

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.22.008 [http://www.crter.org]

李筱贺,李志军,王海燕,汪剑威,季晓君. 中、下段胸椎侧前方植入物内固定时的椎体数字化测量[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(22):4042-4046.

中、下段胸椎侧前方植入物内固定时的椎体数字化测量**☆

李筱贺,李志军,王海燕,汪剑威,季晓君

内蒙古医科大学基础医学院解剖学教研室, 内蒙古自治区呼和浩特市 010059

文章亮点:

- 1 脊柱侧前路固定治疗的关键是如何确定椎体钉进钉点, 由于不同种族及不同脊柱节段等差异, 椎体形态变异较大, 其置钉位置的选择也不一致。
- 2 文章对 30 例成年人中下段胸椎(T₄-T₁₂)椎体相关解剖位置CT数据进行数字化测量, 将CT影像学数据导入强大的交互式医学影像控制软件系统, 软件会通过既定的程序将CT数据重组与分析, 分别从 3 个不同断面展示, 该软件测量工具自带的模块可以根据扫描数据自动消除影像学数据放大率, 所得数据能真实地反映活体椎体各径线变化情况, 为临床中下胸椎侧前方固定提供更有参考价值的数据。
- 3 所建立的模型只是正常椎骨参数的测量, 尚缺乏临床各类病理状态下的数据, 以后需要进一步进行样本资料的拓展。

关键词:

骨关节植入物; 脊柱植入物; 中下段胸椎; 侧前方固定; CT 资料; Mimics 软件; 三维模型; 数字解剖学; 省级基金

摘要

背景: 有关成人椎体钉进钉点的报道较多, 但都只有一般性的描述, 且由于不同种族、节段等差异, 椎体形态变异较大, 其置钉位置的选择也不一致。

目的: 通过 CT 扫描结合逆向工程软件建立下胸椎三维立体模型, 数字化测量成年人中下段胸椎侧前方椎骨相关解剖位置 CT 数据。

方法: 收集非脊柱疾患病例CT资料, 利用Mimics软件建立国人完整中下段胸椎(T₄-T₁₂)三维立体模型, 测量椎体正中冠状面左、右缘高度, 正中矢状面前、中、后缘高度, 椎体上终板矢状径及横径, 椎体下终板矢状径及横径。

结果与结论: 国人中下段胸椎椎体上、下终板矢状径及横径均随椎序的增加而增大。在中、下段胸椎椎体上缘置钉, 椎体螺钉的选择有一定的规律; 由于椎体的横径始终大于矢状径(3.0-4.0 mm), 建议在取材和修剪移植松质骨块时应将骨块修成横行的长方体(长大于宽 3.0-4.0 mm)。临床中下胸椎侧前方固定时应参考以上数据选择合适的纵行棒进行固定。

Digital measurement of the vertebral body during lateral anterior internal fixation of middle and lower thoracic vertebrae

Li Xiao-he, Li Zhi-jun, Wang Hai-yan, Wang Jian-wei, Ji Xiao-jun

Department of Anatomy, Basic Medical College of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Abstract

BACKGROUND: There are many reports on the entrance point of adult vertebral screw, but most of the reports are the general description. Because of the differences in races and segments, the shape of vertebral body is various, and the choice of screw placement position is also varied.

李筱贺☆,男,1980年生,内蒙古自治区人,汉族,2010年广州南方医科大学毕业,博士,副教授,主要从事脊柱临床应用解剖与生物力学研究。
798242742@qq.com

通讯作者:王海燕,硕士,副教授,内蒙古医科大学基础医学院解剖学教研室,内蒙古自治区呼和浩特市 010059
lixiaohel2@hotmail.com

中图分类号:R318
文献标识码:A
文章编号:2095-4344
(2013)22-04042-05

收稿日期:2012-11-02
修回日期:2013-03-18
(20120201007/G·C)

Li Xiao-he ☆, M.D., Associate professor, Department of Anatomy, Basic Medical College of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China 798242742@qq.com

Corresponding author: Wang Hai-yan, Master, Associate professor, Department of Anatomy, Basic Medical College of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia Autonomous Region, China lixiaohel2@hotmail.com

Supported by: Doctoral Starting Foundation of Inner Mongolia Medical University, No.BSJJ2011007*; Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region, No.2012MS1117*

Received: 2012-11-02
Accepted: 2013-03-18

OBJECTIVE: To construct the three-dimensional model of lower thoracic vertebra through CT scanning combined with reverse engineering software, and to digital measure the correlated anatomic CT data of the lateral anterior middle and lower thoracic vertebra of Chinese adults.

