

· 临床研究 ·

术中 CT 在后路全椎弓根螺钉治疗重度脊柱侧凸中的初步应用

施新革, 张永刚, 张雪松, 崔庚, 毛克亚, 王征, 董天祥, 王岩
(解放军总医院骨科, 北京 100853)

【摘要】 目的: 探讨术中 CT 在重度脊柱侧凸患者后路全椎弓根螺钉手术中的应用价值和临床疗效。方法: 回顾性分析了 2009 年 6 月至 2011 年 6 月行全椎弓根螺钉后路治疗的 32 例重度脊柱侧凸患者, 其中男 12 例, 女 20 例; 年龄 10~38 岁, 平均 16.8 岁; 其中 19 例合并后凸。在术中椎弓根钉置钉完成后应用术中 CT 扫描多平面重建图像评估螺钉位置并分级, 计算在上胸椎(T₁-T₄), 中胸椎(T₅-T₈), 下胸椎(T₉-T₁₂) 和腰椎的螺钉评级结果及螺钉数目(比率), 评估为 2 级和 3 级的螺钉为误置螺钉。计算术中应用 CT 次数。测量患者手术前后冠状面 Cobb 角及合并后凸病例手术前后矢状面后凸 Cobb 角, 计算侧凸及后凸矫正率。结果: 32 例患者共置入胸腰椎螺钉 686 枚, 其中胸椎螺钉 544 枚, 腰椎螺钉 142 枚, 其中 14 例患者行截骨手术。经术中 CT 评估分级, 在上胸椎、中胸椎、下胸椎和腰椎的误置螺钉率分别是 5.6%, 11.1%, 6.7% 和 4.3%, 在胸腰椎总计是 7.3%, 误置螺钉在术中进行了修正。术中平均应用 CT 2.6 次(2~4 次)。术前侧凸 Cobb 角平均 95°(78°~123°), 术后侧凸 Cobb 角平均为 34°(19°~53°), 矫正率为 64%; 合并后凸病例术前后凸 Cobb 角 69°(46°~82°), 术后后凸 Cobb 角平均为 32°(22°~45°), 矫正率为 54%。术后有 4 例患者脑脊液漏, 未发现神经血管损伤病例及手术伤口感染病例。所有病例获得随访, 时间 12~26 个月, 平均 18 个月。未发现断钉、断棒、假关节形成等并发症发生。结论: 在重度脊柱侧凸全椎弓根螺钉后路手术中应用术中 CT 可及时发现误置螺钉并进行修正, 避免了因螺钉误置导致的二次手术, 保障了手术安全, 手术效果良好。

【关键词】 脊柱侧凸; 骨折固定术, 内; 体层摄影术, X 线计算机

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2013.04.012

Preliminary application of intraoperative CT in treatment of severe scoliosis with posterior total pedicle screws SHI Xin-ge, ZHANG Yong-gang, ZHANG Xue-song, CUI Geng, MAO Ke-ya, WANG Zheng, DONG Tian-xiang, and WANG Yan. Department of Orthopaedics, General Hospital of PLA, Beijing 100853, China

