

后路板-棒内固定系统治疗不稳定性寰椎骨折的生物力学研究

陈 诚, 顾庆国, 王占超, 罗益滨, 姜东杰, 时国华, 袁 文, 王新伟

(第二军医大学附属上海长征医院脊柱外科 200003 上海市)

【摘要】目的:测试后路板-棒内固定系统治疗不稳定性寰椎骨折的稳定性,为临床使用提供理论基础。**方法:**采集新鲜成年人尸体颈椎骨(C0~C3)标本 6 具,用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)上下包埋,在生物力学实验机上,以 150N 为最大生理载荷,最大力矩为 $1.50\text{N}\cdot\text{m}$,依次测量完整模型组(A 组)、骨折模型组(B 组,包括寰椎后弓两处骨折与典型 Jefferson 骨折,分别作为 B1 组和 B2 组,骨折模型制作时保持横韧带完整)、内固定模型组(C 组,包括 B1 组+内固定系统、B2 组+内固定系统,分别作为 C1 组、C2 组)C0-C1、C1-C2 节段前屈/后伸、左/右侧屈和左/右旋转等 6 个方向的三维运动范围(ROM),通过比较,评价后路板-棒内固定系统治疗寰椎骨折的生物力学稳定性。根据测量所得 ROM 值,设 A 组各方向三维运动稳定性指数(Sf)为 100%,计算 B 组、C 组模型各运动方向 Sf,进一步直观比较各模型的稳定性变化。**结果:**C0-C1 节段,A 组前屈/后伸、左右侧屈、左右轴向旋转方向的 ROM 分别为 $11.06^\circ\pm 1.00^\circ$, $7.08^\circ\pm 0.62^\circ$, $13.24^\circ\pm 1.24^\circ$;B1、B2 组前屈/后伸、左右侧屈、左右轴向旋转方向 ROM 均较 A 组明显增大($P<0.05$);C1 组前屈/后伸、左右侧屈、左右旋转方向的 ROM 均较 B1 组明显减小($P<0.05$);C2 组各方向 ROM 均较 B2 组明显减小($P<0.05$);C1、C2 组前屈/后伸、左右侧屈、左右轴向旋转方向 ROM 与 A 组比较均无统计学差异($P>0.05$)。C1-C2 节段,A 组前屈/后伸、左右侧屈、左右轴向旋转方向的 ROM 分别为 $10.07^\circ\pm 1.12^\circ$, $5.56^\circ\pm 0.54^\circ$, $20.83^\circ\pm 2.12^\circ$;B1、B2 组各方向 ROM 均较 A 组明显增大($P<0.05$);C1 组各方向的 ROM 较 B1 组明显减小($P<0.05$);C2 组各方向 ROM 较 B2 组明显减小($P<0.05$);C1、C2 组各方向 ROM 与 A 组比较均无统计学差异($P>0.05$)。C0-C1 节段,B1 组前屈/后伸、左/右侧屈、左/右轴向旋转方向 Sf 分别为 71%、70%、64%,B2 组各方向 Sf 分别为 61%、55%、58%,C1 组各方向 Sf 分别为 102%、108%、108%,C2 组各方向 Sf 分别为 91%、91%、92%。C1-C2 节段,B1 组前屈/后伸、左/右侧屈、左/右轴向旋转方向 Sf 分别为 70%、61%、35%,B2 组各方向 Sf 分别为 59%、54%、37%,C1 组各方向 Sf 分别为 105%、111%、106%,C2 组各方向 Sf 分别为 91%、90%、92%。**结论:**寰椎后路板-棒内固定系统既能恢复上颈椎稳定性,又可保留其生理运动功能。使用该系统治疗寰椎后弓两处骨折,在稳定性方面效果稍优于典型 Jefferson 骨折。

【关键词】寰椎骨折;后路内固定系统;三维运动范围;生物力学

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2015.04.12

中图分类号:R683.2,R318.01 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2015)-04-0349-06

Biomechanical study of posterior plate-rod system for instable atlas fractures/CHEN Cheng, GU Qingguo, WANG Zhanchao, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(4): 349-354

【Abstract】 Objectives: To test the stability of atlas fracture fixed with posterior plate-rod system, and to provide the rationale for its clinical use. **Methods:** Six fresh human cadaveric upper cervical spine specimens (C0-C3) were harvested and embedded in polymethyl methacrylate(PMMA). Three dimensional movements including extension, flexion, left and right lateral bending, left and right axial rotation were tested on the mechanical testing machine. The movements were measured by range of motions(ROM). The C0-C1 and C1-C2 segments of specimens were distributed and tested in these status: the intact specimens(group A), the specimens with atlas fractures(group B, including the posterior arch fracture as subgroup B1 and Jefferson fracture as subgroup B2) and the specimens of group B with the posterior plate-rod system placement(group C). Then the three dimensional motion stability index(Sf) of group A was defined as 100% in the six types of motions.

