

临床论著

脊柱虚拟手术系统辅助下颈椎椎弓根
置钉的临床评估曹 珺¹, 蒋振营¹, 何 飞², 袁义伦¹, 王 勇¹, 陈要林¹

(1 郑州市第一人民医院骨科 450000; 2 昆明医学院第一附属医院骨科 650032)

【摘要】目的:评价脊柱虚拟手术系统(spinal virtual surgery system, SVSS)辅助下行颈椎椎弓根置钉的准确性。方法:对收治的有术后多层螺旋 CT(MSCT)复查资料的 27 例行椎弓根螺钉固定的下颈椎疾患病例,分为 SVSS 3D 技术辅助手术组(A 组, 10 例)和 MSCT 3D 技术辅助手术组(B 组, 17 例)。两组病例术前均行螺旋 CT 扫描, A 组原始数据导出 CT 工作站, 格式转换后导入 SVSS 系统进行三维重建; B 组原始数据直接在 CT 工作站行三维重建。两系统都选择 VR 和 MPR 重建, 开展术前个体化评估以指导手术。术后螺旋 CT 复查评估置钉准确性, 螺钉穿破评价参照 Richter 分级标准。结果: A 组术后 10 例共 50 枚螺钉中 44 枚(88%)完全位于椎弓根内; 6 枚(12%)穿破椎弓根, 其中 1 级穿破 5 枚(10%), 2 级穿破 1 枚(2%)。B 组术后 17 例共 76 枚螺钉中 67 枚(88.16%)完全位于椎弓根内; 9 枚(11.84%)穿破, 其中 1 级穿破 6 枚(7.89%), 2 级穿破 3 枚(3.95%)。两组间穿破率比较差异无显著性($P>0.05$)。结论: SVSS 可应用于实施术前个体化评估、个体化治疗方案制定及术后疗效评估和康复锻炼指导等。

【关键词】脊柱虚拟手术系统; 多层螺旋 CT; 下颈椎椎弓根; 三维重建; 精确性

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2012.06.14

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2012)-06-0548-06

Clinical estimate on pedicle screw placement in lower cervical spine assisted by spinal virtual surgery system/CAO Jun, JIANG Zhenying, HE Fei, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2012, 22 (6): 548-553

【Abstract】 Objectives: To evaluate the accuracy of pedicle screw placement in lower cervical spines assisted by spinal virtual surgery system(SVSS). Methods: 27 patients scheduled for lower cervical pedicle screw placement were divided into group A(SVSS 3D-assisted pedicle screw placement, $n=10$) and group B(MSCT 3D-assisted pedicle screw placement, $n=17$). All patients were examined by MSCT, and the data of group A were sent to SVSS, while the data of group B were sent to Silicon Graphics 02 Workstation. VR and MPR were used for reconstruction, which were used for individualized pedicle screw placement. MSCT scanning and 3D reconstruction was performed again to evaluate the accuracy of instrumentation. Richter perforation classification was used to evaluate screw perforation rate. Results: In group A, a total of 10 cases and 50 pedicle screws underwent MSCT scan after surgery, the rate of accuracy was 88%. According to the Richter perforation classification, a 10% was grade one, a 2% was grade two. In group B, a total of 17 cases and 76 pedicle screws underwent MSCT scan after surgery, the rate of accuracy was 88.16%. According to the Richter perforation classification, a 7.89% was grade one, and a 3.95% was grade two, no significant difference was noted between two groups($P>0.05$). Conclusions: SVSS can be used for individualized patient review and screw placement, and even for evaluation of prognosis as well as rehabilitation.

