

文章编号:1004-7220(2017)05-0422-05

# 颈椎棘突骨折累及后方韧带复合体损伤 对羊颈椎生物力学稳定性的影响

吴荣<sup>1</sup>, 闵继康<sup>1</sup>, 黄曙峰<sup>1</sup>, 朱建祥<sup>1</sup>, 李强<sup>2</sup>, 王朝阳<sup>2</sup>, 沈彦<sup>2</sup>, 张文<sup>3</sup>, 杨惠林<sup>3</sup>

(1. 湖州市第一人民医院 骨科, 湖州 313000; 2. 中国人民解放军第九八医院 骨科, 湖州 313000;

3. 苏州大学 骨科研究所, 苏州 215006)

**摘要:** 目的 通过体外羊标本模拟颈椎棘突骨折累及后方韧带复合体 (posterior ligamentous complex, PLC) 损伤对颈椎生物力学稳定性的影响, 探讨颈椎后方结构在维持颈椎稳定性中的作用。方法 将新鲜羊颈椎 C3~6 标本 24 具随机平均分为 3 组: 正常对照组 (A 组); 单纯颈椎棘突骨折组 (B 组); 颈椎棘突骨折合并 PLC 损伤组 (C 组)。在  $1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$  力矩加载下, 分别测量各组在前屈、后伸、左右侧弯和左右旋转 6 种工况下颈椎活动度 (range of motion, ROM), 使用单因素方差分析比较 3 组之间的 ROM 差异。结果 单纯颈椎棘突骨折对羊颈椎稳定性影响不大, 各工况下 ROM 同正常对照组比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 颈椎棘突骨折合并 PLC 损伤组在前屈、后伸及左右旋转工况下 ROM 显著增加, 同正常对照组相比, 差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 颈椎棘突骨折合并 PLC 损伤组在左右侧弯工况下同正常对照组比较 ROM 变化不显著, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。结论 单纯颈椎棘突骨折本身并不影响颈椎整体稳定性, 但颈椎棘突骨折伴有 PLC 损伤时可造成颈椎不稳, 需要手术干预。

**关键词:** 颈椎棘突骨折; 后方韧带复合体; 颈椎不稳; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2017.05.005

## The effects of cervical spinous process fracture with posterior ligamentous complex injury on stability of the goat cervical spine

WU Rong<sup>1</sup>, MIN Ji-kang<sup>1</sup>, HUANG Shu-feng<sup>1</sup>, ZHU Jian-xiang<sup>1</sup>, LI Qiang<sup>2</sup>, WANG Chao-yang<sup>2</sup>, SHEN Yan<sup>2</sup>, ZHANG Wen<sup>3</sup>, YANG Hui-lin<sup>3</sup> (1. Department of Orthopedics, the First People's Hospital of Huzhou, Huzhou 313000, China; 2. Department of Orthopedics, the PLA 98th Hospital, Huzhou 313000, China; 3. Orthopaedic Institute, Soochow University, Suzhou 215006, China)

**Abstract: Objective** To investigate the effect of cervical spinous process fracture with posterior ligamentous complex (PLC) injury on biomechanical stability of the goat cervical spine specimen *in vitro*, and evaluate the role of posterior structure in maintaining the stability of cervical spine. **Methods** Twenty-four fresh goat cervical spine C3-6 specimens were randomly and evenly divided into 3 groups: control group (group A), simple cervical spinous process fracture group (group B) and cervical spinous process fracture with PLC injury group (group C). Under loading of  $1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$  torque, the range of motion (ROM) in each group was respectively measured under 6 working conditions: flexion, extension, lateral bending and axial rotation, and the ROM differences among 3 groups were compared by using one-way ANOVA analysis. **Results** Simple cervical spinous process fracture had little effect on the stability of cervical spine and there was no significant difference in ROM between group B and control group ( $P > 0.05$ ) under all working conditions. Compared with control group, the ROM in flexion, ex-

