

临床研究

DOI:10.3969/j.issn.0253-3626.2012.11.015

“球尖”与“徒手”技术在胸椎椎弓根钉置入的比较研究

李开庭, 欧云生, 权正学, 罗小辑, 唐 可, 蒋电明, 安 洪

(重庆医科大学附属第一医院骨科, 重庆 400016)

【摘 要】目的:探讨采用“球尖”技术置入胸椎椎弓根螺钉(Thoracic pedicle screw, TPS)的准确性及安全性。方法:2010 年 1 月至 2011 年 1 月,对 79 例胸椎病变患者实施 TPS 治疗;其中采用“球尖”技术治疗 37 例(I 组),采用“徒手”技术治疗 42 例(II 组)。记录螺钉置入操作中和术后并发症,术中 3D-C 臂断层扫描或术后行 CT 断层扫描检查判断螺钉穿透骨皮质的数目和距离,以评价“球尖”技术的准确性和安全性。结果:两组共置入 TPS 478 枚,其中 I 组有 10 枚(4.45%)发生穿孔,II 组有 67 枚(26.48%)发生穿孔($P<0.001$);I 组 8 枚穿破皮质的距离 <2 mm,2 枚穿破皮质 2~4 mm;II 组的 48 枚穿破椎弓根皮质 <2 mm,18 枚穿破皮质 2~4 mm,1 枚穿破皮质 >4 mm。II 组 1 例患者术后出现单节段性背部感觉麻木,予以营养神经治疗 1 周后恢复,余患者未见血管、神经和内脏损伤等并发症。结论:“球尖”技术在 TPS 置入中精确性及安全性较“徒手”技术高。

【关键词】球尖技术;徒手技术;椎弓根螺钉;精准性;安全性

【中国图书分类法分类号】R687.1

【文献标志码】A

【收稿日期】2012-05-04

Comparative research of ‘ball tip’ technique and ‘freehand’ technique for thoracic pedicle screw placement

LI Kaiting, OU Yunsheng, QUAN Zhengxue, LUO Xiaoji, TANG Ke, JIANG Dianming, AN Hong

(Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital, Chongqing Medical University)

【Abstract】Objective: To evaluate the efficacy and safety of the ‘ball tip’ technique in placing thoracic pedicle screw (TPS) as compared with the conventional ‘freehand’ technique. Methods: Totally 79 patients scheduled for TPS placement from January 2010 to January 2011 were divided into group I (37 patients, with ball tip technique) and group II (42 patients, with conventional free hand technique) randomly. All patients in both groups were scanned by intraoperative 3D-C arm or postoperative CT to measure the accuracy and safety of TPS placement and the pedicle perfor-

作者介绍:李开庭(1988-),男,硕士,

研究方向:脊柱外科基础与临床

通信作者:欧云生,男,副教授,Email:ouyunsheng2001@yahoo.com.cn.

nique) randomly. All patients in both groups were scanned by intraoperative 3D-C arm or postoperative CT to measure the accuracy and safety of TPS placement and the pedicle perfor-

Jin H, Liang X C, Zhang X C. Study of echocardiogram coronary artery of normal children[J]. Chinese Journal of Pediatrics, 1988, 26(5): 257-259.

[7] Kato H, Sugimura T, Akagi T, et al. Long term consequences of kawasaki disease: a 10 to 20 year follow up study of 594 patients[J]. Circulation, 1996, 94(6): 1379-1385.

[8] Shinohara M, Sone K, Tomomasa T. Morphologic and functional assessment of coronary aneurysm after kawasaki disease by repeated dipyridanole-loading coronary angiography[J]. Am J Cardiol, 1998, 82(3): 387-389.

[9] Kim D S. Kawasaki disease[J]. Yonsei Med J, 2006, 47(6): 759-772.

[10] Song D, Yeo Y, Ha K, et al. Risk factors for kawasaki disease-associated coronary abnormalities differ depending on age[J]. Eur J Pediatr, 2009, 168(11): 1315-1321.

