

# 青少年特发性脊柱侧凸仿真模型的建立

汪学松, 吴志宏, 阎家智, 刑泽军, 王 储, 邱贵兴

(中国医学科学院 中国协和医科大学 北京协和医院骨科 100730 北京市)

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2009.03.13

中图分类号: R682.3, R319 文献标识码: B 文章编号: 1004-406X(2009)-03-0231-03

青少年特发性脊柱侧凸(AIS)占特发性脊柱侧凸病例的 80%, 约占青少年人口的 2%~3%<sup>[1,2]</sup>。由于脊柱侧凸、扭曲, 胸廓变形, 直接影响了患者的外观, 严重危害青少年的身心健康。人与哺乳动物的区别是直立行走, 脊柱侧凸在自然界的动物中尚未发现, 动物模型选材不易。人体标本更是得来困难, 正常人体死亡后数小时, 骨关节包括脊柱的生物力学会发生很大的改变, 更何况侧凸患者的标本更是难以获取, 而且很多数据不能从 AIS 患者活体中测量、收集。目前尚未成功建立灵长类动物的脊柱侧凸模型。随着计算机辅助设计(computer aided design, CAD)和计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)的飞速发展, 20 世纪 80 年代提出了虚拟现实(virtual reality, VR)<sup>[3]</sup>概念, 出现了一门新兴的科学——数字骨科学。单锦露等<sup>[4]</sup>建立了中国女性盆腔三维可视化数字模型, 李安安等<sup>[5]</sup>建立了中国数字人男一号全身骨骼模型, 胡岩君等<sup>[6]</sup>重建了膝关节及交叉韧带数字化模型, 金丹等<sup>[7]</sup>研究了三维重建在足踝外科的应用。但目前, 国内尚未见全脊柱 AIS 模型报道。本研究拟通过计算机软件 Mimics 11.11 重建人 AIS 的全脊柱模型, 并分析其测量学意义, 为临床手术操作提供指导。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

17 岁女性, 发现脊柱侧凸 4 年, 为双弯畸形。上弯为胸弯, 下弯为腰弯, Risser 征 IV 级。行仰卧

位脊柱全长正侧位 X 线片及仰卧位胸腰椎三维 CT 扫描。脊柱全长正位 X 线片示腰椎左侧凸, 胸椎代偿性右侧凸。腰弯 Cobb 角 53°, 上端椎为 T11, 下端椎为 L4, 顶椎为 L2, 顶椎旋转度为 II°; 胸弯 Cobb 角 42°, 上端椎为 T5, 下端椎为 T11, 顶椎为 T8/9 椎间盘。

### 1.2 实验设备和相关计算机软件

螺旋 CT: SIEMENS SOMATOM PLUS 4 一台; 计算机一台: CPU intel pentium 1.86GHz, 内存 2G, 硬盘 120G; 医学建模计算机软件 Mimics 11.11, 计算机自动化逆向工程软件 Geomagic Studio 8.0。

### 1.3 仿真模型建立步骤

(1) 将医学数字化影像通讯(digital image communicate on medicine, Dicom)格式的 CT 数据导入 Mimics 11.11。目前 CT 数据统一为 Dicom 10 格式, Mimics 11.11 可以自动识别 Dicom 格式 CT 数据, 导入后分为冠状面、矢状面、横断面和三维界面(本例无重建的三维图像, 显示为空白)4 个视窗(图 1, 后插页 II)。Mimics 11.11 可以显示相关病例 CT 数据。定位: 按照正常人体解剖位置定义 Mimics 中的 X、Y、Z 轴, X 轴代表人体左(+)、右(-), Y 轴代表人体的前(-)、后(+), Z 轴代表人体的上(+)、下(-)。

(2) 填充、分割。对仿真模型中不能完全显示的结构(如椎体、肋骨内的骨小梁)进行人为填充(图 2, 后插页 II)。同时为了研究方便, 把每个组成部件进行拆分、组合。

(3) 三维重建。完成分割、填充后, 对相应的每个部件进行重建, 但此时重建的模型表面粗糙不光顺。

(4) 重新划分表面网格。重建的三维实体模型本身具有一定的表面网格, 但是很不规整, 需要重

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30672137), 中国博士后科学基金资助项目(20060400567)

第一作者简介: 男(1973-), 医学博士, 主治医师, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)65296080 E-mail: wxs010811@163.com

新划分表面网格 (remesh), remesh 后的三维实体模型表面网格明显规整, 表面光滑 (图 3, 后插页 II)。remesh 后的 AIS 三维实体模型, 明显变得光滑 (图 4, 后插页 II)。

