·临床研究论著·

导航辅助下颈椎前路椎弓根置钉技术的临床应用

谢兆林　杨克勤　江建中　黄圣斌　李颖　张其标

【摘要】 **目的**　探讨“O”型臂导航辅助下颈椎前路椎弓根螺钉(anterior transpedicular screw，ATPS)技术的置钉准确性和手术效果。**方法**　前瞻性收集2016年1月至2019年12月于我院就诊的28例颈椎疾患病人，均在“O”型臂及计算机导航辅助下行颈椎前路病灶切除、植骨及ATPS内固定手术。术后评价ATPS置入的准确率；术前和术后1周、6个月采用疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale，VAS)评价病人颈肩疼痛程度；采用日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association，JOA)评估治疗分数评价治疗效果；比较病人术前及末次随访时的Frankel神经功能分级。**结果**　28例病人共置入螺钉112枚，其中椎弓根螺钉98枚(0级91枚，1级7枚)，椎体螺钉14枚。本组病人术后1周和术后6个月的颈肩痛VAS评分分别为(2.14±0.71)分、(1.18±0.48)分，均显著低于术前的(7.29±1.27)分；术后1周和术后6个月的颈肩JOA评分分别为(13.93±0.98)分、(15.36±0.87)分，均显著高于术前的(9.54±1.32)分；与术前比较，差异均有统计学意义(P均<0.05)。应用颈椎JOA评分，治疗后的评分改善率为77.0%±2.3%。术前Frankel神经功能分级D+E级的人数占比为39.3%(11/28)，术后提高至67.9%(19/28)，差异有统计学意义(χ^2=4.595，P=0.032)。**结论**　导航辅助下ATPS技术是颈椎传统手术技术的一个有益补充，对颈椎椎体破坏严重、颈椎前路内固定翻修、骨质疏松严重等病例有着重要意义，置钉准确率高，手术效果好。

【关键词】 O臂导航；颈椎；前路椎弓根置钉

Clinical application of navigation assisted anterior cervical pedicle screw placement. *XIE Zhao-lin, YANG Ke-qin, JIANG Jian-zhong, HUANG Sheng-bin, LI Ying, ZHANG Qi-biao. Department of Orthopaedics, Guigang People's Hospital, Guigang 537100, China*

Corresponding author: YANG Ke-qin, E-mail: okykq@163.com

【**Abstract**】 **Objective**　To investigate the effect of “O”-arm navigation assisted anterior transpedicular screw (ATPS) technique in the treatment of cervical spondylosis. **Methods**　Totally, 28 patients with cervical spondylosis who were treated in our hospital from January 2016 to December 2019 were prospectively collected. The “O”-arm machine and computer navigation were used to assist the cervical spine lesions resection, bone grafting and ATPS internal fixation. The accuracy of anterior pedicle screw placement was evaluated postoperatively. Visual analogue scale (VAS) was used to evaluate the degree of pain before operation, 1 week and 6 months after operation. Japanese Orthopaedic Association (JOA) score was used to evaluate the treatment effect. The Frankel neurologic grading before operation and at the last follow-up was compared. **Results**　A total of 112 screws were inserted in 28 patients, including 98 pedicle screws (91 for grade 0, 7 for grade 1) and 14 vertebral screws. VAS score of neck and shoulder pain at 1st week and 6th month after operation was 2.14±0.71 and 1.18±0.48 respectively, significantly lower than that before operation (7.29±1.27) ($P<0.05$). The JOA score of neck and shoulder pain at 1st week and 6th month after operation was 13.93±0.98 and 15.36±0.87 respectively, significantly higher than that before operation (9.54±1.32) ($P<0.05$). The cervical spine JOA scores showed an improvement rate of 77.0%±2.31% after treatment. The number of patients with D+E levels of Frankel nerve function grade was 11/28 (39.3%) before operation, and 19/28 (67.9%) after operation (χ^2=4.595, P=0.032). **Conclusion**　Navigation for the ATPS placement technique is a useful supplement to the traditional cervical spine surgical technique. It is a great of significance to some cases like severe cervical vertebral body destruction, anterior cervical internal fixation revision, and severe osteoporosis because of accurate and good surgical results.

