

## · 实验研究 ·

# 经皮穿刺腰椎间盘切割术损伤状态的脊柱稳定性研究

黎元 洪水棕 梅海英 黄祥龙 沈天真 胡宙

**【摘要】** 目的 通过对模拟椎间盘损伤状态的脊柱稳定性研究,从生物力学角度来评价经皮穿刺腰椎间盘切割术。方法 采用新鲜人体脊柱腰骶段标本。按不同的正常脊柱标本和模拟经皮穿刺腰椎间盘切割术脊柱标本,分步进行加载,分别测定两坐标系间相对位移和转角。结果 绘制载荷-转角位移曲线,计算平均柔度系数和标化的平均柔度系数,发现椎间盘损伤状态下脊柱的抗扭能力明显下降( $P < 0.05$ )。结论 从生物力学角度而言,经皮穿刺腰椎间盘切割术是一种能较好保持脊柱稳定性的治疗腰椎间盘突出症的方法。

**【关键词】** 经皮腰椎间盘切割术;生物力学

**Biomechanical study of percutaneous lumbar discectomy** LI Yuan, HONG Shuizhong, MEI Haiying, et al. Department of Radiology, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China

**【Abstract】 Objective** To investigate the stiffness of lumbar spine after the injury caused by percutaneous discectomy and evaluate the efficiency of percutaneous lumbar discectomy by biomechanical study. **Methods** Four fresh lumbar specimens were used to analyse load-displacement curves in the intact lumbar spine and vertical disc-injured lumbar spine. The concepts of average flexibility coefficient( $f$ ) and standardized average flexibility coefficient( $f_s$ ) were also introduced. **Results** The load-displacement curves showed a good stabilization effect of the intact lumbar spine and disc-injured lumbar spine in flexion, extension, right and left bending. The decrease of anti-rotation also can be detected( $P < 0.05$ ). **Conclusion** In biomechanical study, percutaneous lumbar discectomy is one of the efficiency methods to treat lumbar disc hernia.

**【Key words】** Percutaneous lumbar discectomy; Biomechanical

经皮穿刺腰椎间盘切割术是一种有效、安全的治疗腰椎间盘突出症的方法<sup>[1,2]</sup>。过去,许多作者对正常椎间盘的生物力学特性进行了深入的研究,而对于椎间盘损伤状态的脊柱稳定性研究,国内报道相对较少。作者通过对模拟椎间盘损伤状态下脊柱稳定性的研究,从生物力学角度来评价经皮穿刺腰椎间盘切割术的疗效。

## 材料和方法

一、标本的选取、制备和实验设备的调试及安装  
本实验采用新鲜人体脊柱腰骶段标本。供者均为猝死于急性颅脑损伤的青年男性。生前体健、无腰部部疾患史。将所有标本摄正侧位 X 线片,观察有无先天性畸形、骨折及严重的退行性改变等对脊柱稳定性有较大影响的诸因素,选用正常脊柱标本

4 具,标本随机分号,分号前约定 1 号标本用于预试验,以发现潜在的缺点,以便于在正式实验中加以改进和掌握时间,2、3、4 号标本用于正式试验。

加载设备主要由加载台和加载架组成。六维力学参数组合型传感器,可以同时测量 3 个方向的位移和转角。位移量检测采用电阻应变片式电子位移传感器,转角量检测采用电位差计电子转角传感器,其线性误差均在 0.5%。传感器用螺丝钉加克氏针固定于脊柱正前方,其上臂固定于 L4 椎体中心,下臂固定于 S1 椎体中心,两臂间距离为 7cm,每次安装时两臂固定螺丝进入椎体深度相同(约 3 cm),两臂相互平行与椎体冠状面垂直。再接通传感器、稳压电源和多路开关的线路。

