前路经皮中空螺钉治疗Ⅱ B 型齿状突骨折虚拟手术的仿真设计

刘登均[1],李争艳[2] (1. 重庆市涪陵中心医院骨科,重庆 408099;2. 重庆市涪陵中心医院重症医学科,重庆 408099)

[摘 要] **目的** 探索虚拟现实技术来寻找一种实行前路经皮中空螺钉内固定治疗Ⅱ B 型齿状突骨折的方法,发掘可视化虚拟手术对枢椎Ⅱ型齿状突骨折前路内固定的临床指导作用。**方法** 将齿状突骨折患者的颈椎基于 64 排 CT 平扫得到连续薄层二维图像, Mimics 软件分别重建寰椎、枢椎的三维可视化结构,在 Mimics 中的 MedCAD 版块中进行模拟手术。**结果** 三维重建图像结构清晰,可真实再现寰枢椎细微的结构,虚拟仿真手术中螺钉进针点精确,钉道正确无误。**结论** 利用计算机虚拟现实技术制订出最佳的前路经皮中空螺钉通道,在术前风险评估、中空螺钉放置及临床手术教学中有很大的应用价值。

[关键词] 虚拟现实;齿状突骨折;寰椎;中空螺钉;仿真设计;三维模型

[中图分类号] R687.3 [文献标识码] A [文章编号] 1672-5042(2016)02-0112-04

Application of visible simulation surgery in type Ⅱ B odontoid fractures

LIU Deng-jun[1], LI Zheng-yan[2] (1. Department of Orthopedics, Central Hospital of Fuling, Chongqing 408099, China; 2. Department of ICU, Central Hospital of Fuling, Chongqing 408099, China)

Abstract: Objective Through the exploration of the reality technology to find the treatment of type Ⅱ odontoid fractures in anterior fixation of odontoid fractures with hollow screw. **Methods** Based on 64 row spiral CT continuous 2-dimensional images of akull, atlas and axis were reconstructed by the Mimics software, Mimics software reconstruction atlas, the atlantoaxial 3D visualization structure in Mimics, simulated surgery was carried out in the MedCAD. **Results** The structure of three-dimensional reconstruction image was clear, structure of hollow screw into pin-point was accurate in virtual simulation surgery, the screw path is correct. **Conclusion** Mimics Software has great values in the diagnosis of odontoid fractures, preoperative risk evaluation, place the hollow screw and clinical teaching, which provides an objective basis for choice of treatment program.

Keywords: virtual reality; odontoid fractures; atlas; hollow screw; simulation design; 3D model

齿状突骨折在颈椎损伤中占 5% ~15%[1-2],骨折并寰椎横韧带损伤可导致寰枢关节不稳,寰椎向前移位可导致严重的高位脊髓损伤,严重者可威胁患者的生命。对于大多数不稳定的齿状突骨折多需手术治疗,与牺牲 40% ~50% 颈椎旋转功能的后路寰枢椎融合术相比,经前路中空加压螺钉内固定治疗齿状突骨折愈合率高、康复快,更重要的是保留了寰枢椎旋转功能,目前已经取得了较好的临床疗效[3]。由于齿状突在解剖形态及结构上的特殊性,寰枢椎毗邻结构复杂,前路中空螺钉固定技术置钉不当可伤及脊髓、神经根、食管等,带来灾难性的后果。数字医学临床应用越来越广泛,骨科医师可以通过虚拟现实技术来实现模拟

doi:10.11659/jjssx.10E015103

[收稿日期] 2015-10-21 [修回日期] 2015-11-23

[8] Jeffrey S, Alexander R, Jason O, et al. Shape of the right ventricular doppler envelope predicts hemodynamics and right heart function in pulmonary hypertension[J]. Am J Resp Crit Care, 2011, 183(2): 268 - 276.

[9] Tseng WY, Liao TY, Wang JL. Normal systolic and diastolic functions of the left ventricle and left atrium by cine magnetic resonance imaging[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2002, 4(4): 443 - 457.

[10] Lonnerholm S, Blomstrom P, Nilsson L, et al. Atrial size and transport function after linear ablation and after cardioversion for chronic atrial fibrillation[J]. Eur Heart J, 2001, 12(8): 867 - 874.