ABSTRACT **Objective:** To study the clinical effects and application value of intraoperative CT in treatment of severe scoliosis with posterior total pedicle screws. **Methods:** Thirty-two cases of severe scoliosis were retrospectively analysed in our hospital from June 2009 to June 2011, which were treated by posterior total pedicle screws with intraoperative CT including 12 males and 20 females with an average age of 16.8 years ranging from 10 to 38 years. There were 19 cases combined with thoracic kyphosis among 32 cases. Multiple planar reconstruction technology of intraoperative CT was applied to assess screw position. The numbers (rates) of pedicle screws were calculated and evaluated as different grades in upper thoracic vertebra (T₁-T₄), middle thoracic vertebra (T₅-T₈), lower thoracic vertebra (T₉-T₁₂) and lumbar vertebra. The pedicle screws of 2 grade and 3 grade were defined as malpositioned screws. Times of applying intraoperative CT were calculated. Cobb angle of all cases and kyphosis angle of the cases combined with thoracic kyphosis were measured before and after surgery. Scoliosis correction rates and kyphosis correction rates were calculated. **Results:** There were 686 pedicle screws placed in thoracolumbar of 32 patients (including 544 thoracic pedicle screws, 142 lumbar pedicle screws) and 14 patients underwent osteotomy. The rate of malpositioned screws in thoracolumbar was 7.3% by evaluating with intraoperative CT, and it respectively was 5.6%, 11.1%, 6.7% and 4.3% in upper thoracic vertebra, middle thoracic vertebra, lower thoracic vertebra and lumbar vertebra. The malpositioned screws were amended in surgery. The mean times of intraoperative CT was 2.6 times (ranged from 2 times to 4 times). The mean preoperative Cobb angle was 95° (ranged from 78° to 123°) and the mean postoperative Cobb angle was 34° (ranged from 19° to 53°). The mean correction rate of Cobb angle was 64%. The mean preoperative kyphosis angle of the patients combined with thoracic kyphosis was 69° (ranged from 46° to 82°) and the mean postoperative kyphosis angle was 32° (ranged from 22° to 45°). The mean correction rate of kyphosis angle was 54%. Four patients suffered cerebrospinal fluid leak after surgery. No infection, vascular lesion and nervous lesion were found. All patients had an average 18-month follow-up (ranged from 12 to 26 months). No broken nails, broken rods and pseudarthrosis were founded. **Conclusion:** Application of in-

traoperative CT in severe scoliosis with posterior total pedicle screws can detect and amend malpositioned screws timely in surgery, to avoid secondary surgery for malpositioned screws and protect the safety of surgery. The effects of surgery is satisfactory.

KEYWORDS Scoliosis; Fracture fixation, internal; Tomography, X-ray computed

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2013, 26(4):309-313 www.zggszz.com

重度脊柱侧凸一般指 Cobb 角大于 70° 的脊柱侧凸^[1],其椎体旋转和侧凸角度更大且更僵硬,常常伴有后凸,手术矫治难度更大。前路联合手术是重度脊柱侧凸的经典手术方案,但这种术式有手术创伤大、出血量多、并发症多等缺点。随着后路内固定器械的发展,椎弓根钉棒系统广泛应用于脊柱侧凸矫形手术。椎弓根钉棒系统具有强大的三维矫形能力,在治疗重度脊柱侧凸不需行前路松解,仅需单纯后路松解椎弓根钉棒内固定取得良好手术效果^[2-4]。为保证良好的矫形效果,单纯后路手术常需要全椎弓根螺钉节段固定胸腰椎,在胸椎椎弓根附近有重要解剖结构,包括脊髓、神经根、大血管、胸腔等,使椎弓根钉置钉风险增大^[5]。椎弓根钉向内侧突破椎弓根皮质可能误伤神经根及脊髓,在术后引起脊髓神经损伤症状,向椎体前外侧突破可能对大血管和胸膜造成损伤^[6]。在重度脊柱侧凸患者,由于椎体旋转度增大,椎体变形,凹侧椎弓根更加细小,使置钉难度更大。术中 CT 可在术中对椎弓根钉位置进行准确评估,在术中发现误置螺钉,及时去除或重置螺钉,避免术后因椎弓根钉误置而导致二次手术。笔者自 2009 年初引进国内首台西门子 40 层双排滑动术中 CT (SOMATOM Sensation Open Sliding 40 系列),在脊柱侧凸矫形手术中得到了初步应用。本研究回顾性分析了应用术中 CT 在全椎弓根螺钉后路治疗 26 例重度脊柱侧凸患者的结果,现报告如下。

