

# 用光弹方法观察纵向牵拉力对颈椎关节应力的影响

詹红生<sup>1</sup> 应航<sup>1</sup> 陈文辉<sup>2</sup> 赵家璧<sup>1</sup> 吕荣坤<sup>3</sup>

(1. 浙江中医学院针灸推拿系, 浙江 杭州 310053; 2. 杭州市第一人民医院, 浙江 杭州; 3. 浙江大学力学系, 浙江 杭州)

**【摘要】**目的 观察着力点和角度不同的纵向牵拉力作用下颈椎关节的应力变化。方法 采用光弹材料聚碳酸酯和硅橡胶按 1:1 比例制成颈椎模型, 通过计算模型上形成的等差线干涉条纹级数, 分别观察 C<sub>4-7</sub> 颈椎关节后缘在各种拉力作用下的应力变化。结果 颈椎模型受力后, 在光屏上可以清晰地显示等差线干涉图谱, 计算结果显示, 位于 C<sub>1</sub> 或 C<sub>2</sub> 的牵拉力所产生的应力普遍较高; 就力的方向而言, C<sub>4,5</sub> 关节以 15° 的牵拉力所产生的应力最高, C<sub>5,6</sub> 和 C<sub>6,7</sub> 关节以 25° 的牵拉力所产生的应力最高。结论 颈椎关节后缘所受拉应力大小与牵拉力的着力点和方向之间存在密切关系, 临床施行颈椎拔伸手法时, 根据病变关节的不同, 应选择合适的着力点和牵拉方向。

**【关键词】** 光弹法 颈椎 生物力学

**The effect of vertical cervical traction force upon the stress around the vertebral joints, an experimental observation using light elastic method** ZHAN Hong-sheng, YING Hang, CHEN Wen-hui, et al. Acupuncture and Massage Department of Zhejiang TCM College (Zhejiang Hangzhou, 310053)

**【Abstract】 Objective** To observe the variations of stress magnitude in the cervical vertebra exerted by vertical traction force from various angles and different points. **Methods** The cervical vertebra model was produced using elastic material of light (polycarbonate) and silica rubber (1:1). By calculating the arithmetical progression of interference fringe, the author judged the stress magnitude in the posterior edge of the C<sub>4-7</sub> vertebral bodies when different kinds of pulling force acted on. **Results** The interference pattern was seen clearly on the screen while the force acted on the model. When the pulling force acted on C<sub>1</sub> or C<sub>2</sub>, the greater magnitude of the stress presented in the joints. When the force was acting at an angle of 15° the maximum stress presented in C<sub>4,5</sub> and when the force acted at an angle of 25° the maximum stress presented in C<sub>5,6</sub> and C<sub>6,7</sub>. **Conclusion** The stress distributed upon the posterior edge of the vertebral joints is closely related to the points that the force acted on and the direction of the force. Appropriate points and direction of the pull should be selected according to the change of the lesional joints when manual manipulation is used for the treatment of cervical vertebral disease.

**【Key Words】** Light elastic method Cervical vertebrae Biomechanics

仰卧拔伸手法为治疗颈椎病有效手法<sup>[1]</sup>, 为了弄清该手法作用的力学原理, 本文采用光弹方法对不同方向和不同着力点的拉力作用下, 颈椎关节的应力变化进行了研究, 现报告如下。

## 1 材料与方法

**1.1 颈椎模型的制备** 取成人颈椎 X 线侧位片 80 张, 均具有颈椎生理弧度变直、椎体前后缘骨质增生、椎间隙狭窄等病理特征, 分别测量其外形结构的各种数据, 用光弹材料聚碳酸酯 (南京林业大学产

品) 按 1:1 的比例制成侧位颈椎模型的骨架部分, 厚度为 2 mm; 再用硅橡胶充填椎间隙 (相当于椎间盘的部分)、棘突间 (相当于棘间韧带和棘上韧带的部分), 并与聚碳酸酯紧密粘合。

