

基础研究

枢椎侧块关节前倾对寰枢椎稳定性的影响
及不同重建方式的生物力学评价曹正霖¹, 罗荣森¹, 禡天航¹, 陆伟豪^{1,2}, 王刚¹, 于森¹, 付忠泉¹, 霍智铭¹

(1 广东省佛山市中医院脊柱骨科 528000; 2 广州中医药大学研究生院 510000 广州市)

【摘要】目的:探讨枢椎侧块关节前倾对寰枢椎稳定性的影响及不同重建方式的生物力学稳定性,为指导临床术式选择提供理论依据。**方法:**选取 6 具男性新鲜尸体枕颈部标本(枕骨髁基底 C0~C3),年龄 18~50 岁,每具标本依次制作成完整状态模型(A 组)、切断标本齿状突基底部造成齿状突 II 型骨折制作寰枢椎不稳模型(B 组)、枢椎侧块 25°前倾楔形截骨模型(C 组)、后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定模型(D 组)及后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨模型(E 组),在脊柱三维运动试验机上分别给予 1.5N·m 的屈/伸、左/右侧弯、左/右旋转力矩,测量不同模型的三维运动范围(ROM)。**结果:**A 组在屈/伸、左/右侧弯和左/右旋转运动的 ROM 分别为 10.80°±0.74°/10.90°±0.54°、9.18°±0.97°/9.06°±0.47°、23.07°±0.27°/23.15°±0.63°;B 组分别为 15.88°±0.56°/16.20°±0.48°、17.12°±0.35°/17.27°±0.51°、34.15°±0.38°/34.27°±0.44°;C 组分别为 18.93°±0.61°/20.16°±0.54°、26.18°±1.34°/25.26°±0.71°、40.86°±0.60°/41.16°±0.38°;D 组分别为 0.64°±0.19°/0.57°±0.11°、2.01°±0.45°/1.86°±0.34°、1.36°±0.18°/1.76°±0.13°;E 组分别为 0.63°±0.15°/0.51°±0.17°、1.28°±0.86°/1.42°±0.22°、0.50°±0.28°/0.59°±0.26°。在屈/伸、左/右侧弯运动中,C 组的 ROM 最大,与其他组两两比较差异有显著性($P<0.05$),B 组和 C 组的 ROM 均较 A 组明显增大($P<0.05$),D 组和 E 组的 ROM 均较 A 组、B 组、C 组明显减小($P<0.05$),D 组和 E 组比较无统计学差异($P>0.05$);在左/右旋转运动中,C 组的 ROM 最大,E 组的 ROM 最小,D 组和 E 组的 ROM 均较 A 组、B 组、C 组明显减小($P<0.05$),D 组和 E 组比较差异有显著性($P<0.05$)。**结论:**枢椎侧块关节前倾角度增大会明显增加寰枢椎的 ROM,导致其在屈/伸、侧弯及抗旋转的稳定性明显下降,后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定在屈/伸、左/右侧弯运动的稳定性与后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨相似,但在限制寰枢椎旋转运动的能力较弱。

【关键词】寰枢椎;侧块关节;内固定;稳定性;生物力学

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.12.06

中图分类号:R318.01, R681.5 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2019)-12-1096-07

The influence of anteversion of the C2 lateral mass joint on the stability of atlantoaxial joint and biomechanical evaluation of different reconstruction methods/CAO Zhenglin, LUO Rongsen, XUAN Tianhang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2019, 29(12): 1096-1102

【Abstract】Objectives: To provide a new theoretical basis by elucidating the influence of the anteversion of the C2 Lateral mass joint on the stability of the atlantoaxial joint and the biomechanical stability of different reconstruction methods. **Methods:** Six male fresh human cadaveric neck specimens (C0-C3 of the occipital epiphysis) were selected. Each specimen was made into a complete state model(group A), atlantoaxial instability model by cutting the odontoid base of the specimen and causing a odontoid type II fracture (group B), 25° forward tilt wedge osteotomy model(group C), posterior atlantoaxial pedicle screw fixation model(group D), and posterior atlantoaxial pedicle screw fixation and lateral block joint bone grafting model(group E). 1.5 N·m torque was added at flexion/extension, left/right bending and left-handed/right-handed on the spine three-dimensional motion test machine to measure the three-dimensional range of motion(ROM) under different models. **Results:** The ROM of the flexion/extension, left/right bending and left-handed/right-handed motion of group A were: 10.80°±0.74°/10.90°±0.54°, 9.18°±0.97°/9.06°±0.47°, 23.07°±0.27°/23.15°±0.63°; that of group

