总结从 T<sub>1</sub> 到 T<sub>10</sub> 目标参数测量值的变化规律。**结果** 中上胸椎横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘具有解剖标志明显、恒定且少有增生的特征。T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub> 左右两侧 PMD 分别为 (14.14±2.63) mm 和 (14.59±2.58) mm, CMD 分别为 (10.45±2.12) mm 和 (10.51±2.02) mm, HLW 分别为 (16.30±1.48) mm 和 (16.39±1.61) mm, PCD 分别为 (4.56±1.03) mm 和 (4.47±0.94) mm, EPLR 分别为 0.35±0.26 和 0.33±0.30, PRD 分别为 (-1.62±1.90) mm 和 (-1.63±1.44) mm。所有参数两侧测量值差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。除 T<sub>2</sub> 中 PMD 和 HLW 相比差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 其余节段基础参数间测量值差异均有统计学意义 ( $P<0.01$ )。从 T<sub>1</sub> 到 T<sub>10</sub>, PCD 呈现先减小再增大的趋势, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>9</sub>、T<sub>10</sub> 处 PCD 均高于 T<sub>3</sub>~T<sub>8</sub> 处 ( $P<0.05$ ); EPLR 呈现先增大再减小的趋势, T<sub>1</sub>~T<sub>3</sub> 处 EPLR 与其下方任一节段相比差异均有统计学意义 ( $P<0.01$ ), T<sub>4</sub>~T<sub>6</sub>、T<sub>10</sub> 处均低于 T<sub>7</sub>~T<sub>9</sub> 处 ( $P<0.01$ ); PRD 呈现先增大再减小的趋势, T<sub>1</sub>~T<sub>3</sub> 处 PRD 与其下方任一节段相比差异均有统计学意义 ( $P<0.01$ ), T<sub>4</sub>~T<sub>6</sub> 处均低于 T<sub>7</sub>~T<sub>10</sub> 处 ( $P<0.01$ )。**结论** 中上胸椎 PSEP 与横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘等后柱骨性标志存在相对恒定的定位关系和变化规律, 可作为一种新的临床上选择进钉点的方法。

**[关键词]** 中上胸椎; 椎弓根螺钉; 内固定术; 进钉点; 三维重建; X 线计算机体层摄影术; 骨性标志; 置钉准确性

**[中图分类号]** R 683.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2017)07-0897-08

## Radiographic measurement for orientation relationships and changing regulations of pedicle screw entry point and posterior bony landmarks in middle-upper thoracic vertebrae of adults

LU Zheng-hao<sup>1</sup>, ZHOU Jing-hua<sup>2</sup>, WANG Wei-guo<sup>3\*</sup>

1. Department of Spinal Surgery, Affiliated Nanhua Hospital, University of South China, Hengyang 421002, Hunan, China
2. Department of Radiology, Affiliated Nanhua Hospital, University of South China, Hengyang 421002, Hunan, China
3. Department of Orthopaedics, the Third Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410013, Hunan, China

**[Abstract]** **Objective** To explore the orientation relationships and changing rules of pedicle screw entry point (PSEP) on the posterior bony landmarks in middle-upper thoracic vertebrae in adults by measuring parameters of 3-D reconstruction CT images. **Methods** CT images of the middle-upper thoracic vertebrae from 30 healthy adults were used for 3-D reconstruction to observe the anatomical characteristics of posterior bony landmarks, including transverse process-lamina concave, superior ridge of transverse process and outer edge of the lamina. The following basic parameters, including PSEP-to-midline distance (PMD), transverse process-lamina concave-to-midline distance (CMD) and half lamina width (HLW), and target parameters, including PSEP-to-transverse process-lamina concave distance (PCD),

**[收稿日期]** 2016-12-23 **[接受日期]** 2017-03-25

**[基金项目]** 衡阳市科学技术发展计划(2016KJ45)。Supported by Science and Technology Development Program of Hengyang (2016KJ45)。

**[作者简介]** 卢政好, 硕士, 副主任医师。E-mail: luzhenghao0822@163.com

\* 通信作者 (Corresponding author)。Tel: 0731-88618026, E-mail: xywwg1978@163.com

entry point location ratio (EPLR) and PSEP-to-superior ridge of transverse process distance (PRD) were determined on reconstructed CT images from T<sub>1</sub> to T<sub>10</sub>. The differences of bilateral measurements of all parameters and the differences of basic parameters were analyzed, and the changing rules of target parameters measurements from T<sub>1</sub> to T<sub>10</sub> were summarized. **Results** The transverse process-lamina concave, superior ridge of transverse process and outer edge of the lamina of middle-upper thoracic vertebrae characterized by obvious and constant anatomical marks with less proliferative. The left and right PMD, CMD, HLW, PCD, EPLR, and PRD were (14.14±2.63) mm and (14.59±2.58) mm, (10.45±2.12) mm and (10.51±2.02) mm, (16.30±1.48) mm and (16.39±1.61) mm, (4.56±1.03) mm and (4.47±0.94) mm, 0.35±0.26 and 0.33±0.30, and (-1.62±1.90) mm and (-1.63±1.44) mm, respectively. There was no significant difference in the measured values between the two sides of the above parameters ( $P>0.05$ ). Except that the difference between PMD and HLW in T<sub>2</sub> was not significant ( $P>0.05$ ), the differences between basic parameters in the other segments were statistically significant ( $P<0.05$ ). PCD of T<sub>1</sub> to T<sub>10</sub> showed a trend of decrease first and then significant increases in T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>9</sub>, and T<sub>10</sub> compared with in T<sub>3</sub>-T<sub>8</sub> ( $P<0.05$ ). EPLR of T<sub>1</sub>-T<sub>10</sub> showed a trend of increase first and then decrease, in which EPLR in T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> were significantly lower than in the following any segments ( $P<0.01$ ), and in the T<sub>4</sub>-T<sub>6</sub> and T<sub>10</sub> were significantly lower than in T<sub>7</sub>-T<sub>9</sub> ( $P<0.01$ ). PRD of T<sub>1</sub>-T<sub>10</sub> showed a trend of increase first and then decrease, in which the PRD in T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> were significantly lower than in the following any segments, and in the T<sub>4</sub>-T<sub>6</sub> were lower than T<sub>7</sub>-T<sub>10</sub> ( $P<0.01$ ). **Conclusion** There is constant orientation relationship and changing rules of PSEP in the middle-upper thoracic vertebrae on the posterior bony landmarks, such as transverse process-lamina concave, superior ridge of transverse process and outer edge of the lamina, and it can serve as a new clinical choice.

