

椎弓根螺钉辅助置入的研究进展

申洪全 综述, 柯珍勇[△]审校(重庆医科大学附属第二医院骨科, 重庆 400010)

【关键词】 脊柱; 椎弓根螺钉; 计算机; 辅助

DOI: 10.3969/j.issn.1672-9455.2014.22.054 文献标志码: A 文章编号: 1672-9455(2014)22-3209-03

自 Roy-Camille 等^[1]20 世纪 70 年代报道脊柱椎弓根钉技术后, 经过了多年的发展成为目前治疗脊柱疾病的一个主要技术。但脊柱椎弓根螺钉置钉技术操作复杂且学习曲线较长。因为脊柱手术过程中可供辨认的解剖标志有限、椎弓根形态变异等因素使得螺钉的置入非常困难。此外, 椎弓根周围许多重要的神经和血管结构及其变异性也增加了置钉准确的难度。值得关注的是, 在开路椎直接冲破椎弓根壁后损伤血管神经和不当的放置螺钉存在将神经和血管结构损伤的严重危险。这种椎弓根壁破损后神经血管损伤可导致许多潜在的问题, 例如感觉异常、神经损伤和大量失血。误置螺钉也可以导致内固定失败或假关节形成。因此, 即使对经验丰富的脊柱外科医生, 仅仅依靠手感作为引导也难免出现意外而导致各种严重后果。面对这些挑战, 依靠现代科技富有成效的导向技术应运而生。本文就近期一些辅助置钉技术进行介绍, 综述其现状与进展。

1 计算机辅助手术规划和仿真技术

计算机辅助手术规划和仿真系统是依靠计算机技术对手术拟订方案进行思考和仿真。它通过术前获取的相关医学图像进行三维重建模型, 在三维模型上进行相关解剖学测量(长、宽、面积等), 对手术对象获取更为直观地了解以便指导椎弓根螺钉等内置物的选择和使用。通过模拟可用确定手术路径、组织切割让手术医师更加了解手术的过程。

Aubin 等^[2]在脊柱侧凸畸形矫正时应用 S3 系统, 该系统能够在虚拟系统内进行相关操作后评估不同术前计划及不同内固定方式的手术效果, 从而可以从计划中选择最佳的术式。Aurouer 等^[3]采用 Spine View 软件对 11 例脊柱畸形患者进行术前计划, 对不同术式进行评估并采用最佳的手术方式, 11 例患者术前规划后, 术后有 8 例与术前计划一致。

2 计算机辅助个性化手术

个性化手术治疗是骨科临床技术的发展方向, 结合逆向工程原理和快速成形技术为脊柱椎弓根螺钉置入开辟了一种的个体化方法。它目前主要采用 CAD-RP 技术构建个性化椎弓根导航模板及椎体模型。个性化的导航模板可实现对应椎体椎弓根的定位和定向, 从而提高置钉的准确性和节省手术时间。椎体模型具有直观感、可视性和可触摸性, 能对椎弓根钉置入进行术前规划、指导术中操作。

陈国平等^[4]通过对下颈椎个体化设计, 制作了 54 个导航模板, 术中在其指导下共辅助置入 108 枚颈椎椎弓根螺钉。术中将椎板后方软组织剥离干净后导航模板均与相应的颈椎后部骨性解剖结构贴合良好, 椎弓根螺钉均顺利的置入, 仅需完

成后透视 1 次, 无血管和神经损伤的并发症。王远政等^[5]成功建立了和拟手术标本高相似度的颈椎实物模型, 通过术前观察、测量设计了各个椎弓根置钉的相关参数, 成功置入 148 枚颈椎弓根螺钉, 术后 CT 扫描示 140 枚在椎弓根皮质内, 8 枚稍穿出椎弓根皮质骨。

3 手术导航和监测系统

3.1 影像辅助导航技术

3.1.1 术中 X 线片透视 对实施脊柱手术椎弓根螺钉内固定的患者, 术中透视提供二维图像, 且一般术中侧位透视下指导螺钉置入。在椎弓根钻孔或置入螺钉时进行透视, 通过正侧位透视二维图像可评估螺钉置入的准确性。但其代价是患者和医生将接受大剂量的射线辐射。射线辐射的剂量取决于术中透视的次数和时间。Fu 等^[6]在通过胸腰椎 X 透视引导椎弓根螺钉置入的报道中称, 利用透视可使置入的准确性达 93.2%, 该类手术优点可不需要术前 CT 扫描, 且监测具有实时性。由于从二维图像获得的信息有限, 为了进一步评估螺钉植入的准确性, 3D 透视技术应运而生。其特点是在不同的角度和方向进行多次透视, 然后对获得 2 维图像进行重建。其代价是比一般透视更高的射线暴露。Ito 等^[7]报道利用该技术颈椎螺钉植入的成功率达 97.2%, 即使发生误置(2.8%)的患者也均无临床症状。目前国内北京积水潭医院引进的德国西门子“Iso-C”C 型壁, 对颈椎行椎弓根螺钉置入, 共置钉 142 枚, 椎弓根内达 136(准确率 95.8%)^[8]。