[11] 奚 立, 桂永浩, 盛 锋, 等. Harada 评分预测川崎病冠状动脉病变的临床意义[J]. 临床儿科杂志, 2007, 25(4): 309-311.

Xi L, Gui Y H, Sheng F, et al. Use of Harada score in the prediction of coronary arterial lesions in kawasaki disease[J]. Journal of Clinical Pediatrics, 2007, 25(4): 309-311.

[12] Nakamura Y, Yashiro M, Uehara R, et al. Use of laboratory data to identify risk factors of giant coronary aneurysms due to Kawasaki disease[J]. Pediatr Int, 2004, 46(1): 33-38.

[13] 陈晶晶, 黄 敏, 谢利剑, 等. 川崎病冠状动脉损害高危因素的研究[J]. 临床儿科杂志, 2009, 27(5): 442-445.

Chen J J, Huang M, Xie L J, et al. Study of the high risks of the coronary artery lesion in kawasaki disease[J]. Journal of Clinical Pediatrics, 2009, 27(5): 442-445.

[14] Lee K Y, Lee H S, Hong J H, et al. High-dose intravenous immunoglobulin down regulates the activated levels of inflammatory indices except erythrocyte sedimentation rate in acute stage of kawasaki disease[J]. J Trop Pediatr, 2005, 51(2): 98-101.

[15] Chen J J, Liu Y L, Liu W, et al. A meta analysis of the biomarkers associated with coronary artery lesions secondary to kawasaki disease in chinese children[J]. Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci, 2011, 31(5): 705-711.

[16] Sudo D, Monobe Y, Yashiro M, et al. Case-control study of giant coronary aneurysms due to kawasaki disease: the 19th nationwide survey[J]. Pediatrics International, 2010, 52(5): 790-794.

(责任编辑:关蕴良)

ration. **Results:** Totally 478 screws were placed and perforation was occurred in 10 screws (4.45%) in group I and 67 screws (26.48%) in group II ($P < 0.001$). In group I and group II, the respective numbers of TPS with pedicle perforation ≤ 2 mm were 8 and 48 ($P < 0.001$), with pedicle perforation between 2–4 mm were 2 and 18 ($P = 0.001$) and with pedicle perforation > 4 mm were 0 and 1. One case in group II suffered segmental back pain after surgery but recovered by using neurotrophyl drugs at one week postoperatively. No vascular, internal organ, neurological injuries caused by TPS placement was occurred in the others patients in both groups. **Conclusion:** The ‘ball tip’ technique shows high accuracy and safety in TPS placement as compared with the conventional ‘freehand’ technique.

【Key words】ball tip technique; freehand technique; thoracic pedicle screw; accuracy; safety

椎弓根螺钉内固定系统在恢复病变脊柱稳定性上有明显优势。近些年来其在胸椎病变的应用也已较为普遍,但胸椎的椎弓根直径较小,个体间、各椎体间变异较大,且椎弓根周围解剖结构复杂,增加了胸椎椎弓根螺钉(Thoracic pedicle screw, TPS)在置入过程中的风险,螺钉的错置可能会引起灾难性的后果^[1-4]。因此,为了提高椎弓根螺钉植入的精准性及安全性,很多方法被应用,如:各种导航技术、漏斗技术等。相关文献表明这些技术提高了椎弓根螺钉植入的成功率及安全性,但或增加了病人及术者的放射线照射量,或延长了手术时间,或费用较高^[5-9]。目前临床上应用最普遍的技术仍为“徒手”技术,也有“球尖”技术的报道。本研究对照性分析“球尖”和“徒手”椎弓根螺钉置入技术在 TPS 置入中准确性及安全性,现报告如下。

1 材料与方法

1.1 临床资料

2010 年 1 月至 2011 年 1 月间,我科收治胸椎病变患者 79 例,男 45 例,女 34 例,年龄 12~75 岁;按照随机原则分为 2 组。其中采用“球尖”技术组(I 组)37 例,男 21 例,女 16 例;年龄 12~75 岁,平均 48.92 岁;病例组成:脊柱侧凸畸形 3 例,胸椎骨折 14 例,其它(胸椎后凸、肿瘤、结核、退行性变等)共计 20 例。采用“徒手”技术组(II 组)42 例,男 24 例,女 18 例;年龄 12~74 岁,平均 50.05 岁;病例组成:脊柱侧凸畸形 3 例,胸椎骨折 16 例,其他(胸椎后凸、肿瘤、结核、退行性变等)共计 23 例。两组患者性别、年龄、病例组成等一般资料比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性(表 1)。

