

临床论著

基于 X 线片的十二等分法评估全椎弓根螺钉固定矫形术治疗青少年特发性脊柱侧凸的置钉准确性

何 中,秦晓东,殷 睿,邱 勇,朱泽章

(南京大学医学院附属鼓楼医院脊柱外科 210008 南京市)

【摘要】目的:利用基于 X 线片的十二等分法评估单纯后路全椎弓根螺钉固定矫形术治疗青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)的置钉准确性。**方法:**回顾性分析我科行单纯后路全椎弓根螺钉固定矫形术治疗的 AIS 患者 40 例(女性 34 例,男性 6 例),年龄 15.2 ± 1.9 岁(11~18 岁),分别采用传统方法和十二等分法在 X 线片上评估椎弓根螺钉置钉准确性,并通过 CT 平扫验证。传统方法:A 级,螺钉钉尖在椎弓根内壁和椎体中线之间,且与相邻螺钉相比无明显偏内或偏外;B 级,螺钉钉尖超越椎体中线或与相邻螺钉相比明显偏内;C 级,螺钉钉尖在椎弓根内壁以外或与相邻螺钉相比明显偏外。十二等分法:将椎体由凹侧外侧缘及凸侧外侧缘向分别正中画等分线分 12 等份,并根据螺钉钉尖在所在椎体上的位置和椎体旋转的程度确定相应的安全范围。A 级,螺钉钉尖在安全范围内;B 级,螺钉钉尖超出安全范围界或与相邻螺钉相比明显偏内;C 级,螺钉钉尖超出安全范围外界或与相邻螺钉相比明显偏外。CT 平扫:A 级,螺钉全部在椎弓根内;B 级,螺钉有任何部分超出椎弓根内壁;C 级,螺钉有任何部分超出椎弓根外壁。通过卡方检验和诊断试验结果法对比两种 X 线片评估方法的准确性。**结果:**CT 平扫评估,638 枚螺钉中 595 枚(93.3%)A 级,9 枚(1.4%)B 级,34 枚(5.3%)C 级;十二等分法,589 枚(92.3%)A 级,10 枚(1.6%)B 级,39 枚(6.1%)C 级;传统方法,582 枚(91.2%)A 级,19 枚(3.0%)B 级,37 枚(5.8%)C 级。使用传统方法误判螺钉 49 枚(7.7%)枚,十二等分法误判螺钉 14 枚(2.2%)枚,二者有显著差异($P < 0.001$),其中 B 级误判的螺钉分别为 25 枚(3.9%)和 5 枚(0.8%)($P < 0.001$),C 级误判的螺钉分别为 24 枚(3.8%)和 9 枚(1.4%)($P = 0.006$)。此外,使用传统方法和十二等分法,评估凹侧椎弓根置钉的误判率高于凸侧,评估旋转较大椎体置钉的误判率高于旋转较小的椎体。**结论:**在 X 线片上采用十二等分法评估 AIS 患者的置钉情况简便、可靠,可以提高评估螺钉置钉的准确性。

【关键词】十二等分法;置钉准确率评价;青少年特发性脊柱侧凸;X 线片;CT 平扫

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2020.07.01

中图分类号:R445.4, R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2020)-07-0580-09

A study of Rule of Twelve on X-ray film in evaluating the accuracy of screw placement in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis with all pedicle screw instrumentation/HE Zhong, QIN Xiaodong, YIN Rui, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2020, 30(7): 580-588

【Abstract】 Objectives: Use the Rule of Twelve based on X-ray film to evaluate the accuracy of pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis (AIS) patients after scoliosis correction surgery. **Methods:** This study retrospectively reviewed 40 patients (34 females and 6 males) with AIS who underwent posterior correction surgery with all pedicle screw instrumentation in our hospital. The mean age was 15.2 ± 1.9 years (11-18 years). The traditional method and the Rule of Twelve were used to evaluate the degree of pedicle screw placement on X-ray films, which was verified by CT scan. The traditional method was as follows: degree A, the screw heads were between the inner wall of the pedicle and the vertebral midline, and were not obviously inward or outward compared with adjacent screws; degree B, the screwheads were beyond the vertebral centerline or obviously inward compared with adjacent screws; degree C, the screw heads were outside the inner wall of the pedicle or obviously outward compared with adjacent screws. The Rule of

基金项目:江苏省自然科学基金(编号:BK20190119)

第一作者简介:男(1994-),博士研究生,研究方向:脊柱畸形

电话:(025)83106666 E-mail:hezong_nju@126.com

通讯作者:朱泽章 E-mail:zhuzezhong@126.com

Twelve was as follows: the vertebrae were divided from the concave lateral edge to the centerline and from the convex lateral edge to the centerline into 12 equal parts, and the safety range was determined according to the position of the screw on the vertebra and the degree of vertebral rotation. Degree A, the screwheads within the safety range at the rotation; degree B, the screwheads were beyond the median boundary of the safety range and were obviously inward compared with adjacent screws; degree C, the screwheads were outside the lateral boundary of the safety range and were obviously outward compared with adjacent screws. Axial CT scan: degree A, the screws in the pedicle; degree B, any part of the screws was beyond the inner walls of the pedicle; degree C, any part of the screws was beyond the outer walls of the pedicle. In addition, the accuracy of evaluating screw placement might be affected by the direction and degree of vertebral rotation, so the position(convex and concave) of the screws and the Nash-Moe rotation(0-IV degrees) of the vertebrae were recorded and analyzed. The accuracy of the two methods was compared using the chi-square test and the diagnostic test. **Results:** According to the CT scan, 595 out of 638(93.3%) screws were classified as degree A, 9(1.4%) as degree B, and 34(5.3%) as degree C. The Rule of Twelve showed 589(92.3%) screws were classified as degree A, 10(1.6%) as degree B, 39(6.1%) as degree C; while, the traditional method showed 582(91.2%) were classified as degree A, 19(3.0%) as degree B, 37(5.8%) as degree C. The misjudged screws were 49(7.7%) using the traditional method and 14(2.2%) using the Rule of Twelve, and there was significant difference between the two methods($P<0.001$). Among these, the misjudged screws in degree B were 25(3.9%) and 5(0.8%) ($P<0.001$), respectively. The misjudged screws in degree C were 24(3.8%) and 9(1.4%)($P=0.006$), respectively. Furthermore, for traditional method and the Rule of Twelve, the misjudgement rate of evaluating screws was higher on the concave side than on the convex side, and was higher on the vertebrae with morerotation. **Conclusions:** The Rule of Twelve on X-ray film can improve the accuracy in judgmentscrew misplacement in AIS patients.

