

斜扳手法和拔伸按压斜扳复合手法治疗腰椎间盘突出症的有限元对比分析

卢钰^{1,2}, 向俊宜^{1,2}, 尹本敬^{1,2}, 毕衡^{1,2}, 李骥征^{1,2}, 韦佳佳^{1,2}, 贾涛^{1,2}, 李鹏飞^{1,2}, 李具宝^{1,2}<https://doi.org/10.12307/2023.276>

投稿日期: 2022-03-02

采用日期: 2022-05-11

修回日期: 2022-06-02

在线日期: 2022-06-24

中图分类号:

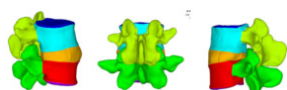
R459.9; R318; O242.21

文章编号:

2095-4344(2023)13-02011-05

文献标识码: A

文章快速阅读: 三维有限元法分析斜扳和拔伸按压斜扳复合手法治疗腰椎间盘突出症的生物力学机制

建立L₄₋₅三维有限元模型。

在模型上模拟不同体位下的斜扳手法及拔伸按压斜扳复合手法。



观察髓核、纤维环的应力变化、椎间盘与神经根的位移变化。



3个体位下髓核应力均减小, 纤维环应力均增加。前屈30°时椎间盘后外侧与神经根之间位移增大; 后伸10°体位下, 则相反。

文题释义:

斜扳手法: 患者取侧卧位, 患侧在下, 术者面对患者而立, 一手按住其肩前部, 另一手以肘部抵住其臀部, 双手协同用力作相反方向的缓缓推动, 使其腰部被动扭转, 当旋转到最大限度时再发力扳动, 一般此时可听到清脆的弹响声, 左、右各扳1次, 常用于治疗椎间盘突出、小关节紊乱、急性腰扭伤等。

拔伸按压斜扳复合手法: 患者取侧卧位, 患侧在下, 2名操作者分别在头侧和尾侧对肩部及双下肢进行拔伸牵引, 另一名操作者需要在患者背部进行患处的垂直按压, 在持续的拔伸和按压下, 斜扳术者站立于患者腹侧, 另一手以肘部抵住其臀部, 双手协同用力作相反方向的缓缓推动, 使其腰部被动扭转, 当旋转到最大限度时再发力扳动, 一般此时可听到清脆的弹响声, 左、右各扳1次。此复合手法在临床中操作困难, 需要结合后期研发的脊柱手法床进行操作。

三维有限元分析: 利用数学近似的方法对真实物理系统(几何和载荷工况)进行模拟。利用简单而又相互作用的元素(即单元), 就可以用有限数量的未知量去逼近无限未知量的真实系统。

摘要

背景: 中医传统手法治疗腰椎间盘突出症历史悠久、应用广泛, 疗效显著, 深受广大患者青睐, 但是具体使用手法多种多样, 各种手法的作用机制优劣和疗效差异尚不明确。

目的: 使用三维有限元分析方法对比斜扳手法和拔伸按压斜扳复合手法治疗腰椎间盘突出症的生物力学作用机制, 分析其疗效差异。

方法: 收集腰椎间盘突出症患者的腰椎CT图像, 建立腰椎间盘突出症患者L₄₋₅运动功能单元三维有限元模型。分别模拟斜扳手法和拔伸按压斜扳复合手法, 分析不同手法对腰椎运动单元各个组织应力、应变、位移的影响, 从而对比其力学作用机制并评估疗效差别。

结果与结论: ①成功建立了腰椎L₄₋₅节段三维有限元模型, 并验证了其有效性; ②在施加斜扳手法时, 椎间盘前方应力最大, 突出位置的应力最小, 右侧后部的纤维环出现向右、向后的应变, 左侧(突出侧)后部的纤维环出现向右、向前的应变, 椎间盘整体发生向前、向右的位移, 左侧神经根向前移动, 而右侧神经根则向后移动; ③而在施加拔伸按压斜扳复合手法时, 其应力分布、应变趋势、位移方向与斜扳手法类似, 但是其应力、应变、位移都更大; ④提示斜扳手法和拔伸按压斜扳复合手法对于腰椎间盘突出症患者都具有良好的疗效, 使突出椎间盘收缩和回纳, 增加突出椎间盘和神经根之间的距离, 减轻神经压迫症状, 其中复合手法疗效更佳。

关键词: 腰椎间盘突出症; 三维有限元; 斜扳手法; 拔伸按压斜扳复合手法; 生物力学

缩略语: 腰椎间盘突出症: lumbar disc herniation, LDH

Finite element comparative analysis on treatment of lumbar disc herniation by the oblique wrench method and the combination of traction, pressing, and oblique pulling

