

· 基础研究 ·

坐位腰椎旋转手法时腰椎单元内在应力和位移的实时监测

王国林¹, 李义凯², 张美超², 徐海涛²

(1. 平乐骨伤科医院, 广东 深圳 518000; 2. 南方医科大学)

【摘要】目的:用三维有限元法,分析施行坐位腰椎旋转手法时退变腰椎单元的内在应力及位移分布的特点,以探讨手法的作用机制、安全性及其合理性。方法:使用正常 L_{4,5}腰椎 CT片,以 Mimics软件系统逐层重建,建立 L_{4,5}三维有限元模型。根据手法原理,将坐位腰椎旋转手法进行分解,把各项力学参数代入三维有限元模型进行计算分析。观察手法作用时腰椎间盘的位移和内在应力的变化。结果:最大的应力集中点分布于环椎体峡部、椎弓根、上位椎体小关节面的下端。椎间盘的应力集中分布于环前外侧部,右后外侧部应力大于左后外侧部。最大位移出现在上位椎体的上关节。左侧小关节面相对位移较大,左侧椎间孔变大;右侧椎小关节面间移位小,右侧椎间孔变小,椎间盘右后外侧部向后突出。结论:模拟坐位腰椎旋转手法时,向健侧旋转优于向患侧旋转。

【关键词】腰椎; 手法; 骨科; 应力; 物理

Real-time measure of displacement and intra-stress of lumbar unit during simulating rotation manipulation WANG Guo-lin^{*}, LI Yi-kai, ZHANG Mei-chao, XU Hai-tao^{*} The Pingle Orthopaedics Hospital of Shenzhen, Shenzhen 518000, Guangdong, China

ABSTRACT Objective: To study the displacement and intra-stress distribution of degenerate lumbar disc during rotation manipulation by using 3D finite element system, so as to explore the mechanism of action, safety and rationality of manipulation. **Methods:** CT images of normal lumbar L_{4,5} were adopted, and 3D finite element system of lumbar L_{4,5} was produced by using Mimics software system. Based on the principle of manipulation, the lumbar rotation manipulation was decomposed, and many kinds of mechanical parameters were calculated and analyzed using the 3D finite element system. The changes of intra-stress distribution and the displacement of the lumbar disc during simulating manipulation were observed. **Results:** During the rotation manipulation, the end max-stress distributed in the isthmus, the pedicle of vertebral, and the superior articular facet. The end max-stress of lumbar disc distributed in the anterior-lateral side, and the stress of the right-posterior-lateral side was bigger than that of the opposite side. The max-displacement was on the top of the superior articular facet. The displacement of the left articular facet was larger than that of the right articular facet, the same to the cervical foraminal area. The right-posterior-lateral disc protruded toward back-inner. **Conclusion:** It is more rational for rotation manipulation toward the healthy side.

Key words Lumbar vertebrae; Manipulation, orthopedic; Stress, mechanical

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2007, 20(3): 173-175 www.zggszz.com

坐位腰椎定点旋转手法是一种在临床上运用广泛的腰椎旋转手法,但是其基础研究却相对较滞后。对于手法的作用机制,缺少客观的科学分析与比较,尤其是手法对于退变腰椎的研究鲜有报道。本文用三维有限元分析方法,对作用于退变椎间盘的坐位腰椎旋转手法进行研究。以探讨手法的作用机制、安全性及其合理性,为手法在临床上的运用提供一些优化的依据。

1 材料和方法

1.1 建立 L_{4,5}有限元模型

基金项目:国家自然科学基金(编号:30171184)