3.1.2 计算机辅助手术 计算机辅助手术也称为计算机导航手术(手术导航技术), 是通过标记物和相关的软件, 使得医生能够实时追踪和检测手术器械与患者解剖结构的相对位置。其目的在于完善术前计划、减少失误, 从而提高患者的治疗效果。同样可以允许高年资外科医生在旁边监测低年资住院医师的操作过程, 并予以指导^[9]。模拟的路径图则是由术前及术中的 CT 和 MRI 扫描构成。通过手术器械上的跟踪传感器或信号传送器, 可在路径图上面定位手术器械的位置^[10-11]。一系列的商品化传感器包括电磁传感器、超声传感器以及光学传感器。光学传感器较小, 被动接受或主动发送光学信号; 而电磁传感器主要由小的线圈构成; 基站感知到这些传感器的位置, 而后中转到计算机。可以模拟最佳椎弓根螺钉通道路径及实时具体地了解椎弓根钉道的制作过程。

郭东明等^[12]首先使用红外光影像导航系统对 20 例腰椎不稳患者行椎弓根螺钉内固定, 将置入后影像与导航虚拟路径对比得出: 椎弓根钉进入点偏差平均 2.2 mm(最大 3.3 mm)、

[△] 通讯作者, E-mail: kzy6417@163.com。

平均角度偏差 3°(最大 5°)、平均轴线角度偏差 2°(最大 4°);术后 CT 扫描得出按 4 个级别分类:弯曲在椎弓根内为 0 级,涉及皮质为 1 级,分别为 94 枚(椎弓根内 96%)、4 枚(4%);2 级(小于 2 mm)1 枚;3 级(大于 2 mm)1 枚。刘亚军等^[13]使用 CT 导航辅助颈椎椎弓根钉置入,椎弓根钉满意率为 97.5%,患者术中、术后均未出现明显神经、血管并发症。

迄今为止,各大学和科研机构合作研发了百余套计算机导航系统,尽管一些仍在试验阶段。目前,应用最多的、商业化导航系统包括 ARCADIS Orbic 3D、奇目成像移动式 X 线系统、StealthStation O-Arm、eNLight and NavSuite 以及 VectorVision。

3.2 非影像导航/监测技术

3.2.1 神经电生理监测判断螺钉位置 神经电生理监测是以肌肉和神经细胞电活动为基础,用来术中评估评估脊髓、神经的电位活动情况。如果椎弓根通道制作及螺钉置入过程存在异常,将刺激到脊髓、神经受将产生异常的电活动,因此可识别椎弓根通道是否正确。目前常用的监测方式有以下 3 类:运动诱发电位(MEP)、体感诱发电位(SEP)和肌电图(EMG)。以上监测方法均有其灵敏性和特异性,如 May 等^[14]曾报告 SEP 在颈椎手术中灵敏性可达 99%,但特异性仅 27%。因此 Sloan 等^[15]提出了多模式术中监测方式(MIOM),它是结合两种及以上的监测技术来综合评估脊髓、神经根功能完整性神经电生理监测技术,从而反映椎弓根侧壁是否存在破坏。目前 MIOM 是主流监测方式,不仅可以全面监测神经脊髓上行、下行传导的完整性,还能最大程度上避免监测的假阳性和(或)假阴性的发生。相关研究分析表明 MIOM 模式假阴性率仅 0%~0.79%。Azabou 等^[16]在脊柱侧弯中行椎弓根螺钉置入矫形中发现以下因素会影响神经电生理监测的准确性和特异性:特发性脊柱侧弯、术前常规神经系统的异常体征、术前 MEP 和 SEP 记录值。在以后的工作中,还需深入研究才能提高神经电生理对椎弓根置入过程的准确监测。

3.2.2 组织电导率植入监测技术(ECD) 在低频电流作用下,不同组织结构的电阻抗存在明显差异,是电阻抗分辨皮质骨、松质骨以及结缔组织的基本原理。Myers 等^[17]通过研究表明完整的椎弓根皮质骨电阻抗比松质骨及软组织的电阻抗大得多,在被皮质骨突破时,监测到的电阻抗将明显减低。因此,椎弓根探查时通过监测电阻抗的变化,可以及时发现椎弓根皮质骨突破与否,这样就可使椎弓根螺钉正确放置在椎弓根内。