【Key words】 The Rule of Twelve; Evaluation of screw placement accuracy; Adolescent idiopathic scoliosis; X-ray film; CT scan

【Author's address】 Department of Spine Surgery, Affiliated Drum Tower Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing, 210008, China

青少年特发性脊柱侧凸(adolescent idiopathic scoliosis, AIS)是指在青少年期间(10~18岁)出现的原因不明的非先天性三维脊柱畸形,是脊柱侧凸中最常见的类型,在青少年中的发病率约为2%~4%^[1]。AIS的治疗方式包括保守治疗和手术治疗,其中保守治疗包括功能锻炼、康复治疗 and 支具治疗,如果患者侧凸度数过大、进展过快或出现严重的疼痛、呼吸困难及神经并发症,通常需要接受手术治疗^[2]。全椎弓根螺钉固定目前是 AIS 手术中最常用的内固定方法^[3],然而,对于椎弓根因发育不良而异常狭窄或椎体旋转较大的患者来说,术中的椎弓根置钉面临巨大的挑战^[4-6]。为防止椎弓根螺钉误置,目前术中最常用 C 型臂 X 线机评估置钉,然而,C 型臂 X 线机引导下置钉失误率也在 1.7%~15.7%^[7-10]。传统的 X 线片置钉评估方法仅考虑了无旋转或轻度旋转的椎体^[11,12],但该方法并不适用于存在较大旋转的脊柱侧凸患者,容易造成置钉误判。本研究旨在利用基于 X 线片的十二等分法评估 AIS 患者脊柱畸形矫正术

椎弓根螺钉置钉的准确性,为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2018 年 1 月~5 月于我科行单纯后路全椎弓根螺钉矫形治疗的 AIS 患者 40 例,其中女性 34 例,男性 6 例;平均年龄 15.2 ± 1.9 岁(11~18 岁)。

纳入标准:(1)年龄 10~18 岁;(2)术前通过临床专科体检、站立位全脊柱正侧位 X 线片及全脊髓 MRI 明确诊断为 AIS;(3)Cobb 角 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$;(4)行脊柱后路椎弓根螺钉系统内固定术;(5)术后摄站立位全脊柱正侧位 X 线片及平卧位 CT 平扫。排除标准:(1)伴发神经系统疾病;(2)明显椎体发育异常;(3)既往接受过脊柱手术治疗。

纳入的患者平均 Risser 征 2.9 ± 1.5 级(0~5 级);共评估椎弓根螺钉 638 枚,人均 16.0 ± 2.9 枚(10~20 枚),人均固定节段 10.4 ± 2.6 个(5~13 个),侧弯凹侧和凸侧分别评估 322 枚和 316 枚。

Nash-Moe 法评估为 0 度、Ⅰ度、Ⅱ度、Ⅲ度和Ⅳ度的椎体上螺钉分别为 238 枚 (37.3%)、222 枚 (34.8%)、109 枚 (17.1%)、56 枚 (8.8%) 和 13 枚 (2.0%)。

本研究所有患者的辅助检查均由同一名影像科技师使用相同的设备完成,手术节段的选择和手术操作均由同一位脊柱外科医生及其助手完成。本研究已获得医院伦理委员会批准。

1.2 椎弓根固定置钉准确性的评估方法

本研究在 X 线片上分别用传统方法和十二等分法评估椎弓根螺钉的位置,评估的结果包括螺钉全部在椎弓根内部(A 级)、螺钉超出椎弓根内壁(B 级)、螺钉超出椎弓根外壁(C 级)。

传统方法的评估标准(图 1):A 级,在后前位 X 线片中置入的螺钉钉尖在椎弓根内壁和椎体中线之间,且参考旋转椎体后上棘椎板的连线,与相邻螺钉相比无明显偏内或偏外;B 级,螺钉钉尖超越椎体中线或与相邻螺钉相比明显偏内;C 级,螺钉钉尖在椎弓根内壁以外,或与相邻螺钉相比明显偏外^[4]。

十二等分法的评估标准:将椎体由凹侧外侧缘及凸侧外侧缘分别向正中线画等分线分 12 等份,并根据螺钉钉尖所在椎体上的位置和椎体旋转的程度确定相应的安全范围(图 2)。A 级,在后前位 X 线片上根据椎体旋转的程度定义相应的安全范围,若螺钉钉尖在安全范围内,且参考旋转椎体后上棘椎板的连线,与相邻螺钉相比无明显偏内或偏外;B 级,螺钉钉尖超过安全范围内界或

