

模拟腰椎关节松动手法及冲击手法下椎间盘应变的比较

王飞¹ 张军^{2△} 卫杰¹ 郭伟¹ 韩磊¹ 刘强² 赵平^{1△}

[摘要] 目的:了解模拟腰椎关节松动手法和冲击手法下椎间盘应变的变化特征,探讨两种手法对椎间盘应变作用的异同。方法:12 具成年男性新鲜尸体腰椎标本($T_{12} \sim S_2$)随机分为两组。一组模拟松动手法($n=6$):预加载 15° ,速度 $3^\circ/\text{s}$,最大加载角度 20° ,速度 $1^\circ/\text{s}$, L_5 棘突水平加载 9 N。另一组模拟冲击手法($n=6$):预加载 15° ,速度 $3^\circ/\text{s}$,最大加载角度 20° ,冲击速度 $33^\circ/\text{s}$, L_5 棘突水平加载 22 N。于标本前面喷涂散斑,采用非接触应变测量系统采集手法全过程的图像。通过 ARAMIS 软件计算,自动输出 Von Mises 应变云图。结果:模拟两种手法过程中,腰椎旋转时椎间盘应变逐渐增大,回复过程中椎间盘应变逐渐减小,模拟冲击手法椎间盘应变变化速度更快;模拟两种手法下无论 $L_{4\sim 5}$ 还是 L_5S_1 椎间盘最大应变差异均无统计学意义($P>0.05$);每种手法下 $L_{4\sim 5}$ 和 L_5S_1 椎间盘最大应变差异无统计学意义($P>0.05$)。结论:模拟腰椎关节松动手法和冲击手法下椎间盘最大应变无差异。

[关键词] 松动手法;冲击手法;腰椎;椎间盘;应变

[中图分类号] R318 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2019)10-0001-04

Comparison of Human Lumbar Disc Strain during Simulated Spinal Manipulation versus Spinal Mobilization

WANG Fei¹ ZHANG Jun^{2△} WEI Jie¹ GUO Wei¹ HAN Lei¹ LIU Qiang² ZHAO Ping^{1△}

¹Department of TCM Manipulative Orthopedics, Air Force Medical Center of PLA, Beijing 100142, China;

² Department of Sinew Injury Manual Therapy Research, Wangjing Hospital of China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China.

Abstract Objective: The present study aimed to investigate the differences in human lumbar disc strain during simulated spinal manipulation and spinal mobilization. **Methods:** A total of 12 adult fresh lumbar spinal specimens ($T_{12} \sim S_2$) were randomly divided into two groups. The parameters of simulated spinal mobilization were as follows: Preload angle, 15° (speed, $3^\circ/\text{s}$); maximum angle, 20° (speed, $1^\circ/\text{s}$); and 9 N horizontal force to the L_5 spinous process. The parameters of simulated spinal manipulation were as follows: Preload angle, 15° (speed, $3^\circ/\text{s}$); impulse angle, 20° (impulse speed, $33^\circ/\text{s}$) and 22 N horizontal force to the L_5 spinous process. Disc strain was measured by non-contact strain measurement system after speckle was sprayed on the anterior surface of the specimens. It was obtained with software ARAMIS, and Von Mises strain nephograms were also output. **Results:** Strain on discs ascended first and then descended gently during mobilization, while it ascended quickly to peak during manipulation. There was no difference of maximal strain on discs during two techniques ($P>0.05$). There was no difference of maximal strain between $L_{4\sim 5}$ and $L_5 \sim S_1$ discs in either group ($P>0.05$). **Conclusion:** There is no difference of maximal strain on discs during simulated mobilization and manipulation.

Keywords: mobilization; thrusting manipulation; lumbar spine; intervertebral disc; strain

腰椎旋转手法从施力特征上分为松动手法和冲击

手法,前者是低速度、低幅度,后者是高速度、低幅度。手法的目的是纠正椎间关节的半脱位状态,恢复椎间关节的活动功能^[1]。椎间关节由椎间盘和两侧的关节突关节组成^[2]。了解两类手法下椎间盘应变有无差异,有助于认识其生物力学特点,指导临床手法运用。目前尚未见采用生物力学实验观察两类手法下椎间盘应变的报道。本研究在新鲜尸体标本上模拟此两类手

基金项目:国家自然科学基金(81373657)

¹ 空军特色医学中心中西医结合正骨科(北京,100142)

