

导航系统在脊柱内固定手术中的应用

吴瑞¹ 杨永军¹ 周纪平^{1△} 谭远超¹ 刘彬¹ 李佳佳¹

[关键词] 导航系统;脊柱内固定;Iso-C 透视导航;影像漂移

[中图分类号] R687.3 [文献标志码] A [文章编号] 1005-0205(2018)05-0086-03

近年来随着科学技术的发展,脊柱内固定技术也取得了长足的发展,从椎弓根钉的材质到设计理念不断进步,但传统置钉方式受到很多因素影响,病人解剖部位的变异、侧弯、多次手术、骨质疏松等,均可对椎弓根钉植入的准确性产生影响,椎弓根钉的偏差可能会导致神经、血管的受损从而导致并发症^[1,2]。导航系统的引入则从很大程度上提高了其准确性,避免了以上问题的发生。

1 导航系统的发展

1980 年代神经外科手术操作开始应用导航系统^[3,4],1986—1987 年,第一台 CT 交互式的神经外科手术导航系统由 Wantanabe,Roberts 及 Basel 工作组几乎同时开发出。Wantanabe 及 Basel 工作组应用机械臂进行跟踪定位,Roberts 工作组应用的则是超声定位法。1990 年代,Heibrun 等应用三目和双目机器视觉原理^[5],引入普通和红外相机在手术中进行立体定向,之后推广应用于骨科等手术。1990 年代后 Steimann 等将红外技术引入脊柱骨科手术^[6],Nolte 等较早早在实验室中进行计算机引导下的椎弓根钉植入^[7,8]。

2 导航系统的分类

目前临床应用的导航系统主要有两种分类方法。

2.1 根据信号系统分类

分为机械定位导航系统、光学定位导航系统、超声定位导航系统及电磁定位导航系统^[2]。光学定位导航系统精确性相对较高,在临床中应用最为广泛,其中红外线定位系统较多。该系统通过示踪器发出红外线信号由收发器接收,之后通过立体视觉原理重建目标的空间位置。

2.2 根据获取影像资料方式不同分类

分为 CT 导航系统、X 线透视导航系统(二维和三维导航,根据机器的不同又可分为 C 臂机及 O 臂机导航)、MRI 导航系统、完全开放式导航系统(非影像依赖导航系统)^[9]。因为经济、使用便捷性等各方面因素,目前应用较多的是 X 线引导下的透视导航,其中又以 C 臂机应用较多。

3 虚拟现实技术

近些年计算机技术飞速发展,虚拟现实技术在各行业中的应用尤为引人注目,在医学领域的应用也受到越来越多的重视,目前主要应用于医学教育,如解剖、手术教学及模拟救助等^[10,11]。现阶段的技术可以通过力学反馈系统模拟手术操作中的触感、力度等^[12],应用于手术教学,其实导航系统的术前计算机规划,机器人系统的术前计划,通过采集术前三维 CT 图像,在计算机上模拟手术过程,设计置钉方向、深度、螺钉的直径、长度等,3D 打印假体应用于椎体置换及引导置钉等,也可以视作虚拟现实技术在脊柱导航中的应用^[13,14],受限于技术及经济等因素,虚拟现实技术在脊柱手术中的应用尚未成熟,亦未得到广泛应用,但相信随着技术发展,虚拟现实技术会在脊柱手术中占据相当重要的位置。

4 C 臂机引导下的导航

4.1 C 臂机导航的优势

C 臂机引导下的导航系统技术及其在临床中的应用发展相对较晚,与基于 CT 和 MRI 图像的导航相比,它的应用较为简单快捷,省去了很多步骤,如术前规划及注册-配准过程等,况且以上两种技术所应用的是术前图像,摆体位时很容易发生组织位移或变形^[15],如胸腰椎骨折病人,俯卧位与仰卧位差别较为明显^[16],此时导航的准确性及安全性就大打折扣,但基于 C 臂机的导航技术可以实时获取患者影像学资料,辅助术者根据具体情况确定操作。从而准确直观地帮助术者在系统引导下完成手术操作。

4.2 传统 C 臂机导航的局限

最早应用的 C 臂机导航较为简易,提供的只有二维图像,对低位胸椎腰椎成像较好,但应用于一些解剖部位较复杂的部位则效果稍差,如颈椎、中上胸椎,再者应用于肥胖患者及骨质疏松患者时效果也较差^[17,18]。以上因素都影响了 C 臂机导航系统应用于脊柱外科的手术。随着技术发展出现 Iso-C 透视导航,可以提供三维图像,消除或者减少了这些因素的影响。