目前美国 Spine Vision 的开发电导率监测装置 PediGuard,它将传导性监测转换为视觉和听觉信号。Chaput 等^[18]通过该装置对 18 例腰椎退变性疾病需行后路椎弓根置入的患者进行随机对照试验,共置入 78 枚椎弓根螺钉(徒手置入 39 枚 vs. PediGuard 监测置入 39 枚)。术后通过 CT 评判置入螺钉的位置。以突破侧壁大于或等于 2 mm 为标准,两组均发生 1 例,其准确率均为 97.5%,且差异无统计学意义($P=1.000$),但 PediGuard 监测组每 1 枚螺钉透视时间减少 30%。而 Koller 等^[19]用于尸体颈椎行前路及后路椎弓根钉置入,术后 CT 矢状位及横断面分析发现,前路椎弓根钉准确率达到 100.0%,后路椎弓根钉突破率 11.1%。该装置不仅无辐射、

价廉、易学,还不影响外科医生的操作习惯。

4 手术培训系统

利用可行手术模拟培训系统训练住院医师,或有助于减少螺钉误置的发生。第 1 个相关研究可追溯至 2002 年,该研究成果是一个小的、独立的电脑软件,它可模拟螺钉置入不同的椎体(T10-L5)。随后的 2008 年,Rush 等^[20]研发并应用了骨盆及骶骨微创螺钉精确置入模拟器。该模拟器以 CT 扫描图像为基础,呈现为具有个体特异性的三维图像。

Klein 等^[21]制作了一个软件模拟系统,旨在让住院医师熟悉脊柱三维解剖以及学习椎弓根螺钉置入。使用者可将从尸体获得的脊柱三维 CT 扫描图像输入该系统,然后利用屏幕上的模拟螺钉学习不同的椎弓根螺钉置入。该系统可使脊柱影像变得半透明并可观察到螺钉置入的轨迹,以及显示是否穿透骨皮质及其程度并对使用者的表现进行打分。

Podolsky 等^[22]为了证明上述模拟系统是否有助于缩短训练时间进行了初步研究,他们将住院医师分为两组:试验组首先利用上述的模拟系统对标本椎弓根的螺钉置入进行模拟练习,然后再在尸体标本上置入椎弓根螺钉;对照组直接置入螺钉。但结果发现,两组间差异无统计学意义($P>0.05$)。其原因可能是试验方法不当,选取的试验标本生前患有转移癌以及严重的骨质疏松,使得螺钉置入过程中穿透皮质的概率增加。通过对学员及相关培训机构的调查一致认为操作模拟系统有利于学员掌握复杂的、特异的脊椎三维解剖。由此可推断,此类模拟系统具有教育意义。

5 手术机器人

随着微创脊柱外科的发展,经皮椎弓根钉应用广泛,给患者带来较少创伤的同时也存在较高的误置率和手术医师也接受大量的辐射。机器人辅助椎弓根螺钉置入能满足脊柱技术精细、准确、稳定、防止血管神经损伤要求。术者应用机器人系统的三维成像功能与导航技术使二维影像学无法看到解剖结构转换为实时动态的三维图像,实现脊柱解剖结构立体可视化,提高术前手术规划的质量和手术术中操作的准确度。同时,还可以帮助医师完成人手难以完成的手术操作。

Pechlivanis 等^[23]应用 FDA 皮质的脊柱外科机器人系 Spine Assist 微创行腰椎后路减压椎间植骨融合术,共置入 133 枚椎弓根螺钉,术后结果与术前计划对比偏差小于 2 mm 的达到 91.0%~98.5%。Devito 等^[24]通过多中心应用 Spine Assist 指导下置入 664 枚螺钉的回顾性分析得出:98.3%的螺钉在安全区域内(螺钉完全在椎弓根内或超出小于 2 mm),>2~4 mm 的螺钉占 1.4%,>4 mm 的螺钉占 0.3%。综上所述,机器人辅助椎弓根螺钉置入较明显提高螺钉置入的准确度,降低神经血管损伤的风险。

6 展望

随着计算机软硬件及相关学科的发展,弥补了传统置钉的不足。利用现代科技提高置钉准确性,降低手术风险,是椎弓根螺钉技术安全开展和普及的保障。但是以上辅助置钉技术均存在优缺点,例如专业要求强、费用高等问题。临床上根据患者经济情况、医疗水平、医师的能力结合使用,让脊柱外科医生能够更准确、安全、方便地实施椎弓根螺钉的置入及相关骨科手术,使椎弓根螺钉技术具有更强的生命力。

