

临床论著

O型臂导航系统辅助胸椎椎弓根螺钉
置入的准确性及学习曲线

钟 军, 温冰涛, 陈仲强

(北京大学国际医院骨科 102206 北京市)

【摘要】目的:探究应用 O 型臂导航系统辅助胸椎椎弓根螺钉置入的准确性及其学习曲线。**方法:**回顾性分析 2015 年 5 月~2018 年 5 月我院行胸椎内固定手术的患者临床资料 109 例,其中男性 49 例,女性 60 例,年龄 53.5 ± 12.3 岁(27~77 岁)。根据是否使用 O 型臂导航系统辅助置钉分为导航组(A 组, $n=66$)和非导航组(B 组, $n=43$),置钉过程由医师 1(具有 3 年脊柱外科手术经验)或医师 2(具有 20 年脊柱外科手术经验)完成。导航组医师 1 完成 35 例(A1 组),医师 2 完成 31 例(A2 组);非导航组医师 1 完成 18 例(B1 组),医师 2 完成 25 例(B2 组)。待引流管拔除后复查胸椎平扫 CT,根据 Neo's 法对术后椎弓根螺钉位置进行分级,统计各组的满意置钉(0 级、1 级螺钉)和螺钉穿透皮质(1 级、2 级、3 级螺钉)的情况。比较各组的满意置钉率和皮质穿透率,并用皮质穿透率衡量同组内不同节段的置钉准确度。记录并比较各组的置钉时间,观察置钉时间随手术例数增加的动态变化,采用线性回归分析的方法探讨置钉时间与手术例数的关系。比较每组内不同阶段置钉时间和皮质穿透率的差异,评价术中应用 O 型臂导航系统的学习曲线。**结果:**共置入胸椎椎弓根螺钉 668 枚,其中,A1 组置入螺钉 222 枚,满意置钉率 97.3%,皮质穿透率 10.8%;A2 组置入螺钉 188 枚,满意置钉率 97.9%,皮质穿透率 10.1%;B1 组置入螺钉 120 枚,满意置钉率 91.7%;皮质穿透率 20.0%;B2 组置入螺钉 138 枚,满意置钉率 97.8%,皮质穿透率 9.4%。B1 组的满意置钉率明显低于其他各组,且皮质穿透率也明显高于其他各组。B1 组在胸椎不同节段(上胸段、中胸段、下胸段)的皮质穿透率存在显著差异(37.5%,28.6%,13.4%, $P=0.02$),而其余 3 组在胸椎不同节段的置钉准确率无统计学差异。B1 组的单枚螺钉置钉时间($4.87\pm 0.34\text{min}$)明显高于其他 3 组($4.38\pm 0.97\text{min}$, $4.40\pm 1.00\text{min}$, $4.18\pm 0.22\text{min}$)。导航组(A 组)的单枚螺钉置钉时间随着术者手术例数的增加而下降,线性回归分析显示 A1 组单枚螺钉置钉时间与手术例数呈显著线性负相关($F=123.3$, $P<0.001$),回归方程:置钉时间= $5.88-0.084\times$ 手术例数, $R^2=0.79$;A2 组可得出相同结果($F=141.6$, $P<0.001$),置钉时间= $6.01-0.10\times$ 手术例数, $R^2=0.83$)。A1 组的 1~10 例、11~20 例、21~30 例手术的皮质穿透率无统计学差异($P=0.97$);同样,A2 组上述 3 个阶段的皮质穿透率也无统计学差异($P=0.96$)。**结论:**应用 O 型臂术中导航辅助胸椎椎弓根螺钉置入可以显著提高低年资医师的置钉准确率,增加手术安全性。随着手术例数增加 O 型臂导航下置钉时间显著下降;不同年资医师首次使用 O 型臂导航均能取得较高并且稳定的置钉准确度。

【关键词】 胸椎椎弓根螺钉置入;O 型臂导航系统;学习曲线

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2021.03.06

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2021)-03-0230-08

The accuracy and learning curve of pedicle screw placement by using O-arm navigation in thoracic spine/ZHONG Jun, WEN Bingtao, CHEN Zhongqiang//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2021, 31(3): 230-237

【Abstract】 Objectives: This study aimed to evaluate the accuracy and learning curve of pedicle screw placement by using O-arm navigation versus C-arm guidance in thoracic spine. **Methods:** Retrospective analysis was performed on 109 cases of thoracic spine surgery performed by Peking University International Hospital from May 2015 to May 2018, including 49 males and 60 females. The age ranged from 27 to 77 years old, with an average age of 53.5 ± 12.3 years. These cases were divided into navigation group(group A, $n=66$) and non-navigation group(group B, $n=43$) according to whether used of O-arm navigation. 35 cases of group A

第一作者简介:男(1986-),博士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(010)69006283 E-mail:zhongjunpk@163.com