## 二、实验室模拟经皮穿刺腰椎间盘切割术

器械采用 KX-140PI 型切割设备。用环锯于 L4-L5 或 L5-S1 椎间盘右后侧方锯一小切口,经切口用切割钳尽可能多地切割髓核组织,切割时间约为 15~20 min。模拟经皮穿刺椎间盘切割术损伤

状态。

### 三、加载方式及载荷级别

(一) 加载方式 分前屈、后伸、左侧弯、右侧弯、左侧旋转及右侧旋转 6 个方向加载力偶矩及轴向加载力。加载架中心位于 L3 椎体中心, 加载杆两端至 L3 椎体中心各 20 cm。加载方式为力偶矩, 其力臂为 40 cm。如把加载杆固定于标本前后位(正中矢状位), 前端加垂直向下的力, 后端加垂直向上的力, 则使脊柱产生前屈运动。后伸及左、右侧弯的加载与此类似。施加旋转扭矩时, 加载力与加载台平行, 并与加载杆垂直。轴向加载方式为力, 直接作用于 L3 椎体中心。

(二) 载荷级别 加载力 F 以 0.25 kg 递增(除轴压), 加载力级别为 0、0.25、0.5、0.75、1.0、1.25 kg, 相应偶矩为 0、1、2、3、4、5 Nm。轴压则以加载力 F=5 kg 递增, 加载力级别为 0、5、10、15、20、25、30 kg。考虑腰椎结构的黏弹特性, 加载后 L4-S1 椎体相对转角位移的完全产生需要一定的时间来完成, 故于每一加载稳定 1.5 s 后记录实验结果。Punjabi 等发现加载 1.5 s, 大部分位移已发生; 加载 1.5 s 后, 位移将达平衡状态时的 95% 以上。

### 四、坐标系统

本实验采用 White 和 Punjab<sup>[3]</sup>坐标, 此坐标为 Cartesian 右手坐标中, 由 3 根相互垂直的轴(X、Y、Z 轴)组成, 右手掌指关节屈曲, 拇指伸直, 则大母指指向 Y 轴, 手掌相向 Z 轴。右手握住某轴, 拇指指向坐标轴方向, 则其余四指所指方向为此轴的旋转正方向, 本实验以 L3 椎体中心为动心设一动系, 以 S1 椎体中心为定心设一定系, 测定两坐标系间相对位移和转角。

### 五、生物力学实验程序

实验时, 按不同的正常脊柱标本和模拟经皮穿刺腰椎间盘切割术脊柱标本, 分别分三步进行加载, 同时测定不同工况下 L5-S1 椎体相对转角和位移。每一步骤之间相隔 10 min, 以利标本恢复弹性, 整个实验过程中用 0.9% 生理盐水保持实验标本湿润, 约 8 h 内完成整个实验。

### 六、数据修正

加载过程中虽然加载力均匀增加, 但因加载杆受力倾斜, 与加载台形成交角, 引起力臂的改变, 力偶矩并不均匀递增, 实际加载力偶矩应进行修正。实验中, 前屈、后伸、侧屈加载时, 每一程序均测定加载杆两端距台面的距离, 分别记为 h1, h2; 旋转加载时, 每一程序均记录加载杆与两侧杆之间的距离,

分别记为 A1、A2, 并记录两侧杆之间的总长度, 记为 A 总。

## 结 果

### 一、各种载荷下椎体相对转角、位移数据的测量和修正

按前述方法逐步实验, 得每一加载下的 L4-S1 椎体相对转角、位移数据。分别对实验时实际加载的力偶矩进行修正。

### 二、载荷-转角位移曲线

为了能直观地观察载荷和转角、位移之间的关系, 作载荷(M)-转角或位移(R 或 T)曲线。该曲线显示了载荷-转角或位移的变化规律, 载荷增大, 转角位移亦随之增大, 呈近似直线的曲线。随载荷增大, 转角位移增加越多, 亦即曲线上扬得越快, 表明该实验工况下脊柱系统越不稳定; 相反, 曲线越低平, 该实验工况下脊柱系统就越趋稳定。曲线 normal 为正常脊柱的 M-R(或 T)曲线, 作为曲线分析的参照线, 曲线 discectomy 为模拟经皮穿刺椎间盘切割术损伤状态的 M-R(或 T)曲线。