² 中国中医科学院望京医院筋伤手法治疗研究室

[△]通信作者 张军, E-mail: zhangjunmd@163.com

赵平, E-mail: kzzp@sina.com

法,采用非接触应变测量的方法观察椎间盘应变。

1 材料与方法

1.1 实验标本

12具成年男性新鲜尸体腰骶段由南方医科大学人体解剖教研室提供。解剖排除标本存在的变异、骨病,截取 $T_{12} \sim S_2$ 节段,保留椎间关节主要韧带结构,剔除皮肤、皮下组织以及椎旁浅层和深层肌肉,保持小关节和关节囊的完整性。标本以双层保鲜膜包裹密封,于 -20°C 低温冰箱保鲜、保湿待用。实验前1天取出标本置于冰箱的冷藏层内过夜,让标本自然解冻。

1.2 实验设备

BOSE动/静态材料试验机(BOSE ELECTRO-FORCE USA Model3510-AT System ID: 100273),GOM非接触光学应变测量系统(德国),均由南方医科大学生物力学实验室提供。

1.3 方法

1.3.1 腰椎标本包埋 腰椎标本自然解冻后,将标本上端的 T_{12} 椎体和下端的 S_2 椎体分别置入方形模具,用聚甲基丙烯酸甲酯(上海新世纪齿科材料有限公司)包埋,露出 $L_1 \sim S_1$ 节段。实验过程中间断喷洒磷酸盐缓冲盐水(PBS, $\text{pH}=7.4$)以保持标本湿润,实验间歇用PBS浸湿的纱布包裹标本。将12个腰椎标本随机分为两组,每组6具,一组模拟松动手法,一组模拟冲击手法。

1.3.2 非接触应变测量 将包埋好的腰椎标本椎体前缘、椎间盘前缘筋膜组织用手术刀片修平整。以 $L_4 \sim 5$ 和 $L_5 S_1$ 椎间盘为中心喷涂白色底漆(喜得利金钻自动喷漆,深圳市金贝壳化工用品有限公司),喷涂均匀后再散在喷涂黑色亚光漆(百丽时自动喷漆,广州保赐利化工有限公司),使之达到斑点化状态。对GOM非接触应变测量系统进行标定,ARAMIS6.3软件采集标本在运动过程中的图像,采集频率为5 Hz,采集照片85幅,曝光时间58 ms。采集椎间盘部位散斑。ARAMIS6.3软件对图像进行分析计算后,可自动输出Von Mises应变云图。选择模拟手法过程中应变最大时的云图,分析比较 $L_4 \sim 5$ 和 $L_5 S_1$ 椎间盘区域的应变变化。实验过程中隔绝外界光源,严格限制实验室人数,以排除外界光线和震动的影响。

1.3.3 腰椎手法模拟 实验过程中室温保持在 25°C 左右。将准备好的腰椎标本固定于BOSE动/静态材料试验机,头端用方形夹具固定,尾端固定于台钳上。于 L_5 棘突根部用手电钻打直径2 mm的孔,穿入细钢丝并将钢丝一端打结固定,钢丝的另一端通过一个定滑轮后分别悬挂9 N和22 N力值砝码,使 L_5 棘突受到水平拉力,用于模拟手法时拇指定点推力(见图1-2)。为使标本的黏弹性影响降至最小,实验前对标本

进行小量程加载/卸载预处理。加载 $10\text{ N}\cdot\text{m}$ 扭矩持续10 s,然后卸载,记录旋转角度。两次加载间隔3 min以使标本恢复到生理状态^[3]。重复加载/卸载 $10\text{ N}\cdot\text{m}$ 扭矩直到连续3次加载标本旋转角度相同($\pm 0.1^\circ$)。

BOSE动/静态材料试验机采用角度控制模式,具体参数如下。松动手法(向右侧旋转):预加载角度 15° ,速度 $3^\circ/\text{s}$,最大加载角度 20° ,速度 $1^\circ/\text{s}$,回复速度 $3^\circ/\text{s}$ 。 L_5 棘突水平加载9 N,向下加载300 N模拟身体上半部重量^[4-6]。冲击手法(向右侧旋转):预加载角度 15° ,速度 $3^\circ/\text{s}$,冲击角度 5° ,速度 $33^\circ/\text{s}$,回复速度 $3^\circ/\text{s}$ 。 L_5 棘突水平加载22 N,向下加载300 N模拟身体上半部重量^[4-6]。