通讯作者:温冰涛 E-mail:wenbingtao@pkuih.edu.cn

were completed by doctor 1 who had 3 years of experience in spinal surgery (group A1); 31 of group A were completed by doctor 2 who had 20 years of experience (group A2). On the other hand, 18 of group B were completed by doctor 1 (group B1) and 25 of group B were completed by doctor 2 (group B2). Postoperative pedicle screw position was graded according to Neo's method, and satisfactory screw placement (grade 0 +1 screws) and screw penetration into the cortex (non-grade 0 screws) in each group were compared. The cortical perforation rate at different segment in the same group were compared. The screwsetting time of each group were recorded. Linear regression analysis was used to investigate the relationship between the screw setting time and operation numbers, and compare the difference of screw settingtime and cortical perforation rate in different stages, thus, to analyze the learning curves of O-arm navigation in thoracic spine. **Results:** A total of 668 thoracic pedicle screws were inserted in the 4 groups, of which 222 were inserted in group A1, with a satisfactory rate of 97.3% and a cortical perforation rate of 10.8%. In group A2, 188 screws were inserted, the satisfactory rate was 97.9%, and the cortical perforation rate was 10.1%. In group B1, 120 screws were inserted, with a satisfactory rate of 91.7%, and cortical perforation rate 20.0%. In group B2, 138 screws were inserted, with a satisfactory rate of 97.8%, and cortical perforation rate of 9.4%. The satisfactory rate of group B1 was significantly lower than the other groups, and the cortical perforation rate was also significantly higher than the other groups. Besides, there is significant difference of cortical perforation rates in different segments in thoracic pedicle in group B1(37.5%, 28.6%, 13.4%, $P=0.02$), and there is no significant difference in other 3 groups(A1/A2/B2). The setting time for each screw of group B1($4.87\pm0.34\text{min}$) was significantly higher than the other respectively ($4.38\pm0.97\text{min}$, $4.40\pm1.00\text{min}$, $4.18\pm0.22\text{min}$). The setting time for each screw in the navigation group (A1, A2) decreased significantly with the increase of the number of surgical cases. Linear regression analysis showed that there was a significant negative linear correlation between the setting time and the number of surgical cases in group A1($F=123.3$, $P<0.001$), the setting time = $5.88-0.084\times\text{number of cases}$, $R^2=0.79$). There was a same result in group A2 ($F=141.6$, $P<0.001$, the setting time = $6.01-0.10\times\text{number of cases}$, $R^2=0.83$). Cortical perforationrates in the first 10, 11–20, and 21–30 cases of A1 group were not statistically significant($P=0.97$), and the same results were found in the A2 group($P=0.96$). **Conclusions:** The O-arm navigation assisted thoracicpedicle screw can significantly improve the accuracy of pedicle screw in young surgeon, which increased the safety of the operation. The screw setting time decreased significantly with the increase of the number of surgical cases, and early application of O-arm by surgeons at different seniority showed a high accuracy of screw placement.

【Key words】 Thoracic spine pedicle screw; O-arm intraoperative navigation; Learning curve

【Author's address】 Department of orthopedics, International Hospital of Peking University, Beijing, 102206, China

胸椎椎弓根螺钉在胸椎退行性疾病、胸椎骨折、胸椎肿瘤等的治疗中应用得比较普遍。与腰椎相比,胸椎椎弓根直径更小,因此胸椎椎弓根螺钉置入操作难度更大。同时,胸椎毗邻脊髓和腹主动脉,一旦置钉位置不佳突破骨皮质,可能造成严重的脊髓和血管损伤^[1]。传统的术中 C 型臂 X 线机透视虽然能在一定程度上指导医师的置钉操作,但二维图像的偏差以及非实时监控的特点导致胸椎置钉仍然主要依靠医师的临床经验,初学者掌握这项技术需要较长的学习时间。近 10 年来,O 型臂导航系统被逐渐应用于脊柱外科,该系统能提供清晰的三维图像并对置钉过程实时监控,可以有效地提高置钉准确率。Liu 等^[2]比较了应用 O

型臂导航系统和 C 型臂 X 线机辅助置钉治疗胸椎骨折,发现 O 型臂导航系统的置钉准确率(96.6%)明显要高于 C 型臂 X 线机的置钉准确率(90.4%)。目前,我国越来越多的医院拥有了导航系统并开始尝试使用,那么对于初学者,关于导航系统的安全性以及学习曲线相关文献的报道比较欠缺。我院自 2015 年起开始使用该导航系统辅助脊柱外科手术,现回顾性分析利用 O 型臂导航系统辅助胸椎椎弓根螺钉置入的准确性,研究使用该系统的学习曲线。