前曲、后伸及左、右侧弯加载实验时, 除前曲 Rx 转角坐标上曲线 dscectomy 变化逐渐上扬, 其余转角 Rx、位移(Ty、Tz)坐标上曲线 dscectomy 均与曲线 normal 接近, 说明椎间盘损伤后对前曲、后伸及左、右侧弯功能影响不大。左、右旋转载荷实验时曲线 discectomy 在右侧屈时, 偏离曲线 normal 较远, 说明椎间盘损伤后, 腰椎的抗扭能力下降, 见图 1。

### 三、平均柔度系数及标化

为了便于大量数字的统计分析, 本文采用 Tencer 等使用的方法, 引入平均柔度系数(average flexibility coefficient f)的概念。

$$F = 1/n \sum (\delta Ri \text{ 或 } \delta Ti / \delta Mi)$$

公式中  $\delta Ri$  为加载递增时转角的增量;  $\delta Ti$  为加载递增时位移的增量;  $\delta Mi$  为加载递增时修正后的力偶矩的增量;  $\delta Ri$  或  $\delta Ti / \delta Mi$  为柔度系数; n 为加载递增过程中的加载次数, 本实验 n 全部为 5。

可见, 柔度系数表示单位力偶矩增量所引起的转角位移增量, 柔度系数越大, 表示脊柱稳定性越差。反之, 刚度系数表示单位转角位移的增量所需力偶矩的增量。记着  $\delta Mi / \delta Ri$ , 刚度系数越小, 表示脊柱稳定性越差。

这种方法亦被 Mann 等作者用于脊柱稳定性的研究。平均柔度系数可将非线性载荷-转角位移曲线得以线性分析。从而便于正常脊柱与各种脊柱模

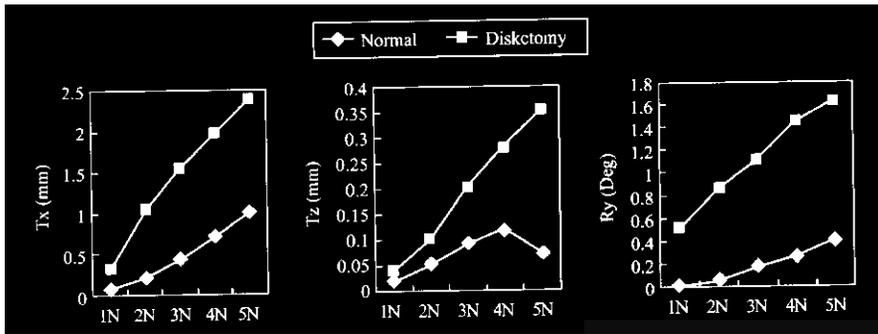


图 1 两种脊柱模型旋转实验状态的载荷-转角位移曲线

型的生物力学特性的比较分析。平均柔度系数的求得,使得同一脊柱标本相同工况下的各生物力学数据之间可以相互比较,但不同脊柱标本数据间不能进行比较分析。因为不同脊柱其大小、结构不尽相同,故不同脊柱标本的平均柔度系数是不相同的,没有可比性。这样脊柱本身因素造成的实验数据的系统差异,可用平均柔度系数的标化(standard average flexibility coefficient,  $f_s$ )手段来纠正,设正常脊柱各工况下的柔度系数皆为 1,即 100%,同工况组各柔度系数与正常的百分比即为标化的柔度系数  $f_s$ 。

标化后平均柔度系数,不仅使不同标本间得以比较,同一标本不同工况也可进行比较。如椎间盘损伤时,右侧旋转载荷实验时其  $T_x$ 、 $T_z$ 、 $R_y$  的  $f_s$  分别为 221%、175%、403%,显示该损伤状态下,抗扭能力下降,此时的前屈  $T_z$  位移的  $f_s$  也达 753%。