第一作者简介:男(1989-),硕士研究生,研究方向:脊柱外科

电话:(021)81886806 E-mail:ccspine@126

共同第一作者:顾庆国 E-mail:xu_chang1@126.com

通讯作者:王新伟 E-mail:orth.wang@263.net

The Sf of group B and group C was calculated, also in six motions to compare the stability among different specimens. **Results:** Level of C0-C1: the ROM of group A of six movements was $11.06^{\circ} \pm 1.00^{\circ}$ (extension, flexion), $7.08^{\circ} \pm 0.62^{\circ}$ (left and right lateral bending), $13.24^{\circ} \pm 1.24^{\circ}$ (left and right axial rotation) respectively. ROM of group B (including B1 and B2) increased significantly compared with that of group A ($P < 0.05$). ROM of group C1 decreased significantly compared with that of group B1 in all movements ($P < 0.05$). And the meaningful decrease could be seen between group C2 and B2 ($P < 0.05$). ROM of group C1 decreased compared with that of group A, but it was not significant ($P > 0.05$). ROM of C2 increased insignificantly compared with that of group A ($P > 0.05$). Level of C1-C2: the ROM of group A of six movements was $10.07^{\circ} \pm 1.12^{\circ}$ (extension, flexion), $5.56^{\circ} \pm 0.54^{\circ}$ (left and right lateral bending), $20.8^{\circ} \pm 32.12^{\circ}$ (left and right axial rotation) respectively. ROM of group B1 and B2 increased significantly compared with that of group A ($P < 0.05$). ROM of group C1 decreased compared with that of group B1 ($P < 0.05$). When compared with group B2 in all the movements, ROM of group C2 decreased significantly ($P < 0.05$). ROM of C1 decreased insignificantly compared with that of group A ($P > 0.05$). ROM of C2 increased compared with that of group A, but the increase was not significant ($P > 0.05$). In level of C0-C1, the Sf of group B1 was 71% (extension, flexion), 70% (left and right lateral bending), 64% (left and right axial rotation) respectively. The Sf of group B2 was 61% (extension, flexion), 55% (left and right lateral bending), 58% (left and right axial rotation). The Sf of group C1 of the movements was respectively 102%, 108%, 108%. The Sf of group C2 was respective 91%, 90%, 92%. **Conclusions:** After placing posterior plate-rod system, the stability of fractured atlas recovers. Moreover, the flexibility of the atlas is maintained, which has better outcome for Levine I atlas fracture than Jefferson fracture.

[Key words] Atlas fracture; Posterior fixation system; Range of motion; Biomechanics

[Author's address] Department of Spine Surgery, Changzheng Hospital, Shanghai, 200003, China

寰椎骨折为临床较常见的上颈椎创伤性疾病, 约占枕颈部损伤的 25%、颈椎损伤的 3%~13%、脊柱损伤的 1.3%~2.0%^[1-2]。寰椎相应椎管中容纳延髓, 故该处骨折有损伤生命中枢的风险, 因而对处理方法的选择更需谨慎。寰椎骨折的治疗除保守疗法外, 手术治疗方式目前主要为枕颈融合术和寰枢融合术。两种手术方式在兼顾恢复寰枢椎稳定性及保留相关关节活动度中皆有缺陷。受现有研究^[3]启发并结合自身临床经验, 我们设计了寰椎后路板-棒式固定系统。力求适应各种类型寰椎骨折, 并使之具有保持枕颈部活动度的生理性固定特点。本研究旨在利用生物力学方法测定三维运动稳定性指标, 对该内固定系统恢复失稳寰椎稳定性的可行性进行实验研究, 为寰椎后路板-棒内固定系统的临床应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 寰椎后路板-棒内固定系统