通讯作者:李义凯 Tel: 020-61648255 E-mail: ortho@fimmu.com

新鲜尸体的腰椎做标本,生前经 X线检查,无腰椎退行性变。使用螺旋 CT,以 1 mm 的间隔,沿轴向进行断层扫描,以 .jpg 格式将其断面图像输入计算机。利用三维重建软件 Mimics 建立腰椎三维计算机模型。再经过自由造型 (Free Form) 系统的修改。该有限元模型由 20 781 个结点,12 632 个立位单元,9 个缆索式单元组成。包括 2 个椎体、2 个终板、2 个腰椎小关节和 7 条有关韧带。纤维、关节囊和韧带假设成为只承受张力,椎间盘的纤维环看成由包埋在基质内的交叉同心层纤维所构成,松质骨和椎间盘定义为多孔弹性结构,而皮质骨、后部结构、纤维环和韧带定义为线形弹性材料,腰椎小关节处理为接触模型^[1]。腰部结构的材料性质(弹性模量、泊松比)来自文献^[2-3]。将各结构的材料性质导入 Ansys 7.0

进行计算和分析 (见表 1)。

表 1 退变 L_{4,5}运动节段有限元模型材料性质

Tab 1 Material properties in the finite element model of degenerate L_{4,5} segments

部位	弹性模量 (MPa)	泊松比 (%)
Position	Young's modulus(MPa)	Poisson's ratio(%)
皮质骨 Cortical bone	12 000	0.30
松质骨 Cancellous bone	100	0.20
终板 Endplate	25	0.25
纤维环 Annulus	52	0.45
髓核 Nucleus	0.2	0.50
后部结构 Posterior structure	3 500	0.30
关节突关节 Facet articular	3 500	0.25
韧带 Ligament	1.2	0.30

1.2 坐位腰椎旋转手法的模拟和加载

1.2.1 手法的模拟 本试验模拟对腰椎向右侧进行坐位腰椎旋转手法。按照坐位腰椎旋转手法的操作,将手法治疗之前准备阶段的人体前屈、侧弯、旋转的角度平均分配于各个腰椎节段。向右侧旋扳手法作用下出现“咔嚓”声响时,拇指推顶腰椎棘突的推扳力为 $(5.070 \pm 1.300) \text{ kg}^{d[4]}$,乘以 L₄ 椎间盘中央至棘突的长度 6 cm,算出 L₄ 棘突在旋扳手法作用时所受力矩约为 3 Nm。测量拇指推顶腰椎棘突的方向为向左偏前方 30°。坐位时上半身对 L₅ 椎体的压力为上半身体重,设为 300 N。

1.2.2 对有限元模型进行模拟手法的加载 模型加载条件: L₅ 椎体底部固定。L₄ 椎体上端垂直向下压缩载荷为 300 N。将腰椎有限元模型模拟手法治疗之前的前屈、侧弯、旋转的准备阶段进行弯曲。X轴向右侧弯度数 6°,Y轴前屈

6°;Z轴顺时针方向旋转 2°。于 L₄ 棘突予以 3 Nm 的向左偏前方 30° 的旋转力矩。L₄ 椎体上缘予以 15 Nm 的向右旋转力矩。时间 0.25 s^[5]。

2 结果

随着手法模拟的进行,椎体单元受到的应力及位移不断增加。应力:最早发生应力变化的是左侧小关节下端,依次出现峡部及椎弓根部(由内向外传导),以及传至下峡部及椎弓根部。所有左侧的应力都依次传至相应水平的右侧。椎体的应力集中分布于右前部,左后部应力相对较小。椎体上下缘的应力大于椎体中部的压力。最大的应力集中点分布于环椎体峡部、椎弓根侧隐窝处、上位椎体小关节面的下端。右侧小关节受力大于左侧。椎间盘的应力集中分布于环前外侧部,右后外侧部应力大于左后外侧部。位移:相对于下位椎体,位移自上位椎体上缘向下至椎间盘递减,最大位移出现在上位椎体的上关节。左侧小关节面相对位移较大,左侧椎间孔变大;右侧椎小关节面间移位小,右侧椎间孔变小,椎间盘右后外侧部向后突出,右前缘塌陷,且位移较大,右后外侧部位移较小。退变腰椎单元最终应力及位移见图 1-5。

