

文章编号:1004-7220(2012)06-0608-06

前后路重建治疗 II 型 Hangman 骨折 对颈椎稳定性的影响

陈 语, 项良碧, 刘 军, 于海龙, 王 琪, 郭明明, 祖启明

(中国人民解放军沈阳军区总医院 骨科, 沈阳 110016)

摘要: **目的** 评价颈前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术重建上颈椎稳定性的生物力学性能,并与临床常用的 C2~3 开槽植骨融合钢板内固定术、后路椎弓根螺钉内固定术作对比。**方法** 6 例新鲜尸体上颈椎标本(含 C2~4),在标本完整(完整组)、C2 双侧椎弓峡部切断加 C2~3 前纵韧带切断加 C2~3 椎间盘切除(Hangman 骨折组)、后路 C2 双侧椎弓根螺钉内固定(后路固定组)、前路 C2~3 植骨融合内固定术(前路内固定组)以及前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术组(前路椎体切除+内固定组)状态下,依次用脊柱三维运动测量系统测试其 C2~3、C3~4 节段分别在 0.5、1.5、2.5 N·m 力矩下的运动范围(range of motion, ROM),并行统计学分析。**结果** (1) C2~3 节段:前路内固定组和前路椎体切除+内固定组在 0.5、1.5、2.5 N·m 力矩载荷下的 6 个方向上,ROM 值较完整, Hangman 骨折组、后路固定组均明显减小($P < 0.05$),前路内固定组与前路椎体切除+内固定组间比较无显著性差异。后路固定组在各种载荷条件下 6 个方向 ROM 均较完整组大($P < 0.05$)。后路固定组在各种载荷条件下前屈和后伸时与骨折组无显著性差异,在所有载荷条件下左右旋转及 2.5 N·m 力矩载荷下左右侧屈时与骨折组间存在显著性差异($P < 0.05$)。(2) C3~4 节段:除前路椎体切除+内固定组外,其余各组在各种载荷条件下 6 个方向 ROM 各组间无显著性差异。在各种载荷下前路椎体切除+内固定组 6 个方向 ROM 明显较其余各组小($P < 0.05$)。Hangman 骨折组、后路固定组、前路内固定组中,虽然前路内固定组在各个方向上 ROM 较其他组略大,但无统计学意义。**结论** 从生物力学观点来看,前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术固定伴有 C2~3 节段前纵韧带、椎间盘损伤的 II 型 Hangman 骨折较 C2 后路椎弓根螺钉固定更为适当和稳定,是治疗伴有 C2~3 椎间盘损伤的 II 型 Hangman 骨折的一个合适选择。

关键词: Hangman 骨折;生物力学特性;内固定;植骨融合;稳定性

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Effects of anterior fusion and posterior internal fixation on stability of upper cervical vertebra in type II Hangman fracture

CHEN Yu, XIANG Liang-bi, LIU Jun, YU Hai-long, WANG Qi, GUO Ming-ming, ZU Qi-ming (Department of Orthopedics, General Hospital of Shenyang Military Area Command of Chinese PLA, Shenyang 110016, China)

Abstract: Objective To evaluate biomechanical properties of internal fixation after C3 corpectomy and C2-4 anterior fusion with Zephir plate in reconstructing stability of the upper cervical vertebra, and compare them with conventionally used anterior internal fixation after C2-3 intervertebral fusion and posterior internal fixation by C2 transpedicle screws. **Methods** Six fresh human upper cervical vertebra specimens (including C2-4) were divided into five groups; the intact specimen group (control group), the incision of the C2-3 group (Hangman group), the posterior internal fixation by C2 transpedicle screw group (posterior fixation group), the anterior internal fixation after C2-3 intervertebral fusion with Zephir plate group (anterior fixation group), and the internal fixation after C3 corpectomy and C2-4 anterior fusion with Zephir plate group (C2-4 incision + internal fixation group). Range

收稿日期:2012-01-12; 修回日期:2012-03-22

基金项目:辽宁省科技攻关项目(2011225021, 2011225041)。

通讯作者:项良碧,主任医师, E-mail: xiangliangbi1963@sina.com。

of motion (ROM) of the C2-3 and C3-4 segments was tested respectively under 0.5, 1.5 and 2.5 N · m moment by measurement system for three-dimensional spinal movement, and the statistical analysis was also conducted.