1.2 球尖装置

球尖装置是由一个直径为 2 mm 的球形尖端和可以弹性弯曲的连接杆组成,其作用是制备螺钉导引道(图 1)。

1.3 手术方法

手术均由同一组脊柱外科医师完成。全身麻醉下,患者取俯卧位,胸部及两髂嵴垫软枕,行传统手术方式显露椎板、关节突、横突等。

表 1 79 例胸椎病变患者术前临床资料

Tab.1 Clinical data of 79 patients with thoracic spinal lesions before operation

指标	I 组 (37 例)	II 组 (42 例)	统计结果
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	48.92 $\pm$ 15.79	50.05 $\pm$ 15.65	$t = -0.32, P = 0.751$
性别 (男 : 女)	21 : 16	24 : 18	$\chi^2 = 0.001, P = 0.972$
患者组成			$\chi^2 = 0.026, P = 0.987$
侧凸患者[n (%)]	3 (8.1%)	3 (7.1%)	
骨折患者[n (%)]	14 (37.8%)	16 (38.1%)	
其他患者[n (%)]	20 (54.1%)	23 (54.8%)	

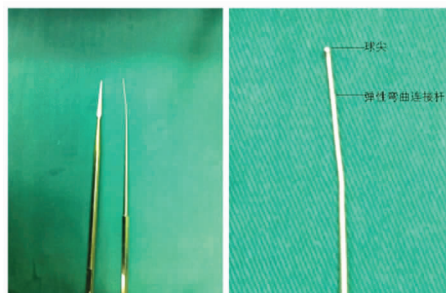


图 1 球尖装置

Fig.1 Ball tip equipment

1.3.1 球尖技术 (1)进钉点定位:本研究 TPS 的进钉点基本选择:上胸椎椎弓根的进钉点位于横突上 1/3 平分线与上关节突基底部外缘的交界处,中胸椎椎弓根的进钉点位于横突上缘与上关节突基底部外缘的交界处,下胸椎椎弓根的进钉点位于横突中点平分线与上关节突基底部外缘的交界处^[10]; (2)开口:用一直径 4 mm 的开口器在定位的进钉点开口约 3 mm 深,稍扩大开口,使露出其下的松质骨; (3)导引道制备:球尖装置的球形尖端先插入开口中,缓慢插入椎弓根松质骨中,插入过程中不需施加过多的压力,仅凭借手指的力量将球形尖端缓慢向前推进,方向基本同传统的徒手手术,当球形尖端顶在椎弓根皮质骨或椎弓根峡部时,就可触及较松质骨稍强的抵抗,此时,可适度增加向前插入的力度,弹性连接杆就会向松质骨弯曲,使得球形尖端在松质骨中贴着骨皮质继续前进,当球形尖端通过了椎弓根峡部时,阻力会明显减轻,继续前进约 20~40 mm^[11],直至再次感受到轻微抵抗,说明此时可能已到达椎体前壁,缓慢撤出球尖装

置(图 2、图 3)。如果有球尖装置的突然脱失,则说明可能穿破了椎弓根或椎体;(4)钉道制备:用椎弓根探针沿着导引道扩大钉道;(5)丝攻攻丝:用小于螺钉直径 0.5 mm 的丝攻扩大钉道,螺钉直径的选择是基于术前对患者的影像学资料分析及各资料数据的分析结果,但对于骨质疏松的患者不予攻丝。(6)球探探测:所制备的椎弓根通道都用球探来探测椎弓根的四壁和椎体前壁、侧壁是否穿破及测量钉道深度。(7)螺钉置入:最后根据测量,选择比测量的最大深度小于 5 mm 的螺钉置入。



