

坐位旋转手法时退变腰椎间盘突出内在应力和位移的有限元分析*

徐海涛^{1,2} 徐达传¹ 李云贵² 张美超¹ 李义凯^{3,4} 王国林³

摘要 目的:探讨进行坐位旋转手法时退变腰椎间盘的内在应力及位移分布的特点,以分析手法的机制、安全性与合理性。**方法:**使用腰椎 CT 片,以 Mimics 软件系统逐层重建 L4-5 三维有限元模型,通过设定结构的参数完成退变腰椎间盘模型。将向右侧旋转的坐位腰椎旋转手法进行分解,把各项力学参数代入模型进行计算分析。即时显示手法作用时退变腰椎间盘的内在应力和位移的变化。**结果:**椎间盘的应力、应变及位移都不断增加。应力从腰椎间盘右前侧的外缘呈弧形向左后侧的外缘递减。椎间盘右后侧外缘的压应力较大。位移从右前侧向左后侧呈层状递减。位移方向与应力方向大致相同。相应位置椎间盘右后侧位移大于左后侧位移。最终应变:右后角中下部有明显的变形,向后内侧突出,左后侧部变形最小。**结论:**手法增加了旋转侧椎间盘的位移,有利于解除神经根的粘连,但同时增加了对神经根的压迫。向突出椎间盘的对侧旋转较为安全。腰椎椎管狭窄患者不宜用本手法。

关键词 腰椎;有限元;旋转手法;腰椎间盘;应力

中图分类号:R493,R481.5 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2007)-09-0769-03

Analyses of intra-stress and displacement of degenerate lumbar disc during simulating rotatory manipulation by finite element / XU Haitao, XU Dachuan, LI Yungui, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2007, 22(9): 769-771

Abstract Objective: To study the trait of displacement and intra-stress distribution of lumbar disc of degenerative during rotatory manipulation. **Method:** A 3-D finite element system of lumbar L4-5 was sectionally constructed with Mimics software system by lumbar CT images. The system was turned into a finite element system of degenerative lumbar by modified it's material parameter. The lumbar rotatory manipulation was decomposed by principium of manipulation. The parameter of mechanics was analyzed with the finite element system. The change of intra-stress distribution and displacement in lumbar disc were displayed simultaneous during simulating manipulation. **Result:** The intra-stress, displacement and distortion of lumbar disc were increasing continuously during manipulation. The stress descended from right-anterior side of the lateral border to left-posterior side of the lateral border in a form of arc. The stress in right-posterior side of lateral border was bigger. The displacement, just as the stress, descended from right-anterior side of lateral border to left-posterior side of lateral border in a form of layer. The right-posterior region's displacement was larger than left-posterior's in the same level, just as the same as distortion. **Conclusion:** By adding the displacement, the manipulation was helpful to relieve the conglutination of nerve root, but increased the stress at nerve root. It was safer to rotate lumbar toward opposite side of the extrusive disc. The manipulation was not applicable to lumbar spinal stenosis.

Author's address Sanatorium of PLA Guangzhou, Guangzhou, 510515

Key words lumbar; finite element; rotatory manipulation; lumbar disc; stress

坐位腰椎定点旋转手法是临床上治疗腰椎间盘突出症的一种最常用的有效的手法,近年来,不少学者从生物力学和有限元等方面对其进行了研究^[1-2]。由于退变椎间盘的材料不易获得,所以大多数研究都局限于正常椎间盘。临床中手法对象大多为退变椎间盘,应用手法对正常椎间盘作用的结果来推测其对退变椎间盘作用,有一定的缺陷。所以有必要对退变椎间盘的力学作用进行分析。本文利用三维有限元技术,对坐位腰椎旋转手法作用时,退变椎间盘内部的应力、位移、应变进行了分析,并探讨了坐位

腰椎旋转手法的作用机制、安全性及合理性。

1 材料与方法

1.1 建立第 4 腰椎和第 5 腰椎的有限元模型

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(30171184)

1 南方医科大学解剖教研室,广州,510515

2 解放军广州疗养院康复科

3 南方医科大学中医系骨伤教研室

4 通讯作者:李义凯(南方医科大学中医系骨伤教研室)

作者简介:徐海涛,男,博士研究生,主治医师

收稿日期:2007-03-22

取1具急性脑死亡的男性新鲜尸体的腰椎做标本,使用螺旋CT,以1mm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20781个结点,12632个立体单元,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。各结构的材料性质(弹性模量、泊松比)来自文献[3—4],见表1。将各结构的材料性质导入Ansys7.0进行计算和分析。

