

O型臂联合 CT 三维导航系统辅助颈椎椎弓根螺钉置入的准确性研究

凌宸^{1,2}, 刘臻^{1,2}, 毛赛虎², 邱俊荫², 胡宗杉², 许彦劼², 阿布都哈卡尔·克拉木²,

钱至恺^{1,2}, 汤子洋^{1,2}, 朱泽章^{1,2}, 邱勇^{1,2}

(1 南京医科大学鼓楼临床医学院骨科 210008 南京市; 2 南京大学医学院附属鼓楼医院骨科 210008 南京市)

【摘要】目的:探讨 O 型臂联合 CT 三维导航系统辅助颈椎椎弓根螺钉置入的准确性,并与侧块螺钉置入进行比较。**方法:**回顾性分析 2017 年 3 月~2021 年 2 月在我院分别使用 O 型臂联合 CT 三维导航系统辅助置入椎弓根螺钉与徒手置入侧块螺钉行颈椎后路内固定术的 54 例患者,其中男 44 例,女 10 例,年龄 42~79 岁(58.3±9.3 岁)。根据置钉种类不同分组:A 组通过 O 型臂联合 CT 三维导航系统置入 C3~C7 椎弓根螺钉,B 组 C3~C6 徒手置入侧块螺钉,C7 徒手置入椎弓根螺钉。两组间性别、年龄无统计学差异($P>0.05$)。记录并比较两组术中出血量、手术时间及围手术期并发症(颈后路血肿、严重伤口感染、血管神经损伤、螺钉拔出等)情况,在拔除引流管后行颈椎 CT 平扫,根据椎弓根螺钉穿破椎弓根皮质的程度,将置钉准确性分为 4 级:螺钉完全位于椎弓根内无骨皮质的穿破为 0 级;螺钉穿破皮质 $<2\text{mm}$,或小于螺钉直径的 50%为 1 级;螺钉穿破皮质 $\geq 2\text{mm}$ 且 $<4\text{mm}$ 或大于直径的 50%为 2 级;螺钉穿破皮质 $\geq 4\text{mm}$ 或螺钉完全穿破皮质进入椎管内或椎动脉孔内为 3 级。根据侧块螺钉穿破椎体侧块的程度,参照上述分级标准记录侧块螺钉置钉精确性。将 0、1 级评价为螺钉位置满意,2、3 级评价为螺钉误置,计算误置率(误置螺钉数/置钉总数 $\times 100\%$)。统计两组螺钉置入情况,比较两组 C7 椎弓根螺钉置钉准确性。**结果:**两组的手术时间($251\pm 59\text{min}$ 和 $235\pm 56\text{min}$)及术中出血量($521\pm 200\text{ml}$ 和 $448\pm 213\text{ml}$)差异无统计学意义($P>0.05$)。A 组共置入椎弓根螺钉 247 枚,其中螺钉位置满意 239 枚,螺钉误置 8 枚,误置率 3.2%。B 组共置入螺钉 209 枚,其中椎弓根螺钉 52 枚,螺钉位置满意 50 枚,螺钉误置 2 枚,误置率 3.8%;置入侧块螺钉(C3~C6)157 枚,螺钉位置满意 144 枚,螺钉误置 3 枚,误置率 1.9%;A、B 两组 C7 椎弓根螺钉置钉准确性无统计学差异($P>0.05$)。两组均无与置钉相关的血管、神经并发症,均未出现严重伤口感染、医源性神经血管损伤、颈后路血肿、螺钉拔出等围手术期并发症。**结论:**O 型臂联合 CT 三维导航系统安全有效置入颈椎椎弓根螺钉,置钉准确性高,与传统侧块螺钉固定相比,并未显著延长手术时间、增加术中出血量或围手术期螺钉相关并发症。

【关键词】 O 型臂导航系统;椎弓根螺钉;侧块螺钉;置钉准确性

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.03.03

中图分类号:R687.3 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-03-0207-07

Accuracy study of cervical pedicle screw placement assisted by O-arm combined with CT 3D navigation system/LING Chen, LIU Zhen, MAO Saihu, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(3): 207-213

【Abstract】 Objectives: To investigate the accuracy of cervical pedicle screw placement assisted by O-arm combined with CT 3D navigation system, and to compare with lateral mass screw fixation. **Methods:** 54 patients who underwent posterior cervical fixation in our hospital from March 2017 to February 2021 were included in this study, which included 44 males and 10 females, aged 42-79 years(58.3±9.3 years). They were divided into two groups: O-arm navigation assisted C3-C7 pedicle screw placement group(group A) and free-hand C3-C6 lateral mass screw placement and C7 pedicle screw placement group (group B). There were no significant differences in gender and age between the two groups($P>0.05$). The amount of intraoperative blood