【Key words】 Spinal virtual surgery system; Multi-slice spiral CT; lower cervical pedicle; 3D reconstruction; Accuracy

【Author's address】 Department of Orthopaedics, the First People's Hospital of Zhengzhou, Zhengzhou, 450000, China

基金项目: 云南省科技计划联合专项(2008C0013R); 昆明市社会发展科技计划重点项目(08S100311)

第一作者简介: 男(1972-), 主治医师, 医学硕士, 研究方向: 脊柱脊髓损伤、计算机辅助手术

电话: 15981961287 E-mail: caojun2007190@126.com

通讯作者: 何飞 E-mail: drhefei@sina.com

研究表明,经椎弓根螺钉固定具有优良的生物力学性能^[1,2],但下颈椎椎弓根螺钉固定手术风险大^[3,4]。其难点在于椎弓根变异较大^[5,6],通用的形态学数据在置钉时仅可作为大体参考^[5,7],个体化置钉才是应对椎弓根变异、提高置钉准确性、降低手术风险的理想方法。研究^[8-11]表明多层螺旋 CT(multi-spiral CT, MSCT)3D 技术可对脊柱进行精确显示。但 CT 3D workstation 在脊柱疾病诊疗过程中存在交互性和便捷性的不足。自 2007 年始,国内学者何飞与北京航空航天大学合作研发了脊柱虚拟手术系统(spinal virtual surgery system, SVSS),该系统在个人电脑(PC)上实现了脊柱 3D 重建、旋转、切骨与测量^[12]。2009 年 6 月~2011 年 6 月利用该系统辅助行下颈椎经椎弓根螺钉固定,与 2007 年 5 月~2009 年 11 月采用 MSCT 指导开展的此类手术病例的螺钉穿破率进行对比,观察该系统在辅助椎弓根置钉准确性上与 MSCT 3D 工作站的差异。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究共 27 例患者,男 17 例,女 10 例。SVSS 三维重建技术辅助下颈椎椎弓根螺钉固定手术组(A 组):10 例,男 4 例,女 6 例;年龄 18~56 岁,平均 44.6 岁。病因:Chiari 畸形 4 例,C4/5 创伤不稳 2 例,C4/5 骨折脱位 2 例,C4~C6 水平软骨肉瘤 1 例,C4~C5 后凸畸形 1 例。共置钉 50 枚,分布节段:C3 10 枚,C4 20 枚,C5 14 枚,C6 4 枚,C7 2 枚。

MSCT 三维重建指导手术组(B 组):17 例,男 13 例,女 4 例;年龄 19~69 岁,平均 41.5 岁。病因:外伤 11 例,Chiari 畸形 3 例,颈椎结核 2 例,神经鞘膜瘤 1 例。共置钉 76 枚,分布节段:C3 18 枚,C4 24 枚,C5 18 枚,C6 10 枚,C7 6 枚。

1.2 设备

MX 8000 型 64 层 MSCT 及 SGI02 Workstation 4.01 随机工作站(Philips 公司,美国),脊柱手术模拟系统(SVSS)及个人电脑图形工作站(DELL PRECISION M6300, intel core2 2.8G, 4G, 512M)。SVSS 系统借鉴了 MSCT 工作站 VR 和 MPR 技术,以 CT/MRI 等采集的数据为信息源,以 VC6.0 为开发环境,用 C++语言结合可视化软件开发包,建立基于 PC 环境的可视化脊柱手

术专用虚拟系统。系统操作界面(图 1)设置 5 个窗口:1 个 3D 观察调整窗口,3 个 2D 定位窗口及 1 个 2D 测量窗口。观察调整窗口确定兴趣目标,去除非目标区,测量切割平面的各项参数;定位窗口(包括轴位、矢状位、冠状位窗口)上,调动任一窗口位置,其他两个窗口将随之调至相同参数的剖面,而测量窗口亦跟随作相应变化,可最大限度地减少测量误差。本系统数据测量采用螺钉标示辅助,通过螺钉的放大/缩小及延长,相对 MSCT 工作站目测法减少了人为因素;专用测量窗口可以实现图像局部放大而不影响其他窗口的图像显示,可使测量结果更准确。