METHODS: The CT primary data of non-spinal disorders cases were collected and the data were used for the establishment of three-dimensional model of complete middle and lower thoracic vertebra (T_4 - T_{12}) of Chinese people with Mimics software. The coronal plane left and right edge height, midsagittal anterior, median and posterior edge height, sagittal diameter and transverse diameter of the upper vertebral endplate and the lower vertebral endplate were measured.

RESULTS AND CONCLUSION: The sagittal diameter and transverse diameter of the upper and lower vertebral endplates were gradually increased with the increasing vertebral sequence. The vertebral screw selection had certain regularity when placing in the anterior middle and lower thoracic vertebra; because the transverse diameter of vertebra bodies was always bigger than sagittal diameter for 3.0-4.0 mm, bone graft should be shaped into laterigrade cuboid (the length should be larger than width for 3.0-4.0 mm). The clinical lateral anterior approach internal fixation of middle and lower thoracic vertebra should refer to the data above.

Key Words: bone and joint implants; spinal implants; middle and lower thoracic vertebrae; lateral anterior internal fixation; CT data; Mimics software; three-dimensional model; digital anatomy; provincial grants-supported paper

Li XH, Li ZJ, Wang HY, Wang JW, Ji XJ. Digital measurement of the vertebral body during lateral anterior internal fixation of middle and lower thoracic vertebrae. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2013;17(22):4042-4046.

0 引言

脊柱侧前路固定近30年来被广泛应用于椎体骨折、肿瘤、结核等压迫脊髓的严重脊柱疾患的治疗,其关键是如何确定椎体钉进钉点。有关成人进钉点的报道较多^[1-3],但都只有一般性的描述,且由于不同种族、节段等差异,椎体形态变异较大,给临床工作带来不便,其置钉位置的选择也不一致。也有置钉不当导致的螺钉误入椎管或椎间隙,造成严重的临床后果的报道。因此,本文力求通过对30例成年人中下段胸椎(T_4 - T_{12})椎骨相关解剖位置CT数据进行数字化测量,为临床中下胸椎侧前方固定提供参考。

1 对象和方法

设计: 对比观察试验。

时间及地点: 于2011年4月至2012年1月在内蒙古医学院人体解剖教研室完成。

对象: 30例脊柱CT标本选自内蒙古医学院第一附属医院影像科, T_1 - L_1 , 患者年龄25-43岁,平均34岁,男女各15例。患者均无脊柱疾患和骨质疏松,身高和体质量符合国人正常分布区间标准^[2],对试验方案知情同意。

仪器: Philips Medical System Brilliance 16排CT机,扫描条件:电压120 kV,电流150 mA,层厚1.25 mm, 512×512矩阵。TOSHIBA笔记本电脑(Intel pentium® dual T2370, CPU, 2G内存, WindowsXP系统); Mimics 12.0软件(Materialise, Belgium)。

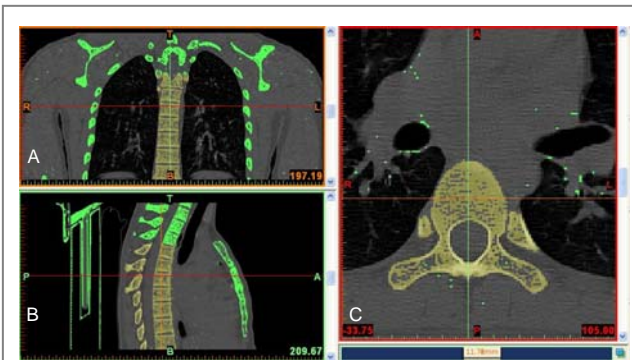
方法:

螺旋CT扫描: 采用Siemens 16层螺旋CT对已选定的研究对象进行螺旋扫描及断层图像处理。扫描时志愿者取仰卧位,尽量保持扫描断面与身体长轴垂直。扫描参数如下:扫描获取对脊柱下胸段标本(T_4 - L_1),层厚1.25 mm,球管电压200 Ma/120 kV,每层为512×512像素,每像素点为0.93 mm。