图 2 球尖装置工作模式图

Fig.2 Illustration depicting the mechanism of ball tip technique

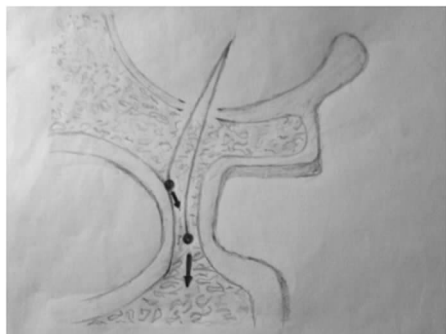


图 3 球尖装置弹性连接杆弯曲模式图

Fig.3 Illustration depicting the bending of the probe shaft when the ball tip contacting the cortical wall of the pedicle

1.3.2 “徒手”技术 徒手椎弓根钉技术在步骤(3)中,直接用椎弓根探针左右旋转制备钉道,其余步骤相同。在导引道和(或)钉道制备过程中感觉到突然脱失感的相应椎体,予以 3D-C 形臂检查,全部螺钉置入后亦常规予以 3D-C 形臂检查,对于有椎弓根或椎体明显穿孔的患者予以重新置入椎弓根螺钉。

1.4 术后治疗及功能康复

术后,应用 5~7 d 抗生素治疗,换药保持切口清洁干燥,切口引流量<50 mm 后拔出引流管,拔出引流后所有患者均摄全脊柱正侧位 X 线片;术后 1 周行腰背肌功能锻炼,佩戴支具下床活动,切口愈合拆线后准予出院,术后定期复查 X 线片,根据植骨融合情况拆除支具。

1.5 评价方法

记录所有患者术中和术后出现的血管、神经、内脏损伤等并发症,术中 3D-C 臂扫描或术后 2 mm 薄层 CT 扫描,评价螺钉在椎弓根内的位置,记录所有穿透椎弓根和椎体的螺

钉数目,并测量穿透距离。根据椎弓根螺钉与穿出皮质间的关系分为 4 级:A,椎弓根钉完全在椎弓根内;B,突破皮质<2 mm;C,突破皮质 2~4 mm;D,突破皮质>4 mm;仅 A 级视为无穿孔,余均视为穿孔。术后的 CT 扫描影像结果均经过过滤处理以减少金属置入物对射线吸收的影响,影像学检查的结果分别由 1 位高年资脊柱医师和 1 位经验丰富的影像学医师进行评估。

1.6 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计软件包进行统计学分析,计量资料用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,行两独立样本 *t* 检验,对计数资料行 χ^2 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

79 例患者手术均顺利完成。术后 1 例患者是电话随访,未能到门诊随访,余 78 例患者均获门诊随访,随访时间 6~24 个月,平均 15.2 个月。术中共置入胸椎椎弓根螺钉 478 枚,其中 I 组 225 枚螺钉中 A 级 215 枚(95.55%),B 级 8 枚(3.56%),C 级 2 枚(0.89%);II 组 253 枚螺钉中 A 级 186 枚(73.52%),B 级 48 枚(18.97%),C 级 18 枚(7.11%),D 级 1 枚(0.4%)(表 2)。

表 2 79 例胸椎病变患者的 TPS 研究结果

Tab.2 Results of TPS in 79 patients with thoracic spinal lesions

	I	II	合计
例数(<i>n</i>)	37	42	79
置入螺钉数(枚)	225	253	478
A 级[枚(%)] [*]	215 (95.55)	186 (73.52)	401
B 级[枚(%)] [#]	8 (3.56)	48 (18.97)	56
C 级[枚(%)] ^{&}	2 (0.89)	18 (7.11)	20
D 级[枚(%)]	0 (0.00)	1 (0.44)	1
共计置入率(%)	4.45	26.48	

注:*, $\chi^2=42.799, P<0.001$;#, $\chi^2=27.363, P<0.001$;&, $\chi^2=11.514, P=0.001$