[11] Liza T, Thomas SP, Michelle H, et al. Comparison of left atrial volume and function after linear ablation and after cardioversion for chronic fibrillation[J]. Am J Cardiol, 2004, 93(21): 165 - 170.

[12] Fiorenzo G, Jean F, Burghard S, et al. Incidence of silent cerebral thromboembolic lesions after atrial fibrillation ablation may change according to technology used: comparison of irrigated radiofrequency, multipolar nonirrigated catheter and cryoballoon[J]. J Cardiovasc Electrophysiol, 2011, 22(9): 961 - 968.

[13] 梅桃英,王志权. 射频消融术治疗中老年心动过速性心肌病 46 例效果随访分析[J]. 局解手术学杂志, 2012, 21(6): 705 - 706.

[14] Vigneshwar K, Elizabeth A, Tammy E, et al. Minimally invasive surgery using bipolar radiofrequency energy is effective treatment for refractory atrial fibrillation[J]. Ann Thorac Surg, 2012, 93(5): 1456 - 1461.

[15] Cinzia T, Pozzolia A, Mazzone P, et al. Electrophysiological findings and long-term outcomes of percutaneous ablation of atrial arrhythmias after surgical ablation for atrial fibrillation[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2015, 48(3): 744 - 746.

(编辑:周小林)

手术,从而提高手术的安全性[4]。我们前期通过 Mimics 软件已经实现了对枢椎齿状突骨折数字化评估,本研究拟通过虚拟仿真手术来实施前路经皮中空螺治疗Ⅱ型齿状突骨折。通过虚拟现实平台客观掌握骨折分型分类情况,全面了解寰枢椎体侧块及关节突三维数据,为临床准确而安全置钉提供保障。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本实验为个体化实验设计,于 2014 年 6 月至 2014 年 12 月在重庆市涪陵中心医院骨科完成。选择我科 1 例齿状突骨折患者,年龄 55 岁,入院诊断为枢椎齿状突骨折并寰枢椎不稳(Anderson Ⅱ,Franke E),经术前 X 射线摄片及 CT 检查,排除感染、先天性畸形、病理性骨折及重度骨质疏松等。

1.2 主要仪器及设备

计算机工作站:Intel(R) Xeon (TM) CPU 3 G,双核四节点(8 CPU),内存:8 G,硬盘:320 G (DELL Inc. USA)。软件系统:交互式的医学影像控制软件系统(Materialise' interactive medical image control system, Mimics 10.01 试用版)

1.3 方法

1.3.1 原始数据的采集 利用 Philip 64 排螺旋 CT 对本例患者进行三维扫描(冠状面、矢状面、水平面),扫描层距为 0.5 mm,像素矩阵为 1 024 ×1 024,从而得到所有相关图像数据,图像原始数据以 Dicom 格式保留,存盘在 DVD 中。

1.3.2 颈椎骨骼三维模型的建立 计算机工作站中 Mimics 10.01 软件读入存盘在 DVD 的数据(Dicom 格式的 CT 原始数据),软件将根据 CT 原始扫描自动设定参数,所有的图片均采用二次内插值处理,目前软件自动界定骨骼阈值 171 ~1 193 亨氏单位,Mimics 软件形成各层面骨组织表面初次大体轮廓线,然后图像边缘分割出上颈椎模块,每层图像经编辑、补洞、去除杂点和冗余数据等处理, 以区域增长形式,最后 3D 计算建立颈椎骨性结构的三维几何模型、初始的模型还要经过光滑处理。

1.3.3 三维模型的测量工作 在重建的三维模型中,应用 3D 测量功能确定骨折线与齿状突尖的距离、精确骨折移位情况、移位的三维角度、齿状突高度及最大内径。

1.3.4 进行虚拟仿真手术 在 Mimics 10.01 版块应用蒙罩编辑及 MedCAD 功能模拟前路骨折复位、经皮中空螺钉予以骨折端加压固定,通过仿真手术的虚拟螺钉的三维,从而明确进针点的精确定位,螺钉与枢椎椎体的矢状面角度,螺钉内径大小及长短。