3 讨论

近年来,不少学者从生物力学方面对坐位腰椎手法从各个角度进行了一些研究^[6-7],取得了一些成绩。手法作用时,对于脊柱单元的外在位移及其内外应力变化可以通过一些生物力学的方法测量,但是,腰椎单元及椎间盘内部的应力分布和变化是传统的试验方法无法测量的。1972年 Belytschko 首次用有限元分析法来进行脊柱的生物力学研究,近 20 年来,有限元分析法在脊柱生物力学研究中的运用日益广泛和深入^[8]。有限元分析法是用于结构分析的矩阵方法,它可以获

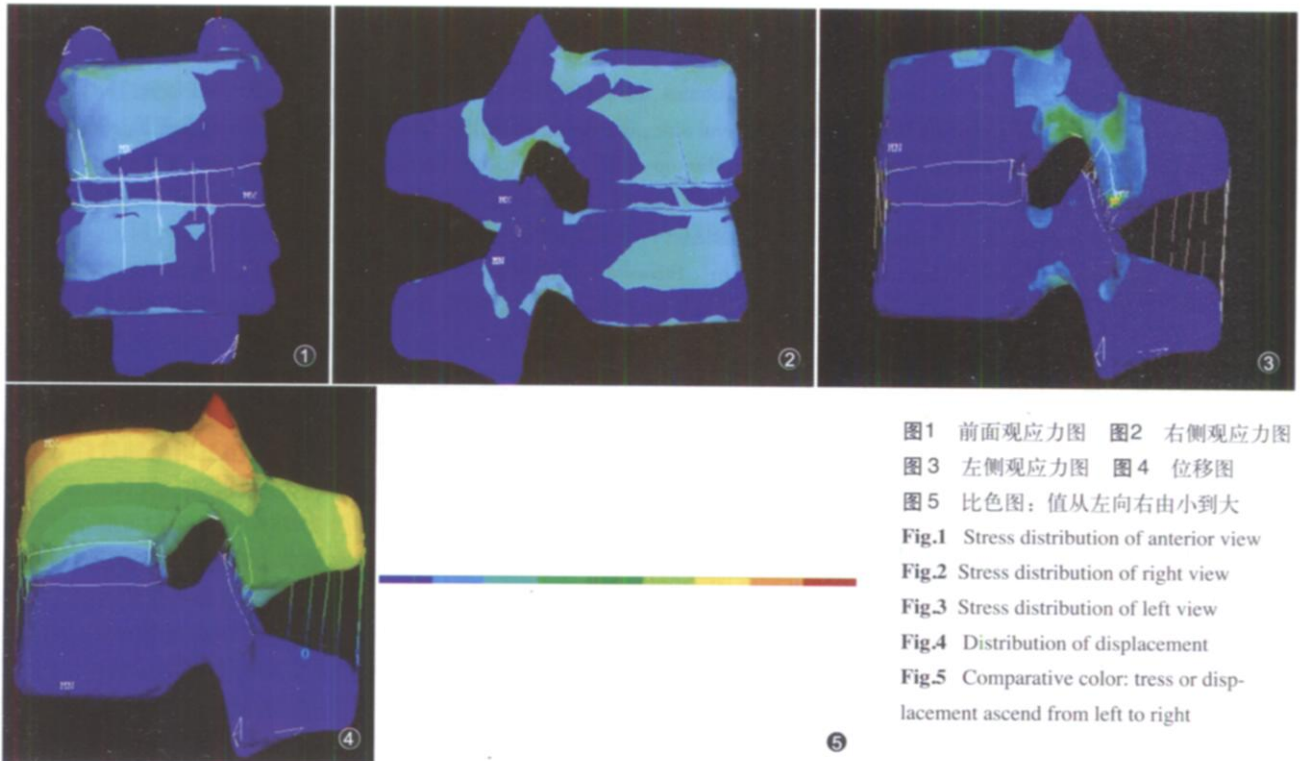


图1 前面观应力图 图2 右侧观应力图
图3 左侧观应力图 图4 位移图
图5 比色图: 值从左向右由小到大
Fig.1 Stress distribution of anterior view
Fig.2 Stress distribution of right view
Fig.3 Stress distribution of left view
Fig.4 Distribution of displacement
Fig.5 Comparative color: stress or displacement ascend from left to right

