

·应用解剖·

计算机辅助设计在强直性脊柱炎后凸畸形矫形手术中的应用

李景欣¹, 瞿东滨¹, 王博亮², 蔡明², 罗吉伟¹, 金大地¹

(1.南方医科大学南方医院脊柱骨病外科, 广州 510515; 2.厦门大学计算机科学系, 福建 厦门 361000)

【摘要】目的: 探讨计算机辅助设计在强直性脊柱炎后凸畸形矫形手术方案制定中的应用价值。方法: 将 5 例强直性脊柱炎后凸畸形患者在手术前后进行胸腰椎 CT 扫描, 获得的数据导入 Mimics 10.01 软件进行三维重建。手术前在重建模型上模拟经椎弓根椎体截骨术进行虚拟截骨、预测矫形效果, 并测算截骨椎体所需截骨角度及相应椎板及椎体后缘的截骨宽度。手术后在预测模型及术后重建模型上分别测量全脊柱后凸角, 颈 7 椎体中心点与骶骨后上角的水平距离, 截骨节段相邻上下椎体棘突间及双侧横突间距离等指标, 并进行比较。结果: 5 例手术前后均顺利完成三维建模。术前模拟截骨测算出截骨椎体所需截骨角度、椎板截骨宽度和椎体后缘截骨宽度的值分别为 $(26.34 \pm 3.16)^\circ$ ($23.30 \sim 30.11^\circ$)、 (27.71 ± 1.22) mm ($26.53 \sim 29.15$ mm) 和 (14.45 ± 1.62) mm ($12.17 \sim 16.62$ mm), 在虚拟截骨模型上及术后重建模型上测得的比较指标相近。结论: 应用计算机对强直性脊柱炎后凸畸形截骨矫形手术进行仿真模拟设计的方法具有可行性, 能比较直观、精确反映矫形效果, 可为制定手术方案提供较科学的依据。

【关键词】计算机辅助骨科; 手术模拟; 强直性脊柱炎; 后凸畸形

【中图分类号】R682.3; R593.28 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1001-165X(2008)06-0619-05

The application of computer simulation of spinal osteotomy in making surgical plan for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis

LI Jing-xin*, QU Dong-bin, WANG Bo-liang, et al.

*Department of Orthopaedic Surgery, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

【Abstract】Objective: To discuss the application of computer simulation of spinal osteotomy in making surgical plans for patients with kyphosis deformity due to ankylosing spondylitis. **Methods:** 4 patients underwent CT scan before and after the operation and the collected data were put into the Mimics 10.01 to reconstruct 3D images. Virtual vertebrectomies were carried out on the models to guide actual operations. The corrected angle, the width of the lamina, the width of resected lumbar posterior marginal bone was predicted. In the model of virtual vertebrectomies and the postoperative reconstructed, the total spinal kyphosis angle, the distance between the cervical line on the center of C₇ and the postero-superior part of S1, the distance of the spinous process and the distance of both sides of transverse process were measured and compared. **Results:** The models were successfully reconstructed and virtual vertebrectomies were well completed in every case. The mean predictive value of the corrected angle, the width of the lamina, the width of resected lumbar posterior marginal bone were $(26.34 \pm 3.16)^\circ$ ($23.30 \sim 30.11^\circ$), (27.71 ± 1.22) mm ($26.53 \sim 29.15$ mm), and (14.45 ± 1.62) mm ($12.17 \sim 16.62$ mm) respectively. The mean predictive value was close to the mean real values. **Conclusions:** Computer simulation of vertebrectomy can directly and accurately reflect the correction effects before surgery, which is convenient for defining the best surgical plan as well as improving the safety and accuracy of the operation.