第一作者简介:男(1970-),医学博士,主任医师,研究方向:脊柱外科

电话:(075)83061102 E-mail:caozl.doctor@163.com

B were $15.88^{\circ} \pm 0.56^{\circ} / 16.20^{\circ} \pm 0.48^{\circ}$, $17.12^{\circ} \pm 0.35^{\circ} / 17.27^{\circ} \pm 0.51^{\circ}$, $34.15^{\circ} \pm 0.38^{\circ} / 34.27^{\circ} \pm 0.44^{\circ}$; of group C were $18.93^{\circ} \pm 0.61^{\circ} / 20.16^{\circ} \pm 0.54^{\circ}$, $26.18^{\circ} \pm 1.34^{\circ} / 25.26^{\circ} \pm 0.71^{\circ}$, $40.86^{\circ} \pm 0.60^{\circ} / 41.16^{\circ} \pm 0.38^{\circ}$; of group D were $0.64^{\circ} \pm 0.19^{\circ} / 0.57^{\circ} \pm 0.11^{\circ}$, $2.01^{\circ} \pm 0.45^{\circ} / 1.86^{\circ} \pm 0.34^{\circ}$, $1.36^{\circ} \pm 0.18^{\circ} / 1.76^{\circ} \pm 0.13^{\circ}$; of group E were $0.63^{\circ} \pm 0.15^{\circ} / 0.51^{\circ} \pm 0.17^{\circ}$, $1.28^{\circ} \pm 0.86^{\circ} / 1.42^{\circ} \pm 0.22^{\circ}$, $0.50^{\circ} \pm 0.28^{\circ} / 0.59^{\circ} \pm 0.26^{\circ}$. In flexion/extension and left/ right bending, the ROM of the group C was the largest, and the differences between group C and any other group were significant ($P < 0.05$). The ROM of group B and group C were significantly higher than that of group A ($P < 0.05$). Compared with group A, group B and group C, the ROM of group D and group E were both significantly smaller ($P < 0.05$), there was no significant difference between group D and group E ($P > 0.05$). In left-handed/right-handed, group C had the largest ROM and group E the smallest. The ROM of group D and group E were significantly lower than that of group A, group B and group C ($P < 0.05$). The difference between group D and group E was significant ($P < 0.05$). **Conclusions:** The increase of the anterior tilt angle of the C2 lateral mass joint can significantly increase the ROM of the atlantoaxial vertebra, resulting in a significant decrease in the stability of flexion/extension, lateral flexion and anti-rotation. In posterior atlantoaxial pedicle screw fixation, the stability of the flexion/extension and left/right bending motions is similar to that of the posterior atlantoaxial pedicle screw fixation and lateral block joints, but the ability to restrict the atlantoaxial rotational motion is weak.

[Key words] Atlantoaxial joint; Lateral mass joint; Internal fixation; Stability; Biomechanics

[Author's address] Department of Spine Surgery, Foshan Traditional Chinese Medicine Hospital, Foshan, 528000, China

寰枢侧块关节近似平面关节, 正常寰枢侧块关节两侧基本对称, 冠状面上相对水平面有约 20° 的外倾, 矢状面上与水平面平行, 关节囊松弛, 关节面形态是维持其自身稳定的主要因素。作为重力传导的主要部位, 先天畸形、炎症侵蚀、肿瘤破坏、骨折畸形愈合或长期磨损等可导致寰枢侧块关节面方向和接触面积的变化, 承重力矩改变, 使寰枢关节产生滑移趋势。既往前路、后路寰枢椎内固定联合侧块关节间植骨治疗寰枢椎脱位已有报道^[1-9]。关于枢椎侧块关节前倾对寰枢椎稳定性的影响及其不同重建方式的生物力学稳定性, 尸体生物力学研究尚未见相关报道。本研究通过对尸体标本进行生物力学研究, 探讨枢椎侧块关节前倾对寰枢椎稳定性的影响及不同重建方式的生物力学稳定性, 为指导临床术式的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 模型制备与分组