1 资料和方法

1.1 纳入及排除标准

纳入标准:(1)由于各种退行性原因导致的胸椎管狭窄症,包括黄韧带骨化(ossification of ligamentum flavum,OLF)、后纵韧带骨化(ossification of posterior longitudinal ligament,OPLL)、胸椎间盘突出(thoracic disc herniation,TDH)等需要行手术治疗者;(2)胸椎骨折需要行切开复位内固定手术者;(3)手术过程中需要胸椎椎弓根螺钉置入,置钉过程中使用 C 型臂 X 线机透视或者 O 型臂导航系统。

排除标准:(1)合并胸椎先天性或后天畸形患者,如先天性胸椎侧凸、强直性脊柱炎、脊柱结核继发的脊柱后凸等;(2)合并胸椎感染性疾病;(3)原发性或转移性胸椎肿瘤病史;(4)既往有胸椎手术史。

1.2 一般资料

根据纳入标准和排除标准,北京大学国际医院 2015 年 5 月~2019 年 1 月共有 109 例患者纳入本研究。根据是否使用了 O 型臂导航系统辅助置钉分为导航组(A 组)和非导航组(B 组),其中导航组 66 例,男性 31 例,女性 35 例,平均年龄 53.9 ± 13.0 岁;病因学分类黄韧带骨化 40 例,后纵韧带骨化 16 例,骨折 6 例,椎间盘突出 4 例。非导航组 43 例,男性 18 例,女性 25 例,平均年龄 53.0 ± 11.3 岁。病因学分类黄韧带骨化 25 例,后纵韧带骨化 14 例,骨折 4 例。两组患者性别、年龄、病因、椎弓根钉分布等一般资料均无统计学差异($P > 0.05$,表 1)。置钉过程由具有 3 年脊柱外科手术经验的医师 1 或具有 20 年脊柱外科手术经验的医师 2 完成。导航组内医师 1 完成 35 例(A1 组),医师 2 完成 31 例(A2 组);非导航组内医师 1 完成 18 例(B1 组),医师 2 完成 25 例(B2 组)。

1.3 手术方法

全身麻醉后俯卧位于碳纤维手术床。采用后路正中切口显露胸椎棘突、双侧椎板至椎板横突折返处。(1)导航组使用 O 型臂导航辅助置钉:使用美国美敦力公司的 O 型臂术中影像系统和 Stealth Station 手术导航系统,扫描参数设置为(200mAs,80kV)。参考架固定于置钉椎体头端相邻椎体棘突上。利用 O 型臂二维透视模式确定扫描部位后行三维扫描获取胸椎三维数据并传入 Stealth Station 手术导航系统。注册导航工具,随后使用导航探针根据解剖位置验证导航数据的准确性,这里一般选取棘突为验证点。根据导航提供

的实时图像选取进钉点、进钉方向,咬骨钳咬破进钉点皮质骨,导航开路锥钻出骨道,再次使用导航探针确定骨道四壁均完整后直接置入合适长度的椎弓根钉。(2)非导航组则采用传统 C 型臂 X 线机透视辅助置钉:先根据解剖位置和临床经验选取进针点及进针角度,咬骨钳咬破皮质骨,开路锥钻出骨道后放置定位针,C 型臂 X 线机透视检查定位针位置良好后置入合适的椎弓根钉,再次 C 型臂 X 线机透视确定螺钉位置。

1.4 观察指标

术后待拔除引流管后行胸椎 CT 检查评估椎弓根螺钉的位置。按照 Neo's 的方法进行评价^[3]:0 级,椎弓根螺钉未突破椎弓根皮质;1 级,螺钉突破椎弓根皮质但不超过 2mm;2 级,螺钉穿破椎弓根皮质大于 2mm 但不超过 4mm;3 级,螺钉穿破椎弓根皮质且超过 4mm。其中 0 级和 1 级认定为满意置钉。满意置钉率=(0 级螺钉数+1 级螺钉数)/总螺钉数 $\times 100\%$,皮质穿透率=(1 级螺钉数+2 级螺钉数+3 级螺钉数)/总螺钉数 $\times 100\%$ 。比较不同组之间满意置钉率和皮质穿透率的差异以及同组内不同节段的皮质穿透率差异,用以分析置钉准确率。

表 1 患者一般资料比较

Table 1 Comparison of patient characteristics and etiology

	A组 Group A	B组 Group B	P值 P value
性别 Gender			0.60
男 Male	31	18	
女 Female	35	25	
年龄 Age	53.9 ± 13.0	53.0 ± 11.3	0.72
病因 Etiology			0.39
OLF	40	25	
OPLL	16	14	
TDH	4	0	
骨折 Fracture	6	4	
椎弓根钉分布 Location of pedicle screw			0.07
上胸段 Upper thoracic	88	68	
中胸段 Middle thoracic	80	34	
下胸段 Lower thoracic	242	156	

注:OLF,黄韧带骨化;OPLL,后纵韧带骨化;TDH,胸椎间盘突出

Note: OLF, ossification of ligamentum flavum; OPLL, ossification of posterior longitudinal ligament; TDH, thoracic disc herniation