基金项目:南京市十三五青年人才第三人次(QRX17126);国家自然科学基金(82072518)

第一作者简介:男(1997-),住院医师,硕士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(025)83304616 E-mail:lingchen_218@163.com

通讯作者:朱泽章 E-mail:zhuzezhang@126.com

loss, operative time and perioperative complications (posterior cervical hematoma, severe infection, vascular and nerve injury, etc.) were compared between the two groups. Plain CT scan was performed after removal of drainage tube, and according to the penetration degree of pedicle cortex by screw, the screw placement accuracy was classified into four grades: Grade 0, the screw was placed in the pedicle without penetration; Grade 1, penetration<2mm or less than 50% of the screw diameter; Grade 2, 2mm≤penetration<4mm or penetration>50% of the screw diameter; Grade 3, penetration≥4mm or screw penetrated cortex and entered into spinal canal or vertebral artery foramen. Also, the placement accuracy of lateral mass screw was recorded with reference to the above grading standard on the basis of penetration degree of lateral mass by screw. Grades 0 and 1 were evaluated as satisfactory placement, and grades 2 and 3 were evaluated as screw misplacement, and the misplacement rate(number of misplacement screws/total number of screws×100%) was calculated. The screw placement of both groups was analyzed, and the accuracy of C7 pedicle screw placement was compared between the two groups. **Results:** There were no significant differences in operative time (251±59min and 235±56min) and intraoperative blood loss(521±200ml and 448±213ml) between group A and group B($P>0.05$). In group A, a total of 247 pedicle screws were placed, including 239 screws of grades 0 and 1 and 8 screws of grades 2 and 3, with a total misplacement rate of 3.2%. In group B, a total of 209 screws were inserted, including 157 C3–C6 lateral mass screws, and of which 144 screws were of grades 0 and 1 and 13 screws of grades 2 and 3, with a total misplacement rate of 1.9%; and 52 cervical pedicle screws, of which 50 screws were of grades 0 and 1 and 2 screws of grades 2 and 3, with a total misplacement rate of 3.8%. The placement accuracy of C7 pedicle screw between the two groups showed no statistical significance ($P>0.05$). There were no vascular or neurological complications related to screw placement, no serious wound infection, iatrogenic neurovascular injury, posterior cervical hematoma, screw removal and other perioperative complications in both groups. **Conclusions:** It is safe and effective to use O-arm combined with CT 3D navigation system in assisting cervical pedicle screw placement, with a placement accuracy of 96.8%. Comparing with conventional lateral mass screw, none of the operative time, intraoperative blood loss, or perioperative screw related complications is significantly increased.

[Key words] O-arm navigation; Pedicle screw; Lateral mass screw; Accuracy of screw placement

[Author's address] Department of Spine surgery, Nanjing Drum Tower Hospital Clinical College of Nanjing Medical University, Nanjing, 210008, China

随着手术技术与器械的发展,颈椎后路内固定,尤其是侧块螺钉(lateral mass screw,LMS)和椎弓根螺钉(cervical pedicle screw,CPS)固定技术越来越多地应用于颈椎疾病的治疗中^[1-3]。Roy-Camille 等^[4]于 1992 年首次介绍了 LMS 钉棒系统在颈椎不稳定患者中的应用,但在目前许多情况下,还需要进行额外的前路内固定来实现三柱融合及稳定。而 CPS 穿过颈椎侧块、椎弓根、椎体前中柱,生物力学研究证实,CPS 固定比 LMS 固定有更稳定的生物力学优势,抗拔出力更强^[4-5]。然而,由于下颈椎(尤其是 C3~C6)椎弓根细小、毗邻结构复杂以及椎动脉解剖结构变异,CPS 穿破损伤神经及椎动脉的风险高^[6,7]。既往研究报道,徒手置入下颈椎 CPS 的椎弓根穿破率高达 14.8%~29%^[8,9]。置钉主要依赖临床经验,初学者掌握这项技术需要较长的学习时间。近年来导航影像学技术不断发展升级,CPS 置钉的准确性也在逐渐