【**Key words**】 “O”-arm navigation; Cervical spine; Anterior pedicle screw placement

---

DOI：10.3969/j.issn.1674-8573.2021.03.007

作者单位：广西贵港市人民医院骨科，广西贵港 537100

通信作者：杨克勤，E-mail：okykq@163.com

下颈椎创伤、退行性变、感染等在椎体前部发生率较高，病人发病后临床症状明显，以颈肩部疼痛、上肢麻木、乏力、活动受限为主，严重时可出现肢体瘫痪，对于这些疾患，保守治疗往往是无效的，需要手术治疗。颈椎前路减压植骨内固定手术是治疗颈椎疾患的一种经典术式，相对于颈椎后路手术，其具有手术创伤小、恢复快、并发症少等优点[1]，一直广泛应用于临床。在一些颈椎椎体破坏严重、颈椎前路内固定翻修、骨质疏松严重病例的手术中，单纯行颈椎前路手术很难得到坚强有效的内固定，容易发生内固定失效、骨不愈合等并发症，往往需要一期或二期加行后路固定手术，从而获得坚强有效固定，但同时也会增加病人的手术风险、经济负担及心理压力。

2007年Koller等[2]提出下颈椎前路椎弓根螺钉（anterior transpedicular screw，ATPS）内固定技术，ATPS技术融合了颈椎前、后路手术的优点，既能从前路处理病变（如切除椎间盘、椎体减压），还能有效提高螺钉的稳定性，降低后路二次手术的概率，有效避免内固定物脱落等并发症，提高临床疗效。我们通过前瞻性地观察28例应用ATPS技术治疗颈椎疾患的病例，探讨“O”型臂导航辅助下ATPS内固定技术的置钉效果和手术效果。

资料与方法

一、纳入标准与排除标准

纳入标准：①年龄≥50岁；②骨质疏松较为严重，骨密度T值≤−2.5 SD；③颈椎椎间盘突出局限在2个节段内；④颈椎损伤，前、中柱或前、中、后柱均被破坏。

排除标准：①年龄＜50岁；②骨密度T值≥−1 SD；③颈椎病变≥3个节段；④无法耐受手术者。

二、一般资料

2016年1月至2019年12月，共纳入28例，其中男18例，女10例；年龄为50~75岁。颈椎间盘突出15例，颈椎结核4例，颈髓损伤伴骨折脱位8例，颈椎椎管内肿瘤1例。病变节段：$C_{4/5}$ 4例，$C_{5/6}$ 16例，$C_{6/7}$ 7例，C_7/T_1 1例。所有病人均有颈肩部疼痛。Frankel神经功能分级：A级0例，B级7例，C级10例，D级7例，E级4例。

三、手术方法

病人常规全身麻醉后，取仰卧头过伸位，垫高肩背部，常规碘酒消毒及酒精脱碘、铺巾，于颈前右侧横行皮肤切口，沿着颈动脉鞘和内脏鞘间隙分离到达椎体前筋膜。左侧锁骨外侧1/3处作一小切口，安放计算机导航参考架，一次性保护膜覆盖、保护好术野。“O”型臂三维扫描颈椎，扫描完成后数据自动传输至计算机导航仪，移走“O”型臂，术者分别注册各种导航工具。在导航的引导下，确认好手术节段，在病变椎间盘的相邻上下椎体的上缘，分别开口、开路，经椎体、椎弓根至椎板作钉道，导航探针探查钉道四壁为骨性结构后，放置定位针，再次透视扫描，确认定位针位置良好后作椎间盘切除或病灶组织切除，显露硬脊膜，充分减压。测量椎间隙或缺损椎体高度，根据重建需要，取右侧髂骨或异体骨填充钛笼，修复缺损植骨。选用本团队自主研发设计的下颈椎前路椎弓根螺钉钢板系统（山东威高公司生产），从中挑选合适长度的钢板，经预留的钉道拧入椎弓根螺钉固定。对于一些个体矮小、颈椎椎体偏小的病人，则行单侧椎弓根螺钉置钉，另外一侧作颈椎椎体螺钉固定。经透视确认钢板位置理想后，再拧紧锁片，以防螺钉脱落。冲洗创面，仔细止血，放置14号引流管，逐层缝合切口。