表1 退变L4-5运动节段有限元模型材料性质

部位	弹性模量(MPa)	泊松比(%)
皮质骨	9000	0.3
松质骨	80	0.2
终板	25	0.25
纤维环	3.0	0.45
髓核	0.2	0.5
后部结构	3500	0.3
关节突关节	3500	0.25
韧带	1.2	0.3

1.2 坐位腰椎旋转手法的模拟和加载

1.2.1 手法的模拟:本实验模拟向右侧进行坐位腰椎旋转手法。根据中国人上半身的体重,计算出L4椎体上缘的轴向压缩载荷约为300N。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“咔哒”声响时,拇指推顶腰椎棘突的推扳力为 $5.070 \pm 1.30 \text{ kg}^{[2]}$ 。乘以L4椎间盘中央至棘突的长度6cm,算出L4棘突在旋扳手法作用时所受力矩约为 $3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。测量拇指推顶腰椎棘突的方向为向左偏前方 30° 。

1.2.2 对有限元模型进行模拟手法的加载:模型加载条件:①L5椎体底部固定。②L4椎体上端垂直向下压缩载荷300N。③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:Z轴向右侧弯 6° ;X轴前屈 6° ;Y轴定轴顺时针方向旋转 2° 。④于L4棘突予以 $3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的向左偏前方 30° 的旋转力矩。⑤L4椎体上缘予以 $15 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的向右旋转力矩。⑥时间 $0.25 \text{ s}^{[5]}$ 。

2 结果

模拟旋转手法的过程中,椎间盘的应力、应变及位移都不断增加。

最终应力的变化与分布(图1—2,见前置彩色

插页8);椎间盘右前侧外缘应力最大,出现明显应力集中点,主应力为压力,从右前侧外缘呈弧形向左后侧外缘递减。椎间盘髓核内主应力表现杂乱无章,有压力、向外周的张力及旋转的剪切力。椎间盘左后侧以上下的张力为主,应力小于右后侧,而右后外侧角的应力表现为压力及向左后侧的张力及压力。

椎间盘的位移(图3,见前置彩色插页8):位移方向与应力方向基本一致。从右前侧外缘向左后侧呈层状递减。在左后侧上角有一较大位移,并向右前部递减,后侧两边相对应位置,右侧位移大于左侧。

椎间盘的形变(图4,见前置彩色插页8):主要分布在椎间盘周缘,以右前3/4的弧形为主,以压缩变形及向外膨出的变形为主,同样,右后侧的变形大于左后侧。

3 讨论

3.1 有限元分析法在中医推拿学中的应用

腰椎是一个非均质结构,力学特征非常复杂,其内部的各项功能、变化和力学特征,很难通过传统的实验方法进行研究。脊柱生物力学实验受标本来源的限制;实验费时、费钱、费力;是无法在活体上进行的损伤性的实验;并且使用人体标本还有被一些疾病如肝炎、AIDS等感染的可能^[6]。有限元法大约在上个世纪70年代被引入医学研究,现在被大量应用于脊柱生物力学的研究^[7—8]。近年来,将计算机技术和有限元分析法与传统的中医推拿相结合,利用有限元分析法研究脊柱推拿手法,也是近几年来的一条新的研究方向^[9—12]。目前推拿科医生也只能通过观察CT或MRI图像并结合其解剖学知识和临床经验,在头脑中构想出推拿手法时腰椎内外结构的三维结构变化和应力的变化情况,并推测其作用机制。这样具有相当大的主观性,治疗效果受医生个人的经验、知识和习惯的影响较大,缺少客观的科学分析与比较,很难对某种手法的优劣做出客观的评价。利用有限元分析法模拟脊柱推拿手法作用时,脊柱的拉伸、弯曲和扭转等各种情况,可以计算获得在手法作用下脊柱模型的任意部位的变形、应力分布、应变等情况,并且可以使用图像、图形等手段对计算数据和结果进行直观地表达,这些数据(特别是模型内部应力变化、位移和变形)是其他传统实验方法无法得到的,这比使用普通生物力学方法来测量外在的应力和位移更具临床意义。

3.2 坐位旋转手法的机制

坐位腰椎旋转手法的临床疗效是肯定的,但是,其机制却存在争议。本实验显示,手法作用时,椎间

盘髓核内部应力升高,并传至右后侧外缘。从应力矢量图可以看出椎间盘后外部的主应力是向后外侧,几乎没有向椎间盘中心的应力,纤维环以旋转张力为主。椎间盘的形变图显示,椎间盘不但没有向内回纳,反而向后突出,有加大椎间盘突出程度的可能。由此看来,坐位腰椎旋转手法不能使椎间盘回纳。