提高。但目前的导航技术多是运用传统术前 CT 或 C 型臂导航,注册繁琐,耗时长,图像与术中真实解剖位置存在差异^[10,11]。O 型臂导航是否能提高置钉准确性也存在争议^[12,13]。因此目前临床应用中,在 CPS 和 LMS 固定的选择上仍需权衡风险和收益。我院通过 O 型臂联合 CT 三维导航影像系统、动力置钉系统、术中神经监护互联协作,确保复杂颈椎手术中 CPS 置钉操作的全程可视化。本研究旨在探究通过 O 型臂联合 CT 三维导航系统辅助颈椎 CPS 置钉的准确性,并与传统 LMS 固定技术的手术时间及相关并发症进行比较。

1 资料与方法

1.1 纳入及排除标准

纳入标准:(1)患者年龄≥18 周岁;(2)术前颈椎正侧位 X 线片、CT、MRI 影像学资料完整,MRI 显示存在 3 个及以上节段的脊髓受压或急

性脊髓信号损伤性改变,或 CT 证实骨折脱位不稳;(3)临床表现为不同程度的上运动神经元损伤症状以及感觉功能减退,如肢体麻木、步态不稳,双下肢不全瘫等;(4)均在我院行颈椎后路减压内固定术,内固定方式为:O 型臂联合 CT 三维导航系统辅助置入 C3~C7 CPS 或者徒手置入 C3~C6 LMS 和 C7 CPS,螺钉直径为 3.5mm。

排除标准:(1)伴有先天性颈椎椎体发育异常;(2)既往有颈椎手术史;(3)伴有颈椎肿瘤。

1.2 一般资料

共纳入 54 例患者。根据临床及影像学资料,经由全科室讨论具有颈椎后路内固定术的手术指征,手术固定融合节段为 C3~C7。其中 28 例使用 O 型臂联合 CT 三维导航系统辅助置入 CPS(A 组),26 例徒手置入 C3~C6 LMS 和 C7 CPS(B 组)。对于合并复合伤与内外科疾病的患者均请相应科室会诊。

两组患者年龄和性别无统计学差异($P>0.05$,表 1)。A 组后纵韧带骨化症 11 例,颈椎间盘突出伴颈椎管狭窄症 10 例,外伤性脊髓损伤 7 例(4 例伴颈椎管狭窄,1 例伴后纵韧带骨化,1 例伴椎体前柱骨赘融合,1 例伴颈椎骨折);术中使用 O 型臂联合 CT 三维导航系统置入 CPS(C3~C7)247 枚。B 组颈椎间盘突出伴椎管狭窄症 11 例,后纵韧带骨化症 3 例,外伤性脊髓损伤 12 例(4 例伴颈椎骨折,2 例伴颈椎管狭窄 1 例伴后纵韧带骨化,1 例颈椎过伸性损伤);术中徒手置入 C3~C6 LMS 和 C7 CPS 共 209 枚,其中 LMS(C3~C6)157 枚,CPS 52 枚。

1.3 手术方法

两组患者均由同一组医生严格按照手术标准进行操作。全身麻醉后,患者取俯卧位,以 Mayfield 头架固定头部,同时初步复位颈椎曲度,常规消毒铺单后行 C3~C7 后正中切口,剥离椎旁

肌,完成骨性显露。(1)A 组:连接使用最新一代 O 型臂联合 CT 三维导航系统(Stealth Station S8, Medtronic, Inc. America),将头架式导航参考架固定于头架,用无菌布单完全覆盖保护患者的无菌区域后,利用 O 型臂进行透视扫描。扫描图像自动完成注册,使用导航探针在 3D 影像引导下选择螺钉最佳进钉点和进钉方向。用接有参考架的皮质锥完成钉道准备。每次进行下一个钉道准备前,均用导航探针接触患者骨性解剖标志。每一枚螺钉均能在导航系统上模拟注册,在全程可视化下完成操作(图 1)。(2)B 组:依据传统解剖学标志判断进钉点与进针方向,C3~C6 徒手置入 LMS,C7 徒手置入 CPS。依据病因完成椎板切除减压或椎板成形操作,调节头颈部在复位状态下完成固定。手术全程在运动诱发电位(motor evoked potential,MEP)和体感诱发电位(somatosensory evoked potential,SEP)监测下完成。记录两组患者术中出血量及围手术期并发症。