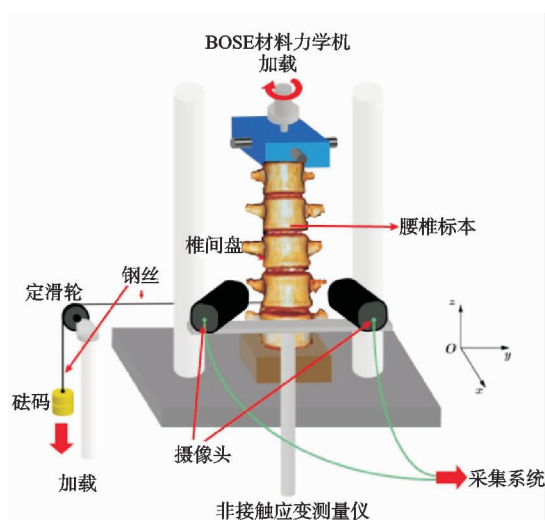


图1 腰椎手法模拟、椎间盘应变测量示意图

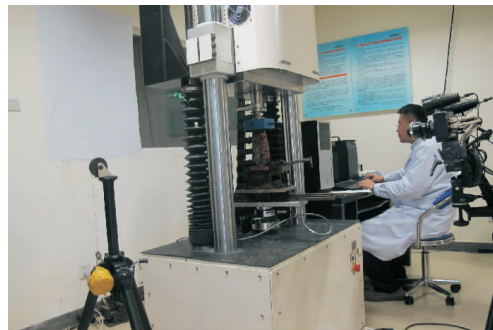


图2 腰椎手法模拟、椎间盘应变测量

1.4 观察指标

模拟手法过程中标本加载扭矩等参数;模拟手法过程中 $L_4 \sim 5$ 和 $L_5 S_1$ 椎间盘应变。

1.5 统计学分析

采用SPSS19.0软件对数据进行统计分析。所有数据进行正态性检验和方差齐性检验, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。手法组间最大加载扭矩比较采用独立样本 t 检验,手法组间椎间盘最大应变比较采用独立样本 t 检验,手法组内不同椎间盘最大应变比较采用配对 t 检验。

2 结果

2.1 实验加载参数

松动手法加载扭矩先平缓增加,到达峰值后再平缓减小。冲击手法加载扭矩先平缓增加,后陡然到达峰值,之后平缓减小(见图 3)。松动手法与冲击手法最大加载扭矩差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

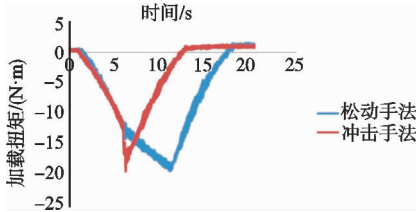


图 3 两种手法过程中加载扭矩变化曲线

表 1 两组模拟手法加载参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	最大加载扭矩/(N·m)
松动手法	6	18.71±1.25
冲击手法	6	17.61±1.20
<i>t</i>		1.556
<i>P</i>		0.151

2.2 两种手法过程中椎间盘应变比较

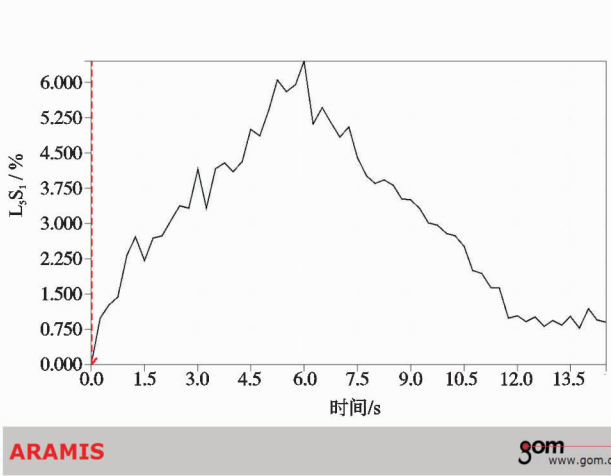
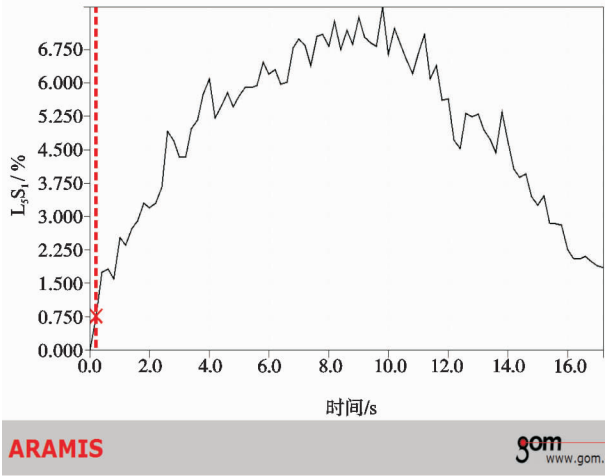


