

# 脊柱外科手术导航的应用现状及研究进展

朱 荔, 白玉树, 李 明

【关键词】脊柱; 脊柱疾病; 外科手术, 计算机辅助;

【中图分类号】R 681.5 【文献标志码】A 【文章编号】1672-2957(2014)02-0123-03

【DOI】doi:10.3969/j.issn.1672-2957.2014.02.016

近年来脊柱外科手术得到了巨大的发展, 但脊柱外科解剖结构复杂, 毗邻重要血管神经, 手术难度和风险性很高, 同时脊柱手术趋向微创化精准化, 迫切需要新的方法提高手术安全性和降低并发症。20世纪90年代初, 导航技术开始被应用到脊柱手术中, 旨在提高术野的可视度和手术精度<sup>[1-3]</sup>。目前导航系统已经广泛应用到脊柱外科的各个方面, 如椎弓根螺钉置入<sup>[4-5]</sup>、人工椎间盘置换<sup>[6]</sup>、脊柱肿瘤手术摘除<sup>[7]</sup>等。本文将近年来脊柱外科手术导航的应用现状及研究进展综述如下。

## 1 计算机辅助手术导航系统 (computer assisted surgery, CAS)

目前脊柱外科手术中较流行的导航方式为计算机辅助监测技术。CAS是指将患者数字化扫描影像信息(CT、MRI、C形臂影像等), 传输到计算机工作站, 进行三维重建、图像配准、图像融合等。在实际手术过程中使用立体空间定位技术动态追踪手术器械及患者解剖结构的当前位置, 并实时显示在患者的二维、三维影像资料上, 手术医生通过高解像度的显示屏从各个方位(轴向、矢状位、冠状位、术野前方透视层面等)观察到当前手术入路及各种参数(角度、深度等)<sup>[8]</sup>。脊柱手术中常应用的基于影像学的导航计算机辅助方式可以分为以下4种。

### 1.1 术前CT成像导航系统

即利用术前得到的CT信息对手术部位进行三维重建, 并在术中将三维信息与真实解剖结构相互对应。该方法为术者选择最佳入点和进入途径提供了参考, 尤其是在解剖异位、创伤、畸形、肿瘤等情况下。但是术前导航系统不能反应术中正确的空间定位。

### 1.2 术中X线透视成像导航系统

即采用术中C形臂X线机实时采集的X线透

视图像进行导航定位。这种导航虽然用二维图像提供了术中空间定位, 且术中射线暴露较少, 但是图像质量较低, 对胸骶椎等部位影像重叠较难看清。而且该技术在透视影像获取后, 不能再监测到术中的位置改变, 对于随呼吸运动而位置波动的胸椎有较大的局限性。

### 1.3 术中CT成像导航系统

即利用手术中实时采集的2D图像进行3D重建实现定位能够达到与患者真实解剖的良好对应, 并获得清晰的图片。但是实时CT大幅度增加了射线辐射量, 同时设备相对昂贵, 需要专门的手术室环境, 在一定程度上限制了该导航的发展<sup>[9]</sup>。

### 1.4 术中三维C形臂(Iso-C3D)成像导航

即基于C形臂的三维成像技术, 术中三维C形臂自动连续旋转190°采集100幅数字点片图像并自动重建三维图像, 然后在术中即时三维重建图像, 引导置钉<sup>[10]</sup>。此导航技术与患者解剖实现了更精确的对应, 并且避免了体位改变、解剖关系变化带来的干扰<sup>[11]</sup>, 但是仍存在相应的局限性。譬如旋转C形臂采集图像时需要移除不透X光的牵引装置, 并需要麻醉师配合患者在采集图像的2min内停止呼吸, 而最大的限制莫过于有限的扫描容积( $< 12\text{ cm} \times 12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ ), 这便意味多节段的脊柱手术需要多次采集图像才能完整的反应复杂的解剖关系<sup>[12-13]</sup>。

随着CAS反复改进, 其技术体系日趋成熟, 优点也是显而易见的, 譬如使手术更加数字化、实时化、智能化。但是相关设备的价格昂贵, 操作相对复杂, 并且手术时间较长仍然是计算机辅助手术导航系统面临的巨大难关。