[**Key words**] middle-upper thoracic vertebrae; pedicle screw; internal fixation; entry point; three-dimensional reconstruction; X-ray computed tomography; landmark; screw placement accuracy

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2017, 38(7): 897-904]

后路经椎弓根螺钉固定术(transpedicular screw fixation, TPSF)是脊柱外科较常用的关键技术之一,具有牢固的三柱固定的优点<sup>[1]</sup>。目前,TPSF在胸腰段和腰椎已经成熟且广泛应用于各种脊柱疾病的治疗,并取得了良好的疗效<sup>[2-4]</sup>。但在中上胸椎,由于其椎弓根横径较小和与周围重要结构毗邻的特殊解剖特点,限制了该技术的临床应用<sup>[5-6]</sup>。近年来,为了降低中上胸椎TPSF的手术风险,国内外学者开始采用椎弓根外螺钉固定技术(extrapedicular screw fixation, EPSF)或经椎弓根-肋骨间置钉技术治疗中上胸椎疾患,也取得了一定的临床效果<sup>[7-8]</sup>。与TPSF相比,EPSF安全性高,但螺钉的抗拔出减少,只能作为TPSF失败后的一种补救方法,而不能作为优先选择。中上胸椎TPSF虽然还远远未达到胸腰段和腰椎的精准程度,但仍然具有极大的优势和应用前景<sup>[9]</sup>。

实施TPSF包括确定进钉点、进钉方向和进钉深度3个步骤,其中椎弓根钉进钉点(pedicle screw entry point, PSEP)的确定是能否成功实施TPSF的前提。对于中上胸椎而言,理想的PSEP应该是椎弓根轴线在脊柱后柱的投影点,这样椎弓根的直径才能最大限度地得到利用,螺钉也可以沿椎弓根轴线置入,从而更安全有效地实行TPSF。本研究利

用三维重建CT获取特定层面图像,以术中能够见到的横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘为参考标志,通过测量影像学特定参数确定PSEP与以上骨性标志的定位关系和从T<sub>1</sub>到T<sub>10</sub>PSEP的变化规律,以期为临床中上胸椎TPSF提供一种新的、简便的、安全的PSEP确定方法。

## 1 资料和方法

1.1 资料来源 排除胸椎炎症、骨折、脱位、肿瘤和畸形等情况,选择2016年8月至10月就诊于南华大学附属南华医院门急诊或住院的30例患者的胸部薄层CT扫描图像。所有患者中男17例、女13例;年龄21~66岁,平均(44.30±14.89)岁;胸痛查因14例,原发肺部病变7例,肋骨骨折7例,颈髓损伤和腹部病变术后并发肺部感染各1例。所有患者身高为154~176 cm,平均(165.63±5.59) cm;体质量为53~85 kg,平均(67.37±9.70) kg。本研究获得南华大学附属南华医院伦理委员会审批通过。

1.2 CT扫描方法 采用GE 64排宝石能谱螺旋CT机进行扫描。体位:头先进,仰卧位,头颈部与床面中线重合并垂直床面。扫描范围:C<sub>7</sub>~L<sub>1</sub>。扫描参数:螺旋扫描,每圈0.6 s,层厚5 mm,层间距5 mm,螺距0.984:1,管电压120 kV,自动管电流,

显示野 20 cm。

1.3 图像处理方法 利用CT扫描后的T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub>原始数据重建层厚1.25 mm、层距0.625 mm的轴位图像,并将该图像传到AW4.6工作站(GE公司)进行二维及三维CT图像重建,获取矢状位、冠状位和横断位的图像。对重建后的图像做如下处理:(1)在经过且平行于双侧椎弓根轴线前后走向的矢状位图

像(图1A)上进行重建,设置条件为层厚1 mm、层距1 mm、层数25及显示野20 cm。在重建后的图像中选取椎弓根横径最大的图像(图1B)和椎弓根下方经椎板的图像(图1C)作为目标图像。(2)在经过单侧椎弓根轴线的横断位图像(图1D)上进行重建(设置条件同前),在重建后的图像中选取椎弓根纵径最大的斜矢状位图像(图1E)作为目标图像。