收稿日期:2016-12-04; 修回日期:2017-01-16

基金项目:南京军区医学科技创新项目 (MS009)。

通信作者:闵继康, 主任医师, E-mail: minjikang007@sina.com。

tension and axial rotation significantly increased in group C ( $P < 0.05$ ), and no significant ROM difference was found in lateral bending between control group and group C ( $P > 0.05$ ). **Conclusions** Simple cervical spinous process fracture does not affect the overall stability of cervical spine. Cervical spinous process fracture with PLC injury is more likely to cause cervical instability than simple cervical spinous process fracture, and surgical intervention is required in cervical spinous process fracture with PLC injury.

**Key words:** Cervical spinous process fracture; Posterior ligamentous complex (PLC); Cervical instability; Biomechanics

颈椎棘突骨折是指发生在颈椎附件的常见骨折类型,以往此型骨折较少得到临床医生重视,一般单纯颈椎棘突骨折以保守治疗为主<sup>[1-3]</sup>。但近年来,颈椎棘突及后方韧带复合体 (posterior ligamentous complex, PLC) 作为维持颈椎稳定性的重要后方结构越来越受到关注,颈椎棘突作为杠杆维持正常的颈椎生理曲度<sup>[4]</sup>,且颈椎棘上韧带和棘间韧带在维持颈椎的正常强度、刚度和颈椎前屈的稳定性中发挥重要作用<sup>[5-6]</sup>。研究表明,颈椎棘突骨折骨折线一旦累及椎板,常合并颈椎 PLC 损伤,可引起颈椎不稳和(或)脊髓损伤<sup>[7]</sup>。然而,究竟是颈椎棘突骨折直接破坏颈椎稳定性,还是颈椎棘突骨折合并颈椎 PLC 损伤时才引起颈椎不稳,目前尚未明确。

本文以羊颈椎标本模拟建立单纯颈椎棘突骨折和颈椎棘突骨折累及 PLC 损伤模型,比较两组模型同正常对照组之间的活动度 (range of motion, ROM) 差异,明确颈椎棘突骨折及颈椎 PLC 损伤对颈椎稳定性的影响,为临床进一步诊治提供思路。

## 1 材料与方法

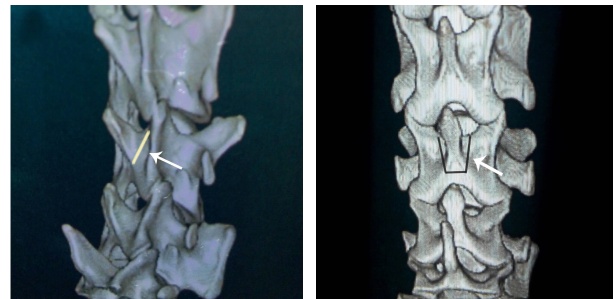
### 1.1 标本制备

选用 24 只成年(3 岁)雄性山羊 C3~6 颈椎标本进行生物力学实验,山羊体重为 30~40 kg。标本制备前均行 X 线检查排除病理性病变,标本去除肌肉及软组织,保留骨与韧带、椎间盘及关节囊等结构,标本在 1~5 °C 下解剖取得,解剖过程中喷洒生理盐水保持标本湿润,解剖完成后双层塑料袋密封,放入 -20 °C 环境中保存。

### 1.2 实验分组

24 具羊颈椎标本(C3~6)随机分为 3 组,分别为正常对照组(A 组)、单纯颈椎棘突骨折组(B 组)、颈椎棘突骨折合并 PLC 损伤组(C 组),每组 6 具。A 组(正常对照组)不做任何处理;B 组(单纯颈椎棘突骨折组)使用线锯从棘突根部锯断,锉刀