得结构的全域性信息,这是其他生物力学方法很难达到的。而运用有限元分析法来研究腰椎手法是近几年才出现的。这为手法的研究提供了一个广阔的前景。再者以前的对坐位腰椎旋转手法的研究大都建立在正常腰椎单元基础之上,用正常的研究结果来推测退变的腰椎单元有一定的局限性。

对于手法机制的探讨不可避免地要涉及手法对腰椎间盘突出症的治疗机制。对于其机制,以前的研究主要从 2 个方面来探讨:椎间盘的回纳与椎间盘相对于神经根的位移活动。手法作用时,椎间盘髓核内压升高,这不利于椎间盘的回纳,但对于正常椎间盘来说,手法时椎间盘纤维环的张力及刚度增强,这样有利于限制椎间盘的突出,加之之后纵韧带的紧张可以抵抗椎间盘突出的力,这样可以使椎间盘一定程度的回纳。所以我们可以假设:如果使椎间盘突出的力大于使椎间盘回纳的力,也就是说,使髓核内向后外突出的力大于纤维环及后纵韧带向内的合力,那么手法不能使椎间盘回纳。相反,椎间盘可能回纳。这一点从未见有报道。建立在退变的椎间盘基础之上的本试验结果显示,随着手法进行,椎间盘髓核内的压力增大,并向后外侧传导,椎间盘后外侧部的合力或主应力方向向后外,几乎没有向椎间盘中心的力,而且椎间盘的变形图显示,椎间盘不但没有向内回纳,反而却向后突出了。由此看来,手法使椎间盘回纳的理论是站不住脚的。手法作用时,神经根由于椎体的弯屈,而与椎间盘之间有一个相对的滑动,另外,神经根会在椎间孔内滑动。基于正常腰椎单元的研究表明,坐位腰椎手法作用时,椎间盘与神经根之间有位移,并且此位移是由椎间盘的旋转引起的^[6]。因此有人推断,手法机制可能通过位移解除了神经根的粘连。从本试验的结果看,手法作用时,椎间盘在手法过程中确实有相对于神经根的位移,这种位移是由旋转引起的,但是手法作用时,椎间盘向后突出,这是否有利于粘连,有待于进一步的研究。

腰椎纤维环仅有一半的纤维用来抵抗旋转力矩,所以坐位腰椎旋转手法的旋转剪力可使纤维环发生破裂。对于正常腰椎来说,在有压缩载荷的条件下,椎间盘旋转时小关节在旋转 1°~2 时主要抵抗旋转的力^[9]。原因在于小关节面在下腰椎与矢状面呈 45 角,这样使其回旋的余地很小。由于本试验证实了这一点,在手法过程中,旋转对侧小关节为应力始发点并逐渐增至最大。对于小关节与椎间盘的退变上谁为因谁为果存在争议,但两者之间明显有关联,从本试验的结果来看,小关节在旋转时抗拒力并没减小,对椎间盘纤维环仍有保护作用。那么小关节本身会有什么样的变化呢。在手法的过