基于正常椎间盘的生物力学研究,毕胜^[5]在模拟本手法时,发现椎间盘与相邻的神经根有一个移位。推测出现移位后,突出物对神经根的压力减小,从而达到治疗目的。张勇^[13]在生物力学实验中发现移位是由于椎间盘的旋转引起的。从而推断椎间盘及神经根这间的相对移位可以解除神经根的粘连。但是,对于退变的椎间盘来说,在手法作用时是否也如此呢?图 1、3 可以看出,退变椎间盘的后缘两侧均有一定的位移和变形,从而解除神经根的粘连,缓解临床症状。另外,在椎间盘的右侧后部有一个较大的旋转位移和突出变形。由于椎间盘纤维环的突出,使神经根并不像对正常椎间盘手法作用时,突出物对神经根的压力减小,而是受到一定程度向后的顶托而紧张,这样使椎间盘在旋转时,加大了神经根的受力,可以更好地撕脱粘连。

3.3 手法的合理性及安全性

从手法诞生的那一天起,失误一直伴随着手法。如何减少手法的失误,优化手法的操作一直是推拿科医师面临的难题。从本实验来看,手法进行时,椎间盘纤维环确实受到旋转剪切力的影响,但是相对较小,这可能是由于退变的椎间盘在手法作用时塌陷,从而使纤维相对松弛,这样就有了缓冲余地;并且后部结构承受了大部分的旋转剪切力,因而坐位腰椎旋转手法不会造成椎间盘损伤。一直以来,进行坐位手法操作时都是向左、右各旋转一次。由于对坐位腰椎旋转手法的作用机制不是很明了,究竟是应该向健侧还是应该向患侧旋转,从来没有人考虑过。从形变图上可以看出,手法作用使椎间盘向后内侧突出,一方面突出的椎间盘顶托神经根,有利于解除粘连。另一方面却有加大对旋转侧神经根压迫程度的可能。因而权衡二者之间的利弊,向椎间盘突出的对侧旋转比向突出侧旋转更为安全。值得注意的是,由于椎间盘的突出,对于缓冲余地较小的腰椎椎管

狭窄的患者来说,不宜用本手法。

本实验仅从力学角度用有限元分析方法,分析了旋转手法作用时退变椎间盘的内外应力及位移的变化,探讨了手法的机制。由于椎间盘突出症的病理比较复杂,在其病理尚未完全阐明以前,对于其机制的解释应属推断。要真正了解椎间突出症手法治疗的作用,需与其他科结合起来进行进一步的研究。

参考文献

- [1] 罗凛.旋转手法治疗腰椎间盘突出症失败原因分析[J].中医正骨, 2004, 16(8): 47—50.
- [2] 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[J].中国临床解剖学杂志, 2004, 22(6):658—660.
- [3] Wang JL, Parnianpour M, Shirazi-Adl A, et al. Viscoelastic finite element analysis of a lumbar motion segment in combined compression and sagittal flexion[J]. Spine, 2000,23(3): 310—318.
- [4] Goel VK, Kong W, Jung S, A combined finite element and optimization investigation of lumbar spine mechanics with and without muscles[J]. Spine, 1993,18(11):1531—1543.
- [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[J].中华物理医学与康复杂志,2002, 24(9): 524—526.
- [6] Siamak Najarian, Javad Dargahi, Behnam Heidari. Biomechanical effect of posterior elements and ligamentous tissues of lumbar spine on load sharing [J]. Bio Medical Materials and Engineering, 2005, (15):145—158.
- [7] Li H,Wang Z. Intervertebral disc biomechanical analysis using the finite element modeling based on medical images [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2006,9(5):145—158.
- [8] Rohlmann A, Zander T, Schmidt H, et al. Analysis of the influence of disc degeneration on the mechanical behaviour of a lumbar motion segment using the finite element method[J].J Biomech,2006,39(13): 2484—2490.
- [9] 万磊,李义凯,尹东.腰椎牵引力与椎间盘髓核应力之间变化的非线性模型[J].颈腰痛杂志,2005, 26(6): 407—409.
- [10] 陈以国,王庆林,杜瑞卿,等.背俞穴的椎体间力学相关性研究[J].北京生物医学工程,2004,23(2):122—126.
- [11] 徐海涛,张美超,李义凯,等.坐位旋转手法对正常腰椎间盘内在应力和位移的实时监测的实验研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2005,20(8):563—565.
- [12] 陈浩,徐海涛,张美超,等.坐位旋转手法对腰椎内在应力的实时监测[J].中国临床解剖学杂志,2005,23(4): 420—422.
- [13] 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[J].颈腰痛杂志,2001,22(3):189—191.