与相邻螺钉相比明显偏内;C 级,螺钉钉尖超过安全范围外界或与相邻螺钉相比明显偏外。其中,安全范围定义如下:(1)若椎体旋转为 0 度,则凹侧螺钉钉尖的安全范围是椎体凹侧椎弓根内侧缘至椎体正中线,凸侧螺钉钉尖的安全范围是椎体凸侧椎弓根内侧缘至椎体正中线;(2)若椎体旋转为Ⅰ度,则凹侧螺钉钉尖的安全范围是凹侧 8/12 等分线至凸侧 11/12 等分线,凸侧螺钉钉尖的安全范围是凸侧椎弓根外侧缘至凸侧 11/12 等分线;(3)若椎体旋转为Ⅱ度,则凹侧螺钉钉尖的安全范围是凹侧 9/12 等分线至凸侧 10/12 等分线,凸侧螺钉钉尖的安全范围是凸侧 5/12 等分线至凸侧 10/12 等分线;(4)若椎体旋转为Ⅲ度,则凹侧螺钉钉尖的安全范围是凹侧 10/12 等分线至凸侧 9/12 等分线,凸侧螺钉钉尖的安全范围是凸侧 4/12 等分线至凸侧 9/12 等分线;(5)若椎体旋转Ⅳ度,则凹侧和凸侧螺钉钉尖的安全范围在(4)的基础上继续向凸侧移动,根据实际旋转进行评估。

CT 平扫分级标准(图 3):A 级,在轴状位图像上评估螺钉的位置,螺钉全部在椎弓根内则;B 级,螺钉有任何部分超出椎弓根内壁;C 级,螺钉有任何部分超出椎弓根外壁。将在 CT 平扫上评估的结果作为对比传统方法和十二等分法评估置钉准确性的标准。

每一枚螺钉都使用 CT 平扫和 X 线片独立评估,其中在 X 线片上使用传统方法和十二等分法独立评估。由于评估置钉准确性可能受到椎体旋转方向和旋转程度的影响,因此每一枚螺钉所在

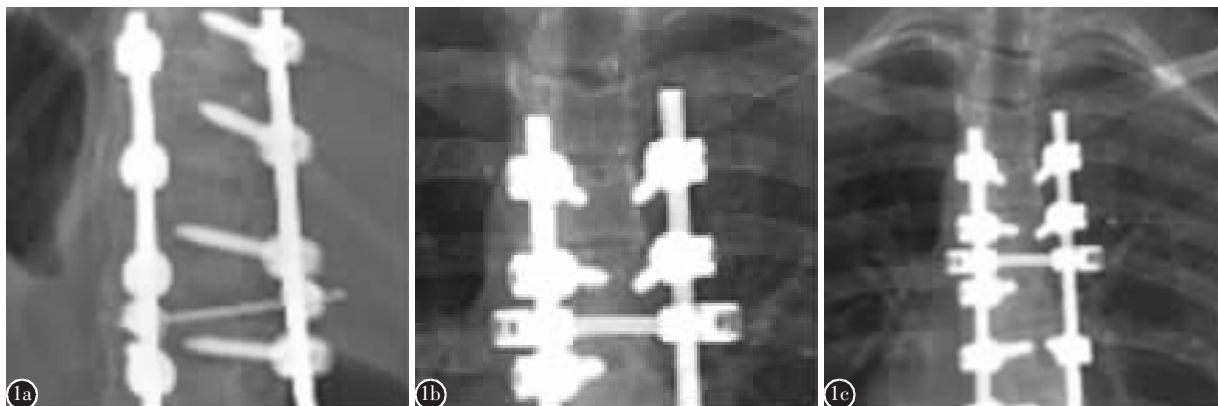


图 1 传统方法评估螺钉等级 a A 级螺钉,螺钉全部在椎弓根内部 b B 级螺钉,螺钉超出椎弓根内壁 c C 级螺钉,螺钉超出椎弓根外壁

Figure 1 Traditional method a Degree A, screw in the pedicle b Degree B, violation of the medial wall c Degree C, violation of the lateral wall

椎体上的位置(凸侧和凹侧)和 Nash-Moe 旋转度(0~IV度)都被记录并进行分析。比较 A 级和非 A 级螺钉时,在 CT 平扫和 X 线片上显示非 A 级的螺钉数记为 a 枚;仅在 X 线片上显示非 A 级,CT 平扫上显示 A 级的螺钉数记为 b 枚;仅在 CT 平扫上显示非 A 级,X 线片上显示 A 级的螺钉数记为 c 枚;同时在 CT 平扫和 X 线片上显示 A 级的螺钉数记为 d 枚。分别计算得出传统方法和十二

等分法的诊断试验结果并进行对比,包括:①误判率 $= (b+c)/(a+b+c+d)$;②符合率 $= (a+d)/(a+b+c+d)$;③敏感性 $= a/(a+c)$;④漏诊率 $= c/(a+c)$;⑤特异性 $= d/(b+d)$;⑥误诊率 $= b/(b+d)$ 。B 级和非 B 级螺钉,以及 C 级和非 C 级螺钉的比较同理。