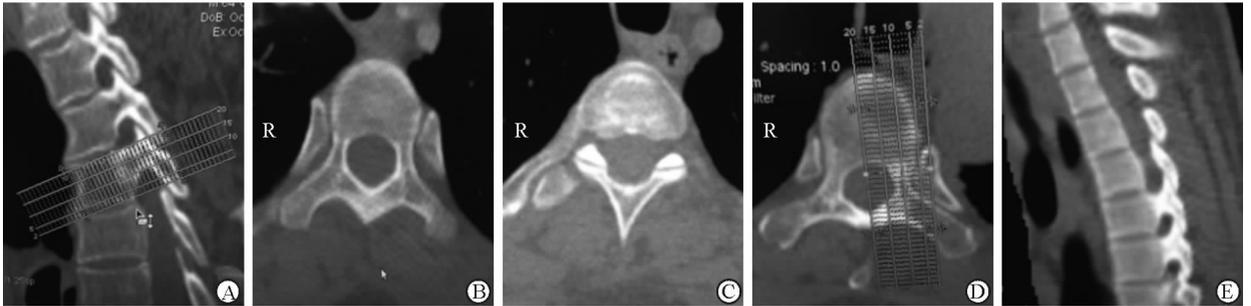


图1 获取用于测量的CT图像的方法(以T<sub>4</sub>为例)

Fig 1 Methods of obtaining CT images for measurement (taking T<sub>4</sub> for example)

A: Reconstruction on the sagittal sectional image (SSI) of passing through and parallel to bilateral pedicle axis; B: The transverse sectional image (TSI) of the maximal transverse diameter of pedicle obtained by the method shown in A; C: The TSI of passing through lamina and located under the pedicle obtained by the method shown in A; D: Reconstruction on the TSI of passing through the unilateral axis of pedicle (left side); E: The oblique SSI of the maximal sagittal diameter of pedicle obtained by the method was shown in D

1.4 测量参数及方法 在选取的目标图像上进行参数测量(长度的测量精度为0.1 mm)。(1)在椎弓根横径最大的横断位图像(图2A)上测量PSEP至中线距离(PSEP-to-midline distance, PMD),即PSEP至椎体中线的垂直距离;横突椎板凹至中线距离(transverse process-lamina concave-to-midline distance, CMD),即横突椎板凹最低点至椎体中线的垂直距离;点凹距离(PSEP-to-concave distance, PCD),即PSEP与横突椎板凹最低点的距离。(2)在平行于椎弓根且位于其下方经椎板的横断位图像(图2B)上测量半椎板宽度(half lamina width,

HLW),即两侧椎板外缘至椎体中线的垂直距离。(3)在经单侧椎弓根轴线的斜矢状位图像(图2C)上测量点嵴距离(PSEP-to-superior ridge of transverse process distance, PRD),即PSEP与横突上嵴的距离(投影点在横突上嵴的上方为正值)。每组参数均由2位测量者反复测量3次,取平均值。利用获得的参数计算进钉点定位比(entry point location ratio, EPLR),即同侧HLW与PMD的差值与HLW与CMD的差值的比例(图3)。其中,HLW、PMD和CMD为基础参数,PCD、PRD和EPLR为目标参数。

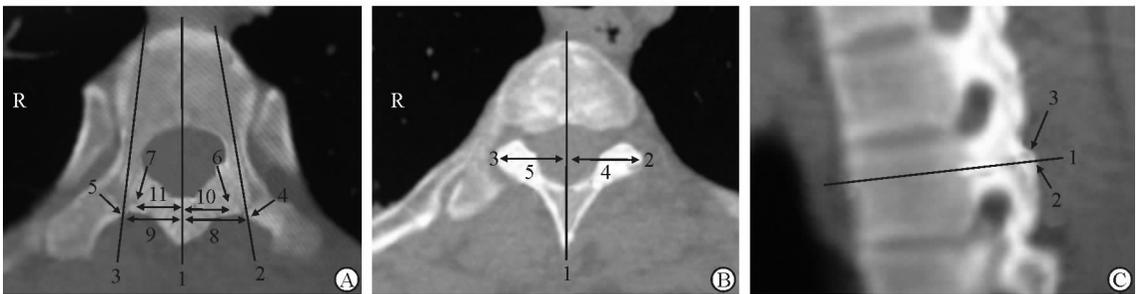


图2 CT图像测量参数(以T<sub>4</sub>为例)

Fig 2 Diagram of parameters measured on the CT image (taking T<sub>4</sub> for example)

A: The TSI of the maximal transverse diameter of pedicle (1, the vertebral midline; 2 and 3, pedicle axis; 4 and 5, PSEP; 6 and 7, the lowest point of transverse process-lamina concave; 8 and 9, PMD; 10 and 11, CMD); B: The TSI of passing through lamina and located under the pedicle (1, the vertebral midline; 2 and 3, outer edge of the lamina; 4 and 5, HLW); C: The oblique SSI of the maximal longitudinal diameter of pedicle (1, pedicle axis; 2, PSEP; 3, superior ridge of transverse process [left side]). TSI: Transverse sectional image; PSEP: Pedicle screw entry point; PMD: PSEP-to-midline distance; CMD: Transverse process-lamina concave-to-midline distance; HLW: Half lamina width; SSI: Sagittal sectional image

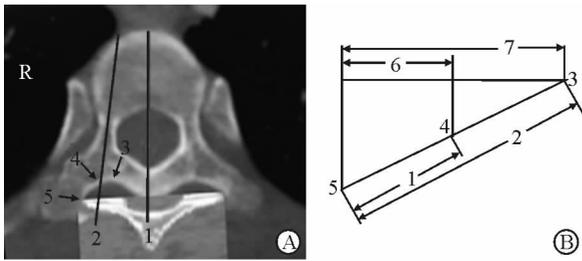


图3 进钉点定位比及其计算原理示意图(以T<sub>3</sub>右侧为例)