分别记录各组病例的置钉总时间:以椎板剥离结束为起始时间点,导航组以置完最后一枚螺钉为结束时间,非导航组以完成最后一次 C 型臂 X 线机透视为结束时间。故单枚螺钉置钉时间=置钉总时间/螺钉数。观察置钉时间随手术例数增加的动态变化,采用线性回归分析的方法探讨置钉时间与手术例数的关系。比较每组内不同阶段置钉时间和皮质穿透率的差异,评价术中应用 O 型臂导航系统的学习曲线。

1.5 统计分析

采用 SPSS 19.0(SPSS 公司,美国)统计软件进行统计学分析,计量资料(年龄、置钉总时间、单枚螺钉置钉时间)以平均值 $\pm$ 标准差表示。两组比较时对于连续变量采用独立样本 t 检验,分类变量采用 Pearson 卡方分析。利用线性回归分析各组置钉时间与手术时间关系;同组内不同阶段置钉时间比较采用配对样本 t 检验。

2 结果

2.1 置钉准确率

所有患者均顺利完成手术并获得术后 CT 资料。4 组病例共置入螺钉 668 枚。其中,A1 组共置入螺钉 222 枚,满意置钉率 97.3%,皮质穿透率 10.8%;A2 组置入螺钉 188 枚,满意置钉率 97.9%,皮质穿透率 10.1%;B1 组置入螺钉 120 枚,满意置钉率 91.7%;皮质穿透率 20.0%;B2 组置入螺钉 138 枚,满意置钉率 97.8%,皮质穿透率 9.4%(表 2)。导航组内,低年资医师(A1 组)与高年资医师(A2 组)的满意置钉率($P=0.81$)和皮质穿透率($P=0.76$)无明显差异;非导航组内高年资医师的置钉满意率明显高于低年资医师($P=0.02$),皮质穿透率也明显更低($P=0.02$)。此外,对于低年资医师,使用导航可以明显提高满意置钉率($P=0.02$),降低皮质穿透率($P=0.02$);而针对高年资医师,两者并无显著差异($P=0.84$)。

探讨胸椎不同节段的置钉准确率:根据椎弓根螺钉位置分别将 4 组分为上胸椎(T1~T4)、中胸椎(T5~T8)和下胸椎(T9~L1)置钉组,选取皮质穿透率为评价指标(表 3)。采用 Pearson 卡方检验,发现 B1 组在胸椎不同节段的置钉准确率存在显著差异($P=0.02$)。而其余 3 组(A1、A2、B2 组)在胸椎不同节段的置钉准确率无统计学差异。

2.2 置钉时间

A1、A2、B1、B2 组的单枚螺钉置钉时间分别为 $4.38 \pm 0.97\text{min}$ 、 $4.40 \pm 1.00\text{min}$ 、 $4.87 \pm 0.34\text{min}$ 、 $4.18 \pm 0.22\text{min}$ 。其中,B1 组的单枚螺钉置钉时间明显高于 A1、A2、B2 组($P<0.05$)。B2 组的单枚螺钉置钉时间与 A2 组相比无统计学差异($P=0.25$)。A1 组和 A2 组的单枚螺钉置钉时间也无统计学差异($P=0.94$)。

2.3 学习曲线

A1 组的单枚螺钉置钉时间随着术者手术例数的增加而下降,线性回归分析显示 A1 组单枚螺钉置钉时间与手术例数呈显著线性负相关($F=123.3, P<0.001$),回归方程:置钉时间= $5.88-0.084 \times$ 手术例数, $R^2=0.79$ (图 1);A2 组可得出相同结果($F=141.6, P<0.001$,置钉时间= $6.01-0.10 \times$ 手术例数)(图 2)。而 B1 和 B2 组的单枚螺钉置钉时间与手术例数均不存在线性关系。导航组(A 组)前 15 例手术的单枚螺钉置钉时间无统计学差异($P=0.67$);随后 15 例手术的单枚螺钉置钉时间,也无统计学差异($P=0.24$)。由此可见,在学习速度上高年资医师和低年资医师并无差异。然而,对于同一术者,A1 组前 15 例手术的单枚螺钉置钉之间明显高于后 15 例手术($P<0.001$),A2 组也可得出类似的结果($P<0.001$,表 4)。

评价导航组内不同阶段的置钉准确度,选取皮质穿透率为评价指标。A1 组的 1~10 例、11~20 例、21~30 例手术的皮质穿透率分别为 10.2%、11.8%、11.1%,Pearson 卡方检验显示无统计学差异($P=0.97$);同样,A2 组上述 3 个阶段的皮质穿

