

计算机辅助手术在脊柱外科的应用现状

谭平先, 李 健, 高梁斌

(广州医学院附属广州市第二人民医院 510150)

中图分类号: R681.5, TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-406X(2005)-10-0633-03

计算机辅助手术 (computer-assisted surgery, CAS) 是综合当今先进的成像设备 (如 CT, MRI)、计算机技术、空间定位技术等进行图像三维重建及融合, 术前充分评估患者的情况, 规划手术路径、方案, 模拟手术, 术中追踪手术器械, 引导手术, 确定手术范围, 从而使外科手术更精确、安全、微创的综合性技术。计算机辅助手术在骨科的应用称为计算机辅助骨科手术 (computer-assisted orthopaedic surgery, CAOS)。CAOS 技术从 20 世纪 90 年代初在欧洲和北美问世以来发展十分迅速^[1-3]。笔者就其在脊柱外科的应用情况做一综述如下。

1 CAOS 的基本概况

第一作者简介: 男 (1972-), 主治医师, 医学硕士, 研究方向: 脊柱外科

电话: (020)81292150 E-mail: heavyyoung@yahoo.com.cn

医学影像技术的发展 (如 CT、MRI 等可以显示结构复杂部位的三维结构) 虽然使医生对患者的情况做出比以前更充分、精确的评估, 然而这些图像特征并不适用于手术过程中, 术中主要靠二维的 X 线图像, 且有暴露于射线的危险。因此发展术中三维成像系统对部分骨科手术十分必要。手术导航的出现为解决上述问题提供了重要帮助。手术导航系统的设计原理来自全球卫星定位技术。计算机辅助外科手术 (CAS) 最早起源于神经外科的立体定向技术, 空间定位技术经历了机械手定位法、光学定位法和不受光线遮挡的电磁定位法。由于空间定位技术的发展, 其设备对手术的影响越来越小, 逐渐被应用于脊柱外科的手术。随着医学影像技术、计算机技术的快速发展, CAOS 经历了基于术前 CT 图像引导 (preoperative CT-based image guidance) 的需要手工注册的 CAOS 系统、基于术中 CT 或 X 线图像引导 (intraoperative CT-based image guidance or fluoroscopy-based image guidance) 的自动注册的 CAOS 系

- fixation with the titanium hollow screw plate system[J].Spine, 1993, 18(10):1273-1278.
10. Wang JC, McDonough PW, Kanim LE, et al. Increased fusion rates with cervical plating for three-level anterior cervical discectomy and fusion[J].Spine, 2001, 26(5):643-647.
 11. Epstein NE. The management of one-level anterior cervical corpectomy with fusion using Atlantis hybrid plates: preliminary experience[J].J Spinal Disord, 2000, 13(4):324-328.
 12. Rish BL, McFadden JT, Penix JO. Anterior cervical fusion using homologous bone grafts: a comparative study[J].Surg Neurol, 1976, 5(2):119-121.
 13. Schnee CL, Freese A, Weil RJ, et al. Analysis of harvest morbidity and radiographic outcome using autograft for anterior cervical fusion[J].Spine, 1997, 22(19):2222-2227.
 14. Bishop RC, Moore KA, Hadley MN. Anterior cervical interbody fusion using autogeneic and allogeneic bone graft substrate: a prospective comparative analysis [J].J Neurosurg, 1996, 85(2):206-210.
 15. Goel VK, Lim TH, Gwon J, et al. Effects of rigidity of an internal fixation device: a comprehensive biomechanical investigation[J].Spine, 1991, 16(Suppl 3):155-161.
 16. Zaveri GR, Ford M. Cervical spondylosis: the role of anterior instrumentation after decompression and fusion [J].J Spinal Disord, 2001, 14(1):10-16.
 17. Brodke DS, Golligly S, Alexander Mohr R, et al. Dynamic cervical plates: biomechanical evaluation of load sharing and stiffness[J].Spine, 2001, 26(12):1324-1329.
 18. Reidy D, Finkelstein J, Nagpurkar A, et al. Cervical spine loading characteristics in a cadaveric C5 corpectomy model using a static and dynamic plate[J].Spine, 2004, 17(2):117-122.
 19. Wang JC, McDonough PW, Endow K, et al. The effect of cervical plating on single-level anterior cervical discectomy and fusion[J].J Spinal Disord 1999, 12(6):467-471.
 20. Grob D, Peyer JV, Dvorak J. The use of plate fixation in anterior surgery of the degenerative cervical spine: a comparative prospective clinical study [J].Eur Spine J, 2001, 10(5):408-413.
 21. Apfelbaum RI, Dailey AT, Soleau S, et al. Clinical experience with a new load-sharing anterior cervical plate[J].International Congress Series, 1247(2002):563-579.
 22. Rick Delamarter, Hyun Bae. Dynamic anterior cervical plates and why they fail[J].Spine, 2003, 28(Suppl 20):166-167.
 23. Kaiser MG, Haid RW, Subach BR, et al. Anterior cervical plating enhances arthrodesis after discectomy and fusion with cortical allograft[J].Neurosurg, 2002, 50(2):229-238.
 24. Macdonald RL, Fehlings MG, Tator CH, et al. Multilevel anterior cervical corpectomy and fibular allograft fusion for cervical myelopathy[J].J Neurosurg, 1997, 86(6):990-997.
 25. Boden SD, Schimandle JH. Biologic enhancement of spinal fusion[J].Spine, 1995, 20(Suppl 24):113-123.