【Key words】 computer assisted orthopaedic surgery; surgical simulation; ankylosing spondylitis; kyphosis

强直性脊柱炎后凸畸形是病变后期造成的矢状面上的脊柱畸形, 此时进行脊柱截骨矫形手术是唯一的治疗方法。计算机辅助外科手术 (computer-assisted

surgery, CAS) 是一种基于计算机对大量数据信息的高速处理及控制能力, 通过虚拟手术环境为外科医生从技术上提供支援, 使手术更安全, 更精确的一门新技术^[1]。由于骨科的医学影像较为准确、丰富, 易于三维重建, 骨骼和关节在手术中不会因器械的移动和体位的变化而变形, 内置物的置入特别依赖骨骼表面标志和术中医学影像, 因此, CAS 在骨科的应用日益广泛^[2]。本

【收稿日期】2008-04-17

【作者简介】李景欣(1979-), 男, 福建厦门人, 在读硕士, 研究方向: 脊柱外科, Tel: 020-62787195, E-mail: m592@163.com

【通讯作者】金大地, 教授, 博士生导师, Tel: 020-62787195, E-mail: dadijin@yahoo.com

文通过在计算机上三维重建病变脊柱，设计不同手术方案进行虚拟截骨，并测量截骨矫正量数据供手术参考，以期实现术前手术计划的精确制定和预测。

1 材料和方法

1.1 一般资料

强直性脊柱炎后凸畸形患者 5 例，均为男性，年龄范围 21~31 岁，平均 28 岁。强直性脊柱炎病史 5~11 年，平均 6 年。患者均有不同程度的腰背痛，胸背部活动受限，呈现脊柱后凸畸形及双目不能平视等症状，均不伴有髋关节强直。

术前常规摄站立位胸腰椎 X 线片及骨盆平片，后凸畸形部位在胸段者 1 例，胸腰段者 4 例，均无腹主动脉轻度钙化。肺功能测定通气功能正常 3 例，轻度限制性通气障碍 2 例，心功能均正常。术前血沉 11~36 mm/h，平均 22 mm/h。

1.2 获取数据及三维重建

手术前、后采用多层螺旋 CT 机（美国 GE 公司生产 LightSpeed Ultra 16 型）对患者颈 7 至骶骨的脊椎进行断层连续扫描，扫描基准线平行脊柱轴线。扫描参数：螺距 1.0~1.5 mm，层厚 5 mm，经分割后层厚为 0.625 mm，扫描时间 0.3 s，球管电压 120 kV，电流 300 mAs，扫描矩阵 512×512。所获图像格式为 Dicom 3.0。

将获得的数据导入 Mimics 10.01 软件中，选取骨密度 CT 值，剔除软组织，三维重建胸腰椎图像，获得手术前后脊柱的三维重建图像。

1.3 术前虚拟截骨辅助手术方案的制定

(1)根据后凸畸形的形状及后凸顶点尝试不同的截骨部位，根据后凸畸形的严重程度设计多节段截骨方案。

(2)参考 Yang 等^[9]于 2006 年提出的计算方法并进行适当改进后进行矫正角度及截骨宽度的估计。首先，分别经过颈 7 椎体中心点及骶 1 椎体后上角作两条垂线，两线之间的水平距离用于评估后凸畸形恢复矢状面平衡的所需纠正的程度。然后，标出事先确定截骨椎体的前缘中点并与颈 7 椎体中心点做一连线，将此线旋转至与过骶 1 椎体后上角的垂线相交，所旋转的角度理论上可认为是截骨所需获得的矫正度数(图 1)。测量截骨椎体后缘及