表 2 术后各组螺钉分级情况

Table 2 Summary of classification results of each group

组别 Group	螺钉数 Number of screws	Neo's 分级 Neo's classification				满意率 (%) Satisfaction rate	皮质穿透率 (%) Perforation rate
		0	1	2	3		
A1	222	198	18	6	0	97.30	10.80
A2	188	169	15	4	0	97.90	10.10
B1	120	96	14	10	0	91.70	20.00
B2	138	125	10	3	0	97.80	9.40

注:置钉满意率统计结果,A1 vs A2 $P=0.81$,B1 vs B2 $P=0.02$,A1 vs B1 $P=0.02$,A2 vs B2 $P=1.00$;皮质穿透率统计结果,A1 vs A2 $P=0.76$,B1 vs B2 $P=0.02$,A1 vs B1 $P=0.02$,A2 vs B2 $P=0.84$

Note: Statistical results of satisfaction rate, A1 vs A2 $P=0.81$, B1 vs B2 $P=0.02$, A1 vs B1 $P=0.02$, A2 vs B2 $P=1.00$; Statistical results of perforation rate, A1 vs A2 $P=0.76$, B1 vs B2 $P=0.02$, A1 vs B1 $P=0.02$, A2 vs B2 $P=0.84$

透率也无显著性差异 (11.5%、11.5%、10.0%, $P=0.96$)。由此可见,无论是低年资医师(A1 组),还是高年资医师(A2),应用 O 型臂导航系统辅助胸椎椎弓根置钉的置钉准确率都非常稳定。与此同时,即使是初次接触该技术,置钉准确度也比较高(图 3)。

3 讨论

自 Suk 等^[4]首次应用胸椎椎弓根螺钉治疗青少年特发性侧凸以来,椎弓根钉强大的固定能力被越来越多脊柱外科医师应用。与腰椎相比,更细

的椎弓根直径增加了置钉难度;同时胸椎毗邻脊髓,置钉失败的后果更加严重。传统的置钉技术主要通过解剖结构确定进钉位置及角度,这需要十分丰富的临床经验,置钉失败率约 6.2%~34%^[5]。随后,又有学者提出了“漏斗技术”^[6,7]、“球探技术”^[8]、“椎弓根-肋骨间”^[9,10]等改良方法一定程度提高了置钉的准确率,但失败率仍 6%~15%不等。本研究中也发现低年资医师(B1 组)利用传统方法置钉的准确率明显低于高年资医师(B2 组),置钉时间也更长,因此,胸椎椎弓根螺钉技术对低年资医师并不友好,需要较长的学习时间。

表 3 术后不同胸椎节段螺钉分级情况
Table 3 Classification of screws in different thoracic spine segments

位置 Location	螺钉数 Number of screws	Neo's 分级 Neo's classification				皮质穿破率(%) Perforation rate	P 值 P value
		0	1	2	3		
A1	上胸段 Upper	28	25	2	1	0	0.63
	中胸段 Middle	48	41	5	2	0	
	下胸段 Lower	146	132	11	3	0	
A2	上胸段 Upper	60	54	5	1	0	0.69
	中胸段 Middle	32	29	2	1	0	
	下胸段 Lower	96	86	8	2	0	
B1	上胸段 Upper	24	15	5	4	0	0.02
	中胸段 Middle	14	10	2	2	0	
	下胸段 Lower	82	71	7	4	0	
B2	上胸段 Upper	44	40	3	1	0	0.84
	中胸段 Middle	20	18	1	1	0	
	下胸段 Lower	74	67	6	1	0	

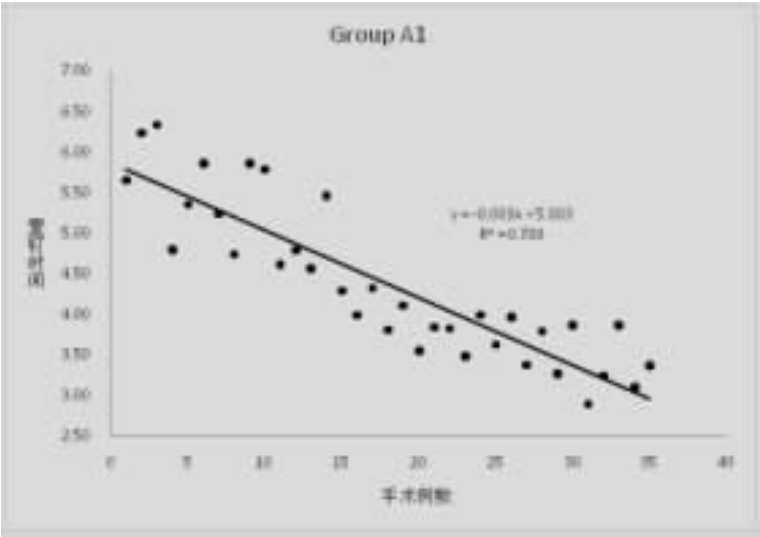


图 1 A1 组置钉时间-手术例数线性回归分析趋势图
Figure 1 The tendency chart and linear-regression analysis between screw setting time and operation numbers