(5) Geomagic 修饰。进一步修补实体模型的孔洞、进行表面光滑和网格的增减, 为以后导入有限元软件进行体网格划分做好准备。

#### 1.4 相关测量

点与点的空间距离: 通常在前后位 X 线上只能得到空间两点在冠状面投影的距离, 而通过本模型可以测量空间任意两点的真实距离。如双肩高度差、C7~S1 的垂直距离、冠状面和矢状面的躯干偏移及椎弓根直径的测量 (图 5, 后插页 II) (取椎弓根峡部最短的内径, 正常椎弓根截面近似一个椭圆形, 取其短径)。

二维测量: 任意两条直线的夹角 (如 Cobb 角) 测量、平面面积的计算、平面密度的测量等。

三维测量: 任意两个平面角度的测量、体积的计算等, 如 AIS 侧凸上、下端椎平面夹角的测量。

T8/9 为顶椎, 可以看出凹侧椎弓根直径较凸侧小, 顶椎凹侧椎弓根直径最小。

## 2 结果

利用病例 CT 数据在计算机软件 Mimics 11.11 内成功地建立了 AIS 仿真模型, 包括椎间盘、肋骨、骶骨和椎体等部件, 所有部件可以任意拆装、组合, 可以从任意角度观察, 也可以进行任意角度切面观察和测量 (胸弯椎体椎弓根直径测量结果见表 1), 也可以进行透明化观察。

表 1 仿真模型上胸弯椎体椎弓根直径测量结果

| 椎体  | 凹侧椎弓根直径 (mm) | 凸侧椎弓根直径 (mm) |
|-----|--------------|--------------|
| T5  | 6.43         | 6.69         |
| T6  | 6.50         | 6.72         |
| T7  | 6.42         | 6.81         |
| T8  | 6.01         | 7.59         |
| T9  | 5.64         | 7.66         |
| T10 | 7.70         | 7.74         |
| T11 | 8.84         | 7.41         |

## 3 讨论

### 3.1 仿真模型建立的意义

可以获得临床上平时很难在活体上测量的数据, 如 C7~S1 垂直距离、冠状位和矢状位 Cobb

角、椎间盘夹角和高度、椎体高度和楔形变角度、椎管的立体空间、上下端椎平面夹角等。可以用于临床椎弓根螺钉的置入、AIS 椎体的形态学等研究, 为临床提供极大的便利。

利用 Mimics 的测量工具可以进行椎体平面间三维立体的角度测量。Cobb 角度是依据脊柱 X 线进行的二维平面上的角度测量, 是患者的脊柱在冠状面的投影, 测量时经常会出现端椎的所谓椎体边缘“双边征”, 很难准确定义 Cobb 角, 加上本身又存在人为的测量误差<sup>[8]</sup>, 必然导致出现不能克服的测量误差。由于脊柱侧凸是三维立体的空间结构, 所以二维的 Cobb 角度变化不能完全代表三维的空间位置变化。可以设想, 目前的特发性脊柱侧凸的 Lenke 分型和 PUMC 分型都是依据这种二维的 Cobb 角来制定的, 有很大的局限性。Richards 等<sup>[9]</sup>将外科医生分成不同的组, 分别依据 King 和 Lenke 分型对 X 线片进行测量, 对比 kappa 指数, 发现 King 分型较 Lenke 分型更能反映脊柱侧凸情况, 主要原因是 Lenke 分型依赖二维 Cobb 角度的测量造成的。因为 Mimics 强大的测量功能, 将脊柱侧凸的三维角度测量变成了可能, 可以依据这种三维的手术前后的角度变化, 建立一种真实反映脊柱侧凸椎体空间位置相对变化的立体分型, 来预测手术矫形效果。目前临床通用的有特发性脊柱侧凸 King、Lenke 分型, 他们都是基于二维理论的分型。Negrini 等<sup>[10-13]</sup>提出了特发性脊柱侧凸的三维分型, 能准确地描述脊柱侧凸结构的三维位置, 但尚未广泛应用于临床。

### 3.2 仿真模型与 CT 三维成像的区别

CT 的影像设备自带的软件也可以进行 AIS 三维重建, 也已经有很多关于骨与关节的 CT 三维重建的研究。但是 CT 的三维重建本质上是一种图像渲染技术, 脱离 CT 工作站后只能以二维图像或电影文件输出, 通常是放射科医生选取不同角度的图像提供给临床医生。输出数据格式为 Dicom 格式, 不是通用的三维图形格式, 不能应用于其他的计算机辅助设计 CAD 软件, 也不能用于计算机辅助外科手术计划。CT 以组织密度值 (灰度值) 区分不同的组织, 对骨和造影剂等灰度值差异明显组织显示好, 对灰度值差异不明显的区分差。而本研究使用的 Mimics 软件通过对二维的图像进行编辑和形态学操作, 生成三维实体仿真模型, 并可以通过设置三维重建的参数控制模型质

量,还可以直接在三维视窗对实体模型进行编辑,最终获得精准的 AIS 实体仿真模型。所有 Mimics 生成的部件,如:肋骨、椎体、椎间盘、骶骨和锁骨,可以任意组合、任意角度切开观察测量切面,而 CT 重建的图像没有此项功能。Mimics 可以将患者的 CT、MRI 和 X 线片进行整合,将 CT 上没有的信息而 MRI 或 X 线片包含的信息合并(例如椎间盘的重建),最终获得完整的三维图像。