Results (1) C2-3 segment: ROM of anterior fixation group and C2-4 incision + internal fixation group was significantly smaller than that of Hangman group and posterior fixation group in all six directions under various loading conditions ($P < 0.05$); there was no significant difference between anterior fixation group and C2-4 incision + internal fixation group. ROM of posterior fixation group was larger than that of intact group in all six directions under various loading conditions ($P < 0.05$); There was no significant difference in flexion and extension direction under all loading conditions between posterior fixation group and Hangman group, but significant difference was found in left/right and right/left axial rotation and under 2.5 N · m moment between posterior fixation group and Hangman group ($P < 0.05$). (2) C3-4 segment: there was no significant difference in ROM in six directions under various loading conditions among all groups except for C2-4 incision + internal fixation group. ROM of C2-4 incision + internal fixation group was significantly smaller than that of other groups in all six direction ($P < 0.05$). Although ROM of anterior fixation group was slightly larger than that of Hangman group and posterior fixation group, the difference was not statistically significant. **Conclusions** From the view of biomechanics, internal fixation after C3 corpectomy and C2-4 anterior fusion with Zephir plate is a better surgical option for stabilizing the fracture than that of posterior internal fixation by C2 transpedicle screws to treat type II Hangman fracture with C2-3 intervertebral disc injury.

Key words: Hangman fracture; Biomechanical properties; Internal fixation; Bone graft fusion; Stability

Hangman 骨折(创伤性枢椎滑脱)是一种常见的上颈椎损伤,发病率仅次于齿状突骨折^[1-4]。从致病机制上讲, Hangman 骨折是过伸性损伤,此时枕骨底冲击 C2 后部结构,导致薄弱部位 C2 双侧椎弓峡部骨折;随着过伸损伤的加重,前部结构如韧带、C2~3 椎间盘会出现损伤,从而加重不稳的程度^[5-6]。Hangman 骨折的手术疗法主要适用于不稳定性骨折,包括前路和后路手术^[2,7];前者多采用经口腔或上颈椎行 C2~3 开槽植骨融合术^[7],后者主要包括 C2 椎弓根螺钉内固定术和 C1~3 融合、枕颈融合术等^[8]。以往研究曾报道不同的实验方法干预正常上颈椎、损伤、固定的生物力学特点,但大部分集中在齿状突骨折方面^[10-11],针对 II 型 Hangman 骨折的研究很少。目前还没有文献对前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术的生物力学特点进行研究。

本实验拟采用新鲜尸体标本通过脊柱三维运动稳定性测量方法,评价后路椎弓根螺钉固定、前路 C2~3 植骨融合内固定术和前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术 3 种方法重建 II 型 Hangman 骨折稳定性的效果。

1 材料和方法

1.1 标本制备

新鲜尸体含完整上颈部标本 6 例,均死于急性

颅脑损伤,男 5 例,女 1 例,年龄 24~69 岁,平均 42.3 岁,生前无疾患。每个标本由枕骨(OC)、第 1、2、3、4 颈椎(C1、C2、C3、C4)组成,大体剔除皮肤、肌肉等组织,每个颈椎标本均摄正、侧位 X 线片,以排除枕颈部的意外损伤、畸形及其他病变,并作为操作时的参考。双层塑料袋密封,置于 -20 °C 保存。标本保存时间 7~57 d,平均 26 d。实验当天于室温下自然解冻,仔细剔除残余肌肉,保留骨、关节及韧带组织和关节囊。

1.2 实验分组

依次测试颈椎标本在 5 种情况下的枕颈部三维运动状况:

