

电磁导航系统结合 Stagnara 投照法在特发性脊柱侧凸手术中的应用

霍喜卫, 李 锋, 熊 伟, 牛朋彦, 张 帆, 卢伟伟

(华中科技大学同济医学院附属同济医院骨科 430030 武汉市)

【摘要】目的:探讨在特发性脊柱侧凸三维矫形术中应用电磁导航系统结合 Stagnara 投照法采集 C 型臂 X 线透视图像对椎弓根螺钉置入准确性与安全性的影响。**方法:**2006 年 4 月~2008 年 12 月在电磁导航辅助下行特发性脊柱侧凸三维矫形术 47 例(导航组),共置入椎弓根螺钉 492 枚;2004 年 6 月~2006 年 4 月在 C 型臂 X 线机透视下行特发性脊柱侧凸三维矫形术 39 例(透视组),共置入椎弓根螺钉 454 枚,两组均采用 Stagnara 投照法采集 C 型臂 X 线透视图像。术后行 CT 薄层平扫加椎弓根矢状面二维重建,通过测量椎弓根皮质外缘与穿出的螺钉边缘的垂直距离对椎弓根螺钉位置进行评价,并分为 A、B、C、D 级,以 A 级和 B 级合并计算优良率。**结果:**导航组的手术时间为 165~420min,平均 233.7min,透视组为 175~365min,平均 236.1min,两组比较无显著性差异($P>0.05$);导航组术中出血量为 450~1650ml,平均 712.2ml,透视组为 550~1900ml,平均 794.9ml,两组比较有显著性差异($P<0.05$)。导航组术后椎弓根螺钉位置 A 级 476 枚, B 级 9 枚, C 级 5 枚, D 级 2 枚, 优良率为 98.5%;透视组 A 级 411 枚, B 级 14 枚, C 级 17 枚, D 级 12 枚, 优良率为 93.6%, 两组置钉优良率比较有显著性差异($P<0.05$)。导航组无神经、血管并发症发生,透视组 2 例在术中发生螺钉损伤硬膜囊,1 例术后发现螺钉刺激神经根。**结论:**在特发性脊柱侧凸三维矫形术中应用电磁导航系统结合 Stagnara 投照法采集 C 型臂 X 线透视图像可降低椎弓根螺钉的误置率,减少术中出血量,提高手术安全性。

【关键词】特发性脊柱侧凸;椎弓根螺钉;计算机辅助;电磁导航;Stagnara 投照法

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2009.08.04

中图分类号:R682.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2009)-08-0569-06

Use of electromagnetic navigation system combined with Stagnara fluoroscopy in idiopathic scoliosis surgery/HUO Xiwei, LI Feng, XIONG Wei, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2009, 19 (8): 569~574

【Abstract】 Objective: To explore the accuracy and safety of pedicle screw placement under electromagnetic navigation system combined with Stagnara fluoroscopy in idiopathic scoliosis surgery. **Method:** From April 2006 to December 2008, 47 patients with idiopathic scoliosis had a total of 492 pedicle screws placement by the aid of electromagnetic navigation (navigation group); and from June 2004 to April 2006, 39 cases of idiopathic scoliosis had a total of 454 pedicle screws placement under fluoroscopic as control (fluoroscopy group). The C-arm fluoroscopic images of two groups were both obtained by Stagnara view. The pedicles of all patients were subjected to postoperative CT scan and two-dimensional reconstruction to assess the screw orientation by measuring the perpendicular distance between the pedicle cortical wall and the screw surface. All the pedicle screws' placement were classified as grade A, B, C and D according to the positions of pedicle screws and grade A and B were added to get the excellent and good rate. **Result:** In navigation group, the average surgical time was 233.7min (range, 165~420min), while 236.1min (range, 175~365min) in fluoroscopy group, there was no significant difference between two groups ($P>0.05$). The mean blood loss volume was 712.2ml (range, 450~1650ml) in navigation group, while 794.9ml (range, 550~1900ml) in fluoroscopy group, which had statistical significances between two groups ($P<0.05$). According the classification of pedicle screw placement, in navigaton

第一作者简介:男(1979-),在读硕士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(027)83663412 E-mail:xifeng411@sohu.com