图 5 两种手法过程中 L_5/S_1 椎间盘应变随时间变化曲线

注:左图为松动手法过程中应变曲线,右图为冲击手法过程中应变曲线。

2.2.2 手法组间椎间盘最大应变比较 松动手法和冲击手法过程中 $L_{4\sim 5}$ 椎间盘最大应变差异无统计学意义($P>0.05$), L_5/S_1 椎间盘最大应变差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2 及图 6。

表 2 不同手法组间椎间盘最大应变比较结果($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	$L_{4\sim 5}/\%$	$L_5/S_1/\%$
松动手法	6	5.83±1.47	6.57±1.43
冲击手法	6	5.45±1.55	6.69±1.28
<i>t</i>		0.431	0.160
<i>P</i>		0.676	0.876

2.2.3 手法组内不同椎间盘最大应变比较 松动手法过程中 L_5/S_1 椎间盘比 $L_{4\sim 5}$ 椎间盘最大应变量大,

2.2.1 椎间盘应变的时间分布特征比较 模拟松动手法过程中,腰椎向右侧旋转时,椎间盘应变逐渐增大至最大值,腰椎向中立位回复时,椎间盘应变逐渐减小,手法结束时恢复到手法前状态。模拟冲击手法过程中,椎间盘应变变化趋势与松动手法相似,不同的是应变增大速度快,见图 4-5。

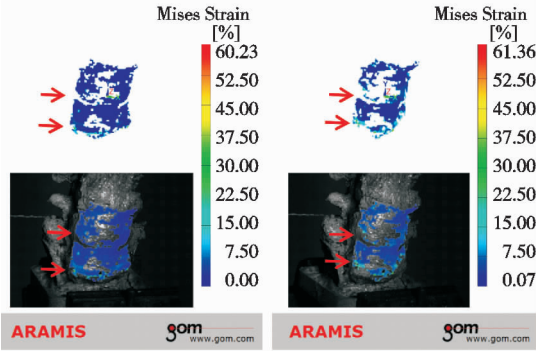


图 4 两种手法过程中椎间盘应变云图

注:左上为松动手法过程中椎间盘应变云图,左下为 ARAMIS 软件同步采集的腰椎标本三维图像,箭头所指为椎间盘部位,右侧标尺显示云图颜色与应变量的对应情况。右上为冲击手法过程中椎间盘应变云图,右下为 ARAMIS 软件同步采集的腰椎标本三维图像。

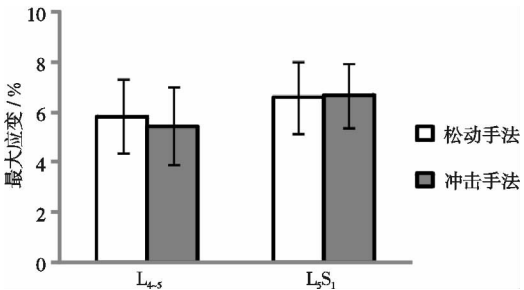


图 6 松动手法和冲击手法过程中椎间盘最大应变比较

注:两种手法过程中 $L_{4\sim 5}$ 椎间盘最大应变差异无统计学意义($P>0.05$), L_5/S_1 椎间盘最大应变差异无统计学意义($P>0.05$)。

但差异无统计学意义($P>0.05$),冲击手法过程中 L_5/S_1 椎间盘比 $L_{4\sim 5}$ 椎间盘最大应变量大,但差异无统计学意义($P>0.05$),见表 3 及图 7。

表3 手法组内不同椎间盘最大应变比较结果($\bar{x} \pm s$)

间盘水平	例数	松动手法/%	冲击手法/%
L _{4~5}	6	5.83 ± 1.47	5.45 ± 1.55
L ₅ S ₁	6	6.57 ± 1.43	6.69 ± 1.28
<i>t</i>		0.885	1.517
<i>P</i>		0.397	0.160

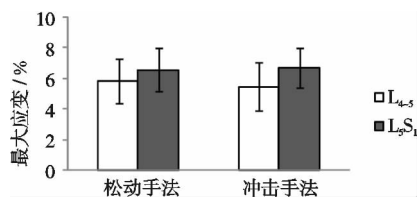


图7 同一手法组内不同椎间盘最大应变比较

注:松动手法过程中 L_{4~5}椎间盘和 L₅S₁椎间盘最大应变差异无统计学意义($P > 0.05$),冲击手法过程中 L_{4~5}椎间盘和 L₅S₁椎间盘最大应变差异无统计学意义($P > 0.05$)。