1.3 扫描及重建条件

扫描条件:视野 180mm,电压 120kV,电流 200mAs,螺距 0.875,扫描时间 0.75s/周,矩阵 512×512,扫描层厚 1.3mm。重建条件:重建厚度 0.6mm。

1.4 术前评估

MSCT 容积扫描后,原始数据传送到图形工作站保存。A 组:原始数据在工作站导出,格式转换和整理,然后导入 SVSS 行三维重建;B 组:原始数据直接在 CT 工作站行三维重建。两系统都选择容积成像(volume rendering, VR)和多平面重组成像(multi-planar reformation, MPR)重建。

1.4.1 VR 重建 针对目标区使用切图工具去除非目标区结构,避免对目标区遮挡,通过动态各向旋转观察判断目标区内各椎体结构的空间关系和损伤情况,进行个体化分析,以确定手术方式及固

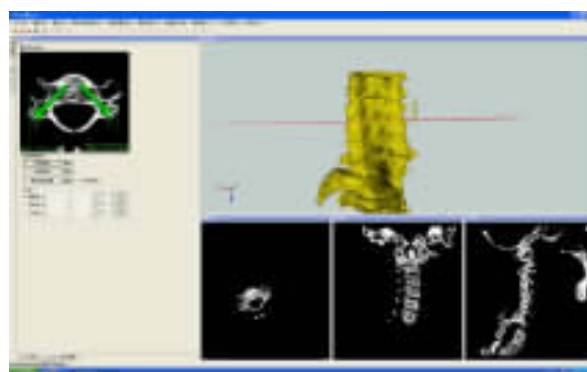


图 1 系统操作界面设置(左侧窗口:数据测量;右侧上方窗口:图像观察调整;右侧下方 3 个窗口:剖面定位)

Figure 1 System interface settings(The left window: data measurement; Top of the right window: image observation and adjustment; Bottom of the right windows: profile positioning)

定节段。

1.4.2 MPR 重建 以目标椎体作为骨性标志,参照 VR 信息,选定目标椎体进行三维重建后测量。

轴位重建测量:调整目标椎体的双侧椎弓根呈最宽、对称显示。设定椎弓根中轴线为理想钉道,该线在椎板的投射点即为螺钉的进钉点,中轴线在该椎体内的长度即为螺钉长度;椎前与棘突后缘两中点的连线为椎体中轴线,该线与椎弓根中轴线的交角即为外展角;平行于椎体平分线作双侧关节突外缘的切线,该切线到进钉点的垂直距离为进钉点的左、右侧轴位参考坐标值。

矢状位重建测量:沿双侧椎弓根中轴线进行矢状位重建,按轴位测量时的外展角先行调整轴位任意切割线,使切线的角度与外展角相等,此时的平面即为与轴位理想钉道矢状面保持一致的切面,该面的椎弓根中轴线为轴位和矢状位的同一理想钉道,该线与颈椎侧块的夹角即为前倾角;该线在椎板的投射点为矢状位螺钉的进钉点,该点与侧块下关节突连线的长度即为进钉点的矢状位参考坐标值。

冠状位重建测量:在双侧椎弓根峡部作垂直于椎弓根的冠状面重建,观察椎弓根横截面形态,测量双侧椎弓根的内径(松质骨)的高/宽、外径(骨皮质)的高/宽。

1.5 测量参考指标

轴位/矢状位进钉点至椎体前缘距离(椎弓根轴线在该椎体内的长度)、椎弓根外展角(椎弓根轴线与椎体平分线的夹角)、侧块边距(椎弓根螺钉入点到侧块边缘的切线距离)、椎弓根头倾角(椎弓根轴线与侧块的夹角)、进钉点至下关节突距离(入点至关节突下缘的距离)、椎弓根松质骨高、宽(椎弓根峡部松质骨的高、宽)、椎弓根高、宽(椎弓根峡部的高、宽)。