通讯作者:李锋 E-mail:lifeng6311@yahoo.com.cn

group, 476 screws were graded as A, 9 as B, 5 as C and 2 as D, with the excellent and good rate of 98.5%; while in fluoroscopy group, 411 screws were graded as A, 14 as B, 17 as C and 12 as grade D, with the excellent and good rate of 93.6%, which had significant difference between two groups ($P < 0.05$). No neurovascular complications occurred in navigation group. However, in fluoroscopy group, 2 cases had dural sac perforation and 1 patient had neurological deficit due to misplaced screws. **Conclusion:** In idiopathic scoliosis surgery, electromagnetic navigation system combined with Stagnara fluoroscopy can decrease the screw misplacement rate and the blood loss volume as well as ensuring safety of the surgery.

[Key words] Idiopathic scoliosis; Pedicle screw; Computer-assisted; Electromagnetic navigation; Stagnara view

[Author's address] Department of Orthopaedics, Tongji Hospital of Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430030, China

随着脊柱侧凸三维矫形理论的应用与发展,胸腰椎椎弓根螺钉在矫形手术中得到广泛应用,并极大地提高了矫形效果^[1-3]。但由于青少年特发性脊柱侧凸表现为脊柱的三维畸形以及顶椎区凸侧和凹侧胸椎弓根形态变异^[4,5],使得传统的 C 型臂 X 线机透视下胸椎解剖标志显示不清,大大增加了置入椎弓根螺钉的难度和风险,其相关并发症已在文献中屡有报告^[6,7]。计算机辅助导航系统 (computer-assisted navigation system, CANS) 的出现为上述难题提供了解决之道,临床报道显示 CANS 大大提高了椎弓根螺钉置入的安全性和精确性^[8,9]。在以往报道中,基于二维图像的导航系统应用于脊柱侧凸时,其图像采集多采用标准的前后位和侧位图像,由于脊柱畸形,其图像中的解剖标志往往显示不清。我科在特发性脊柱侧凸三维矫形术中应用电磁导航结合 Stagnara 投照法采集 C 型臂 X 线透视图像指导术中螺钉置入,取得了良好效果,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2006 年 4 月~2008 年 12 月在电磁导航辅助下行特发性脊柱侧凸三维矫形术 47 例(导航组),

共置入椎弓根螺钉 492 枚。2004 年 6 月~2006 年 4 月在 C 型臂透视下行特发性脊柱侧凸三维矫形术 39 例(透视组),共置入椎弓根螺钉 454 枚。两组患者的年龄、性别、Cobb 角、Lenke 分型^[10]和各节段椎弓根螺钉置入情况分别见表 1、2。两组患者的性别比例、Lenke 分型和各节段椎弓根螺钉置入数量采用 χ^2 检验,年龄和 Cobb 角采用两样本 t 检验,组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者均为初次手术,均采用后路全椎弓根螺钉三维矫形手术,且均由同一组手术人员完成。

1.2 椎弓根螺钉置入方法

导航组:所用电磁导航系统为 Medical Systems Insta Trak 3500 Plus 系统。患者取俯卧位,摆放平稳后,常规显露术野,在各置钉椎邻近的脊椎棘突上固定参考架 (dynamic reference array, DRA),并确保置钉椎位于透视图像的内 2/3 部分,在各节段采集图像时,采用 Stagnara 投照法,根据术前 CT 螺旋扫描与三维重建图像测得的各脊椎的横断面旋转角度和矢状面的前后凸来移动和旋转 C 型臂 X 线机 (OEC Fluorotrak 9800 Plus C, GE Medical Systems) (图 1),直至能相对清晰显示对称的椎弓根影和相互平行的椎体终板线。获得对称的椎弓根影和平行终板线时该节段的侧

表 1 两组患者的年龄、性别、Cobb 角、Lenke 分型

	<i>n</i>	年龄(岁)	性别(例)		Cobb角(°)	Lenke分型(例)					
			男	女		1型	2型	3型	4型	5型	6型
导航组	47	14.7(12~21)	14	33	68.4(42~118)	18	9	7	1	8	4
透视组	39	14.4(11~23)	14	25	72.7(46~107)	16	5	9	0	7	2