四、观察指标

（一）置钉精确度

手术前后均摄颈椎正侧位X线片和CT扫描，根据螺钉与椎弓根皮质的相对位置，参考Kawguchi等[3]的方法评价置钉准确性，共分为4级：0级，椎弓根螺钉未突破椎弓根皮质；1级，螺钉穿破椎弓根皮质且不超过2 mm，无螺钉突破相关并发症；2级，螺钉突破椎弓根皮质超过2 mm，无螺钉突破相关并发症；3级，出现因螺钉突破椎弓根皮质引起的临床并发症，如椎动脉、神经根损伤的相应临床表现。

（二）疼痛及功能评分

术前、术后1周、6个月采用疼痛视觉模拟量表（visual analogue scale，VAS）评价病人疼痛程度；采用日本骨科协会（Japanese Orthopaedic Association，JOA）评估治疗分数（17分法）评价治疗效果。治疗后评分改善率=[（治疗后JOA评分−治疗前JOA评分）/（17−治疗前JOA评分）]×100%。改善率=100%为治愈，改善率＞60%为显效，25%~60%为有效，＜25%为无效。比较术前及末次随访时的Frankel神经功能分级情况。

五、统计学方法

采用SPSS 19.0统计软件（IBM公司，美国）对数据进行处理。手术前后VAS评分、JOA评分等符合正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，采用配对t检验进行比较；手术前后Frankel神经功能

分级的比较采用卡方检验。以$P<0.05$为差异有统计学意义。

结　果

本组手术时间为60~120 min，平均90 min，术中出血量为50~100 mL，平均70 mL；术后出现伤口迟发性血肿1例，经再次手术清除血肿，病人恢复正常；未发现吞咽困难、喉返神经麻痹、食道穿孔、脑脊液漏、内固定物松动等并发症。28例共置入螺钉112枚，其中椎弓根螺钉98枚（置钉准确性：0级91钉，1级7钉），椎体螺钉14枚。

本组病人术后1周和术后6个月的颈肩痛VAS评分分别为（2.14±0.71）分、（1.18±0.48）分，均显著低于术前的（7.29±1.27）分，与术前比较，差异均有统计学意义（P均<0.05）；本组病人术后1周和术后6个月的颈肩JOA评分分别为（13.93±0.98）分、（15.36±0.87）分，均显著高于术前的（9.54±1.32）分，与术前比较，差异均有统计学意义（P均<0.05）。治疗后的颈椎JOA评分改善率为77.0%±2.3%。

28例病人术前、术后Frankel神经功能分级详见表1，术前D+E级的人数占比为39.3%（11/28），术后提高至67.9%（19/28），差异有统计学意义（$\chi^2=4.595$，$P=0.032$）。

表1　手术前后的Frankel神经功能分级（例）

术前Frankel神经功能分级	例数	术后Frankel神经功能分级				
		A级	B级	C级	D级	E级
A级	0	0	0	0	0	0
B级	7	0	4	2	1	0
C级	10	0	0	3	5	2
D级	7	0	0	0	5	2
E级	4	0	0	0	0	4
合计	28	0	4	5	11	8

典型病例：病人，女，70岁，因右上肢麻木、疼痛2年余入院，疼痛、麻木区域以右前臂外侧、右手第一指为主，VAS评分为6分。查体：右手第一指浅感觉及针刺觉下降，右侧伸腕肌力为4级。辅助检查：正侧位X线片提示颈椎曲度尚可，$C_{5/6}$间隙高度下降，轻度终板炎，椎体前后缘可见增生的骨赘。MRI提示$C_{5/6}$椎间盘向右后方突出，压迫颈6神经根。骨密度检查结果提示重度骨质疏松症（骨密度T值为-4.17 SD）。诊断：$C_{5/6}$神经根型颈椎病、骨质疏松症。行颈前路$C_{5/6}$减压、取髂骨椎间植骨术+椎弓根螺钉固定术（图1）。