程中,旋转对侧的小关节向上移动,椎间孔变大,而旋转侧小关节面并没有发生较大的变化,这可能是由于椎间盘的塌陷引起的。小关节的最大受力为 41.2 MPa,远远小于关节软骨表层骨折开始时应力(1 459 MPa)。这一点说明:旋转手法不能使正常椎间盘的小关节发生骨折。但是否此处的受力大于正常椎间盘,有待于进行研究比较。因此,除了手法使旋转侧椎间盘向后的突出程度加大外,手法是安全的。另外,本试验结果还显示,除去由于椎间盘突出而产生的位移,两侧椎间盘后外侧角位移基本一致,同时,旋转对侧的椎间孔在手法过程中由于上位小关节的上移而加大了椎间孔。从手法解除粘连的机制上来看,以上两点可以认为向突出椎间盘的对侧旋转,克服了加重椎间盘突出程度的危险性,较为合理。值得注意的是,手法对于峡部裂的患者来说是不宜的,因为峡部是手法应力集中点,容易产生意外。

本实验仅对退变腰椎间盘的坐位旋转手法,用有限元方法进行了初步的探讨,认为手法是安全的,向健侧旋转较为合理。但对于如何量化退变腰椎间盘纤维环承受张力的限度,有待于进一步的研究。

参考文献

- 1 张美超,肖进,李义凯,等. 腰椎小关节接触模型的有限元分析. 第一军医大学学报, 2002, 22(9): 836-837.
- 2 Wang JL, Pamiapour M, Shirazi-Adl A, et al. Viscoelastic finite element analysis of a lumbar motion segment in combined compression and sagittal flexion. Effect of loading rate. Spine, 2000, 25(3): 310-318.
- 3 Goel VK, Kong W, Han JS, et al. A combined finite element and optimization investigation of lumbar spine mechanics with and without muscles. Spine, 1993, 18(11): 1531-1541.
- 4 李义凯,王国林,徐海涛,等. 腰椎定点旋转手法所致“咔哒”声响与最大推扳力量效关系的研究. 中国临床解剖学杂志, 2004, 22(6): 658-660.
- 5 毕胜,李义凯,赵卫东,等. 腰部推拿手法生物力学和有限元比较研究. 中华物理医学与康复杂志, 2002, 4(9): 524-526.
- 6 张勇,毕胜,李义凯,等. 腰椎旋转手法对髓核内压力和神经根位移的影响. 颈腰痛杂志, 2001, 22(3): 189-191.
- 7 罗凇. 旋转手法治疗腰椎间盘突出症失败原因分析. 中医正骨, 2004, 16(8): 47.
- 8 高允海. 有限元分析法研究脊柱生物力学的新进展. 国外医学: 生物医学工程分册, 2003, 26(6): 281-284.
- 9 Adams MA, Hutton WC. The effect of fatigue on the lumbar intervertebral disc. J Bone Joint Surg (Br), 1983, 65(2): 199-203.

(收稿日期: 2006-09-19 本文编辑:王宏)

第九次全国中西医结合虚证与老年病学术会议征文通知

中国中西医结合学会虚证与老年医学专业委员会拟于 2007 年 8 月在长春召开“第九次全国中西医结合虚证与老年医学学术研讨会”,现将有关征文事宜通知如下。

1. 征文内容: 中西医结合虚证与老年病的临床研究、实验研究。 中西医结合、中医老年病护理、治疗虚证及老年病的中药方剂研究等。 老年精神疾病的中西医结合防治研究。

2. 征文要求: 文章应体现科学性、先进性、实用性。文责自负。 稿件内容依次包括:论文题目、作者姓名、工作单位、详细地址和邮编、摘要(300~500 字,包括目的、方法、结果和结论 4 部分)、关键词、正文、参考文献。文中可有图表,但必须是清晰的原图或计算机图形文件。全文 3 000 字左右为宜。欢迎电脑打印稿并附软盘或电子邮件。 获得科研基金资助的课题论文请予以标示。

3. 投稿日期: 2007 年 4 月 30 日前(以邮戳为准),信封上请标明“征文”字样。

4. 联系方式:来稿请寄:长春市工农大路 1745 号 吉林省中医中药研究院,邮编:130021,塔其一教授(收)。电话:0431-6816922, 8856339;手机:13944800838。 E-mail: taqiye@yahoo.com.cn

5. 其他:会议具体日期及地址另行通知。