2 结果

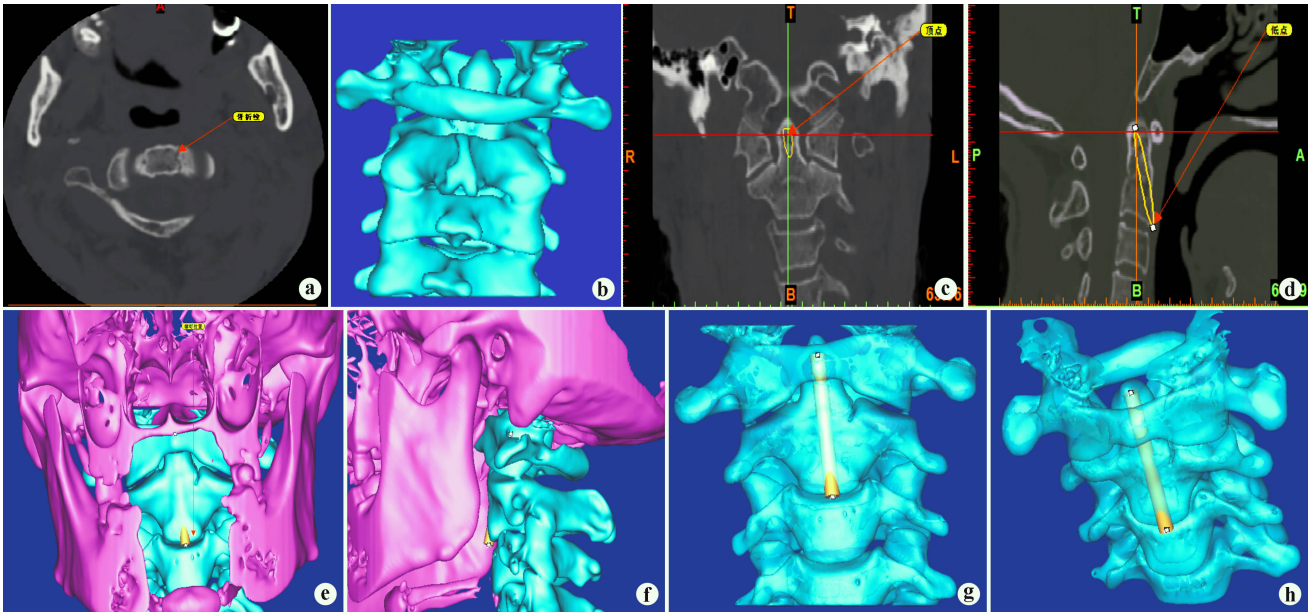
三维重建模型使上颈椎序列直观、完整、清晰(图 1b、e、f),在软件中通过三维旋转,整体平移和部分隐藏功能,可以清楚看见骨折线行走的范围,通过矢状面及冠状面的放大功能,精确量化骨折线的长短,重现骨折线走形(图 1a、c、d)。

整个模拟手术过程中螺钉进针点准确无误,螺钉未突破齿状突后方皮质进入椎管、长度合适,螺钉能穿过骨折线,实现断端的加压固定,穿过螺钉未损伤 C_2/C_3 椎间盘前侧部分(图 1g、h)。