参考文献

- [1] Roy-Camille R, Roy-Camille M, Demeulenaere C. Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with Metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses [J]. La Presse Médicale, 1970, 78 (32): 1447-1448.
- [2] Aubin CE, Labelle H, Chevretils C, et al. Preoperative planning simulator for spinal deformity surgeries [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2008, 33(20): 2143-2152.
- [3] Aurouer N, Obeid I, Gille O, et al. Computerized preoperative planning for correction of sagittal deformity of the spine[J]. Surg Radiol Anat, 2009, 31(10): 781-792.
- [4] 陈国平, 陆声, 徐永清, 等. 数字化导航模板在下颈椎椎弓根定位定向中的应用[J]. 西南国防医药, 2010, 20(6): 596-598.
- [5] 王远政, 田晓滨, 刘洋, 等. Mimics 及颈椎模型用于下颈椎椎弓根个体化置钉的应用研究[J]. 第三军医大学学报, 2012, 34(15): 1543-1547.
- [6] Fu TS, Wong CB, Tsai TT, et al. Pedicle screw insertion; computed tomography versus fluoroscopic image guidance [J]. Int Orthop, 2008, 32(4): 517-521.
- [7] Ito Y, Sugimoto Y, Tomioka M, et al. Clinical accuracy of 3D fluoroscopy-assisted cervical pedicle screw insertion [J]. J Neurosurg Spine, 2008, 9(5): 450-453.
- [8] 田伟, 刘亚军, 刘波, 等. 计算机导航在脊柱外科手术应用实验和临床研究[J]. 中华骨科杂志, 2006, 26(10): 671-675.
- [9] Schep NW, Broeders IA, Van Der Werken C. Computer assisted orthopaedic and trauma surgery. State of the art and future perspectives[J]. Injury, 2003, 34(4): 299-306.
- [10] Cleary K, Peters TM. Image-guided interventions; technology review and clinical applications[J]. Annu Rev Biomed Eng, 2010, 12(13): 119-142.
- [11] Eftekhari B, Ghodsi M, Ketabchi E, et al. Surgical simulation software for insertion of pedicle screws[J]. Neurosurgery, 2002, 50(1): 222-223.
- [12] 郭东明, 蔡维山, 徐中和, 等. 导航引导椎弓钉加椎间钛笼稳定腰椎椎节的手术应用[J]. 广东医学, 2005, 26(2): 149-150.
- [13] 刘亚军, 田伟, 刘波, 等. CT 三维导航系统辅助颈椎椎弓根螺钉内固定技术的临床应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2005, 7(7): 630-633.
- [14] May DM, Jones SJ, Crockard HA. Somatosensory evoked potential monitoring in cervical surgery: identification of pre- and intraoperative risk factors associated with neurological deterioration[J]. J Neurosurg, 1996, 85(4): 566-573.
- [15] Sloan TB, Janik D, Jameson L. Multimodality monitoring of the central nervous system using motor-evoked potentials[J]. Curr Opin Anaesthesiol, 2008, 21(5): 560-564.
- [16] Azabou E, Manel V, Abelin-Genevois K, et al. Predicting intraoperative feasibility of combined TES-mMEP and cSSEP monitoring during scoliosis surgery based on preoperative neurophysiological assessment [J]. Spine J, 2014, 14(7): 1214-1220.
- [17] Myers BS, Hasty CC, Floberg DR, et al. Measurement of vertebral cortical integrity during pedicle exploration for intrapedicular fixation[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1995, 20(2): 144-148.
- [18] Chaput CD, George K, Samdani AF, et al. Reduction in radiation(fluoroscopy) while maintaining safe placement of pedicle screws during lumbar spine fusion[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(21): 1305-1309.
- [19] Koller H, Hitzl W, Acosta F, et al. In vitro study of accuracy of cervical pedicle screw insertion using an electronic conductivity device (ATPS part III) [J]. Eur Spine J, 2009, 18(9): 1300-1313.
- [20] Rush R, Ginsberg HJ, Jenkinson R, et al. Beyond the operating room; a simulator for sacroiliac screw insertion [J]. Surg Innov, 2008, 15(4): 321-323.
- [21] Klein S, Whyne CM, Rush R, et al. CT-based patient-specific simulation software for pedicle screw insertion[J]. J Spinal Disord Tech, 2009, 22(7): 502-506.
- [22] Podolsky DJ, Martin AR, Whyne CM, et al. Exploring the role of 3-dimensional simulation in surgical training; feedback from a pilot study[J]. J Spinal Disord Tech, 2010, 23(8): 70-74.
- [23] Pechlivanis I, Kiriyanthan G, Engelhardt M, et al. Percutaneous placement of pedicle screws in the lumbar spine using a bone mounted miniature robotic system; first experiences and accuracy of screw placement[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2009, 34(4): 392-398.
- [24] Devito DP, Kaplan L, Dietl R, et al. Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with SpineAssist surgical robot; retrospective study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(24): 2109-2115.

(收稿日期: 2014-03-12 修回日期: 2014-05-14)