3 讨论

模拟手法加载参数的确定:在此前关于模拟两种手法下关节突关节压力特征的研究^[7]中已经说明。

椎间盘应变测量部位的确定:本实验采用全腰椎标本模拟手法力学加载,可以更好地反映脊柱的生物力学特性及手法作用的宏观力学效应。腰椎在旋转过程中从上至下各椎体旋转角度、侧弯角度逐渐减小^[8], L₅椎体的旋转、侧弯运动幅度最小,但在 L₅棘突施加一个水平推力后, L₅椎体与相邻椎体发生相对位移^[9],进而实现手法纠正椎间关节的力学紊乱状态,恢复椎间关节活动功能的目的^[1]。因此实验中选择观察 L₅椎体相邻节段即 L_{4~5}和 L₅S₁椎间盘的应变。

应变测量方法的选择:应变是指物体在受到外力作用下产生变形的程度,应变测量有电阻应变测量法和光学非接触应变测量法,前者的测量原理是被测物体表面的微小应变使其表面电阻片的电阻丝产生微小变形,导致电阻发生微小变化,该电学变化被放大并按设定好的比例转化为应变值的形式。测量优点是测量精度高,应用范围较广;不足之处是对应变片与物体表面贴合技术要求高,只能测出物体表面测试点的平均线性变,对应力集中的局部应变峰值的测定精确度不高^[10]。后者是使用摄像机记录并通过利用灰度分布的相关性,测出样本在变形前后两幅图像中事先选定的相应子区的像素位移来反映样本的位移,使用两台摄像机可以进行三维测量。该法的优点是测量精度高、应变场全域分布、测量范围广、结果形象直观^[11,12],不足之处是对标本加载方式有限制。对比两种测量方法的优缺点,本实验选择了光学非接触应变测量方法。此外通过数学模型可以推算腰椎手法过程中椎间盘各部位的应力应变,具有可以重复加载、任意测试的优点^[13],但其结果的准确程度与建模参数的选择关系很大,需要通过生物力学实验去验证。

模拟两种手法下椎间盘应变的比较:本实验结果显示模拟腰椎关节松动手法和腰椎关节冲击手法时椎间盘前部最大应变不到 7%,而 Amin 等^[14]模拟腰部前屈扭转搬 20 kg 重物时椎间盘前部最大应变为 70%,Chaudhry 等^[15]通过计算得出相同角度的前屈对纤维环产生应力是扭转的 480 倍,扭转相比前屈对纤维环的应力可以忽略不计。本实验模拟两种手法为单纯旋转,没有前屈,因此椎间盘前部应变很小,与 Chaudhry 等研究结果相似,提示此两种模拟手法对椎间盘相对安全。

本实验结果显示模拟两种手法过程中椎间盘前部最大应变差异无统计学意义。分析原因:手法过程中椎间盘应变的产生来源于两方面,一是相邻椎体间挤压椎间盘,二是椎体间扭转。实验中两种手法均向下加载 300 N,加载的最大扭矩也差异无统计学意义,因此椎间盘前部最大应变无差异。Chaudhry 等^[15]通过计算得出扭转作用时间为 0.1 s 比 5 s 产生的扭矩多 34%(本实验模拟冲击手法冲击时间 0.15 s,模拟松动手法作用时间 5 s),对纤维环产生的应力也相应更大。本实验结果有所不同,但本实验结果显示冲击手法椎间盘前部应变速度快于松动手法,考虑与冲击手法加载扭矩加速快有关。从材料的安全角度讲,相同应变量下应变速度快者,对材料造成损伤的可能性也大。

手法过程中椎间盘发生应变可能会短暂改变突出间盘组织与受压神经根的接触状态。徐海涛等^[16]采用 L_{4~5}三有限元模型分析坐位腰椎手法时腰椎间盘的位移,发现旋转对侧后部纤维环发生拉伸变形,并向前、向内回缩。这样会增加椎间孔局部的体积,并使突出间盘与神经根发生相对位移。张勇等^[17]在尸体标本上模拟旋转手法也观察到神经根与相邻椎间盘之间发生了 1~2 mm 位移。临床上部分腰椎间盘突出症病例手法治疗后即刻下肢疼痛缓解,直腿抬高角度增加,但持续时间很短,这种现象可能与手法过程中椎间盘发生应变导致与神经根之间产生微小位移有关。

本研究通过光学非接触应变测量法测量模拟两种腰椎手法过程中椎间盘前部应变,一定程度上可以反映椎间盘整体应变,但不能反映椎间盘不同区域间应变的差异,尤其是与神经根相邻的椎间盘后外侧应变。下一步研究可以结合有限元方法分析模拟两种手法下椎间盘不同区域的应变。

参考文献

- [1] HENDERSON C N. The basis for spinal manipulation: chiropractic perspective of indications and theory[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2012, 22(5): 632-642.