

枕颈后路短节段固定的交叉棒与平行棒 固定方式生物力学稳定性比较

王大天¹ 邱锋^{2△}

[摘要] **目的:** 分别比较枕颈融合中两种内固定方式——枕骨髁 Y 形板+枢椎一侧椎板螺钉/另一侧椎弓根螺钉(A 组)和枕骨髁 Y 形板+枢椎双侧椎弓根螺钉(B 组)的交叉棒和平行棒的生物力学稳定性。**方法:** 取 6 具新鲜人体尸体颈椎标本, 完成完整状态的生物力学测量后, 制备寰枢椎失稳模型, 每一例标本均植入枕骨髁 Y 形板及枢椎一侧椎板螺钉、枢椎双侧椎弓根螺钉。按顺序分别测量枢椎一侧椎板螺钉/另一侧椎弓根螺钉平行棒固定(A1 组)、枢椎一侧椎板螺钉/另一侧椎弓根螺钉交叉棒固定(A2 组)、枢椎双侧椎弓根螺钉平行棒固定(B1 组)和枢椎双侧椎弓根螺钉交叉棒固定(B2 组)的屈伸、侧屈、旋转活动度。**结果:** 与完整状态组相比较, A1、A2、B1、B2 四种内固定组合在屈伸、侧屈、旋转六个方向上的稳定性均强于完整状态组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); A1、A2、B1、B2 组间比较在前屈/后伸、左/右侧屈方向上差异均无统计学意义($P > 0.05$); A1 组的稳定性在左/右旋转上较 A2、B1、B2 三组差, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 而 A2、B1、B2 组间比较在左/右旋转上差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论:** 枕颈后路短节段固定时, 应首选枢椎双侧椎弓根螺钉, 当无法置入枢椎椎弓根螺钉时, 应尽量选择条件相对允许的一侧置入椎弓根螺钉, 另一侧使用椎板螺钉代替。此时, 采用交叉棒的连接方式可获得同双侧椎弓根螺钉相似的固定强度。

[关键词] 生物力学测试; 板-钉-棒短节段枕颈固定; 交叉棒; 平行棒

[中图分类号] R681.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2022)07-0019-07

Comparison of Biomechanical Stability between Crossed Rod and Parallel Rod with C0-2 Posterior Fixation

WANG Datian¹ QIU Feng^{2△}

¹Department of Orthopaedic, Hainan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Haikou 570000, China;

²Department of Orthopaedic, Puning Overseas Chinese Hospital, Puning 515300, Guangdong China.

Abstract Objective: To compare the biomechanical stability of the fixation technique for the crossed rod and parallel rod by occipital plate combined with C2 one side lamina screw/other side pedicle screw and occipital plate combined with C2 bilateral pedicle screws. **Methods:** Six fresh adult craniocervical specimens were used to test the biomechanical stability. Following intact state testing, each specimen was implanted with occipital plate, C2 lateral lamina screws and C2 bilateral pedicle screws. The specimens were then tested in the following sequence: group A1 (occipital plate + C2 one side lamina screw/other side pedicle screw + parallel rod), group A2 (occipital plate + C2 one side lamina screw/other side pedicle screw + crossed rod), group B1 (occipital plate + C2 bilateral pedicle screws + parallel rod), and group B2 (occipital plate + C2 bilateral pedicle screws + crossed rod). The ROM of the C0-2 segments were measured in flexion-extension, lateral bending, and axial rotation. **Results:** The four fixed modes significantly increased stability compared with both the intact group in flexion-extension, lateral bending, and axial rotation ($P < 0.05$). There was no significant difference between the four internal fixed modes in flexion-extension and lateral flexion ($P > 0.05$). In the rotation, the stability of

group A1 was worse than the other three groups ($P < 0.05$), and no significant difference among A2, B1 and B2 groups ($P > 0.05$). **Conclusion:** When C0-2 fixation was required, C2 bilateral pedicle screws should be preferred, when C2 pedicle screws cannot be inserted, try to select the side with relatively allowable conditions to insert one pedicle

基金项目: 海南省临床医学中心建设项目(琼卫医函

[2021]276 号)

¹ 海南省中医院(海口, 570000)

² 普宁华侨医院骨科

△通信作者 E-mail: spineqf@163.com

screw, and use lamina screw to replace it on the other side. At this time, the fixation strength similar to that of C2 bilateral pedicle screws could be obtained by cross rod connection.

Keywords: biomechanics test; occipitocervical fixation; crossed rod; parallel rod

目前枕颈融合大多采用枕骨板-枢椎椎弓根螺钉-棒内固定系统^[1-3],可提供足够的生物力学稳定性^[4]。但当条件限制无法置入枢椎椎弓根螺钉而选择椎板螺钉代替时^[5-6],其内固定系统稳定性不足^[7-8]。因此,有学者提出交叉棒固定方式,通过构建一个“X”形的多三角形框架结构来增加其稳定性^[9]。前期研究表明,交叉棒可增加由枕骨板-枢椎双椎板螺钉和寰椎椎弓根螺钉-枢椎单侧椎板螺钉固定方式的旋转稳定性^[10-11]。本研究旨在比较枕骨板-枢椎一侧椎板螺钉/一侧椎弓螺钉和枕骨板-双侧椎弓根螺钉两种内固定方式在交叉棒和平行棒上的稳定性差异。