1.6 手术方法

两组手术均为同一组医师进行,C 型臂 X 线机定位,颈后路常规正中切口,显露目标椎体侧块,根据术前所测参数标识出椎弓根在侧块上的投影点。校准水平后开路锥在该点开口,预设出需穿刺椎弓根的理想外展角和头倾角。开口器开口后用开路锥穿刺逐渐制备椎弓根螺钉通道,多次探查四壁有无穿破,同时 C 型臂 X 线机透视,深度>2.0cm 后攻丝,置入相应直径和长度的椎弓根螺钉。钉道制作操作时要小心轻柔,禁止暴力。然

后根据手术需要,适时安装连接棒,随后按病情需要进行复位、减压或病灶清除等操作(图 2、3)。

1.7 术后穿破测量

术后除常规复查颈椎 6 位片(正位、侧位、左斜位、右斜位、前屈位及后伸位)外,并以术前相同扫描条件复查 MSCT,导出数据在 SVSS 行 MPR 重建。轴位重建了解有否损伤椎动脉及颈髓,矢状位重建了解有无神经根损伤,冠状位重建包括椎弓根峡部、椎弓根松质骨出口和入口 3 个部位,以观测螺钉是否完全位于椎弓根皮质骨内。如发生穿破,测量椎弓根皮质骨外缘至螺钉外缘的切线距离,该距离为穿破螺钉的穿破值,同时记录穿破方向(图 4~8)。

1.8 穿破评价

术后螺钉位置评价参照 Richter 分级标准^[3],即将螺钉穿透椎弓根程度分为 3 级:1 级,螺钉位置满意,穿透明确存在,但螺钉穿透椎弓根皮质<1mm,刚破壁者归入低一级别;2 级,螺钉穿透椎弓根皮质>1mm,未对周围组织造成明显损伤,内固定稳定性良好,不需要重置;3 级,螺钉穿透椎弓根皮质>1mm,出现周围血管、神经等重要组织损伤或内固定稳定性差,需要进行重置或取出。

2 结果

A 组:10 例患者共置钉 50 枚,其中 44 枚(88%)完全位于椎弓根内;6 枚(12%)穿破。其中 1 级穿破 5 枚(10%),2 级穿破 1 枚(2%),无 3 级穿破发生。

B 组:17 例患者共置钉 76 枚,其中 67 枚(88.16%)完全位于椎弓根内;9 枚(11.84%)穿破。其中 1 级穿破 6 枚(7.89%),2 级穿破 3 枚(3.95%),无 3 级穿破。两组穿破率比较差异无统计学意义($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 CT 三维重建技术在脊柱疾病诊断、治疗及术后评估的应用

研究表明^[8-11,14],MSCT 的 3D 重建技术可对脊柱进行精确测评,对脊柱疾病的定性定量诊断有重要的临床价值。VR 图像立体直观、层次分明,结构容易辨认,切图工具可以去除非目标区的结构,显露目标区,通过动态、任意方向的旋转操作,可以明确判断病变椎体的整体情况及与相邻椎体