5 Iso-C 透视导航

5.1 与传统 C 臂机导航的区别

三维 C 臂机实时透视导航系统(Iso-C 透视导航)

¹ 山东省文登整骨医院(山东 文登,264400)

[△] 通信作者 E-mail:abcdzhoujiping@163.com

与以往的普通 C 臂机导航系统相比,可以在定位之后,以手术部位为中心自动旋转,系统设定完成,透视机启动旋转并采集 100 幅图像,自动导入计算机系统后进行图像重建,重建后取得的图像可以达到与 CT 一样的效果。图像采集时间较短,大约 2 min. 重建后可提供矢状面、横切面、冠状面及 3D 重建图像。

5.2 优势

三维 C 臂机实时透视导航在图像传输完毕后即可使用,省去了人工匹配较为繁琐的过程,大大节省了手术时间,之后便可以在其引导下进行椎弓根钉的置入操作。Iso-C 导航结合了普通 C 臂机导航和 CT 导航两种导航方式的优点,解决了以上两种方式的一些不足,从而确保手术安全性^[15,19]。椎弓根钉植入完毕后可再次进行扫描,进而对椎弓根钉的植入情况进行评估。应用该系统取得的图像与 CT 相比确实存在清晰度的差距,但应用于手术操作足以满足对精确性的要求。

5.3 应用前景

Iso-C 三维导航系统有良好的应用前景,在将来的临床中有可能逐步替代另外两种系统。三维 C 臂机实时透视导航在脊柱外科复杂手术如颈椎后路及中上胸椎的椎弓根钉植入、脊柱侧弯矫形手术等有重要意义,可提高定位的准确性、缩短手术时间、优化手术方案、提高手术的安全性。

6 导航系统的优势

导航系统应用于临床后大大提升了椎弓根钉植入的准确性及安全性^[16,20-25],Laine 等比较计算机辅助椎弓根螺钉置入与传统置入方法的准确性,通过临床随机对照研究,研究结果显示椎弓根钉的穿破率在导航辅助组 and 传统手术组分别为 4.6% 和 13.4% ($P=0.006$),椎弓根穿破大于 4 mm 的螺钉在传统手术组占 1.4% (4/277),计算机导航手术组为 0. Kahler 等^[21]运用导航系统,采集了 55 枚骶髂螺钉的资料,显示其平均偏差仅为 1.9 mm. 闫士举等^[24]通过实验室标本研究,比对导航系统和传统手术置钉方式,各植入椎弓根钉 48 枚,其中导航组的置钉偏差率为 4.2%,而传统组的偏差率为 18.8%。杨立利等^[25]比较导航组与传统组,导航组共植入椎弓根螺钉 125 枚,其中优 114 枚(91.2%),良 10 枚(8.0%),差 1 枚(0.8%),优良率为 99.2%;传统组共植入椎弓根螺钉 129 枚,其中优 78 枚(60.5%),良 32 枚(24.8%),差 19 枚(14.7%),优良率为 85.3%,因此认为计算机导航系统的应用可以显著提高脊柱外科手术的安全性及矫正效果。朱康华等^[26]应用计算机导航治疗强直性脊柱炎合并颈胸椎骨折病人也取得较好疗效。笔者所在科室在临床中也处理过强直性脊柱炎合并胸腰椎骨折患者,此类患者因 AS 导致解剖标志不明显,传统置钉方法容易发生偏差,而应用导航系统则显著提高了其准确性。对于骨质疏松症患者,因为骨密度降低导致置钉手感较差,容易发生偏差,导航系统可提高此类患者置钉准确性及安全性^[27]。因为透视次数的减少,导航

系统可以减少患者及术者的辐射暴露^[28,29]。

7 导航系统存在的问题及解决方法

7.1 影像漂移问题

首先是影像漂移问题。影像漂移,即操作时目标结构位移,导致导航所用影像与结构真实的偏差,不论采取何种方式的导航均不能完全避免漂移的发生,若影像漂移过大,会严重误导术者,导致置钉偏差,损伤周围重要结构。