1 资料和方法

1.1 一般资料 选择 2009 年 6 月至 2011 年 6 月行全椎弓根螺钉后路治疗的 32 例重度脊柱侧凸患者(Cobb 角 $>70^\circ$),其中男 12 例,女 20 例;平均年龄为 16.8 岁(10~38 岁)。术前冠状面主弯 Cobb 角平均 95° ($78^\circ\sim 123^\circ$),其中 19 例患者合并后凸,后凸 Cobb 角 69° ($46^\circ\sim 82^\circ$)。按侧凸原因分类:特发性脊柱侧凸 17 例,先天性脊柱侧凸 7 例,神经肌肉型脊柱侧凸 8 例。按侧凸部位分类:胸椎侧凸 15 例,胸腰段侧凸 6 例,胸腰段双侧凸 7 例,胸椎双侧凸 4 例。

1.2 纳入标准 ①年龄 ≥ 10 岁;②主弯 Cobb 角 $\geq 70^\circ$;③单纯行后路手术,未行前路手术;④应用全椎弓根螺钉技术;⑤术中行 CT 评估。

1.3 排除标准 ①年龄 < 10 岁;②主弯 Cobb 角 $< 70^\circ$;③退变性侧凸患者;④行前路联合手术或者单纯前路手术;⑤行钉钩系统或者螺钉及钉钩混合

使用固定;⑥术中未行 CT 评估。

1.4 治疗方法

1.4.1 术前准备 所有患者术前拍站立位全脊柱正侧位和左右弯曲位 X 线片,术前行全脊柱 CT 扫描重建,进一步了解脊柱畸形的三维立体结构,为术中置钉提供指导。所有患者行全脊髓 MRI 检查以明确有无脊髓拴系脊髓空洞等脊髓病变,以利于脊柱侧凸准确分型,在站立位全脊柱正侧位 X 线片上测量主次弯侧凸角度,在左右弯曲位 X 线片上评价侧凸主弯柔韧性,侧凸分型后结合 CT 三维重建确定椎弓根钉内固定的节段范围,确定是否截骨及截骨的部位和范围。常规术前检查,根据手术方案估计术中失血量术前备血,术前行肺功能及心脏彩超检查,了解心肺功能,评估患者手术耐受能力。

1.4.2 手术方法 采用气管插管全身麻醉,取俯卧位,在胸部及髋部放置体位垫使腹部悬空以减少腹腔压力,减少术中出血,术中应用自体血液回收。以预先选定的融合节段为中心脊柱后正中切口,切开皮肤、皮下组织,显露棘突,向两侧剥离椎旁肌,骨膜下剥离显露包括上下固定融合椎在内的融合节段脊柱的后部结构。在选定融合节段的上终椎至下终椎凹凸侧各椎体植入椎弓根螺钉,尽量选择单向螺钉以获得足够的矫形力。置钉后行术中 CT 扫描重建,评估螺钉位置,根据评估结果将错置螺钉重置或删除。根据术前手术设计,若需节段椎体截骨,于凹侧预置矫形棒,临时固定脊柱,然后行凸侧去松质化截骨,同法交替行凹侧去松质化截骨。截骨完成后同时于侧凸双侧置矫形棒,行悬臂梁操作闭合截骨间隙。若不需截骨,按照预先设计的矢状面角度预弯矫形棒,利用平移、转棒等技术进行脊柱初步矫形。最后再根据畸形矫正情况,对相应的节段进行撑开及加压操作,进一步矫正冠状面 Cobb 角和矢状面胸椎后凸角及腰椎前凸角,重建冠状面和矢状面平衡。进行唤醒试验检查神经功能状况,再次行术中 CT 扫描重建,确定螺钉位置准确。手术伤口脉冲反复冲洗后,咬除棘突,将椎板、关节突横突等去皮质化,植入咬除棘突所修成的骨粒,若术中植骨量不足采用适量 Osteoset 人工骨混合植骨。伤口接负压引流管,逐层缝合手术伤口。所有手术均由擅长脊柱矫形手术的两例高年资主任医师完成