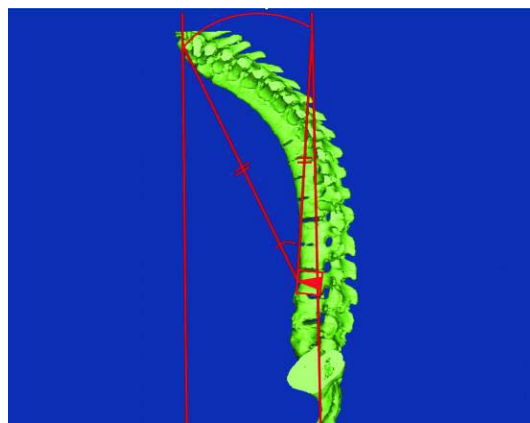


图 1 截骨角度测量示意图

Fig.1 Methods of measurement of the angle required of osteotomies

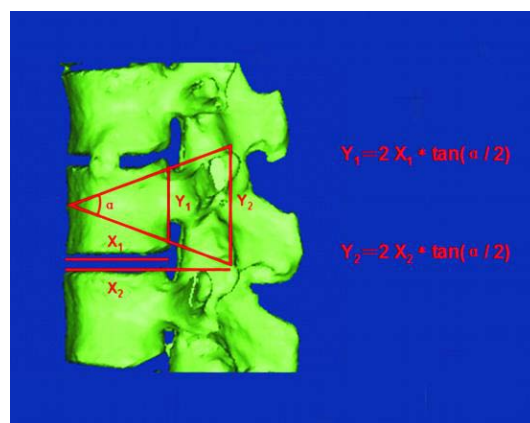


图 2 截骨宽度测算示意图

Fig.2 Methods of calculation of the heights of osteotomies

椎板与椎体的前缘的距离，在截骨角度已知的条件下，可通过简单的三角函数计算出椎体后缘、椎板所需的截骨宽度。如(图 2)所示，∠α 为需获得的截骨角度，X1、X2 分别为椎体前缘至椎体后

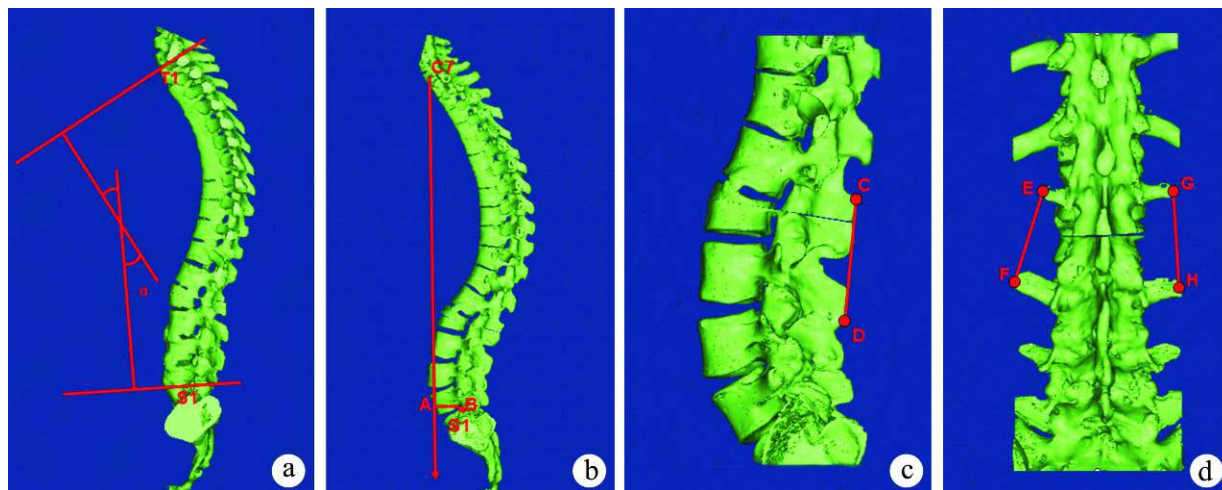


图 4 洪某，男，21 岁，行腰 2 经椎弓根椎体截骨术。术前(a)、术后(d)重建模型，模拟腰 2(b)、腰 3(c)椎体截骨模型，术前(c)、术后(d)侧位 X 线片，虚拟(g)及现实(h)截骨参数

Fig.4 L₂ PSO in a 21-year-old man. Reconstructed model before (a) and after (d) operation, L₂ (b) and L₃ (c) virtual vertebrectomies were carried out on the models, lateral radiographs before(e) and after(f) operation, the predictive value(g) and the real values(h) of the indexes

