论著

文章编号:1000-5404(2013)22-2464-05

三维CT观测原发性青少年脊柱侧弯患者胸椎肋横突孔的形态

孙 东,张泽华,代 飞,罗 飞,方 青,许建中 (400038 重庆,第三军医大学西南医院骨科,全军矫形外科中心)

[摘要] **目的** 描述原发性青少年脊柱侧弯患者胸椎肋横突孔形态学特点,并与正常人群胸椎肋横突孔形态比较,讨论通过此空间放置内固定物治疗生长期脊柱侧弯的可行性。**方法** 回顾性分析我院2005年7月至2013年3月于骨科行门诊或术前CT扫描三维重建的原发性青少年脊柱侧弯(右胸弯)患者(侧弯组)以及2007年5月至2012年12月行CT检查但无脊柱畸形患者(对照组)的资料。脊柱侧弯组104例,男性42例,女性62例;平均年龄10岁。Lenke分型:Ⅰ型58例、Ⅲ型46例。主胸弯Cobb角平均为45.95°。对照组38例,男性15例,女性23例,平均年龄11岁。测量脊柱侧弯患者凸侧顶椎以及上下相邻两个椎体的肋横突孔横截面积,并与正常对照组相应节段面积进行对比,总结其变化规律。**结果** 侧弯组肋横突孔横截面积为24.67~35.57 mm^2;顶椎处横截面积小于邻近上下节段面积($P<0.05$),横截面积和Cobb角呈负相关($r=-0.668$, $P<0.05$)。对照组肋横突孔横截面积为28.26~32.57 mm^2。侧弯组肋横突孔横截面积明显大于对照组的对应节段面积($P<0.05$)。**结论** 与正常人相比,中度原发性青少年脊柱侧弯患者侧弯凸侧胸椎肋横突孔横截面较大,可以通过此空间放置内固定器进行凸侧骨骺阻滞术。

[关键词] 原发性青少年脊柱侧弯;三维CT;肋横突孔

[中图法分类号] R339.31;R682.3;R814.42 [文献标志码] A

Three-dimensional computerized tomography of costo-transverse foramen in adolescent idiopathic scoliosis patients

Sun Dong, Zhang Zehua, Dai Fei, Luo Fei, Fang Qing, Xu Jianzhong (Department of Orthopedics, Center of Orthopedic Surgery, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing, 400038, China)

[**Abstract**] **Objective** To investigate the morphology of the costo-transverse foramen in adolescent idiopathic scoliosis (AIS) patients and normal people for comparison, and to discuss the feasibility of implantation for epiphyseal growth modulation *via* that space in treating immature idiopathic scoliosis. **Methods** This is a retrospective study using three-dimensional computerized tomography (CT) to test the costo-transverse foramen in 104 AIS patients (49 males and 75 females, 10 years old in average) from July 2005 to March 2013 and 38 matched normal people (15 males and 23 females, 11 years old in average) from May 2007 to December 2012. According to the Lenke classification, there were 58 cases of Lenke Ⅰ and 46 cases of Lenke Ⅲ in the AIS group. The average Cobb angle of the main thoracic curve was 45.95 degree in the AIS group. Based on the three-dimensional reconstruction of CT data in Amira software, the cross sectional areas (CSAs) of the costo-transverse foramen in different levels were measured in both AIS and normal people. Comparisons were made within and between the AIS and normal people groups in the aspect of costo-transverse foramen CSA. Furthermore, the correlation between the CSA and the Cobb angle was also analyzed. The possible factors contributing to the foramen CSA were discussed and summarized. **Results** The average CSA in the AIS group ranged from 24.67 mm^2 to 35.57 mm^2. The CSAs in apex levels were significantly smaller than those in other levels ($P<0.05$). The CSA was negatively correlated with the magnitude of Cobb angle ($r=-0.068$, $P<0.05$). The average CSA of normal people group ranged from 28.26 mm^2 to 32.57 mm^2. The CSA of AIS group was significantly greater than that of the corresponding level in normal people group ($P<0.05$). **Conclusion** Comparing to the normal people, the CSA of costo-transverse foramen in AIS patient is greater, which seems to support the proposal of implant placement *via* this foramen in epiphyseal growth modulation.

[**Key words**] adolescent idiopathic scoliosis; three dimensional CT; costo-transverse foramen

Corresponding author: Xu Jianzhong, Tel: 86-23-65340297, E-mail: xjzslw@163.com.