选取新鲜尸体枕颈部标本 6 例, 均为男性, 年龄 18~50 岁, 平均 43.5 岁, 每个标本由枕骨髁基底 C0 和颈椎 C1~C3 组成, 经大体观察、X 线摄片及 CT 薄层扫描证实无软组织损伤和骨性异常。剔除其附着肌肉等软组织, 保留骨、韧带、关节及关节囊的完整, 制备成完整状态下的颈椎实验

标本(图 1)。在开口器及电钻等器械辅助下分别于枕骨髁基底 C0 和 C3 椎体下方置入数枚长度适中的螺钉以确保包埋牢固。使用义齿基托树脂粉(牙托粉)及义齿基托树脂液(牙托水)进行包埋, 包埋平面将螺钉完全覆盖, C3 椎体后壁前斜 20° , 以维持颈椎生理曲度, 预留出包埋状态下寰枢椎椎弓根钉棒固定的空间, 定时喷洒生理盐水, 保持标本正常的湿润状态(图 2)。

6 具标本分别按序进行完整状态模型(A 组)、寰枢椎不稳模型(B 组)、枢椎侧块 25° 前倾楔形截骨模型(C 组)、后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定模型(D 组)、后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨模型(E 组)5 种状态下的三维运动范围测试。(1)寰枢椎失稳模型^[10]:待完整状态模型测试后制作寰枢椎失稳模型, 考虑到测试夹具的遮挡、模型制备的简便及避免对标本的过多破坏, 本实验中采用模拟齿状突 II 型骨折的方法制备寰枢椎失稳模型。(2)枢椎侧块截骨模型(图 3):在失稳模型测试后制作枢椎侧块截骨模型, 显露寰枢侧块关节囊, 用小尖刀切开关节囊, 暴露寰枢侧块关节, 在枢椎双侧上关节面行楔形截骨, 根据两线定一平面原理, 使用 2 根 1.2mm 的克氏针在平行于寰枢侧块下关节面所在平面纵向置入, 使用量角器在枢椎侧块上定出 25° 的 2 个定位点, 分别置入 2 根 1.2mm 的克氏针确定枢椎侧块

25°前倾平面,使用摆锯沿枢椎侧块克氏针所在平面楔形截骨,制作成枢椎侧块关节 25°前倾的标本。(3)后路寰枢椎椎弓根钉棒固定模型(图 4):完成枢椎侧块截骨模型测试后制作后路寰枢椎椎弓根钉棒固定模型,沿 C1 后弓向外侧显露至侧块交界处,选择 C1 后结节旁开约 20mm 与后弓椎动脉沟处下缘 3mm 的交点处为进钉点,使用磨钻磨去进钉点少许皮质骨,开口锥钻入后,开路锥保持头倾 5°~10°、内倾 10°~15°置入并使用探针探查钉道,开路后旋入长度为 20~26mm、直径 3.5mm 的 C1 椎弓根螺钉;显露 C2 峡部,选择 C2 侧块中点为进钉点,磨去少许皮质骨后用开口锥钻入,开路器沿头倾 25°、内倾 15°~25°方向钻孔,同时用神经剥离子探明椎弓根内侧缘以判断钻孔方向,探针探查钉道后置入长 20~26mm、直径 3.5mm 的 C2 椎弓根螺钉;选择合适长度连接棒连接,用螺帽锁紧。(4)后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间结构性支撑植骨(图 5):完成后路寰枢椎椎弓根钉棒固定模型测试后,将螺帽松开并取出连接棒,适当撑开寰枢椎椎弓根螺钉,将覆盖义齿基托树脂粉的楔形骨块分别植入寰枢侧块关节,放入连接棒,加压并锁紧螺帽。