锉掉与棘突根部相连的部分椎板(见图 1,箭头所指处为骨折线位置);C 组(颈椎棘突骨折累及 PLC 损伤)在 B 组的基础上给予切断棘间韧带及棘上韧带。由于预实验也证明了棘上韧带及棘间韧带对颈椎稳定性起主要作用,棘上韧带和棘间韧带可以近似模拟整个 PLC,故造模时仅切断了棘上韧带和棘间韧带,颈椎其他结构保持完整性。



(a) 斜位观

(b) 后面观

图 1 累及椎板型颈椎棘突骨折模型示意图

Fig. 1 Diagram of cervical spinous process fracture extending into lamina (a) Oblique view, (b) Posterior view

### 1.3 生物力学测试

实验在苏州大学骨科研究所进行。标本于实验前 24 h 放入 4 °C 冷藏箱,12 h 前取出室温下自然解冻。标本上下端用聚甲酯丙烯酸甲酯 (polymethylmethacrylate, PMMA) 包埋,包埋使用直径 10.0 cm、高度 5.5 cm 聚氯乙烯管 (polyvinylchlorid, PVC),所有标本包埋时均以正常前凸角度(脊柱中立位)固定,包埋过程中喷洒生理盐水保持标本湿润。标本安装在 INSTRON E10000 生物力学测试机 (INSTRON 公司,美国) 上进行非破坏性加载,施加 1.5 N·m 纯力偶矩,使颈椎标本产生前屈、后伸、左右侧弯、左右扭转 6 种活动方式,前屈、后伸及左右侧屈通过弯曲试验进行加载,左右扭转通过扭矩传感器自动装置进行加载。每次测试重复 3 次加载/

卸载循环,在第3次循环时进行运动学测量,第3次允许30 s的蠕变,以减少标本黏弹性的影响。

#### 1.4 统计学分析

采用SPSS 16.0统计软件对各组结果进行统计分析,资料采用均数 $\pm$ 标准差表示,比较采用单因素方差分析(one-way ANOVA),两个实验组与对照组均值之间的两两比较,选用最小显著差法(LSD法),以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 建模结果

正式实验开始之前,采用预实验(3具羊颈椎标本)模拟建模及包埋条件,排除无关变量的影响。正式实验所建模型24具,标本均建模成功。测试过程中,标本没有因应力加载而产生断裂、损坏情况,均顺利完成所有ROM测试。

### 2.2 各组不同工况下ROM比较

加载 $1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 载荷后,正常对照组(A组)、单纯颈椎棘突骨折组(B组)和颈椎棘突骨折合并PLC损伤组(C组)在不同工况下ROM详见表1。

表1 各组不同运动工况下颈椎C3~6的ROM变化( $n=8, \bar{x} \pm s$ )

Tab.1 ROM of the C3-6 specimens under different movement

工况	ROM/ (°)		
	A组	B组	C组
前屈	11.74 $\pm$ 4.19	12.72 $\pm$ 3.57	22.67 $\pm$ 5.07 **
后伸	10.47 $\pm$ 3.18	12.97 $\pm$ 3.02	15.87 $\pm$ 3.36 *
左侧弯	10.38 $\pm$ 2.65	11.82 $\pm$ 3.06	12.14 $\pm$ 3.06
右侧弯	9.56 $\pm$ 3.78	11.82 $\pm$ 3.06	12.10 $\pm$ 2.24
左轴向旋转	14.77 $\pm$ 2.55	15.77 $\pm$ 2.71	24.08 $\pm$ 5.23 **
右轴向旋转	15.17 $\pm$ 3.31	18.17 $\pm$ 4.92	24.93 $\pm$ 5.64 **

注: \*表示C组同A组比较, $P < 0.05$ ; #表示C组同B组比较, $P < 0.05$

(1) 单纯颈椎棘突骨折对颈椎稳定性影响较小,虽然B组在前屈、后伸、左右侧屈及左右扭转6种活动下ROM较A组均有所增加,但是两组ROM比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );