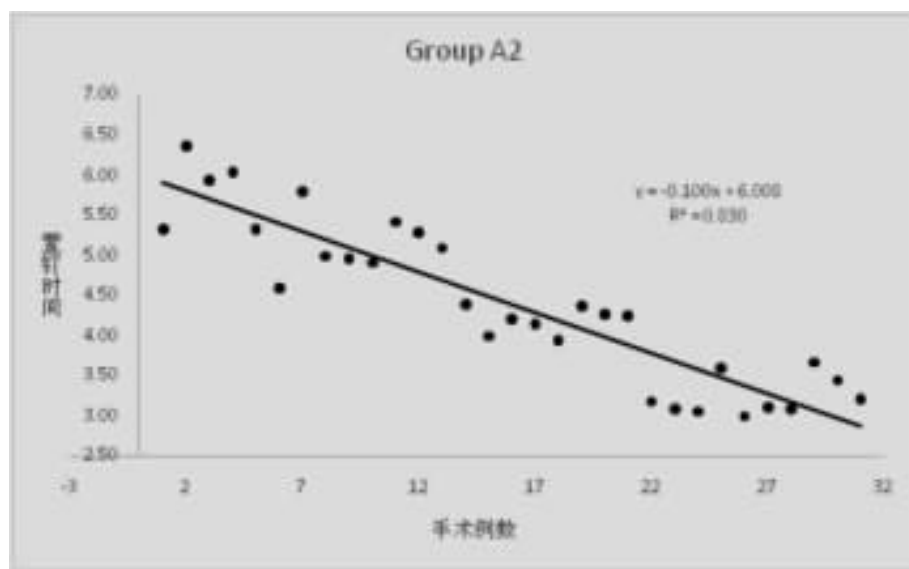


图 2 A2 组置钉时间-手术例数线性回归分析趋势图

Figure 2 The tendency chart and linear-regression analysis between screw setting time and operation numbers

表 4 导航组内不同阶段单枚螺钉置钉时间比较

Table 4 The comparison of each screw setting time at different stage in navigation group

	前 15 例手术 The first 15 operations	后 15 例手术 Following 15 operations
A1	5.32±0.65	3.79±0.28 ^①
A2	5.24±0.64 ^②	3.63±0.53 ^②

注:①与前 15 例手术相比 $P < 0.001$; ②与 A1 组相比 $P > 0.05$

Note: ①Compared with the initial 15 cases, $P < 0.001$; ②Compared with the A1 group respectively, $P > 0.05$

3.1 置钉准确率

近年来, 计算机辅助导航技术被越来越多应用于脊柱外科领域。大量研究证实计算机导航系统辅助置钉可以有效提高置钉准确率^[11-13]。O 型臂导航系统作为最新一代导航系统, 相比于前几代导航省去了术前 CT 注册、导入等繁琐操作, 拥有操作简单、学习难度低的特点。Zhao 等^[14]比较了应用 O 型臂导航系统和 C 型臂 X 线机辅助胸椎矫形手术, 发现 O 型臂导航系统可以显著降低椎弓根皮质穿透率 (12.2% vs 18.4%)。Scheufler^[15]、Tajsic 等^[16]也得出了类似的结论; 然而, Shin 等^[13]的研究则发现 O 型臂导航系统和 C 型臂 X 线机辅助置钉两者的准确率没有差异。此外, 胸椎不同部位的置钉难度也不一致, 上胸椎由于椎弓根直径更细, 因此要求精准度也更高。本研究, 非导航组的高年资医师由于拥有较为丰富的手术经验, 因此皮质突破率 (9.4%) 较低, 而且不同部位

的置钉准确率也基本一致, 比较平稳。然而, 相比之下年轻医师采用传统方法进行上胸段置钉的皮质突破率高达 37.5%, 远高于其下胸段的皮质突破率 (13.4%)。这种置钉准确度的巨大波动和不确定性很大程度地增加了医源性神经损伤的风险; 与此同时, 出于对手术风险的担忧, 让不少年轻医师不敢进行上胸椎置钉, 进入了一个“不会-不敢-不会”的恶性循环。而术中导航技术的出现有效地打破了这种恶性循环。本研究中年轻医师利用 O 型臂导航系统显著地提高了置钉准确率, 并且导航下不同部位的置钉准确率并无显著差异。此外, 导航情况下不同年资医师置钉准确度没有明显差异, 均高于年轻医生传统置钉准确率。由此可见, O 型臂导航系统的使用可以有效地弥补年轻医师手术经验上的不足, 更有利于年轻医师的培养和成长。