1.4.3 术中 CT 评估椎弓根螺钉位置 CT 扫描参

数如下：扫描孔径 82 cm，扫描参数设定为管电压 120 kv、电流 240 mA、螺距为 0.9 mm、层厚 10 mm、重建间隔为 1.5 mm。其配备手术床放置可以透过 X 线、能穿过 CT 扫描孔径、可向各个位置活动旋转。进行 CT 扫描时，CT 扫描机顺着双排轨道沿着患者所在手术床滑动行容积扫描采集数据。数据采集完毕后，通过多平面重建 (multiple planar reconstruction, MPR) 技术重建图像，可以在任意冠状面、矢状面、横断面重建断面图像，便于选择合适的断面图像观察脊柱及其周围解剖的细微结构。应用 Rao 等^[7] 分类法对术中 CT 椎弓根钉位置进行评估：0 级，螺钉完全位于椎弓根内，未穿出椎弓根皮质；1 级，螺钉穿出椎弓根皮质 < 2 mm 或不超螺钉直径的 1/2，对周围血管神经无损伤危险；2 级，螺钉穿出椎弓根 2~4 mm 或超过螺钉直径的 1/2；3 级，螺钉完全穿出椎弓根皮质 (图 1)。椎弓根螺钉对椎弓根内侧、外侧、上侧、下侧及椎体前侧皮质的穿透的评估均应用同一评价分级方法。评价为 2 级和 3 级的螺钉为误置螺钉，有对周围血管神经有造成损伤的危险。术中对误置螺钉进行了重置，重置困难的螺钉进行了去除。

1.4.4 术后处理 术后常规予广谱抗生素 3 d 预防手术感染，观察 24 h 引流管引流量，引流量 24 h 内 < 50 ml 时拔除，留置引流超过 72 h 拔管后伤口缝合 1~2 针。未行截骨患者术后 7 d 佩戴支具下床活动，截骨患者术后 14 d 开始佩戴支具下床活动，支具保护 4~6 个月。

1.5 观察项目与方法 根据术中 CT 应用 MPR 重建图像评估螺钉位置，计算在上胸椎 (T₁-T₄)、中胸椎 (T₅-T₈)、下胸椎 (T₉-T₁₂) 和腰椎的螺钉评估为 0、1、

2、3 级的螺钉数目和比率，评价为 2 级和 3 级的为误置螺钉。计算术中应用 CT 次数。术中患者在出院前和随访时拍摄站立位脊柱全长正侧位 X 线片。测量冠状面主弯 Cobb 角及矢状面后凸 Cobb 角。计算侧凸及后凸矫正率，矫正率 = [(术前 Cobb 角 - 术后 Cobb 角) / 术前 Cobb 角] × 100%。

2 结果

32 例患者手术顺利，其中 14 例行截骨治疗；共置入胸腰椎螺钉 686 枚，其中胸椎螺钉 544 枚，腰椎螺钉 142 枚。术中 CT 评价误置螺钉率胸腰椎 7.3%，在上胸椎、中胸椎、下胸椎和腰椎分别 5.6%、11.1%、6.7% 和 4.3% (见表 1)。术中平均应用 CT 2.6 次 (2~4 次)。术后侧凸 Cobb 角平均为 34° (19°~53°)，平均矫正率为 64%；合并后凸患者术后后凸 Cobb 角平均为 32° (22°~56°)，平均矫正率为 54% (典型病例资料见图 2)。术后因术中截骨硬膜撕裂而出现脑脊液漏 4 例，未出现神经血管损伤病例及手术伤口感染病例。所有病例获得随访，时间 12~26 个月，平均 18 个月。截骨部位及融合节段均融合良好，未发现断钉、断棒、假关节形成等并发症。

表 1 椎弓根螺钉在不同置钉部位的术中 CT 评估结果
Tab.1 The assessment results of pedicle screws in different position with intraoperative CT