(2) C组在前屈、后伸及左右旋转工况下ROM显著增加,同A组相比,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。C组在左右侧弯工况下同A组比较ROM变化不显著,差异无统计学意义( $P > 0.05$ );同B组比

较,C组在前屈及左右旋转工况下ROM显著增加,差异存在统计学意义( $P < 0.05$ );同B组比较,C组在后伸及左右侧弯工况下ROM变化不显著,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

颈椎棘突骨折致病机制通常分为3类:直接暴力、过度屈伸损伤以及疲劳性骨折<sup>[8]</sup>。疲劳性骨折即铲土者骨折,是由长期应力作用于颈椎棘突所致棘突撕脱骨折,最早见于铲土工人。直接暴力以及过度屈伸损伤引起的颈椎棘突骨折暴力较大,常合并其他损伤,易导致颈椎不稳及颈髓损伤的发生。临床上报道<sup>[7]</sup>,累及椎板型颈椎棘突骨折多合并颈椎PLC损伤,颈椎PLC是脊柱后柱的重要部分,颈椎PLC损伤可破坏颈椎后柱稳定性,出现继发性颈椎不稳及脊髓损伤。

颈椎PLC由棘上韧带、棘间韧带、关节囊韧带和黄韧带组成,棘上韧带和棘间韧带是PLC的主要组成结构,对维持颈椎的强度、刚度和颈椎前屈的稳定性具有重要作用<sup>[6,9-10]</sup>。Gillespie等<sup>[11]</sup>由外至内逐级切除PLC,结果发现棘上韧带、棘间韧带切除后,椎体节段屈曲ROM较PLC完整组上升36%。Takeshita等<sup>[12]</sup>在人尸体新鲜颈椎标本上的生物力学研究中发现,切除棘上韧带、棘间韧带和黄韧带后,颈椎ROM显著增加。李耀等<sup>[9]</sup>研究发现,棘上韧带是维持胸腰椎节段稳定性的关键韧带,棘上韧带断裂后,PLC张力带机能不完整,节段稳定性发生了显著改变。此外,Nolan等<sup>[4]</sup>发现,颈后方的棘突是伸肌的杠杆臂,当棘突被切断时,颈椎的生理活动丧失,进一步并发后凸及其他畸形。因此,颈椎棘突骨折合并颈椎PLC损伤可破坏颈椎的整体稳定性,但颈椎不稳是由单纯颈椎棘突骨折引起还是颈椎棘突骨折合并PLC损伤引起,目前尚不完全明确,这将直接影响到此型特殊骨折的诊断及治疗。

虽然正常人体颈椎体内和体外实验可能更为可靠,但实验变量的不可控性、医学伦理以及标本来源等问题<sup>[13]</sup>使得人体实验难以进行。由于山羊颈椎在活动范围和刚度上与人体颈椎存在一定相似性,故常被用来进行颈椎标本的体外动物实验<sup>[14-16]</sup>。本课题组在羊颈椎标本上分别建立单纯棘突骨折以及颈椎棘突骨折合并PLC损伤模型,比较两组模型

同正常对照组之间的 ROM 差异。实验结果表明,单纯颈椎棘突骨折本身对颈椎整体的稳定性并无较大影响,临床上一旦排除颈椎 PLC 损伤后,给予单纯颈围外固定 4~6 周即可,若无明显疼痛不适,临床上无需特殊处理。颈椎棘突骨折合并 PLC 损伤模型 ROM 较正常对照组在前屈、后伸及左右旋转工况下明显增加,且具有统计学差异,提示颈椎棘突骨折合并 PLC 损伤破坏了颈椎后方的正常生理结构,可引起继发性颈椎不稳及脊髓损伤,故临床上一旦发现颈椎棘突骨折累及椎板,需根据临床资料以及磁共振检查,明确此型骨折是否存在颈椎 PLC 损伤;一旦出现颈椎不稳,需及时给予手术治疗,维持正常的颈椎结构稳定性。根据前人的研究发现以及本实验的研究结果,初步断定颈椎棘突骨折合并颈椎 PLC 损伤可引起颈椎不稳,手术治疗需修复 PLC 以维持颈椎的正常稳定性,建议手术修复韧带的同时需要行颈椎棘突内固定,因为棘间韧带及棘上韧带主要附着在棘突上面,只有棘突固定牢固后韧带才能发挥稳定作用。