(1) 完整标本组:采用生理状态的枕颈部标本。标本修整后,不作任何结构破坏及内固定处理。

(2) Hangman 骨折组:按照 Arand 等^[12]介绍的方法,用线锯在双侧枢椎椎弓峡部处斜形切断椎弓峡部造成 II 型 Hangman 骨折,用 12 号手术刀片切断 C2~3 之间的前纵韧带,并向上下各分离 1 mm,再用尖手术刀片和髓核钳切除 C2~3 钩椎关节间椎间盘,保持其他骨、关节、韧带、关节囊的完整。

(3) 后路 C2 双侧椎弓根螺钉内固定组(后路内固定组):在 Hangman 骨折组的基础上,按 Judet 法^[12]常规钻孔、攻丝、测深后,在两侧拧入相应长度 AO 松质骨螺钉行双侧 C2 椎弓根螺钉固定,螺钉长度 20~26 mm,直径 3.5 mm。进针点位于距 C2 椎

弓内缘向外 5 mm,距椎板上缘向下 5 mm,方向为外侧偏 25°,向尾侧偏 15°。

(4) 前路 C2~3 植骨融合内固定术组(前路内固定组):在 Hangman 骨折组的基础上,取实验过程中多余的颅骨修成大小、形状合适的植骨块,嵌入切除椎间盘后的间隙内,用短节段 Zipher 颈前路内固定系统(Medtronic, Sofamor Danek, 美国)行前路固定,钢板长度 26 mm,螺钉长度 13 mm、直径 3.5 mm,分别在 C2、C3 椎体经开口、攻丝、钢板螺钉植入、螺钉锁紧的常规手术步骤,完成固定。

(5) 前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术组(前路椎体切除+内固定组):切除 C3~4 椎间盘,在双侧颈长肌内侧行 C3 椎体次全切除直达后纵韧带,取实验过程中多余的颅骨修成大小、形状合适的两面皮质骨植骨块,嵌入切除 C3 椎体后的间隙内,用 Zipher 颈前路内固定系统(Medtronic, Sofamor DaNZk, 美国)行前路固定,钢板长度 42 mm,螺钉长度 13 mm,螺钉为直径 3.5 mm,分别在 C2、C4 椎体经开口、攻丝、钢板螺钉植入、螺钉锁紧的常规手术步骤,完成固定。

1.3 生物力学测试

采用同济大学材料力学实验室自行研制的脊柱三维运动测量系统,主要由两部分组成:① 脊柱三维运动试验机;② 脊柱三维运动立体测量的计算机图像处理系统,主要包括摄像机及切换器、图像监视器、vC32 图像卡和计算机、系统定标架、录像设备等。该系统根据计算机立体视觉模型建立定位系统,计算出脊柱多节段的空间点坐标集合,通过可测量三维坐标的软件,对脊柱三维运动的变化进行计算。

将标本固定于三维运动测量仪后,保持自然状态。在 O2~C3~C4 的前壁骨质内分别嵌入 3 枚尾部直径 1.5 mm 的金属钉,钉尾记号笔描记后作为散斑标志点(3 点不共线)。在十字加载夹具和三维运动测量仪之间的滑槽内缠绕加载尼龙丝绳,调整不同的缠绕方式,连接砝码,用加载盘平衡砝码平衡加载盘重量,以使前载荷为 0。参照 Oda 等^[13]的实验方法,对标本施加 $\pm 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的纯力偶矩作为加载的最大力矩,通过十字形加载夹具对枕颈部标本和实验模型分别施以一对大小相等、方向相反、互为

平行的力,产生前屈/后伸、左/右侧弯、左/右轴向旋转的纯力偶矩。使枕颈部标本产生相应的 6 种生理性运动方式。加载方式采用 3 次最大力矩,零周期方式,第 3 次卸载并允许标本有 30 s 的蠕变后,开始测量并计算关节活动度(range of motion, ROM)。