1 材料和方法

1.1 实验标本

3男3女共6具新鲜人体标本,死亡原因均为意外死亡。其平均年龄为52岁(38~61岁),平均身体质量为64.5 kg(52~72 kg),所有标本均为南方医科大学解剖教研室提供。实验前,观察标本无损害后截取标本C₇以上部位,并行CT扫描确认骨骼完整,发育没有异常。采用双能X线骨密度仪(DEXA, QDRA-010; Hologic Discovery, Waltham, MA, USA)定量测定腰骶部的骨密度,平均骨密度为 $(0.92 \pm 0.19) \text{g/cm}^2$,提示无骨质疏松。在颈椎前3 cm斜行平面取下颅骨前面部分及下颞骨,枕骨粗隆以下部分保留,制成完整状态下的寰枢椎实验模型。所有的颈椎标本进行编号,顺序为1~6号,标号后将标本放置在一20℃的深低温冰箱保存。所有的标本均在取后30 d内进行造模及生物力学测试。

1.2 实验器械

包括枕骨髁Y型钢板、4.0 mm×10 mm枕骨髁螺钉、3.5 mm×28 mm多轴椎弓根螺钉和直径3.5 mm钛棒。德国西门子公司的64层螺旋CT、德国西门子公司的X线机、定制的六自由度脊柱模拟器、美国的激光三维扫描系统、美国的Geomagic studio 11.0图像处理软件。

1.3 方法

1.3.1 模型包埋 进行生物力学测试前将标本从冰箱中逐一取出,在25℃下完成逐级解冻,然后用手术刀剔除标本上剩余的肌肉,确保韧带及关节囊保留完整。取4枚螺钉固定在枕骨上,保证四枚螺钉在同一平面上,将枕骨放置在底座中,旋转45°后倒入义齿基托树脂粘稠液,待其凝固后将标本取出。重新取2枚螺钉拧入

C₇椎体的前方,放置在标本底座后倒入义齿基托树脂粘稠液,待粘稠液完全凝固后取出,包埋完成。

1.3.2 内固定方式和测量序列 1) 正常状态:保留韧带及关节囊的完整。

2) 制作寰枢椎失稳模型:仔细用手术刀剔除标本上附着的肌肉,切断齿突尖韧带、翼状韧带、寰椎横韧带以及C_{1~2}侧块关节囊的后半部分,保留C_{1~2}侧块关节的前半部分。切除寰椎前弓中央结节左右旁开各1 cm部分,并在齿状突底部切断齿状突,制成寰枢椎失稳的实验模型^[12](见图1)。

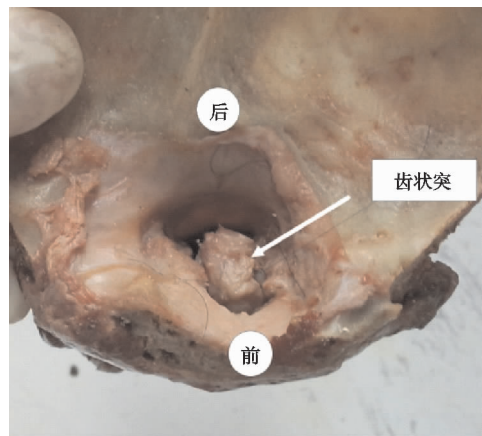


图1 寰枢椎失稳模型

3) 失稳模型制备完成后,按照顺序(见图2)在每具标本上先后进行枕骨髁Y型钛板、枢椎左侧椎板螺钉右侧椎弓根螺钉、枢椎双侧椎弓根螺钉的置入,将枕骨板-枢椎一侧椎板螺钉/另一侧椎弓根螺钉记为A组,枕骨板-枢椎双侧椎弓根螺钉记为B组,分别对两种内固定组合进行交叉棒和平行棒固定,平行棒记为A1、B1组,交叉棒记为A2、B2组,即:A1组为枕骨髁Y形板+枢椎一侧椎板螺钉/对侧椎弓根螺钉+平行棒,A2组为枕骨髁Y形板+枢椎一侧板螺钉/对侧椎弓根螺钉+交叉棒,B1组为枕骨髁Y形板+枢椎双侧椎弓根螺钉+平行棒,B2组为枕骨髁Y形板+枢椎双侧椎弓根螺钉+交叉棒。

枕骨髁Y型钛板放置于枕骨外隆凸下方中线上,双头朝下安放,三个孔分别拧入3枚 $\Phi 4.0 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 枕骨髁螺钉固定。枢椎左侧椎板螺钉的进钉点为椎板上缘向下4 mm水平与棘突上缘向下5 mm的交叉点,螺钉选择直径为3.5 mm,长度为28 mm的多轴螺钉。右侧椎弓根螺钉的进钉点为枢椎下关节突中点内上各2 mm处,角度为上倾30°~35°,内斜20°~

25°,螺钉同样选择直径为 3.5 mm、长度为 28 mm 的多轴螺钉。完成枕骨髁 Y 形板-枢椎一侧椎板螺钉/另一侧椎弓根螺钉组生物力学测试后,将枢椎左侧椎板螺钉

取出,于枢椎左侧椎弓根处置入一枚 $\Phi 3.5\text{ mm}\times 28\text{ mm}$ 的多轴螺钉。每一标本螺钉置入完成后行 CT 扫描评估钉道情况(见图 3)。