实际上数据处理在微机上进行。

#### 四. 统计学处理

本实验系用配对  $t$  检验来分析两样本均数的不同差异有无显著性。

本实验中平均柔度系数( $f$ )为样本均数,求出所需比较的各平均柔度系数( $f$ )的  $t$  值。相同工况下、脊柱损伤模型的  $t$  值,它反映了在模拟经皮穿刺椎间盘切除术损伤状态时脊柱稳定性差异有无意义。不同脊柱标本间我们采用直线回归检验,  $P < 0.01$ ,说明 4 具标本的实验数据具有明显的相关性。

#### 讨 论

生物力学是近 30 余年发展起来的一门介于生物学、医学与工程学之间的边缘科学。把机械力学和数学结合起来,用于研究人体正常脊柱功能,研究创伤、疾病和手术对脊柱功能的影响。这已是脊柱功能研究中一个非常重要而且活跃的方面,使得脊柱的生物运动特性得以定量精确的分析。

生物力学实验的加载方式有多种:力、力矩、力偶矩,其中力矩最为常用。力矩加载由于力及动点

位置不平衡,可使实验时所测转角变量和位移变量相互影响,从而降低了实验数据的准确性。本实验采用力偶矩形式加载,使标本消除力及动点位置的影响,记录转角及位移变量相对较准确。多项研究表明这一加载范围在腰骶椎生理应力范围内,反复接受加载,标本结构及其生物力学特性不会受到破坏。为多数生物力学研究者所采用。

为保持标本的生物力学特性,标本采用密封包装,以免水份丧失。Galane 等认为,实验过程中要保持标本处在 100% 的相对湿度环境中,本实验用 0.9% 的盐水喷雾保持标本湿润。临床上,Whiteside<sup>[4]</sup>就脊柱骨折而论,把脊柱的稳定性定义为承载生理应力下,脊柱没有进行性畸形发生或加重,神经无进一步损伤者;Denis<sup>[5]</sup>发展了 Whiteside 的关于脊柱稳定性的概念,它强调了脊柱的神经性不稳定,他认为传统认识上的脊柱不稳定是力学性不稳定,强调力作用下脊柱畸形的发生和加重,这对描述脊柱疾病特征是不充分的。脊柱的稳定性对患者的术后康复是非常重要的,因为脊柱不稳可引起脊柱畸形,尤其是后突畸形的发生,亦可造成假关节形成,从而影响脊柱的正常运动功能和神经功能的恢复。本实验模拟椎间盘侧后方开口经皮穿刺腰椎间盘切除术,分析椎间盘切除后腰骶段脊柱的生物力学特性,并与正常脊柱比较研究,评价经皮穿刺腰椎间盘切除术后脊柱的稳定性。

生物力学上的稳定性一般是通过载荷-位移或转角曲线来分析研究。由于加载方式、载荷大小、脊柱节段、标本长短、转角和位移参数在各实验中不尽相同,实验结果之间无可比性,脊柱稳定性难以有一个统一的标准。多数学者都是先测定正常脊柱的载荷-位移转角曲线作为自身对照,比较同一实验条件下某脊柱模型(病理状态脊柱或损伤状态脊柱)的载荷-位移转角曲线的变化,以确定其相对完整脊柱的稳定性。简言之,正常脊柱的运动属性被认为是稳定性的参考标准,而适合于脊柱愈合的刚柔状态目