置钉部位	置钉情况 [例 (%)]			置钉总数 (个)
	0 级	1 级	2 级和 3 级	
上胸椎	111 (88.1)	8 (6.3)	7 (5.6)	126
中胸椎	161 (77.4)	24 (11.5)	23 (11.1)	208
下胸椎	176 (83.8)	20 (9.5)	14 (6.7)	210
腰椎	125 (88)	11 (7.7)	6 (4.3)	142
总计	573 (83.5)	63 (9.2)	50 (7.3)	686

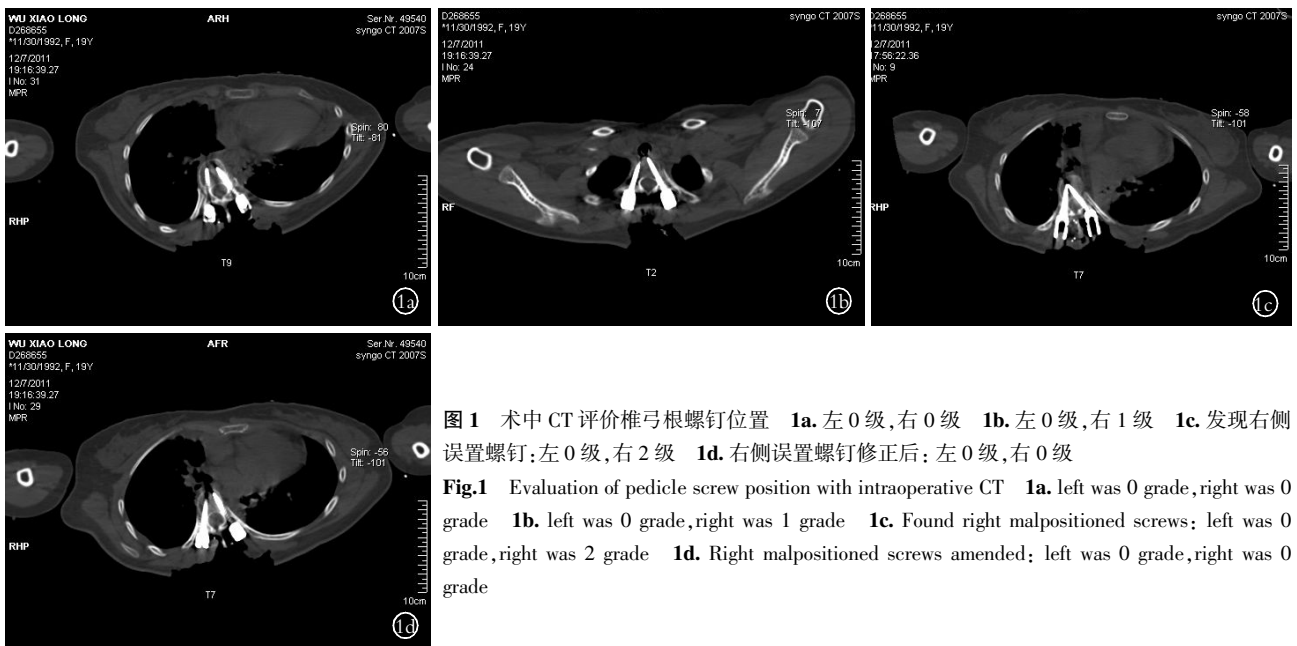


图 1 术中 CT 评价椎弓根螺钉位置 1a. 左 0 级, 右 0 级 1b. 左 0 级, 右 1 级 1c. 发现右侧误置螺钉: 左 0 级, 右 2 级 1d. 右侧误置螺钉修正后: 左 0 级, 右 0 级

Fig.1 Evaluation of pedicle screw position with intraoperative CT 1a. left was 0 grade, right was 0 grade 1b. left was 0 grade, right was 1 grade 1c. Found right malpositioned screws: left was 0 grade, right was 2 grade 1d. Right malpositioned screws amended: left was 0 grade, right was 0 grade