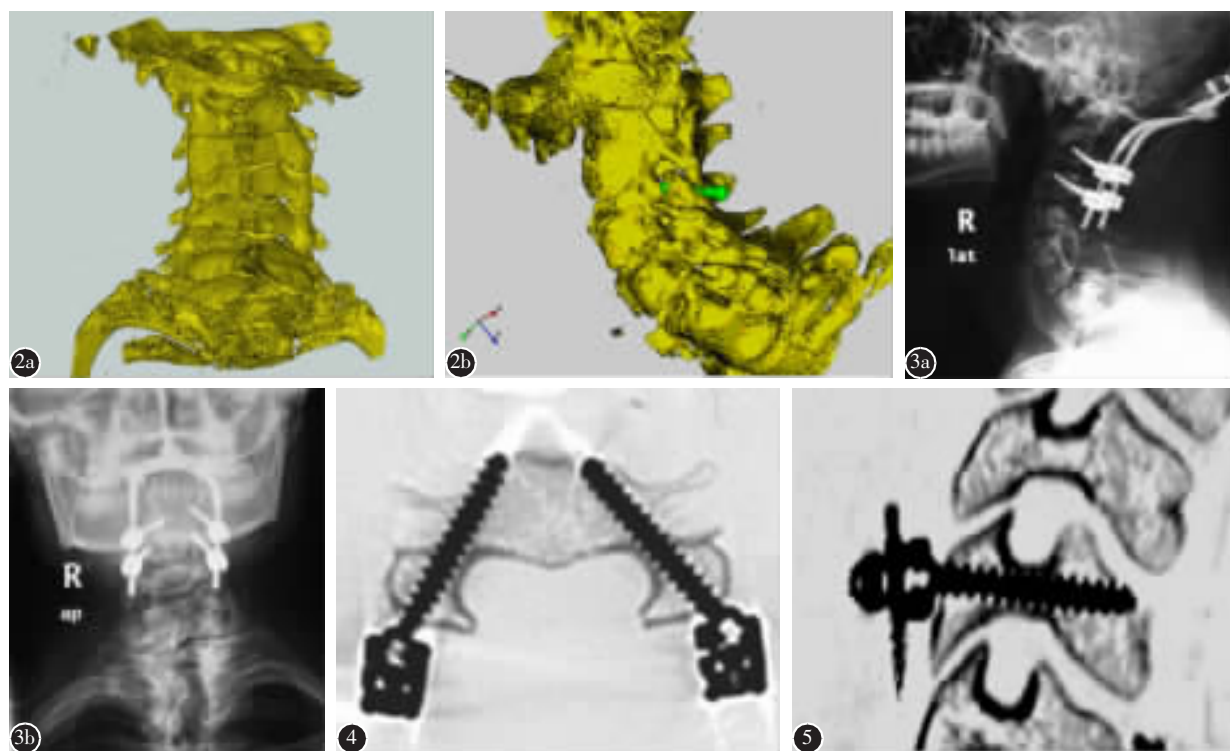


图 2 a、b SVSS 重建的 Chiari 畸形术前 VR 图像,图像显示 C4 左侧块发育畸形 图 3 a、b Chiari 畸形术后 X 线片示螺钉位置良好 图 4 术后椎弓根轴位切面,图像显示左右椎弓根无明显穿破 图 5 术后椎弓根矢状位切片,图像显示左椎弓根上下缘未有穿破

Figure 2 a、b Preoperative SVSS reconstruction VR images of chiari malformation, image shows the left lateral mass of C4 malformations **Figure 3 a、b** Postoperative X-ray of Chiari malformation showed the screws were good positioning **Figure 4** Postoperative axial view showed no perforation of both pedicle **Figure 5** Postoperative sagittal view showed no perforation of the upper and lower edge of the left pedicle

之间的空间位置关系,还可反映椎管内突入或游离骨块的空间构象和准确位置,特别对于观察椎体压缩或爆裂的性质和程度、脱位时上下关节的关系、移位情况等整体情况,较 X 线、CT 和 MRI 的 2D 图像优势明显,可准确地进行个体化分析,以确定治疗方式。MPR 图像骨质边缘对比清晰,可信度高,可对目标椎体进行任意剖面显示,其三维空间构象和切除旋转功能相对 X 线片减少了伪影,消除了胸廓、肩部的遮挡,使组织结构分辨率显著提高,其冠状位、矢状位和横切位三个剖面的立体观测较 CT 平片更全面和准确,这尤其利于手术前全面、个体化的评估,对手术方式的选择、手术安全性的提高都具有重要价值。