[通信作者] 许建中,电话:(023)65340297,E-mail:xjzslw@163.com

[优先出版] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20131014.1035.015.html(2013-10-14)

原发性青少年脊柱侧弯(adolescent idiopathic scoliosis,AIS)是最常见的一种脊柱侧弯[1]。对于骨骼还尚未发育完全的侧弯患者,手术融合意味着脊柱将失去生长的潜能;而且佩戴矫形支具并不能矫正畸形,只不过是一种延缓侧弯进展的权宜之计,大部分患者最终还是需要进行脊柱融合术[1-2]。所以人们提出以非融合的手术方式来治疗生长期的青少年脊柱侧弯[3-5]。前路凸侧骨骺阻滞术(单侧骑缝钉和捆绑栓系)是一种有效的非融合手术方法,但是这种方法创伤较大且具有诸多并发症。为减少手术创伤和并发症,可以从后路通过胸椎的肋横突孔,在侧弯的凸侧纵行放置骨骺阻滞术内固定器,达到与前路类似的矫形效果。肋横突孔指的是胸椎横突,肋骨头和肋横突关节围成的一个三角形区域,这是一个手术安全区[6-7]。但是,目前尚未有人研究胸椎肋横突孔的形态学特点。本研究回顾性分析了104例AIS患者和38例正常人的CT资料,利用Amira软件进行三维重建,然后测量不同胸椎水平肋横突孔横截面积。目的在于:①描述正常人和AIS患者胸椎肋横突孔形态特点;②比较正常人和AIS患者胸椎肋横突孔形态的差异;③总结AIS患者胸椎肋横突孔的变化规律,为临床通过此空间放置非融合内固定器提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

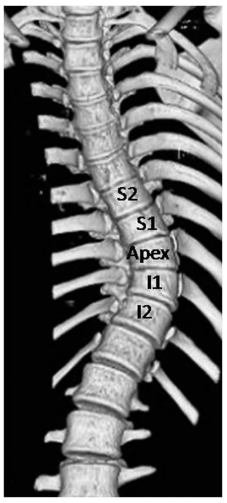
选取2005年7月至2013年3月104例于我院骨科行门诊或术前CT扫描三维重建的原发性青少年脊柱侧弯(右胸弯)患者[侧弯组,包括女性62例,男性42例,年龄(9.75±1.92)岁]以及2007年5月至2012年12月38例在我院行CT检查但无脊柱畸形患者的资料[对照组,包括男性15例,女性23例,年龄(10.5±3.1)岁]。Lenke[8]分型:Ⅰ型58例、Ⅲ型46例。患者主胸弯Cobb角为(45.95±5.78)°。患者胸弯顶椎水平分布为:胸8(36%)、胸9(38%)和胸10(26%)。根据顶椎阶段不同,患者分为以下3个亚组:顶椎胸8组(38例):Cobb角为(40.49±7.73)°;顶椎胸9组(40例):Cobb角为(45.34±3.53)°;顶椎胸10组(26例):Cobb角为(40.25±10.12)°。测量范围为胸6~12水平。纳入标准:门诊诊断为原发性青少年脊柱侧弯患者,为保证入组患者资料的均一性,入组患者胸椎范围畸形均为单主胸弯,即Lenkle[8]分型Ⅰ型和Ⅲ型。排除标准:Risser征大于Ⅲ级或不能排除其他原因引起的脊柱侧弯(神经肌肉性,创伤,感染或肿瘤等)。同时按照侧弯患者的人口学构成特征,选取了胸椎段无明显脊柱侧弯的患者影像资料作为正常对照人群,测量不同椎体水平肋横突孔横截面积并与侧弯组患者数据比较。

1.2 三维CT扫描

采用64排CT扫描患者胸段脊柱,采用美国GE公司64排High Speed VCT扫描。有脊柱侧弯椎体均采用仰卧位进行扫描。扫描参数:电流180 mA,管电压120 kV,层厚1.25 mm,层间距1.0 mm,螺距比为1.375∶1.000;扫描参数完成后内插为层厚0.625 mm,层间距1.0 mm[9-10]。扫描所得的图像储存为DICOM格式,通过Amira软件后处理三维重建。可根据测量需要,调整斜面角度。