寰椎后路板-棒内固定系统主要包括寰椎椎弓根螺钉 2 枚, 后弓板-棒 1 枚, 后弓螺钉 2 枚 (图 1、2), 均委托上海三友医疗器械有限公司制作。

1.2 标本制备

采集 6 具新鲜人尸体枕颈部脊柱标本 (C0~C3), 男 4 具, 女 2 具, 死亡年龄为 63.0 ± 5.8 岁 (56~69 岁), 均由专业机构提供。在 -30°C 冰箱中保存标本, 实验前在室温下解冻, 使用多层螺旋 CT 扫描机 (Siemens Somatom Volume Zoom, 德国, 120kv, 250mAs) 对标本进行扫描, 层厚 2mm, 排除任何骨折、畸形等结构异常, 并测定其骨密度, 排除骨质疏松。随后将标本逐个仔细剔除颈椎所附肌肉等软组织, 保留并避免损伤上颈椎主要韧带 (尤其是横韧带) 及关节突的完整性, 上下用聚甲基丙烯酸甲脂 (PMMA) 包埋, 制成完整的颈椎实验标本, 并贴上相应标签。

1.3 模型建立

各模型上端保留枕骨, 以 PMMA 包埋 C3 固定。颈椎 C0~C3 设置前后左右红黄绿彩色标志点。实验标本分为 3 组, 每组样本均为 6 具。A 组为完整组。B 组 (骨折模型组): B1 组 (寰椎后弓两处骨折模型组), 拆除 A 组 PMMA 包埋盒, 以线锯于寰椎后弓同侧块交界处离断后弓, 模拟寰椎后弓两处骨折模型; B2 组 (典型 Jefferson 骨折组), 以线锯于寰椎前后弓与双侧侧块交界处离断前后弓骨质, 模拟寰椎前后弓爆裂型骨折 (即典型



图1 寰椎后路板-棒内固定系统(螺钉、螺帽、板-棒) 图2 后路板棒内固定系统置入塑胶模型效果 a 后面观 b 侧面观

Figure 1 Posterior plate-rod system, including the screws, the blind nut and the plate-rod **Figure 2** Fixing the plastic models with the posterior plate-rod system a The posterior view b The lateral view

Jefferson骨折)模型。C组(内固定模型组):在B组模型基础上,置入后路板-棒内固定系统,分别作为C1组(B1组+后路板-棒内固定系统)、C2组(B2组+后路板-棒内固定系统组)椎弓根螺钉进钉点按谭明生法^[4]选取椎动脉沟底部后弓中内1/3处。模型制作与测量顺序如下:首先测量A组模型,测量完成后,在A组基础上制作B1组模型,测量完成则于B1组模型置入后路板-棒内固定系统并测量(C1组);其后,拆除包埋盒及内固定系统,在B1组模型基础上制作B2组模型;测量后,在B2组模型基础上,于原钉道内填塞碎骨后,置入后路板-棒内固定系统,测量C2组模型相关生物力学指标。

所有实验力学模型要求在标本损伤制作、固定、生物力学性质、加载方式、模拟载荷等要求均一致,以提高实验精度。

1.4 加载与测量

所有生物力学测试在非破坏方式进行测量。测试装置包括万能实验机和双相机的运动测量系统(DDL20, CRIMS, 最大实验力 20kN)。测试时,首先标定实验机台空间XYZ三维坐标。然后将模型置于实验机上,加载力按照人体颈部承受的重量,以150N为最大生理载荷,最大力矩为1.50N·m。颈椎运动以前屈/后伸、左/右侧弯和左/右扭转等6种生理运动方式,加载速率为1.50mm/min,并实行分级加载。加载时通过寰枢关节置于颈椎重心上。自然中立位重心位于人体颈椎力学中心线上,加载中心为O点,a、b、c、d为前屈、后伸和左右侧屈施力点。整个标本制备及测试过程中以生理盐水保持标本湿润。通过测量模型标志点坐标就能准确得到上颈椎C0-C1、C1-C2

节段运动范围(range of motion, ROM)。每一种运动加载、卸载3次循环,将颈椎的粘弹性消除到最小。

根据刚体运动原理,将测量得到的数据经过整理后,得到实验模型上颈椎运动的主要参数为脊柱ROM(°)。所有标本测试时施加力偶按前屈/后伸、左/右侧屈、左/右轴向旋转的顺序进行三次循环,并取其均值表达。

