

· 综述 ·

下颈椎椎弓根螺钉内固定技术应用研究进展

郑昌坤¹, 徐佳隆², 吴建军^{1*}

1. 厦门大学附属福州第二医院脊柱外科, 福州 350007

2. 福建中医药大学中医学院研究生院, 福州 350122

【关键词】颈椎; 脊柱疾病; 内固定; 文献综述

【中图分类号】R 681.531 【文献标志码】A 【文章编号】1672-2957(2021)03-0203-05

【DOI】10.3969/j.issn.1672-2957.2021.03.012

Research progress of pedicle screw fixation in lower cervical vertebrae

Zheng Changkun¹, Xu Jialong², Wu Jianjun^{1*}

1. Department of Spinal Surgery, Fuzhou Second Hospital, Xiamen University, Fuzhou 350007, Fujian, China

2. Department of Graduate School, College of Traditional Chinese Medicine, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian, China

【Key Words】Cervical vertebrae; Spinal diseases; Internal fixators; Review literature

J Spinal Surg, 2021, 19(3): 203-207

低位颈椎(C₃₋₇)亦称为下颈椎,其活动度较大且应力分布集中,为颈椎病好发部位。在脊柱内固定出现之前,颈椎病主要采用非手术治疗,包括药物、牵引、外固定器等。随着外科手术的发展和内固定器械的进步,侧块螺钉和椎弓根螺钉内固定技术的应用,为创伤性和非创伤性颈椎疾患的刚性内固定奠定了基础。椎弓根螺钉由于其独特的生物力学优势,越来越多地应用于颈椎创伤、退行性颈椎病、颈椎肿瘤等疾病的治疗。然而,由于下颈椎椎弓根解剖结构及毗邻关系复杂,手术风险及难度均较大,对术者操作技术要求较高。如何提高置钉的安全性并降低并发症发生率,备受脊柱外科医师关注。本文通过广泛查阅近年国内外下颈椎椎弓根螺钉内固定技术的相关文献,对其临床应用情况进行分析总结,以为临床工作提供参考和借鉴,现综述如下。

1 椎弓根解剖结构特点及螺钉内固定系统生物力学优势

下颈椎椎弓根内侧毗邻脊髓,外侧紧贴椎动脉,

上下均有颈神经根通过。Punjabi等^[1]对25具尸体标本C₃₋₇椎弓根进行放射学检查和测量,结果显示,椎弓根上下壁厚度相似,但明显小于内侧壁厚度,皮质层厚度内侧为1.2~2.0 mm,外侧为0.4~1.1 mm。同期,Uğur等^[2]观察20具尸体颈椎椎弓根及其相互关系,结果显示,C₃₋₇椎弓根高度为5.2~8.5 mm,宽度为3.7~6.5 mm,相邻椎弓根间距为21.2~23.2 mm。下颈椎椎弓根较细,对术者操作技术要求较高,且椎弓根外侧壁厚度与内侧壁相差较大,容易出现椎弓根螺钉穿破外侧壁的情况。即使该项技术具有高风险性,但其仍具有生物力学优势。研究表明,下颈椎椎弓根螺钉内固定具有较高的生物力学强度,Johnston等^[3]采用20具新鲜冷冻椎体(C₃₋₇)标本,随机置入3.5 mm椎弓根螺钉或侧块螺钉,结果显示,施加负荷后椎弓根螺钉的抗拔出强度明显高于侧块螺钉(1 214 N vs. 332 N)。Ito等^[4]对32个椎体(C₃₋₆)随机选择一侧置入椎弓根螺钉,另一侧置入侧块螺钉,16个椎体模拟脊柱扭转运动施加周期负荷,其余16个椎体模拟脊柱屈伸运动施加周期负荷,结果显示,扭转组椎弓根螺钉的平均抗拔出强度约为侧块螺钉的4倍(762 N vs. 191 N)。可见在相同外力下,椎弓根螺钉内固定具有更大的抗拔出强度,可提供更好的稳定性。除此之外,改进椎弓根螺钉的基础设计参数、在螺钉表面使用涂层材料