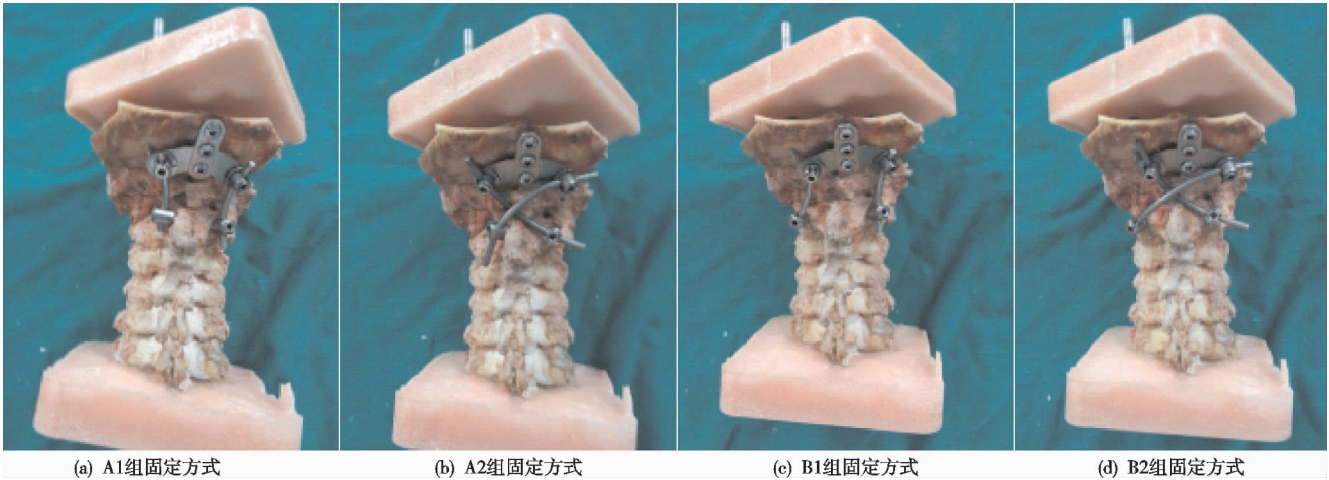


图 2 四种内固定方式

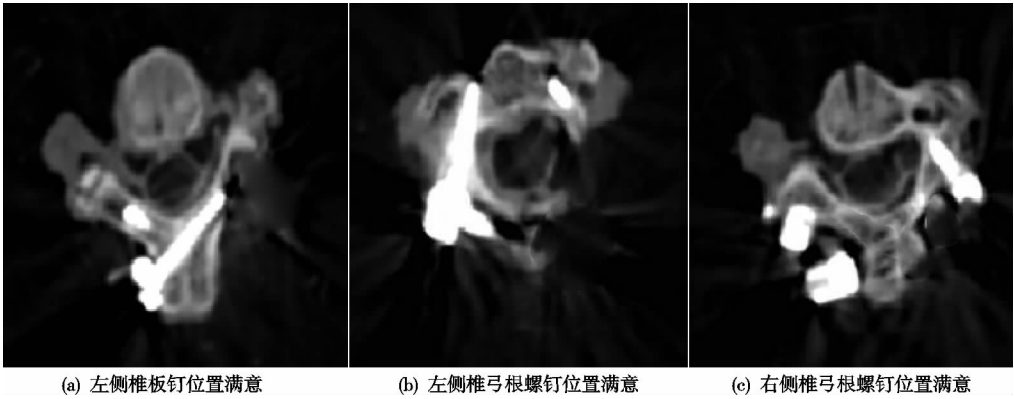


图 3 CT 观察植入螺钉位置

1.3.3 生物力学测试 取 8 枚直径为 2 mm 的克氏针,分别固定在枕骨和枢椎的前、后、左、右,然后在克氏针上分别置入计算机标识点,(测量同一关节运动的 4 枚针不在同一条轴线上),测试过程中注意点与点间距离,必须保证 4 个点不会互相触碰,避免对实验造成干扰^[14](见图 4)。完成完整状态组的生物力学测试后,将每个标本按照既定顺序固定在定制的六自由度脊柱模拟器的负载架上,并使用缆绳和滑轮测试系统对颈椎标本施加 $2.0\text{ N}\cdot\text{m}$ 的纯力偶矩^[12](见图 5)。每个试验结构在六个方向上分别进行 3 次加载-卸载循环,产生屈曲-伸展、侧向弯曲和轴向旋转运动,加载时间保持在 $2.0\text{ N}\cdot\text{m}$,持续 30 s,以减少黏弹性的影响。激光三维扫描系统(3D. digital corp)用于处理图像,以识别、定位和计算空间中 C0 和枢椎位置的标记,并重建脊柱节段的三维运动。所有坐标均运用逆向工程软件 Geomagic 进行处理,计算出 C0-2 节段的运动范围参数。在测试每个固定平均值后,通过 X 线评估每个样本的固定情况(见图 6)。