CT图像处理与下载: 在CT工作站中,通过调整图像灰度、增加对比度等对图像观察细节进行调整,得到清晰骨窗断层图像,将其保存DICOM格式,刻录为光盘保存。

CT图像处理与椎体三维模型的建立: 将DICOM格式文件导入图像三维重建软件Mimics 12.0

中, 利用软件自带的域值设定(Threshold)选择拟重建部分, 软件中以不同颜色现实各种拟重建结构, 即行成不同的蒙面(mask), 利用图像编辑(Edit)功能对图像边界进行“添加”或“擦除”操作, 使重建图像更准确。另外, 利用区域增长功能(Region growth)可对选定的结构进行图像分割, 实现不同结构的图像分割。最后采用软件的三维计算功能(3D calculation)对每个mask分别进行重建, 清楚直观地再现骨结构的三维形态, 见图1。重建后将 T_4 - T_{12} 的三维模型分别以stl格式保存于电脑中。



A: 冠状面; B: 矢状面; C: 水平面

注: 激活 Tools 工具栏, 选择 Distance measure tool, 在图像上点击 2 次来确定要测量的距离。

图 1 通过 Mimics 不同断面进行图像配准确定椎体相关参数测量点

Figure 1 Image registration through Mimics software for determining the vertebral parameter measurement point

椎体相关参数的测量: 通过Mimics 3种不同断面(水平面、冠状面、矢状面)进行图像配准, 确定测量点, 激活Tools工具栏, 选择Distance measure tool在图像上点击2次来确定要测量的距离, 见图1。

主要观察指标:

中、下胸椎椎体上终板矢状径及横径: 上终板矢状径: 上终板矢状径, 椎体正中矢状面与上终板前后缘交点间距离; 上终板横径: 椎体正中冠状面与上终板左右缘交点间距离。

中、下胸椎椎体下终板矢状径及横径: 下终板矢状径: 下终板矢状径, 椎体正中矢状面与下终板前后缘交点间距离; 下终板横径: 椎体正中冠状面与下终板左右缘交点间距离。

统计学分析: 由第二作者采用SPSS 13.0软件进行数据统计, 椎体正中冠状面左右缘高度间比较采用配对资料 t 检验; 椎体正中矢状面前、中、后缘高度间比较

采用重复测量方差分析, 各测量结果与椎序变化相关分析采用双变量Spearman等级相关分析。

2 结果

2.1 国人中、下胸椎椎体上、下终板矢状径 上终板矢状径从 $T_4(21.99\pm 2.20)$ mm增加到 $T_8(28.05\pm 2.00)$ mm, T_{12} 最大(31.83 ± 2.17) mm; 下终板矢状径从 $T_4(22.97\pm 2.20)$ mm增加到 $T_8(28.89\pm 2.77)$ mm, T_{12} 最大(32.24 ± 3.25) mm。上、下终板矢状径间, 除 T_4 , T_6 , T_8 , T_9 , T_{11} 差异有显著性意义外(下终板矢状径大于上终板矢状径), 其余差异均无显著性意义, 见表1。

表 1 国人中、下胸椎椎体上、下终板矢状径及比较

Table 1 Comparison of sagittal diameter of the upper and lower vertebral endplates of the middle and lower thoracic vertebrae of Chinese people ($\bar{x}\pm s$, $n=30$, mm)

椎序	矢状径		差值	t	P
	上终板	下终板			
T_4	21.99 ± 2.20	22.97 ± 2.13	-0.97 ± 1.99	-2.677	0.012
T_5	23.80 ± 2.10	24.04 ± 1.82	-0.24 ± 1.73	-0.774	0.445
T_6	25.05 ± 2.35	26.57 ± 2.00	-1.52 ± 1.99	-4.184	0.000
T_7	27.71 ± 3.36	28.31 ± 2.45	-0.60 ± 2.66	-1.238	0.226
T_8	28.05 ± 2.00	28.89 ± 2.77	-0.83 ± 2.00	-2.281	0.030
T_9	28.79 ± 2.40	29.68 ± 3.03	-0.89 ± 1.68	-2.904	0.007
T_{10}	29.97 ± 2.79	30.16 ± 2.59	-0.19 ± 2.51	-0.410	0.685
T_{11}	31.40 ± 1.94	29.76 ± 2.68	1.64 ± 2.62	3.425	0.002
T_{12}	31.83 ± 2.17	32.24 ± 3.25	-0.42 ± 3.14	-0.729	0.472