1.2 生物力学测试

所有标本模型以非破坏方式在脊柱三维运动试验机上使用 Motion Analysis Co.6 Eagle 系统(美国魔神运动分析技术公司,南方医科大学生物力学教研室)测量。对标本施加 1.5N·m 生理活动最大纯力偶矩^[1],使颈椎产生前屈/后伸、左侧弯/右侧弯、左/右轴向旋转 6 种运动后测试其三维运动度(图 6)。每次测试重复 3 次加载/卸载循环,每次加载和卸载后停留 30s,以允许颈椎蠕变运动,在第 3 次循环时进行运动学测量,以减少标本粘弹性作用的影响。通过荧光摄像机以坐标系定位方式采集所有标本模型在中立位、卸载位和加载位下的坐标,再运用图像处理系统 Raindrop Geomagic (Research Triangle Park, NC) 计算出寰枢椎的三维运动范围。

1.3 统计方法及数据处理

采用 IBM Statistic SPSS 25.0 统计分析软件进行统计学分析。多组间比较采用单因素方差分析 (One-way ANOVA), 并进行组间多重比较 (SNK 法), 显著性水平设置在 $P < 0.05$ 。

2 结果

5 组模型在前屈、后伸、左侧弯、右侧弯、左旋、右旋的运动范围(ROM)见表 1。后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨组、单纯后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定组与完整组、失稳组、截骨组比较寰枢关节各方向的 ROM 均减小 ($P < 0.05$),失稳组 ROM 较完整组大($P < 0.05$),枢椎侧块截骨组 ROM 最大,与其他组两两相比较有显著性差异($P < 0.05$),后路钉棒内固定+侧块关节间植骨组较后路寰枢椎椎弓单纯钉棒内固定组在各方向的 ROM 稍小,其中在屈、伸和侧弯的 ROM 比较无显著性差异($P > 0.05$),旋转 ROM 的比较有显著性差异($P < 0.05$)。

3 讨论

寰枢椎脱位的原因较多,包括创伤、炎症、先天性畸形、退变、肿瘤以及医源性因素等,其外科治疗较为复杂和棘手,需要及时手术解除脊髓的压迫或潜在神经损伤风险,一直是脊柱外科的难点之一^[12-16]。Salunke 等^[1]发现难复性脱位患者中寰枢关节两侧不对称发生率较高。Ishii 等^[2]发现慢性复发性和不可复性寰枢椎旋转固定的患者可见枢椎侧块关节面畸形。Goel 等^[3-5]的临床研究发现,在寰枢椎内固定的基础上加用寰枢侧块关节间结构性支撑植骨有助于恢复寰枢椎间隙高度和颈椎曲度、提高寰枢关节融合率及增强稳定性。Park 等^[6]的体外生物力学实验证实,寰枢侧块关节的接触支撑有利于提高寰枢关节固定的稳定性。尹一恒等^[7]总结了先天性发育畸形的寰枢侧方关节的病例,初步验证寰枢外侧关节前倾角度的增大与寰枢脱位的发生及颅底凹陷的进展具有相关性。李松凯等^[8]的研究发现,在 C1+C2 基础上添加后路寰枢椎侧块关节融合器,显著增加手术的生物力学稳定性,为临床上后弓缺如患者提供了良好的选择,而且在他们制作的脱位寰枢椎三维非线性有限元模型上得到证实。寰椎的形态呈前高后低,在日常生活和工作中,头颈部的屈伸运动和其自身重力作用会使寰椎位置相对于枢椎出现向前下方滑移的趋势。临床工作中,寰枢椎脱位的患者,特别是伴齿状突骨折的患者,多以向前脱位为主,而寰枢侧块关节主要承担了上颈椎的轴向压力。因此我们通过枢椎侧块楔形截骨的方法制作出寰枢外侧关节面成 25°的前倾模型模拟寰



图 1 完整状态下的颈椎实验标本 a 正面观 b 后面观 图 2 标本包埋固定模型 a 正面观 b 后面观 图 3 枢椎侧块 25°前倾楔形截骨 a 正面观 b 侧面观 c 楔形骨块 d 截骨后正面观 图 4 后路寰枢椎椎弓根钉棒固定模型 a 正面观 b 后面观 图 5 后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨模型 a 正面观 b 侧面观

Figure 1 Cervical spine specimens in intact state **a** Front view **b** Back view **Figure 2** Specimen embedded fixed model **a** Front view **b** Back view **Figure 3** 25° forward tilting wedge osteotomy of the lateral mass of the axis **a** Front view **b** Side view **c** Wedge-shaped bone **d** Front view after osteotomy **Figure 4** Posterior atlantoaxial pedicle screw fixation model **a** Front view **b** Back view **Figure 5** Posterior atlantoaxial pedicle screw fixation and lateral block joint bone grafting model **a** Front view **b** Side view