讨　论

颈椎退行性变、外伤、感染及肿瘤等是临床常见的疾病，好发于椎体前部，往往需要手术治疗才能解决，颈椎前路减压、植骨内固定手术是颈椎手术中常用的术式，是一种安全、有效的方法。颈前部解剖结构相对简单，变异少，能够直接在前方解除压迫，保护、改善脊髓神经功能。选择前路还是后路手术，大多数学者认为，当脊髓压迫＜3个节段，病变主要在脊髓前方时，首选前路直接减压；当脊髓压迫≥3个节段，特别是在同时合并椎管狭窄时，优先选择后路手术[4]。对一些颈椎椎体破坏严重、老年性骨质疏松病人，或者颈椎前、中、后柱稳定均受到破坏的情况下，单纯行颈椎前路手术很难得到坚强有效的内固定，容易发生内固定失效、骨不愈合等并发症，造成手术失败，往往需要二期加行后路手术固定，增加了病人的手术风险和经济负担。2007年Koller等[2]提出了ATPS内固定技术，解决了上述特殊病例的难题。椎弓根螺钉置入经过椎体、椎弓根，到达后侧侧块，突破侧块后皮质，使得螺钉有足够的把持力，不仅可以直接减压，还可以解决牢固稳定等问题，不需要增加后路手术，一次手术就可以解决以往需要两次手术才能解决的问题，减少创伤，降低手术并发症风险及缩短住院时间。相关文献表明脊柱的坚强内固定可以提高融合率，减少并发症，减轻疼痛，改善神经功能[5]。Koller等[6]研究发现ATPS的抗拔出力是椎体螺钉的2.5倍，前者为467.8 N，后者为181.6 N，认为可能是因为ATPS通过椎弓根达到坚强的固定效果，而椎体螺钉仅为单皮质固定。国内学者赵刘军等[7]通过16具人体颈椎标本对下颈椎ATPS固定系统与普通前路椎体螺钉固定系统的静力学进行了比较，前者最大拔出力为604 N，后者最大拔出力为488 N，前者拔出力明显优于后者，从生物力学角度上看具有应用可行性，这与之前Koller等[6]的生物力学研究结果一致。

椎体横断面上的进钉角度是ATPS置钉成功的关键，ATPS技术的进钉角度（外倾角）和后路椎弓根进钉角度（内倾角）在方向上是相反的，但是结果是一致的。下颈椎椎弓根螺钉的进钉角度范围从C_7的36°到C_4的49°不等[8]，文献推荐颈椎后路椎弓根置钉角度C_3~C_7为40°~45°[9-11]，目前在临床应用的前路重建钢板的螺钉置钉角度为0°~15°，无法满足椎弓根螺钉大角度置钉的要求。

为了满足临床要求，杨克勤团队设计了一款下

图1 病人，女，70岁，因右上肢麻木、疼痛2年余入院，行颈前路$C_{5/6}$减压、取髂骨椎间植骨术+椎弓根螺钉固定术 a、b：术前正侧位X线片提示颈椎曲度尚可，$C_{5/6}$间隙高度下降，轻度终板炎，椎体前后缘可见增生的骨赘；c、d：术前MRI提示$C_{5/6}$椎间盘向右后方突出，压迫颈6神经根；e：术中导航图像提示已安全建立经椎弓根钉道；f、g：术后正侧位X线片；h：术后轴位CT钉道扫描

颈椎前路椎弓根螺钉钢板系统，申报专利（ZL201820814089.9），委托山东威高公司生产。该钢板设计的理念和主要优势：①根据病人情况既可以全部采用椎弓根螺钉置钉，又可以采用椎弓根螺钉和椎体螺钉同时置钉，多种置钉方式的选择能够解决因颈椎骨质条件差或者颈椎三柱稳定差导致传统前路内固定手术方式难以提供足够稳定性的问题；②钢板孔长圆形设计置钉灵活，可以实现多位置多角度置钉，适用性高；③锁紧片偏心结构可以实现一步锁紧双枚螺钉，锁紧方便，可提高手术效率（图2）。