**1.2 加载方法** 将颈椎模型置于特制的加载支架上, 固定 C<sub>7</sub> 以下的部分, 并保持椎体在上, 棘突在下, 呈放松平仰卧位, 颈部无屈伸, 施加拉力的线绳一端连接棘突末端, 通过一可调节高度的滑轮, 另一端连接法码, 根据使模型出现清晰的干涉条纹, 并且能够承载的拉力来确定法码重量为 24.7 牛顿。着力点分别选择在 C<sub>1</sub> (相当于枕骨粗隆的部位, 为了表

述方便,用 C<sub>1</sub> 表示,下同)、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 棘突的末端,每一着力点通过滑轮调节高度,变换 5 种拉力方向,分别与水平面呈 5°、10°、15°、20°、25° 角,向斜上方牵拉。

1.3 光弹测试与应力计算 采用 409- 型大视场平行光式光弹仪(北京科学仪器厂产品),将固定有颈椎模型的定制加载支架置于其施力架上,投射光源为白光和黄光,光线穿过一组偏振片后,投射在聚碳酸脂模型上,产生等差线干涉条纹,逐一拍下模型平面各种受力条件下的彩色和黑白照片,白光光源拍摄条件为光圈(d) 5.6;曝光时间(t) 0.25 s;黄光源拍摄条件为光圈(d) 3.9;曝光时间(t) 10 s。

由于模型处在双正交圆偏振光场中,模型受力后出现的等差线干涉条纹,反映了应力分布的情况,模型上某一点的主应力差和该点的等差线干涉条纹级数成正比。即:  $\sigma_1 - \sigma_2 = N f / h$  (1) 式中  $\sigma_1 - \sigma_2$  表示主应力差;N 表示等差线干涉条纹级数;f 表示模型材料的条纹值(通过实验测得);h 表示模型的厚度。本实验中采用的模型材料是固定不变的,所以 f 和 h 均为常数;而在模型边界,垂直于边界面的主应力  $\sigma_2 = 0$ ,因此,等差线干涉条纹级数 N 即可直接反应模型某一点主应力的大小。

### 2 结果

2.1 颈椎模型等差线干涉条纹的测量 根据公式(1),设  $\sigma_2 = 0$ ,而 f 和 h 为常数,所以直接计算椎体后缘等差线干涉条纹的级数(N),以 N 来表示该处所受应力的大小(图 1)。对不同着力点和不同拉力方向下,C<sub>4</sub> 以下颈椎各关节间的应力情况进行分析,进而对某一关节的最佳施力条件进行评定。

2.2 C<sub>4,5</sub>椎体后缘应力变化与施力条件的关系 结果见表 1。力的作用点位于 C<sub>2</sub> 时所产生的应力均高于其它各点,其中又以 15° 时的应力最大。

表 1 C<sub>4,5</sub>椎体后缘的应力情况分析表

着力点	施力角度				
	5°	10°	15°	20°	25°
C <sub>1</sub>	2.5	2.0	2.2	2.6	3.0
C <sub>2</sub>	3.3	3.0	4.0	3.2	3.9
C <sub>3</sub>	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7
C <sub>4</sub>	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0

表中数据为 N 值(下同)。

2.3 C<sub>5,6</sub>椎体后缘应力变化与施力条件的关系 结果见表 2。当力的角度与水平面成 10°、20°、25° 角时,来自 C<sub>1</sub> 的牵拉力所产生的应力最高;当力的角度与水平面成 15° 角时,来自 C<sub>2</sub> 的牵拉力所产生的应力

最高;当力的角度与水平面成 5° 角时,来自 C<sub>1</sub> 和 C<sub>2</sub> 的牵拉力所产生的应力相同,均高于其它两个点。

表 2 C<sub>5,6</sub>椎体后缘的应力情况分析表

着力点	施力角度				
	5°	10°	15°	20°	25°
C <sub>1</sub>	3.0	3.0	3.2	3.6	4.0
C <sub>2</sub>	3.0	2.5	3.3	3.0	3.2
C <sub>3</sub>	2.4	2.7	3.0	3.2	3.2
C <sub>4</sub>	2.3	2.6	2.9	3.0	3.1