Lu Yu^{1,2}, Xiang Junyi^{1,2}, Yin Benjing^{1,2}, Bi Heng^{1,2}, Li Jizheng^{1,2}, Wei Jiajia^{1,2}, Jia Tao^{1,2}, Li Pengfei^{1,2}, Li Jubao^{1,2}

¹Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, Yunnan Province, China; ²First Affiliated Hospital of Yunnan University of Chinese Medicine (Yunnan Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine), Kunming 650021, Yunnan Province, China

Lu Yu, Master, Attending physician, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, Yunnan Province, China; First Affiliated Hospital of Yunnan University of Chinese Medicine (Yunnan Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine), Kunming 650021, Yunnan Province, China

¹ 云南中医药大学, 云南省昆明市 650500; ² 云南中医药大学第一附属医院(云南省中医医院), 云南省昆明市 650021

第一作者: 卢钰, 男, 1989年生, 2019年昆明医科大学毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事脊柱退变性疾病的基础及临床研究。

通讯作者: 李具宝, 博士, 副主任医师, 云南中医药大学, 云南省昆明市 650500; 云南中医药大学第一附属医院(云南省中医医院), 云南省昆明市 650021

<https://orcid.org/0000-0002-3741-5643> (卢钰)

基金资助: 国家自然科学基金(81860862, 81460736), 项目负责人: 李具宝; 云南省应用基础研究计划面上项目(2011FB146), 项目负责人: 李具宝;

云南省中青年学术和技术带头人后备人才(云科人发[2019]7号), 项目负责人: 李具宝; 云南省高层次中医药人才学科带头人,

项目负责人: 李具宝; 云南省卫生科技计划项目(2017NS161), 项目负责人: 李具宝; 省科技厅——云南中医学院应用基础研究

联合专项青年项目(11372110236), 项目负责人: 卢钰

引用本文: 卢钰, 向俊宜, 尹本敬, 毕衡, 李骥征, 韦佳佳, 贾涛, 李鹏飞, 李具宝. 斜扳手法和拔伸按压斜扳复合手法治疗

腰椎间盘突出症的有限元对比分析[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(13):2011-2015.



Corresponding author: Li Jubao, MD, Associate chief physician, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, Yunnan Province, China; First Affiliated Hospital of Yunnan University of Chinese Medicine (Yunnan Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine), Kunming 650021, Yunnan Province, China

Abstract

BACKGROUND: Traditional Chinese medicine manipulation for the treatment of lumbar intervertebral disc herniation has a long history, wide application and remarkable curative effect, and is favored by the majority of patients. However, there are various specific methods of use, and the advantages and disadvantages of various methods and the differences in efficacy are not yet clear.

OBJECTIVE: To compare the biomechanical mechanism and efficacy of the oblique wrench method and the combined manipulation of traction, pressing, and oblique pulling in the treatment of lumbar disc herniation using the three-dimensional finite element analysis.

METHODS: Based on the CT images of the lumbar spine in patients with lumbar disc herniation, three-dimensional finite element models of the L₄₋₅ motor function unit in patients with lumbar disc herniation were established. The oblique wrench method and the combination of oblique wrench method and the combined manipulation of traction, pressing, and oblique pulling were simulated to analyze the influence of different methods on the stress, strain and displacement of each tissue of the lumbar motor unit, so as to compare the mechanical mechanism and evaluate the difference in efficacy.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) The three-dimensional finite element model of the L₄₋₅ segment was successfully established and its effectiveness was verified. (2) When the oblique wrench method was applied, the stress in the front of the intervertebral disc was largest, and the stress in the protruding position was smallest; the strain direction of the annulus fibrosus in the posterior right side was rightward and backward, and the strain direction of the annulus fibrosus in the posterior part of the left (protruding side) was rightward and anterior. The intervertebral disc moved forward and rightward, the left nerve root moved forward, and the right nerve root moved backward. (3) When the combination of traction, pressing, and oblique pulling was applied, the stress distribution, strain trend and displacement direction were similar to those of the oblique wrench method, but the stress, strain and displacement were larger. (4) It is indicated that the oblique wrench method and the combination of traction, pressing, and oblique pulling have a good effect on lumbar disc herniation patients, which can shrink and retract the herniated intervertebral disc, increase the distance between the disc and the nerve root, relieve the symptoms of nerve compression. The combined manipulation is more effective.