下颈椎椎弓根内径小，外壁薄，椎弓根螺钉置入外壁最容易穿破，其次是上壁和下壁。置钉有损伤椎动脉、颈髓、神经根的潜在风险，目前颈椎的安全置钉离不开X线透视，术中要利用正侧位、椎弓根轴线视图的透视反复确认，才能找到ATPS进针点，较准确地置入椎弓根螺钉，既增加了医务人员和病人的辐射量，又要求术者具备较高的专业技术能力和丰富的临床经验，这也是至今前路椎弓根螺钉钢板不能广泛应用的原因之一。颈椎的解剖结构复杂，周围毗邻重要神经、血管，手术难度大，风险性很高，需要新的方法提高手术安全性和降低并发症发生率，计算机辅助手术导航系统的出现，很好地解决了上述问题。

20世纪90年代，计算机导航技术开始被应用于脊柱手术，如今已广泛应用在椎弓根螺钉置钉、人工椎间盘置换、肿瘤手术切除等脊柱外科技术[12-15]。我院自2016年引进美敦力公司的“O”型臂X线机及计算机导航系统（S7），术中三维图像清晰，实时导航，大范围长节段扫描，对椎弓根螺钉精准置钉起到重要作用，使得手术微创化，缩短住院时间，促进快速康复。国外文献报道，“O”臂联合计算机导航技术的应用，大大提高脊柱椎弓根螺钉置钉的准确性。Rivkin等[16]研究了270例导航下置钉的病人，在1 651枚植入的椎弓根螺钉中，总体不良率为5.3%；Luther等[17]对比3D导航和普通二维导航后发