缘和椎板的距离, Y_1 、 Y_2 分别为椎体后缘和椎板所需的截骨宽度。

(3)在已重建好的术前病变脊柱模型上选择不同的截骨部位和截骨角度进行虚拟截骨,比较不同方案的矫形效果,最终确定最佳的手术方案(包括截骨部位、截骨角度和截骨的数目),并测量截骨节段在椎板和椎体后缘的截骨宽度,指导手术中的截骨量。

1.4 预测效果的评价

重建术后脊柱模型。在术前确定的截骨模型及术后重建的模型上分别测量:①胸 1 椎体上缘与骶骨平面所夹的全脊柱后凸角;②颈 7 椎体中心点与骶骨后上角的水平距离;③截骨节段上位椎体棘突最上缘与下位椎体棘突最下缘间距离;④截骨节段相邻上下椎体双侧横突尖部距离(图 3),并进行比较。

2 结果

表 1 术前模拟值与术后实际值的比较 $\bar{x} \pm s$ (min~max), $n=5$

Tab.1 Comparison of the predictive and real value of the indexes $Mean \pm SD$ (min~max), $n=5$

比较指标 comparative parameters	模拟值 predictive values	实际值 real values
全脊柱后凸角($^{\circ}$) total spinal kyphosis angle	16.09 \pm 09.31(05.11~09.10)	14.90 \pm 08.59(02.09~25.18)
颈 7 椎体中心点与骶骨后上角的水平距离(mm) horizontal distance between the cervical line on centerpoint of C ₇ and posterior-superior part of S1 (mm)	46.64 \pm 19.09(18.35~63.68)	46.35 \pm 20.53(22.31~74.04)
棘突间距离(mm) distance of the spinous process	64.26 \pm 06.91(52.87~71.41)	64.38 \pm 8.41(51.89~73.82)
左侧横突间距离(mm) distance of the left transverse process (mm)	50.91 \pm 02.39(47.98~54.17)	50.39 \pm 08.45(40.73~61.24)
右侧横突间距离(mm) distance of the right transverse process (mm)	47.30 \pm 05.03(39.21~51.67)	48.04 \pm 08.07(37.44~59.63)

3 典型病例

洪某,男,21岁,强直性脊柱炎病史并胸腰椎后凸畸形6年余。术前三维重建病变脊柱(图4a),分别选择腰2及腰3椎体进行虚拟截骨(图4b、4c)。确定选择腰2椎体进行截骨,并测量出使颈7椎体中心点矫正到过骶1椎体后上角垂线上所需矫正的度数为 29° ;并在腰2椎体上测得获得此矫正度数相应的椎板和椎体后缘的截骨宽度分别为26.86mm和14.00mm,指导术中截骨。重建术后脊柱模型(图4d),并测得全脊柱后凸角、颈7椎体中心点与骶骨后上角的水平距离、棘突间距离及左、右侧横突间距离分别为 25.18° 、49.94、51.89、40.73、和37.44mm。而在术前腰2截骨模型上测量上述指标相应值为 29.10° 、53.85、52.87、47.98和39.21mm。

4 讨论

4.1 计算机辅助手术在脊柱外科的应用

CAS在骨科的应用称为计算机辅助骨科手术(computer-assisted orthopaedic surgery, CAOS)。其在脊柱外科的应用日益广泛。利用计算机导航技术辅助椎弓根螺钉置入是目前研究最深入的领域。众多文献报

本组5例患者均顺利完成手术前后脊柱的三维重建,并设计2种以上不同的手术方案进行虚拟截骨。经过比较矫形效果,最终均确定行腰2经椎弓根椎体截骨术。术后均获得良好的矫形效果,患者外观获得明显改善。

术前测算出所需截骨角度平均为 $(26.34 \pm 3.16)^{\circ}$ ($23.30 \sim 30.11^{\circ}$),椎板截骨宽度平均为 (27.71 ± 1.22) mm ($26.53 \sim 29.15$ mm),椎体后缘截骨宽度平均为 (14.45 ± 1.62) mm ($12.17 \sim 16.62$ mm)。