1.5 数据处理

应用SPSS 17.0软件进行统计学分析,自身对照,数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,对不同状态下各组之间均数比较采用单因素方差分析(ANOVA),多组间均数两两比较采用LSD-*t*检验分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。测量得到各模型ROM后,将其按照完整模型ROM进行标准化,得到不同模型相对于完整模型的稳定性的比率,即三维运动稳定性指数(Sf),以直观比较各种模型的稳定性。

2 结果

2.1 模型C0-C1节段的三维ROM

C0-C1节段ROM测量结果见表1。结果表明:①B1组和B2组处于失稳状态,它们与A组的三维ROM相比较,屈/伸状态ROM增大,差异有统计学意义($P < 0.05$);左/右侧屈状态ROM增大,差异有统计学意义($P < 0.05$);左/右轴向旋转ROM增大,差异有统计学意义($P < 0.05$)。②两组失稳标本用寰椎后弓板-棒内固定系统固定后,C1、C2两组的三维ROM与A组相比,颈椎处于稳定状态,屈/伸状态ROM差异无统计学意义($P > 0.05$);左/右侧屈状态ROM差异无统计学意义($P > 0.05$);左/右轴向旋转状态ROM差异无统计

学意义($P>0.05$)。③C1 组前屈/后伸、左右侧屈、左右旋转方向的 ROM 较 B1 组减小,差异有统计学意义 ($P<0.05$);C2 组各方向 ROM 较 B2 组减小,差异有统计学意义($P<0.05$)。④枕颈部的稳定性,侧屈运动比屈/伸运动稳定,而旋转运动不稳定程度更大。

2.2 模型 C1-C2 节段的三维 ROM

C1-C2 节段的三维 ROM 见表 2。结果表明:①A 组与 B1、B2 组失稳状态相比,屈/伸状态 ROM 增大,差异有统计学意义($P<0.05$);左/右侧屈 ROM 增大,差异有统计学意义($P<0.05$);左/右轴向旋转 ROM 增大,差异有统计学意义 ($P<0.05$)。②颈椎失稳后采用板-棒内固定后,与 A 组相比,C1、C2 两组屈/伸、左/右侧屈、左/右轴向旋转状态,ROM 差异无统计学意义($P>0.05$)。③C1 组前屈/后伸、左右侧屈、左右旋转方向的 ROM 与 B1 组比较明显减小 ($P<0.05$);C2 组各方向 ROM 与 B2 组比较明显减小($P<0.05$)。

2.3 模型上颈椎三维运动的 Sf

2.3.1 C0-C1 节段的 Sf 根据颈椎三维运动 ROM 测量结果,得到各组模型上颈椎 C0-C1 节段的 Sf,设 A 组各三维运动状态 Sf 为 100%,骨

折模型 B1 组、B2 组的 Sf 前屈/后伸分别为 71%和 61%,左/右侧屈分别为 70%和 55%,左/右轴向旋转分别为 64%和 58%;C1 组及 C2 组 Sf,前屈/后伸分别为 102%和 91%,左/右侧屈分别为 108%和 91%,左/右轴向旋转分别为 108%和 92%。

2.3.2 C1-C2 节段的 Sf 利用颈椎三维运动 ROM 测量结果,得到各组模型 C1-C2 节段的 Sf,设 A 组各三维运动状态 Sf 仍为 100%,B1 组、B2 组 Sf 值分别为前屈/后伸 70%和 59%,左/右侧屈 61%和 54%,左/右轴向旋转 35%和 37%;采用板-棒固定系统固定后,C1 组、C2 组模型分别为前屈/后伸 105%和 91%,左/右侧屈 111%和 90%,左/右轴向旋转 106%和 92%。

3 讨论

对寰椎骨折,目前临床上由于缺乏确切可靠的内固定方法,因而多选择保守治疗。传统的保守治疗方法包括持续颈椎牵引、头颈胸石膏固定、头颈支具、费城颈围、Halovest 支架等,其共同特点是需要充分的骨融合时间,通常需要 3~5 个月时间。保守治疗的缺点是治疗周期长,长时间外固定

表 1 C0-C1 节段的三维运动范围(ROM) (n=6, $\bar{x}\pm s$, °)
Table 1 The results of ROM of the C0-C1 level