Key words: lumbar disc herniation; three-dimensional finite element; oblique wrench method; combination of traction, pressing, and oblique pulling; biomechanics

Funding: National Natural Science Foundation of China, No. 81860862, 81460736 (to LJB); Yunnan Province Applied Basic Research Program (General Project), No. 2011FB146 (to LJB); Young and Middle-Aged Academic and Technical Leaders in Yunnan Province Person Reserve Talent, No. [2019] 7 (to LJB); Yunnan Provincial High-Level Chinese Medicine Talent Discipline Leader (to LJB); Yunnan Provincial Health Science and Technology Plan Project, No. 2017NS161 (to LJB); Applied Basic Research Joint Special Youth Project of Provincial Department of Science and Technology-Yunnan College of Traditional Chinese Medicine, No. 11372110236 (to LY)

How to cite this article: LU Y, XIANG JY, YIN BJ, BI H, LI JZ, WEI JJ, JIA T, LI PF, LI JB. Finite element comparative analysis on treatment of lumbar disc herniation by the oblique wrench method and the combination of traction, pressing, and oblique pulling. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2023;27(13):2011-2015.

0 引言 Introduction

腰椎间盘突出症 (lumbar disc herniation, LDH) 是指由于椎间盘退变以及突出的髓核刺激或直接压迫神经根导致的一组综合征, 常见症状有腰痛、坐骨神经痛等^[1]。LDH 是脊柱外科和疼痛科的常见疾病, 数据显示 LDH 发病率为 2%~3%, 而 35 岁以上男性的发生率约为 4.8%, 女性为 2.5%, 在成年人的脊柱手术中, LDH 患者所占比例是最高的^[2]。LDH 给患者带来剧烈的腰腿痛症状, 严重影响患者的生活质量和身心健康, 同时手术治疗和手术后的康复治疗也给患者带来巨大影响, 还增加了巨额的社会医疗费用^[3]。

随着对 LDH 研究的不断深入, 非手术治疗已成为目前大部分 LDH 患者的首选方案^[4], 大部分 LDH 患者经过规范、合理的保守治疗, 能够避免手术^[5], 中医手法在 LDH 中的作用巨大, 具有疗效好、安全、无创等优势^[6-7]。在长久的中医发展历史长河中, 产生了众多中医手法和复合手法^[8], 各种手法在临床中都取得了良好疗效, 具有其各自的优点, 但是各种手法之间的生物力学差异、疗效差异尚缺乏相应的深入研究。此文构建了 L₄₋₅ 运动节段三维有限元模型, 对其分别模拟斜扳手法和拔伸按压斜扳复合手法, 分析 2 种手法对腰椎功能单元各个组织应力、应变、位移的影响, 从而对比其生物力学机制特点和疗效的差别。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 单样本有限元分析, 计算机模拟试验。

1.2 时间及地点 试验于 2015 年 2 月至 2020 年 3 月在云南中医药大学第一附属医院 (云南省中医医院) 完成。

1.3 对象 选择 2017 年 11 月云南中医药大学第一附属医院收治的 1 例成年女性 L₄₋₅ 节段 LDH 患者, 年龄 48 岁, 身高 163 cm, 体质量 53 kg。患者反复腰部疼痛伴左下肢放射痛半年, 查体: 左下肢直腿抬高试验、加强实验阳性, 左侧踇长伸肌肌力 4 级, 左足第一二趾之间皮肤感觉稍减退。既往无脊柱手术史, 无脊柱创伤病史, 拍 X 射线片排除脊柱感染、脊柱肿瘤、半椎体、移行椎、脊柱侧弯等疾病, 临床诊断为 L₄₋₅ 椎间盘突出症, 患者已签署知情同意书。此次研究得到云南中医药大学第一附属医院伦理委员会批准。

1.4 材料 采用德国西门子公司 64 排 CT 机对患者腰椎进行扫描, 扫描厚度 0.3 mm, 扫描电压 120 kV, 电流 205.50 mA, 扫描矩阵 512×512, 获得轴位断层图像 376 层, 图像以 DICOM 格式存储。

1.5 试验设备: 计算机硬件 Intel(R)Core(TM)i9-9900CPU 3.6 GHz, 64 G 内存, Radeon(TM)RX460Graphics 显卡, 16G 显存, Windows10 64 位操作系统; 医学图像处理软件 Mimics 20.0(Materialis 公司, 比利时); GeomagicStudio 逆向工程软件 (Geomagic 公司, 美国); Solidwords 2014 软件 (Solidword 公司, 美国); 有限元分析软件 Ansys Workbench 14.5(Ansys 公司, 美国)。

1.5 方法

1.5.1 建立 L₄₋₅ 三维有限元模型 将患者腰椎所有 CT 图像以 DICOM 格式导入 Mimics 20.0 软件中, 选取需要研究的部分, 使用阈值分割、擦除、填充、区域生长等功能提取 L₄₋₅ 椎体骨组织得到初步模型, 对其进行修整、打磨, 使模型更加光滑、平整、接近真实椎体, 将模型以点云格式文件从 Mimics