* 通信作者(Corresponding author)

基金项目 福建省卫生计生科研人才培养项目(2017-ZQN-74)

作者简介 郑昌坤(1982—),博士,主治医师; zck2003@163.com

通信作者 吴建军 wjj7101522@163.com

等,可进一步提高椎弓根螺钉的生物力学稳定性,适用于部分骨质疏松症患者^[5]。

2 不同置钉技术的临床应用

下颈椎椎弓根螺钉内固定最早应用于治疗中下颈椎损伤后的不稳定,如颈椎骨折脱位等,随后应用于非创伤型颈椎病,如颈椎畸形、肿瘤、退行性变、伴有类风湿关节炎或破坏性骨关节病的颈椎疾病等。由于下颈椎的椎弓根较细,距离椎动脉较近,具有较高的神经、血管损伤风险,临床应用须不断提高置钉准确率,合理选择适应证,根据椎弓根形态对患者进行个体化置钉,这样才能充分发挥下颈椎椎弓根螺钉内固定的生物力学优势,把神经、血管并发症尽可能降低^[6]。不同置钉技术的置钉准确性差异较大^[7-8],主要包括徒手置钉法、计算机导航辅助置钉法和3D打印导航模板辅助置钉法。

2.1 徒手置钉

Abumi等^[9]推广了下颈椎椎弓根螺钉的使用,也作为经典的徒手置钉法被后来学者们修改应用。有文献^[10]报道,徒手置钉法螺钉穿出率为6.7%。徒手置钉法将进钉点选择在侧块中心稍外侧,靠近颅侧相邻椎体下关节突下缘,用磨钻打磨进钉点皮质骨,显露椎弓根入口,钉道内倾角为 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$, $C_{3,4}$ 节段进钉略向头侧倾斜, C_{5-7} 节段平行于上终板。徒手置钉法常被应用于急诊手术中,如下颈椎骨折脱位并脊髓损伤时,须尽量缩短术前准备时间,尽快解除压迫、复位及重建椎体稳定性,加快患者术后恢复;而计算机导航辅助置钉的术前准备较为繁琐,可能会延误急诊手术时间,3D打印导航模板的制作时间更长^[11]。当前中柱损伤不明显,而后方结构损伤伴颈椎不稳时,如小关节骨折脱位,后路下颈椎侧块螺钉/椎弓根螺钉内固定是很好的选择^[12-13]。有研究^[14]表明,后路下颈椎椎弓根螺钉内固定可提供更好的稳定性。徒手置钉对术者技术要求较高,术前须仔细阅片,术中谨慎操作,以有效避免医源性损伤。

2.2 O形臂导航辅助置钉

随着科技的进步,计算机导航辅助系统已广泛应用于脊柱手术,特别是O形臂导航系统,大大推动了脊柱外科的发展^[15]。有文献^[16-17]报道,O形臂导航辅助下颈椎椎弓根螺钉置钉较常规C形臂X线机透视下置钉具有更高的准确性,因此,越来越多临床工作者将该技术应用于复杂畸形的颈椎疾病中。Theologis等^[18]采用O形臂导航辅助颈椎椎弓根

螺钉内固定术治疗21例伴颈胸段后凸畸形的颈椎病患者,共置入121枚椎弓根螺钉,结果显示,置钉准确率达99%,仅1枚螺钉穿破椎弓根壁导致急性 C_5 神经根麻痹,该研究认为,O形臂导航辅助置钉在治疗伴有颈椎畸形的颈椎病中安全、准确率高。Mattei等^[19]利用O形臂导航辅助置钉成功治疗1例65岁骨质疏松伴后凸畸形的Hajdu-Cheney综合征患者,作者认为,常规透视下置钉对此类复杂畸形颈椎病具有很高的神经、血管损伤风险,O形臂导航辅助置钉可显著降低神经、血管损伤的风险。Jolissaint等^[20]采用多级椎弓根切开术整块切除位于颈椎后方的肿瘤、O形臂导航系统辅助置入椎弓根螺钉治疗原发性脊椎尤文氏肉瘤,取得满意的治疗效果。计算机导航辅助置钉除应用在上述颈椎后凸畸形和颈椎原发性肿瘤造成的颈椎不稳外,也有文献^[21]指出其适用于结核、类风湿、炎症等因素造成的颈椎不稳及颈椎后纵韧带骨化症合并颈椎畸形等。综上,计算机导航辅助置钉优势明显,可有效提高临床上一些复杂畸形的颈椎疾病的置钉准确率,提高脊柱手术的安全性。但也存在费用昂贵、术中定位器松动或位置改变使导航图偏移导致螺钉置入发生偏差等不足。这些因素可能是限制其大范围推广的原因,相信随着科技的进步,这些问题均将迎刃而解。