注: 椎体上、下终板矢状径均随椎序的增加而增大, 提示上、下终板矢状径与椎序呈显著正相关关系($P < 0.001$)。上、下终板矢状径比较, T_4 , T_6 , T_8 , T_9 , T_{11} 差异有显著性意义($P < 0.05$)。

上终板矢状径与椎序的Spearman相关系数为0.814, $P < 0.001$; 下终板矢状径与椎序的Spearman相关系数为0.711, $P < 0.001$, 提示上、下终板矢状径与椎序呈显著正相关关系。

2.2 国人中、下胸椎椎体上、下终板横径 上终板横径从 $T_4(24.88\pm 2.64)$ mm增加到 $T_8(31.72\pm 2.57)$ mm, T_{12} 最大(38.70 ± 3.16) mm。下终板横径从 $T_4(27.15\pm 2.54)$ mm增加到 $T_8(32.51\pm 3.10)$ mm, T_{12} 最大(42.96 ± 5.60) mm。上、下终板横径间比较, 除 T_7 外差异均有显著性意义(总是下终板横径大于上终板横径), 见表2。上终板横径与椎序的Spearman相关系数为0.875, $P < 0.001$; 下终板横径与椎序的Spearman相关系数为0.824, $P < 0.001$, 提示上下终板横径与椎序呈显著正相关关系。

表2 国人中、下胸椎椎体上、下终板横径及比较

Table 2 Comparison of transverse diameter of the upper and lower vertebral endplates of the middle and lower thoracic vertebrae of Chinese people ($\bar{x}\pm s$, $n=30$, mm)

椎序	横径		差值	t	P
	上终板	下终板			
T ₄	24.88±2.64	27.15±2.54	-2.27±3.23	-3.845	0.001
T ₅	26.35±2.67	28.32±2.50	-1.97±2.84	-3.806	0.001
T ₆	28.18±2.54	29.76±2.34	-1.58±2.35	-3.684	0.001
T ₇	29.90±2.39	30.67±2.91	-0.77±2.36	-1.795	0.083
T ₈	31.72±2.57	32.51±3.10	-0.80±2.02	-2.163	0.039
T ₉	32.10±3.06	34.82±3.07	-2.72±3.27	-4.561	0.000
T ₁₀	34.37±2.27	37.59±3.24	-3.23±2.23	-7.908	0.000
T ₁₁	36.71±2.30	39.03±3.63	-2.32±3.47	-3.670	0.001
T ₁₂	38.70±3.16	42.96±5.60	-4.27±3.98	-5.875	0.000

注: 椎体上、下终板横径均随椎序的增加而增大, 提示上下终板横径与椎序呈显著正相关关系($P<0.001$)。下终板横径间比较, 除T₇外差异均有显著性意义, 总是下终板横径大于上终板横径($P<0.05$)。

3 讨论

自20世纪60年代末开始, 随着脊柱矫形内植物在临床广泛应用和脊柱生物力学研究的进展, 脊柱骨折、结核及肿瘤等疾患合并截瘫的治疗有了很大进步。从全世界情况来看, 已从传统的保守治疗过渡到了积极的手术治疗, 其疗效也明显优于传统的保守治疗。

中下胸椎压缩性骨折、结核及肿瘤较为常见, 常压迫后部脊髓、神经等重要结构而导致截瘫, 侧前路固定能在直视下清除损坏节段, 植骨后坚强的固定, 方能彻底解除病患, 恢复受损节段应力。而外固定最主要的原则是有效的复位和坚强的固定, 由于损伤或肿瘤等疾患已经完全破坏了原有节段椎体的外形, 如何确定植骨块(钛网)的高度而达到“相对的解剖复位”, 如何评价椎体压缩性骨折的术前分级和术后疗效成为医务工作者急需解决的问题。

3.1 以往文献的回顾与本文方法的改进 椎体径线的影像学测量, 是椎体压缩性骨折术前分级和术后疗效评估的重要指标, 在脊柱外科临床和生物力学研究方面有重要的意义, 尽管文献报道较多, 但各有其不足。