Fig 3 Schematic diagram of the calculation principle of EPLR (taking T<sub>3</sub> right side for example)

A: The image overlapping outer surface of transverse process and the outer edge of the lamina (1, the vertebral midline; 2, pedicle axis; 3, the lowest point of transverse process-lamina concave; 4, PSEP; 5, the intersection of the outer edge of the lamina on outer surface of transverse process. The distance from 3, 4, and 5 to 1 represent CMD, PMD and HLW, respectively); B: Diagram of the calculation principle of EPLR (1/2, EPLR; 3, 4 and 5, the same meaning of A; 6, difference between HLW and PMD; 7, difference between HLW and CMD. The schematic diagram shows “1/2 = 6/7”). EPLR: Entry point location ratio; PSEP: Pedicle screw entry point; CMD: Transverse process-lamina concave-to-midline distance; PMD: PSEP-to-midline distance; HLW: Half lamina width

1.5 统计学处理 采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析,计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示。所有参数每一节段两侧比较采用配对 *t* 检验,基础参数每一节段同侧均数比较和目标参数节段间比较采用重复测量资料的方差分析。检验水准( $\alpha$ )为 0.05。

## 2 结果

2.1 胸椎后柱的骨性标志特点 CT 三维重建模型观察可见,左右两侧胸椎横突呈“∨”形伸向后外侧,形态基本对称,由上至下其夹角逐渐减小,其上缘与上关节突连接处骨嵴明显,呈“∨”形向中线汇集,故称之为“横突上嵴”。左右两侧胸椎椎板呈“∧”形在中线汇集形成椎弓板,在外侧上方与横突相连接,而其下方外缘基本与中线平行(图 4A)。在横突与椎板连接处呈明显的“∨”形凹陷,其存在率为 100%,故称之为“横突椎板凹”。背面观察其形态学特征:该凹陷左右两侧基本对称,越靠下胸椎越明显且内聚(图 4B)。部分模型上观察到横突和(或)关节突增生,其发生率为 33.3%(10/30),而上述结构形态固定,无增生。

2.2 相关测量结果 测量者自身和测量者之间的变异系数均小于 5%,误差较小,说明本组测量值精确、可靠。

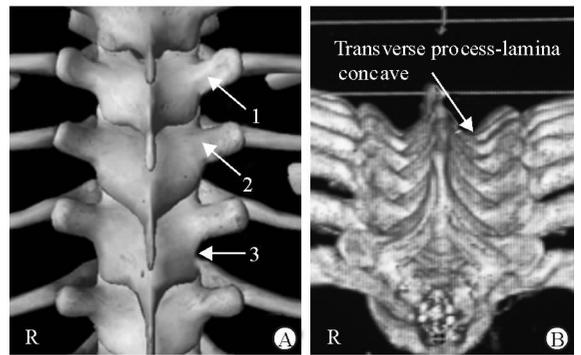


图4 CT 三维重建的胸椎模型

Fig 4 3-D reconstruction model of thoracic vertebrae

A: Postero-anterior position of the back of thoracic vertebrae (1, the transverse process; 2, superior ridge of transverse process; 3, the outer edge of the lamina); B: Tangential position of the back of thoracic vertebrae

2.2.1 中上胸椎基础参数的测量结果 结果(表 1)显示,T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub>每节段左右两侧基础参数测量值的差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。在 T<sub>1</sub>,PMD > HLW > CMD,差异有统计学意义( $P < 0.01$ )。在 T<sub>2</sub>,PMD、HLW 均 > CMD ( $P < 0.01$ ),但 PMD 和 HLW 之间差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。在 T<sub>3</sub>~T<sub>10</sub>,HLW > PMD > CMD,差异均有统计学意义( $P < 0.01$ )。

2.2.2 中上胸椎目标参数的测量结果 结果(表 2)显示,每节段左右两侧目标参数测量值的差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。(1)从 T<sub>1</sub> 到 T<sub>10</sub>,PCD 呈现先逐渐减小再逐渐增大的趋势。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>9</sub>、T<sub>10</sub>每两节段间 PCD 比较及 T<sub>3</sub>~T<sub>8</sub> 每两节段间 PCD 比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>9</sub>、T<sub>10</sub>处 PCD 均高于 T<sub>3</sub>~T<sub>8</sub> 处( $P < 0.05$ )。(2)从 T<sub>1</sub> 到 T<sub>10</sub>,EPLR 呈现先逐渐增大再逐渐减小的趋势。T<sub>1</sub>~T<sub>3</sub> 处的 EPLR 均低于其下方任一节段的 EPLR ( $P < 0.01$ );T<sub>4</sub>~T<sub>6</sub>、T<sub>10</sub> 每两节段间 EPLR 比较及 T<sub>7</sub>~T<sub>9</sub> 每两节段间 EPLR 比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );T<sub>4</sub>~T<sub>6</sub>、T<sub>10</sub> 处的 EPLR 均低于 T<sub>7</sub>~T<sub>9</sub> 处 ( $P < 0.01$ )。(3)从 T<sub>1</sub> 到 T<sub>10</sub>,PRD 呈现先逐渐增大再逐渐减小的趋势。T<sub>1</sub>~T<sub>3</sub> 处的 PRD 均低于其下方任一节段 ( $P < 0.01$ );T<sub>4</sub>~T<sub>6</sub> 每两节段间 PRD 比较及 T<sub>7</sub>~T<sub>10</sub> 每两节段间 PRD 比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );T<sub>4</sub>~T<sub>6</sub> 处的 PRD 均低于 T<sub>7</sub>~T<sub>10</sub> 处 ( $P < 0.01$ )。