影像漂移一般有以下两个方面原因:1)导航设备(固定架、信号收发器、定位器等)松动移位;2)手术操作部位(定位器所固定的棘突、椎板、目标椎体等)移位。

以上因素要求术者在安置定位器时必须确定定位器的固定牢固,所固定棘突不能存在不稳定。系统启动后,定位器绝不可有任何移位。在整个导航系统应用期间应该尽量保持操作部位的稳定性,保持各解剖部位之间位置的相对稳定。

另外笔者在临床应用中发现麻醉潮气量控制对图像生成的清晰度及准确性亦有一定程度影响,尤其是胸椎手术中,若潮气量过大可导致影像漂移明显,可与麻醉师沟通,适当调整潮气量。操作力度也对精确性有一定影响,若用力过大,可能导致椎体位移较大,进而导致影像漂移较大,影响导航的准确性。

患者体位固定稳定,术者轻柔的操作和无应力导航是消除导航误差的有效方法^[2]。在实际操作中该问题出现的主要原因为参考架位置移动。有研究者认为在不影响手术操作的前提下,参考架固定点应当尽量靠近置钉点,椎体间的微小活动也可以导致偏移。另有研究者认为参考架的距离并不会对导航产生明显的影响。

7.2 信号遮挡问题

目前临床中应用最多的是红外定位,红外定位的优点是定位准确度高、速度快,但在手术中手术器械与红外接收器之间易受遮挡,如术者手臂、纱布、器械等,当置钉角度较大时手术器械可能偏出接收器接收视野,需调整接收器方位。部分较老的导航系统可能需要重新定位,增加了手术时间及感染风险。这要求术者在手术开始之前就设定好接收器及手术床的位置,避免再次调整。

7.3 手术操作者的水平及经验问题

虽然导航系统能提供给术者良好及直观的手术视野,但导航技术毕竟只是一种辅助手段,不可盲目依赖,必须结合术者的经验,可在必要时对置钉位置进行调整,以确保置钉安全性^[30-32],导航操作者本身应有丰富的手术操作经验,熟悉解剖,徒手置钉经验丰富^[33],这样才能不会过于依赖导航,及时发现影像漂移等问题,避免不必要损伤的发生。导航操作者首先应该经过系统培训,在熟知导航原理及操作规范后方可应用导航系统指导手术,避免因操作失误产生的损伤。