20.0 软件导出, 输入 Geomagic Studio 软件中进一步对模型进行修补、打磨、曲面化等处理, 经过点云阶段、多边形阶段、曲面生成阶段后生成椎体和椎间盘几何实体, 导出为 stp 格式文件。然后将 L₄₋₅ 椎体及椎间盘模型导入 Solidworks 2014 中进行组装。在 L₄₋₅ 椎体轮廓的基础上进一步完成皮质骨、纤维环、髓核、软骨终板、关节突关节软骨及韧带等附属结构的建模, 根据文献, 皮质骨厚度 0.4 mm, 终板厚度 0.25 mm^[9]。椎间盘全部体积的 43% 为髓核, 纤维环体积的 20% 为纤维, 纤维走行呈“交叉状”^[10-11]。模型的韧带包括前纵韧带、后纵韧带、黄韧带、横突间韧带、棘间韧带、棘上韧带、关节囊, 根据韧带的受力特性, 韧带定义为只承受拉力、不承受压力和剪切力, 每种韧带的横截面积取自文献 [11], 小关节面视为非线性的三维接触, 采用面与面接触单元来模拟, 摩擦系数为 0.1^[12]。将以上模型导入有限元分析软件 Ansys Workbench 14.5 中并进行装配、材料属性赋予、相互关系定义和网格划分, 材料所赋予的属性见表 1, 2^[13-14]。

表 1 | 材料属性表 1
Table 1 | Material attribute part 1

材料	杨氏模量 (MPa)	泊松比
椎体皮质骨	11 520	0.20
椎体松质骨	126	0.30
后部结构	3 230	0.25
椎间盘纤维环	92	0.45
椎间盘髓核	1	0.50
终板	32	0.25

表 2 | 材料属性表 2
Table 2 | Material attribute part 2

材料	杨氏模量 (MPa)	泊松比	面积 (mm ²)	实常数号
前纵韧带	20	0.3	63.7	3
后纵韧带	70	0.3	20	4
黄韧带	50	0.3	40	5
棘间韧带	28	0.3	40	6
棘上韧带	28	0.3	30	7
关节囊	11.2	0.3	30	8
横韧带	58.7	0.3	3.6	9

1.5.2 腰椎 L₄₋₅ 三维有限元模型有效性验证 对模型添加边界条件与约束, 固定 L₅ 椎体下表面, 添加关节囊与椎体间的摩擦系数为 0.1, 对 L₄ 上表面施加 500 N 垂直压力模拟重力, 然后施加 6 N·m 扭矩, 以模拟 L₄₋₅ 节段前屈、后伸、左倾、右倾、左旋转、右旋转等 6 个方向的基本运动, 在软件中获得 L₄₋₅ 节段的力学性状, 并与相关文献数据结果对比^[15-16], 以验证模型的有效性。

1.5.3 边界及载荷条件 侧卧位下行斜扳手法的模拟和加载, 模型处于左侧卧位, 根据文献 [17] 对模型进行力学加载, 于 L₄ 上缘右侧加载 246 N 向后的推扳力, 于 L₅ 下缘右侧加载 266 N 向前的推扳力, 通过 2 个相反方向力的加载来模拟临床斜扳手法的操作过程。

拔伸按压斜扳复合手法模拟拔伸手法, 作用力大小为 400 N, 方向沿 Z 轴方向^[18]; 按压手法作用力为 200 N, 方向

沿 Y 轴方向, 顺序为: 先模拟拔伸手法, 然后加载按压力, 最后进行斜扳力的加载, 方法同斜扳手法。

1.6 主要观察指标 2 种手法过程中 L₄₋₅ 节段各个组织结构的生物力学、形态变化, 椎间盘和神经根之间的相对位移距离。

2 结果 Results

2.1 腰椎 L₄₋₅ 节段三维有限元模型的建立 最终所建腰椎 L₄₋₅ 节段三维有限元模型共有 265 402 个节点, 178 708 个单元, 高度模拟了腰椎 L₄₋₅ 节段结构与材料特性, 所建腰椎 L₄₋₅ 节段三维有限元模型见图 1。