枢椎前脱位患者的情况，比较寰枢椎在完整状态模型、寰枢椎不稳模型、枢椎侧块 25°前倾楔形截骨模型、后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定模型、后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨模型

的三维 ROM 和稳定性，发现后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨模型的三维 ROM 最小、抗旋转稳定性最佳，提示临床实践工作中，对需要行后路寰枢椎钉棒内固定的患者，应辅助

寰枢侧块关节间植骨。

本研究结果显示,失稳组标本模型的屈、伸运动、侧弯运动和旋转运动的 ROM 较完整组模型有显著性差异($P<0.05$),说明枢椎齿状突Ⅱ型骨折模型建立后寰枢椎的三维 ROM 较完整状态下明显增加,失稳模组标本模型建立成功。枢椎侧块

截骨后,标本的寰枢外侧关节面夹角增大,与失稳组标本模型相比,截骨组标本模型在屈、伸、侧弯和旋转的 ROM 增加,差异有统计学意义($P<0.05$),说明寰枢椎侧块关节的支撑有助于维持寰枢椎的稳定性。与完整组标本模型相比,后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定组标本模型及后路寰枢椎椎

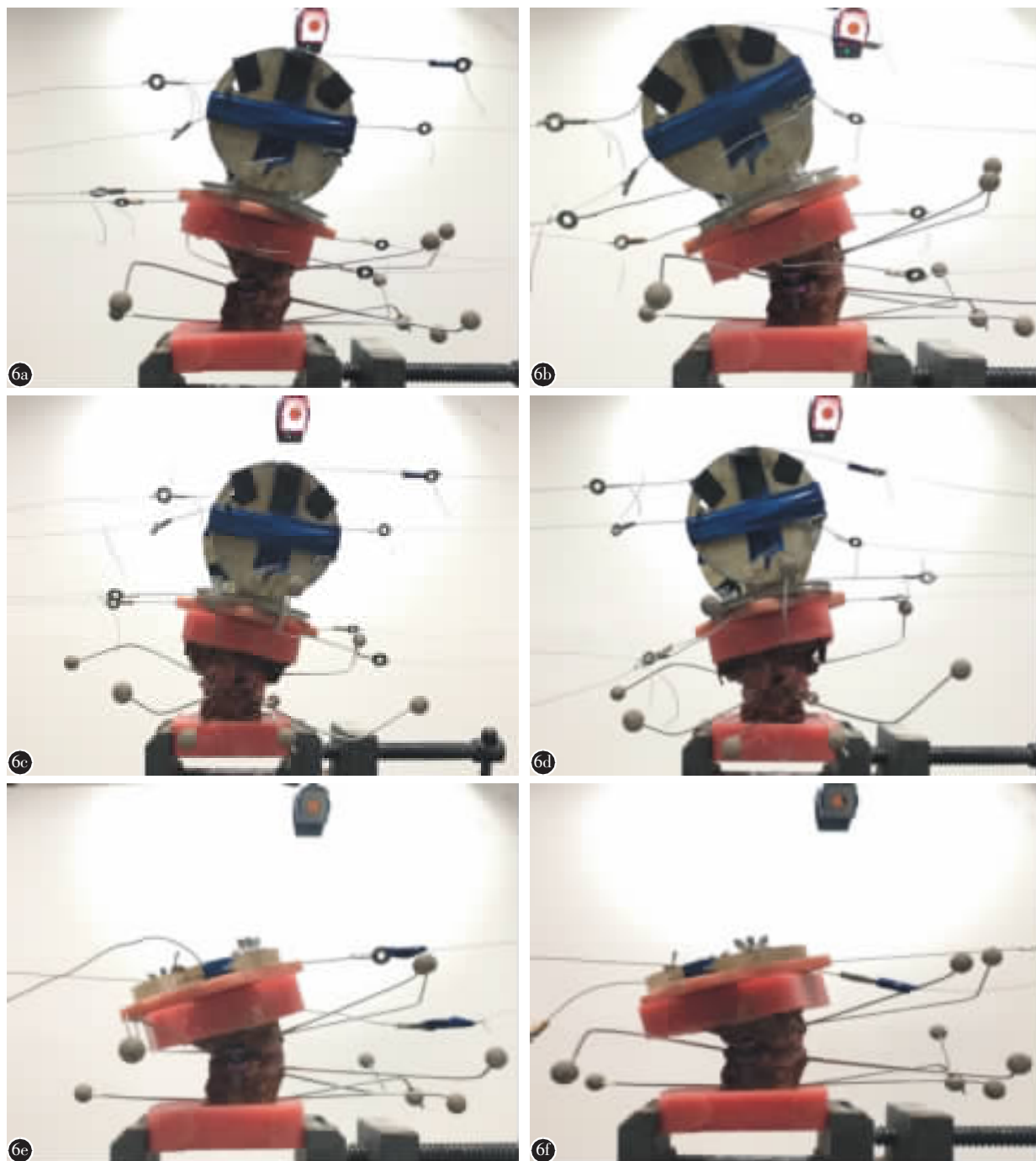


图 6 后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨模型三维运动测试 a 前屈 b 后伸 c 左侧弯 d 右侧弯 e 左旋 f 右旋

Figure 6 Three-dimensional motion test of posterior atlantoaxial pedicle screw fixation and lateral joint interbody bone grafting model a Flexion b Posterior extension c Left bending d Right bending e Left rotation f Right rotation

表 1 5 组模型寰枢椎各运动方向的活动范围 (ROM)

($\bar{x} \pm s, n=6, ^\circ$)

Table 1 Range of motion of the atlantoaxial motion

	前屈 Flexion	后伸 Posterior extension	左侧弯 Left bending	右侧弯 Right bending	左旋 Left-handed	右旋 Right-handed
完整组(A组) Group A	10.80±0.74	10.90±0.54	9.18±0.97	9.06±0.47	23.07±0.27	23.15±0.63
失稳组(B组) Group B	15.88±0.56 ^①	16.20±0.48 ^①	17.12±0.35 ^①	17.27±0.51 ^①	34.15±0.38 ^①	34.27±0.44 ^①
侧块截骨组(C组) Group C	18.93±0.61 ^{①②}	20.16±0.54 ^{①②}	26.18±1.34 ^{①②}	25.26±0.71 ^{①②}	40.86±0.60 ^{①②}	41.16±0.38 ^{①②}