2.4 C<sub>6,7</sub>椎体后缘应力变化与施力条件的关系 结果见表 3。当力的角度与水平面成 20°、25° 角时,来自 C<sub>1</sub> 的牵拉力所产生的应力最高;当力的角度与水平面成 5°、10°、15° 角时,来自 C<sub>2</sub> 的牵拉力所产生的应力最高。

表 3 C<sub>6,7</sub>椎体后缘的应力情况分析表

着力点	施力角度				
	5°	10°	15°	20°	25°
C <sub>1</sub>	1.9	1.9	2.0	2.4	2.8
C <sub>2</sub>	2.2	2.0	2.2	2.0	2.2
C <sub>3</sub>	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2
C <sub>4</sub>	1.5	1.9	1.9	2.0	2.1

### 3 讨论

采用光弹材料制作的颈椎模型,可以清晰地显示等差线干涉条纹,并根据计算公式,用条纹级数来反映模型某一点的应力情况。本实验结果表明,颈椎关节后缘所受拉应力大小与牵拉力的着力点和方向之间存在密切关系,位于 C<sub>1</sub> 和 C<sub>2</sub> 的牵拉力所产生的应力普遍较高;就力的方向而言,C<sub>4,5</sub> 关节以 15° 的牵拉力所产生的应力最高,C<sub>5,6</sub> 和 C<sub>6,7</sub> 关节以 25° 的牵拉力所产生的应力最高,与理论推断相符合<sup>[2]</sup>。以上结果提示,在临床施行颈椎拔伸手法时,根据病变关节的不同,应选择合适的着力点和拔伸方向。对于颈椎病的治疗,颈椎拔伸手法与机械牵引具有同样的临床疗效,手法施力虽远小于牵引,但通过调整力的方向和着力点,可以使病变关节获得足够的牵拉力,同时又可避免因牵拉力过大所可能导致的软组织损伤,从这一点上来说,手法优于牵引。

(本文图 1 见插页第 3 页)

#### 参考文献

[1] 詹红生,陈省三. 颈椎病的仰卧整复手法. 中国骨伤, 1996, 9(1): 43.  
 [2] 应航. 仰卧整复手法治疗颈椎病的生物力学因素. 中国骨伤, 1997, 10(4): 43-45.

(收稿:1999-04-01 修回:1999-10-24 编辑:李为农)

# 用光弹法观察纵向牵拉力对颈椎关节应力的影响

(正文见 327 页)

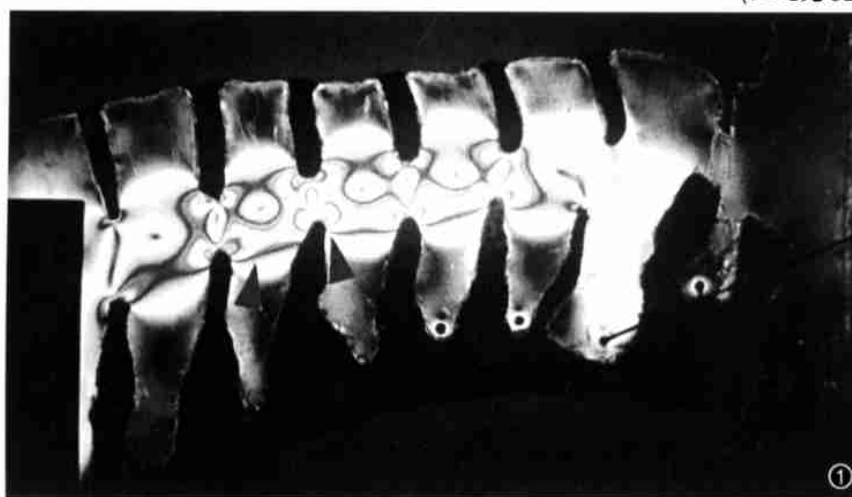


图1 颈椎模型照片(着力点位于C<sub>2</sub>,施力角度25°),箭头所示黄、红、蓝、绿色为等差线干涉条纹,通过公式(1)可计算出等差线干涉条纹级数N值,以此来表示该处所受拉应力的大小

