

• 基础研究 •

几种寰枢椎后路内固定方式的实验研究

吴斌¹, 何姗¹, 林仲可², 吕荣坤¹

(1. 浙江大学机械与能源学院力学系, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江中医学院)

【摘要】 目的: 对寰枢椎齿状突 II 型骨折实验模型的 4 种后路内固定方式下的三维运动范围进行实验研究, 为临床选择内固定方法提供生物力学依据。方法: 实验采用 10 具新鲜人体寰枢椎标本 ($C_0 - C_3$), 制成寰枢椎齿状突 II 型骨折实验模型, 使实验模型在不同固定方式下模拟人体寰枢椎的三维运动 (前屈、后伸、左右侧屈、左右旋转), 并选用应变式传感器对运动范围的角度进行测量研究。结果: 在 1.53 Nm 作用下 4 点固定的寰枢椎三维运动范围最小, 其前屈、后伸、左右侧屈、左右旋转角度分别为 1.8° 、 2.0° 、 1.2° 、 1.1° 、 3.2° 、 3.0° 。结论: 实验研究表明 4 点固定有更好的生物力学稳定性, 采用应变式传感器能够对寰枢椎的三维运动进行测量, 具有直观、实时、方法简单、结果可靠等优点。

【关键词】 寰枢关节; 骨折固定术, 内; 生物力学

Experimental research of several posterior atlantoaxial fixation techniques WU Bin^{*}, HE Shan, LIN Zhong-ke, LÜ Rong-kun^{*} Department of Engineering Mechanics, College of Mechanical and Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China

ABSTRACT Objective To study three-dimensional movement of four type of posterior atlantoaxial fixation techniques of type II odontoid process fracture **Methods** Ten fresh cadaveric specimens ($C_0 - C_3$) were studied to compare three-dimensional movement of four type posterior atlantoaxial fixation techniques by strain sensor **Results** According to experiment, the movement range of four point fixation techniques was least. Range of three-dimensional movement of atlantoaxial joint in four-point fixation technique for flexion, extension, left lateral bending, right lateral bending and left axial rotation, right axial rotation were 1.8° , 2.0° , 1.2° , 1.1° , 3.2° , 3.0° . **Conclusion** Four-point fixation techniques is superior to other fixation techniques. The study shows that this method had following merit: direct viewing, real time, simple in measurement and reliable in result.

Key words Atlantoaxial joint; Fracture fixation, internal; Biomechanics

寰枢椎不稳可因创伤、炎症、局部畸形、肿瘤等引起, 包括齿状突骨折、寰枢椎弓骨折、枢椎椎弓骨折以及因此造成的寰枢椎脱位等情况, 易致颈脊髓受压, 甚至威胁患者的生命。近年来, 越来越多的学者提倡手术治疗, 并在手术方式和治疗效果上已取得很大进展。从生物力学的角度来看, 寰枢椎融合术最为合理、有效。目前寰枢椎后路融合术所采用的固定方式主要有: 以 Brooks 和 Galle 法为代表的钢丝固定、椎板夹固定、经关节螺钉固定、寰枢椎侧块螺钉加钢板固定。根据临床初步应用, 寰枢椎后路双侧经关节螺钉加 Apofix 椎板夹固定 (简称 4 点固定), 具有更可靠的生物力学稳定性, 并使患者免除术后需辅助外固定支具所带来的不便, 且术后的骨性融合概率几乎为 100%。本次实验用应变式传感器测量寰枢椎的三维运动, 比较 4 种不同固定方式的生物力学的稳定性, 并对其机制作初步探讨, 为这种新的固定方式提供实验依据。

1 标本制备及实验模型的建立

1.1 标本制备 采用新鲜的枕颈部骨韧带标本, 分别取自 10 例青壮年男性, 均系死于急性颅脑外伤。死亡至取材时间约为 5 h (经大体观察及 X 线摄片证实寰枢椎无退变及骨性异常)。用双层塑料袋密封, 贮藏于 -20°C 的恒温冰箱中。实验前, 标本在常温下逐级自然解冻 (约需 12~18 h)。解冻后立即剔净肌肉, 保证骨、韧带及关节囊的完整。每个标本由枕骨基底 (C_0) 和 $C_1 - C_3$ 组成。将 C_3 固定在下包埋盒中, C_0 固定在上包埋盒中。将传感器和上包埋盒牢固固定, 下包埋盒和试验机牢固固定, 通过试验机对 C_1 、 C_2 施加 1.53 Nm 的最大力矩。

1.2 实验模型的建立

1.2.1 齿状突 II 型骨折模型的建立 (A 组) 于寰枢椎间隙纵向切开韧带, 显露齿状突根部, 用骨刀或骨凿行切骨术制成齿状突 II 型骨折模型。本次实验采用齿状突 II 型骨折模型作为对照组。