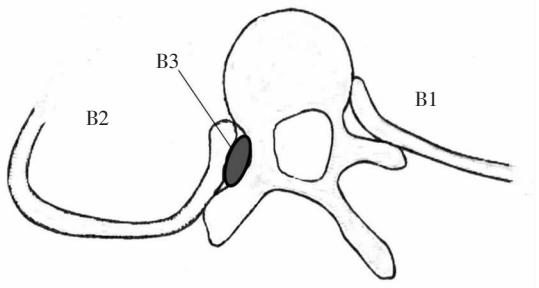
1.3 数据测量

测量脊柱侧弯患者和正常组各胸椎节段肋横突孔横截面最小面积。侧弯组测量范围包括侧弯顶椎,以及邻近的上下两个节段水平肋横突孔(图1)。正常对照组测量范围包括侧弯组实际测量的最高和最低椎体节段水平。测量横截面时,根据椎体侧弯角度调整斜面角度与椎体上终板平行,横截面同时显示肋椎关节,椎体横突,肋横突关节,椎弓根,肋骨颈部以及中间的肋横突孔(图2)。所有测量由一名脊柱外科医师完成,为保证测量数据的可靠性,观察者独立测量多次后计算数据的组内相关系数(intra-class correlation coefficient,ICC)。ICC值0~0.20为相关较差,0.21~0.40为相关,0.41~0.60为中度相关,0.61~0.80为高度相关,0.81~1.00为完美相关。为准确描述测量数据和椎体水平,依据被测椎体与顶椎关系,对侧弯组椎体进行命名:顶椎上方1个节段邻近椎体(S1),顶椎上方2个节段邻近椎体(S2),顶椎下方1节段邻近椎体(I1)和顶椎下方2个节段邻近椎体(I2)。



侧弯组测量肋横突孔所在椎体水平范围包括顶椎(Apex),顶椎上方两个邻近椎体(S1、S2)以及顶椎下方两个邻近椎体(I1、I2)

图1 脊柱侧弯组胸椎CT测量范围示意图



B1:侧弯凹侧;B2:侧弯凸侧;B3:肋横突孔

图2 侧弯组肋横突孔CT横截面测量范围示意图

1.4 统计学方法

采用SPSS 13.0统计软件,方差分析用于检验不同椎体水平测得横截面积是否存在差异,配对 t 检验用于比较侧弯组内以及和正常组对应水平横截面面积,独立样本 t 检验用于区域多个节段测量横截面积大小(如中胸段与下胸段比较,顶椎上方节段和顶椎下方节段比较)。皮尔逊相关分析检验患者Cobb角和所测得肋横突孔横截面积的相关性,当皮尔逊相关系数>0.5时,二者有相关性。

2 结果

2.1 侧弯组和对照组组内肋横突孔横截面积比较

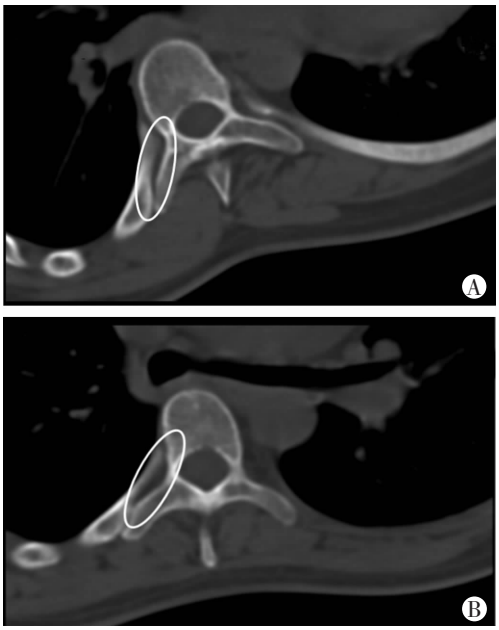
2.1.1 对照组 对照组测量范围为从胸6~12椎体水平(表1)。ICC值显示为完美相关(0.94),提示测量方法稳定,数据可靠。肋横突孔平均横截面积为28.26~32.57 mm^2。胸6水平横截面积均值最大,胸12水平均值最小,胸6~12水平肋横突孔横截面积随胸椎水平下降而逐渐减少。统计学分析结果表明,胸6~12水平肋横突横截面积存在明显差异($P<0.05$),胸6~9水平横截面均值之间无明显差异($P>0.05$),胸10~12水平横截面均值也无明显差异($P>0.05$);但胸6水平横截面积均值明显大于胸10~12水平($P<0.05$)。独立样本 t 检验表明,中段胸椎(胸6~8)肋横突孔横截面积平均值明显大于下胸段(胸9~12)均值($P<0.05$)。