表 2 两组各节段椎弓根螺钉置入数量

(枚)

	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	L1	L2	L3	L4	L5	S1	总计
导航组	4	35	39	49	41	45	38	44	43	40	37	31	19	16	9	2	492
透视组	4	32	33	42	36	38	35	39	35	42	34	30	21	17	10	6	454

位片即可据此做 90° 旋转获取。图像获取后该导航系统可自动进行注册。在所有节段采集满意图像并保存后,即可验证各专用器械,在导航引导下进行胸椎及腰椎椎弓根螺钉置入术(图 2)。

透视组:亦通过上述透视方法根据解剖标志采用常规置钉法行椎弓根螺钉置入术。

1.3 椎弓根螺钉置入准确性的评价方法

术后行 CT 薄层平扫加椎弓根矢状面二维重建,测量椎弓根皮质外缘与穿出的螺钉边缘的垂

直距离,按螺钉偏差情况将螺钉位置分为 4 级^[11]:完全位于椎弓根内为 A 级,穿出椎弓根皮质但不超过 2mm 为 B 级,穿出椎弓根皮质 2~4mm 为 C 级,穿出椎弓根皮质大于 4mm 为 D 级。以 A 级和 B 级合并计算置钉优良率。

1.4 统计学方法

使用 SPSS 10.0 for Windows 软件包,采用 χ^2 检验分析两组病例各节段椎弓根螺钉置入准确性有无显著性差异,采用两样本 t 检验分析两组病

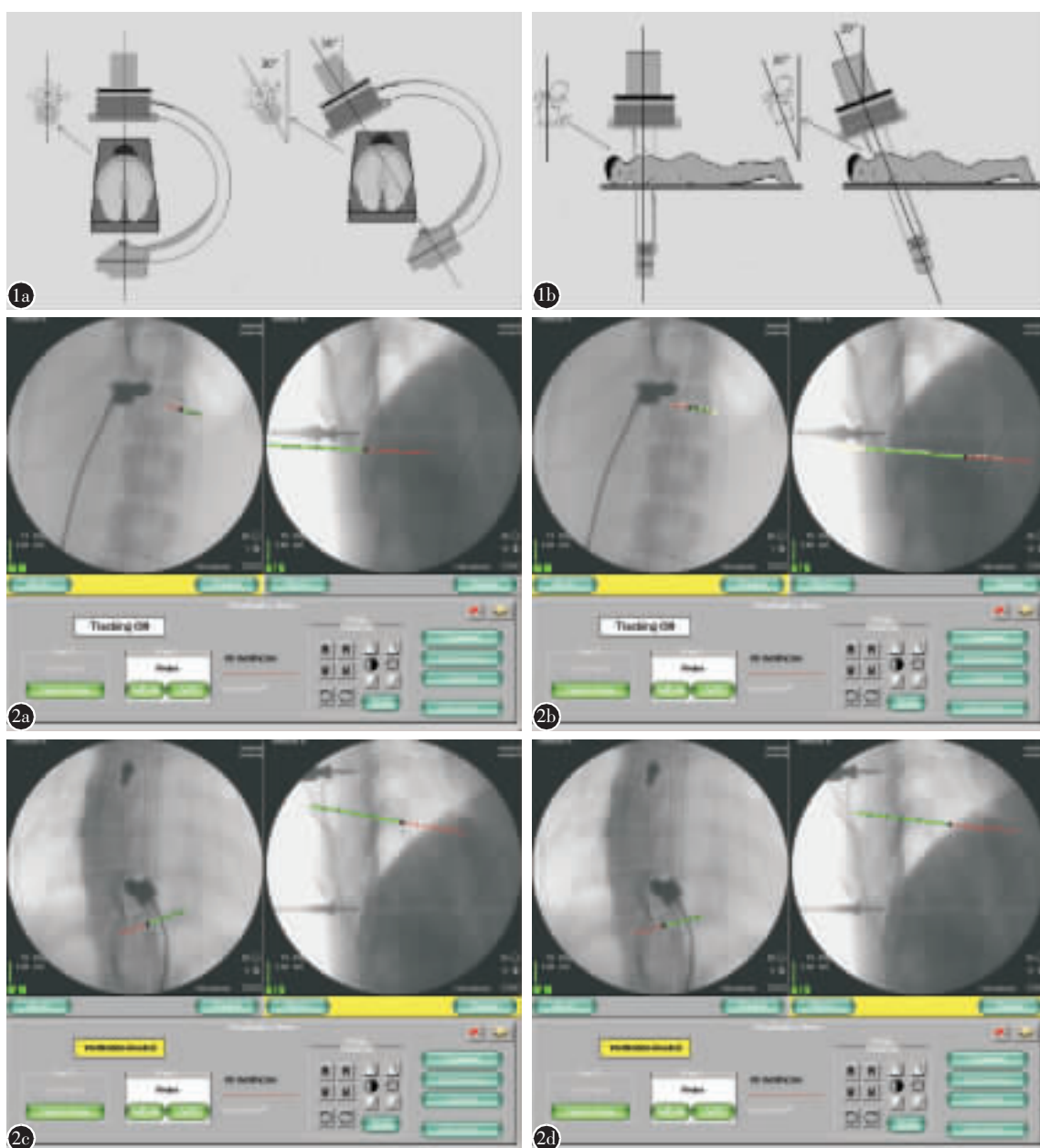


图 1 Stagnara 投照法示意图 a 常规采用的投照方法(左)和改进后采用的横断面旋转 C 型臂 X 线机方法(右) b 常规采用的投照方法(左)和改进后采用的矢状面旋转 C 型臂方法(右) 图 2 导航引导下置入椎弓根螺钉过程 a 图像显示开路锥在打开钉道前的方向和位置;绿棒为虚拟的开路锥位置,红色轨迹为前进方向 b 开路锥已进入理想的方向和位置 c 在另一个椎体上行同样操作,开路锥按预定方向进入椎体 d 开路锥在预定方向继续前进