2.3 3D打印导航模板辅助置钉

近年来,3D打印导航模板辅助置钉提高了下颈椎置钉的准确率^[22-24],解决了一些复杂颈椎疾病的置钉问题。Kaneyama等^[25]对20例患者中段颈椎使用3D打印导航模板辅助置钉,结果显示,78枚(97.5%)完全位于椎弓根皮质内,2枚(2.5%)位于椎弓根皮质外,未发生神经、血管损伤。Zhang等^[26]报道采用连续图像配准对3D打印导航模板技术进行改良,提高导航模板精确度,结果显示,置钉准确率为98.1%。可见,3D打印导航模板辅助置钉明显提高了置钉准确率,因此,该技术的临床应用日益广泛。丁祥等^[27]采用个体化3D打印导航模板辅助置钉治疗颈椎骨折伴强直性脊柱炎的患者,结果显示,该技术可显著提高置钉准确率和安全性,还可减少患者和术者的辐射暴露次数、缩短手术时间,尤其适用于强直性脊柱炎合并骨折脱位需行后路椎弓根螺钉内固定的患者。与单纯颈椎骨折脱位的患者不同,伴有强直性脊柱炎的患者后方小关节与椎间盘增生、融合,韧带骨化,使置钉点解剖标志变得模糊甚至丢失,且由于炎症侵犯,使得原本

就细小的椎弓根更容易发生变异, 以上因素大大增加了椎弓根置钉的难度。3D打印导航模板是根据术前收集的三维重建CT数据所制作的与后方解剖结构相匹配的模板, 不会随着体位的改变而改变, 导致定位失败。对于一些复杂的颈椎疾病, 该技术相比徒手置钉法具有更高的安全性和置钉准确率, 同时, 因为没有计算机辅助导航设备所需的昂贵费用, 基层医院也可推广使用。其也存在一些缺点, 如模板制作周期长, 有文献^[28]报道需要1~7 d, 且3D模板所涉及的软件应用较多, 可能会加重临床医师的工作量, 这些因素可能使此项技术无法大范围推广应用。另外, 目前临床使用较为广泛的导航模板多为树脂模板, 为了提高模板的精度、机械强度等, 有文献^[29]报道, 改良金属个性化导航模板在置钉准确率和安全率上均优于树脂模板, 具有更好的成形精度、机械强度和耐高温性能等。

2.4 微创置钉

下颈椎椎弓根螺钉内固定术的另一难点是颈椎软组织遮挡导致无法获得足够的内倾角, 进而导致螺钉容易向外侧壁穿出。有研究^[30]报道, 颈后软组织厚度是比椎弓根直径更重要的置钉影响因素。为了减少这方面的影响, Komatsubara等^[31]采用后外侧入路微创颈椎椎弓根螺钉置入技术, 与常规颈椎椎弓根螺钉置入相比, 可显著减少螺钉偏差。Tokioka等^[32]报道, 经后外侧入路微创颈椎椎弓根螺钉内固定术与常规颈椎椎弓根螺钉内固定术相比, 可减少术中出血量, 提高螺钉置入准确率(98.6% vs. 87.7%)。