而对于高年资医师, 使用 O 型臂导航系统并不能提高其置钉准确率, 这与 Shin 等^[13]的研究结果一致。我们认为这与本研究所选取的病例有关。由于是初次使用 O 型臂导航系统进行胸椎椎弓根置钉, 因此本研究选取的病例均不存在脊柱畸形、椎弓根变异等困难置钉的情况, 而是选取了解剖结构正常的胸椎进行操作, 而对于这一类“简单”的胸椎置钉, 丰富的手术经验就已经让高年资医师的置钉准确率达到了一个比较高的水平。因此, 当一位医师熟练掌握胸椎椎弓根徒手置钉技

术以后,使用 O 型臂导航系统所带来的收益就及其有限了,反而会增加患者的经济负担。我们需要结合术者自身的技术水平以及患者的实际情况合理选择是否需要应用 O 型臂导航系统辅助置钉。我们认为 O 型臂导航系统在处理困难置钉(脊柱畸形、儿童手术)上优势更为突出,而对于解剖结构正常的胸椎置钉,医生的临床经验即能满足准确度的要求。

3.2 置钉时间

关于置钉时间的研究,不同学者意见并不统一。Shin 等^[13]认为 O 型臂导航系统的使用额外增加了置钉时间,而 Liu 等^[14]则认为利用 O 型臂导航系统置钉时间更短。本研究发现青年医师应用导航辅助置钉比传统手段置钉的时间明显更短,而对于高年资医师导航组与非导航组之间并无差异,这主要归功于高年资医师的手术经验。此外,导航组内不同年资的医师的置钉时间无明显差异。由此可见,使用导航或者更多的手术经验均可以提高置钉效率,缩短手术时间。因此,无论是在置钉准确率,还是在置钉效率上,O 型臂导航系统的应用都可以缩小低年资医师与高年资医师手术技术的差异,提高年轻医师早期胸椎手术的安全性。

3.3 学习曲线

关于 O 型臂导航系统的学习曲线相关的研究文献较少。本研究发现,无论是低年资医师,还是高年资医师,手术例数的增加都会使置钉时间

迅速下降,同一时期两者的置钉时间并无差异,因此在学习速度上高年资医师和低年资医师并无差异。利用导航,不同年资的医师经过约 15 例手术的“学习期”后,置钉速度均能达到高年资医师传统置钉的水平。因此,O 型臂导航系统的学习时间较短。此外,本研究还发现,即使是在学习该技术的早期(1~10 例),应用 O 型臂导航系统辅助手术的置钉准确度也比较高,这大大增加了学习该项技术的安全性,也反映出 O 型臂导航系统较简单,容易被掌握。但是,必须强调的是,O 型臂导航系统在实际使用中,仍是有一些操作细节需要注意:(1)参考架的放置非常关键,整个导航过程中务必保证参考架的位置绝对不变,一旦变动则会导致导航失败。对于胸椎手术,棘突上是比较理想的参考架固定位置,同时在置钉过程中尽量避免术者或者手术器械碰触参考架。(2)对于长节段脊柱手术,单次扫描可能无法完全涵盖所有椎体,一次扫描包含 4 个椎体比较理想,尽量不要超过 5 个椎体。(3)放射暴露是需要考虑的一个问题。对患者而言,可以通过降低扫描参数来降低辐射,三维扫描前精确定位避免重复扫描是关键。对于医护人员,需要有效的距离防护和隔离防护。我们还发现虽然 O 臂一次扫描的时间只有 13s,但手术室可检测到放射性持续时间达到 18s,因此建议扫描结束后至少等待 5s 后再离开铅墙。

综上所述,应用 O 型臂导航系统术中导航辅助胸椎椎弓根螺钉置入可以显著提高低年资脊柱

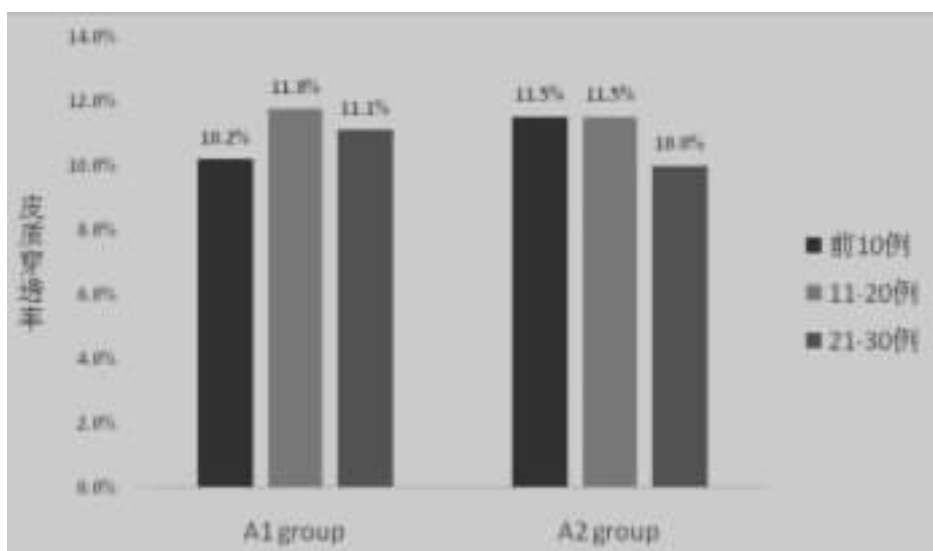


图3 导航组不同阶段皮质穿透率比较

Figure 3 The comparison of cortical perforation rates at different stages in navigation group