表1 侧弯组和正常组肋横突孔横截面积测量结果 (mm^2, $\bar{x}\pm s$)

胸椎水平	n	侧弯组			对照组
		顶椎胸8组	顶椎胸9组	顶椎胸10组	
T6	76	35.57 ± 8.33^{b}	-	-	32.57 ± 11.23
T7	116	34.02 ± 6.33^{b}	32.28 ± 9.81^{c}	-	30.20 ± 10.14
T8	142	27.54 ± 6.04^{a}	30.20 ± 6.72^{c}	32.33 ± 7.02^{de}	30.17 ± 7.74
T9	142	32.14 ± 10.67^{ab}	26.58 ± 4.33	30.67 ± 7.67^{d}	30.22 ± 8.19
T10	142	29.99 ± 13.33^{ab}	28.01 ± 8.33^{c}	24.67 ± 3.67^{e}	29.42 ± 8.16^{a}
T11	104	-	29.53 ± 11.61^{c}	27.27 ± 4.57^{de}	28.26 ± 9.72^{a}
T12	64	-	-	29.23 ± 6.42^{de}	28.41 ± 10.31^{a}

a:$P<0.05$,与T6比较;b:$P<0.05$,与T8比较;c:$P<0.05$,与T9比较;d:$P<0.05$,与T10比较;e:$P<0.05$,与顶椎胸8组对应节段水平比较

2.1.2 侧弯组 侧弯组根据顶椎位置不同分为亚3组,测量范围为顶椎上下两个水平邻近节段(表1)。各组ICC分别为:0.87、0.89和0.91,提示测量方法稳定,数据可靠。肋横突孔横截面积为24.67~35.57 mm^2。顶椎水平横截面积均值最小,S2水平均值最大(图3)。统计学分析表明,各节段所测得肋横突孔横截面均值有明显差异($P<0.05$),顶椎水平肋横突孔横截面积明显小于S1、S2、I1、I2水平均值($P<0.05$);S1、S2水平横截面值明显大于I1、I2水平均值($P<0.05$);但S1和S2水平均值无明显差异($P>0.05$);I1与I2之间横截面值也没有显著差异($P>0.05$)。独立样本 t 检验表明,顶椎的上方椎体水平横截面总体均值(S1和S2)明显大于顶椎下方(I1和I2)水平横截面总体均值,且差异有统计学意义($P<0.05$)。另一方面,由于顶椎水平不同,3组之间也有不同点:顶椎在胸8组比顶椎在胸9和10组相应节段(S1-S2-顶椎-I1-I2)测得横截面积均值大,但配对 t 检验结果表明,仅胸8组和胸10组间对应节段横截面积均值有统计学差异($P<0.05$)。相关性分析发现,侧弯组患者肋横突横截面平均值(S1-I2总体均值)和患者Cobb角成明显负相关性(皮尔逊相关系数:-0.668,$P<0.05$)。即患者Cobb角度越小,肋横突孔的横截面积也就越大。



A:侧弯患者顶椎水平肋横突孔CT横截面;B:侧弯患者顶椎上方第二邻近椎体水平肋横突孔CT横截面 白色椭圆示肋横突孔横断面,图A肋横突孔横截面积明显小于图B横截面积

图3 侧弯组不同胸椎水平肋横突孔CT横截面大小对比

2.2 侧弯组和正常组组间肋横突孔横截面积比较

将侧弯组3个亚组单独和正常组对应胸椎水平横截面积均值配对比较发现:3个侧弯亚组顶椎肋横突孔横截面均值明显小于正常组相应对照($P<0.05$);对于顶椎邻近节段均值比较,顶椎胸8和顶椎胸9组顶椎邻近节段横截面均值大于正常组相应对照,且差异有统计学意义($P<0.05$),但顶椎胸10组和正常组对照均值无统计学差($P>0.05$)。