例手术时间和术中出血量有无显著性差异。 $P < 0.05$ 为有显著性差异。

2 结果

两组患者手术时间和术中出血量见表 3, 两组手术时间无显著性差异($P > 0.05$), 术中出血量有显著性差异($P < 0.05$)。两组椎弓根螺钉置入位置情况见表 4, 导航组和透视组的置钉优良率分别为 98.5% 和 93.6%, 组间比较有显著性差异($P < 0.05$), 电磁导航系统辅助下椎弓根螺钉置入效果(图 3)优于透视下置钉。导航组的不良置钉(4 例 7 枚)中, 偏向椎弓根外侧 5 枚, 下方和内侧各 1

枚, 其中 6 枚发生在顶椎上下 2 个节段内的凹侧椎弓根, 且相应椎体均严重旋转(Nash-Moe 法 III 度以上); 所有病例均未发生神经血管并发症。透视组的 9 例患者 29 枚不良置钉中, 椎弓根外侧穿破 17 枚, 上方 7 枚, 内侧 4 枚, 下方 1 枚, 无椎体前方穿破; 2 例内侧穿破者在术中发现自钉道流出脑脊液, 改变方向重新置钉, 术后未发现有脑脊液漏, 亦未发现有后遗症; 1 例术后出现严重单侧肋间神经痛, 呈束带状, 从背部向腹部放射, 术后第 7 天取出穿破椎弓根下壁的螺钉后缓解; 4 例患者出现胸腔积液并发热, 对症处理后痊愈。

表 3 两组患者的手术时间和术中出血量

	n	手术时间(min)	术中出血量(ml)
导航组	47	233.7(165~420) ^①	712.2(450~1650) ^②
透视组	39	236.1(175~365)	794.9(550~1900)

注: ①与透视组比较 $P > 0.05$, ②与透视组比较 $P < 0.05$

表 4 两组患者椎弓根螺钉置入位置情况 (枚)