内固定组(D组) Group D	0.64±0.19 ^{①②③}	0.57±0.11 ^{①②③}	2.01±0.45 ^{①②③}	1.86±0.34 ^{①②③}	1.36±0.18 ^{①②③}	1.76±0.13 ^{①②③}
侧块植骨内固定 组(E组) Group E	0.63±0.15 ^{①②③}	0.51±0.17 ^{①②③}	1.28±0.86 ^{①②③}	1.42±0.22 ^{①②③}	0.5±0.28 ^{①②③④}	0.59±0.26 ^{①②③④}

注:①与 A 组比较 $P<0.05$;②与 B 组比较 $P<0.05$;③与 C 组比较 $P<0.05$;④与 D 组比较 $P<0.05$ Note: ①Compared with group A, $P<0.05$; ②Compared with group B, $P<0.05$; ③Compared with group C, $P<0.05$; ④Compared with group D, $P<0.05$

弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨组标本模型的屈、伸、侧弯和旋转的 ROM 有显著性差异 ($P<0.05$),二者均可使寰枢椎的三维 ROM 明显减少,为寰枢椎提供良好的生物力学稳定性能。与后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定组标本模型相比,后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨组标本模型的屈、伸和侧弯 ROM 均减小,但差异无统计学意义 ($P>0.05$),两组模型在屈伸运动、侧弯运动的生物力学稳定性能相似。后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨组标本模型较单纯后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定组标本模型在左旋 ROM ($P<0.05$)及右旋 ROM ($P<0.05$)均减小,说明寰枢侧块关节面支撑植骨能适当撑开寰椎侧块下关节面、枢椎侧块上关节面,并使寰枢椎侧块关节面充分接触,从而提高寰枢椎抗旋转稳定性。常规寰枢椎椎板间植骨及寰椎后弓与枢椎棘突间植骨等后方植骨良好的融合需要寰枢椎间植骨面的去皮质化、寰枢椎后弓间对骨块的加压及限制寰枢椎间的运动,其植骨块的稳定性不强,而寰枢椎侧块关节间植骨不依赖寰枢椎后方结构的完整性,在促进寰枢椎融合的基础上,既可以起到支撑作用稳定关节,实现垂直方向复位,又可以作为支点,在 C1/C2 螺钉尾端加压收紧过程中完成水平复位。本实验中,后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨组与单纯后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定组比较,其屈/伸、左/右侧弯的 ROM 无统计学差异 ($P>0.05$),但后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨组的旋转 ROM 明显低于单纯后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定组,差异有显