1.2.2 Apofix 椎板夹固定 (B 组) 于 C_1 后弓结节两侧植入

上椎板钩, 在 C₂、C₃ 椎板间隙植入下椎板钩, 并将上椎板钩的长臂套入椎板钩的间隙内, 见复位良好后, 应用压紧钳对两侧椎板钩均衡用力压紧, 从而完成整体连接。

1.2.3 4点固定 (C组) 先进行 Apofix 椎板夹固定后, 于枢椎椎板与下关节突的交界部, 距椎板下缘 2~3 mm, 以内斜 10°、上倾 50°的方向置入直径 3.0 或 3.5 mm、合适长度的经关节螺钉, 使其从寰椎侧块前方穿出骨皮质。

1.2.4 Magerl-Gallie法固定 (D组) 先去除 Apofix 椎板夹, 保留两侧的经关节螺钉, 同时采用 Gallie法固定: 用直径 0.7 mm 的钢丝绕过寰椎后弓和枢椎棘突根部, 取一木块 (代替植骨骨块) 放置在 C₂ 和 C₃ 椎板之间, 用钢丝固定。

1.2.5 寰枢椎侧块螺钉加钢板固定 (E组) 寰椎侧块螺钉固定是在寰椎后结节中点旁 18~20 mm 与后弓下缘向上 2 mm 的交点, 经后弓侧块螺钉在冠状面上保持垂直进钉, 矢状面上螺钉头端朝向头侧倾斜约 5°。枢椎椎弓根螺钉进钉位置在下关节突中轴线上, 椎板上缘下方约 4 mm 处。选择合适的钢板, 预弯后拧入螺钉固定寰枢椎。

2 加载及测试方法

2.1 加载方式 先塑造适合 C₀、C₃ 形状的底座, 然后将 C₀、C₃ 置于底座。将 C₀、C₃ 分别固定在上下包埋盒中 (见图 1), C₀ 保持水平, C₃ 椎体后壁前倾 20°。根据 Panjab 等^[1] 和卢一生等^[2] 的实验, 枕颈部标本在 1.53 Nm 纯力矩作用下, 能产生生理的最大运动范围, 但不会对标本造成任何损伤。本次实验采用的最大力矩也为 1.53 Nm。将应变式传感器和上包埋盒固定在一起, 下包埋盒和试验机 (德国 Zwick 公司 Z010 型微机控制电子万能材料试验机) 底座固定, 用试验机对传感器施加纯力矩, 利用力和力矩的传递性, 实现对寰枢椎前屈、后伸、左右侧屈、左右旋转 6 个方向的加载。实验前先预载, 去除椎体蠕变、松弛等影响, 然后对每个标本进行加载、卸载重复 2 次, 在第 3 次加载后等待 30 s 再进行测量, 以获得比较稳定的运动学数据。

2.2 测试方法 经过预试验发现在 1.53 Nm 纯力矩作用的各种运动基本不相关或相关较小, 各个运动可以独立进行, 所以本文实验中未考虑耦合运动的影响。

实验采用应变式传感器对寰枢关节在不同内固定及

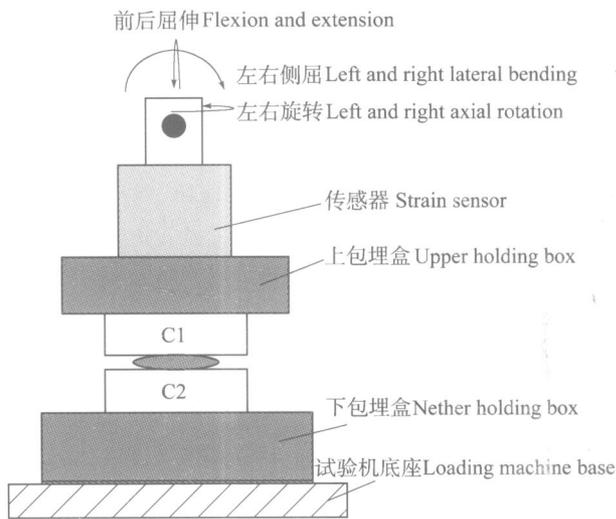


图 1 加载示意图

Fig 1 Loading sketch

6 种运动方式下的相对位移进行测量。传感器输出 4 个量: 前屈后伸力矩、左右侧屈力矩、左右旋转力矩和倾角。测试之前先对传感器进行标定, 得到应变和相应测量量之间的函数关系。测量前后屈伸、左右侧屈时, 通过读取的应变, 根据标定的函数关系就可以得到在 1.53 Nm 力矩下 C₁、C₂ 之间的相对倾角。测量左右旋转根据应变仪读取力矩对应的应变, 在旋转中心左右固定 2 个百分表, 通过百分表读出在固定半径 (80 mm) 内弦长的变化, 间接地求出 C₁ 和 C₂ 相对的旋转角度。整个实验过程中, 不断用生理盐水湿润标本, 使标本在实验期间保持湿润, 尽量减少由于水分蒸发和组织变性造成的影响。