	A 级	B 级	C 级	D 级	优良率
导航组	476	9	5	2	98.5% ^①
透视组	411	14	17	12	93.6%

注: ①与透视组比较 $P < 0.05$

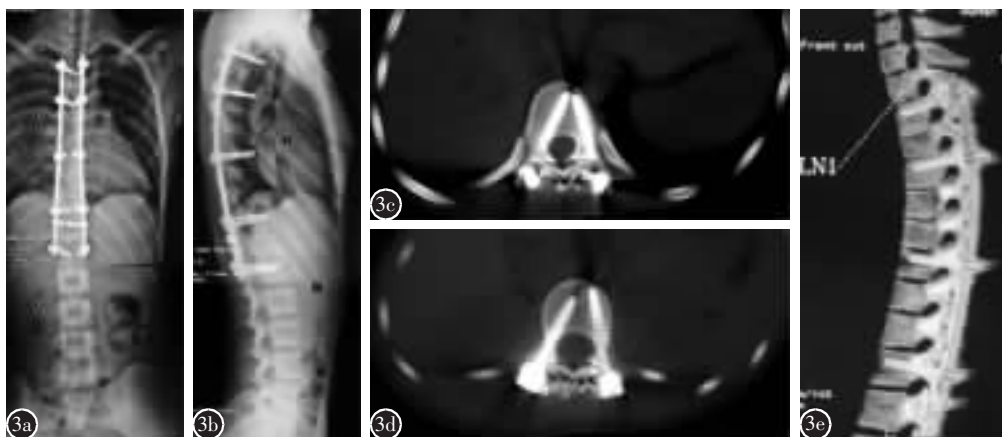


图 3 导航辅助下脊柱侧凸矫形术后 a、b 术后正侧位 X 线片示各椎弓根螺钉位置良好 c、d、e 术后 CT 平扫及重建示各椎弓根螺钉在横断面和矢状面上位置良好

3 讨论

3.1 导航技术在脊柱侧凸手术中的应用

实时导航将手术过程中的透视图像与导航软件相结合, 从而提供一个实时的、多层面的图像, 可同时将手术器械的位置在术中影像上实时更新显示, 辅助医师预定手术方案, 了解器械与解剖结构相对关系, 确定置入物位置、角度、长度以及直径, 并进行实时监测, 提高了手术的安全性和成功率。

自 2006 年 4 月至 2008 年 12 月, 我科共有 47 例特发性脊柱侧凸患者在电磁导航引导下置入 492 枚椎弓根螺钉, 术后行 CT 检查发现共 4

例(8.5%)患者 7 枚(1.4%)螺钉位置不良, 其中 6 枚发生在顶椎上下 2 个节段内的凹侧椎弓根, 且相应椎体均严重旋转(Nash-Moe 法 III 度以上), 说明虽然应用 Stagnara 投照法一定程度上改善了椎弓根的显示, 但该处椎弓根仍然偏小且有发育畸形, 其椎体往往有楔形变, 故而导致置钉困难。而且由于胸廓结构的遮挡, 其侧位透视仍然不能满意显示, 增加了置钉的盲目性。该组病例均未造成神经、血管及内脏损伤等并发症。透视组(39 例患者, 454 枚螺钉)中共有 9 例(23.0%)患者 29 枚(6.4%)螺钉位置不良, 并出现 3 例(2 例术中脑脊液漏, 1 例神经根刺激)与置钉有关的并发症。由

此可见, 导航辅助手术明显提高了脊柱侧凸手术中椎弓根螺钉置入的准确性和安全性。当然, 由于两组病例不是同期开展, 而椎弓根螺钉置入技术存在“学习曲线”, 所以不能忽略术者经验与技术的提高与手术效果的关系。另外, 透视组中的 4 例患者出现胸腔积液并发热, 考虑可能与胸廓成形术时切除肋骨而刺激和损伤胸膜有关。

两组病例的手术时间比较无统计学差异, 提示电磁导航系统结合 Stagnara 投照法并不能减少手术时间, 而先前的文献报告多数显示导航技术可以减少手术时间, 分析可能原因为, 我科采用的 Stagnara 投照法采集图像需要根据多个置钉椎体的旋转角度和前后凸来移动和旋转 C 型臂 X 线机, 同时由于应用导航时需要在多个节段的棘突上固定参考架 (dynamic reference array, DRA) 并进行各个专用器械的验证与校准, 从而增加了手术步骤, 延长了手术时间。两组病例的术中出血量比较提示导航技术有助于减少出血量, 分析认为, 手术耗时的延长集中在截除肋骨和后路松解之前, 其出血速度相对缓慢, 而截骨后出血速度较快时的手术时间较透视组缩短, 因此总出血量减少。而且, 使用导航后不需要充分剥离软组织和咬除部分骨质来暴露解剖标志和探测进针点, 在一定程度上也减少了出血量。