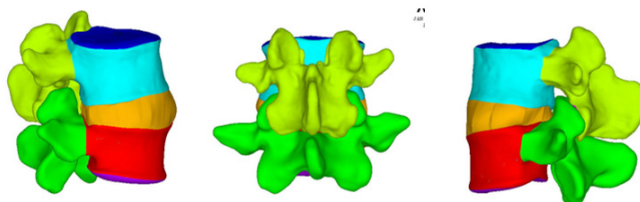


图 1 | L₄₋₅ 椎体模型图
Figure 1 | L₄₋₅ vertebral body model

2.2 腰椎 L₄₋₅ 节段三维有限元模型的验证 对腰椎 L₄₋₅ 节段模型加载与既往研究相同的边界条件, 将此次试验建立的 L₄₋₅ 节段模型在前屈、后伸、侧屈、轴向旋转加载条件下的活动范围与既往研究中相对比, 可以看出, 所建立的模型活动范围与既往研究结果基本相同, 见表 3。因而, 此次研究中建立的 L₄₋₅ 节段模型有效。

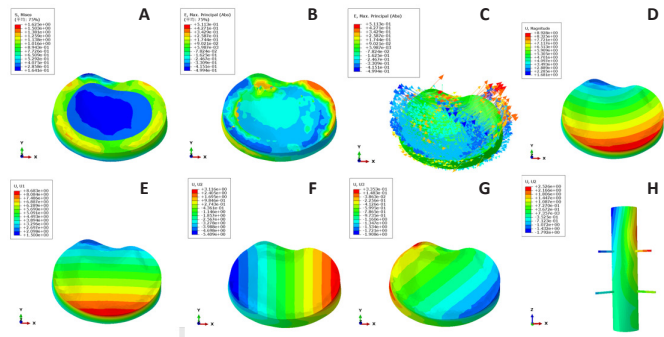
表 3 | 模型有效性验证
Table 3 | Model validity verification

研究	前屈 + 后伸活动度 (°)	左 + 右侧弯活动度 (°)	左 + 右旋转活动度 (°)
YAMAMOTO 等 ^[15]	14.80±2.10	12.20±2.25	3.70±1.50
XIAO 等 ^[16]	14.20	13.23	4.23
此次研究	15.13	12.67	4.98

2.3 两种手法对腰椎 L₄₋₅ 节段各组织结构生物力学和形态学的影响

2.3.1 斜扳手法 在施加斜扳手法时, 可见在椎间盘前方应力最大, 左右两侧次之, 椎间盘突出位置的应力最小; 椎间盘应变则显示椎间盘右侧应变最大, 右侧后部的纤维环出现向右、向后的应变, 而在左侧 (突出侧) 应变相对较小, 左侧后部的纤维环出现向右、向前的应变, 其中纤维环应变大小为 0.622 3, 髓核应变大小为 0.451 2。

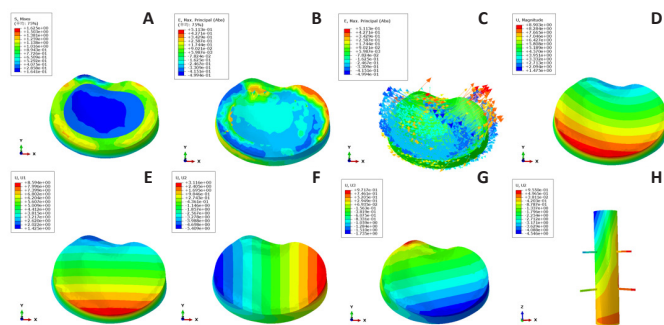
椎间盘的位移图显示: 椎间盘整体发生向前、向右的位移, 在 X 轴方向上椎间盘整体向右侧发生位移, 位移大小为 7.683 mm; 在 Y 轴上, 左侧 (突出侧) 向前移动, 位移大小为 4.029 mm, 而右侧 (健侧) 则向后方移动; 在 Z 轴上, 突出部位椎间盘向上位移, 位移大小为 1.908 mm。神经根位移图显示左侧神经根向前移动, 位移大小为 2.526 mm, 而右侧神经根则向后移动, 在 Z 轴上神经根向下位移, 位移大小为 0.234 mm, 见图 2。



图注：图 A 为椎间盘应力云图，图 B 为椎间盘应变云图，图 C 为椎间盘应变矢量云图，图 D 为椎间盘总位移云图，图 E 为椎间盘 X 轴方向位移云图，图 F 为椎间盘 Y 轴方向位移云图，图 G 为椎间盘 Z 轴方向位移云图，图 H 为神经根 Y 轴方向位移云图

图 2 | 斜扳手法下椎间盘的应力、应变、位移及神经根位移情况
Figure 2 | Stress, strain, displacement, and nerve root displacement of the intervertebral disc under the oblique wrench method