## 2 手柄式脊柱内固定导引器

基于计算机辅助导航系统价格昂贵、操作复杂等缺点, 外科医生更倾向于使用一种简单便携的脊

作者简介: 朱荔(1989—), 博士在读, 医师

作者单位: 200433 上海, 第二军医大学附属长海医院骨科

柱手术实时监测工具,手柄式脊柱内固定导引器由此应运而生。手柄式脊柱内固定导引器具备以下特点:①体积小,容易携带,消毒方便。在前线野战医院或突发情况下,手术条件通常是比较简陋的。对环境依赖较强的CAS系统便受到了制约,而手柄式导引器正因其容易携带、消毒方便在非择期手术中应用灵活,其应用得到更多野战医院、急救医院的青睐。②操作简单,无需繁琐的计算过程。CAS的关键技术是影像对应技术及空间定位技术,需要阶段化的学习才能熟练掌握,其中术中注册过程繁琐、易失败,给术者及技术员带来了不小的考验。而手柄式导引器原理简单,操作方便,无需特殊辅助人员,简化了手术难度。③能做到连续监测,实时导航。同CAS一样,可以做到实时导航,但其警报系统的发明为术者提供了更有力的保障,术者除比对观察术中空间位置外,还可以运用听觉、视觉等感官了解手术进程,避免手术意外。手柄式脊柱内固定导引器依据其定位方法可分为以下几种。

### 2.1 压力电涡流手柄导引器

作用原理:探头利用了压力感受器的原理,采用成品电涡流传感器分别对骨密质与软组织进行实验研究,确立可靠的信号灵敏度、信号合理强度和相互作用距离,当导引器接近穿透时即有指示灯亮起,提示手术医师调整进针方向。但是,每个人骨硬度存在个体差异,尤其是一些骨质疏松的患者,即使骨密质较硬也不会引起压力感受器报警,这样引导器的提示作用大大减弱。针对单纯压力感受器的缺点,采用电涡流传感器作为探测器,对骨密质和骨松质间存在的硬度差异做出感应。即便是骨质疏松症患者,只要骨密质与软组织间存在硬度差,也可在骨皮质被穿破的瞬间发出警示<sup>[14-15]</sup>。基于压力电涡流的手柄导引器在离体实验标本上初步应用效果尚可,虽仍未进入临床使用期,但为早期手术提供了可靠的参考。

### 2.2 超声定位手柄式导引器

作用原理:开路器探头分为低频(0.2~5 MHz)和低频(5~20 MHz)2种。0.2~5 MHz的低频段区有助于超声穿透骨质,看到前方较远骨质后面的情况,对探头方向提供参考;5~20 MHz高频段区虽然穿透能力较差,但对开路器较近区域骨质的分辨率较高,可及时反馈开路器头端所在位置,对及时发现开路器头端是否穿出皮质有很高的警示作用。但是,骨组织声阻抗较大,常用的医用超声由体外入射时,软组织与骨组织界面声阻抗差异较大,在骨皮质后方形成声影,故一直以来骨组织是体外超声的应用盲区。然而螺钉置入过程中开路器探头可直接接

触骨组织表面,克服了超声波由体外扫描时在软组织与骨皮质交界处显示不清的缺点,这一特殊条件又为超声应用提供了可能性。该导引器将设计的特殊频率超声定位导航装置应用于骨组织表面,从而实现了钉道建立前对进钉点和钉道方位的定位。这种设计不仅能够保证螺钉置入过程的安全性,同时确保了开路装置的机械强度,间接形成了对超声探头的保护,延长了手柄式到引起的寿命。但是,以目前的技术仍然无法将超声探头制作的很小巧,这在应用到开路器上存在一定的困难。所以超声探头的研究仍主要在实验方面,真正应用到临床手术中的较少<sup>[16-17]</sup>。

### 2.3 电导定位手柄式导引器

作用原理:首先经过大量实验、数据分析等,确定导航器探头位于椎骨和脑脊液中的电流值范围,并将该数值预存在导航器的控制中心中。导航器探头包括2个电极,位于2个电极之间的人体组织充当导电介质,2个电极的输出电流信号再经电流电压转换器输出电压信号,经过一系列处理后最终输入导航器控制系统中,并将术中得到的数据与预存在导航器电流值加以比较,从而指示所述导航器探头所处的位置。

根据脊髓液的电导率远远大于椎骨的电导率这一特点,该导引器实现了对导航器探头的定位。使用电导的方法稳定性较好,抗干扰能力优于单纯电压、电流探测。这也是目前临床手柄式导航器最常应用的方法之一。

## 3 导航技术发展前景

导航技术的发展给骨科医生带来了前所未有的方便,依托导航技术,脊柱外科手术更加安全、简便、精确。导航系统的优点可以细分为以下几点:①导航技术较传统手术更为精准。复杂的颈段手术、脊柱侧凸等畸形类手术、椎弓结构变异类手术以及解剖标志点不明确等情况,运用导航引导可以提高精准度,使手术更加安全可靠。②导航技术使脊柱外科手术微创化。微创化是脊柱外科的发展方向,但微创化的同时,相对局限的术野也带来了更大的难度,引导技术可以帮助术者迅速找到手术部位完成操作,对保持脊柱正常解剖结构的完整性提供了保障。③导航系统可以使术者更好地计划和模拟手术步骤,增加手术熟练度,降低手术风险。④导航系统减少了术中医师和患者接受的放射线剂量,尤其是手柄式导航技术的诞生,革新了骨科手术依赖计算机辅助成像的传统局面,更进一步减少了放射线的使用率。手术导航系统是综合多学科研究成果的产物,也是脊柱手术发展的一个新兴领域。随着导航