运用以数字散斑相关法为原理的立体光测技术和计算机图像处理系统与分析技术对脊柱节段的三维运动进行分析。计算 ROM 的大小,ROM 值增加表示稳定性下降。

1.4 统计学处理

计算 ROM 的样本均数和标准差。将每个实验组的三维运动变化的数据输入计算机,采用 SAS 统计软件用重复测量的方差分析进行多重比较,并用 LSD 法做两两比较,差异显著性定义为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 Hangman 骨折标本行 3 种内固定后 C2~3 椎体运动节段的稳定性

前路内固定组和前路椎体切除+内固定组在 0.5、1.5、2.5 $\text{N} \cdot \text{m}$ 力矩载荷下的前屈、后伸、左右侧屈、左右轴向旋转 6 个方向上,C2~3 节段 ROM 值较完整组、Hangman 骨折组、后路固定组均明显减小($P < 0.05$),前路内固定组与前路椎体切除+内固定组间比较无显著性差异。

后路固定组在各种载荷条件下前屈和后伸时 C2~3 节段 ROM 均较 Hangman 骨折组稍小,但差异不明显($P > 0.05$);但较完整组明显大($P < 0.05$)。后路固定组在所有载荷条件下左右轴向旋转时和 1.5 $\text{N} \cdot \text{m}$ 载荷下右侧屈以及 2.5 $\text{N} \cdot \text{m}$ 力矩载荷下左右侧屈时与完整组、Hangman 骨折组相比存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 Hangman 骨折标本行 3 种内固定后 C2~4 椎体运动节段的稳定性

在 0.5、1.5、2.5 $\text{N} \cdot \text{m}$ 力矩载荷下前路椎体切除+内固定组前屈、后伸、左右侧屈、左右轴向旋转时 C3~4 节段 ROM 值明显较完整组、Hangman 骨折组、后路固定组小($P < 0.05$)。完整组、Hangman 骨折组、后路固定组、前路内固定组中,虽然前路内固定组在各个方向上 ROM 较其他组略大,但差异无统计学意义(见表 1~6)。

表 1 各组标本在 $\pm 0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 载荷下 C2~3 椎体间运动的运动范围(单位:°)

Tab.1 Range of motion of C2-3 for the specimen under the load of $\pm 0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$

分组	前屈	后伸	左侧屈	右侧屈	左轴向旋转	右轴向旋转
完整组	4.17 \pm 0.58 ^{abcd}	4.32 \pm 0.44 ^{abcd}	4.16 \pm 0.62 ^{abd}	4.42 \pm 0.29 ^{abd}	5.44 \pm 1.11 ^{abcd}	5.20 \pm 0.98 ^{abcd}
Hangman 骨折组	7.29 \pm 1.72 ^{bd}	10.86 \pm 2.91 ^{bd}	6.72 \pm 1.17 ^{bd}	7.07 \pm 1.38 ^{bd}	10.09 \pm 2.25 ^{bed}	9.88 \pm 2.34 ^{bed}
后路固定组	6.41 \pm 1.43 ^{bd}	8.87 \pm 0.72 ^{bd}	5.17 \pm 0.94 ^{bd}	5.23 \pm 1.02 ^{bd}	6.76 \pm 1.82 ^{bd}	6.56 \pm 1.20 ^{bd}
前路内固定组	1.92 \pm 0.89	1.04 \pm 0.50	2.14 \pm 1.11	2.09 \pm 0.39	2.43 \pm 0.86	2.22 \pm 0.77
前路椎体切除 + 内固定组	1.53 \pm 0.58	1.20 \pm 0.65	1.92 \pm 0.46	2.10 \pm 0.37	2.99 \pm 0.56	2.96 \pm 0.97

表 2 各组标本在 $\pm 1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 载荷下 C2~3 椎体间运动的运动范围(单位:°)

Tab.2 Range of motion of C2-3 for the specimen under the load of $\pm 1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$