3 讨论

目前认为水平剪切联合轴向压缩的作用是造成枢椎齿状突发生骨折的主要原因[5-6],对于儿童患者来说,齿状突常见骨折部位为齿状突与枢椎交界骨骺处。齿状突骨折的骨折线常位于腰部,是人体内骨折最难愈合的部位之一。国外有文献报道,齿状突骨折中Ⅱ型骨折占比高达 65% ~74%[6]。齿状突骨折根据 Anderson 分型原则可分为 3 型:尖部撕脱性骨折为Ⅰ型、基底部骨折为Ⅱ型和累及枢椎椎体为Ⅲ型。且 AndersonⅡ型齿状突骨折在骨折线的方向、移位及粉碎性程度等方面变化较大,故目前治疗方案的选择存在较大差异。有学者提出Ⅱ型齿状突骨折进一步分为ⅡA、ⅡB、ⅡC 3 个亚型[7-11],ⅡA 型:无移位的横型骨折或者移位小于 1 mm,首选保守治疗;ⅡB 型:矢状面骨折线自前上方向后下方延伸且无粉碎性或者移位大于 1 mm,首选前路齿状突螺钉固定;ⅡC 型:矢状面骨折线自前下方向后上方延伸或者粉碎性Ⅱ型齿状突骨折,该型是前路齿状突螺钉固定的禁忌证,Govender 等[11]建议行后路寰枢椎固定融合术。目前观点认为无论前路齿状突中空拉力螺钉固定还是后路寰枢椎短节段固定,均恢复了寰枢椎间的生物力学稳定性,但后路寰枢椎融合术使颈椎的旋转功能丧失 40% ~50%,经前路加压螺钉治疗齿状突骨折,术中出血少,术后康复快,更重要的是保留了寰枢椎旋转功能,功能恢复满意。本例患者年龄 55 岁,骨质良好,无骨质疏松,无短颈、胸椎后凸畸形及桶状胸,根据 Grauer 分型特点,属于ⅡB 型,因此选择前路齿状突中空拉力螺钉固定。

经前路螺钉内固定治疗不稳定齿状突骨折在手术过程中要避免损伤甲状腺上动脉及喉部神经、否则术后可能因为颈部血肿导致窒息的发生、颈部神经损伤



a:颈椎 CT 平扫;b:3D 平扫;c:螺钉冠状面(后面);d:螺钉矢状面(侧面);e:三维模型(前方);f:三维模型(后方);g:模拟置钉(前面);h:模拟置钉(斜面)

图 1 颈椎 CT 图像及三维重建模型

出现饮水发呛、声嘶等症状。术中应采用低切口高入点,因为术前的 X 射线平片,CT 及 MRI 扫描检查等影像学资料非常重要,通过影像资料明确齿状突骨折的类型、测量寰齿间距、判断寰枢椎不稳定程度,前路螺钉内固定治疗不稳定齿状突骨折有严格的手术适应证及禁忌证[12-13];骨折端移位明显,常规术前颅骨牵引复位,透视若发现骨折端复位欠佳,根据具体情况选择行后路寰枢椎融合术。在未复位的情况下选择前路螺钉内固定将不能稳定骨折端且很容易损伤后方的脊髓;此外上颈椎的解剖变异较多,也可能给手术造成很大的难度,因此必须根据术前的所有影像资料、准确了解齿状突的高度、最大矢状径和横径及椎动脉的走行[14-16]。若变异存在根据具体情况可选择其他手术方式。术中置钉过程必须在 C 型臂透视下进行,准确置入导针是关键,定位针从 C_2 椎体下终板边缘 1 ~ 2 mm 处进针,因此应将 C_2 椎体前下沿部分咬除,防止螺钉尾部较长出现 C_2/C_3 间隙出现移位骨化及过长钉尾对前方食道的激惹。进钉角度在冠状位居中,矢状位面向后上 15°[17-20];进入的导针要求居中尽量到齿状突尖部,避免导针打入椎管内;进钉深度一般以过骨折线为宜,至于能否穿过后方皮质存在争议。一旦导针不居中,在拧入中空螺钉时易出现导针受螺钉挤压致其变形、拔出困难,更严重的是使导针随其共同向后上方推进,进而损伤脊髓。在旋入螺钉时必须全程 C 臂透视下进行,能有神经电生理监测更好、若有异常情况立即停止操作。选择螺钉的合适长度的螺钉及螺纹、当然螺纹须跨过骨折线,否则无法起到加压固定的作用[21]。