所有评估均由两位经验丰富的脊柱外科医生共同完成。两位外科医生随机选择 20 例患者独立进行评估以比较观察者间一致性,并且先后进行

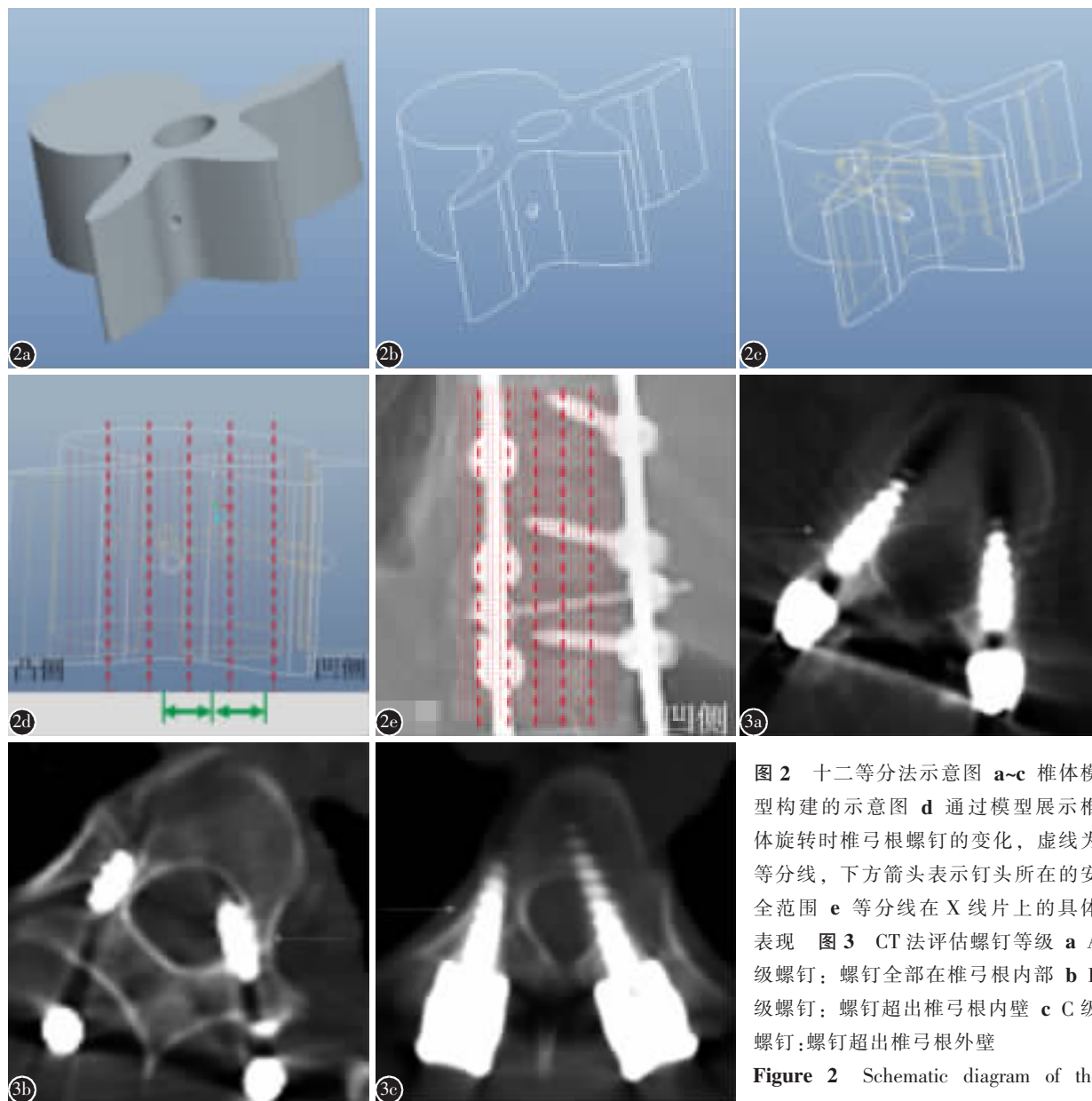


图 2 十二等分法示意图 a~c 椎体模型构建的示意图 d 通过模型展示椎体旋转时椎弓根螺钉的变化,虚线为等分线,下方箭头表示钉头所在的安全范围 e 等分线在 X 线片上的具体表现 图 3 CT 法评估螺钉等级 a A 级螺钉:螺钉全部在椎弓根内部 b B 级螺钉:螺钉超出椎弓根内壁 c C 级螺钉:螺钉超出椎弓根外壁

Figure 2 Schematic diagram of the Rule of Twelve a~c Schematic diagram of vertebral model construction d Demonstrates the change of the pedicle screw with rotation of the vertebra. The dotted lines are the trisectors, and the arrows below indicates the safety range of the screw tips e Shows rotation of the vertebral on X-ray film

Figure 3 CT evaluation of screw degrees a Degree A: the screw in the pedicle b Degree B: violation of the medial wall c Degree C: violation of the lateral wall

两次评估,两次评估间隔两周记忆洗脱期,以比较观察者内一致性。所有评估结果的 Kappa 相关系数均超过 0.8,表明观察者内和观察者间具有很强的的一致性,因此评估结果是可靠的。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 20.0(SPSS 公司,美国)统计软件包进行统计分析,采用卡方检验(Chi-square test)分别评估十二等分法和传统方法判断置钉结果与 CT 平扫判断结果的一致性的差异。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

X 线片与 CT 平扫确认的 A 级与非 A 级螺钉评估的对比见表 1,在 X 线片上传统方法误判螺钉 49 枚(7.7%),其中凹侧和凸侧椎弓根误判螺钉分别为 26 枚(占凹侧螺钉总数的 8.1%)和 23 枚(占凸侧螺钉总数的 7.3%),旋转为 0 度、I 度、II 度、III 度和 IV 度的椎体误判螺钉分别为 0 枚、15 枚(占 I 度椎体置入螺钉总数的 6.8%)、15 枚(占 II 度椎体置入螺钉总数的 13.8%)、16 枚(占 III 度椎体置入螺钉总数的 28.6%)、3 枚(占 IV 度椎体置入螺钉总数的 23.1%)。在 X 线片上十二等分法误判螺钉 14 枚(2.2%),其中凹侧和凸侧椎弓根误判螺钉分别为 4 枚(占凹侧螺钉总数的 1.2%)和 10 枚(占凸侧螺钉总数的 3.2%),旋转为 0 度、I 度、II 度、III 度和 IV 度的椎体误判螺钉分别为 0