分组	前屈	后伸	左侧屈	右侧屈	左轴向旋转	右轴向旋转
完整组	5.82 \pm 1.06 ^{abcd}	6.55 \pm 0.33 ^{abcd}	6.12 \pm 0.62 ^{abd}	5.74 \pm 0.31 ^{abcd}	6.82 \pm 0.80 ^{abcd}	6.47 \pm 0.91 ^{abcd}
Hangman 骨折组	11.05 \pm 1.33 ^{bd}	13.28 \pm 2.18 ^{bd}	9.64 \pm 1.75 ^{bd}	10.14 \pm 1.65 ^{bed}	12.00 \pm 2.72 ^{bed}	11.98 \pm 2.81 ^{bed}
后路固定组	10.47 \pm 2.33 ^{bd}	11.46 \pm 1.13 ^{bd}	8.58 \pm 1.28 ^{bd}	8.16 \pm 0.83 ^{bd}	10.01 \pm 0.96 ^{bd}	9.87 \pm 0.64 ^{bd}
前路内固定组	2.38 \pm 0.74	2.18 \pm 0.31	2.35 \pm 0.24	2.09 \pm 0.16	2.62 \pm 0.41	2.80 \pm 0.74
前路椎体切除 + 内固定组	2.67 \pm 1.48	2.30 \pm 0.94	2.70 \pm 0.20	2.74 \pm 0.89	3.49 \pm 0.37	3.91 \pm 0.31

表 3 各组标本在 $\pm 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 载荷下 C2~3 椎体间运动的运动范围(单位:°)

Tab.3 Range of motion of C2-3 for the specimen under the load of $\pm 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$

分组	前屈	后伸	左侧屈	右侧屈	左轴向旋转	右轴向旋转
完整组	8.16 \pm 0.74 ^{abcd}	8.30 \pm 0.42 ^{abcd}	7.56 \pm 0.67 ^{abcd}	7.28 \pm 0.78 ^{abcd}	8.49 \pm 1.19 ^{abcd}	8.83 \pm 0.76 ^{aabcd}
Hangman 骨折组	13.31 \pm 1.39 ^{bd}	15.27 \pm 2.89 ^{bd}	11.97 \pm 1.84 ^{bed}	12.82 \pm 2.31 ^{bed}	14.44 \pm 2.63 ^{bed}	14.15 \pm 2.74 ^{bed}
后路固定组	11.76 \pm 1.31 ^{bd}	14.26 \pm 2.53 ^{bd}	9.12 \pm 0.93 ^{bd}	9.89 \pm 0.85 ^{bd}	11.54 \pm 0.77 ^{bd}	11.06 \pm 0.79 ^{bd}
前路内固定组	3.86 \pm 1.06	2.72 \pm 0.71	2.74 \pm 0.61	2.64 \pm 0.47	2.83 \pm 0.18	2.69 \pm 0.96
前路椎体切除 + 内固定组	3.32 \pm 0.92	2.81 \pm 0.72	3.07 \pm 0.50	2.96 \pm 0.23	3.79 \pm 0.38	4.35 \pm 0.63

注:与 Hangman 骨折组比较,^a $P < 0.05$;与前路椎体切除 + 内固定组比较,^b $P < 0.05$;与后路固定组比较,^c $P < 0.05$;与前路内固定组比较,^d $P < 0.05$

表 4 各组标本在 $\pm 0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 载荷下 C3~4 椎体间运动的运动范围(单位:°)

Tab.4 Range of motion of C3-4 for the specimen under the load of $\pm 0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$