何飞等^[15]用螺旋 CT 三维重建技术辅助胸椎椎弓根钉,其一次性成功率(75.0%)和穿破率(46.7%)优于传统技术手术的一次性成功率(53.4%)和穿破率(60.2%)。我们利用 MSCT 3D

技术指导下颈椎椎弓根置钉穿破率(8.11%)^[10]优于 Miller 操作的解剖定位法(47.37%)和椎板开窗探查法(25.00%)^[16],与 Abumi^[17]操作的 Abumi 法(6.70%)、Karaikovic^[18]操作的漏斗技术(7.10%)、谭明生^[19]操作的管道疏通法(5.20%)及田伟^[20]操作的导航技术(11.30%)的差异没有统计学意义。

目前 MSCT 三维重建技术被认为是目前评价椎弓根螺钉穿破的最佳方法^[14,21]。其冠状位 MPR 重建图像的优势不仅使金属截面显示最小、伪影降到最低,而且使螺钉在椎弓根各个截面及方向上的穿破情况得以全面显示。同时,结合轴位重建了解螺钉对于脊髓及椎动脉的侵犯情况;矢状位重建了解螺钉对于神经根的侵犯情况,从而使螺钉穿破测量更全面和精准。

但 MSCT 3D 软件在工作站上随 CT 机专用,临床脊柱外科医生很难利用该设备对患者的影像资料进行详细分析;其数据保存格式目前还无法

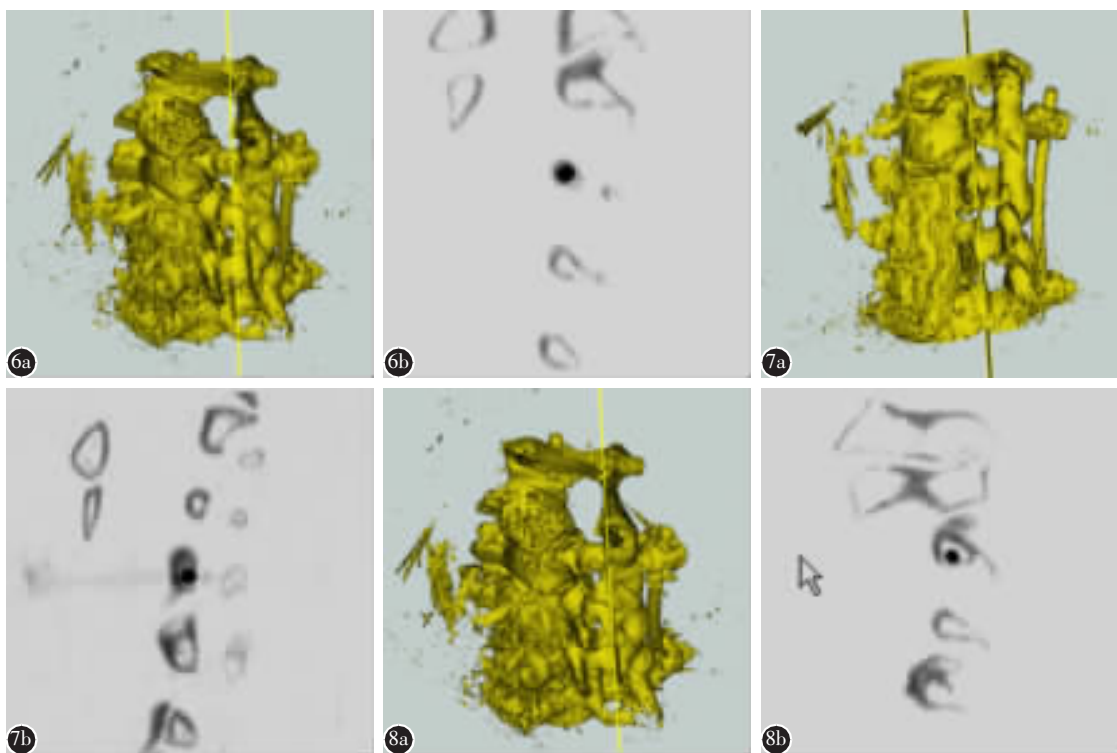


图 6 术后椎弓根冠状位峡部切面图像显示椎弓根峡部未有穿破(a 为具体切割部位显示, b 为椎弓根横断面, 黑圆点即椎弓根螺钉断面, 外围稍浅椭圆即椎弓根皮质骨断面, 两者之间更浅色的区域为椎弓根松质骨, 下同) 图 7 术后椎弓根冠状位椎弓根松质骨出口切面图像显示左椎弓根松质骨出口部外侧缘穿破 图 8 术后椎弓根冠状位椎弓根松质骨入口切面图像显示椎弓根松质骨入口部未有穿破

Figure 6 Postoperative coronal view showed no perforation of the pedicle isthmus (a the specific cutting site; b the cross-section plane of pedicle. The black dots show the cross-section plane of pedicle screw. Periphery slightly shallow oval shows the cross-section plane of pedicle cortical bone. The light-colored