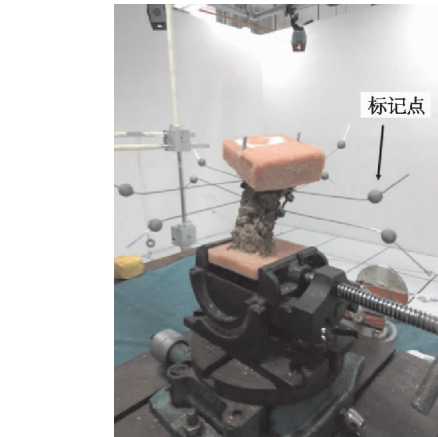


图 4 置入标记点

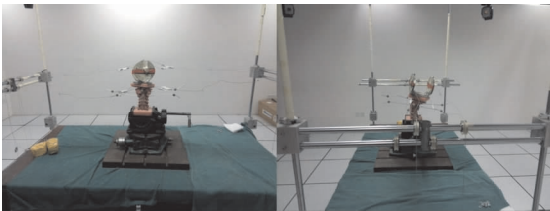


图 5 生物力学测试

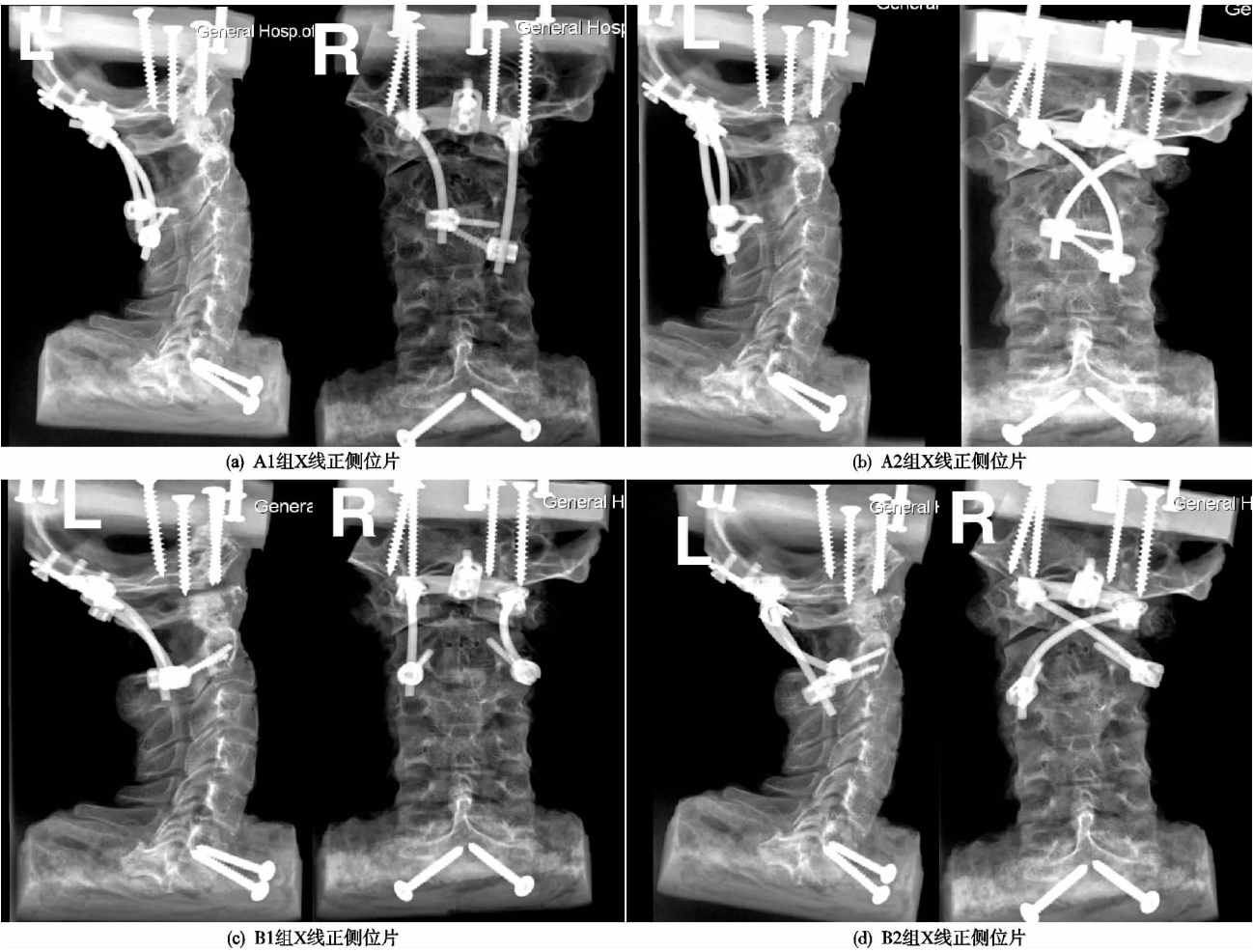


图 6 X 线片示内固定位置良好

1.4 统计学方法

所有数据均服从基于 K-S 的正态分布检验,以 $\bar{x} \pm s$ 形式表示。全部数据采用 SPSS20.0 软件进行统计分析。采用方差分析进行多组间的比较,采用 Bonferroni 检验法进行组间两两比较。 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

完整状态组及 A1、A2、B1、B2 四组的后伸、前屈、左侧屈、右侧屈、左旋转、右旋转活动度 (ROM) 比较见表 1。与完整状态组相比较,四种内固定组合在屈伸、侧屈、旋转方向上的稳定性均强于完整状态组,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。