经前路加压螺钉治疗齿状突骨折过程中可能引起血管神经损伤、螺钉折断松动、螺钉误置等相关严重并发症[22],为进一步减少并发症,提高手术安全性,术前完整影像学检查必不可少。基于传统的 X 片、CT 及 MRI 扫描检查可以明确齿状突骨折的类型和寰枢椎不稳定情况,初步决定治疗方案。但二维图像很难精确把握齿状突的高度、前后径和横径,进而发现其部分变异,MIMICS 软件把原始 CT 扫描数据文件导入计算机工作站中,通过软件系统的重建及分析可以真实再现冠状位、矢状位和横断面的三维信息及图像,可以全方位多角度观察上颈椎骨骼模型及齿状突骨折情况,为齿状突骨折、寰枢椎脱位及颈髓损伤的三维量化,提供了更直观、立体的依据[23-27]。在软件系统中,可以充分发挥其局部放大及缩小功能,实现对细微骨折的划分,从而提高了诊断准确率。在 3D 模型上可以应用三维测量功能空间中的任意 2 点的距离及 3 点的角度,本例研究中可以精确测量骨折线距离、三维角度、齿状突高度及最大内径。本例应用 MedCAD 功能设计仿真手术,模拟进针角度及方向,可以从任意角度观察钉道内的结构、确定中空螺钉直径的大小及长短,若发生螺钉突破皮质的某个方向进入椎管,可以及时调整螺钉的方向,直至位置满意为止,为临床医师选择和制订治疗方案提供依据。

基于术前的模拟手术的仿真设计对于手术经验不

足、刚刚开展此类手术的医生来说,可以适当缩短学习时间,减少手术风险,在临床解剖教学中也具有至关重要的作用。当前患者及家属在术前可以通过搜索引擎了解上颈椎手术复杂、手术风险巨大,在签署相关知情同意书时,医方通常是口头交代手术方式、手术风险及手术并发症等,但患者及家属并不清楚手术的具体过程,容易对手术产生恐惧,造成患者术前紧张,出现高血压、失眠或者部分短暂性精神障碍等。为缓解患者及其家属紧张情绪,我们可邀请部分患者家属在计算机工作站参加术前讨论,经软件系统中的虚拟手术操作步骤可以直观地向其交代手术目的、方式及过程,同时 3D 图像向其讲述可能出现的手术风险,如在置钉过程中可能会脊髓损伤,以通过虚拟仿真手术系统对完整的手术过程及手术的关键步骤进行演练。这样的术前告知便于患者及家属理解,使其切实做到真正的知情同意,了解手术风险,降低术前患者紧张情绪,缓解医患矛盾。

本例基于 MIMICS 软件的三维测量功能获取关键的解剖数据及置钉参数。基于虚拟仿真手术,为中空螺钉的安全性置入提供保障,为实际手术提供参考。本例研究也有其不足之处,首先由于技术原因,并没有设计出个性化的中空螺钉置钉导航模板;其次虚拟仿真手术缺乏后续的生物力学分析,这将是我们后续的进一步研究计划。

[参考文献]

[1] Li L, Liu WF, Jiang HK, et al. Biomechanical evaluation of four different posterior screw and rod fixation techniques for the treatment of theodontoid fractures[J]. Int J Clin Exp Med, 15, 8(6): 8571 - 8580.

[2] Ebraheim N, Rollins JR, Xu R, et al. Anatomic cosideration of C2 pedicle screw plcaement[J]. Spine, 1996, 21(2): 691 - 695.

[3] 池永龙,王向阳,毛方敏,等. 经皮颈前路螺钉内固定治疗齿状突骨折[J]. 中华骨科杂志,2004,24(2):91 - 94.

[4] 刘登均,李 奇,李鉴轶. 可视化虚拟手术在全髋关节表面置换中的应用[J]. 重庆医学,2010,39(7):787 - 788.

[5] 瞿东滨,钟世镇,徐达传. 枢椎椎弓根及内固定的临床应用解剖[J]. 中国临床解剖学杂志,1999,17(2):153 - 154.

[6] Cai XH, Liu ZC, Yu Y, et al. Evaluation of biomechanical properties of anterior atlantoaxial transarticular locking plate system using three-dimensional finite element analysis[J]. Eur Spine J, 2013, 22(12): 2686 - 2694.

[7] Subach BR, Morone MA, Haid RW Jr, et al. Management of acute odontoid fractures with single-screw anterior fixation[J]. Neurosurgery, 1999, 45(4): 812 - 819.

[8] Vaccaro AR, Madigan L, Ehrler DM. Contemporary management of adult cervical odontoid fractures[J]. Orthopedics, 2000, 23(10): 1109 - 1113.