技术在临床上应用上的增加,骨科治疗效果呈现质的飞跃。不难预计,手术导航系统是今后脊柱手术的发展趋势,将对脊柱外科的发展产生深远的影响。

参考文献

[1] Van de Kelft E, Costa F, Van der Planken D, et al. A prospective multicenter registry on the accuracy of pedicle screw placement in the thoracic, lumbar, and sacral levels with the use of the O-arm imaging system and StealthStation Navigation [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(25):E1580-1587.

[2] Scheufler KM, Franke J, Eckardt A, et al. Accuracy of image-guided pedicle screw placement using intraoperative computed tomography-based navigation with automated referencing, part I: cervicothoracic spine [J]. Neurosurgery, 2011, 69(4):782-795.

[3] Larson AN, Polly DW Jr, Guidera KJ, et al. The accuracy of navigation and 3D image-guided placement for the placement of pedicle screws in congenital spine deformity [J]. J Pediatr Orthop, 2012, 32(6):e23-29.

[4] Patil S, Lindley EM, Burger EL, et al. Pedicle screw placement with O-arm and stealth navigation [J]. Orthopedics, 2012, 35(1):e61-65.

[5] 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):E188-194.

[6] 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.

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

[8] 陈昊,徐军,何飞. 脊柱外科导航的临床应用进展 [J]. 昆明医学院学报, 2007, 28(5):89-93.

[9] Sugano N. Computer-assisted orthopaedic surgery and robotic surgery in total hip arthroplasty [J]. Clin Orthop Surg, 2013, 5(1):1-9.

[10] Rajasekaran S, Tubaki VR, Shetty AP. Results of direct repair of type 2 hangman fracture using Iso-C3D navigation: 20 cases [J]. J Spinal Disord Tech, 2012, 25(5):E134-139.

[11] Costa F, Porazzi E, Restelli U, et al. Economic study: a cost-effectiveness analysis of an intraoperative compared with a preoperative image-guided system in lumbar pedicle screw fixation in patients with degenerative spondylolisthesis [J]. Spine J, 2013, pii: S1529-9430(13)01614-8.

[12] Zausinger S, Scheder B, Uhl E, et al. Intraoperative computed tomography with integrated navigation system in spinal stabilizations [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(26):2919-2926.

[13] Sembrano JN, Santos ER, Polly DW Jr. New generation intraoperative three-dimensional imaging (O-arm) in 100 spine surgeries: Does it change the surgical procedure? [J]. J Clin Neurosci, 2014, 21(2):225-231.

[14] 史建刚,贾连顺,袁文,等. 手柄式脊柱内固定导引器的研制及初步应用 [J]. 第二军医大学学报, 2009, 30(5):558-560.

[15] 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):E1305-1309.

[16] Bai YS, Niu YF, Chen ZQ, et al. Comparison of the pedicle screws placement between electronic conductivity device and normal pedicle finder in posterior surgery of scoliosis [J]. J Spinal Disord Tech, 2013, 26(6):316-320.

[17] Bai YS, Zhang Y, Chen ZQ, et al. Learning curve of computer-assisted navigation system in spine surgery [J]. Chin Med J (Engl), 2010, 123(21):2989-2994.

(收稿日期:2013-11-27)  
(本文编辑 张丽)

• 征订启事 •

欢迎订阅 2012 年和 2013 年《脊柱外科杂志》(合订本)

《脊柱外科杂志》是一本经国家新闻出版总署批准,由上海市卫生局主管,中华医学会上海分会主办,上海长征医院骨科承办的高级学术期刊,于2003年2月28日正式创刊。自出版以来,本刊提倡学术争鸣,务求真实严谨,深受读者的认可和好评。已被中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、中文生物医学期刊文献数据库、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)收录为统计源期刊。

应广大读者要求,2012年和2013年《脊柱外科杂志》年度合订本将分别装订成册,欢迎大家订阅。定价(含邮费):精装本100元/卷,平装本70元/卷。

此外,本编辑部尚余几册第一卷(2003年)至第六卷(2009年)合订本,需要者也可汇款订购。

汇款方式如下(请勿汇给个人)

收款人地址:上海市凤阳路415号长征医院骨科五楼

收款人姓名:《脊柱外科杂志》编辑部

收款人邮编:200003

注:附言中请注明“订阅××年合订本精装××册,平装××册”字样

若需开具发票,请注明发票抬头、详细通信地址及邮编

本刊欢迎各位同仁踊跃投稿,投稿请登录 <http://www.spinejournal.net>