在虚拟截骨模型上及术后重建模型上分别测得各比较指标的预测值与实际手术后测量值相近(表1)。

道通过术后CT扫描,比较应用传统方法及导航技术后椎弓根螺钉的置入情况,认为采用导航技术更为准确、安全^[4,5]。基于计算机图形学和CT设备的三维重建技术已经广泛地应用于临床。由于骨与软组织密度差别大,重建的脊柱关节三维图像清晰、逼真、立体感强,可为临床提供丰富的立体诊断信息^[6]。此外,CAS在脊柱外科的应用内容还包括术前手术计划的制定、手术过程模拟及手术效果的预测,远程医疗及手术机器人的应用等方面,但目前相关文献报道较少。Wang等^[7]收集了34例行后路颈椎板开门减压、椎管扩大成形术患者术前的CT数据并应用计算机技术进行手术模拟,分析椎板扩大角度、椎板张开长度、椎管矢状径以及扩大的椎管容积之间的统计学相关关系;并且当椎板张开长度大于12mm时,单、双开门两种术式所获得的椎管矢状径以及扩大的椎管容积增加量存在统计学区别。

4.2 计算机辅助强直性脊柱炎后凸畸形截骨矫正手术设计的临床指导意义

(1)有助于选择合适的截骨部位。目前临床上多是选择在腰椎进行截骨,通过人为地增大腰椎前凸,以代偿脊柱上部的后凸畸形,改善病人外观。但是按照一般

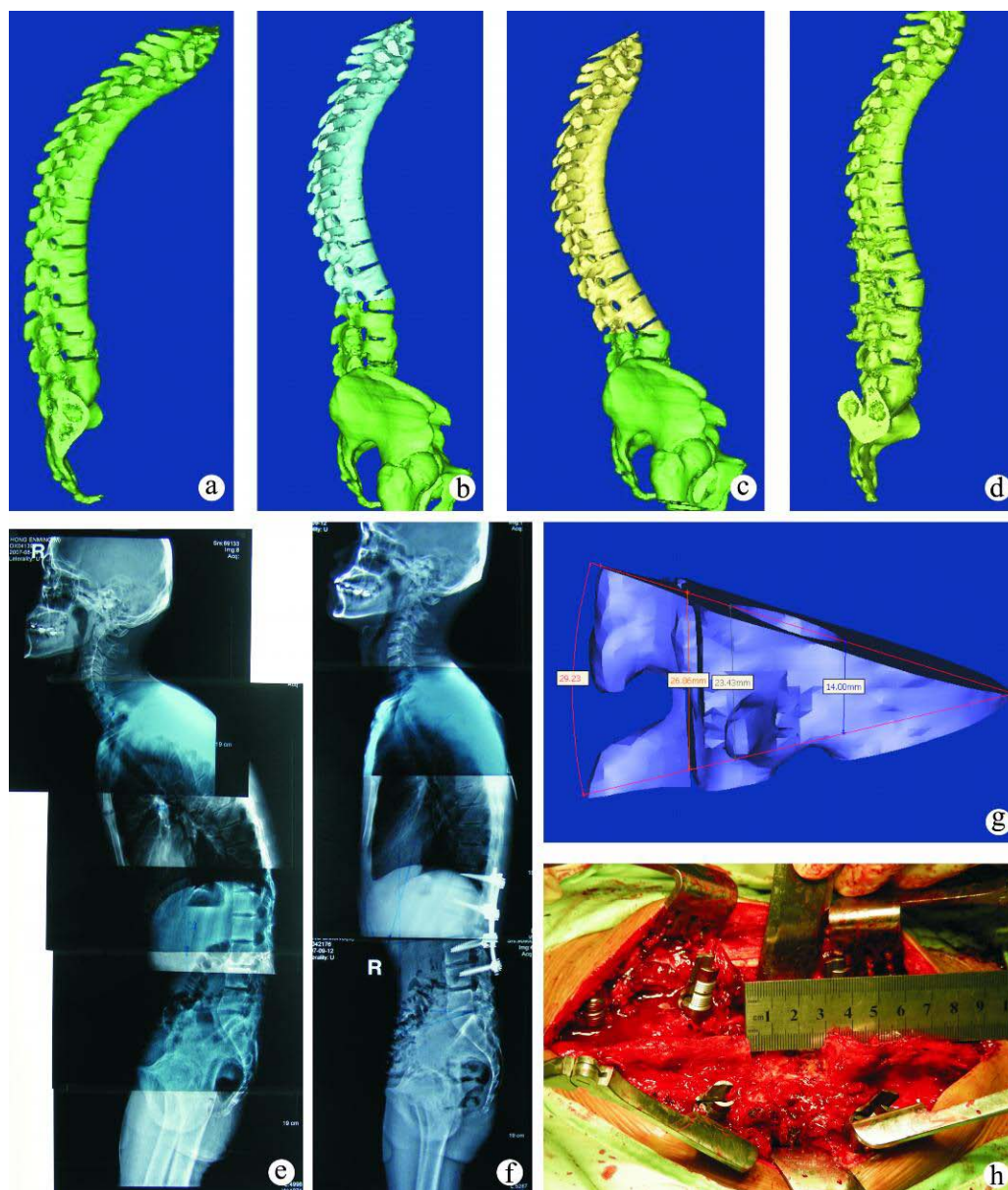


图3 手术前后比较指标测量示意图

∠α 为全脊柱后凸角(图 a) ;A、B 两点距离为颈 7 椎体中心点与骶骨后上角的水平距离(图 b) ;C、D 两点距离为截骨节段相邻上下椎体棘突间距离(图 c) ;E、F 和 G、H 两点距离分别为两侧截骨节段相邻上下椎体横突间距离(图 d)

Fig.3 Methods of measurement of the comparative parameters

The angle α is the total spinal kyphosis angle (a).The distance between is A and B was measured for the horizontal distance between the cervical line on centerpoint of C7 