1.4 置钉准确性评估

所有患者在拔除引流管后均行颈椎正侧位 X 线片及颈椎 CT 平扫+三维重建检查。分别记录置入螺钉数、置入物密度并观察 CPS 置钉的准确性。按照 Neo 等^[9]的方法,将置钉准确性分为四级:0 级,螺钉完全位于椎弓根内无骨皮质的穿破为;1 级,螺钉穿破皮质 $<2\text{mm}$,或小于螺钉直径的 50%;2 级,螺钉穿破皮质 $\geq 2\text{mm}$ 且 $<4\text{mm}$ 或大于直径的 50%;3 级,螺钉穿破皮质 $\geq 4\text{mm}$ 或螺钉完全穿破皮质,进入椎管或椎动脉孔内(图 2)。由于本研究中螺钉均选用直径 3.5mm,所以评价时参照螺钉直径分级标准,0、1 级评价为螺钉位置满意,2、3 级评价为螺钉误置。误置率=误置螺钉数/置钉总数 $\times 100\%$ 。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行数据录入及统计学处理,所用统计量采用 $\bar{x}\pm s$ 表示。对 A、B 两组病例的手术时间、出血量、螺钉密度及人口统计学资料行独立样本 t 检验。统计 A、B 组颈椎 CPS 及 LMS 的置钉准确性等级,对 A、B 组 C7 CPS 的置钉准确性采用卡方检验分析。以 $P<0.05$ 为差异有统计学差异。

2 结果

两组的手术时间及术中出血量差异无统计学

表 1 两组患者基本病例资料

Table 1 Demographics data of patients

	A组(n=28) Group A	B组(n=26) Group B	P值 P value
年龄(岁) Age	57.3 $\pm$ 9.1	59.4 $\pm$ 9.7	0.407
性别(n) Gender			0.576
男 Male	22	22	
女 Female	6	4	

意义($P>0.05$,表 2),A 组的置入螺钉密度明显高于 B 组($P=0.008$)。术中神经监测 SEP、MEP 未见异常。

两组置钉情况见表 3。A 组共置入 CPS 247 枚,误置率 3.2%,误置螺钉中 6 枚向椎弓根外侧壁穿破,2 枚向椎弓根内侧壁穿破;B 组共置入螺钉 209 枚,误置率 1.9%,3 枚误置螺钉均向外侧壁穿破;置入 CPS(C7 徒手置钉)52 枚,误置率 3.8%,2 枚误置螺钉向椎弓根外侧壁穿破。两组均未发生与置钉相关的血管、神经并发症,误置螺钉未予特殊处理。两组 C7 CPS 置钉准确性比较:A 组 C7 CPS 置钉准确性为 100%,B 组 C7 CPS 置钉准确性为 96.1%,差异无统计学意义($\chi^2=0.004$, $P=0.948$)。两组术后各出现 1 例伤口感染,均通过换药、抗感染治疗愈合。两组均未出现严重伤口感染需要清创术或内固定取出、医源性神经血管损伤、颈后路血肿、螺钉拔出等并发症。

3 讨论

3.1 颈椎 CPS 固定的优势与挑战

颈椎 CPS 穿过椎体前中后柱,比 LMS 结构更稳定,抗拔出强度更强,融合可靠。Ito 等^[5]比较了

CPS 和 LMS 在 C3~C6 节段经过一段屈伸和扭转负荷后的抗拔出强度,结果表明,与 CPS 相比,LMS 快速松动,LMS 和 CPS 的抗拔出力分别为 332N 和 1214N。但由于颈椎三维结构并不总是一致,尤其是 C3~C6 椎弓根细小、毗邻结构复杂以及椎动脉解剖结构各异性,给徒手置入 CPS 带来困难,增加了椎弓根穿破损伤脊髓、神经根、椎动脉及脑脊液漏的风险。置钉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。Subum 等^[14]对研究组医师徒手置入 CPS 的准确性进行统计,结果发现在学习过程中前 100 枚螺钉的误置率高达 10%,而后才逐渐趋于平稳。这种学习过程中的置钉准确性会增加年轻医师对手术风险的担忧而不敢进行 CPS 的置钉。因此,需要引入辅助置钉技术,以保证精准置入下颈椎 CPS。

3.2 计算机辅助手术系统的发展

计算机辅助手术系统在 20 世纪 90 年代初在欧美发达国家首先应用于神经外科,随后开始引入脊柱外科用于辅助 CPS 的固定^[15,16]。最早的导航技术基于术前 CT 影像导航,需在术前标注患者的解剖学标记点,在术中找到这些点完成注册。这种传统的导航技术存在以下不足:(1)患者术前