仿真模型除了可以进行解剖学和测量学方面的应用外,另一个重要作用就是为 AIS 的有限元分析提供模型,将仿真模型以相应的格式输出后,可以导入相关的有限元分析软件建立有限元模型,为下一步进行相关的生物力学分析和手术矫形模拟提供方便。

当然,AIS 仿真模型也存在一定的局限性,脊柱的组成部件椎体、椎间盘、肋骨都是实体结构,而 CT 在识别组织时是依据灰度值来定义,只有符合设定的灰度值范围的组织才会被显示出来,这会造成椎体、肋骨内的骨小梁结构不能完全显示,所以,需要人为地进行填充。另外因为目前国内的 CT 数据只能是卧位条件下得到的,不能模拟人体直立时的脊柱形态,没有将人体重力考虑进去,有一定的局限性。目前国外已经有直立位的 CT 机,可以一定程度上弥补此方面的不足。

#### 4 参考文献

1. Weinstein SL. Natural history [J]. Spine, 1999, 24 (24): 2592-2600.
2. Lonstein JE. Scoliosis: surgical versus nonsurgical treatment [J]. Clin Orthop Rel Res, 2006, 443: 248-259.
3. 谢叻, 张绍祥, 王友, 等. 数字化制造技术在外科中的应用 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2008, 10 (2): 109-110.
4. 单锦露, 张绍祥, 刘正津. 中国数字化可视人女性盆腔的计算机三维重建 [J]. 解剖学杂志, 2005, 28 (3): 337-339.
5. 李安安, 刘谦, 龚辉. “虚拟中国人男一号”高精度骨骼系统三维建模 [J]. 中国临床解剖学杂志, 2006, 24 (3): 292-294.
6. 胡岩君, 余斌, 苏秀云, 等. 基于 MRI、CT 影像下膝关节及交叉韧带重建可视化的初步应用研究 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2007, 9 (5): 469-472.
7. 金丹, 张元智, 苏秀云, 等. 踝关节与跟骨骨折数字化虚拟可视化重建的初步研究 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2007, 9 (7): 646-649.
8. Gross C, Gross M, Kuschner S. Error analysis of scoliosis curvature measurement [J]. Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst, 1983, 43 (2): 171-177.
9. Richards BS, Sucato DJ, Konigsberg DE, et al. Comparison of reliability between the Lenke and King classification systems for adolescent idiopathic scoliosis using radiographs that were not premeasured [J]. Spine, 2003, 28 (11): 1148-1156.
10. Negrini S, Atanasio S, Fusco C, et al. 3-DEMO classification of scoliosis: a useful understanding of the 3 (rd) dimension of the deformity [J]. Stud Health Technol Inform, 2008, 135: 139-153.
11. Negrini S, Negrini A. The three-dimensional easy morphological (3-DEMO) classification of scoliosis (part III): correlation with clinical classification and parameters [J]. Scoliosis, 2007, 19 (1): 2-5.
12. Negrini A, Negrini S. The three-dimensional easy morphological (3-DEMO) classification of scoliosis (part II): repeatability [J]. Scoliosis, 2006, 1: 23.
13. Negrini S, Negrini A, Atanasio S, et al. Three-dimensional easy morphological (3-DEMO) classification of scoliosis (part I) [J]. Scoliosis, 2006, 1: 20.

(收稿日期: 2008-06-13 修回日期: 2009-01-09)

(本文编辑 彭向峰)

## 消息

### 中华医学会第四届全国微创骨科学术会议征文通知

由中华医学会骨科学分会微创学组、《中华骨科杂志》主办, 香港微创脊柱外科学分会、中国台湾微创脊椎外科学会、《中华外科杂志》、《中华创伤杂志》共同协办, 温州医学院附属第二医院骨科承办的第四届全国微创骨科学术年会改为 2009 年 9 月 25 日至 27 日在浙江省温州市举行。欢迎广大骨科同道踊跃出席和投稿, 参加会议的代表将获得国家级继续教育学分 10 分。

征文内容及要求: 1、骨与关节损伤微创技术; 2、脊柱外科微创技术; 3、脊柱非融合技术; 4、关节置换微创技术; 5、关节镜技术; 6、其他微创技术在骨科的应用。来稿请用电子邮件 (word 文档格式) 发送至 feykg@163.com, 要求全文包括结构式中文摘要 (600~800 字), 注明作者姓名, 工作单位, 通讯地址, 电子邮箱, 邮编和联系电话。

截稿日期: 2009 年 8 月 15 日, 逾期不受理。

联系地址: 温州市学院西路 109 号, 温州医学院附属第二医院骨科, 325027。

联系人: 郑巧巧; 电话: 0577-88879123。