表 1 不同固定方式的三维运动活动度比较 ($\bar{x} \pm s, n = 6, ^\circ$)

组别	后伸	前屈	左侧弯	右侧弯	左旋转	右旋转
完整状态	12.35±0.81	10.76±1.01	6.32±0.69	7.41±1.41	25.22±0.68	25.57±0.78
A1	3.51±0.93 ¹⁾	2.84±0.89 ¹⁾	3.69±1.02 ¹⁾	3.37±1.39 ¹⁾	3.60±0.25 ¹⁾	3.07±0.27 ¹⁾
A2	2.53±0.86 ¹⁾	2.52±0.72 ¹⁾	3.83±1.17 ¹⁾	3.74±1.70 ¹⁾	0.67±0.22 ¹⁾²⁾	0.57±0.10 ¹⁾²⁾
B1	3.59±0.82 ¹⁾	2.99±0.73 ¹⁾	3.30±1.33 ¹⁾	2.35±1.42 ¹⁾	0.66±0.27 ¹⁾²⁾	0.60±0.16 ¹⁾²⁾
B2	2.86±0.59 ¹⁾	2.72±0.72 ¹⁾	3.59±1.62 ¹⁾	3.50±1.50 ¹⁾	0.23±0.07 ¹⁾²⁾	0.34±0.08 ¹⁾²⁾

注:1)与完整状态组比较, $P < 0.05$;2)与 A1 组比较, $P < 0.05$ 。

2.1 屈伸方向活动度比较

在后伸方向上,C0-2 完整状态下的平均活动度为 $12.35^\circ \pm 0.81^\circ$ 。A1、A2、B1、B2 四组与正常状态下的活动度比较,活动度分别相当于完整状态的 28.40%,20.50%,29.10%和 23.20%。在前屈方向上,C0-2 完整状态下的平均活动度为 $10.76^\circ \pm 1.01^\circ$,A1、A2、B1、B2 四组与正常状态下的活动度比较,活动度分别

相当于完整状态的 26.40%,23.40%,27.80%和 25.20%。在屈伸稳定性上,内固定稳定性数值从大到小依次为 $B2 > A2 > A1 > B1$ 。四种内固定方式在后伸和前屈上,组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),见图 7。

2.2 侧屈方向活动度比较

在左侧屈方向上,C0-2 完整状态下的平均活动度

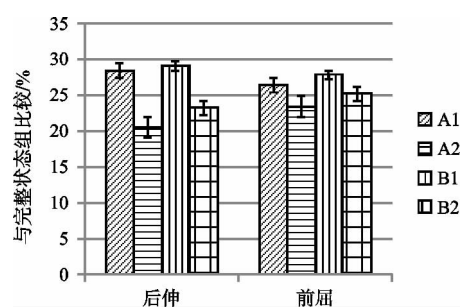


图 7 四种内固定方式在屈伸方向上活动度减少百分比比较

为 $6.20^{\circ} \pm 0.69^{\circ}$ 。从数值上看,内固定方式的稳定性从大到小为 B1、B2、A1、A2,相对于完整状态下的活动度分别为 52.20%,58.40%,56.80%和 60.60%。四种内固定组间比较差异无统计学意义($P>0.05$)。在右侧弯上,C0-2 完整状态下的平均活动度为 $7.41^{\circ} \pm 1.41^{\circ}$ 。内固定方式的稳定性从大到小为 B1、A1、B2、A2,相对于完整状态下的活动度,分别为 31.70%,45.40%,47.20%和 50.50%。在侧屈方向上,四种内固定方式组间比较差异无统计学意义($P>0.05$),见图 8。

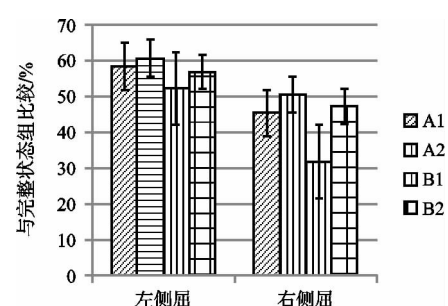


图 8 四种内固定方式在侧屈方向上活动度减少百分比比较

2.3 旋转方向活动度比较

在左旋方向上,C0-2 完整状态下的平均活动度为 $25.22^{\circ} \pm 0.68^{\circ}$ 。内固定方式的稳定性从大到小依次为 B2、B1、A2、A1,相对于完整状态下的活动度分别为 0.90%,2.60%,2.70%和 14.30%。A2、B1、B2 三组间比较差异无统计学意义($P>0.05$),而 A1 和 A2、B1、B2 组间比较差异均有统计学意义($P<0.05$)。在右旋转方向上,C0-2 完整状态下的平均活动度为 $25.57^{\circ} \pm 0.78^{\circ}$ 。内固定方式的稳定性从大到小依次为 B2、A2、B1、A1,相对于完整状态下的活动度分别为 1.30%,2.20%,2.30%和 12.00%。A2、B1、B2 三组间比较差异无统计学意义($P>0.05$),而 A1 和 A2、B1、B2 组间比较差异均有统计学意义($P<0.05$)。因此可以认为,在旋转方向上,A2、B1、B2 组稳定性相当,而 A1 稳定性较其他三组差(见图 9)。