前尚难确定。本实验即采用这种方法来分析经皮穿刺腰椎间盘切割术后脊柱的稳定性。

20 世纪 80 年代早期,Denis 等<sup>[5]</sup>在大量生物力学研究成果的基础上,提出了脊柱三柱理论(three column),其前柱由前半椎体、前半椎间盘、前纵韧带构成;中柱由后半椎体、后半椎间盘及后纵韧带构成;后柱与 Holdworth 的后柱概念相似。他认为单纯后柱损伤、脊柱不稳尚不明显,而中柱和后柱同时受损时,如屈曲-分离型骨折,脊柱即出现明显的不稳,而三柱同时受损时,如脊柱骨折伴脱位,脊柱极其不稳定。前、中柱对脊柱稳定性的重要性还表现在椎间盘的生物力学研究上,据报道<sup>[6,7]</sup>椎间盘对脊柱有重要的稳定作用,特别是它的抗扭稳定性。Hafer 研究人胸腰段脊柱的抗扭能力,于 L2-3 椎间盘水平分别破坏脊柱前、中、后三柱,记录扭矩-转角位移曲线,实验证明正常脊柱结构中,最能有效抵抗扭矩的是椎间盘纤维环。Steffen 等亦用生物力学方法阐明了椎间盘的完整是脊柱稳定性的一个重要因素。

椎间盘是具有黏弹性蠕变性中张弛活动的脊柱重要组成部分<sup>[7]</sup>。有文献证实坐位椎间盘力最高、站立时约低 30%、卧位低 50%。戴充气腰围时、椎间盘内压力平均减少约 24%。椎间盘是人体软组织的研究范畴,它的力学特性很明显,既能承重、又能耐震动、冲击、平衡身体结构,所以人们在这方面做了大量的研究工作。Hanson 等认为椎间盘承受外力负重时、椎间盘所承受压力可超过该处 2 倍以上体重,尤其跑跳时由于力矩及加速度关系承受力将会更大。Kulak 和 Gralante 认为椎间盘破裂危险性发生在张力负重较压力负重大时。郭世跋等认为湿椎间盘载荷 1 500 kg 时将被破坏,此时应变是 35%。椎间盘只有在载荷小于 100 kg 时,才是线弹性的、以后就是非线性关系、随载荷增加椎间盘应变下降。苏力等<sup>[7]</sup>对椎间盘进行松弛与蠕变试验,得出定变形条件下的载荷-时间曲线和定载条件下的位移-时间曲线。正常椎间盘的初始松弛率小、达到平衡时间长,平衡时的载荷值大,约为最大载荷的 63%。上述研究对椎间盘的生物力学特性进行了描述,本实验对椎间盘损伤状态下的稳定性进行研究、发现椎间盘切除后其抗扭能力明显下降( $P < 0.05$ )。

经皮穿刺腰椎间盘切割术是通过椎间盘侧后方开口,部分切除髓核组织,降低椎间盘内压力,并且使其内压经侧方开口外泄<sup>[8,9]</sup>。本实验研究表明,椎间盘损伤后脊柱抗扭能力明显下降,其  $T_x$ 、 $T_z$ 、 $R_y$  的  $f_s$  值分别为 221%、175%、403% ( $P < 0.05$ ),而且前屈时, $T_z$  的  $f_s$  值亦为 753%。而椎间盘损伤。后伸的  $f_s$  值为 82%~145%,接近正常脊柱水平。这一结果在指导经皮穿刺腰椎间盘切割术的临床应用上有一定的价值。因此,经皮穿刺腰椎间盘切割术后,由于椎间盘部分切除,患者在旋转及前屈时可能产生脊柱不稳的现象,从而会影响经皮穿刺腰椎间盘切割术治疗腰椎间盘突出症的疗效,我们认为术后患者尽量减少旋转及前屈运动,对手术的康复有着积极的意义。有研究表明,带腰托后,椎间盘内压力平均减少约 24%,作者建议患者术后腰托外固定、可以帮助患者早日恢复,减少脊柱滑脱等并发症的出现。