综上所述, 不同的置钉法具有不同优缺点, 术前通过影像学检查及个体化评估, 选择合适的置钉方法, 可有效提高置钉准确率, 在此基础上, 通过微创术式减少软组织损伤、降低术中出血量及加快患者术后恢复, 是脊柱外科手术发展的方向。

3 下颈椎椎弓根螺钉内固定术的相关手术并发症

随着下颈椎椎弓根螺钉内固定术在临床上的广泛应用, 其手术并发症也逐渐被重视, 颈椎椎弓根毗邻脊髓、神经根和椎动脉, 手术风险高。与下颈椎椎弓根螺钉内固定术相关的并发症包括置钉时螺钉穿破椎弓根导致神经、血管损伤, 间接神经根损伤(医源性椎间孔狭窄), 螺钉松脱或撕脱, 复位失败, 假关节形成或深部感染等, 最常见的是螺钉误置导致颈神经根或椎动脉损伤。既往文献^[33-34]报道, 椎弓根穿孔的发生率为1.1%~29.8%。螺钉穿

破椎弓根外侧壁可能导致椎动脉损伤, 引起术中大出血及脑缺血等并发症, 主要为外侧壁相对较薄及置钉时软组织遮挡使螺钉内倾角不足所致^[35]。螺钉穿破椎弓根上、下壁可能导致神经根损伤, 其中穿破椎弓根上壁更容易导致神经并发症^[36]。如术中发现椎动脉或神经根损伤, 应立即止血, 并根据情况取出螺钉; 取出螺钉后钉道破损无法重新置钉者, 应采取其他内固定方式替代; 术后密切关注患者神经症状, 必要时行CT检查予以重新评估。有研究^[37]表明, 不同疾病、不同椎体高度的椎弓根穿孔率不一, 相比类风湿关节炎(3.4%)和破坏性脊椎病(4.6%), 脊髓型颈椎病的椎弓根穿孔率最高(15.0%); 且C₄最高, C₃次之, C₇最低。另外, 异常的椎动脉走行占位使得术中操作更容易造成椎动脉损伤, 有研究^[38-39]表明, 5%的患者出现椎动脉异常走行, 建议必要时行CT血管造影(CTA)检查, 排除椎动脉发育异常等情况。医源性椎间孔狭窄导致的神经根损伤等间接并发症在颈椎后凸畸形矫形中较为常见^[10], 术后螺钉松动、移位、断裂也时有发生。Heo等^[40]描述了安全、准确放置颈椎椎弓根螺钉的学习曲线, 必要数量为30例患者和170枚螺钉, 提示临床工作者熟练的外科操作技术是提高置钉安全性的关键。虽然并非所有的螺钉误置都会引起并发症, 但术前仍有必要对患者进行个体化评估, 术中仔细操作, 尽可能将并发症发生率降至最低。

4 结语和展望

目前, 下颈椎椎弓根螺钉内固定术广泛应用于治疗各种颈椎疾患, 其独特的生物力学优势, 可为下颈椎提供良好的稳定性, 具有较高的临床价值。不同的置钉方式具有各自的优劣之处, 对于颈椎骨折脱位伴急性脊髓损伤须行急诊手术的患者, 徒手置钉是较常用的方式, 不需花费额外的术前准备时间, 为椎管的及时减压争取宝贵的时间。计算机辅助导航下颈椎椎弓根螺钉内固定可提高置钉准确率, 降低神经、血管损伤的风险, 但费用昂贵, 限制了其大范围推广使用。3D打印导航模板不产生昂贵的费用, 同样可提高置钉的准确率, 但其制作周期较长, 且模板的制作存在一定误差, 期望随着科技的进步, 可以缩短3D打印导航模板的平均制作时间, 提高模板精度, 以在临床更好地推广应用。不论采取哪种置钉技术, 都离不开术者对局部解剖结构的认知和术中操作技术的熟练度, 更离不开术前影像学检查和个体化评估, 下颈椎椎弓根螺钉内固定