表 1 中上胸椎基础参数的测量结果

Tab 1 Metric results of basic parameters in middle-upper thoracic vertebrae

*d/mm, n=30,  $\bar{x}\pm s$*

Segment	PMD		CMD		HLW	
	Right side	Left side	Right side	Left side	Right side	Left side
T <sub>1</sub>	20.50±1.25**	20.40±1.20**	15.44±1.19	15.50±1.24	19.22±0.92**△△	19.46±1.06**△△
T <sub>2</sub>	17.02±0.87**	16.88±0.92**	12.29±1.04	12.27±0.98	17.14±0.93**	17.16±0.98**
T <sub>3</sub>	14.37±0.81**	14.15±0.74**	10.42±0.84	10.44±0.74	16.21±0.91**△△	16.32±0.75**△△
T <sub>4</sub>	13.38±0.98**	13.21±0.99**	9.70±0.70	9.72±0.59	15.62±0.97**△△	15.71±0.84**△△
T <sub>5</sub>	12.77±0.79**	12.65±0.80**	9.56±0.69	9.58±0.73	15.04±0.70**△△	15.11±0.64**△△
T <sub>6</sub>	12.61±0.85**	12.53±0.90**	9.52±0.74	9.59±0.83	14.93±0.98**△△	14.85±0.87**△△
T <sub>7</sub>	12.12±0.81**	12.01±0.86**	9.17±0.58	9.11±0.63	15.40±0.89**△△	15.73±0.93**△△
T <sub>8</sub>	12.39±0.94**	12.37±1.07**	9.32±0.78	9.34±0.82	15.94±0.79**△△	16.15±0.82**△△
T <sub>9</sub>	13.06±0.84**	13.09±0.76**	9.61±0.60	9.52±0.73	17.12±0.70**△△	17.01±0.64**△△
T <sub>10</sub>	14.18±1.02**	14.08±0.84**	9.96±0.48	9.88±0.57	17.26±0.64**△△	17.40±0.58**△△
	14.59±2.58**	14.14±2.63**	10.51±2.02	10.45±2.12	16.39±1.61**△△	16.30±1.48**△△

PMD; Pedicle screw entry point-to-midline distance; CMD; Transverse process-lamina concave-to-midline distance; HLW; Half lamina width. \*\**P*<0.01 vs CMD; △△*P*<0.01 vs PMD

表 2 中上胸椎 PSEP 目标参数的测量结果

Tab 2 Metric results of target parameters of PSEP in middle-upper thoracic vertebrae

*n=30,  $\bar{x}\pm s$*

Segment	PCD <i>d/mm</i>		EPLR	
	Right side	Left side	Right side	Left side
T <sub>1</sub>	5.23±1.36	5.36±1.41	-0.36±0.27	-0.32±0.30
T <sub>2</sub>	4.98±0.81	5.01±0.88	0.01±0.16**	0.02±0.25**
T <sub>3</sub>	4.17±0.49*△	4.29±0.54*△	0.33±0.57**△△	0.33±0.72**△△
T <sub>4</sub>	4.27±0.52*△	4.26±0.58*△	0.37±0.12**△△▲▲	0.36±0.10**△△▲▲
T <sub>5</sub>	4.28±0.42*△	4.22±0.72*△	0.41±0.11**△△▲▲	0.40±0.14**△△▲▲
T <sub>6</sub>	4.04±0.52*△	4.03±0.63*△	0.45±0.09**△△▲▲	0.46±0.10**△△▲▲
T <sub>7</sub>	3.97±0.51*△	4.00±0.62*△	0.52±0.10**△△▲▲▽▽	0.52±0.07**△△▲▲▽▽
T <sub>8</sub>	4.02±0.68*△	4.18±0.67*△	0.54±0.09**△△▲▲▽▽	0.55±0.12**△△▲▲▽▽
T <sub>9</sub>	4.79±0.70▲▽▽	4.90±1.05▲▽▽	0.52±0.08**△△▲▲▽▽▽▽	0.51±0.09**△△▲▲▽▽▽▽
T <sub>10</sub>	5.28±1.07▲▽▽	5.34±0.99▲▽▽	0.42±0.12**△△▲▲▽▽□□	0.43±0.11**△△▲▲▽▽□□
	4.47±0.94	4.56±1.03	0.33±0.30	0.35±0.26

Segment	PRD <i>d/mm</i>	
	Right side	Left side
T <sub>1</sub>	-3.69±0.59	-3.75±0.38
T <sub>2</sub>	-3.11±0.45**	-3.05±0.37**
T <sub>3</sub>	-2.50±0.38**△△	-2.43±0.43**△△
T <sub>4</sub>	-2.07±0.38**△△▲▲	-2.08±0.32**△△▲▲
T <sub>5</sub>	-1.82±0.33**△△▲▲	-1.85±0.33**△△▲▲
T <sub>6</sub>	-1.78±0.34**△△▲▲	-1.84±0.43**△△▲▲
T <sub>7</sub>	-0.45±0.84**△△▲▲▽▽	-0.40±0.60**△△▲▲▽▽
T <sub>8</sub>	-0.11±1.00**△△▲▲▽▽	-0.07±0.96**△△▲▲▽▽
T <sub>9</sub>	-0.47±1.14**△△▲▲▽▽	-0.46±1.19**△△▲▲▽▽
T <sub>10</sub>	-0.70±1.49**△△▲▲▽▽	-0.74±1.53**△△▲▲▽▽
	-1.63±1.44	-1.62±1.90