图 2 患者,女,23 岁,特发性脊柱侧凸,术前及术后全脊柱站立位正侧位线 2a. 术前冠状面 Cobb 角 115° 2b. 术后冠状面 Cobb 角 36°, 矫正率 69% 2c. 术前矢状面后凸角 82° 2d. 术后矢状面后凸角 28°, 矫正率 66%

Fig.2 A 23-year-old female patient with adolescent idiopathic scoliosis, the comparison between pre-and postoperative standing radiographs including posterior-anterior radiograph and sagittal radiograph 2a. Preoperative Cobb angle was 115° 2b. Postoperative Cobb angle was 36° and correction rate was 69% 2c. Preoperative Kyphosis angle was 82° 2d. Postoperative Kyphosis angle was 28° and correction rate was 66%

3 讨论

在重度侧凸的治疗中应用全椎弓根螺钉技术,使难于矫治的重度侧凸获得良好的矫形效果^[8]。全椎弓根螺钉技术增加了螺钉固定数目,分散了应力集中,减少了单颗螺钉的受力,可以提供强大的矫形力来矫正重度的脊柱侧凸畸形。本研究结果显示,术后主弯侧凸矫正率为 64%,后凸矫正率为 54%,全椎弓根螺钉技术治疗重度脊柱侧凸可以达到较好的冠状面和矢状面矫形。全椎弓根螺钉技术不必行前路松解,可以提供更好的三维矫正效果,减少了融合节段及胸廓成形术的手术需要,也减少手术时间和并发症的发生^[9-10]。Smucny 等^[11]研究发现脊柱侧凸患者通过术后 SAQ 和 SRS-30 评分比较在自我外观形象评价方面全椎弓根螺钉比钉钩混合系统更好。但是全椎弓根螺钉技术需要在脊柱侧凸融合胸腰节段准确置入椎弓根螺钉,在重度脊柱侧凸患者,椎弓根置钉难度增大。随着现代科技的发展,现在已有多种方法可以在术中辅助定位,提高椎弓根置钉准确性,其中包括计算机辅助、超声引导、X 线透视导航、CT 导航、MRI 导航和机器人辅助技术,但是这些技术都不能完全避免置钉失误的发生。

为保障脊柱手术的安全,避免因置钉失误导致的二次手术,术中躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potentials, SEPs)等神经监测广泛应用于脊柱手术,临床实践证明 SEPs 监测是一种安全的、有效的、敏感的检测方法,它能减少术中脊髓神经的损伤^[12],但是由于脊髓与椎弓根内壁存在间隙,螺钉可能已经穿透椎弓根内壁,但没有损伤脊髓,神经监测不能发现这类螺钉。这类螺钉属于潜在危险螺钉,螺

钉固定不够稳定,可能会出现继发性的脊髓慢性损伤。并且对于穿透椎体外侧壁及椎体前壁可能损伤大血管及胸腔的误置螺钉,神经监测也不能发现。术中 C 形臂 X 线透视是术中检验螺钉位置的一种方法,但 C 形臂 X 线透视是二维图像,对螺钉位置的判断不准确,主要靠手术者的经验,效果不可靠。

术中 CT 的出现解决了上述问题,术中 CT 可及时发现不安全螺钉,及时重置螺钉,避免因置钉失误或减压不充分导致的二次手术^[13]。本研究所用 CT 为西门子公司生产的 40 层双排 CT,图像分辨率高,扫描速度快,经过 MPR 技术重建图像后可以在任意三维平面上观察脊柱畸形的三维结构^[14],能更细致的观察椎弓根螺钉与椎弓根周围结构的毗