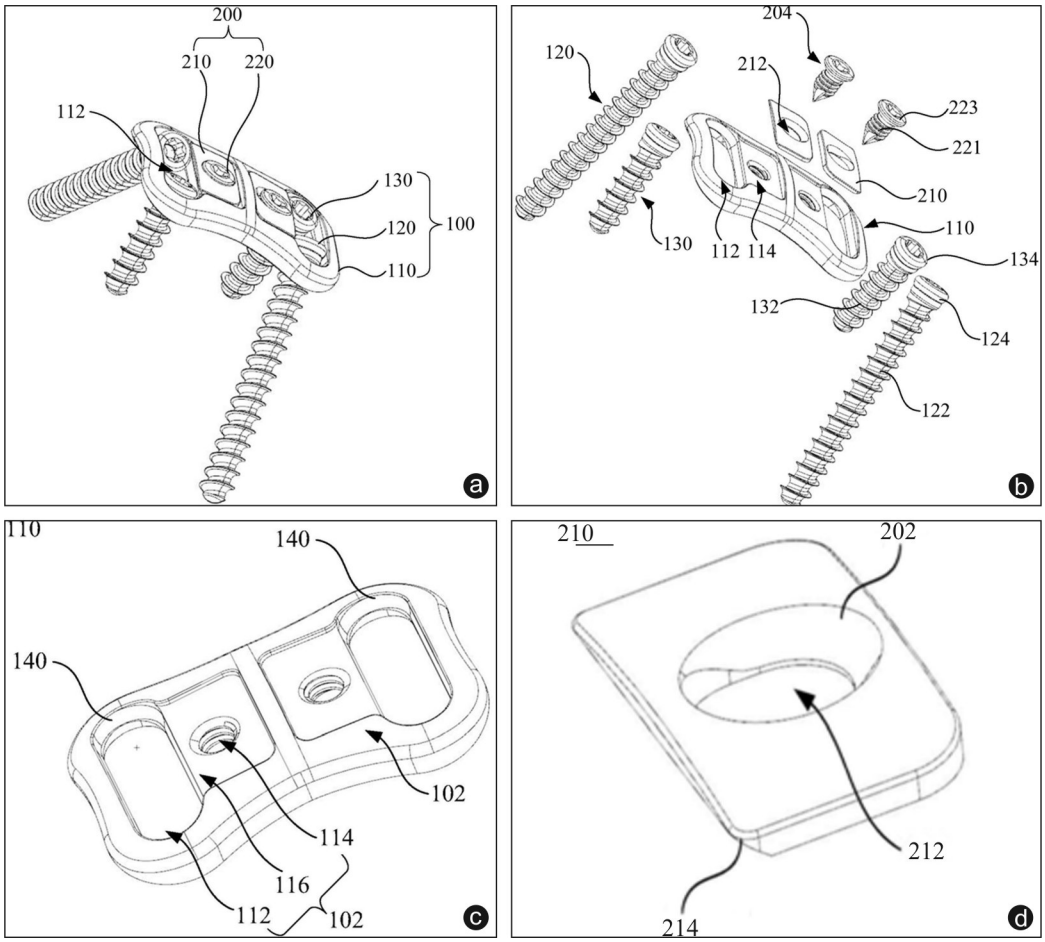

图2　下颈椎前路椎弓根螺钉钢板系统结构示意图(a)、分解示意图(b)、连接板结构放大示意图(c)和锁紧片结构放大示意图(d)。附图标记说明:100-连接组件,110-连接板,102-通孔组,112-条形通孔,114-内螺纹通孔,116-卡槽,120-椎弓根螺钉,122-第一螺杆,124-第一螺帽,130-椎体螺钉,132-第二螺杆,134-第二螺帽,140-弧形配合部,200-紧固组件,210-锁紧片,212-第一通孔,202-配合部,214-导入部,220-紧固件,221-第三螺杆,223-第三螺帽,204-抵压部

现,3D导航组的螺钉优良率(88%)明显优于普通二维导航(82%)。虽然"O"臂联合导航技术能显著提高置钉的准确性,但仍有一部分置钉结果令人不满意,主要与术中导航产生的误差有很大关系。

导航应用于颈椎前路内固定手术过程中,需要注意导航参考架的安装、头部的固定体位、光学反射球的定期更换等细节。

1. 导航参考架的安装　参考架与术野的距离要适当,距离太近会阻挡术者的操作,距离太远会引起导航精准度下降;参考架(夹)要稳固固定,避免松动移位,不受皮肤牵拉影响。根据术者的操作习惯,选择颈部右侧入路时,导航参考架可以安装在左侧锁骨中外1/3处,避免显露时拉钩碰撞参考架导致导航精准度下降,可选择固定夹或者固定螺杆固定。

2. 头部的固定体位　术中病人采取仰卧、头颈部过伸位,为预防术中牵拉导致头部晃动影响导航的精准度,摆体位时,应用弹力绷带或者胶布经额部固定于手术床,从而减少导航图像的漂移。

3. 光学反射球的定期更换　光学反射球属于一次性医用耗材,每台手术使用20~25颗,使用量较大,然而国内缺乏相关收费标准,为节约成本而经常反复消毒使用,多次的清洗、消毒,反射球表面涂层颗粒脱落,导致反射球的接收信号减弱、误差偏大。故有条件的医疗机构,可以实行一次性使用,如条件不允许,可以反复使用3~5次。

4. 导航图像的漂移现象　术中成功注册导航后,时有发现导航图像出现偏差,有左右或者上下方向漂移,分析有以下原因:①参考架固定不牢固,有微动;②术者和对面的助手身体无意中挤压病人身体导致病人体位左右移位;③术中建立椎弓根钉道时用力过度施压,导致颈椎前后移位;④切口过小,各层次软组织分离不充分,导致显露术野时拉钩过度用力,带动颈椎左右移位。细节决定成败,一旦发现导航有误差,需重新扫描注册,以免出现脊髓血管

的损伤。本组28例病人手术后未发现吞咽困难、喉返神经麻痹、食道穿孔、无脑脊液漏、内固定物松动等并发症。有1例男性病人术后第3天出现颈部进行性肿胀，病人呼吸稍气促，考虑创面有出血，遂急诊手术探查发现较多血肿，清除血肿后检查未见术野有活动性出血，回顾病情变化分析考虑是病人原来合并高血压，当天没有服用降压药，血压为170/96 mmHg，血压突然升高导致创面渗血形成血肿压迫，术后病人很快恢复正常。

综上所述，颈椎前路椎弓根置钉技术虽然尚不能完全代替传统的颈椎前路减压融合术和后路椎弓根螺钉内固定技术等常规手术方法，却是颈椎传统手术方式的一个有益补充，对一些颈椎椎体破坏严重、颈椎前路内固定翻修、骨质疏松严重等特殊病例有着重要意义，在一些硬件设备比较好（如配备有“O”臂、导航）的医疗机构，可以推荐使用。

参 考 文 献

[1] Abel R, Ruf S, Spahn B. Cervical spinal cord injury and deglutition disorders[J]. Dysphagia, 2004, 19(2): 87-94.