PSEP; Pedicle screw entry point; PCD; PSEP-to-Concave distance; EPLR; Entry point location ratio; PRD; PSEP-to-superior ridge of transverse process distance. \**P*<0.05, \*\**P*<0.01 vs T<sub>1</sub>; △*P*<0.05, △△*P*<0.01 vs T<sub>2</sub>; ▲*P*<0.05, ▲▲*P*<0.01 vs T<sub>3</sub>; ▽*P*<0.05, ▽▽*P*<0.01 vs T<sub>4</sub>-T<sub>6</sub>; ▼*P*<0.05, ▼▼*P*<0.01 vs T<sub>7</sub>-T<sub>8</sub>; □□*P*<0.01 vs T<sub>9</sub>

### 3 讨论

近年来,按照椎弓根螺钉置入方法可将中上胸

椎椎弓根螺钉固定技术分为徒手置钉技术、经椎弓根-肋骨间置钉技术和辅助置钉技术<sup>[10-13]</sup>;按照椎弓根螺钉置入的最终效果可分为 TPSF 和 EPSF<sup>[14-15]</sup>。

研究表明,无论采取何种方法,TPSF的效果总优于EPSF<sup>[9]</sup>。由于中上胸椎椎弓根横径较小,椎弓根周围毗邻脊髓、胸膜、肺组织、食管和大血管等重要结构,因此要求在水平面上选择准确的PSEP,才能最大程度地利用椎弓根通道,否则将易导致螺钉误置而发生严重甚至致命的并发症<sup>[16]</sup>。目前,徒手置钉技术中PSEP的选择方法有Roy-camille法、Vaccaro法、Louis法、Ebraheim法、直视法和漏斗法等。其中,最早于1986年提出的Roy-camille法<sup>[17]</sup>是目前临床上最常用的方法,该法将横突中线和关节突中线的交点定为PSEP。1995年Vaccaro等<sup>[18]</sup>研究发现中上胸椎横突中线与椎弓根轴线并不完全重合,提出了将横突基底上缘与关节突中线的交点定为PSEP的方法。Louis<sup>[19]</sup>提出不同胸椎节段应采用不同的PSEP的观点,并以下关节突为PSEP的参考标志;该法认为在T<sub>3</sub>以上,PSEP位于上位胸椎下关节突下3 mm和关节突外缘内3 mm,而T<sub>4</sub>~T<sub>10</sub>的PSEP位于关节突外缘更内侧一些。Ebraheim等<sup>[20]</sup>于1997年对43具干燥尸体的胸椎标本进行影像学研究,指出不同性别胸椎的PSEP存在差异,同时不同节段胸椎的PSEP也存在一定差异;该法以上关节突外缘和横突中线为参考标志,认为T<sub>1</sub>~T<sub>2</sub>的PSEP位于横突中线上3~4 mm、上关节突外缘内7~8 mm,而T<sub>3</sub>~T<sub>12</sub>的PSEP位于横突中线上5~8 mm、上关节突外缘内4~5 mm。此后,有学者针对上述方法进行了一些改进,提出直视法和漏斗法等方法<sup>[21]</sup>。直视法和漏斗法仍应用Roy-camille法确定大致的PSEP,先咬除PSEP周围5 mm的骨皮质,再用4 mm刮匙刮除松质骨,暴露椎弓根管口和通道四壁,尤其重点暴露通道内壁,直视下置钉。上述徒手置钉技术或是忽视了胸椎的变异性,或是破坏了过多的后柱PSEP周围骨性结构,加上术中视野对术者主观判断的影响,导致PSEP的选择常有一定误差,产生较高的螺钉误置率。徐丽明等<sup>[22]</sup>研究发现在正常患者中徒手置入胸椎椎弓根钉的椎弓根内侧壁穿透率达10.7%;Modi等<sup>[23]</sup>研究发现脊柱侧凸患者中上胸椎的螺钉误置率高达36%和33%。虽然有报道表明辅助置钉技术能显著降低螺钉的误置率,但由于费用昂贵而不能在临床上广泛开展<sup>[22,24-25]</sup>。因此,寻找一个恒定的少有变异且术中清晰可见的解剖结构作为中

上胸椎PSEP,是临床上安全施行中上胸椎TPSF的关键技术之一。

本研究通过对中上胸椎CT三维重建模型的观察,明确了中上胸椎横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘的形态特点和意义。横突椎板凹为横突与椎板连接处的凹陷部分,该结构与椎弓根关系紧密,左右两侧基本对称,清晰可认,形态固定,其本身无增生。在T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>较为平坦,两侧凹陷距离较大;在T<sub>3</sub>以下,该凹陷越靠下胸椎越明显且逐渐内聚。横突上嵴是胸椎横突后上缘的横向骨嵴,由后上外侧斜向前下内侧,内侧和前方分别与椎板和上关节突基底相连接。横突上嵴位置恒定,解剖标志明显,无增生现象。椎板下方外缘基本与中线平行,同样具有清晰可认且无增生的解剖特点。同时,本研究也观察到中上胸椎关节突和横突增生的发生率均在30%以上,不仅仅存在于高龄人群中,年轻人中也可见,这也解释了以横突和关节突作为PSEP参考标志导致中上胸椎椎弓根螺钉误置率较高的原因。因此,无论关节突和横突增生与否,中上胸椎横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘的解剖标志都十分明显,变异较少,可以作为PSEP的参考标志。