技术应朝着精准化、个体化、微创化的方向发展,以进一步加快患者术后康复,提高患者生活质量。

参考文献

- [1] Panjabi MM, Shin EK, Chen NC, *et al.* Internal morphology of human cervical pedicles[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(10): 1197-1205.
- [2] Uğur HC, Attar A, Uz A, *et al.* Surgical anatomic evaluation of the cervical pedicle and adjacent neural structures[J]. Neurosurgery, 2000, 47(5): 1162-1169.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 吴龙,谢成龙,林仲可.椎弓根螺钉设计与其生物力学稳定性的研究进展[J].脊柱外科杂志,2019,17(6): 431-435.
- [6] 张勇鹏,徐全芳,卢良杰,等.下颈椎椎弓根螺钉内固定技术在临床中的应用[J].中国骨伤,2015,28(2): 126-129.
- [7] Ludwig SC, Kramer DL, Balderston RA, *et al.* Placement of pedicle screws in the human cadaveric cervical spine: comparative accuracy of three techniques[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(13): 1655-1667.
- [8] Jo DJ, Seo EM, Kim KT, *et al.* Cervical pedicle screw insertion using the technique with direct exposure of the pedicle by laminoforaminotomy[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2012, 52(5): 459-465.
- [9] 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.
- [10] Abumi K, Shono Y, Ito M, *et al.* Complications of pedicle screw fixation in reconstructive surgery of the cervical spine[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(8): 962-969.
- [11] Jung YG, Lee S, Jeong SK, *et al.* Subaxial cervical pedicle screw in traumatic spinal surgery[J]. Korean J Neurotrauma, 2020, 16(1): 18-27.
- [12] 任学文,段瑞峰,贾峰昌,等.下颈椎骨折脱位治疗方式选择[J].中国药物与临床,2018,18(6): 995-997.
- [13] 陈鑫营,陈子华,李志忠,等.下颈椎骨折脱位并脊髓损伤的治疗术式探讨[J].中国矫形外科杂志,2017,25(16): 1451-1456.
- [14] 周海涛,闫志刚,施建锋.颈椎椎弓根钉棒系统内固定在颈椎骨折脱位合并脊髓损伤治疗中的临床价值[J].解放军预防医学杂志,2019,37(5): 59-60.
- [15] 刘亚明,童通,申勇.O型臂导航系统在脊柱外科手术中的应用进展[J].中国脊柱脊髓杂志,2016,26(7): 653-657.
- [16] 吴登将,杨进顺,陈为坚.计算机导航与C臂透视下颈椎弓根置钉的实验研究[J].中国当代医药,2018,25(18): 64-67.
- [17] 黄圣斌,谢兆林,谭海涛,等.O型臂导航系统辅助颈椎椎弓根置钉的应用效果研究[J].广西医科大学学报,2018,35(7): 976-979.
- [18] Theologis AA, Burch S. Safety and efficacy of reconstruction of complex cervical spine pathology using pedicle screws inserted with stealth navigation and 3D image-guided(O-arm) technology[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2015, 40(18): 1397-1406.
- [19] Mattei TA, Rehman AA, Issawi A, *et al.* Surgical challenges in the management of cervical kyphotic deformity in patients with severe osteoporosis: an illustrative case of a patient with Hajdu-Cheney syndrome[J]. Eur Spine J, 2015, 24(12): 2746-2753.
- [20] Zaldivar-Jolissaint JF, Bobinski L, Duff JM. Multilevel pedicular osteotomies for en bloc resection of a primary ewing sarcoma of the subaxial cervical spine with pedicle screw reconstruction[J]. World Neurosurg, 2019, 132: 303-308.
- [21] 刘亚军,乐晓峰,郑山,等.计算机导航辅助颈椎椎弓根螺钉内固定技术[J].骨科临床与研究杂志,2018,3(3): 182-187.
- [22] 郝申申,刘志斌,王飞,等.3D打印个性化导航模板在后路下颈椎椎弓根螺钉置入中的应用价值[J].中国组织工程研究,2018,22(11): 1701-1706.
- [23] 吴超,邓佳燕,罗敏,等.3D打印逐级导板辅助椎弓根钉固定下颈椎骨折脱位[J].中国矫形外科杂志,2019,27(12): 1132-1136.
- [24] 朱崇涛,范泉水,冯子良,等.3D打印导航模板在下颈椎骨折并脱位手术中的应用[J].临床骨科杂志,2019,22(2): 14-17.
- [25] Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M. Safe and accurate midcervical pedicle screw insertion procedure with the patient-specific screw guide template system[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2015, 40(6): E341-E348.