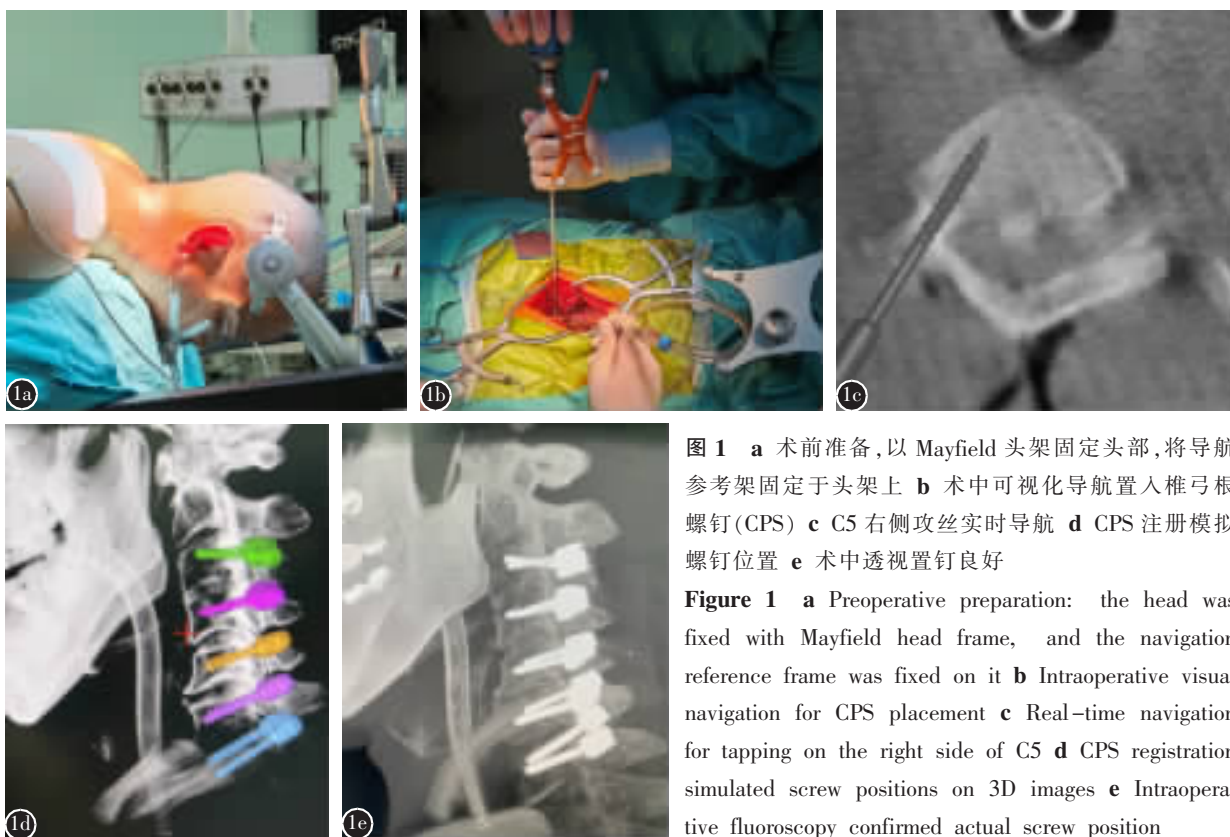


图 1 a 术前准备,以 Mayfield 头架固定头部,将导航参考架固定于头架上 b 术中可视化导航置入椎弓根螺钉(CPS) c C5 右侧攻丝实时导航 d CPS 注册模拟螺钉位置 e 术中透视置钉良好

Figure 1 a Preoperative preparation: the head was fixed with Mayfield head frame, and the navigation reference frame was fixed on it b Intraoperative visual navigation for CPS placement c Real-time navigation for tapping on the right side of C5 d CPS registration simulated screw positions on 3D images e Intraoperative fluoroscopy confirmed actual screw position