分组	前屈	后伸	左侧屈	右侧屈	左轴向旋转	右轴向旋转
完整组	4.71 \pm 0.47 ^a	4.94 \pm 0.63 ^a	5.34 \pm 0.46 ^a	5.31 \pm 0.47 ^a	5.63 \pm 1.40 ^a	5.78 \pm 1.41 ^a
Hangman 骨折组	5.12 \pm 1.95 ^a	4.72 \pm 1.84 ^a	6.39 \pm 1.85 ^a	6.74 \pm 2.06 ^a	6.87 \pm 0.76 ^a	6.70 \pm 0.76 ^a
后路固定组	5.76 \pm 1.53 ^a	4.78 \pm 1.07 ^a	5.21 \pm 1.51 ^a	4.98 \pm 1.14 ^a	5.37 \pm 0.83 ^a	5.91 \pm 0.92 ^a
前路内固定组	4.32 \pm 1.61	5.23 \pm 1.09	4.96 \pm 1.03	5.01 \pm 0.91	5.79 \pm 1.71	5.97 \pm 1.23
前路椎体切除 + 内固定组	1.89 \pm 0.56	1.06 \pm 0.88	1.88 \pm 0.49	1.95 \pm 0.70	2.58 \pm 1.20	2.80 \pm 1.07

注:与前路椎体切除 + 内固定组比较,^a $P < 0.05$

表5 各组标本在 $\pm 1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 载荷下C3~4椎体间运动的运动范围(单位:°)Tab.5 Range of motion of C3-4 for the specimen under the load of $\pm 1.5 \text{ N} \cdot \text{m}$

分组	前屈	后伸	左侧屈	右侧屈	左轴向旋转	右轴向旋转
完整组	6.80 \pm 0.48 ^a	6.03 \pm 0.63 ^a	6.78 \pm 0.91 ^a	7.14 \pm 1.04 ^a	7.13 \pm 1.63 ^a	7.31 \pm 1.80 ^a
Hangman 骨折组	6.91 \pm 2.61 ^a	6.06 \pm 1.93 ^a	8.34 \pm 2.08 ^a	8.29 \pm 2.01 ^a	7.78 \pm 0.63 ^a	8.28 \pm 0.83 ^a
后路固定组	7.11 \pm 1.54 ^a	5.58 \pm 0.85 ^a	6.94 \pm 1.21 ^a	6.87 \pm 0.74 ^a	8.21 \pm 1.44 ^a	7.31 \pm 1.29 ^a
前路内固定组	6.91 \pm 1.69	6.26 \pm 2.00	7.62 \pm 0.93	7.49 \pm 0.82	7.21 \pm 1.52	7.60 \pm 1.64
前路椎体切除 + 内固定组	2.87 \pm 0.40	1.86 \pm 0.48	2.50 \pm 0.64	2.21 \pm 0.95	2.91 \pm 0.20	3.39 \pm 0.81

表6 各组标本在 $\pm 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 载荷下C3~4椎体间运动的运动范围(单位:°)Tab.6 Rang of Motion of C3-C4 for the specimen under the load of $\pm 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$

分组	前屈	后伸	左侧屈	右侧屈	左轴向旋转	右轴向旋转
完整组	8.90 \pm 0.67 ^a	8.47 \pm 0.74 ^a	9.88 \pm 1.28 ^a	10.19 \pm 1.98 ^a	9.89 \pm 1.48 ^a	9.60 \pm 1.09 ^a
Hangman 骨折组	8.56 \pm 2.35 ^a	7.98 \pm 2.62 ^a	10.19 \pm 2.93 ^a	11.04 \pm 2.28 ^a	9.41 \pm 1.45 ^a	9.56 \pm 0.81 ^a
后路固定组	9.03 \pm 1.57 ^a	7.87 \pm 1.25 ^a	9.78 \pm 0.96 ^a	9.91 \pm 1.33 ^a	9.43 \pm 1.78 ^a	9.21 \pm 1.42 ^a
前路内固定组	9.65 \pm 1.39	9.16 \pm 2.87	10.84 \pm 0.73	11.13 \pm 0.82	10.25 \pm 2.07	10.86 \pm 2.04
前路椎体切除 + 内固定组	3.76 \pm 1.20	2.12 \pm 0.34	3.27 \pm 1.19	2.51 \pm 1.01	2.88 \pm 0.66	3.45 \pm 1.15