枚、3 枚(占 I 度椎体置入螺钉总数的 1.4%)、7 枚(占 II 度椎体置入螺钉总数的 6.4%)、3 枚(占 III 度椎体置入螺钉总数的 5.4%)、1 枚(占 IV 度椎体置入螺钉总数的 7.7%)。以 CT 平扫结果作为评估螺钉置入情况的金标准,采用十二等分法判断的一致性显著高于传统方法($P<0.001$)。

在 X 线上使用十二等分法和传统方法与使用 CT 平扫评估的 B 级和非 B 级螺钉的对比见表 2,在 X 线片上传统方法误判螺钉 25 枚(3.9%),其中凹侧和凸侧椎弓根误判螺钉分别为 19 枚(占凹侧螺钉总数的 5.9%)和 6 枚(占凸侧螺钉总数的 1.9%),旋转为 0 度、I 度、II 度、III 度和 IV 度的椎体误判螺钉分别为 0 枚、7 枚(占 I 度椎体置入螺钉总数的 3.2%)、6 枚(占 II 度椎体置入螺钉总数的 5.5%)、9 枚(占 III 度椎体置入螺钉总数的 16.1%)、3 枚(占 IV 度椎体置入螺钉总数的 23.1%)。在 X 线片上十二等分法误判螺钉 5 枚(0.8%),其中凹侧和凸侧椎弓根误判螺钉分别为 4 枚(占凹侧螺钉总数的 1.2%)和 1 枚(占凸侧螺钉总数的 0.3%),旋转为 0 度、I 度、II 度、III 度和 IV 度的椎体误判螺钉分别为 0 枚、1 枚(占 I 度椎体置入螺钉总数的 0.5%)、2 枚(占 II 度椎体置入螺钉总数的 1.8%)、1 枚(占 III 度椎体置入螺钉总数的 1.8%)、1 枚(占 IV 度椎体置入螺钉总数的 7.7%)。与采用 CT 平扫判断 B 级螺钉的结果相比,采用十二等分法判断的一致性显著高于传统

表 1 十二等分法和传统方法与 CT 平扫评估 A 级和非 A 级螺钉的对比

Table 1 Comparison of the Rule of Twelve and the traditional method with CT scan evaluation of the screws of degree A and non-degree A

		CT平扫证实 A 级的螺钉数($n=595$) The number of degree A screws by CT scan				CT平扫证实非 A 级螺钉数($n=43$) The number of non-degree A screws by CT scan			
		凹侧 Concave		凸侧 Convex		凹侧 Concave		凸侧 Convex	
		十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method
X线片评估 A 级的螺钉 Degree A screws by X-ray	0度 Degree 0	127	127	105	105	0	0	0	0
	I 度 Degree I	96	95	104	101	1	4	0	5
	II 度 Degree II	51	46	40	40	0	2	2	4
	III 度 Degree III	22	13	28	26	0	2	1	2
	IV 度 Degree IV	5	3	7	7	0	0	0	0
X线片评估非 A 级螺钉 Non-degree A screws by X-ray	0度 Degree 0	0	0	0	0	3	3	3	3
	I 度 Degree I	0	1	2	5	6	3	13	8
	II 度 Degree II	1	5	4	4	6	5	5	3
	III 度 Degree III	1	9	1	3	2	1	1	0
	IV 度 Degree IV	1	3	0	0	0	0	0	0

方法($P<0.001$)。典型病例见图 4。

在 X 线上使用十二等分法和传统方法与使用 CT 平扫评估的 C 级和非 C 级螺钉的对比见表 3, 在 X 线片上传统方法误判螺钉 24 枚(3.8%), 其中凹侧和凸侧椎弓根误判螺钉分别为 7 枚(占凹侧螺钉总数的 2.2%)和 17 枚(占凸侧螺钉总数的 5.4%), 旋转为 0 度、I 度、II 度、III 度和 IV 度的椎体误判螺钉分别为 0 枚、8 枚(占 I 度椎体置入螺钉总数的 3.61%)、9 枚(占 II 度椎体置入螺钉

总数的 8.3%)、7 枚(占 III 度椎体置入螺钉总数的 12.5%)、0 枚。在 X 线片上十二等分法误判螺钉 9 枚(1.4%), 其中凹侧和凸侧椎弓根误判螺钉分别为 0 枚和 9 枚(占凸侧螺钉总数的 2.9%), 旋转为 0 度、I 度、II 度、III 度和 IV 度的椎体误判螺钉分别为 0 枚、2 枚(占 I 度椎体置入螺钉总数的 0.9%)、5 枚(占 II 度椎体置入螺钉总数的 4.6%)、2 枚(占 III 度椎体置入螺钉总数的 3.6%)、0 枚。在评估 C 级螺钉时, 采用十二等分法与采用 CT 平

表 2 十二等分法和传统方法与 CT 平扫评估的 B 级和非 B 级螺钉的对比

Table 2 Comparison of the Rule of Twelve and the traditional method with CT scan for evaluation of the screws of degree B and non-degree B

		CT平扫证实 B 级的螺钉数($n=9$) The number of degree B screws by CT scan				CT平扫证实非 B 级的螺钉数($n=629$) The number of non-degree B screws by CT scan			
		凹侧 Concave		凸侧 Convex		凹侧 Concave		凸侧 Convex	
		十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method
X线片评估 B 级的螺钉数 Degree B screws by X-ray	0度 Degree 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I 度 Degree I	3	1	2	0	0	1	0	1
	II 度 Degree II	1	1	0	0	1	4	0	1
	III 度 Degree III	0	0	1	0	1	7	0	0
	IV 度 Degree IV	0	0	0	0	1	3	0	0
X线片评估非 B 级的螺钉数 Non-degree B screws by X-ray	0度 Degree 0	0	0	0	0	129	129	111	111
	I 度 Degree I	1	3	0	2	100	99	116	115
	II 度 Degree II	0	0	1	1	56	53	48	47
	III 度 Degree III	0	1	0	1	24	17	30	30
	IV 度 Degree IV	0	0	0	0	5	3	7	7