I 组中有 13 枚(5.78%)螺钉在植入过程中受阻或反复发生穿破皮质,遂改用“徒手”技术置入或放弃相应椎弓根螺钉置入(T_{3-1} 枚、 T_{4-7} 枚、 T_{5-2} 枚、 T_{6-2} 枚、 T_{7-1} 枚)。术后分析患者术前的影像学资料发现:出现弃置的椎弓根的最狭窄横径平均为(3.8 ± 0.9) mm 且均为 T_{3-7} 椎弓根,其中 T_4 椎弓根弃置最常见,与相关文献报道相似^[12,13]。

I 组中侧凸患者平均每枚螺钉的置入时间 $T_{Ia}=(5.16 \pm 1.29)$ min,骨折患者平均每枚螺钉的置入时间 $T_{Ib}=(4.04 \pm 0.63)$ min,其他患者平均每枚螺钉的置入时间 $T_{Ic}=(5.07 \pm 1.12)$ min;II 组中侧凸患者平均每枚螺钉的置入时间 $T_{IIa}=(6.00 \pm 1.27)$ min,骨折患者平均每枚螺钉的置入时间 $T_{IIb}=(3.98 \pm 0.66)$ min,其他患者平均每枚螺钉的置入时间 $T_{IIc}=(5.84 \pm 1.15)$ min; $T_{Ia}<T_{IIa}(P<0.01)$, $T_{Ic}<T_{IIc}(P<0.001)$ (表 3)。

表 3 单枚螺钉置入时间

Tab.3 Time for single pedicle screw placement

	I 组(置入钉数)	II 组(置入钉数)	统计量	
			t 值	P 值
侧凸患者 (min)*	5.16 ± 1.29 (34 枚)	6.00 ± 1.27 (35 枚)	-2.725	0.008
骨折患者 (min)	4.04 ± 0.63 (57 枚)	3.98 ± 0.66 (69 枚)	0.453	0.651
其他患者 (min)*	5.07 ± 1.12 (134 枚)	5.84 ± 1.15 (149 枚)	-5.702	0.000

注:*,两方法相比较 $P < 0.01$

术中出血量因与置入的螺钉数目及发生穿孔的次数均相关,故未予以统计。II 组有 1 例患者在钉道制备过程中出现了脱落感,术后患者出现相应节段的背部感觉麻木,予以营养神经药物治疗 1 周后症状逐渐消失;1 枚螺钉穿出皮质 > 4 mm,但未发现明显症状,故未予以特殊处理。其余患者在术后均未出现因 TPS 置入所致的神经、血管及内脏器官的并发症(与术前的症状及体征检查结果相比较)。

3 讨论

3.1 TPS 的置入方法比较

尽管 TPS 的置入方法有很多,但目前为止, Kim 等^[11]介绍的徒手椎弓根螺钉置入技术仍是临床上最为普遍的手术方式,但徒手置入技术需要手术者有丰富的经验且椎弓根进钉点变异也较大,资料显示,徒手置入技术有较高的螺钉误置率(3.0%~54.7%)^[11,14,15],但 Parker 等^[16]的研究结果显示穿孔率仅为 2.5%。根据 Tian 等^[17]的一统计研究表明:传统的“徒手”技术的误置率约为 23%,有较高的螺钉穿孔率,与本研究 II 组的穿孔率(26.48%)接近。CT 导航技术可以明显提高置钉的误置率约为(11.94%),二维成像导航技术的误置率约为(12.49%),三维成像导航技术的误置率约为(5.03%)^[17],刘显宏等^[18]利用“漏斗技术”的误置率(7.69%)。本研究中, I 组采用“球尖”技术的误置率仅为 4.45%,与“徒手”技术相比有明显的差别($P < 0.001$),也明显低于文献报道传统“徒手”技术的 23%。未发现神经、血管、脏器损伤,其在椎弓根螺钉置入中的精确性及安全性均较“徒手”技术高。

3.2 “球尖”技术的有效性分析

“球尖”技术与传统的“徒手”技术差别不大,其主要是利用了球尖装置:由球形尖端和可弹性弯曲的连接杆组成;其工作原理即为:球形结构在触及椎弓根骨皮质时产生的压强较传统“徒手”技术钉道制备时所遇到的压强小,故穿破骨皮质的几率较传统“徒手”技术小;可弯曲的连接杆可以在球形尖