注:与前路椎体切除+内固定组比较,^a $P < 0.05$

3 讨论

本实验采用 Panjabi 等^[14]提出的多向柔度测定法,即以外科手术方法复制某一损伤模型,对其施加标准载荷,观测其三维运动的变化,从而推测损伤结构对脊柱稳定性的作用。目前大多数对离体脊柱运动的分析用节段间的角度变化和节段间的位移来表示,通常称为脊柱的运动范围^[15-16]。

本实验采用了当前先进的数字散斑相关法光测技术,通过精密的测量和计算相比以往通过照像和测量 X 线片的方法能提供更高的稳定性和精确性。Arand 等^[12]在进行 Hangman 骨折模型生物力学实验时采用 $\pm 2.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的纯力偶矩没有出现标本损害的情况,得到了满意的实验结果。Shea 等^[17]在对 9 个标本进行的测试中发现,导致标本损害的平均牵张载荷为 (499 \pm 148) N,伸展力矩为 (4.0 \pm 3.1) $\text{N} \cdot \text{m}$,损害位置主要在下颈椎。本研究模型中,在椎弓峡部切断后逐级加重前路不稳使 C2~3 活动性增加,力矩限制在最大 2.5 $\text{N} \cdot \text{m}$ 以防止标本损害,期望获得接近生理状态的运动范围结果。

本实验对 2 种前路内固定和 1 种后路内固定重建 II 型 Hangman 骨折稳定性的效果进行了比较。结果表明 2 种前路内固定,即前路 C2~3 植骨融合内固定术和前路 C3 椎体大部分切除+植骨融合钢板系统内固定术固定后,C2~3 节段 ROM 在各种载荷下 6 个方向上均明显下降;说明 2 种前路固定方法能对 Hangman 骨折伴 C2~3 椎间盘损伤的不稳状态提供坚强的固定,且两者无生物力学上的差异。而后路椎弓根螺钉固定后,C2~3 节段 ROM 较 Hangman 骨折伴 C2~3 椎间盘切除组小,在侧屈和轴向旋转时与完整标本、Hangman 骨折伴 C2~3 椎间盘切除组均有显著差异,说明 C2 后路椎弓根螺钉固定技术在固定 Hangman 骨折时有一定的抗旋转和侧屈的作用,但对 Hangman 骨折伴 C2~3 椎间盘损伤的时候不能提供足够的稳定。

另外,本实验在对 C3~4 节段进行 ROM 检测时,前路内固定组数值较完整标本、Hangman 骨折组、后路固定组稍大,虽然无统计学意义,但可能是导致固定后远期相邻节段退变的基础。前路椎体切除+内固定组 C3~4 节段 ROM 明显下降,即其牺

牲了 C3 ~ 4 节段的运动。本实验结果与 Arand 等^[15]的研究结果相似: C2 后路椎弓根螺钉在固定 Hangman 骨折伴 C2 ~ 3 椎间盘损伤的病例时对抗侧屈和旋转的能力略优,而对矢状面不稳的固定作用明显不足,这主要是因为其对失稳的 C2 ~ 3 节段没有直接的固定作用。

总之,在 Hangman 骨折模型经过逐级切断双侧椎弓峡部、C2 ~ 3 前纵韧带和切除 C2 ~ 3 椎间盘后,在经过前路 C2 ~ 3 植骨融合内固定术和前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术后, C2 ~ 3 节段运动范围显著减小,而 C2 后路椎弓根螺钉固定对 C2 ~ 3 节段则没有明显稳定作用。Hangman 骨折临床上常伴有 C2 ~ 3 节段韧带、椎间盘损害导致的不稳,故前路固定从生物力学观点来看是最适当和稳定的固定方法;只有当 Hangman 骨折没有合并明显的韧带、椎间盘损害时,后路弓根螺钉固定才是适当的。对于伴有 C2 ~ 3 椎间盘损伤的 Hangman 骨折治疗而言,前路 C3 椎体大部分切除、植骨融合钢板系统内固定术是一个可供选择的措施之一。由于新鲜尸体标本获得困难,本实验存在样本量较小的局限性,故所得的实验结果可能代表性不强。今后将在进一步的深入相关研究中增加样本量。