3.2 二维导航系统结合 Stagnara 投照法的应用

我科所用电磁导航系统属于二维图像导航系统, 又称为实时导航系统 (virtual fluoroscopy system, VF), 它是在摆好体位并安装好参考装置后采集图像, 从而避免了术前与术中体位变化导致的配准错误。但其图像质量依赖于 C 型臂 X 线机提供的二维图像, 在特发性脊柱侧凸患者, 其脊柱的旋转和前后凸畸形使得 C 型臂提供的二维图像常不能清晰显示脊椎的解剖标志。Stagnara 投照法是在荧光屏透视下旋转脊柱, 直至侧凸顶椎成真正正位时摄片, 以显示脊柱侧凸的真正度数 and 椎体的真实形态。我们在 Stagnara 投照法原方法轴位旋转的基础上, 在不同节段依其后凸顶点上下不同分别做矢状面旋转, 从而能更清晰地显示各不同节段的对称椎弓根影及平行的终板线, 也就是“真正”的后前位片, 有效弥补了该导航系统在脊柱畸形手术中不能清晰显示解剖标志的缺陷, 为该手术中椎弓根螺钉的安全和精确置入提供了充分保证。在应用该方法进行透视前, 应有

充分和完善的术前准备, 最好在术前对手术节段进行螺旋 CT 扫描及三维重建, 确定置钉椎的位置, 并对置钉椎的轴位旋转和矢状面旋转角度以及该脊椎椎弓根的横径和矢状径进行测量, 从而为手术时调整 C 型臂和椎弓根螺钉选择提供必要的参考, 并节约手术时间。对于常见的表现为主胸弯右侧凸的特发性脊柱侧凸患者, 在采集前后位图像时通常首先需要逆时针旋转 C 型臂 (从尾侧向头侧看), 以双侧椎弓根影基本对称为标准。在做矢状面上旋转时, 在后凸顶点近侧通常需逆时针, 而远侧需顺时针旋转, 直至椎体的上下终板线基本平行。一旦得到相对对称的椎弓根影和平行终板线, 该节段的侧位片即可据此做 90° 旋转获得, 非常容易。

3.3 电磁导航系统的使用经验与局限性

需要特别提出的是, 在我科使用导航后所出现的置钉错误病例 (4 例 7 枚) 中, 有 3 例患者 (5 枚螺钉) 发生在前 16 例手术, 说明该技术在应用早期存在“学习曲线”, 需要一定的经验积累, 才能真正发挥该技术的优势。术者在使用导航一段时间后发现, 因有虚拟轨迹显示拟置螺钉在椎体内的位置, 开路锥只需攻至椎体与椎弓根交界即可直接置钉, 这在理论上可能有助于提高螺钉在椎体部分的把持力和减少椎前血管的损伤几率。电磁导航定位的典型精度为 2mm, 较为精确, 但电磁定位对环境的要求较高, 要求使用环境中尽量没有金属制品, 手术中监护仪、麻醉机等设备也会对其产生干扰。我们在使用中还发现, 导航设备的各种数据传输线在摆放时如果有过多缠绕, 也会产生明显的干扰, 所以在手术时要注意理顺各条数据线。在手术中实时跟踪过程中可能出现的最主要误差来源是组织结构移位导致的导航系统影像与真实位置的误差, 即影像漂移。其原因包括导航或手术设备松动、移位, 特别是参考装置容易在固定棘突上松动; 术中组织如骨块、肿瘤切除后周围组织移位变形, 以及椎弓根螺钉置入时使用开口器、开路锥等造成患者体位变动, 均可出现影像漂移。随着操作器械与参考装置距离的增加和使用时间的延长, 导航系统的精度会逐渐下降^[2], 手术中应该加以注意, 及时进行校正。再加上导航系统本身存在固有的局限性以及可能的操作失误, 所以, 虽然导航技术相对于传统手术具有明显优势, 但如果手术操作过于依赖和相信它, 可能会带来