(收稿日期: 2005-02-23 修回日期: 2005-04-13)

(本文编辑 彭向峰)

统和基于三维 C 型臂 (three-dimensional C-arm fluoroscopy) 的导航。未来的 CAOS 系统会是自动注册匹配的基于术中真实三维图像的技术^[4,5]。随着临床经验的积累, CAOS 技术已显现出很好的发展前景。

1.1 CAOS 系统的工作原理

一个外科导航系统就像对手术而言的全球定位系统。术前计算机工作站根据收集的患者影像资料进行图像融合, 计划、模拟手术; 手术时注册解剖学标志, 即把动态参照基 (dynamic reference base, DRB) 固定在患者的骨骼上, 计算机计算出定位器 (动态参照基) 与躯体的相对位置。然后通过程序的匹配算法 (matching algorithm), 术前的图像资料与术中确定的空间数据配准 (co-registration) 形成术中虚拟现实的图像, 定位系统在虚拟现实的图像上追踪手术器械, 实时显示图像, 监视手术过程, 指引手术。

1.2 CAOS 系统组成

CAOS 系统分为硬件和软件部分。各种导航的硬件组成大致相同, 包括成像设备、导航定位工具、计算机工作站等。各种导航的定位工具也大致相同: 包括动态参照基 (DRB)、校正装置 (calibration fixture)、发射器 (transmitter)、接收器 (receiver) 等。软件主要是指计算机的操作程序, 包括图像的处理、匹配算法, 工具注册、定位、角度、距离的测量, 操作系统等。其中图像处理涉及三维重建、图像分割、图像融合等。软件系统是 CAOS 技术的核心, 目前各种 CAOS 软件彼此间不兼容, 且不同的手术如膝关节置换、髋关节置换、椎弓根螺钉导航等要求不同的软件包。因此, 开发兼容的软硬件可能是未来 CAOS 发展的方向^[5,6]。

1.3 CAOS 工作模式

首先, 要采集图像, 即将患者术前有关的 X 线片、CT、MRI 的图像信息输入 CAOS 系统的电脑, 通过软件包的处理进行三维构建。根据患者的解剖信息医生制定术前计划和模拟手术, 确定内置物的大小, 置入的路径, 精确位置。进入手术室后在 C 型臂 X 线机的影像增强器上安装校正装置, C 型臂 X 线机的视频光缆连接导航, 在患者身上固定发射器, 连接发射器、接收器于导航系统。调节 C 型臂 X 线机与患者手术部位的距离, 获得图像信息, 配准图像, 注册工具, 计算机经过运算进行定位, 追踪器械, 显示图像, 证实工具指示的位置与导航图像上的位置相同后开始手术。不同的导航具体的操作不同, 但大致程序相似。术中导航系统跟踪手术器械, 并实时显示多维图像指导手术。由于 CAOS 的引入, 骨科医生可以更完美地解决解剖位置比较深、结构比较复杂的手术^[4-6]。

2 CAOS 在脊柱外科的应用

CAOS 最早应用于椎弓根螺钉置入技术^[1], 随着该技术的日趋成熟, CAOS 在脊柱外科的应用日益广泛, 从腰椎、下胸椎到上胸椎和颈椎应用椎弓根螺钉固定, 从脊柱侧凸畸形的矫正手术, 到颈椎侧块螺钉技术、脊柱前路内固定、椎体切除等。尤其在脊柱畸形矫正、脊柱骨折等手术时, 虽

然解剖变异大, 个体差异明显, 椎弓根螺钉置入解剖学标志不明显, 但 CAOS 技术仍可将螺钉位置不当的发生率降至最低^[2,3,7-9]。大量的体外模拟实验和临床病例报道已显示出 CAOS 的潜在优势。应用 CAOS 系统与传统技术比较, 螺钉置入更精确、安全, 手术人员和患者术中暴露射线量明显减少, 手术更趋微创化。