	A 组 Group A	B1 组 Group B1	B2 组 Group B2	C1 组 Group C1	C2 组 Group C2
前屈/后伸 Flexion/extension	11.06±1.00	15.56±1.45 ^①	18.23±1.76 ^①	10.28±0.98 ^{②③}	12.22±1.23 ^{②④}
左右侧屈 L/R-lateral bending	7.08±0.62	10.06±1.02 ^①	12.89±1.20 ^①	6.57±0.64 ^{②③}	7.78±0.74 ^{②④}
左右轴向旋转 L/R-axial rotation	13.24±1.24	20.66±2.10 ^①	23.02±2.24 ^①	12.28±1.32 ^{②③}	14.36±1.38 ^{②④}

注:①与 A 组比较 $P<0.05$;②与 A 组比较 $P>0.05$;③与 B1 组比较 $P<0.05$;④与 B2 组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with group A, $P<0.05$; ②Compared with group A, $P>0.05$; ③Compared with group B1, $P<0.05$; ④Compared with B2, $P<0.05$

表 2 C1-C2 节段的三维运动范围(ROM) (n=6, $\bar{x}\pm s$, °)
Table 2 The results of ROM of the C1-C2 level

	A 组 Group A	B1 组 Group B1	B2 组 Group B2	C1 组 Group C1	C2 组 Group C2
前屈/后伸 Flexion/extension	10.07±1.12	14.41±1.34 ^①	17.12±1.65 ^①	9.57±0.96 ^{②③}	11.12±1.12 ^{②④}
左右侧屈 L/R-lateral bending	5.56±0.54	9.18±0.92 ^①	10.22±1.03 ^①	5.01±0.50 ^{②③}	6.16±0.58 ^{②④}
左右轴向旋转 L/R-axial rotation	20.83±2.12	34.50±3.34 ^①	37.02±3.66 ^①	19.78±1.87 ^{②③}	22.60±2.14 ^{②④}

注:①与 A 组比较 $P<0.05$;②与 A 组比较 $P>0.05$;③与 B1 组比较 $P<0.05$;④与 B2 组比较 $P<0.05$
Note: ①Compared with group A, $P<0.05$; ②Compared with group A, $P>0.05$; ③Compared with group B1, $P<0.05$; ④Compared with B2, $P<0.05$

常使患者难以耐受^[5],且长期而严格的卧床制动还可导致患者肺炎和下肢静脉血栓形成^[6],严重影响患者重返工作的时间及生活质量。且对于不稳定性寰椎骨折而言,保守治疗后可能遗留颈部疼痛、枕颈部不稳及神经损害症状等后遗症^[7,8]。

基于以上不足,有学者尝试使用手术方法进行治疗。寰椎骨折的手术方式目前主要为枕颈融合术和寰枢椎融合术。枕颈融合术虽然能保证寰椎内脊髓的安全性,但却牺牲了正常的寰枕关节和寰枢关节的活动度,患者上颈椎活动功能约丧失 90%,患者术后上颈椎旋转及伸展功能均受影响。寰枢椎融合术尽管保留了寰枕关节的活动度,但由于枕颈部的活动枢纽主要集中在寰枢关节之间,因而患者还是有 70%左右的功能丧失,患者术后上颈椎丧失大部分旋转功能^[9]。如何在通过内固定恢复上颈椎稳定性的同时兼顾保留患者上颈椎活动度的保留,成为国内外颈椎外科医师共同思考的问题。

为保留正常的寰枕及寰枢关节的活动度,近年来一些学者尝试使用寰椎生理性固定技术治疗横韧带完整的不稳定寰椎骨折,即仅固定骨折的寰椎,这无疑为寰椎骨折的治疗提供了一个新思路。有学者^[10,11]设计了一种经口寰椎前弓骨折固定术,术中将前弓固定钢板经口腔通过口咽部置入,再用螺钉固定寰椎前弓骨折处,该技术虽然完全保留了上颈椎活动度,但经口咽手术存在技术要求高、入路复杂、骨折处显露困难、术后感染率高及早期进食困难等难题,使得该技术难以广泛开展。