2.3.2 拔伸按压斜扳复合手法 在施加拔伸按压斜扳复合手法时，与斜扳手法类似，在椎间盘前方应力最大，左右侧次之，而在椎间盘突出位置应力最小；椎间盘应变则显示在椎间盘右侧应变最大，右侧后部的纤维环出现向右、向后的应变，而在左侧（突出侧）应变相对较小，左侧后部的纤维环同样出现向右、向前的应变，其应变方向和趋势同斜扳手法一致，但是应变值明显更大，其中纤维环应变大小为 0.751 4，髓核应变大小为 0.586 6。椎间盘的位移云图显示：椎间盘整体发生向前、向右的位移，在 X 轴方向上椎间盘整体都向右侧位移，位移大小为 8.594 mm；在 Y 轴上：左侧（突出侧）向前移动，位移大小为 5.409 mm，而右侧（健侧）则向后方移动；在 Z 轴上，突出部位椎间盘向上位移，位移大小为 2.735 mm。神经根位移云图显示左侧神经根向前移动，位移大小为 2.932 mm，而右侧神经根则向后移动，神经根在 Z 轴上向下移动，位移大小为 1.971 mm，见图 3。2 种手法位移数据对比见表 4。



图注：图 A 为椎间盘应力云图，图 B 为椎间盘应变云图，图 C 为椎间盘应变矢量云图，图 D 为椎间盘总位移云图，图 E 为椎间盘 X 轴方向位移云图，图 F 为椎间盘 Y 轴方向位移云图，图 G 为椎间盘 Z 轴方向位移云图，图 H 为神经根 Y 轴方向位移云图

图 3 | 拔伸按压斜扳复合手法下椎间盘的应力、应变、位移及神经根位移情况

Figure 3 | Stress, strain, displacement, and nerve root displacement of the intervertebral disc under the combined manipulation of traction, pressing and oblique pulling

表 4 | 斜扳手法与拔伸按压斜扳复合手法数据对比
Table 4 | Data comparison between oblique wrench method and combined method

项目	斜扳手法	拔伸按压斜扳复合手法
纤维环应变	0.622 3	0.751 4
髓核应变	0.451 2	0.586 6
椎间盘 X 轴位移 (mm)	8.683	8.594
椎间盘 Y 轴位移 (mm)	-4.029	-5.409
椎间盘 Z 轴位移 (mm)	1.908	2.735
神经根 Y 轴位移 (mm)	-2.526	-2.932
神经根 Z 轴位移 (mm)	-0.234	-1.971
两者 Y 轴相对距离变化 (mm)	1.503	2.477
两者 Z 轴相对距离变化 (mm)	2.142	4.706

表注：X 轴方向“-”值为向左，“+”为向右；Y 轴方向“-”值为向前，“+”为向后；Z 轴方向“-”值为向下，“+”值为向上

3 讨论 Discussion

随着中国社会人口年龄结构的变化和人们生活方式的改变，LDH 患者逐年增加，并且患者年龄也有低龄化的趋势，对 LDH 的治疗也提出新的挑战和要求^[19]，保守治疗的方法越来越被业界重视^[20]，其中中医传统手法治疗 LDH 具有悠久的历史，在长期的临床治疗中有着见效快、操作简便、无创、舒适度高、独特的优点。LDH 中医传统治疗的众多手法中主要有拔伸、按压、斜扳及其复合手法等，例如钟士元^[21]提出的坐位定点旋转复位法，苟亚博等^[22]提出的俯卧推腰弹压牵抖法，沈国权^[23]提出的脊柱微调手法等，这些不同而又各具自身特点的中医手法对于治疗 LDH 都具有一定疗效，但是其疗效差异较大，因此研究不同手法对于 LDH 的生物力学机制和治疗效果具有重要意义。手法治疗 LDH 具有相当复杂的生物力学机制，传统的研究方法很难有效对其进行模拟和分析，而三维有限元技术能用有限数量的未知量去逼近无限未知量的真实系统，具有较高适用性^[24]，是目前在脊柱生物力学方面采用较多的研究方法^[25]。

突出的椎间盘对神经根的压迫或刺激是诱发患者根性症状的关键因素^[26]，因此椎间盘和神经根之间的位移以及两者相对距离的变化是研究的重点。此文构建了 L₄₋₅ 运动节段椎间盘突出患者的三维有限元模型，对比在斜扳和拔伸按压斜扳复合手法两种不同手法下椎间盘的应变大小。在 2 种手法中，椎间盘和神经根都显示了与施加斜扳手法方向一致的应变和位移，这提示在临床中对 LDH 患者使用斜扳手法时，应该让症状侧处于侧卧位的下方，才能使椎间盘和神经根发生期望的应变和位移，达到预期的治疗目的。

在斜扳手法中，椎间盘的纤维环部分发生 0.622 3 的应变，髓核发生 0.451 2 的应变；在拔伸按压斜扳复合手法中，椎间盘的纤维环部分发生 0.751 4 的应变，髓核发生 0.586 6 的应变。在 2 种手法中，椎间盘的应变趋势相同，突出侧椎间盘都发生了向前、向健侧的应变，但是复合手法中的椎间盘整体应变明显大于单纯斜扳手法，更有助于缓解椎间盘的突出，促进纤维环回缩以及髓核回纳。