表 3 十二等分法和传统方法与 CT 平扫评估的 C 级和非 C 级螺钉的对比

Table 3 Comparison of the Rule of Twelve and the traditional method with CT scan for evaluation of the screws of degree C and non-degree C

		CT平扫证实 C 级的螺钉数($n=34$) The number of degree C screws by CT scan				CT平扫证实非 C 级的螺钉数($n=604$) The number of non-degree C screws by CT scan			
		凹侧 Concave		凸侧 Convex		凹侧 Concave		凸侧 Convex	
		十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method	十二等分法 Rule of Twelve	传统方法 Traditional method
X线片评估 C 级的螺钉数 Degree C screws by X-ray	0度 Degree 0	3	3	3	3	0	0	0	0
	I 度 Degree I	3	2	11	8	0	0	2	4
	II 度 Degree II	5	4	5	3	0	1	4	3
	III 度 Degree III	2	1	0	0	0	2	1	3
	IV 度 Degree IV	0	0	0	0	0	0	0	0
X线片评估非 C 级的螺钉数 Non-degree C screws by X-ray	0度 Degree 0	0	0	0	0	127	127	105	105
	I 度 Degree I	0	0	0	0	100	100	106	104
	II 度 Degree II	0	1	0	3	53	51	41	42
	III 度 Degree III	0	2	1	3	23	21	29	27
	IV 度 Degree IV	0	1	1	1	6	6	7	7

扫描判断结果的一致性仍显著高于采用传统方法 ($P=0.006$)。

根据诊断试验结果得出,十二等分法与传统方法相比,评估螺钉误置的符合率、敏感性和特异性均升高,其中敏感性升高最为显著,漏诊率和误诊率均降低,其中漏诊率降低更为显著。单评估 B 级和 C 级螺钉,仍有符合率、敏感性和特异性升高,漏诊率和误诊率均降低,其中敏感性和漏诊率改变更为显著(表 4)。

3 讨论

在置入椎弓根螺钉时,应根据相应椎体的解剖结构,选择合适规格的螺钉和进钉点,在一定角度范围内沿椎弓根的长轴穿过狭小的骨性管道。通常椎弓根的直径较窄,对医生螺钉置入技术的要求较高,因此确定椎弓根螺钉的进钉点、置钉方向和置钉深度尤为重要^[1]。椎弓根螺钉误置可能造成术中或术后严重的并发症,螺钉穿破椎弓根内壁增加了神经损伤的风险,穿破椎弓根外壁易