不考虑侧弯顶椎位置,配对比较侧弯组和正常组相应胸椎水平横截面均值:对于胸6、7、11水平横截面均值,侧弯组大于正常组相同胸椎水平均值,且差异有统计学意义($P<0.05$);胸9、10水平横截面均值,侧弯组明显小于正常组,且差异有统计学意义($P<0.05$);而胸8和胸12水平横截面均值两组无统计学差异($P>0.05$)。另一方面,单独比较侧弯组顶椎水平横截面均值和对应正常组均值发现,侧弯组均值明显小于正常组($P<0.05$)。

3 讨论

迄今为止,有很多学者讨论过非融合手术治疗生长期脊柱侧弯的手术策略[3-5,11-15]。这种手术方式的目的是希望通过有限控制脊柱生长发育,在矫正畸形的同时最大程度的保留脊柱的生长潜能。即通过改变

侧弯凸侧和凹侧椎体生长骺板的生物力学分布,诱导椎体反向不对称生长,从而达到通过脊柱自生长而矫正脊柱侧弯的目的。这种方式比矫形支具更直接,从根本上矫正脊柱的畸形,而不是消极的减缓侧弯进展。目前临床使用的手术方式主要包括:后路生长棒系统和前路骨骺阻滞术。前路骨骺阻滞术的原理是通过椎间骑缝钉或栓系捆绑,增加凸侧椎体上下生长骺板压力,从而减慢凸侧生长速度,通过凸凹侧椎体不平衡生长来达到矫正或控制脊柱畸形。但是前路手术需要进入胸腔,对患者呼吸功能有明显影响,且前路手术入路和内固定器位置邻近胸腔多个重要结构,手术风险和创伤明显大于后路。另一方面,目前使用的后路非融合手术方式主要是椎弓根钉棒为基础的生长棒系统,原理就是通过坚强的节段内固定,完全控制脊柱的生长。该系统明显的缺点就是需要每半年手术一次,延长生长棒,多次手术和麻醉增加了患儿的手术风险和手术创伤[4-5,15-17]。由于椎体骨骺阻滞术的明显优势,最近受到人们的推崇。与传统的椎弓根钉系统相比,骨骺阻滞术对椎体实施的是动态压力,从而避免了坚强固定带来的椎间盘和邻近节段损害,以及脊柱活动范围的丧失。此外,椎体间栓系技术不需要像生长棒系统那样进行定期手术,避免了多次手术和麻醉带来的风险和并发症[4,11,13,15]。Lavelle 等[12]率先在临床上使用这种前路骨骺阻滞术来治疗生长期的原发性脊柱侧弯,取得了不错的矫形效果。

然而,前路骨骺阻滞术手术需要开胸经前路放置内固定,这种手术方式对患者的呼吸和心肺功能有较大的损害,与后路相比,增加了手术风险和创伤[18-19]。鉴于此,我们提出了从后路经肋横突孔实施骨骺生长阻滞术的设想。肋横突孔位于肋椎-肋横突复合体中(costotransverse-verberal complex,CVC),该结构可经后方入路到达[20-21]。肋横突孔内侧为由椎弓根和椎体横突,外侧界为肋骨颈部,肋骨在前方通过肋椎关节,在后方通过肋横突关节和椎体稳固相连。以往的手术解剖学研究表明,这个区域内没有走行重要的神经和血管,是理想的手术安全区,人们曾通过该区域放置椎弓根旁路钉,或者通过该入路进行椎体成形术[6-7]。通过肋横突孔进行骨骺阻滞术可以避免前路开胸手术的缺点和风险;同时,肋横突孔是通过后路可达到的距离椎体瞬时运动轴(instantaneous axes of rotation,IAR)距离最近的解剖结构。Panjabi 等[22]指出,椎体内固定物位置越接近 IAR,对整个脊柱的正常活动范围和椎体矢状面前后凸影响越小。所以,通过过肋横突孔纵行放置骨骺阻滞内固定物具有外科操作简单,创伤小且对脊柱运动范围影响小等优势。

但是,以往并没有讨论通过肋横突孔放置内固定物的可行性研究,也没有描述肋横突孔的影像解剖研究。鉴于此,本研究测量了中度脊柱侧弯患者,凸侧肋横突孔径横截面积,并且选取正常人群作为对照,讨论在侧弯凸侧经过肋横突孔实施骨骺阻滞术并放置内固定物的可行性,分析影响孔横截面大小的相关因素。在本研究中我们发现,对于正常人群,肋横突横截面孔横截面积随着椎体水平下移而逐渐减小,但是上下邻近节段肋横突孔大小没有显著性差异。出现这种递减变化可能与肋骨与椎体连接关系不同有关,其中胸 6~9 节段,肋骨和上下两个椎体同时形成肋椎关节,与横突形成完成整肋横突关节;而对于胸 10~12,肋骨头只和单个椎体形成肋椎关节。此外,胸 11 和胸 12 节段没有明确的肋横突关节,只有肋椎关节[20-21],这可能也是影响肋横突孔横截面积的因素。