邻关系,发现椎弓根螺钉对椎弓根周围重要解剖结构破坏。比传统 C 形臂 X 线透视能更灵敏的发现误置螺钉,及时修正螺钉,保障脊柱手术安全^[15]。Silbermann 等^[16]研究显示在腰骶椎融合手术腰骶椎椎弓根螺钉的置钉准确率是 94.1%。Modi 等^[17]研究显示在脊柱侧凸手术中胸腰椎椎弓根置钉安全率是 93.3% (胸椎 92.4%, 腰椎 95.3%),在 Cobb 角 <90° 患者置钉安全率 94.8%,在 Cobb 角 >90° 患者置钉安全率是 91.2%,在上胸椎、中胸椎、下胸椎的置钉安全率分别是 96.6%、89.2% 和 93.1%。本研究显示,在重度脊柱侧凸患者胸腰椎椎弓根内固定手术中,椎弓根置钉误置率达 7.3%,在中胸椎高达 11.1%,在腰椎为 4.3%,与上述研究结果相近。在有经验的手术者胸腰椎置钉是相对安全的,但是仍然不能完全避免置钉失误。术中 CT 的出现为脊柱矫形手术的安全建立了最后一道保障,可以在术中置钉后对椎弓根螺钉位置和周围重要结构关系进行准确评估,使患者还在麻醉状态下及时对发现的误置螺钉进行修正,避免了因置钉失误引起的相关并发症和医疗纠纷的发生,给患者和医生所带来的益处是不言而喻的。在重度脊柱侧凸手术中,置钉难度更大,置钉误置率也相应增大,在重度脊柱侧凸中应用术中 CT 的价值更大。本研究显示本组患者应用术中 CT 未出现术后永久性的神经血管损伤,另外准确置钉也可以增加椎弓根钉棒的矫形能力,获得更好的矫形效果^[18]。术中 CT 和神经监测联合使用可能是一种更安全的脊柱手术安全保障措施。

术中 CT 扫描辐射可能造成人体一定的潜在性辐射损伤。本研究采用的 CT 使用 CARE Dose 4D

(SiemensCT) 技术能够实时分析每位患者的解剖部位,并相应调节放射剂量,有效地减少了术中辐射剂量(是常规 CT 的 30%)。有研究显示在脊柱微创手术中,术中 CT 比传统的 C 形臂 X 线透视有更高的图像质量和空间分辨率,对比 C 形臂 X 线透视有效的减少了对患者和手术人员的辐射^[19]。但是脊柱矫形手术 CT 扫描范围大,辐射剂量相应增大,对患者的辐射剂量还是很高的,有报道显示在脊柱矫形手术中,一次术中 CT 的辐射剂量是 20 mGy^[20-21],相当于透视时间 80 s,本研究显示平均每次手术用术中 CT 2.6 次,相当于透视时间 208 s。

术中 CT 在全椎弓根钉治疗重度脊柱侧凸患者的应用是安全的,可以保障手术的安全性,避免了因椎弓根螺钉误置而导致的二次手术。但是术中 CT 价格昂贵,现阶段很难在三级医院中普及,并且相应增加了患者的经济负担,也会增加患者的射线辐射。本研究为回顾性研究,病例相对较少,所得结果有一定局限性。在以后的研究中笔者会进一步完善,得出更加可信的试验结果,为术中 CT 的进一步普及应用提供可靠数据和经验。