李志君等^[4]对124套北方地区干燥骨标本椎体进行相关测量, 获得C₃-L₅椎体各径线的测量数据, 并明确了各径线具有性别和地区差异, 但干燥骨标本由于脱

水、风化、松质骨萎缩外形破损, 其测量值与活体值间必定会存在误差, 因而不能仅仅依据干燥骨测量数据指导临床。

有学者对124例正常胸腰椎椎体前、后缘及中央高度进行X射线片测量, 以借此作为国人正常值参照指导临床研究, 由于X射线测量值与活体值间存在放大率的差异, 所以其测量结果也会有一定的误差。

本文通过将CT影像学数据导入强大的交互式医学影像控制软件系统, 软件会通过既定的程序将CT数据重组与分析, 分别从3个不同断面展示, 该软件测量工具自带的模块可以根据扫描数据自动消除影像学数据放大率, 所得数据能真实的反映活体椎体各径线变化情况, 对临床工作更有参考价值。

3.2 中下胸椎椎体矢状径及横径的测量对侧前方植骨内固定的意义 中下胸椎前路植骨固定手术多在脊柱侧方操作, 侧前方固定器械的椎体钉横行贯穿椎体, 而在确定椎体钉长度后, 其置钉位置和方向又会是影响固定效果的关键因素。根据有些学者的操作描述, 椎体钉的理想置钉位置应该是: 螺钉不进入椎管, 平行于相应椎体上下软骨终板、脊柱的冠状面, 钉尖恰好穿透对侧骨皮质, 所以椎体横径的大小决定椎体钉的长度。如果椎体钉过长, 可损伤对侧组织器官, 椎体钉太短, 则达不到对侧的骨皮质, 影响矫形力量和内固定效果^[5-6]。

本文上下终板横径测量结果提示, 在椎体上缘置钉, 其中T₄-T₅选择25mm长的螺钉, T₆-T₉选择30 mm长的螺钉, T₁₀-T₁₂则选择35 mm长的螺钉较为适宜。而椎体下缘置钉T₄-T₈选择30 mm长的螺钉, T₉-T₁₀选择35 mm长的螺钉, 而T₁₁-T₁₂则选择40 mm长的螺钉较为适宜。

同一椎体上、下终板间矢状径、横径比较发现, 上、下终板间矢状径比较T₅, T₇, T₁₀, T₁₂差异无显著性意义, 即上终板矢状径与下终板矢状径相当, 其余节段总是下终板矢状径大于上终板; 而同一椎体上、下终板横径间比较, 除T₇外, 上下终板间横径差异均有显著性意义, 且总是下终板横径大于上终板。以上结论对于人工椎体的制造和改进有一定的参考价值。在中下胸椎, 由于椎体的横径较矢状径大3.0-4.0 mm, 建议在取材和修剪移植松质骨块时应使将骨块修成横行的长方体(长大

于宽3.0-4.0 mm)这样以最大程度恢复损伤椎体的前后和左右的生理载荷。

当然,许多学者在研究干燥骨时就发现,椎体各径线数值会随着种族、身高、性别、年龄的不同而变化^[7-22],所以理想椎体钉置钉参数的制定需要在对患者患病节段CT扫描后,通过Mimics等强大的图像后处理功能进行测量和术前模拟制定个性化得手术方案,才能提高手术固定效果。

致谢:向南方医科大学基础医学院临床解剖学研究所徐达传教授给予本文的帮助表示感谢。

基金资助:内蒙古医学院博士启动基金资助项目(BSJJ2011007);内蒙古自然科学基金资助项目(2012MS1117)。

作者贡献:李筱贺负责课题设计与实施,李志军负责影像材料收集,王海燕负责统计学处理,汪建伟负责课题标本收集,季晓君负责课题指导。

利益冲突:课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理要求:参与试验的患者及其家属自愿参加,在充分了解本试验方案的前提下签署“知情同意书”;干预方案获医院伦理委员会批准。