## 多发性骨坏死

(正文见 383 页)

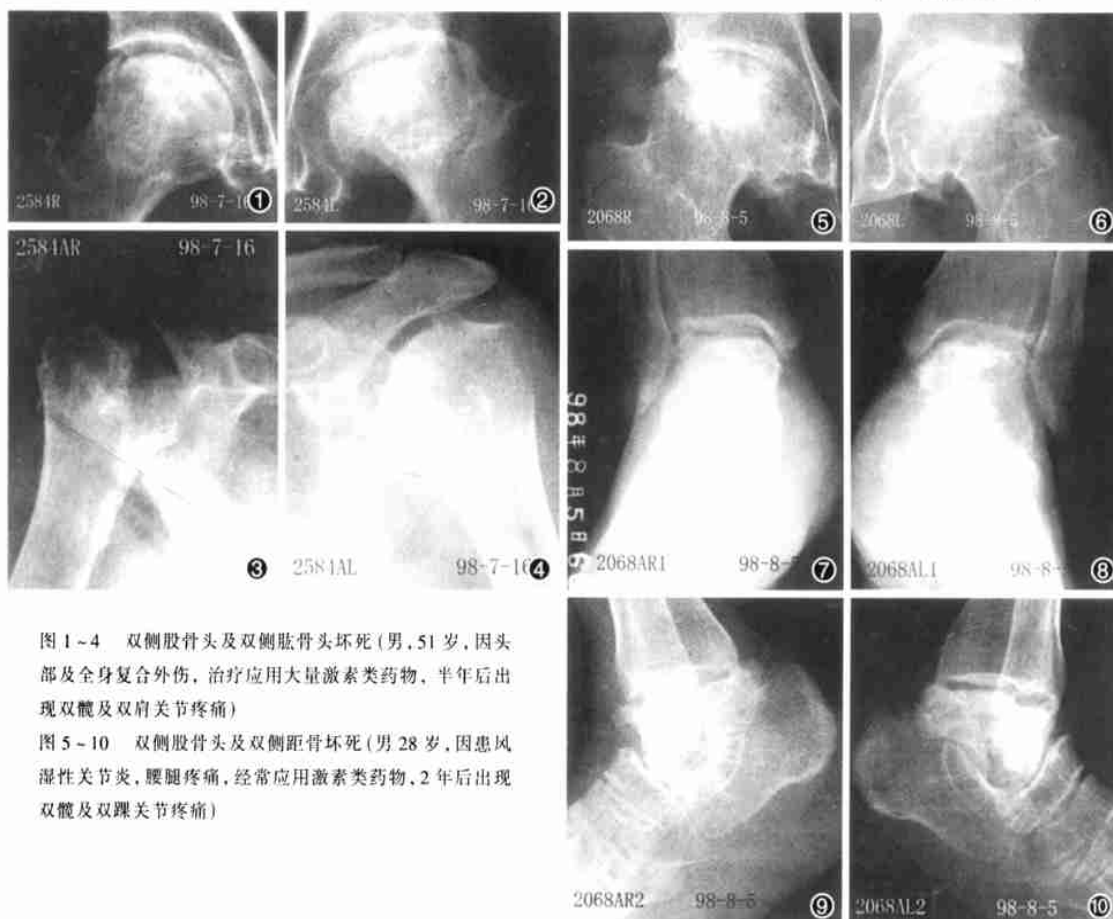


图1~4 双侧股骨头及双侧肱骨头坏死(男,51岁,因头部及全身复合外伤,治疗应用大量激素类药物,半年后出现双髋及双肩关节疼痛)

图5~10 双侧股骨头及双侧距骨坏死(男28岁,因患风湿性关节炎,腰腿疼痛,经常应用激素类药物,2年后出现双髋及双踝关节疼痛)