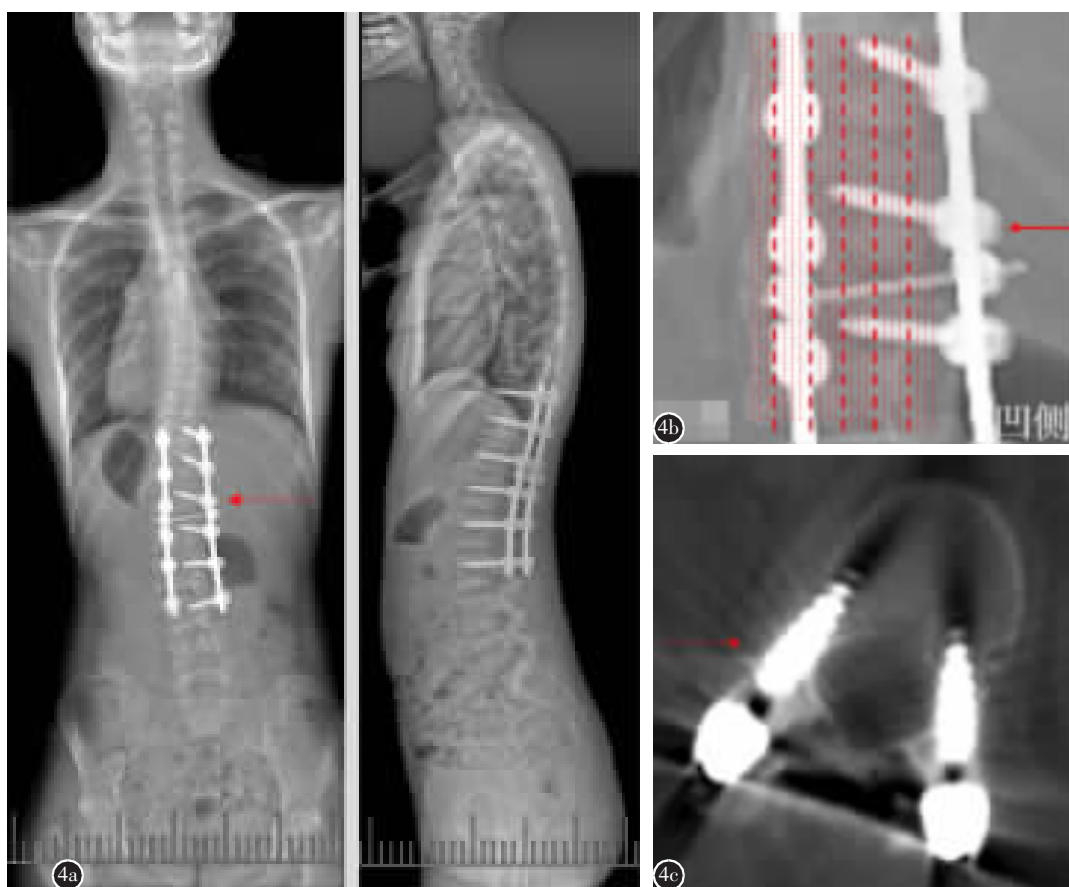


图 4 患者为 15 岁女性,Lenke 5 型 AIS 患者,术前胸腰弯为 48° 的左弯,Risser 征左侧和右侧均为 4 a 患者术后即刻站立位全脊柱正侧位 X 线片,显示患者共置入 12 枚椎弓根螺钉(胸腰弯凹侧和凸侧各 6 枚),融合 T11~L4 b 显示了患者 L1 胸腰弯凹侧椎弓根置入的螺钉,根据 Nash-Moe 法该椎体旋转为 III 度,传统方法认为该螺钉钉尖超越椎体中线,属于 B 级螺钉,而十二等分法认为螺钉钉头在安全范围内(凸侧 9/12 等分线至凸侧 10/12 等分线),属于 A 级螺钉 c 在 CT 平扫上证实为 A 级螺钉

Figure 4 15-year-old female, AIS with Lenke type 5 curve, preoperative cobb angle of left thoracolumbar curve was 48° , Risser sign was 4 on both left and right a According to the standing upright coronal and lateral radiographs immediately after surgery, 12 pedicle screws implanted with fusion (6 screws on the concave and convex side of the thoracolumbar curve respectively), from T11 to L4 b The L1 screw on the concave side of the thoracolumbar curve, which was degree III vertebral rotation according to the Nash-Moe method. It was deemed degree B using the traditional method, because the screw head was over the midline of the vertebra. However, the screw was considered in the pedicle using the Rule of Twelve, because the screw head was still within the safety range(from the 9/12 line on the convex to the 10/12 line on the concave) c The screw was confirmed as degree A on supine CT scans

引起血管或内脏损伤的并发症,当穿破发生在较低腰椎节段常导致螺钉松动,因此,对于破壁较深的螺钉,无论是否有症状,都应早期取出^[13-15]。越来越多的方法被用以协助椎弓根螺钉的准确置入。如术中 C 型臂 X 线机透视、O 型臂 X 线机导航、三维透视导航、术中神经电生理监测、计算机导航等^[16-19],虽然先进的技术手段可以提高椎弓根螺钉的置钉准确性,但同时也存在很多问题,如昂贵的手术费用、放射线的暴露、手术室污染以及增加感染风险等^[13],因此 X 线片仍是评估螺钉置入的主要方法。Gerald 等^[12]首次同时使用 CT 平扫和 X 线片评估螺钉置入以进行对比,他们认为 X 线片不能精确评估螺钉置入情况。Ferrick 等^[15]将螺钉置入到尸体脊柱中,使用 X 线片评估并与解剖学结果进行比较,发现使用 X 线片评估螺钉置入位置的准确率在 73%~83% 之间。Yoo 等^[20]报道用 CT 平扫显示螺钉穿破椎弓根内壁明显优于 X 线片。张家红等^[11]总结了既往评估经验,提出了一套基于 C 型臂 X 线机透视检测置钉的参考标准,提升了评估腰椎侧凸患者的置钉准确性。

上述传统的 X 线片置钉评估方法仅考虑了无旋转或轻度旋转的椎体,因此不适用于存在较大椎体旋转的脊柱畸形患者。1969 年, Nash 和 Moe 等^[21]提出使用凸侧椎弓根相对于椎体宽度的百分比位移来近似于椎体旋转的角度,现已成为临床上最为常用的 X 线片椎体旋转评估方法。本研究基于 Pro ENGINEER Wildfire 5.0 (PTC Inc., Massachusetts, US) 软件构建了一个等比例的椎体模型,并在模型的两侧椎弓根置入两枚椎弓根螺钉,将模型透明化,根据 Nash-Moe 法依次转动椎体,记录椎体在不同旋转程度时椎弓根螺钉钉尖的位置,根据钉尖位置的变化总结规律并首次提出十二等分法。十二等分法保留了传统方法

中参考椎体后上棘椎板的连线与相邻螺钉相比是否有明显偏内或偏外,以及椎体旋转为 0 度时的安全范围,而对椎体旋转 I 度及以上的评估方法进行了改进,在评估之前需记录被评估螺钉相对于侧弯的位置(凹侧或凸侧),并采用 Nash-Moe 法将被评估螺钉所在椎体的旋转分为 0~IV 度。将十二等分法与传统方法进行比较,根据卡方检验和诊断试验结果可知:(1)无论是评估误置还是分别评估 B 级和 C 级,X 线片上使用十二等分法的误判率显著低于传统方法;(2)无论使用十二等分法还是传统方法,凹侧椎弓根置钉 B 级易误判,凸侧椎弓根置钉 C 级易误判;(3)无论使用十二等分法还是传统方法,随着椎体旋转程度增大,误判率有升高的趋势。因此,本研究提出的十二等分法能显著降低椎弓根置钉情况的误判率;评估凹侧椎弓根时应重点关注 B 级螺钉的情况,评估凸侧椎弓根时应重点关注 C 级螺钉的情况;此外,对于旋转越大的椎体越应使用十二等分法谨慎判定钉置情况。