严重后果。导航技术只是辅助手术,而不能替代术者的经验和判断。在应用导航进行手术时,应同时看到其操作的复杂性和存在的盲点。使用者不能因为片面追求导航本身而忽视了导航可能带来的新问题。

4 参考文献

1. Kim YJ, Lenke LG, Cho SK, et al. Comparative analysis of pedicle screw versus hook instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2004, 29(18): 2040-2048.
2. Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis[J]. Spine, 2004, 29(3): 343-349.
3. Kuklo TR, Lenke LG, O'Brien MF, et al. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in curve more than 90 degrees[J]. Spine, 2005, 30(2): 222-226.
4. Parent S, Labelle H, Skalli W, et al. Thoracic pedicle morphometry in vertebrae from scoliotic spines[J]. Spine, 2004, 29(3): 239-248.
5. O'Brien MF, Lenke LG, Mardjetko S, et al. Pedicle morphology in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: is pedicle fixation an anatomically viable technique [J]? Spine, 2000, 25 (18): 2285-2293.
6. Suk SI, Kim WJ, Lee SM, et al. Thoracic pedicle screw fixation

in spinal deformities: are they really safe [J]? Spine, 2001, 26 (18): 2049-2057.

7. Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, et al. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment [J]. Spine, 2007, 32 (15): 1655-1661.
8. Austin MS, Vaccaro AR, Brislin B, et al. Image-guided spine surgery: a cadaver study comparing conventional open laminoforaminotomy and two image-guided techniques for pedicle screw placement in posterolateral fusion and nonfusion models [J]. Spine, 2002, 27(22): 2503-2508.
9. Choi WW, Green BA, Levi AD. Computer-assisted fluoroscopic targeting system for pedicle screw insertion [J]. Neurosurgery, 2000, 47(4): 872-878.
10. Lenke LG, Betz RR, Harms J, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2001, 83(8): 1169-1181.
11. Rampersaud YR, Pik JH, Salonen D, et al. Clinical accuracy of fluoroscopic computer-assisted pedicle screw fixation: a CT analysis [J]. Spine, 2005, 30(7): E183-190.
12. Quiñones-Hinojosa A, Robert Kolen E, Jun P, et al. Accuracy over space and time of computer-assisted fluoroscopic navigation in the lumbar spine in vivo [J]. J Spinal Disord Tech, 2006, 19(2): 109-113.

(收稿日期: 2009-05-11 修回日期: 2009-06-22)

(英文编审 蒋 欣)

(本文编辑 李伟霞)

消息

第六届全国创伤外科学术研讨会会议通知

为了促进创伤外科学术交流与发展,展示创伤外科近年来的新进展、新成果,拟定于2010年4月在广西桂林召开全国创伤外科学术研讨会暨第一届全国创伤急救与多发伤学术会议,会议期间将邀请创伤外科界知名专家教授到会作专题报告。现将征集论文的有关事项通知如下。

征文内容: (1)创伤外科基础研究; (2)创伤外科新理论、新经验、新方法、新技术; (3)创伤各临床专科(神经、颌面、眼、耳鼻咽喉、骨、胸、皮肤、普外、急救等)诊断与救治; (4)枪弹伤、冲击伤、烧伤等特殊创伤诊治; (5)多发伤、创伤合并症(SIRS、MODS等)诊治; (6)创伤愈合与修复; (7)创伤护理; (8)国内外创伤治疗进展等。

征文要求: 请寄未曾公开发表论文摘要1份(附软盘或发电子邮件)。请作者将姓名、单位、邮编、联系电话书写清楚。作者自留底稿。会议将从应征论文中选出部分优秀论文刊登于《创伤外科杂志》(中国科技论文统计源核心期刊); 出席会议者将授予中华医学会继续教育学分。截稿日期: 2010年2月28日。

来稿请寄: E-mail: (1)jts200808@sina.com; (2)traum9910@yahoo.com.cn (请注明会议征文); 邮编: 400042; 地址: 重庆市渝中区大坪长江支路10号《创伤外科杂志》编辑部 鲜琦、贺羽收; 电话: (023) 68757484、68706804; 传真: (023) 68705417。来稿请在信封左下角注明“会议征文”。