3 讨论

创伤、炎症、肿瘤、先天畸形等均可导致寰枢椎失稳,如不及时治疗,可能进一步导致截瘫甚至危及生

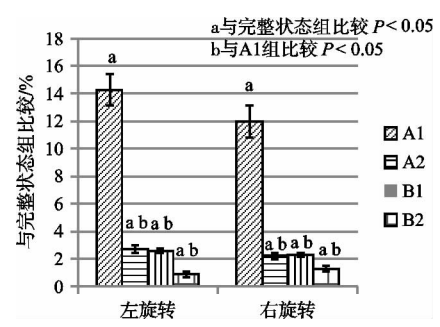


图 9 四种内固定方式在旋转方向上活动度减少百分比比较

命^[15]。目前,寰枢椎失稳的治疗方式首选寰枢椎后路钉棒固定,可尽最大可能保留颈椎的活动度^[16]。但是,当需要行枕骨大孔减压、寰椎无法置钉、肿瘤或炎症累及寰枕关节时,则需行枕颈融合^[17]。枕颈融合的内固定多样,而枕骨髁 Y 形板联合枢椎椎弓根螺钉组成的短节段的板-钉-棒 C0-2 固定系统由于具有固定节段较短、稳定性较好、保留颈椎较多的活动度等优势,被认为是枕颈融合的金标准^[18]。枕骨髁 Y 形板联合枢椎双侧椎弓根螺钉组成的短节段钉-棒系统已被证实具有良好的生物力学稳定性,无需进一步延长固定至 C₃ 或 C₄^[4]。但是多项研究表明,枢椎在解剖上椎弓根容易出现发育细小、椎动脉高跨等原因^[19],此时如勉强置入椎弓根螺钉风险过高^[20],可选择枢椎椎板螺钉作为替代固定方式^[5-6]。生物力学研究表明,枕骨髁 Y 形板+枢椎双侧椎板螺钉组成的枕颈内固定系统稳定性较枕骨髁 Y 形板+枢椎双侧椎弓根螺钉组成的内固定系统的三维稳定性差^[7-8]。通过延长固定至 C₃ 或 C₄ 达到增强稳定性的作用,促进植骨融合,被证实是一种有效的方式^[21]。但是,延长固定必然会导致颈椎的活动度进一步减少,患者的费用进一步增加。针对这一问题,国内外研究者针对寰椎无棘突的特殊结构,提出了枕颈交叉棒固定的方法,通过将两根连接棒进行交叉固定,构建一个由多个三角形组成的“X”形框架,以进一步提高其生物力学稳定性^[9]。国外研究表明,交叉棒的固定方式可增强由 C₁ 一侧后弓螺钉/同侧椎弓根螺钉与枢椎同侧椎板根螺钉/同侧椎弓根螺钉组成的钉-棒内固定系统的稳定性^[22]。笔者的前期研究证明,交叉棒的连接方式可增加由枕骨板与枢椎双侧椎板螺钉组成的内固定系统的旋转稳定性^[10],还可以增加由 C₁ 双侧椎弓根螺钉和枢椎一侧椎板螺钉/对侧椎弓根螺钉组成的内固定系统的旋转稳定性^[11]。本研究通过模拟术中可能一侧条件不允许置入椎弓根螺钉的情况,探究枕骨髁 Y 形板和枢椎一侧椎板螺钉/对椎弓根螺钉组成的板-钉-棒系统的生物力学稳定性,并和枕骨髁 Y 形板与枢椎双侧椎弓根螺钉组成的内固定系统相比较。此外,通过不同连

接棒连接方式,观察交叉棒的连接方式是否能进一步增强两种内固定系统的生物力学稳定性,为临床应用提供生物力学依据。

本研究采用 6 例新鲜人体颈椎标本作为实验对象,在测试其正常状态下的屈伸、侧屈、旋转活动度后,制成寰枢椎脱位模型。分别采用枕骨髁 Y 形板+枢椎左侧椎板螺钉/右侧椎弓根螺钉固定和枕骨髁 Y 形板+枢椎双侧椎弓根螺钉固定,两组连接棒分别采用平行棒的连接方式和交叉棒的连接方式,测试四种不同内固定方式的生物力学稳定性。从研究的结果来看,枕骨髁 Y 形板-枢椎一侧椎板螺钉/另一侧椎弓根螺钉-平行棒内固定方式以及枕骨髁 Y 形板-枢椎双侧椎弓根螺钉-平行棒内固定方式在后伸/前屈、左侧屈/右侧屈的稳定性相当。交叉棒固定并不能增强两种内固定方式在屈伸及侧屈上的稳定性。枕骨髁 Y 形板-枢椎一侧椎板螺钉/对椎弓根螺钉的交叉棒连接方式在旋转上的稳定性强于其平行棒的连接方式。在枕骨髁 Y 形板-枢椎双侧椎弓根螺钉固定方式上,交叉棒的连接方式的稳定性同平行棒连接方式的稳定性相当,而从数值上看,交叉棒固定方式的稳定性要强于平行棒固定方式。此外,四组间比较结果显示枢椎一侧椎板螺钉/另一侧椎弓根螺钉的平行棒固定方式的旋转稳定性弱于其他三组内固定方式,而其交叉棒固定方式的稳定性和枢椎双侧椎弓根螺钉-平行棒/交叉棒固定的稳定性相当。前期研究表明,枕骨髁 Y 形板-枢椎双侧椎板螺钉-平行棒固定方式的生物力学稳定性相对不足^[7]。结合本项研究,临床上进行枕颈融合时,应首选枢椎双侧椎弓根螺钉,此时选择平行棒固定或交叉棒固定均能保证其固定强度。但是,当因某些特殊原因无法置入椎弓根螺钉时,应尽量选择条件相对允许的一侧置入椎弓根螺钉,另一侧置入椎板螺钉。此时,采用交叉棒的连接方式可获得同双侧椎弓根螺钉相似的固定强度。当两侧均无法置入椎弓根螺钉而采用双侧椎板螺钉固定时,交叉棒固定可进一步增强其稳定性^[11]。