作者声明:文章为原创作品,数据准确,内容不涉及泄密,无一稿两投,无抄袭,无内容剽窃,无作者署名争议,无与他人课题以及专利技术的争执,内容真实,文责自负。

4 参考文献

- [1] Herring JA, Bradford DS. The Spine. American: Mc-Graw-Hill Inc, 2001: 353-354.
- [2] Alexander J. Anterior instrumentation in the management of thoracolumbar burst fractures. Clin Orthop Res. 1997;33(5): 89-100.
- [3] Jin DD, Chen JT, Zhang H, et al. Zhonghua Guke Zazhi. 1999; 19(4):201-204.
金大地, 陈建庭, 张浩, 等. 胸腰椎前路Z形钢板内固定系统应用的初步报告[J]. 中华骨科杂志, 1999, 19(4):201-204.
- [4] Li ZJ, Li Y, Sh CD, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2008;12(28):5531-5540.
李志君, 李岩, 史常德, 等. 中国北方地区成人椎体形态的测量[J]. 中国组织工程与临床康复, 2008, 12(28):5531-5540.
- [5] Dai LY, Jiang LS, Jang SD. Anterior-only stabilization using plating with bone structural autograft versus titanium mesh cages for two- or three-column thoracolumbar burst fractures: a prospective randomized study. Spine. 2009;34(14):429-435.
- [6] D'Aliberti G, Talamonti G, Villa F, et al. Anterior approach to thoracic and lumbar spine lesions: results in 145 consecutive cases. J Neurosurg Spine. 2008:466-482.
- [7] Kan P, Schmidt MH. Minimally invasive thoracoscopic approach for anterior decompression and stabilization of metastatic spine disease. Neurosurg Focus. 2008;25(2): 233-245.
- [8] Milbrandt TA, Sucato DJ. The position of the aorta relative to the spine in patients with left thoracic scoliosis: a comparison with normal patients. Spine. 2007;32(12):E348-E353.
- [9] Mahar AT, Brown DS, Oka RS, et al. Biomechanics of cantilever "plow" during anterior thoracic scoliosis correction. Spine J. 2006;6(5):572-576.
- [10] Bullmann V, Fallenberg EM, Meier N, et al. The position of the aorta relative to the spine before and after anterior instrumentation in right thoracic scoliosis. Spine. 2006;31(15): 1706-1713.
- [11] Beisse R. Endoscopic surgery on the thoracolumbar junction of the spine. Eur Spine J. 2006;15(6):687-704.
- [12] Bullmann V, Fallenberg EM, Meier N, et al. Anterior dual rod instrumentation in idiopathic thoracic scoliosis: a computed tomography analysis of screw placement relative to the aorta and the spinal canal. Spine. 2005;30(18):2078-2083.
- [13] Kuklo TR, Lehman RA Jr, Lenke LG. Structures at risk following anterior instrumented spinal fusion for thoracic adolescent idiopathic scoliosis. J Spinal Disord Tech. 2005;18 Suppl:S58-64.
- [14] Zhang H, Sucato DJ. Regional Differences in anatomical landmarks for placing anterior instrumentation of the thoracic spine in both normal patients and patients with adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 2006;31(2):183-189.
- [15] Zhang H, Sucato DJ, Welch RD, et al. Anterior vertebral body screw position placed thoracoscopically: A function of anatomy and surgeon experience in a porcine model. Spine. 2004 ;29(7):815-822.
- [16] Lonner BS, Auerbach JD, Estreicher MB, et al. Pulmonary function changes after various anterior approaches in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. J Spinal Disord Tech. 2009;22(8):551-558.
- [17] Newton PO, Upasani VV, Lhamby J, et al. Surgical treatment of main thoracic scoliosis with thoracoscopic anterior instrumentation. Surgical technique. J Bone Joint Surg Am. 2009;91(Suppl 2):233-248.
- [18] Newton PO. Thoracoscopic anterior instrumentation for idiopathic scoliosis. Spine J. 2009;9(7):595-598.
- [19] Garcia P, Pizanis A, Massmann A, et al. Bilateral pneumothoraces, pneumomediastinum, pneumoperitoneum, pneumoretroperitoneum, and subcutaneous emphysema after thoracoscopic anterior fracture stabilization. Spine. 2009; 34(10):E371-375.
- [20] Zhang H, Sucato DJ, Pierce WA, et al. Novel dual-rod screw for thoracoscopic anterior instrumentation: biomechanical evaluation compared with single-rod and double-screw/ double-rod anterior constructs. Spine. 2009;34(5):E183-188.
- [21] Lonner BS, Auerbach JD, Levin R, et al. Thoracoscopic anterior instrumented fusion for adolescent idiopathic scoliosis with emphasis on the sagittal plane. Spine J. 2009; 9(7):523-529.
- [22] Qiu Y, Wang WJ, Wang B, et al. Accuracy of thoracic vertebral screw insertion in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison between thoracoscopic and mini-open thoracotomy approaches. Spine. 2008;33(24):2637-2642.