本研究的局限性如下:① 采用体外生物力学分析方法,且使用的是山羊颈椎标本,与实际人颈椎标本有一定差异,在建模和分析过程中存在一定的实验误差;② 标本个体差异性存在,虽尽量扩大各组样本量,但个体间差异无法避免,对实验结果有一定影响;③ 考虑到单纯 PLC 损伤并不是本文的研究方向,未设置单纯 PLC 损伤组,故不能明确单纯 PLC 损伤在颈椎不稳中所占的比重;④ 临床实际工作发现,有相当一部分颈椎棘突骨折是多节段骨折,但由于工作量限制,只模拟了单节段棘突骨折,故不能全面地反映多节段棘突骨折的生物力学特性;⑤ 临床上颈椎棘突骨折(累及椎板型)病例较少,临床大样本数据缺乏,仍未得到专家的一致共识,目前仍处于理论探讨阶段。

综上所述,单纯颈椎棘突骨折本身并不影响颈椎整体稳定性,但颈椎棘突骨折伴有 PLC 损伤时可造成颈椎不稳,治疗上需进一步评估患者的影像学资料,准确判断颈椎 PLC 的生理结构完整性,一旦发现颈椎不稳或神经损伤,需要及时行手术治疗。

## 参考文献:

- [1] AKHADDAR A, EL-ASRI A, BOUCETTA M. Multiple isolated thoracic spinous process fractures ( Clay-Shoverler's fracture) [J]. Spine J, 2011, 11(5): 458-459.
- [2] KAZANCI A, GURCAN O, GURCAY AG, et al. Six-level isolated spinous process fracture of the thoracic vertebrae (clay-shoverler's fracture) and a review of the literature [J]. Neurol India, 2015, 63(2): 223-224.
- [3] HAN SR, SOHN MJ. Twelve contiguous spinous process fracture of cervico-thoracic spine [J]. Korean J Spine, 2014, 11(3): 212-213.
- [4] NOLAN JP, SHERK HH. Biomechanical evaluation of the extensor musculature of the cervical spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1988, 13(1): 9-11.
- [5] RADCLIFF K, SU BW, KEPLER CK, et al. Correlation of posterior ligamentous complex injury and neurological injury to loss of vertebral body height, kyphosis, and canal compromise [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(13): 1142-1150.
- [6] PIZONES J, IZQUIERDO E, SANCHEZMARISCAL F, et al. Sequential damage assessment of the different components of the posterior ligamentous complex after magnetic resonance imaging interpretation: Prospective study 74 traumatic fractures [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(11): E662-667.
- [7] MATAR LD, HELMS CA, RICHARDSON WJ. Spinalaminar breach: An important sign in cervical spinous process fractures [J]. Skeletal Radiol, 2000, 29(2): 75-80.
- [8] 吴荣, 沈彦, 王朝阳, 等. 颈椎棘突骨折的研究进展 [J]. 医学综述, 2015, 21(17): 3169-3171.
- [9] 李耀, 沈中海, 王向阳. 后方韧带复合体逐级切除对损伤胸腰椎稳定性的影响 [J]. 医用生物力学, 2015, 30(6): 553-557.
- [10] LI Y, SHEN ZH, WANG XY. Effects from sequential removal of posterior ligamentous complex on stability of injured thoracolumbar spine [J]. J Med Biomech, 2015, 30(6): 553-557.
- [11] PIZONES J, ZUNIGA L, SANCHEZMARISCAL F, et al. MRI study of post-traumatic incompetence of posterior ligamentous complex: Importance of the supraspinous ligament. Prospective study of 74 traumatic fractures [J]. Eur Spine J, 2012, 21(11): 2222-2231.
- [12] GILLESPIE KA, DICKEY JP. Biomechanical role of lumbar spine ligaments in flexion and extension: Determination using a parallel linkage robot and a porcine model [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(11): 1208-1216.
- [13] TAKESHITA K, PETERSON ET, BYLSKI-AUSTROW D, et al. The nuchal ligament restrains cervical spine flexion [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(18): E388-393.
- [14] WEN N, LAVASTE F, SANTIN JJ, et al. Three-dimensional biomechanical properties of the human cervical spine