在对侧弯人群测量中,为最大可能性的保持测量患者的均一性,我们将患者依据顶椎位置不同分为 3 组,测量以顶椎为中心,上下连续两个节段肋横突孔横截面积。目前人们认为,使用椎骨骺阻滞术,内固定范围至少需要包括顶椎上下两个节段才能获得对侧弯的控制[12-13,15-16]。所以,为验证这种手术方式的可行性,我们首先对于适合这种手术的青少年侧弯人群凸侧肋横突孔横截面进行测量,以证实经肋横突孔实施手术和放置内固定器的解剖基础和空间。本研究发现所有患者顶椎上方邻近节段的横突孔径明显大于顶椎下方横突孔径,这种节段相关性变化规律与在健康人群中发现的随胸椎节段下降而出现的横截面积减小相似。另外,不论顶椎位置高低,顶椎处肋横突孔径均最小,这可能由于肋骨和椎体通过两个关节稳固连接,可变范围较小,加之顶椎向侧方移位最大,挤压肋横突孔空间所导致。这一发现的临床意义在于,术前可以通过测量顶椎处肋横突孔横截面大小来估算可允许通过的内固定物。另一方面,对于侧弯组,每例患者所有节段肋横突孔径均值和其 Cobb 角呈明显负相关性,即患者 Cobb 角越小,肋横突孔径越大,越容易实施经肋横突孔入路手术。本研究中患者均为未成熟青少年,且的平均 Cobb 角在 45°,有明确进行非融合手术的指征[4-5,14,23]。实验中测得的顶椎节段肋横突孔横截面积均值为 28.37~37 mm^2,即最窄节段可通过的内固定物直径可在 6~6.86 mm,空间大小完全可以容纳目前骨骺阻滞术使用的内固定器械[13,16]。

通过对比正常人群和侧弯人群相应节段肋横突孔径大小,我们发现侧弯患者的肋横突孔空间反而比正

常人群大,我们推测,可能由于肋横突孔在左右对称的正常情况下表现为一个潜在的空间,肋椎关节和肋横突关节囊给予肋横突横截面一定程度的可变性。脊柱侧弯情况下,椎体旋转牵拉椎体两侧不对称变化,可能使肋横突孔一定程度上有所扩大,但是对于顶椎而言,由于同时伴有严重侧方向挤压,抵抗了旋转带来的横截面增加效应,所以顶椎部分横突孔面积反而小于正常人群相同节段。对于胸11和胸12,由于没有肋横突关节的解剖基础,限制肋横突孔径的条件不同于其他节段,椎体旋转或侧方移位带来的效应不同于其他节段,所以在侧弯人群和正常人群中没有表现出类似的明显差异性。

本研究的创新性体现在:首先,本研究描述了正常和脊柱侧弯人群中肋横突孔的影像学表现,测量了不同节段肋横突孔横截面积并阐释了影响肋横突孔横截面大小的相关因素,总结了正常人群和AIS患者肋横突孔的形态学变化规律;其次,提出并从一定程度验证了通过肋横突孔放置椎间内固定物,实施后路椎体骨骺阻滞术的可行性;最后,本研究使用三维CT扫描,在后处理中可根据椎体侧弯情况和测量要求调整斜切面位置,使用系统自带测量工具测量数据,并且计算多组测量数据的ICC值,保证了测量数据的可靠性和科学性。局限性主要有:由于前期研究肋横突孔的文献较少,目前并没有公认成熟的研究方法和关键数据,本研究主要从讨论手术方式的可能性出发,进行了影像学研究测量;其次,本研究只纳入了未成熟期的青少年脊柱侧弯患者影像学资料,样本量相对不够大。这些问题将在进一步的研究中进行讨论和解决。

参考文献:

[1] Weinstein S L, Dolan L A, Cheng J C, *et al*. Adolescent idiopathic scoliosis[J]. Lancet, 2008, 371(9623): 1527-1537.