近年来国内外已有学者开展了对寰椎骨折生理性固定的基础研究^[12],利用生物力学手段验证了一系列内固定系统的可行性,并应用于临床病

例^[13],取得了一定的效果。但这些内固定方式均不能适用于大多数骨折形式,对病例的选择有不同程度的要求。

结合经验,我们设计了寰椎后路板-棒内固定系统。系统螺钉采用寰椎椎弓根螺钉的常用规格及置钉方法,有效保证了内固定强度,也利于临床医师掌握使用;采用单平面钉设计理念设计螺钉,可解决单纯前弓骨折时骨折端贴合问题,配套设计的长杆改锥便于操作者双手握持,在水平位上利用杠杆原理使断裂分离的前弓骨折端重新贴附(图 3)。使用特殊的钉尾设计,使之可以安装贴附于寰椎后弓的板-棒结构,避免因后弓宽度限制而影响安装位置,而板-棒部分的可预弯性能良好地完成贴附后弓的任务,并使用后弓螺钉使骨折的后弓稳定性进一步得到恢复;对于同时伴有后弓骨折的状况,在安装板-棒后,螺帽锁定钉尾,使骨折寰椎的环状结构得到恢复,离断的后弓得以复位而又不致使前弓断端再次分离。

本研究对寰椎后路板-棒内固定系统进行了人新鲜尸体上颈椎标本的生物力学研究,对比内固定模型、正常状态模型及骨折失稳状态模型在多方面稳定性与活动度的区别。有学者^[14]统计表明寰椎后弓骨折约占寰椎骨折病例的 67%,同时典型 Jefferson 骨折为临床上较为复杂的寰椎骨折类型。若能通过生物力学方法证明后路板-棒内固定系统可恢复二者稳定性,将对内固定系统的临床应用起到重要指导作用。故实验中骨折模型组选择此两种骨折类型进行建模。实验中加载力按照人体颈部承受的重量,以 150N 为最大生理载荷,最大力矩为 $1.50\text{N}\cdot\text{m}$ 。该载荷为颈椎破坏力矩的 20%,足以产生上颈椎模型的生理运动范围,又不至于对模型产生任何损伤^[15]。在测试中标

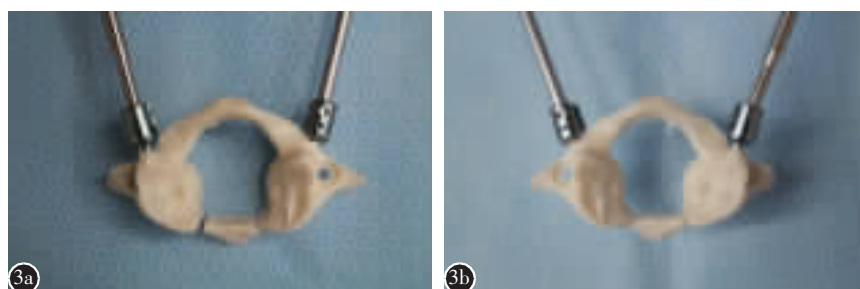


图 3 利用杠杆作用使前弓断端复位 a 断端复位前 b 断端复位后

Figure 3 Using the long screwdriver to reduce the fractured anterior arch with leverage **a** Before the reduction of the fractured anterior arch **b** The fractured anterior arch had been reduced

本结构保持了完整性,韧带等软组织及器械未出现断裂损坏。实验结果显示,完整状态 ROM 测量结果基本与 Panjabi 等^[16]的测量结果相一致。寰椎骨折组上颈椎 C0-C1 及 C1-C2 节段各方向 ROM 同完整模型组比较均有统计学差异,呈不稳状态,内固定模型组上颈椎三维运动同完整模型组比较差异无统计学意义,同骨折模型组比较差异有统计学意义,说明该系统可以恢复失稳上颈椎的稳定性,同时基本保留了上颈椎正常运动。

此外,我们使用三维运动稳定性指数(Sf)直观比较和评价各模型的稳定性,结果表明内固定系统可良好地恢复两种骨折模型稳定性,佐证了上述结果。同时表明内固定后寰椎后弓两处骨折模型稳定性方面要稍优于典型 Jefferson 骨折模型,在临床使用时,可适当调整术后患者颈托的佩戴时间,使治疗效果得到优化。