对于寰枢椎失稳,坚强的内固定是治疗的关键,可以使寰枢椎获得即时的稳定性,避免进一步损伤,并为脊髓的恢复创造良好的条件和提高植骨融合率。对于需要进行枕颈融合的患者,一般首选 C0-2 短节段板-钉-棒固定。那么,对于一些不适合置入枢椎椎弓根螺钉的病例,如何在不延长固定的前提下,取得最好的稳定性是评价内固定的首要指标。本研究利用新鲜的人体标本进行实验建模,尽可能模拟人体条件。通过在 C0 和枢椎上放置标定点,利用定制的六自由度脊柱模拟器,向后伸、前屈、左侧屈、右侧屈、左旋转、右旋转分别施加 $2.0\text{ N}\cdot\text{m}$ 的纯力偶矩,利用激光三维扫描系

统对标定点进行标记识别,并利用 Geomagic 建立三维运动坐标: X 轴(冠轴)、Y 轴(纵轴)、Z 轴(矢轴)。标本在后伸、前屈、左侧屈、右侧屈、左旋转、右旋转六个方向的活动度即为标定点在力矩加载前后在三维坐标系的坐标变化。而 C0-2 的运动其实是上述六个方向运动的耦合,因此对 C0-2 的评价应是对其六个方向的全面评价。本实验通过颈椎颈椎标本的前屈、后伸、左/右侧屈、左/右旋转六个方向的标定点坐标变化进行分析,获得颈椎在屈伸、侧屈、旋转方向上的活动度,即可定量评价不同方式固定下 C0-2 的稳定性。

虽然本研究结果与笔者的假设相符合,结果是满意的,但是本研究仍存在一定的局限性。首先,本研究是在理想条件下进行体外的造模、内固定、生物力学测试,但是无法考虑体内肌肉因复杂运动产生的影响。此外,本研究的标本数量相对较少,也缺乏交叉棒固定方式的临床应用证据及随访结果。因此,本研究结果仍有待临床研究的进一步证明。

参考文献

- [1] 马维虎.寰枢椎后路钉棒固定融合技术的合理应用[J].中华医学杂志,2020,100(45):3562-3565.
- [2] HALE A T, SAY I, SHAH S, et al. Traumatic occipitocervical distraction injuries in children: a systematic review[J]. *Pediatr Neurosurg*, 2019, 54(2): 75-84.
- [3] 孙岩,董春科,王好,等.后路枕颈融合内固定联合椎体成形术治疗枢椎转移瘤病理骨折的疗效观察[J].中华骨与关节外科杂志,2021,14(2):86-91.
- [4] PAN J, HUANG D, HAO D, et al. Occipitocervical fusion: fix to C₂ or C₃ [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2014, 127:134-139.
- [5] 马向阳,尹庆水,吴增晖,等.枢椎椎板螺钉与椎弓根螺钉抗拔出强度的比较[J].中国脊柱脊髓杂志,2007(2):137-139.
- [6] 邓轩虞,熊小明,石华刚,等.枢椎椎板钉治疗可复性寰枢椎脱位的近期疗效[J].中国修复重建外科杂志,2019,33(11):1419-1423.
- [7] GABRIEL J P, MUZUMDAR A M, KHALIL S, et al. A novel crossed rod configuration incorporating translaminar screws for occipitocervical internal fixation: an in vitro biomechanical study[J]. *Spine J*, 2011, 11(1): 30-35.
- [8] 高延征,邢帅,高坤,等.枢椎椎板螺钉固定与枢椎椎弓根螺钉固定对枕颈融合术临床疗效的影响[J].脊柱外科杂志,2016,14(3):129-134.
- [9] 马向阳,杨进城,邱锋,等.枕颈交叉棒临床固定技术的建立与临床应用[J].中国骨与关节损伤杂志,2015,30(11):1121-1123.
- [10] 邱锋,许喜林,马向阳,等.枕骨髁 Y 形板联合 C₂ 双侧椎板螺钉交叉棒固定稳定性的生物力学研究[J].中国修复重建外科杂志,2020,34(12):1545-1549.
- [11] 邱锋,许喜林,马向阳,等. C₂ 椎板螺钉短节段钉棒固定