端遇到阻力的时候发生弯曲,从而改变力的传导方向,使球形尖端向阻力更小(松质骨)的方向行进,所以当球尖接触到椎弓根的皮质骨时,连接杆发生相应的屈曲,球尖沿着皮质骨在松质骨中继续前进,通过椎弓根后再进入椎体^[19]。

传统“徒手”技术对进钉点选择及置钉方向要求非常高且学习曲线较长;而“球尖”技术中弹性连接杆的弯曲作用使得球形尖端能够选择性通过对其阻力更小的松质骨,直接减少了因进钉点及置钉方向偏差引起的穿孔,降低了对进钉点选择及置钉方向把握的要求;文献[19]报道称:在脊柱外科医师指导下,无置钉经验者的置钉穿孔率也仅为 14%。因此,对于年轻医师及基层医院医师来说,“球尖”技术是比较安全、实用的。

3.3 “球尖”技术的缺陷

本研究使用的球形尖端的直径为 2 mm,对于椎弓根皮质内径大于 2 mm 的可以顺利通过,但对于椎弓根皮质骨的内径小于球尖的直径,特别是中上胸椎椎弓根峡部,球尖不能很好通过,此时可能需改为“徒手”技术置钉或选择性椎弓根的弃置。在术中 I 组出现了椎弓根螺钉的弃置现象,且均分布于 T₃₋₇ 之间,尤以 T₄ 最多,考虑是因为此节段的椎弓根横径较狭窄,文献[4]显示国人的 T₄ 椎弓根的最窄内径为(1.9 ± 0.4) mm,而使用的球形尖端的直径为 2.0 mm,故不易通过椎弓根峡部,甚至发生穿破皮质。

3.4 单枚螺钉置入时间比较结果分析

“球尖”技术相对于“徒手”技术仅多了“导引道的制备”,余步骤相同,但在临床应用中未见明显延长手术时间,反而在侧凸或其他患者组中,“球尖”技术可以缩短螺钉置入时间。螺钉置入时间与手术步骤及发生穿孔后的重新置入相关,如若发生穿孔的次数越多,相应的手术时间便延长,而“球尖”技术的优势就是一次性置入的成功率更高。而在单纯的骨折患者中,椎体、椎弓根的形态变化不大,所以

无论使用“球尖”技术还是“徒手”技术,发生穿孔的次数均较少,故无明显差异;对于脊柱侧凸患者,胸椎旋转及压缩使得椎弓根的形态及结构发生改变,增加了进钉点及角度的准确判断难度,而这些均会增加穿孔的风险^[20];对于脊柱的退变性疾病,其椎骨的解剖标记发生改变,使得在进钉点定位不准确,亦增加了穿孔的发生率。“徒手”技术在实施过程中易受到椎体解剖变异及定位点的变化影响,使得Ⅱ组发生穿孔的次数明显多于Ⅰ组,故其螺钉的平均置入时间延长。

综上所述,采用“球尖”技术置入椎弓根螺钉较“徒手”技术提高了准确性及安全性,且在复杂螺钉植入手术中,明显减少了螺钉置入时间。此技术操作简单、置入精准,对进钉点的选择和置钉方向要求相对较低;因此,对于年轻医师及基层医院医师来说,成熟的“球尖”技术在 TPS 置入中可以发挥重要作用,有效提高螺钉置入的精准性和安全性。