在斜扳手法中，椎间盘整体在 X 轴向右侧移位 7.683 mm，在 Y 轴左侧椎间盘（突出侧）向前移位 4.029 mm，

左侧椎间盘(突出侧)在Z轴向上移位 1.908 mm;在拔伸按压斜扳复合手法中,椎间盘整体在X轴向右侧移位 8.594 mm,在Y轴左侧椎间盘(突出侧)向前移位 5.409 mm,左侧椎间盘(突出侧)在Z轴向上移位 2.735 mm。在2种手法中,椎间盘都发生了向前、向下、向健侧的位移,同应变方向一致,其中椎间盘在X轴方向上的位移大小差异不大,但是在复合手法中,椎间盘向前和向下的位移都更为明显,同应变的结果一致,复合手法会使椎间盘向前、向下位移更大,更有助于椎间盘的回纳,从而更好地减轻椎间盘突出。

在斜扳手法中,左侧神经根在Y轴向前移位 2.526 mm,在Z轴向下移位 1.234 mm;在拔伸按压斜扳复合手法中,左侧神经根在Y轴向前移位 2.932 mm,在Z轴向下移位 1.971 mm。综合椎间盘的位移情况可以得出,在斜扳手法中,突出侧椎间盘和神经根Y轴上的相对距离较施加手法前增加了 1.503 mm,在复合手法中则是增加了 2.477 mm;突出侧椎间盘和神经根Z轴上的相对距离较施加手法前增加了 2.142 mm,在复合手法中则是增加了 4.706 mm。由此可以看出,2种手法都可以有效增加神经根和椎间盘之间在Y轴和Z轴上的相对距离,但是复合手法的效果更加突出。由于L₅神经根通常位于L₄₋₅椎间盘的下缘^[27],突出椎间盘的向上移位及神经根的向下移位,有效增加了两者在Z轴上的距离,对于缓解L₅神经根的压迫症状具有重要临床意义。

综上所述,斜扳手法和拔伸按压斜扳复合手法对于LDH患者均具有良好的疗效,都可以有效减轻椎间盘突出,有助于突出椎间盘的收缩和回纳,并且使突出椎间盘和神经根之间的相对距离增加,缓解神经根的压迫,减轻患者症状;但是拔伸按压斜扳复合手法能使椎间盘和神经根产生更大的应变、位移,能更加有效地增加两者的相对距离,从而获得更佳的疗效。

此次研究依然存在局限性和不足之处,在实验中无法将肌肉和关节作用力以及在实际操作中患者的肌肉收缩等情况完全逼真地模拟出来^[28],并不能完全模拟临床上手法操作时脊柱生物力学的真实变化过程;此外,复合手法虽然可能疗效更好,但是在临床上具体实施有一定难度,未来还需要进一步深入研究和反复验证。