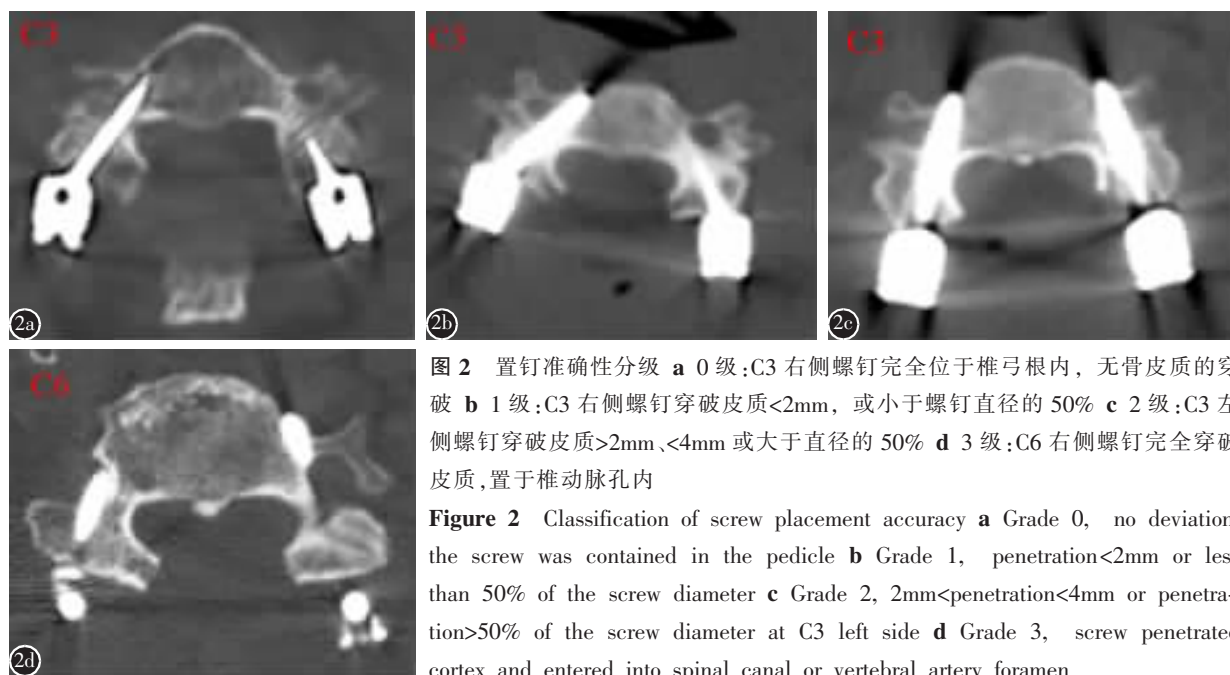


图 2 置钉准确性分级 a 0 级: C3 右侧螺钉完全位于椎弓根内, 无骨皮质的穿破 b 1 级: C3 右侧螺钉穿破皮质 <2mm, 或小于螺钉直径的 50% c 2 级: C3 左侧螺钉穿破皮质 >2mm、<4mm 或大于直径的 50% d 3 级: C6 右侧螺钉完全穿破皮质, 置于椎动脉孔内

Figure 2 Classification of screw placement accuracy a Grade 0, no deviation, the screw was contained in the pedicle b Grade 1, penetration <2mm or less than 50% of the screw diameter c Grade 2, 2mm < penetration <4mm or penetration >50% of the screw diameter at C3 left side d Grade 3, screw penetrated cortex and entered into spinal canal or vertebral artery foramen

表 2 两组术中出血量、手术时间以及螺钉密度比较

Table 2 Comparison of intraoperative blood loss, operation time and screw density

	A组 Group A	B组 Group B	P值 P value
术中出血量(ml) Blood loss	521±200	448±213	0.198
手术时间(min) Operation time	251±59	235±56	0.323
螺钉密度(%) Density of screw	88.2±9.8	80.4±11.1	0.008

CT取仰卧位,术中体位则是俯卧位,导入的图像常不能真实反映术中的解剖学位置;(2)由于注册繁琐,需要术者有丰富的经验,学习曲线陡峭,导致手术时间增加,创伤较大。余伟等^[10]分析比较CT三维导航与徒手组置入颈椎CPS,结果显示导航组置钉满意率显著高于徒手组(95.3% vs 88.6%),但是CT三维图像导航置钉方法操作相对繁琐,需要多次注册匹配以达到术中满意的导航精度,置钉时间和置钉出血量显著升高。随着C型臂辅助技术的出现,在术中采集患者3D图像,克服了体位的影响。田伟等^[11]通过对透视、CT和C型臂导航的比较,提出C型臂导航可获得更高的准确性,并报道C型臂导航在上颈椎手术中的应用可获得满意的效果。然而由于C型臂的局限性,3D成像采集角度小于200°,与真实的解剖位置仍存在差异,同时注册繁琐、手术时间较长、辐

表 3 A组与B组置钉准确性等级 (n)

Table 3 Comparison of the accuracy of screw placement between the two groups

	A组 Group A		B组 Group B	
	C3-C7 椎 弓根螺钉 C3-C7 CPS	C7 椎弓根螺 钉 C7 CPS	C3-6 侧块 螺钉 C3-6 LMS	徒手 C7 椎弓 根螺钉 C7 Freehand PS
0级 Grade 0	225	54	145	46
1级 Grade 1	14	2	9	4
2级 Grade 2	8	0	3	2
3级 Grade 3	0	0	0	0
总数 Total	247	56	157	52