and posterior-superior part of S1 (b), CD for the distance of the spinous process (c), EF and GH for the distance of both sides of transverse process(d).

的截骨原则，截骨应选择在后凸畸形的顶点部位进行才能达到最佳的矫形效果。强直性脊柱炎引起的后凸顶点多位于胸椎，以胸腰段最常见，因此，对于恢复脊柱的生理曲线来说，胸椎是理想的截骨部位，能达到脊柱生理曲线和矢状面的生物力学平衡最佳的恢复。近年术式经过改进后，腰 1 以上已不是禁区，并已将原来腰段截骨提高到胸段、颈段。特别是对于胸椎后凸伴正常腰椎前凸的患者，理想的截骨水平是在胸椎^[8]。我们针对不同的截骨部位对病变脊柱进行虚拟截骨，在术

前就能直观地显示各个部位截骨后的矫形效果，为手术者及其团队选择手术部位提供了直观的参考。本组病人中有 4 例患者胸椎后凸伴腰椎前凸消失或减少，术前模拟及实际手术时均选择在腰椎进行截骨，二者获得的矫形效果相近，疗效满意。有 1 例为后凸顶点位于胸腰段而腰椎前凸正常(腰椎前凸角 40°)，我们在术前对胸腰段及腰椎截骨均进行了模拟，结果发现在顶点截骨获得了较佳的矫形效果，但出于手术安全性的考虑，我们仍选择在腰椎进行截骨，使腰椎前凸增大到

60° ,所获临床疗效也较为满意。

(2)有助于指导术中截骨宽度 目前临床上多数通过在脊柱侧位片上根据需矫正度数来测量截骨宽度,不仅精确性差,而且只是在二维平面上预测矫正效果,空间立体感差。肖联平等^[9]报道在纸样上模拟截骨,观察矫正效果,最终确定截骨部位和截骨角度,测出各截骨节段在棘突和椎体后缘水平的截骨宽度,指导术中截骨量。本组病例中,我们通过计算机上的虚拟截骨,并能对截骨模型进行精确测量,获得的截骨宽度预测值与实际手术的结果基本相符,实现了术前个体化手术计划的精确制定和预测,为临床医生提前进行术前演练,避免和减少术中出现失误提供了有利条件。当然,临床手术时确定截骨量时还应综合考虑椎前血管顺应性、脊髓松弛程度、脊柱稳定性等因素,但就矫正效果预测而言,本研究方法较传统方法有明显优势。