外科医师的置钉准确率,增加手术安全性。随着手术例数增加,O 型臂导航系统辅助下置钉时间显著下降;即使是低年资医师,早期应用 O 型臂导航系统辅助手术的置钉准确度也较高,因此 O 型臂导航系统术中导航学习时间短,容易被掌握。

4 参考文献

1. Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Balderston RA, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: an anatomical and radiographic assessment[J]. J Bone Joint Surg Am, 1995, 77(8): 1200-1206.
2. Liu H, Wang YM, Pi B, et al. Comparison of intraoperative O-arm- and conventional fluoroscopy (C-arm)-assisted insertion of pedicle screws in the treatment of fracture of thoracic vertebrae[J]. J Orthop Surg, 2017, 25(1): 1-6.
3. Neo M, Sakamoto T, Fujibayashi S, et al. The clinical risk of vertebral artery injury from cervical pedicle screws inserted in degenerative vertebrae[J]. Spine, 2005, 30(24): 2800-2805.
4. Suk S, Lee C, Kim W, et al. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis[J]. Spine, 1995, 20(12): 1399-1405.
5. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine is it safe [J]. Spine, 2004, 29(3): 333-342.
6. Wicham Y, Eldin K, Robert WG. The accuracy of pedicle screw placement in the thoracic spine using the "funnel technique". part 1. a cadaveric study[J]. Spine, 2003, 15(6): 445-449.
7. Michael V, Bus T, Sakarin W, et al. Thoracic pedicle screw instrumentation using the "funnel technique". Part 2. Clinical experience[J]. Spine, 2003, 15(6): 450-453.
8. Watanabe K, Matsumoto M, Tsuji T, et al. Ball tip technique for thoracic pedicle screw placement in patients with adolescent idiopathic scoliosis[J]. Neurosurg Spine, 2010, 13(2): 246-252.
9. Husted DS, Yue JJ, Fairchild TA, et al. An extrapedicular approach to the placement of screws in the thoracic spine: an anatomic and radiographic assessment[J]. Spine, 2003, 28(20): 2324-2330.
10. 韦兴, 侯树勋, 史亚民, 等. 胸椎经“椎弓根-肋骨间”螺钉与椎弓根螺钉固定的抗拔出比较 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 26(8): 623-625.
11. Xiao R, Miller JA, Sabharwal NC, et al. Clinical outcomes following spinal fusion using an intraoperative computed tomographic 3D imaging system[J]. J Neurosurg Spine, 2017, 26(5): 628-637.
12. Jin M, Liu Z, Liu X, et al. Does intraoperative navigation improve the accuracy of pedicle screw placement in the apical region of dystrophic scoliosis secondary to neurofibromatosis type I: comparison between O-arm navigation and free-hand technique[J]. Eur Spine J, 2016, 25(6): 1729-1737.
13. Shin MH, Hur JW, Ryu KS, et al. Prospective comparison study between the fluoroscopy-guided and navigation coupled with O-arm-guided pedicle screw placement in the thoracic and lumbosacral spines[J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(6): E347-351.
14. Zhao Z, Liu Z, Hu Z, et al. Improved accuracy of screw implantation could decrease the incidence of post-operative hydrothorax? O-arm navigation vs. free-hand in thoracic spinal deformity correction surgery[J]. Int Orthop, 2018, 42(9): 2141-2146.
15. Scheufler KM, Franke J, Eckardt A, et al. Accuracy of image-guided pedicle screw placement using intraoperative computed tomography-based navigation with automated referencing. Part II: thoracolumbar spine[J]. Neurosurgery, 2011, 69(6): 1307-1316.
16. Tajsic T, Patel K, Farmer R, et al. Spinal navigation for minimally invasive thoracic and lumbosacral spine fixation: implications for radiation exposure, operative time, and accuracy of pedicle screw placement[J]. Eur Spine J, 2018, 27(8): 1918-1924.
17. Su AW, Luo TD, McIntosh AL, et al. Switching to a pediatric dose O-arm protocol in spine surgery significantly reduced patient radiation exposure[J]. J Pediatr Orthop, 2015, 36(6): 621-626.

(收稿日期:2020-08-27 修回日期:2020-12-07)

(英文编审 庄乾宇/谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)