### 参 考 文 献

- 1 Onik G, Helms CA, Ginsburg L, et al. Percutaneous lumbar discectomy using a new aspiration probe. *AJNR*, 1985, 6 :290-293.
- 2 滕皋军. 全面提高我国经皮椎间盘摘除术水平. *介入放射学杂志*, 1995, 4 :1-2.
- 3 Panjabi MM, Brown M, Lindahl S, et al. Mechanical behavior of the human lumbar and lumbosacral spine as show by three-dimensional load-displacement curves. *J Bone Joint Surg*, 1994, 76A : 413-423.
- 4 Weinstein JN, Goel VK, Nishiyama K, et al. Thoracolumbar "burst" fractures treated conservatively: a lone time follow-up. *Spine*, 1988, 13 :33-38.
- 5 Denis F, Furlong DR, Palazotto AN, et al. Spine instability as defined by the three-column. *Clin Orthop*, 1984, 189 :65-76.
- 6 John A, Nada A, Rymaszewski L, et al. Spinal injection procedures: volume, provider distribution, and reimbursement in the U S medicare population from 1993 to 1999. *Radiology*, 2002, 225 : 723-729.
- 7 苏力. 人体腰椎间盘粘弹特性的实验研究. *生物力学*, 1986, 1 : 36-41.
- 8 Kandziora F, Kerschbaumer f, Starker M, et al. Biomechanical of assessment of transoral plate fixation for atlantoaxial instability. *Spine* 2000, 25 : 1555.
- 9 黄东生, 李春海, 刘尚礼 等. 椎间盘镜髓核摘除术治疗腰椎间盘突出症. *中国脊柱脊髓杂志*. 2001, 11 :266.

(收稿日期 2003-07-11)

# 经皮穿刺腰椎间盘切割术损伤状态的脊柱稳定性研究

作者: 黎元, 洪水棕, 梅海英, 黄祥龙, 沈天真, 胡宙  
作者单位: 黎元, 黄祥龙, 沈天真, 胡宙(200040, 上海复旦大学附属华山医院放射科), 洪水棕(上海交通大学生物力学系), 梅海英(江西省梧州地区人民医院)  
刊名: 介入放射学杂志 **ISTIC PKU**  
英文刊名: JOURNAL OF INTERVENTIONAL RADIOLOGY  
年, 卷(期): 2003, 12(5)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(9条)

1. Onik G, Helms CA, Ginsburg L Percutaneous lumbar discectomy using a new aspiration probe 1985
2. 滕皋军 全面提高我国经皮椎间盘摘除术的水平[期刊论文]-介入放射学杂志 1995(01)
3. Panjabi MM, Brown M, Lindahl S Mechanical behavior of the human lumbar and lumbosacral spine as shown by three-dimensional load-displacement curves 1994
4. Weinstein JN, Goel VK, Nishiyama K Thoracolumbar "burst" fractures treated conservatively: a long time follow-up 1988
5. Denis F, Furlong DR, Palazotto AN Spine instability as defined by the three-column 1984
6. John A, Nada A, Rymaszewski L Spinal injection procedures: volume, provider distribution, and reimbursement in the U S medicare population from 1993 to 1999 2002
7. 苏力 人体腰椎间盘粘弹特性的实验研究 1986
8. Kandziora F, Kerschbaumer f, Starker M Biomechanical of assessment of transoral plate fixation for atlantoaxial instability 2000
9. 黄东生, 李春海, 刘尚礼 椎间盘髓核摘除术治疗腰椎间盘突出症[期刊论文]-中国脊柱脊髓杂志 2001(05)

## 引证文献(1条)

1. 唐勇, 刘良荣, 侯廷全, 刘贤文, 贺开贵, 官彬, 文鹏程, 彭吉明, 廖先国, 黄勇 经皮腰椎间盘旋切术疗效不佳原因分析[期刊论文]-重庆医学 2007(6)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jrfsxzz200305018.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jrfsxzz200305018.aspx)

授权使用: 西安交通大学(xajtdx), 授权号: fad62cdf-c62f-450c-91ea-9e4000d73238

下载时间: 2010年12月2日