3 结果

考虑到数据的随机性, 各方向运动范围由 10 次测量结果进行统计分析, 各组均数两两比较用 Student-Newman-Kwks 法统计结果。在 1.53 Nm 纯力矩作用下齿状突 II 型骨折各方向运动范围最大 (见表 1), 经各种内固定后, 各种方式的运动范围相对于齿状突 II 型骨折模型均有明显下降 (P < 0.01)。前屈、后伸、左右侧屈、左右旋转方向上 4 点固定运动范围最小。

表 1 不同固定方式的 C₁、C₂ 在 1.53 Nm 载荷下三维运动范围 ($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

Tab. 1 Range of three dimensional movement of atlantoaxial joint (C₁, C₂) under the loading of 1.53 Nm in different fixation techniques ($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

Groups	Flexion	Extension	Left bending	Right bending	Left rotation	Right rotation
Control	33.1 ± 3.5	16.9 ± 3.4	11.1 ± 1.8	11.4 ± 3.0	41.3 ± 5.3	41.2 ± 6.0
Apofix	3.0 ± 1.0	4.1 ± 1.8	3.6 ± 1.3	3.5 ± 1.3	11.7 ± 3.6	11.5 ± 4.0
4-Point	1.8 ± 0.7	2.0 ± 0.6	1.2 ± 0.6	1.1 ± 0.4	3.2 ± 1.0	3.0 ± 0.8
Magerl+Gallie	3.6 ± 0.3	3.4 ± 0.7	1.9 ± 1.2	1.7 ± 0.8	3.7 ± 1.2	3.9 ± 1.1
Screw+Plate	4.3 ± 1.6	4.8 ± 1.8	2.2 ± 0.5	2.2 ± 0.8	5.7 ± 1.5	5.5 ± 1.3

对寰枢椎在不同固定方式下运动范围的数据进行分析, 得出这 4 种固定方法中, 4 点固定的生物力学稳定性最好, 与其他固定方式在前后屈伸、左右侧屈均有显著性差异, 虽然 4 点固定在控制左右旋转上较 Magerl+Gallie 法固定好, 但没有统计学意义 (P > 0.05)。

Magerl+Gallie 固定方式在控制后伸方向运动上优于 Apofix 椎板夹固定、侧块螺钉钢板固定, 但没有显著性差异 (P > 0.05), 但在控制旋转上均优于后两者 (P < 0.05), 在左右侧屈稳定性方面明显优于 Apofix 椎板夹固定 (P < 0.01), 优于侧块螺钉钢板固定但没有显著性差异 (P > 0.05)。

ApoFix 椎板夹固定与侧块螺钉钢板固定相比较, 仅在控制前屈上优于后者 ($P < 0.05$), 而在控制左右侧屈、左右旋转上均明显差于后者 ($P < 0.01$), 在控制后伸运动上, 两者无显著差异 ($P > 0.05$)。

4 讨论

临床上主要用功能位 X 线侧位片来确定节段的前屈后伸角度, 用功能位 CT 片测定节段的轴向旋转角度, 从而实现枕颈部的三维运动测量。在生物力学的研究中, 有各种各样的方法, 如 Panjabi 等^[1]采用双平面立体照相技术, 通过计算机处理所得图像, 实现对脊柱三维运动的测量; 卢一生等^[3]采用机械测量法, 用探针读出测定点的三维坐标后, 再将坐标值输入计算机程序中计算, 求出颈椎部生理性三维运动范围; 杨双石等^[4]用 2 台互成角度的摄像机同时摄取标本的运动图像, 包括零载荷和最大载荷下运动状态, 将图像存入计算机, 通过计算机图像处理系统进行识别、定位和计算标志点的空间位置, 重建脊柱节段的三维运动; Puttlitz 等^[5]采用 3 个相机测量标本上标志块的角度变化, 计算出各种固定方式下 $C_0 - C_2$ 的运动范围。

应变电测法是目前在工程中运用最广泛的一种测试方法。它是通过直接在被测对象上贴应变片或在和被测对象连接的弹性元件上贴应变片的方法, 通过测量应变而测得研究对象的变形参数的一种方法, 也是力学传感器设计的基本原理。本文实验中采用了专门设计制作的应变式传感器, 对寰枢椎在不同内固定方式下的三维运动进行测量, 具有直观、实时等特点, 并且测量方法简单, 具有结果可靠、数据精度高、处理方便等优点。