射量较大的问题仍有待解决。

3.3 O型臂联合CT三维导航系统置入CPS的准确性与优势

O型臂导航系统的出现真正解决了获取术中及时高质量三位图像和全自动注册的难题。其优势在于:(1)3D采集图像的角度真正达到360°,相当于螺旋CT效果,增加了导航的准确性;(2)自动注册且扫描时间短,避免多次扫描,减少辐射量。Liu等^[12]报道了O型臂导航下置钉在青少年特发性脊柱侧凸患者细小胸椎椎弓根置钉中的应用,O型臂导航组在极小椎弓根置入螺钉的整体

准确率(84.3%,48/57)显著高于徒手组(62.7%,79/126)($P<0.05$)。Knafo 等^[17]比较了 O 型臂和 C 型臂导航技术在腰椎内固定术中的应用,结果发现 O 臂导航置入 CPS 总体上比 C 型臂透视更准确(549/663 vs 239/324, $P=0.008$)。曲哲等^[18]比较了 O 型臂导航与徒手置钉在上颈椎(C1~C2)CPS 置入的准确性,导航组置钉满意率为 100%(67 枚)。然而也有部分研究提出 O 型臂导航并未显著提高置钉准确性。Tabaraee 等^[19]比较了 O 型臂与 C 型臂在置入胸腰椎 CPS 的效果(各 80 枚),结果显示其穿破皮质率无明显统计学差异(8.9% vs 6.3%)。Urbanski 等^[20]比较了在脊柱侧凸手术中 O 型臂导航置钉与徒手置钉的准确性,结果 O 型臂导航组置钉满意率为 96.35%,对比徒手置钉组 95.78%无统计学差异。造成这种差异结果可能是由于不同部位、不同病因学椎弓根解剖形态的不同,O 型臂导航在复杂畸形、细小椎弓根、异常解剖结构中更能展现出优势。但在颈椎 CPS 的置入研究中,Crawford 等^[21]报道了 O 型臂导航(78 枚)与徒手置钉(109 枚)的准确性,结果也显示穿破皮质率无明显差异(O 型臂 11.6%,徒手 12.9%),但其在确定手术方式时对于可能置钉困难的复杂病例往往选择导航下置钉。所以目前对于颈椎 CPS 导航下置入螺钉的数据,仍有待补充研究。

本研究结果显示,导航组 CPS 的置钉准确性高(96.8%,239/247),虽仍存在穿破椎弓根的情况,这可能是由于手术操作会使颈椎的相对位置发生改变,但本研究中并未出现与置钉相关的神经血管损伤;A、B 两组 C7 椎弓根螺钉置钉准确性无统计学差异(100% vs 96.1%, $P=0.948$),这可能是由于节段单一、样本量较少所导致的。

本研究中两组患者的手术时间、术中出血量无统计学差异($P>0.05$),可见导航并未延长手术时间与术中出血量,同时 A 组获得了更高的置钉密度($P=0.008$)。本研究对比 A、B 两组的手术时间和出血量是基于限定了所纳入病例手术方案,需要的融合节段均为 C3~C7,尽可能排除了手术方案、难度对手术时间的影响。

就两种技术而言,LMS 的提供的生物力学强度远低于 CPS,但是 CPS 的置钉难度与风险远高于 LMS,尤其在徒手置钉的情况下。近年来导航影像学技术不断发展升级,提高了 CPS 放置的准

确性。但目前的导航技术多是运用传统术前 CT 或 C 型臂导航,存在注册繁琐、手术时间较长、辐射量较大的缺点。本研究 A 组使用的最新 O 型臂联合 CT 三维导航系统,注册时间短、辐射剂量小,在保证置钉安全和准确性的前提下,大大提高置钉效率,与 LPS 置钉相比整体手术时间与出血量无明显差异,说明借助 O 型臂联合 CT 三维导航系统置入颈椎椎弓根螺钉,在不延长手术时间、不增加术中出血的前提下,既保证置钉准确性,又能提供更好的内固定强度。

3.4 本研究的局限性

研究纳入的病例数相对较少,增加了统计学误差;所纳入的患者病因学种类不一,对于手术中置钉难度的影响不同;最新导航系统在我院开展时间相对较短,未能获得患者完整的长期随访情况以评价手术效果,我们将在获得长期随访后进一步分析该问题。

4 结论

O 型臂联合 CT 三维导航系统可安全有效置入颈椎椎弓根螺钉,置钉准确性达到 96.8%;与传统的 LMS 相比,并未显著延长手术时间、增加术中出血量或增加围手术期螺钉相关并发症。