(3)模拟多节段联合截骨供临床参考 一般认为,对于 60° 以内的后凸畸形,一般作单节段截骨即可满足矫正的需要,否则节段越多,手术时间越长,损伤越大,出血越多,会大大增加手术的危险性。本组患者均为 60° 以内的后凸畸形,我们在分别对单节段截骨和多节段截骨的不同手术方案进行了模拟、比较,结果显示单节段截骨已可获得满意的矫正效果;临床也均采用单节段截骨,效果满意。对于严重的后凸畸形应考虑行双节段或更多节段的截骨,可以使应力分散、减少对脊柱稳定性的影响,且每个椎间隙张开小,可以避免椎体前方的血管和内脏过度牵引的优点。但其缺点之一是手术效果不好预测,在术前对应每个节段及整体的矫正效果缺乏清晰的预见。我们应用计算机进行术前截骨模拟能很好的解决这一问题,使手术者在术前做到心中有数,根据需要合理分配每个节段的截骨量。

4.3 本研究方法的优势与不足

本研究通过计算机手段对病变脊柱进行三维重建及模拟截骨,可以使手术者在术前对手术区域的解剖

结构有更加明确的认识,对手术方案的三维构思更加客观、定量,并且能将手术信息与其他手术者及患者共享,对手术设计具有指导意义。本研究的不足之处在于,脊柱及邻近组织解剖结构复杂,截骨过程操作难度大,而计算机采用的是在理想状态下的机械性截骨,因此,手术截骨的临床效果往往很难得到计算机模拟截骨的理想矫正度数。这一问题的解决有赖于提高手术技巧以及进一步提高计算机模拟截骨的仿真程度。此外,从手术需要出发,还应进一步研究截骨前后椎管内脊髓、神经以及椎旁血管、软组织的移位情况,这对于手术部位的选择以及截骨量的确定具有重要的临床应用价值。

【参考文献】

- [1] Borner M. Computer-assisted surgery. A critical evaluation [J]. Unfallchirurg, 1997,100(8):689-691.
- [2] 王军强,孙磊,王满宜.计算机辅助手术的临床医学评价方法[J].中华外科杂志, 2004, 42(12):757-759.
- [3] Yang BP, Ondra SL. A method for calculating the exact angle required during pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal deformity: comparison with the trigonometric method [J]. Neurosurgery, 2006, 59(4): 458-463.
- [4] Rajasekaran S, Vidyadhara S, Ramesh P, Shetty AP. Randomized clinical study to compare the accuracy of navigated and non-navigated thoracic pedicle screws in deformity correction surgeries [J]. Spine, 2007, 32(2): E56-E64.
- [5] Richter M, Cakir B, Schmidt R. Cervical pedicle screws: conventional versus computer-assisted placement of cannulated screws [J]. Spine, 2005, 30(20):2280-2287.
- [6] 叶哲伟,杨述华.三维医学图像重建及计算机手术导航在脊柱外科的应用[J].中华骨科杂志, 2004, 24(2):125-127.
- [7] Wang XY, Dai LY, Xu HZ, Chi YL. Prediction of spinal canal expansion following cervical laminoplasty: a computer-simulated comparison between single and double-door techniques [J]. Spine, 2006, 31(24): 2863-2870.
- [8] 朱泽章.强直性脊柱炎胸腰椎后凸畸形矫正的术式选择[J].中国矫形外科杂志, 2004, 12(1):122-123.
- [9] 肖联平,江毅,刘智,等.强直性脊柱炎后凸畸形的外科治疗[J].中国脊柱脊髓杂志, 2004, 14(9):527-530.