2.1 CAOS 在腰椎的应用

传统的腰椎椎弓根螺钉置入技术螺钉位置不当的发生率较高。Weinstein 等^[10]在 8 具尸体上应用解剖学标志和术中 X 线透视从 T11~S1 置入椎弓根螺钉, 21% 的螺钉明显穿出皮质。Schulze 等^[11]对较大数量的应用传统技术置入椎弓根螺钉系统固定腰椎融合的患者术后进行 CT 扫描评估, 有 20% 的螺钉穿破了皮质。Foley 等^[12]应用导航技术在 6 具尸体上从 T11~S1 置入椎弓根螺钉, 没有 1 例穿破皮质。Kalfas 等^[13]临床应用导航在 30 名患者腰椎上共置入 150 枚螺钉, 149 枚螺钉位置都十分理想。较多文献报道应用 CAOS 系统后螺钉位置不当的发生率大大下降, 且皮质穿孔的直径小于 2mm, 这在临床上认为是安全的^[7-9]。

2.2 CAOS 在胸椎的应用

由于胸椎有胸廓的存在, 与腰椎比较椎弓根较小, 术中 X 线透视受胸廓的影响使椎弓根螺钉置入的准确性降低。胸椎椎弓根螺钉置入手术的技术要求更高, 风险更大。据报道^[12-14]在胸椎应用传统技术置钉椎弓根的穿孔率从 15.9% 到 54.7% 不等。Liljenqvist 等^[12]在 32 例脊柱侧凸患者身上置入 120 枚胸椎椎弓根螺钉, 发现有 25% 的螺钉位置不当; Youkilis 等^[15]应用 CAOS 系统 4 年中置入 266 枚胸椎椎弓根螺钉, 只有 8.5% 的螺钉穿破皮质, 大大低于传统技术的报道。Merloz 等^[16]报道在胸段脊柱侧凸矫正手术中应用 CAOS 只有 6.6% 的螺钉位置不理想。

2.3 CAOS 在颈椎的应用

CAOS 系统在上颈椎的手术中有明显的优势。由于颈椎解剖比较复杂, 与神经、椎动脉毗邻, 且椎动脉变异较大, 手术要求更精确, 难度大。Madawi^[17]和 Paramore^[18]经过尸体解剖研究表明, 有 20% 的人至少有一侧椎动脉变异, 不适宜传统的经 C1-C2 关节侧块螺钉内固定。Bloch^[19]应用 CAOS 系统在 17 具尸体上行 C1-C2 侧块螺钉固定只有 6% 的标本不能接受螺钉固定, 如果采用传统的 X 线和解剖学标志有 23% 的标本不能使用螺钉固定。Welch^[20]利用导航行经口齿状突切除、肿瘤切除、齿状突骨折螺钉固定取得了理想的效果。

临床研究表明, 下颈椎侧块螺钉固定技术误置率达 14%, 5% 有明显的神经根损伤症状, 应用 CAOS 系统显著提高了手术的安全性和准确性^[21,22]。Yoshihisa 等^[23]的研究表明, 随着 CAOS 系统的发展颈椎椎弓根螺钉固定不再是一项技术挑战, 而会更精确安全。

另外, CAOS 系统也被应用于经皮腰椎弓根螺钉固定, 脊柱内窥镜下颈、胸、腰椎前路椎体、肿瘤切除减压手术, 运用导航可以追踪的特殊咬骨钳, 椎体、肿瘤切除更安全,

降低了血管神经损伤的危险性^[24-26]。

3 CAOS 存在的问题和发展前景

CAOS 技术尚处于发展阶段,尚有很大的局限性:高额的成本费用;工具还相当原始;笨重的设备;烦琐的操作,手术时间较长,有增加感染的危险;掌握 CAOS 技术需要有一段学习曲线;术前图像配准可能产生误差、术中注册过程可能产生错误、动态参照术中可能移位、导航本身有自己的精度、术者本人可能发生错误等影响其准确性;其成本与效益有待进一步评估;许多实验还在体外模拟阶段。但 CAOS 系统给骨科医生带来了前所未有的方便;通过对手术器械的追踪、显示,提高了手术的精确度和器械的可信性;促使手术器械向更精确的方向发展;对每一位患者提供了度身订做的手术方案;使内置物向更精确、完美的方向发展;减少了手术的暴露,使手术更精确、安全、微创;CAOS 的出现也给骨科带来了一个全新的领域,使骨科的发展更趋向智能化、微创化、标准化^[26]。因此,CAOS 有着不可估量的前景。