- [26] Zhang G, Yu Z, Chen X, *et al.* Accurate placement of cervical pedicle screws using 3D-printed navigational templates: an improved technique with continuous image registration[J]. Orthopade, 2018, 47(5): 428-436.
- [27] 丁祥, 李超, 牛国旗, 等. 个体化3D打印导向模板辅助强直性脊柱炎颈椎椎弓根螺钉置入的实验研究[J]. 实用医学杂志, 2020, 36(8): 1072-1076.
- [28] Lu T, Liu C, Dong J, *et al.* Cervical screw placement using rapid prototyping drill templates for navigation: a literature review[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2016, 11(12): 2231-2240.
- [29] 张东升, 王建华, 李洪吉, 等. 改良金属个性化导航模板辅助颈椎椎弓根置钉的准确性[J]. 脊柱外科杂志, 2019, 17(5): 340-344.
- [30] Jung YG, Jung SK, Lee BJ, *et al.* The subaxial cervical pedicle screw for cervical spine diseases: the review of technical developments and complication avoidance[J]. Neurol Med Chir(Tokyo), 2020, 60(5): 231-243.
- [31] Komatsubara T, Tokioka T, Sugimoto Y, *et al.* Minimally invasive cervical pedicle screw fixation by a posterolateral approach for acute cervical injury[J]. Clin Spine Surg, 2017, 30(10): 466-469.
- [32] Tokioka T, Oda Y. Minimally invasive cervical pedicle screw fixation(MICEPS) *via* a posterolateral approach[J]. Clin Spine Surg, 2019, 32(7): 279-284.
- [33] 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.
- [34] Kast E, Mohr K, Richter HP, *et al.* Complications of transpedicular screw fixation in the cervical spine [J]. Eur Spine J, 2006, 15(3): 327-334.
- [35] 马军, 朱裕成, 李涛. 颈椎椎弓根螺钉误置的临床特征分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(10): 887-893.
- [36] 杨振东. 椎弓根螺钉置入损伤下颈椎并发症的预防分析[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(53): 8652-8653.
- [37] Uehara M, Takahashi J, Hirabayashi H, *et al.* Perforation rates of cervical pedicle screw insertion by disease and vertebral level[J]. Open Orthop J, 2010, 4: 142-146.
- [38] Jovanovic MS. A comparative study of the foramen transversarium of the sixth and seventh cervical vertebrae [J]. Surg Radiol Anat, 1990, 12(3): 167-172.
- [29] Hong JT, Park DK, Lee MJ, *et al.* Anatomical variations of the vertebral artery segment in the lower cervical spine: analysis by three-dimensional computed tomography angiography[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2008, 33(22): 2422-2426.
- [40] Heo Y, Lee SB, Lee BJ, *et al.* The learning curve of subaxial cervical pedicle screw placement: how can we avoid neurovascular complications in the initial period? [J]. Oper Neurosurg(Hagerstown), 2019, 17(6): 603-607.

(接受日期: 2020-04-20)

(本文编辑: 张建芬)

· 消息 ·

《脊柱外科杂志》荣获第四届“上海市高校优秀科技期刊奖”

为了不断提高上海市高校科技期刊的学术影响力, 激励高校期刊出版单位提高办刊综合质量, 上海市高校科技期刊研究会于2020年10月组织了“上海市高校精品·优秀·特色·最佳进步科技期刊奖”评选活动。经过多轮评估筛选, 《脊柱外科杂志》杂志荣获第四届“上海市高校优秀科技期刊奖”。

《脊柱外科杂志》编辑部