area between them are pedicle cancellous bone. The same below.) **Figure 7** Postoperative coronal view showed the pedicle screw perforation out of left transpedicular cancellous bone **Figure 8** Postoperative coronal view showed no perforation out of pedicle exit

用常见图像软件读取, 难以发挥设备以数字方式保存、处理图像的优势等, 制约了其在临床的应用。

3.2 本系统与 MSCT 三维重建系统临床应用比较

临床应用 MSCT 三维技术指导手术 17 例, 穿破率为 11.84%, 其中 1 级穿破 7.89%, 2 级穿破 3.95%。SVSS 系统辅助手术 10 例, 穿破率为 12%, 其中 1 级穿破 10%, 2 级穿破 2%。两组间穿破率比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。这说明在本研究中, 两系统重建图像的精确性及对椎弓根置钉参数测量的准确性相近。

临床应用过程中, 本系统充分体现了优良的人机交互性和操作便捷性。系统结合重构算法的改进和纹理功能增添, 使三维模型呈像质量较

MSCT 工作站有一定提高。系统使脊柱的三维重建、旋转、切骨和测量等基本功能在个人电脑上得以虚拟实现, 摆脱了 CT 工作站的束缚, 以方便医疗交流、医患沟通; 动态的 3D 图像及伴随切割、旋转、虚拟置钉和测量等功能操作, 可提高病情评估的全面性, 减少误诊漏诊; 对病灶和手术相关数据测量的反复验证, 可提高测量精度; 整合 MSCT 采集的信息, 可提高 CT 使用率; 个体化治疗设计, 特别是手术有客观数据指导, 可提高手术安全性; 系统采用 3D 和 2D 视图交互方式, 便于快速定位兴趣区; 专职 2D 测量窗口和螺钉虚拟置入功能可进一步提升测量精确性; 虚拟置钉可使临床医生在术前进行手术模拟演练, 可增加手术医生的信心和对手术风险的预见, 对提高手术安全有很大意义。

由于本研究的例数较少, 所以本系统辅助手术的准确性仍需继续验证。同时, 目前本系统对 CT 的原始数据不能自动识别和分离; 测量标示需手动调节; 2D 测量窗口调节仍然有一定主观性等不足, 这些还需在实际操作中不断升级和完善。