4 参考文献

1. Brodwater BK, Roberts DW, Nakajima T, et al. Extracranial application of the frameless stereotactic operating microscope: experience with lumbar spine[J]. *Neurosurg*, 1993, 32(2):209-213.
2. Foley KT, Smith MM. Image-guided spine surgery[J]. *Neurosurg Clin North Am*, 1996, 7(2):171-186.
3. Kalfas IH, Kormos DW, Murphy MA, et al. Application of frameless stereotaxy to pedicle screw fixation of the spine[J]. *J Neurosurg*, 1995, 83(4):641-647.
4. Holly LT, Foley KT. Intraoperative spinal navigation[J]. *Spine*, 2003, 28(Suppl 15):S54-S61.
5. Sikorski JM, Chauhan S. Computer-assisted orthopaedic surgery: do we need CAOS[J]. *J Bone Joint Surg (Br)*, 2003, 85-B(3):319-323.
6. Hazan EJ. Computer-assisted orthopaedic surgery: a new paradigm [J]. *Tech in Orthop*, 2003, 18(2):221-229.
7. Mirza SK, Wiggins GC, Charles Kuntz IV. Accuracy of thoracic vertebral bodyscrew placement using standard fluoroscopy, fluoroscopic image guidance, and computer tomographic image guidance[J]. *Spine*, 2003, 28(4):402-413.
8. Laine T, Schlenzka D, Makitalo K, et al. Improved accuracy of pedicle screw insertion with computer surgery: a prospective clinical trial of 30 patients[J]. *Spine*, 1997, 22(11):1254-1258.
9. Schwarzenbach O, Berlemann U, Jost B, et al. Accuracy of computer-assisted pedicle screw placement: an in vivo computed tomography analysis[J]. *Spine*, 1997, 22(4):452-458.
10. Weinstein JN, Spratt KF, Spengeler D, et al. Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram based assessment and surgical factors on successful screw placement[J]. *Spine*, 1988, 13(9):1013-1018.
11. Schulze CJ, Munzinger E, Weber U, et al. Clinical relevance of accuracy of pedicle screw placement: a computed tomographic-supported analysis[J]. *Spine*, 1998, 23(26):2215-2220.
12. Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM. Pedicle screw instrumentation of thoracic spine in idiopathic scoliosis [J]. *Spine*, 1997, 22(19):2239-2245.
13. Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Balderston RA, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: an anatomical and radiographic assessment[J]. *J Bone Joint Surg (Am)*, 1995, 77(8):1200-1206.
14. Xu R, Ebraheim NA, Ou Y, et al. Anatomic considerations of pedicle screw placement in the thoracic spine: Roy-Camille technique versus open-lamina technique[J]. *Spine*, 1998, 23(9):1065-1068.
15. Youkilis AS, Quint DJ, McGillicuddy JE, et al. Stereotactic navigation for placement of pedicle screws in the thoracic spine[J]. *Neurosurgery*, 2001, 48(4):771-781.
16. Merloz, Huberson CH, Tonetti J, et al. Computer-assisted pedicle screw insertion[J]. *Tech in Orthop*, 2003, 18(2):149-159.
17. Madawi AA, Casey AT, Solanki GK, et al. Radiological and anatomical evaluation of the atlantoaxial transarticular fixation technique[J]. *J Neurosurg*, 1997, 86(6):961-968.
18. Paramore CG, Dickman CA, Sonntag VKH. The anatomical suitability of the C1-2 complex for transarticular screw fixation[J]. *J Neurosurg*, 1996, 85(2):221-224.
19. Bloch O, Holly LT, Park J, et al. Effect of frameless stereotaxy on the accuracy of C1-2 transarticular screw placement[J]. *J Neurosurg*, 2001, 95(Suppl 1):74-79.
20. Welch WC, Subach BR, Pollach IF, et al. Frameless stereotactic guidance for surgery of upper cervical spine [J]. *Neurosurgery*, 1997, 40(5):958-963.
21. Graham AW, Swank ML, Kinard RE, et al. Posterior cervical arthrodesis and stabilization with a lateral mass plate: clinical and computed tomographic evaluation of lateral mass screw placement and associated complications[J]. *Spine*, 1996, 21(3):323-329.
22. Heller JG, Carlson GD, Abitol JJ, et al. Anatomic comparison of the Roy-Camille and Magerl techniques for screw placement in the lower cervical spine [J]. *Spine*, 1991, 16(Suppl 10):552-557.
23. Kotani Y, Abumi K, Ito M, et al. Improved accuracy of computer-assisted cervical screw insertion [J]. *J Neurosurg*, 2003, 99(Suppl 3):257-263.
24. Ohmori K, Kawaguchi Y, Kanamori M, et al. Image-guided anterior thoracolumbar aorpectomy: a report of three cases [J]. *Spine*, 2001, 26(10):1197-1201.
25. Albert TJ, Klein GR, Vaccaro AR. Image-guided anterior cervical corpectomy: a feasibility study[J]. *Spine*, 1999, 24(8):826-830.
26. Assaker R, Reyns N, Pertruzom B, et al. Image-guided endoscopic spine surgery part II: a clinical application[J]. *Spine*, 2001, 26(15):1711-1718.

(收稿日期: 2005-01-20)

(本文编辑 彭向峰)