8 结语

导航系统应用于临床以来帮助医生实施一些以前很难开展或不能开展的手术,大大提高了手术的准确

性及安全性,节约了手术时间,有非常好的发展前景,很好地推动了脊柱外科手术的发展。随着技术进步,导航系统会更好服务于脊柱外科手术。

参考文献

- [1] Hayashi D, Roemer FW, Mian A, et al. Imaging features of postoperative complications after spinal surgery and instrumentation[J]. *Am J Roentgenol*, 2012, 199(1): 123-129.
- [2] 周东生. 实用骨科导航技术[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2007.
- [3] Watanabe ET, Watanabe S, Manaka S, et al. New equipment for CT guided stereotaxic surgery[J]. *Surg Neurol*, 1987, 27(6): 543-547.
- [4] Roberts DW, Steohbehn JW, Hatch JF, et al. A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope[J]. *J Neurosurg*, 1986, 65(4): 545-549.
- [5] Heibrun MP, MC Donald P, Wiker C, et al. Stereotactic localization and guidance using a machine vision technique[J]. *Stereotact Funct Neurisurgery*, 1992, 58(1-4): 94-98.
- [6] Steimann JC, Herkowitz HN, EI-Kommons H, et al. Spinal pedicle fixation: confirmation of an image-based technique for screw placement[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1993, 18(13): 1856-1861.
- [7] Nolte LP, Zamorano LJ, Jiang Z, et al. Image-guided insertion of transpedicular screws: a laboratory set-up[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1995, 20(4): 497-500.
- [8] Nolte LP, Visarius H, Arm E. Computer-aided fixation of spinal implants[J]. *Journal of Image Guided Surgery*, 1995, 1(2): 88-93.
- [9] 郭卫春, 黄文俊, 汪光晔, 等. 计算机辅助导航技术在骨科中的应用进展[J]. *中国医药导报*, 2016, 13(3): 55-59.
- [10] 李云, 罗刚, 凌冠华, 等. 虚拟现实技术在医学教育中的应用[J]. *检验医学与临床*, 2014, 11(17): 2485-2487.
- [11] Neyaz Z, Phadke RV, Singh V, et al. Three-dimensional visualization of intracranial tumors with cortical surface and vasculature from routine MR sequences[J]. *Neurol India*, 2017, 65(2): 333-340.
- [12] 郭琦, 郑津津. 支持力反馈的虚拟手术仿真系统[J]. *机械与电子*, 2013, 10(3): 6-8.
- [13] 潘雯, 宫建. 3D可视化、3D打印、虚拟现实、增强现实在医学中作用的研究进展[J]. *实用医学杂志*, 2017, 33(17): 2969-2971.
- [14] Upex P, Jouffroy P, Riouallon G. Application of 3D printing for treating fractures of both columns of the acetabulum: benefit of pre-congtouring plates on the mirrored healthy pelvis[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2017, 103(3): 331-334.
- [15] 陈强, 张怡元, 林妙阔, 等. Iso-C臂三维导航系统指导下的脊柱侧弯椎弓根钉内固定: 问题与优势[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(39): 6385-6389.
- [16] 都江胜, 赵毓军, 王小铁. 脊柱导航系统在腰椎爆裂骨折治疗中的应用[J]. *实用骨科杂志*, 2015, 21(9): 828-831.
- [17] 沈点红, 孔荣, 黄炎, 等. C臂导航在胸腰椎椎弓根内固定术中应用[J]. *临床骨科杂志*, 2009, 12(2): 130-132.
- [18] Nowitzke A, Wood M, Cooney K. Improving accuracy and reducing errors in spinal surgery-a new technique for thoracolumbar level localization using computer assisted image guidance[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(4): 597-604.
- [19] Nottmeier EW. A review of image-guided spinal surgery[J]. *J Neurosurg Sci*, 2012, 56(1): 35-47.
- [20] Laine T, Lund T, Ylikoski M, et al. Accuracy of pedicle screw insertion with and without computer assistance: a randomized controlled clinical study in 100 consecutive patients[J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(3): 235-240.
- [21] Kahler DM, Mallik K. Computer assisted iliosacral screw placement compared to standRad fluoroscopic technique[J]. *Computer Aided Surg*, 1999, 4: 348.
- [22] Amiot LP, Lang L, Putzier M, et al. Comparatier results between conventional and computer-assisted pedicle screw insertion in the thoracic, lumbar, and sacral spine[J]. *Spine*, 2000, 25(5): 606-614.
- [23] Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007, 32(3): E111-E120.
- [24] 闫士举, 钱理为, 葛斌. 基于C型臂脊柱手术导航技术研究及系统实现[J]. *生物医学工程学杂志*, 2011, 28(2): 280-283.
- [25] 杨立利, 袁文, 陈德玉, 等. 脊柱外科手术中计算机辅助导航技术应用的初步经验[J]. *中国骨与关节外科*, 2010, 3(4): 261-270.
- [26] 朱康华, 孟志斌. 计算机导航下经椎弓螺钉内固定治疗强直性脊柱炎合并颈胸椎骨折7例[J]. *中华灾害救援医学*, 2016, 4(3): 174-176.
- [27] 冯硕, 田伟. 导航系统对伴骨质疏松的椎体轴性旋转脊柱疾病患者椎弓根螺钉置入效果的影响[J]. *山东医药*, 2015, 55(16): 35-37.
- [28] Izadpanah K, Konrad G, Sudkamp NP, et al. Computer navigation in balloon kyphoplasty reduces the intraoperative radiation exposure[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(12): 1325-1329.
- [29] Sembrano JN, Yson SC, Polly DW, et al. Comparison of nonnavigated and 3-dimensional image-based computer navigated balloon kyphoplasty[J]. *Orthopedics*, 2015, 38(1): 17-23.
- [30] 徐丽明, 顾锐, 朱庆三, 等. 徒手与在计算机导航下中上胸椎椎弓根螺钉置入技术的前瞻性对比研究[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2010, 25(9): 778-780.
- [31] Amiot LP, Lang K, Putzier M, et al. Comparaitve results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, Lumbar and sacral spine[J]. *Spine*, 2000, 25(5): 606-620.
- [32] Amiot LP, Poulin F. Computed tomography-based navigation for hip, knee and spine surgery[J]. *Clin Orthop*, 2004, 421(42): 77-86.
- [33] 刘亚军, 田伟, 刘波, 等. X线透视与计算机导航系统引导颈椎椎弓根螺钉内固定技术的对比研究[J]. *中华外科杂志*, 2005, 43(20): 1328-1330.

(收稿日期: 2017-06-01)