参 考 文 献

- [1] Heller J G, Shuster J K, Hutton W C. Pedicle and transverse process screws of the upper thoracic spine: biomechanical comparison of loads to failure[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1999, 24(7): 654-658.
- [2] Panjabi M M, O'Holleran J D, Crisco J J 3rd, et al. Complexity of the thoracic spine pedicle anatomy[J]. Euro Spine J, 1997, 6(1): 19-24.
- [3] Ebraheim N A, Jabaly G, Xu R, et al. Anatomic relations of the thoracic pedicle to the adjacent neural structures[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1997, 22(14): 1553-1556, 1557.
- [4] 史亚民, 柴伟, 侯树勋, 等. 胸椎椎弓根形态测量研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(3): 191-193.
- [5] Shi Y M, Chai W, Hou S X, et al. A study on the thoracic pedicles[J]. Chin J Spine and Cord, 2002, 12(3): 191-193.
- [6] Tao M, Xu Y Q, Cheng Y B, et al. A novel computer-assisted drill guide template for thoracic pedicle screw placement: a cadaveric study[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2012, 132(1): 65-72.
- [7] Lee G Y, Massicotte E M, Rampersaud Y R. Clinical accuracy of cervicothoracic pedicle screw placement: a comparison of the 'open' laminoforaminotomy and computer-assisted techniques[J]. J Spinal Disord Tech, 2007, 20(1): 25-32.
- [8] Han W, Gao Z L, Wang J C, et al. Pedicle screw placement in the thoracic spine: a comparison study of computer-assisted navigation and conventional techniques[J]. Spine, 2010, 33(8): 559.
- [9] Laine T, Schlenzka D, Makitalo K, et al. Improved accuracy of pedicle screw insertion with computer-assisted surgery: a prospective clinical trial of 30 patients[J]. Spine, 1997, 22(11): 1254-1258.
- [10] Sugimoto Y, Ito Y, Tomioka M, et al. Clinical accuracy of three-dimensional fluoroscopy (IsoC-3D)-assisted upper thoracic pedicle screw insertion[J]. Acta Med Okayama, 2010, 64(3): 209-212.
- [11] 刘好源, 龚灏, 简国坚, 等. “漏斗技术”在胸腰椎椎弓根钉内固定中的应用[J]. 创伤外科杂志, 2010, 12(5): 408-410.
- [12] Liu H Y, Gong H, Jian G J, et al. Clinical application of pedicle screw implantation in thoracic and lumbar spine using 'funnel technique' [J]. J Trauma Surg, 2010, 12(5): 408-410.
- [13] Kim Y J, Lenke L G, Bridwell K H, et al. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe[J]? Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(3): 333-342.
- [14] Kothe R, O'Holleran J D, Liu W, et al. Internal architecture of the thoracic pedicle: an anatomic study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1996, 21(3): 264-270.
- [15] 石锐, 刘浩, 袁元. 不同节段椎弓根内部结构的测量和比较[J]. 中国临床解剖学杂志, 2005, 23(5): 458-462.
- [16] Shi R, Liu H, Yuan Y, et al. The measurement and comparison of pedicle internal structure in different segments[J]. Chin J Clinical Anatomy, 2005, 23(5): 458-462.
- [17] Amiot L P, Lang K, Putzier M, et al. Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(5): 606-614.
- [18] Xu R, Ebraheim N A, Ou Y, et al. Anatomic considerations of pedicle screw placement in the thoracic spine. Roy-Camille technique versus open-lamina technique[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1998, 23(9): 1065-1068.
- [19] Parker S L, McGirt M J, Farber S H, et al. Accuracy of free-hand pedicle screws in the thoracic and lumbar spine: analysis of 6816 consecutive screws[J]. Neurosurgery, 2011, 68(1): 170-178.
- [20] Tian N F, Huang Q S, Zhou P, et al. Pedicle screw insertion accuracy with different assisted methods: a systematic review and meta-analysis of comparative studies[J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 846-859.
- [21] 刘显宏, 欧云生, 权正学, 等. “漏斗技术”置入胸椎椎弓根螺钉在青少年特发性脊柱侧弯矫形术中的应用[J]. 重庆医科大学学报, 2011, 36(10): 1264-1267.
- [22] Liu X H, Ou Y S, Quan Z X, et al. Clinical application of thoracic pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis using 'funnel technique' [J]. J Chongqing Medical University, 2011, 36(10): 1264-1267.
- [23] Watanabe K, Matsuyama M, Tsuji T, et al. Ball tip technique for thoracic pedicle screw placement in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. J Neurosurg Spine, 2010, 13(2): 246-252.
- [24] Hicks J M, Singla A, Shen F H, et al. Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(11): e465-e470.

(责任编辑: 关蕴良)