4 参考文献

1. Abumi K, Shono Y, Taneichi H, et al. Correction of cervical kyphosis using pedicle screw fixation systems[J]. Spine, 1999, 24(22): 2389-2396.
2. 罗飞, 许建中, 王序全, 等. 三种颈椎前路内固定装置对术后脊柱稳定性的作用[J]. 中国临床康复, 2003, 7(20): 2830-2831.
3. 徐荣明, 校佰平, 马维虎, 等. 颈椎椎弓根螺钉徒手植入技术的临床研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2005, 20(11): 724-726.
4. 徐荣明, 校佰平, 冯建翔, 等. 颈椎椎弓根螺钉内固定技术有关问题探讨[J]. 脊柱外科杂志, 2003, 1(1): 19-22.
5. Ebraheim NA, Xu R, Knight T, et al. Morphometric evaluation of lower cervical pedicle and its projection [J]. Spine, 1997, 22(1): 1-6.
6. 黄东生, 苏培强, 马若凡, 等. 颈椎椎弓根 CT 测量在椎弓根螺钉内固定中的作用[J]. 中国临床解剖学杂志, 2004, 22(2): 186-189.
7. Abumi K, Shono Y, Ito M, et al. Complications of pedicle screw fixation in reconstructive surgery of the cervical spine [J]. Spine, 2000, 25(8): 962-969.
8. Sakamoto T, Neo M, Nakamura T. Transpedicular screw placement evaluated by axial computed tomography of the cervical pedicle[J]. Spine, 2004, 29(22): 2510-2515.
9. 曹珺, 代耀军, 殷亮, 等. 下颈椎椎弓根螺旋 CT 扫描的三维重建及测量[J]. 中华创伤骨科杂志, 2010, 2(12): 151-155.
10. 曹珺, 代耀军, 何利平, 等. MSCCT 3D 技术辅助下颈椎椎弓根置钉准确性的实验研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2010, 24(5): 525-530.
11. 何飞, 代耀军, 曹珺, 等. 螺旋 CT 三维重建技术评估下颈椎多节段椎管狭窄合并创伤性不稳的手术效果[J]. 脊柱外科杂志, 2009, 7(1): 35-38.
12. 曹珺, 何飞, 余伟巍, 等. 脊柱虚拟手术系统的构建及功能实现[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(5): 408-411.
13. Richter M, Mattes T, Cakir B. Computer-assisted posterior instrumentation of the cervical and cervico-thoracic spine[J]. Eur Spine J, 2004, 13(1): 50-59.
14. Rao G, Brodke DS, Rondina M, et al. Comparison of computerized tomography and direct visualization in thoracic pedicle screw placement[J]. Neurosurg, 2002, 97 (2 Suppl): 223-226.
15. 何飞, 代耀军, 曹珺, 等. 应用螺旋 CT 三维重建技术提高置入胸椎椎弓根钉一次性成功率和准确性[J]. 创伤外科杂志, 2009, 11(2): 119-123.
16. Miller RM, Ebraheim NA, Xu R, et al. Anatomical consideration of transpedicular screw placement in the cervical spine. An analysis of two approaches[J]. Spine, 1996, 21(20): 2317-2322.
17. 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.
18. Karaikovic EE, Yingsakmongkol W, Robet W. Accuracy of cervical pedicle screw placement using the funnel technique [J]. Spine, 2001, 26(22): 2456-2462.
19. 谭明生, 张光铂, 移平, 等. 管道疏通法行颈椎弓根螺钉置入的研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(6): 405-410.
20. 田伟, 刘波, 李勤, 等. 透视及导航下颈椎椎弓根螺钉内固定术的临床应用经验[J]. 脊柱外科杂志, 2003, 1(1): 15-18.
21. Belmont PJ Jr, Klemme WR, Dhawan A, et al. In vivo accuracy of thoracic pedicle screws[J]. Spine, 2001, 26(21): 2340-2346.

(收稿日期: 2011-11-08 修回日期: 2011-12-21)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)

消息

更正

《中国脊柱脊髓杂志》第 5 期 439 页稿件《下腰椎上关节突及峡部相关解剖结构的影像学测量》需加上基金项目及通讯作者, 特此更正, 对该文作者造成的不便深表歉意。

基金项目: 国家自然科学基金项目(81071488), 黑龙江省科技厅攻关项目(GC10C303-1)。

通讯作者: 闫景龙 E-mail: jiaoligang287@163.com。