本实验标本制备过程中对上颈椎韧带复合体尤其是十字韧带进行了保留,讨论利用后路板-棒内固定系统治疗横韧带完整的寰椎不稳定骨折。贾连顺^[17]指出侧块分离较大的寰椎骨折常伴有横韧带断裂,影响单纯寰椎固定效果,需使用寰枕或寰枢椎融合术进行治疗。韩应超等^[18]指出横韧带离断但纵向韧带完整或能有效恢复纵向韧带张力时,生物力学研究表明可使用单纯寰椎固定。对于此类伴有横韧带断裂的不稳定型骨折是否能通过板棒内固定系统进行治疗,我们将在今后作进一步研究。此外,由于实验相关条件限制,在 C2 组模型制作时使用 C1 组模型原钉道重复置钉,填塞碎骨后螺钉把持力无明显下降,可满足实验需要。

4 参考文献

1. 周海涛,王超,闫明,等. 对寰椎骨折治疗策略的探讨(附 28 例报告)[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(1): 8-11.
2. Hadley MN, Dickman CA, Browner CM, et al. Acute traumatic atlas fractures: management and long term outcome [J]. Neurosurgery, 1988, 23(1): 31-35.
3. Kelly BP, Glaser JA, DiAngelo DJ. Biomechanical comparison of a novel C1 posterior locking plate with the harms technique in a C1-C2 fixation model[J]. Spine, 2008, 33(24): E920-925.
4. 谭明生,张光铂,李子荣,等. 寰椎测量及其经后弓侧块螺钉固定通道的研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(1): 5-8.
5. Tessitore E, Momjian A, Payer M. Posterior reduction and fixation of an unstable Jefferson fracture with C1 lateral mass

screws, C2 isthmus screws, and crosslink fixation: technical case report[J]. Neurosurgery, 2008, 63(1 Suppl 1): ONSE100-1; discussion ONSE101.

6. Li L, Teng H, Pan J, et al. Direct posterior c1 lateral mass screws compression reduction and osteosynthesis in the treatment of unstable jefferson fractures[J]. Spine, 2011, 36(15): E1046-1051.
7. Dvorak MF, Johnson MG, Boyd M, et al. Long-term health-related quality of life outcomes following Jefferson-type burst fractures of the atlas[J]. J Neurosurg Spine, 2005, 2(4): 411-417.
8. Bransford R, Falicov A, Nguyen Q, et al. Unilateral C-1 lateral mass sagittal split fracture: an unstable Jefferson fracture variant[J]. J Neurosurg Spine, 2009, 10(5): 466-473.
9. 徐荣明,胡勇. 对新鲜寰椎骨折的临床治疗选择[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(5): 395-397.
10. Dickman C. Re: Ruf M, Melcher R, Harms J. Transoral reduction and osteosynthesis C1 as a function-preserving option in the treatment of unstable Jefferson fractures. Spine 2004; 29: 823-7[J]. Spine, 2004, 29(19): 2196; author reply 2197.
11. 胡勇,马维虎,顾勇杰,等. 经口咽入路内固定治疗孤立性寰椎骨折临床疗效分析[J]. 脊柱外科杂志, 2011, 9(3): 131-134.
12. Koller H, Resch H, Tauber M, et al. A biomechanical rationale for C1-ring osteosynthesis as treatment for displaced Jefferson burst fractures with incompetency of the transverse atlantal ligament[J]. Eur Spine J, 2010, 19(8): 1288-1298.
13. Wang J, Zhou Y, Zhang ZF, et al. Direct repair of displaced anterior arch fracture of the atlas under microendoscopy: experience with seven patients [J]. Eur Spine J, 2012, 21(2): 347-351.
14. Turner-Stokes L, Reid K. Three-dimensional motion analysis of upper limb movement in the bowing arm of string-playing musicians[J]. Clin Biomech(Bristol, Avon), 1999, 14(6): 426-433.
15. Seo SJ, Kim HR, Choi EJ, et al. Unrecognized c1 lateral mass fracture without instability; the origin of posterior neck pain[J]. Korean J Pain, 2012, 25(4): 258-261.
16. Panjabi MM, Oda T, Crisco JJ 3rd, et al. Experimental study of atlas injuries (I): biomechanical analysis of their mechanisms and fracture patterns [J]. Spine, 1991, 16(10 Suppl): S460-465.
17. 贾连顺. 枕颈部伤病的外科治疗任重道远[J]. 脊柱外科杂志, 2011, 9(3): 192.
18. 韩应超,杨明杰,潘杰,等. 单纯寰椎侧块螺钉固定选择性治疗不稳定寰椎骨折的生物力学分析 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(1): 68-73.

(收稿日期:2015-01-11 修回日期:2015-02-07)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)