作者贡献: 课题设计为李具备负责,试验实施及文章撰写为卢钰,试验评估为向俊宜负责,文章写作指导为毕衡、李鹏飞负责,资料收集为尹本敬、韦佳佳,协助建模为李骥征、贾涛。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该文章撰写遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE指南),文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次文字和图表查重,文章经小同行外审专家双盲审稿,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] CHEN X, SANDHU HS, VARGAS CASTILLO J, et al. The association between pain scores and disc height change following discectomy surgery in lumbar disc herniation patients: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2021;30(11):3265-3277.
- [2] ROBERTO VL, NEVES VE, SUÁREZ HJE, et al. Hérnia discal lombar. *Rev Bras Ortop*. 2010;45(1):17-22.
- [3] DI GIAMPAOLO L, CANO E, MISTICONI GF, et al. Lumbar discopathies: correlation between pathology, work eligibility and recognition of technopathy. *G Ital Med Lav Ergon*. 2021;43(2):118-125.
- [4] AMIN RM, ANDRADE NS, NEUMAN BJ. Lumbar Disc Herniation. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2017;10(4):507-516.
- [5] BENZAKOUR T, IGLOUMENOU V, MAVROGENIS AF, et al. Current concepts for lumbar disc herniation. *Int Orthop*. 2019;43(4):841-851.
- [6] 李建华,朱清广,房敏,等. 脊柱微调手法联合牵引治疗腰椎间盘突出症临床观察[J]. *中华中医药杂志*,2020,35(2):999-1001.
- [7] 陈志伟,张钰敏,占超,等. 脊柱微调手法结合四维牵引调治腰椎间盘突出症 100 例[J]. *时珍国医国药*,2021,32(2):358-359.
- [8] 李民,董斌麟,汪桂珍,等. 有限元分析不同牵伸时长相邻腰椎节段和椎间盘应力及位移的变化[J]. *中国组织工程研究*,2020,24(21):3281-3286.
- [9] ZHONG ZC, WEI SH, WANG JP, et al. Finite element analysis of the lumbar spine with a new cage using a topology optimization method. *Med Eng Phys*. 2006;28(1):90-98.
- [10] MO ZJ, ZHAO YB, WANG LZ, et al. Biomechanical effects of cervical arthroplasty with U-shaped disc implant on segmental range of motion and loading of surrounding soft tissue. *Eur Spine J*. 2014;23(3):613-621.
- [11] DU HG, LIAO SH, JIANG Z, et al. Biomechanical analysis of press-extension technique on degenerative lumbar with disc herniation and staggered facet joint. *Saudi Pharm J*. 2016;24(3):305-311.
- [12] 黄学成,叶林强,梁德,等. 三维有限元模型分析旋转手法中旋转方向对颈椎间盘位移和椎间孔容积的影响[J]. *中国组织工程研究*,2018,22(3):404-408.
- [13] LEE SH, IM YJ, KIM KT, et al. Comparison of cervical spine biomechanics after fixed- and mobile-core artificial disc replacement: a finite element analysis. *Spine*. 2011;36(9):700-708.
- [14] MO Z, ZHAO Y, DU C, et al. Does location of rotation center in artificial disc affect cervical biomechanics? *Spine*. 2015;40(8):E469-E475.
- [15] YAMAMOTO I, PANJABI MM, CRISCO T, et al. Three-dimensional movements of the whole lumbar spine and lumbosacral joint. *Spine*. 1989;14(11):1256-1260.
- [16] XIAO Z, WANG L, GONG H, et al. Biomechanical evaluation of three surgical scenarios of posterior lumbar interbody fusion by finite element analysis. *Biomed Eng Online*. 2012;11:31.
- [17] 徐海涛,李松,刘澜,等. 腰斜扳手法时椎间盘的有限元分析[J]. *中国组织工程研究与临床康复*,2011,15(13):2335-2338.
- [18] 赵文韬,向俊宜,李具备. 不同牵引力对腰椎间盘突出症生物力学效应的三维有限元分析[J]. *山西医药杂志*,2018,47(24):2907-2909.
- [19] HARRIS A, WILKENING M, MARRACHE M, et al. Adult Lumbar Disk Herniation: Diagnosis, Treatment, Complications, Outcomes, and Evidence-Based Data for Patient and Health Professional Counseling. *Instr Course Lect*. 2020;69:607-624.
- [20] CHENG ZX, ZHENG YJ, FENG ZY, et al. Chinese Association for the Study of Pain: Expert consensus on diagnosis and treatment for lumbar disc herniation. *World J Clin Cases*. 2021;9(9):2058-2067.
- [21] 钟士元. 脊柱相关疾病治疗学[M]. 3版. 广州:广东科技出版社,2011.
- [22] 苟亚博,黄国松. 脊椎手法图解[M]. 北京:人民卫生出版社,2009.
- [23] 沈国权. 脊柱推拿的理论与实践——脊柱微调手法体系[M]. 北京:人民卫生出版社,2016:723
- [24] XIE Y, WANG X, JIAN Q, et al. Three dimensional finite element analysis used to study the influence of the stress and strain of the operative and adjacent segments through different foraminnoplasty technique in the PELD: Study protocol clinical trial (SPIRIT Compliant). *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(15):e19670.
- [25] CAO S, CHEN Y, ZHANG F, et al. Clinical Efficacy and Safety of “Three-Dimensional Balanced Manipulation” in the Treatment of Cervical Spondylotic Radiculopathy by Finite Element Analysis. *Biomed Res Int*. 2021;2021:5563296.
- [26] BERRA LV, DI RITA A, LONGHITANO F, et al. Far lateral lumbar disc herniation part 1: Imaging, neurophysiology and clinical features. *World J Orthop*. 2021;12(12):961-969.
- [27] TAKAMATSU N, YAMASHITA K, SUGIURA K, et al. Successful Full Endoscopic Surgery for L5 Radiculopathy Due to L4-5 Discal Cyst and Disc Herniation in a Professional Baseball Player. *NMC Case Rep J*. 2021;8(1):189-194.
- [28] FG A, HS B, SA A, et al. Internal load-sharing in the human passive lumbar spine: Review of in vitro and finite element model studies-Science Direct. *J Biomech*. 2020;102:109441.

(责任编辑:GD, ZN, ZH)