- 系统中交叉棒与平行棒固定的生物力学比较[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(12): 1805-1809.
 - [12] CHEN J, ZHOU F, NI B, et al. New posterior atlantoaxial restricted non-fusion fixation for atlantoaxial instability: a biomechanical study[J]. Neurosurgery, 2016, 78(5): 735-741.
 - [13] LIU S, SONG Z, LIU L, et al. Biomechanical evaluation of C₁ lateral mass and C₂ translaminar bicortical screws in atlantoaxial fixation: an in vitro human cadaveric study[J]. Spine J, 2018, 18(4): 674-681.
 - [14] WILKE H J, WENGER K, CLAES L. Testing criteria for spinal implants: recommendations for the standardization of in vitro stability testing of spinal implants [J]. Eur Spine J, 1988, 7(2): 148-154.
 - [15] 王圣林, 田英轮, 许南方, 等. 颈椎后路“组合式”内固定治疗寰枢关节不稳或脱位的临床疗效[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2020, 30(4): 338-345.
 - [16] 郑建章, 吴宏, 胡世平, 等. 寰枢椎椎弓根钉内固定术治疗寰枢椎不稳疗效分析[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35(3): 252-254.
 - [17] 付松, 邵诗泽, 刘海军, 等. 枕颈融合与寰枢椎融合治疗上颈椎失稳症的疗效比较[J]. 骨科, 2012, 3(2): 93-94.
 - [18] JOAQUIM A F, OSORIO J A, RIEW K D. Occipitocervical fixation: general considerations and surgical technique [J]. Global Spine J, 2020, 10(5): 647-656.
 - [19] 王正光, 周勇. 单侧椎棘突椎板螺钉治疗寰枢椎不稳定的临床研究[J]. 深圳中西医结合杂志, 2021, 31(14): 102-104.
 - [20] CRISTANTE A F, TORELLI A G, KOHLMANN R B, et al. Feasibility of intralaminar, lateral mass, or pedicle axis vertebra screws in children under 10 years of age: a tomographic study [J]. Neurosurgery, 2012, 70(4): 835-838.
 - [21] 金根洋, 赵杰, 连小峰, 等. 4 种不同后路枕颈内固定方式的生物力学研究[J]. 颈腰痛杂志, 2007(5): 356-361.
 - [22] SHEN K, DENG Z, YANG J, et al. Biomechanical study of novel unilateral C₁ posterior arch screws and C₂ laminar screws combined with an ipsilateral crossed C₁-C₂ pedicle screw-rod fixation for atlantoaxial instability [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2017, 137(10): 1349-1355.
- (收稿日期: 2021-12-08)
-
- (上接第 18 页)
- [13] 熊应宗, 朱俊琛, 王超, 等. 针刀联合塞来昔布治疗膝骨关节炎的临床疗效观察[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2020, 28(2): 19-23.
 - [14] LI X, MEI W, HUANG Z, et al. Casticin suppresses monoiodoacetic acid-induced knee osteoarthritis through inhibiting HIF-1 α /NLRP3 inflammasome signaling[J]. Int Immunopharmacol, 2020, 86: 106745.
 - [15] BOOKER S Q, SIBILLE K T, TERRY E L, et al. Psychological predictors of perceived age and chronic pain impact in individuals with and without knee osteoarthritis [J]. Clin J Pain, 2020, 36(8): 569-577.
 - [16] 王度, 张文明. 膝关节骨性关节炎的分型进展及临床意义[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(1): 53-57.
 - [17] 欧阳松, 杨红军. 风湿湿热包联合风湿药酒涂擦治疗膝痹病疗效观察[J]. 四川中医, 2020, 38(10): 162-164.
 - [18] 阿古达木, 陈薇薇, 徐杉, 等. 独活寄生汤临床运用及药理研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2020, 22(10): 163-167.
 - [19] 牛彦强, 颜春鲁, 安方玉, 等. 膝骨关节炎基因表达及中医药干预机制的研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2020, 26(4): 585-589.
 - [20] 刘晶, 宫玉榕, 修忠标. 肌骨超声视角下膝痹病经筋辨治的再认识[J]. 环球中医药, 2020, 13(8): 1384-1387.
 - [21] 郭玮, 张彩, 亚妮, 等. 基于肌骨超声评价的毫火针治疗寒湿痹阻型膝骨关节炎并发滑膜炎的临床研究[J]. 上海中医药杂志, 2019, 53(2): 47-50.
 - [22] 宗姝琪, 亚妮, 李之恺, 等. 关刺针法对于膝关节滑膜炎的临床疗效观察[J]. 北京中医药, 2021, 40(3): 316-319.
 - [23] 卢一丹, 詹梦娜, 尤晨宇, 等. 膝关节骨关节炎肌骨超声半定量评分与西安大略麦克马斯特大学骨关节炎指数相关性分析[J]. 中国基层医药, 2020, 27(17): 2068-2071.
 - [24] 钟传棋, 吴斌, 杨功旭, 等. 伤疼巴布贴治疗早中期膝骨关节炎的临床研究[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2021, 29(4): 35-38.
 - [25] 周子齐, 关雪峰, 杨永菊. 独活寄生汤治疗膝骨关节炎机制的研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(5): 2859-2862.
 - [26] 史晓伟, 王东峰, 邓晓丰, 等. 不同针刺方式对早期膝骨关节炎兔模型软骨细胞及 II 型胶原蛋白代谢的影响[J]. 针灸临床杂志, 2022, 38(1): 59-64.
- (收稿日期: 2022-02-03)