参考文献:

- [1] Blondel B, Metellus P, Fuentes S, *et al.* Single anterior procedure for stabilization of a three-part fracture of the axis (odontoid dens and hangman fracture): Case report [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(7): E255-257.
- [2] Hu Y, Ma WH, Xu RM, *et al.* Pedicle lag screw for the treatment of indicated Hangman fractures [J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2008, 21(9): 678-680.
- [3] Rajasekaran S, Vidyadhara S, Shetty AP. Iso-C3D fluoroscopy-based navigation in direct pedicle screw fixation of Hangman fracture: A case report [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2007, 20(8): 616-619.
- [4] Bono CM, Schoenfeld AJ, Anderson PA, *et al.* Observer variability of radiographic measurements of C2 (axis) fractures [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2010, 35(12): 1206-1210.
- [5] Shimamura Y, Kaneko K. Irreducible traumatic spondylolisthesis of the axis: Case report and review of the literature [J]. *Injury*, 2008, 39(3): 371-374.
- [6] Hua Q, Ma WH, Zhao LJ, *et al.* Clinical application of multi-spiral CT thinner scanning and reconstruction in the diagnosis of atlantoaxial fracture and dislocation [J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2009, 22(5): 349-352.
- [7] 张沛, 刘斌, 吴一民, 等. 不稳定 Hangman 骨折颈椎前路融合金属植入物内固定方式的对比 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(39): 7295-7298.
- [8] Verheggen R, Jansen J. Hangman fracture: Arguments in favor of surgical therapy for type II and III according to Edwards and Levine [J]. *Surg Neurol*, 1998, 49(3): 253-261.
- [9] Ivancic PC, Beauchman NN, Mo F, *et al.* Biomechanics of halo-vest and dens screw fixation for type II odontoid fracture [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(5): 484-490.
- [10] Liu TL, Yan WJ, Han Y, *et al.* Biomechanical performance of different wires and cable fixation devices in posterior instrumentation for atlantoaxial instability [J]. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao*, 2010, 30(5): 1127-1131.
- [11] Elgafy H, Potluri T, Goel VK, *et al.* Biomechanical analysis comparing three C1-C2 transarticular screw salvaging fixation techniques [J]. *Spine*, 2010, 35(4): 378-385.
- [12] Arand M, Neller S, Kinzl L, *et al.* The traumatic spondylolisthesis of the axis. A biomechanical in vitro evaluation of an instability model and clinical relevant constructs for stabilization [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2002, 17(6): 432-438.
- [13] Oda I, Abumi K, Sell LC, *et al.* Biomechanical evaluation of five different occipito-atlanto-axial fixation techniques [J]. *Spine*, 1999, 24(22): 2377-2382.
- [14] Panjabi MM. Three-dimensional testing of the stability of spinal implants [J]. *Orthopade*, 1991, 20(2): 106-111.
- [15] 姜永立, 邹远文, 黄学进, 等. 人体脊柱三维运动测量及力学加载进展 [J]. *医用生物力学*, 2009, 24(4): 311-316.
- [16] Jiang YL, Zhou YW, Huang XJ, *et al.* Advance in measuring and loading methods of 3-dimension human spine movement [J]. *J Med Biomech*, 2009, 24(4): 311-316.
- [17] 季伟, 王向阳. 人体脊柱运动测量方法研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2011, 26(1): 92-96.
- [18] Ji W, Wang XY. Advances in measuring methods for human spinal movement [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(1): 92-96.
- [19] Shea M, Wittenberg RH, Edwards WT, *et al.* In vitro hyperextension injuries in the human cadaveric cervical spine [J]. *J Orthop Res*, 1992, 10(6): 911-916.