5 参考文献

1. Roy-Camille R, Saillant G, Laville C, et al. Treatment of lower cervical spinal injuries: C3 to C7[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1992, 17(10 Suppl): S442-S446.
2. Abumi K, Itoh H, Taneichi H, et al. Transpedicular screw fixation for traumatic lesions of the middle and lower cervical spine: description of the techniques and preliminary report[J]. J Spinal Disord, 1994, 7(1): 19-28.
3. Abumi K, Takada T, Shono Y, et al. Posterior occipitocervical reconstruction using cervical pedicle screws and plate-rod systems[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1999, 24(14): 1425-1434.
4. Johnston TL, Karaikovic EE, Lautenschlager EP, et al. Cervical pedicle screws vs. lateral mass screws: uniplanar fatigue analysis and residual pullout strengths[J]. Spine J, 2006, 6(6): 667-672.
5. Ito Z, Higashino K, Kato S, et al. Pedicle screws can be 4 times stronger than lateral mass screws for insertion in the midcervical spine: a biomechanical study on strength of fixation[J]. J Spinal Disord Tech, 2014, 27(2): 80-85.
6. Ishikawa Y, Kanemura T, Yoshida G, et al. Intraoperative, full-rotation, three-dimensional image(O-arm)-based navigation system for cervical pedicle screw insertion[J]. J Neurosurg Spine,

- 2011, 15(5): 472-478.
7. 喻忠, 王黎明, 曾逸文, 等. 术中三维 C 型臂实时透视导航辅助颈椎弓根螺钉的植入[J]. 中华显微外科杂志, 2009, 32(3): 193-195, 268.
8. 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(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(24): 2800-2805.
9. Hojo Y, Ito M, Suda K, et al. A multicenter study on accuracy and complications of freehand placement of cervical pedicle screws under lateral fluoroscopy in different pathological conditions: CT-based evaluation of more than 1,000 screws[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(10): 2166-2174.
10. 余伟, 王蕾, 何思峰, 等. X 射线透视辅助徒手法与 CT 三维图像导航下颈椎弓根置钉准确率的对比[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(11): 1758-1763.
11. Tian W, Weng C, Liu B, et al. Posterior fixation and fusion of unstable Hangman's fracture by using intraoperative three-dimensional fluoroscopy-based navigation[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(5): 863-871.
12. Liu Z, Jin M, Qiu Y, et al. The superiority of intraoperative O-arm navigation-assisted surgery in instrumenting extremely small thoracic pedicles of adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Medicine*, 2016, 95(18): e3581.
13. Urbanski W, Jurasz W, Wolanczyk M, et al. Increased radiation but no benefits in pedicle screw accuracy with navigation versus a freehand technique in scoliosis surgery[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476(5): 1020-1027.
14. Lee S, Seo J, Lee MK, et al. Widening of the safe trajectory range during subaxial cervical pedicle screw placement: advantages of a curved pedicle probe and laterally located starting point without creating a funnel-shaped hole [J]. *J Neurosurg Spine*, 2017, 27(2): 150-157.
15. Schlenszka D, Laine T, Lund T. Computer-assisted spine surgery[J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(Suppl 1): S57-S64.
16. Amiot LP, Labelle H, DeGuise JA, et al. Computer-assisted pedicle screw fixation: a feasibility study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1995, 20(10): 1208-1212.
17. Knafo S, Mireau E, Bennis S, et al. Operative and perioperative durations in O-arm vs C-arm fluoroscopy for lumbar instrumentation[J]. *Operative Neurosurgery*, 2018, 14(3): 273-278.
18. 曲哲, 钱邦平, 邱勇, 等. O 型臂 3D 导航与徒手置钉在上颈椎椎弓根螺钉置入中的精确性比较 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(12): 1063-1068.
19. Tabaraee E, Gibson AG, Karahalios DG, et al. Intraoperative cone beam-computed tomography with navigation (O-ARM) versus conventional fluoroscopy (C-ARM): a cadaveric study comparing accuracy, efficiency, and safety for spinal instrumentation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(22): 1953-1958.
20. Urbanski W, Jurasz W, Wolanczyk M, et al. Increased radiation but no benefits in pedicle screw accuracy with navigation versus a freehand technique in scoliosis surgery[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476(5): 1020-1027.
21. Crawford BD, Nchako CM, Rebehn KA, et al. Transpedicular screw placement accuracy using the O-Arm versus freehand technique at a single institution[J]. *Global Spine J*, 2022, 12(3): 447-451.
- (收稿日期:2021-11-03 末次修回日期:2022-02-27)
(英文编审 谭 啸)
(本文编辑 姜雅浩)