参考文献

- [1] 刘洋,李明. 重度侧凸治疗的研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(4): 247-249.
Liu Y, Li M. Research progress of severe scoliosis treatment [J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2005, 15(4): 247-249. Chinese.
- [2] 张国志,王宇飞,杨克敏,等. 全椎弓根螺钉 I 期后路手术治疗重度脊柱侧凸畸形[J]. 昆明医学院学报, 2011, 32(3): 76-78.
Zhang GZ, Wang YF, Yang KM, et al. One-step posterior spinal screw fixation of whole pedicle of vertebral arch in treatment of severe scoliosis [J]. Kun Ming Yi Xue Yuan Xue Bao, 2011, 32(3): 76-78. Chinese.
- [3] 马维虎,孙韶华,徐荣明,等. 全椎弓根螺钉治疗特发性脊柱侧凸[J]. 中国骨伤, 2008, 21(6): 407-410.
Ma WH, Sun SH, Xu RM, et al. All pedicle screws technique applied to the treatment of idiopathic scoliosis [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2008, 21(6): 407-410. Chinese with abstract in English.
- [4] Suk SI, Kim JH, Cho KJ, et al. Is anterior release necessary in severe scoliosis treated by posterior segmental pedicle screw fixation [J]. Eur Spine J, 2007, 16(9): 1359-1365.
- [5] Hicks JM, Singla A, Shen FH, et al. Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(11): E465-470.
- [6] Charosky S, Guigui P, Blamoutier A, et al. Complications and risk factors of primary adult scoliosis surgery: a multicenter study of 306 patients [J]. Spine, 2012, 37(8): 693-700.
- [7] Rao G, Brodke DS, Rondina M, et al. Inter- and intraobserver reliability of computed tomography in assessment of thoracic pedicle screw placement [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2003, 28(22): 2527-2530.
- [8] Sucato DJ. Management of severe spinal deformity: scoliosis and kyphosis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(25): 2186-2192.
- [9] Yang C, Wei X, Zhang J, et al. All-pedicle-screw versus hybrid hook-screw instrumentation for posterior spinal correction surgery in adolescent idiopathic scoliosis: a curve flexibility matched-pair study [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2012, 132(5): 633-639.
- [10] Cuartas E, Rasouli A, O'Brien M, et al. Use of all-pedicle-screw constructs in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2009, 17(9): 550-561.
- [11] Smucny M, Lubicky JP, Sanders JO, et al. Patient self-assessment of appearance is improved more by all pedicle screw than by hybrid constructs in surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(3): 248-254.
- [12] Costa P, Bruno A, Bonzanino M, et al. Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring during spine and spinal cord surgery [J]. Spinal Cord, 2007, 45(1): 86-91.
- [13] Larson AN, Santos ER, Polly DW, et al. Pediatric pedicle screw placement using intraoperative computed tomography and 3-dimensional image-guided navigation [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(3): E188-194.
- [14] Arakawa H, Sasaka K, Lu WM, et al. Comparison of axial high-resolution CT and thin-section multiplanar reformation (MPR) for diagnosis of diseases of the pulmonary parenchyma: preliminary study in 49 patients [J]. Radiology, 2001, 221: 204-204.
- [15] Learch TJ, Massie JB, Pathria MN, et al. Assessment of pedicle screw placement utilizing conventional radiography and computed tomography: a proposed systematic approach to improve accuracy of interpretation [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(7): 767-773.
- [16] Silbermann J, Riese F, Allam Y, et al. Computer tomography assessment of pedicle screw placement in lumbar and sacral spine: comparison between free-hand and O-arm based navigation techniques [J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 875-881.
- [17] Modi HN, Suh SW, Fernandez H, et al. Accuracy and safety of pedicle screw placement in neuromuscular scoliosis with free-hand technique [J]. Eur Spine J, 2008, 17(12): 1686-1696.
- [18] Chang KW, Wang YF, Zhang GZ, et al. Tai Chi pedicle screw placement for severe scoliosis [J]. J Spinal Disord Tech, 2012, 25(3): E67-73.
- [19] Schafer S, Nithianathan S, Mirota DJ, et al. Mobile C-arm cone-beam CT for guidance of spine surgery: image quality, radiation dose, and integration with interventional guidance [J]. Med Phys, 2011, 38(8): 4563-4574.
- [20] Metz LN, Burch S. Computer-assisted surgical planning and image-guided surgical navigation in refractory adult scoliosis surgery: case report and review of the literature [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2008, 33(9): E287-292.
- [21] Cui G, Wang Y, Kao TH, et al. Application of intraoperative computed tomography with or without navigation system in surgical correction of spinal deformity: a preliminary result of 59 consecutive human cases [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(10): 891-900.

(收稿日期: 2012-12-13 本文编辑: 王宏)