[2] Koller H, Hempfing A, Ferraris L, et al. 4- and 5-level anterior fusions of the cervical spine: review of literature and clinical results[J]. Eur Spine J, 2007, 16(12): 2055-2071.

[3] Kawaguchi Y, Nakano M, Yasuda T, et al. Development of a new technique for pedicle screw and Magerl screw insertion using a 3-dimensional image guide[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(23): 1983-1988.

[4] Liu X, Min X, Zhang H, et al. Anterior corpectomy versus posterior laminoplasty for multilevel cervical myelopathy: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Spine J, 2014, 23(2): 362-372.

[5] 蒋增辉, 刘军辉, 赵凤东. 经颈前路椎间植骨融合钢板内固定治疗不稳定Hangman骨折[J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(11): 986-990.

[6] Koller H, Acosta F, Tauber M, et al. Cervical anterior transpedicular screw fixation (ATPS)—Part II. Accuracy of manual insertion and pull-out strength of ATPS[J]. Eur Spine J, 2008, 17(4): 539-555.

[7] 赵刘军, 李杰, 蒋伟宇, 等. 下颈椎前路椎弓根螺钉固定系统与普通前路椎体螺钉固定系统的静力学比较[J]. 中国骨伤, 2014, 27(2): 118-122.

[8] Zhang PX, Xue F, Zhang DY, et al. Positioning study of cervical vertebra pedicle axialline projective point by computed tomography image reconstruction[J]. Chin Med J (Engl), 2012, 125(14): 2521-2524.

[9] Liu YJ, Tian W, Liu B, et al. Comparison of the clinical accuracy of cervical (C2-C7) pedicle screw insertion assisted by fluoroscopy, computed tomography-based navigation, and intraoperative three-dimensional C-arm navigation[J]. Chin Med J (Engl), 2010, 123(21): 2995-2998.

[10] Lee DH, Lee SW, Kang SJ, et al. Optimal entry points and trajectories for cervical pedicle screw placement into subaxial cervical vertebrae[J]. Eur Spine J, 2011, 20(6): 905-911.

[11] Kanna PR, Shetty AP, Rajasekaran S. Anatomical feasibility of pediatric cervical pedicle screw insertion by computed tomographic morphometric evaluation of 376 pediatric cervical pedicles[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(16): 1297-1304.

[12] Patil S, Lindley EM, Burger EL, et al. Pedicle screw placement with O-arm and stealth navigation[J]. Orthopedics, 2012, 35(1): e61-e65.

[13] Larson AN, Santos ER, Polly DW Jr, 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-E194.

[14] McAfee PC, Cunningham B, Holsapple G, et al. A prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration investigational device exemption study of lumbar total disc replacement with the CHARITE artificial disc versus lumbar fusion: part II: evaluation of radiographic outcomes and correlation of surgical technique accuracy with clinical outcomes[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30(14): 1576-1583; discussion E388-E390.

[15] Rajasekaran S, Kanna RM, Kamath V, et al. Computer navigation-guided excision of cervical osteoblastoma[J]. Eur Spine J, 2010, 19(6): 1046-1047.

[16] Rivkin MA, Yocom SS. Thoracolumbar instrumentation with CT-guided navigation (O-arm) in 270 consecutive patients: accuracy rates and lessons learned[J]. Neurosurg Focus, 2014, 36(3): E7.

[17] Luther N, Iorgulescu JB, Geannette C, et al. Comparison of navigated versus non-navigated pedicle screw placement in 260 patients and 1 434 screws: screw accuracy, screw size, and the complexity of surgery[J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(5): E298-E303.

（收稿日期：2020-12-03）

（本文编辑：陈姗姗）

引用格式

谢兆林, 杨克勤, 江建中, 等. 导航辅助下颈椎前路椎弓根置钉技术的临床应用[J]. 骨科, 2021, 12(3): 226-231. DOI:10.3969/j.issn.1674-8573.2021.03.007.