本研究存在一些不足之处:(1)十二等分法仅提出了旋转分度临界点的置钉评估标准,而临界点之间的情况仍需要凭经验估计,且十二等分法在椎体上划分过细,这些都易造成评估的误差;(2)对于旋转较大的椎体(特别是为 IV 度旋转的椎体),正位 X 线片上难以精确评估置钉情况,这是二维图像的固有限制,未来可以考虑结合矢状位 X 线片综合评估;(3)椎体解剖结构的变异、置钉位置的变化、螺钉长度的不同以及椎体在三个维度上的旋转,造成了十二等分法评估的误差;(4)十二等分法较传统评估方法更加繁琐、耗时,且最终仍需要 CT 确诊;(5)本研究样本量偏少,特别是缺少旋转较大椎体的置钉,未来应加大样本量,进一步验证本研究的结果。

表 4 十二等分法和传统方法评估的诊断试验结果

(%)

Table 4 Comparison of the diagnostic tests results from the Rule of Twelve and the traditional method

	分级 Degree	符合率 Concordance rate	敏感性 Sensitivity	漏诊率 Missed diagnosis rate	特异性 Specificity	误诊率 Misdiagnosis rate
十二等分法 Rule of Twelve	B 级 Degree B	99.2	77.8	22.2	99.5	0.5
	C 级 Degree C	98.6	94.1	5.9	98.8	1.2
	B 级+C 级 Degree B and C	97.8	90.7	9.3	98.3	1.7
	B 级 Degree B	96.1	20	80	97.3	2.7
传统方法 Traditional method	C 级 Degree C	96.2	68.6	31.4	97.8	2.2
	B 级+C 级 Degree B and C	92.3	57.8	42.2	94.9	5.1

综上所述,本研究基于 Nash-Moe 法提出了针对不同旋转程度的椎体评估螺钉置入的十二等分法,该方法提高了评估螺钉误置的准确性,弥补了 X 线片提供的二维图像的不足,有利于医生及时对误置的螺钉进行干预。

4 参考文献

1. Kikanloo SR, Tarpada SP, Cho W. Etiology of adolescent idiopathic scoliosis: a literature review[J]. Asian Spine J, 2019, 13(3): 519-526.
2. Weiss HR, Goodall D. The treatment of adolescent idiopathic scoliosis (AIS) according to present evidence. a systematic review[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2008, 44(2): 177-193.
3. Sakai Y, Matsuyama Y, Nakamura H, et al. Segmental pedicle screwing for idiopathic scoliosis using computer-assisted surgery[J]. J Spinal Disord Tech, 2008, 21(3): 181-186.
4. Kim H, Kim HS, Moon ES, et al. Scoliosis imaging: what radiologists should know[J]. Radiographics, 2010, 30(7): 1823-1842.
5. Matsumoto M, Watanabe K, Hosogane N, et al. Updates on surgical treatments for pediatric scoliosis [J]. J Orthop Sci, 2014, 19(1): 6-14.
6. Watanabe K, Lenke LG, Matsumoto M, et al. A novel pedicle channel classification describing osseous anatomy: how many thoracic scoliotic pedicles have cancellous channels?[J]. Spine, 2010, 35(20): 1836-1842.
7. Nakanishi K, Tanaka M, Misawa H, et al. Usefulness of a navigation system in surgery for scoliosis: segmental pedicle screw fixation in the treatment[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2009, 129(9): 1211-1218.
8. Modi H, Suh SW, Song HR, et al. Accuracy of thoracic pedicle screw placement in scoliosis using the ideal pedicle entry point during the freehand technique[J]. Int Orthop, 2009, 33(2): 469-475.
9. 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.
10. Devito DP, Kaplan L, Dietl R, et al. Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with spine assist surgical robot: retrospective study[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(24): 2109-2115.
11. 张家红, 董海, 戴力扬, 等. 与术后 CT 比较评估术中运用 C 型臂 X 线机透视对 34 例腰椎侧凸的椎弓根固定的置钉情况[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2009, 24(3): 239-240.
12. Farber GL, Place HM, Mazur RA, et al. Accuracy of pedicle screw placement in lumbar fusions by plain radiographs and computed tomography[J]. Spine, 1995, 20(13): 1494-1499.
13. 叶斌, 孟祥龙, 刘玉增, 等. 徒手置钉技术在脊柱畸形矫正中的准确性与安全性研究[J]. 脊柱外科杂志, 2014, 12(1): 25-34.
14. Li G, Lv G, Passias P, et al. Complications associated with thoracic pedicle screws in spinal deformity[J]. Eur Spine J, 2010, 19(9): 1576-1584.
15. Ferrick MR, Kowalski JM, Simmons ED Jr. Reliability of roentgenogram evaluation of pedicle screw position[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1997, 22(11): 1249-1253.
16. Verma SK, Singh PK, Agrawal D, et al. O-arm with navigation versus C-arm: a review of screw placement over 3 years at a major trauma center[J]. Br J Neurosurg, 2016, 30(6): 658-661.
17. 夏三强, 邱俊荫, 史本龙, 等. 伴与不伴脊髓空洞的 Chiari 畸形合并脊柱侧凸患儿脊柱矫形术中神经电生理监测的差异性研究[J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(9): 659-663.
18. Tian W, Lang Z. Placement of pedicle screws using three-dimensional fluoroscopy-based navigation in lumbar vertebrae with axial rotation[J]. Eur Spine J, 2010, 19(11): 1928-1935.
19. Hernandez D, Garimella R, Eltorai AEM, et al. Computer-assisted Orthopaedic Surgery[J]. Orthop Surg, 2017, 9(2): 152-158.
20. Yoo JU, Ghanayem A, Petersilge C, et al. Accuracy of using computed tomography to identify pedicle screw placement in cadaveric human lumbar spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1997, 22(22): 2668-2671.
21. Nash CL Jr, Moe JH. A study of vertebral rotation[J]. J Bone Joint Surg Am, 1969, 51(2): 223-229.

(收稿日期:2019-09-20 末次修回日期:2020-04-09)

(英文编审 庄乾宇/谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)