[9] Malagelada F, Tibrewal S, Lucar GA, et al. Combined type Ⅱ odontoid fracture with axis anterior arch fracture: a case report in an elderly patient[J]. Geriatr Orthop Surg Rehabil, 2015, 6(1): 37 - 41.

[10] Herren C, Pishnamaz M, Lichte P, et al. The anterior "triple-/quadruple" technique for C1/C2 trauma in the elderly: first experience with 16 patients[J]. Z Orthop Unfall, 2015, 153(5): 533 - 539.

[11] Govender S, Maharau JF, Haffajee MR. Fracture of the odontoid proc ess[J]. J Bone Joint Surg Br, 2000, 82(8): 114 - 146.

[12] Cosar M, Ozer AF, Alkan B, et al. Management of type Ⅱ odontoid fracture for osteoporotic bone structure: preliminary, report[J]. Turk-Neurosurg, 2015, 25(2): 269 - 272.

[13] 刘登均,贺小兵,王明贵,等. Mimics 软件在齿状突骨折中的诊断价值[J]. 局解手术学杂志,2012,21(2):10 - 11.

[14] 于四堂,吴广良. CT 多层面重建对齿状突骨折的诊断[J]. 实用放射学杂志,2003,19(8):766 - 767.

[15] Weisskopf M, Reindl R, Schroder R, et al. CT scans versus conventional tomography in acute fractures of the odontoid process[J]. Eur Spine J, 2001, 10(3): 250 - 254.

[16] Koivikko MP, Kiuru MJ, Koskinen SK. Occurrence of comminution (type Ⅱ A) in type Ⅱ odontoid process fractures: a multi-slice CT study[J]. Emerg Radiol, 2003, 10(2): 84 - 88.

[17] Bisson EF, Mumert ML, Mazur MD, et al. Schmidt MH the fate of type II odontoid fractures after posterior atlantoaxial fusion: where does healing occur? [J]. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg, 2015, 76(4): 274 - 278.

[18] Salem KM, Collins I, Boszczyk BM. Salvage of failed odontoid fixation through anterior C1/C2 transarticular screws[J]. Eur Spine J, 2015, 24(3): 609 - 614.

[19] Vacearo AR, Madigan L, Ehrler DM. Contemporary management of adult cervical odontoid fractures[J]. Orthopedics, 2000, 23(10): 1109 - 1105.

[20] Shen Y, Miao J, Li C, et al. A meta-analysis of the fusion rate from surgical treatment for odontoid factures: anterior odontoidscrew versus posterior C1-C2 arthrodesis[J]. Eur Spine J, 2015, 24(8): 1649 - 1657.

[21] Denaro V, Papalia R, Di Martino A, et al. The best surgical treatment for type II fractures of the dens is still controversial[J]. Clin Orthop Relat Res, 2011, 469(3): 742 - 750.

[22] 池永龙. 对上颈椎疾患传统外科治疗观念的改变[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2012,22(2):100 - 102.

[23] Anderson LD, D Alonzo RT. Fractures of the odontoid process of the axis[J]. J Bone Joint Surg Am, 1974, 56(8): 1663 - l674.

[24] Maciejczak A, Wolan-Nieroda A, Jablonska-sudd K, et al. Comparison of fusion rates between rod-based laminar claw hook and posterior cervical screw constructs in Type Ⅱ odontoid fractures[J]. Injury, 2015, 46(7): 1304 - 1310.

[25] Rajasekaran S, Kamath V, Avadhani A. Odontoid anterior screw fixation[J]. Eur Spine J, 2010, 19(2): 339 - 340.

[26] Patel AA, Lindsey R, Bessey JT, et al. Surgical treatment of unstable type Ⅱ odontoid factures in skeletally mature individuals[J]. Spine, 2010, 35(21 Supp1): 209 - 218.

[27] Xu H, Chi YL, Wang XY, et al. Comparison of the anatomic risk for vertebral artery injury associated with percutaneous atlantoaxiai anterior and posterior transartieular screws[J]. Spine J, 2012, 12(8): 656 - 662.

(编辑:刘 艺)