- in vitro*. II. Analysis of instability after ligamentous injuries [J]. *Eur Spine J*, 1993, 2(1): 12-15.
- [14] DEVRIES NA, GANDHI AA, FREDERICKS DC, *et al*. Biomechanical analysis of the intact and destabilized sheep cervical spine [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(16): E957-963.
- [15] CAO L, DUAN PG, LI XL, *et al*. Biomechanical stability of a bioabsorbable self-retaining polylactic acid/nano-sized beta-tricalcium phosphate cervical spine interbody fusion device in single-level anterior cervical discectomy and fusion sheep models [J]. *Int J Nanomedicine*, 2012, 7: 5875-5880.
- [16] DAENTZER D, WELKE B, HURSCHLER C, *et al*. *In vitro*-analysis of kinematics and intradiscal pressures in cervical arthroplasty versus fusion: A biomechanical study in a sheep model with two semi-constrained prosthesis [J]. *Biomed Eng Online*, 2015, 14(1): 1-15.
- [17] 陈语, 项良碧, 刘军, 等. 前后路重建治疗 II 型 Hangman 骨折对颈椎稳定性的影响 [J]. *医用生物力学*, 2012, 27(6): 608-613.
- CHEN Y, XIANG LB, LIU J, *et al*. Effects of anterior fusion and posterior internal fixation on stability of upper cervical vertebra in type II Hangman fracture [J]. *J Med Biomech*, 2012, 27(6): 608-613.
- [18] 蒲婷, 吕聪伟, 颜滨, 等. 人工颈椎间盘置换术与融合术的生物力学比较 [J]. *医用生物力学*, 2014, 29(2): 105-112.
- PU T, LÜ CW, YAN B, *et al*. *In vitro* study on biomechanical comparison between cervical arthroplasty and fusion [J]. *J Med Biomech*, 2014, 29(2): 105-112.

## · 致读者 ·

### 关于论著文稿中中、英文摘要的书写要求

文摘是以提供文献内容梗概为目的、不加评价和解释、简明确切地记述文献重要内容的短文。摘要应具有自明性和独立性,并拥有与一次文献同等量的主要信息。即不阅读全文就能获得必要的信息。它的详简程度取决于文献的内容,通常中文文摘以不超过 400 字为宜。应以第三人称的语气书写。不要使用“本人”、“作者”、“我们”等作为陈述的主语。

摘要的内容应包括四个要素,即目的、方法、结果、结论。(1)目的:指研究的前提和缘起,即为什么要作此项研究,可以有简单的背景材料。(2)方法:指研究所用的原理、对象、观察和实验的具体方法等。(3)结果:指研究的结果、效果、数据等,着重反映创新性的、切实可行的成果,包括本组研究中的重要数据。(4)结论:指对结果进行综合分析,逻辑推理得出的判断。有的可指出实用价值和推广价值;如有特殊例外的发现或难以解决的问题,可以提出留待今后深入探讨。英文摘要的内容与中文摘要的内容要求大体一致。

英文摘要要求做到语法正确,用词准确,与中文摘要对应,方法、结果可略详于中文摘要。

本刊编辑部