本研究结果显示,在T<sub>1</sub>,PMD>HLW,提示PSEP在椎板外缘外侧;在T<sub>2</sub>,PMD≈HLW,提示PSEP与椎板外缘基本重合;在T<sub>3</sub>~T<sub>10</sub>,PMD<HLW,提示PSEP在椎板外缘内侧;在T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub>,PMD>CMD,提示PSEP位于横突椎板凹外侧。PCD在T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>9</sub>、T<sub>10</sub>处约为5 mm,在T<sub>3</sub>~T<sub>8</sub>处约为4 mm,提示中上胸椎PSEP在水平参考线上位于横突椎板凹外侧4~5 mm处,此关系较为恒定。EPLR是冠状面上HLW与PMD的差值与HLW与CMD的差值的比例在横突上嵴的投射,其将PSEP限定在椎板外缘沿横突后表面的延长线和横突上嵴的交点至横突椎板凹之间的区域内。本研究中,EPLR在T<sub>1</sub>处为负值,为-0.36±0.27,提示PSEP在该区域外侧约该区域1/3宽度处;在T<sub>2</sub>处约为0,提示PSEP与椎板外缘的延长线基本重合;T<sub>3</sub>~T<sub>10</sub>处在0.33~0.55范围内逐渐增大再逐渐减小,T<sub>8</sub>处最大,提示PSEP在该区域中外1/3~1/2处。该结果再次说明了T<sub>1</sub>与T<sub>2</sub>的颈胸段的特殊结构特点,在此进行PSEP的选择时需特殊对待,既不能用颈椎椎弓根螺钉的置入方法,也不能用胸椎的

常规置钉方法处理。在  $T_3 \sim T_8$  螺钉误置率较高的节段,一般情况下 PSEP 可以选择在横突椎板凹外侧 4 mm 和椎板外缘至横突椎板凹区域中外  $1/3 \sim 1/2$  之间,越接近下位节段约向凹陷靠近。在垂直参考线上 PRD 的绝对值先逐渐减小再逐渐增大,  $T_1 \sim T_2$  处约 3.5 mm,  $T_3$  处约 2.5 mm,  $T_4 \sim T_6$  处约 2 mm,  $T_7 \sim T_{10}$  处约 0.5 mm。此结果提示越靠近上位胸椎, PSEP 越偏离横突上嵴。实际上,胸椎椎弓根纵径明显大于横径,在垂直参考线上 PSEP 可以有较大的选择余地,因此本研究所显示的 PRD 的变化规律对临床指导意义不大。因为临床用于中上胸椎椎弓根螺钉的直径为 3.5~4.0 mm,加之经椎弓根固定技术“宁上勿下”的原则,可以统一将 PSEP 选择在横突上嵴下方 2 mm 处,即将螺钉紧贴上关节突基底的皮质骨处作为最佳 PSEP。

如前所述,现有的中上胸椎 TPSF 或需设定横突中线的假想标志,或需咬除并暴露部分上位下关节突来确定 PSEP。由于多重因素的影响,导致临床螺钉误置率较高。本研究以横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘作为 PSEP 的参考标志,在降低临床螺钉误置率方面具有以下优点:(1)该参考标志是客观存在于中上胸椎的恒定结构,术中易于辨认且少有增生,不需设定横突中线等假想标志,能够最大程度地避免术者主观判断对 PSEP 确定的影响;(2)利用该参考标志确定 PSEP,不需破坏下关节突和后柱骨质,为初次螺钉误置再次成功置钉提供了机会,同时也减小了手术创伤;(3)研究结果显示从  $T_1$  到  $T_{10}$ , PSEP 的变化规律使胸椎的变异性受到了重视,提示不同胸椎节段存在不同的 PSEP 确定方法,能够明显降低螺钉误置率;(4)本研究结果显示  $T_1 \sim T_{10}$  处 PSEP 与椎板外缘至横突椎板凹区域具有明显的相关性,由于该区域宽度较小和 EPLR 的精确定位,简化了 PSEP 的定位步骤,提高了水平位确定 PSEP 的准确性,从而提高了 TPSF 的安全性。

总之,中上胸椎横突椎板凹、横突上嵴和椎板外缘结构恒定,易于辨认和寻找,与 PSEP 关系密切,不受关节突增生和横突增生的影响。在水平参考线上,  $T_1$  和  $T_2$  处理想的 PSEP 分别在椎板外缘外侧和与椎板外缘重合,均距横突椎板凹约 5 mm;  $T_3 \sim T_{10}$  处理想的 PSEP 在椎板外缘与横突椎板凹区域的中外  $1/3 \sim 1/2$  处,其中  $T_3 \sim T_8$  处距横突椎板凹

约 4 mm,从上至下逐渐内聚,而  $T_9 \sim T_{10}$  处距横突椎板凹约 5 mm。在垂直参考线上,  $T_1 \sim T_{10}$  处的理想 PSEP 可以统一选择在横突上嵴下方 2 mm 处。本研究所显示的中上胸椎 PSEP 和后柱骨性标志之间的定位关系和变化规律,可以为 TPSF 提供一种安全、简便的 PSEP 的确定方法。此外,中上胸椎 PSEP 所呈现的变化规律可能与椎管横径及椎弓根内倾角度有一定的相关性,但具体关系如何,有待进一步研究。