由于具有独特的解剖结构, 寰枢椎在整个脊柱中其活动范围最大^[6], 这对外科医生通过固定而获得寰枢椎的稳定是个难点。寰椎、枢椎的结构如同两个平行环一样, 各种固定方式作用在这两个环的一点或数点上。经关节螺钉联合钢丝固定即 Magerl+Gallie 固定方式相当于 3 点固定, 区别于 ApoFix, Halifax 椎板夹及侧块螺钉钢板等只有 2 个作用点的固定方

式。而本次实验中所指的 4 点固定, 就是 ApoFix 联合经关节螺钉固定方式, 相对于 Magerl+Gallie 固定多了 1 个固定点。

有文献报道经关节螺钉在稳定侧屈、旋转方面具有很好的效果^[7], 优于 Halifax 椎板夹固定、Gallie 钢丝固定。而从本次实验可以看出, ApoFix 固定在前后屈伸的稳定性较好。4 点固定结合了两者的优点, 从而提高了固定的稳定性。

比较这 4 种不同的固定方式, 发现 4 点固定的生物力学稳定性优于 Magerl+Gallie 固定方式, 而 Magerl+Gallie 固定优于 ApoFix 椎板夹与侧块螺钉钢板固定方式, 这进一步证明了 Naderi 等^[8]的观点: 一般而言, 增加固定点可以有效地增强其生物力学稳定性。

参考文献

- 1 Panjabi MM, Dvorak J, Duranseau J et al Three-dimensional movements of the upper cervical spine. *Spine*, 1988, 13(7): 727-730
- 2 卢一生, 贾连顺, 丁祖泉, 等. 寰枢关节的三维运动规律及其测量. *中华创伤杂志*, 1995, 11(1): 1-3.
- 3 卢一生, 贾连顺, 丁祖泉. 人体枕颈部三维运动范围的实验研究. *第二军医大学学报*, 1994, 15(5): 454-458
- 4 杨双石, 朱青安, 刘景发, 等. 枕颈部三维运动范围的测量. *中国临床解剖学杂志*, 1998, 16(4): 360-362
- 5 Puttlitz CM, Melcher RP, Kleinstueck FS et al Stability analysis of craniovertebral junction fixation techniques. *J Bone Joint Surg (Br)*, 2004, 86(3): 561-568
- 6 Melcher RP, Puttlitz CM, Kleinstueck FS et al Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine*, 2002, 27(22): 2435-2440
- 7 Grob D, Crisco JJ, Panjabi MM, et al Biomechanical evaluation of four different posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine*, 1992, 17(5): 480-490.
- 8 Naderi S, Crawford NR, Song CS et al Biomechanical comparison of C_1-C_2 posterior fixation. Cable, graft and screw combinations. *Spine*, 1998, 23(18): 1946-1955

(收稿日期: 2005-10-11 本文编辑: 王宏)

中国中医科学院望京医院进修招生通知

中国中医科学院望京医院(中国中医科学院骨伤科研究所)为国家中医药管理局批准的“全国中医骨伤专科医疗中心”、“全国重点骨伤学科单位”。全院共有床位 500 余张, 其中骨伤科床位近 300 张。骨伤科高级专业技术职称人员 40 余名, 博士生导师 8 名, 硕士生导师 15 名, 具有雄厚的骨伤科临床、教学与科研能力, 是全国中医骨伤科医师培训基地。开设创伤、脊柱、骨关节、关节镜及推拿等专科, 在颈椎病、腰椎间盘突出症、骨关节炎、创伤骨折、外翻等病方面的治疗独具特色, 部分专病的治疗在国内居领先水平, 在国际上享有盛誉。每周三安排知名专家授课, 为中、西医骨科医师培训提供充裕的理论学习与临床实践的机会。风湿免疫科为国家中医药管理局风湿病重点专病建设单位, 具有较深厚的风湿病研究基础及先进的研究设施, 治疗风湿类疾病有独特疗效。我院每年 3 月 9 月招收两期进修生(要求具有执业医师资格), 每期半年或一年(进修费 3600 元/年)。欢迎全国各地中、西医医师来我院进修学习。

地址: 北京市朝阳区花家地街中国中医科学院望京医院医务处 邮编: 100102

电话(传真): (010) 64721263 网址: www.wjhospital.com.cn 联系人: 苏霞

乘车路线: 404、416、420、701、707、710、952 运通 101、107、201 路等到望京医院(花家地街)下车(北京站: 420 路公共汽车可直达; 403 至丽都饭店换 404 路望京医院(花家地街)下车; 北京西客站: 823 路公共汽车至东直门换 404 路至望京医院)