[2] Akbarnia B A, Blakemore L C, Campbell R M Jr, *et al*. Approaches for the very young child with spinal deformity: what's new and what works[J]. Instr Course Lect, 2010, 59: 407-424.

[3] Akel I, Yazici M. Growth modulation in the management of growing spine deformities[J]. J Child Orthop, 2009, 3(1): 1-9.

[4] Aronsson D D, Stokes I A. Nonfusion treatment of adolescent idiopathic scoliosis by growth modulation and remodeling[J]. J Pediatr Orthop, 2011, 31(1 Suppl): S99-S106.

[5] Trobisch P D, Samdani A, Cahill P, *et al*. Vertebral body stapling as an alternative in the treatment of idiopathic scoliosis[J]. Oper Orthop Traumatol, 2011, 23(3): 227-231.

[6] Husted D S, Haims A H, Fairchild T A, *et al*. Morphometric comparison of the pedicle rib unit to pedicles in the thoracic spine[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(2): 139-146.

[7] Kim J H, Choi G M, Chang I B, *et al*. 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(3): 181-188.

[8] Lenke L G. The Lenke classification system of operative adolescent idiopathic scoliosis[J]. Neurosurg Clin N Am, 2007, 18(2): 199-206.

[9] 秦勇, 蔡金华, 王忠良. 俯卧位CT扫描及椎弓根参数测量改良提高青少年特发性脊柱侧弯置钉定位的精准性[J]. 第三军医大学学报, 2011, 33(11): 1191-1194.

[10] 殷翔, 许建中, 周强, 等. 椎弓根螺钉固定三维矫治特发性脊柱侧凸的疗效[J]. 第三军医大学学报, 2007, 29(14): 1440-1442.

[11] Olgun Z D, Ahmadiadli H, Alanay A, *et al*. Vertebral body growth during growing rod instrumentation: growth preservation or stimulation? [J]. J Pediatr Orthop, 2012, 32(2): 184-189.

[12] Lavelle W F, Samdani A F, Cahill P J, *et al*. Clinical outcomes of nitinol staples for preventing curve progression in idiopathic scoliosis [J]. J Pediatr Orthop, 2011, 31(1 Suppl): S107-S113.

[13] Crawford C H 3rd, Lenke L G. Growth modulation by means of anterior tethering resulting in progressive correction of juvenile idiopathic scoliosis: a case report[J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(1): 202-209.

[14] Lonstein J E. Scoliosis: surgical versus nonsurgical treatment[J]. Clin Orthop Relat Res, 2006, 443: 248-259.

[15] Newton P O, Upasani V V, Farnsworth C L, *et al*. Spinal growth modulation with use of a tether in an immature porcine model[J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(12): 2695-2706.

[16] Hunt K J, Braun J T, Christensen B A. The effect of two clinically relevant fusionless scoliosis implant strategies on the health of the intervertebral disc: analysis in an immature goat model [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(4): 371-377.

[17] Maruyama T, Takeshita K. Surgical treatment of scoliosis: a review of techniques currently applied[J]. Scoliosis, 2008, 3: 6.

[18] Davis M A. Posterior spinal fusion versus anterior/posterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis: a decision analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(21): 2318-2323.

[19] Geck M J, Rinella A, Hawthorne D, *et al*. Comparison of surgical treatment in Lenke 5C adolescent idiopathic scoliosis: anterior dual rod versus posterior pedicle fixation surgery: a comparison of two practices[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(18): 1942-1951.

[20] Gray H. Gray's Anatomy[M]. 13th ed. London: Churchill Livingstone, 1984: 651-655.

[21] Pait T G, Arnautovic K I, Tribble R M. Surgical Anatomy of the Thoracic Spine[M]//Dickman C A, Rosenthal D J, Perin N I. Thoracoscopic Spine Surgery [M]. 2nd ed. New York: Thieme Medical Publishers, 1999: 57-67.

[22] Panjabi M M, White A A 3rd. Basic biomechanics of the spine[J]. Neurosurgery, 1980, 7(1): 76-93.

[23] Guille J T, D'Andrea L P, Betz R R. Fusionless treatment of scoliosis[J]. Orthop Clin North Am, 2007, 38(4): 541-545, vii.

(收稿:2013-07-22;修回:2013-09-22)

(编辑 栾 嘉)