## [参考文献]

- [1] HYUN S J, KIM Y J, CHEH G, YOON S H, RHIM S C. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine without any radiographic guidance: technical note, a cadaveric study[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2012, 51: 66-70.
- [2] 曾忠友,严卫峰,吴鹏,张建乔,徐阿炳,宋永兴,等.改良 270°椎管减压椎体前中柱重建治疗严重胸腰椎骨折[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2016,26:388-394.
- [3] 卢政好,李平元,苏晓桃,欧军,谭健. USS 钉棒系统内固定结合椎体间植骨融合术治疗退行性腰椎不稳症[J]. 临床骨科杂志,2011,14:260-263.
- [4] 孟祥龙,海涌,康南,刘玉增,鲁世保,苏庆军. 腰椎后路选择性减压融合治疗退变性脊柱侧凸的中期疗效[J]. 脊柱外科杂志,2016,14:70-74.
- [5] GONZALVO A, FITT G, LIEW S, DE LA HARPE D, VRODOS N, McDONALD M, et al. Correlation between pedicle size and the rate of pedicle screw misplacement in the treatment of thoracic fractures: can we predict how difficult the task will be? [J]. Br J Neurosurg, 2015, 29: 508-512.
- [6] IKEUCHI H, IKUTA K. Accuracy of pedicle screw insertion in the thoracic and lumbar spine: a comparative study between percutaneous screw insertion and conventional open technique [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136: 1195-1202.
- [7] 刘建伟,邹海波,肖奇,吴勇. 胸椎椎弓根螺钉与椎弓根外侧螺钉固定治疗胸椎骨折的比较研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志,2010,25:580-582.
- [8] KIM J H, CHOI G M, CHANG I B, AHN S K, SONG J H, CHOI H C. Pedicular and extrapedicular morphometric analysis in the Korean population: computed tomographic assessment relevance to pedicle and extrapedicle screw fixation in the thoracic spine

[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2009, 46: 181-188.

[9] 孙志峰,曹晓建. 胸椎椎弓根螺钉技术的现状及研究进展[J]. *实用骨科杂志*, 2015, 21: 432-435.

[10] ELLIOTT M J, SLAKEY C J. Thoracic pedicle screw placement: analysis using anatomical landmarks without image guidance[J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27: 582-586.

[11] HUSTED D S, HAIMS A H, FAIRCHILD T A, KERSHAW T S, YUE J J. Morphometric comparison of the pedicle rib unit to pedicles in the thoracic spine [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004, 29: 139-146.

[12] 洪有志,吴小涛,庄苏阳,洪鑫,刘夕友. 经胸椎椎弓根-肋骨途径置钉固定中上位胸椎[J]. *脊柱外科杂志*, 2013, 11: 40-44.

[13] BECK M, MITTLMEIER T, GIERER P, HARMS C, GRADL G. Benefit and accuracy of intraoperative 3D-imaging after pedicle screw placement: a prospective study in stabilizing thoracolumbar fractures [J]. *Eur Spine J*, 2009, 18: 1469-1477.

[14] FENNEL V S, PALEJWALA S, SKOCH J, STIDD D A, BAAJ A A. Freehand thoracic pedicle screw technique using a uniform entry point and sagittal trajectory for all levels: preliminary clinical experience [J]. *J Neurosurg Spine*, 2014, 21: 778-784.

[15] 倪建光. 胸椎椎弓根螺钉与椎弓根外侧螺钉固定治疗胸椎骨折的比较分析[J]. *吉林医学*, 2012, 33: 5492-5493.

[16] 杨明坤,刘川,张旭,吴继生,李舟,米东,等. 上胸椎椎弓根螺钉固定并发症的探讨[J]. *实用骨科杂志*, 2014, 20: 500-503.

[17] ROY-CAMILLE R, SAILLANT G, MAZEL C. Plating of thoracic, thoracolumbar and lumbar injuries with pedicle screw plates[J]. *Orthop Clin North Am*, 1986, 17: 147-159.

[18] VACCARO A R, RIZZOLO S J, BALDERSTON R A, ALLARDYCE T J, GARFIN S R, DOLINSKAS C, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: an anatomical and radiographic assessment[J]. *Bone Joint Surg Am*, 1995, 77: 1200-1206.

[19] LOUIS R. Spine internal fixation with lous instrumentation[M]//AN H S, COTLER J M. *Spine Instrumentation*. Baltimore: Wiliams and Wilkins, 1992: 183-196.

[20] EBRAHEIM N A, XU R, AHMAD M, YEASTING R A. Projection of the thoracic pedicle and its morphometric analysis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1997, 22: 233-238.

[21] 田大胜,荆珏华,钱军,陈磊. 漏斗技术结合探针技术置入胸椎椎弓根螺钉在脊椎畸形矫形术中的应用[J]. *颈腰痛杂志*, 2014, 35: 431-434.

[22] 徐丽明,顾锐,朱庆三,林野. 徒手与在计算机导航下中上胸椎椎弓根螺钉置入技术的前瞻性对比研究[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2010, 25: 778-780.

[23] MODI H N, SUH S W, FERNANDEZ H, YANG J H, SONG H R. Accuracy and safety of pedicle screw placement in neuromuscular scoliosis with free-hand technique[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17: 1686-1696.

[24] UGHWANOGHO E, PATEL N M, BALDWIN K D, SAMPSON N R, FLYNN J M. Computed tomography-guided navigation of thoracic pedicle screws for adolescent idiopathic scoliosis results in more accurate placement and less screw removal [J/OL]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37: E473-E478. doi: 10.1097/BRS.0b013e318238bbd9.

[25] WU Z X, HUANG L Y, SANG H X, MA Z S, WAN S Y, CUI G, et al. Accuracy and safety assessment of pedicle screw placement using the rapid prototyping technique in severe congenital scoliosis [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24: 444-450.

[本文编辑] 曾奇峰