著性 ($P<0.05$),说明侧块间植骨的稳定性更佳,与李松凯等^[8]的研究结论一致。

既往的寰枢椎尸体生物力学研究多集中在寰齿关节的形态变化,寰枢外侧关节形态变化特征对寰枢椎的活动度及内固定的稳定性研究未见相关报道。在临床工作中我们发现,寰枢侧块关节囊薄而松弛,对寰枢关节的运动范围和稳定性的影响不大。本研究通过截骨的方法制作寰枢椎侧块 25°前倾模型,主要是为了模拟寰枢椎前脱位患者的实际情况,在寰枢椎脱位的患者中,尤其是伴前脱位的患者,我们在 CT 发现其寰枢侧块关节前倾角度在 20°~30°左右,故选取 25°截骨。定位枢椎侧块定位点时,根据两线定一平面原理,寰椎侧块下关节面的两根克氏针所在平面对准圆形量角器的任一刻度线,使用量角器在枢椎侧块上定出 25°的 2 个定位点,且 2 点所成的平面与枢椎侧块上关节面平行,使用克氏钻分别钻入,完毕后使用量角器中心对准克氏针平面夹角检测所成角度。寰椎侧块下关节面的 2 枚克氏针组成平面仅作为测量枢椎侧块 25°时的定位线,2 枚克氏针置入后所成的面与寰椎侧块下关节面平行即可。

本研究通过寰枢椎侧块关节楔形截骨的方法,在尸体标本上制作出寰枢椎侧块关节前倾的畸形模型,开创了使用寰枢椎畸形标本进行生物力学实验之先河。选择 6 具新鲜人尸体枕颈部标本(枕骨髁基底 C0~C3),每具标本依次制作成完整状态模型、寰枢椎不稳模型、枢椎侧块 25°前倾楔形截骨模型、后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定模型、后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间

植骨模型,分别测量并分析不同模型下屈、伸、侧弯、旋转等状态的三维 ROM,阐明了寰枢外侧关节形态变化对寰枢关节 ROM 的影响,对存在寰枢外侧关节前倾的寰枢椎脱位外科治疗时,采用寰枢侧块关节间结构性支撑植骨的生物力学意义,为临床治疗寰枢椎脱位提供了新的理论依据。但本研究仅使用 6 具新鲜标本,标本量较少,可能造成实验误差。其次,实验标本模型运动并非由正常情况下的肌肉收缩产生。另外,截骨模型制备中,寰枢椎侧块关节前倾角度的测量步骤及截骨角度准确度仍需提高,3D 个体化打印截骨导板设计或许是今后能改进的一个方向。整个实验模型的制备过程及反复的力学测试过程中容易改变标本生物力学性能,可增加标本量及辅助使用有限元模型进行研究,减少实验数据与真实情况之间的误差。

总之,5 种寰枢椎模型生物力学的稳定性比较分析显示,寰枢侧块关节前倾角度增大会明显增加寰枢椎的 ROM,导致其稳定性明显下降。后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定+侧块关节间植骨在屈/伸、左/右侧弯运动的稳定性与后路寰枢椎椎弓根钉棒内固定相似,但其限制寰枢椎旋转运动的能力更佳,为临床上治疗寰枢外侧关节前倾伴寰枢椎脱位的术式选择提供了理论依据。

4 参考文献

1. Salunke P, Behari S, Kirankumar MV, et al. Pediatric congenital atlantoaxial dislocation: differences between the irreducible and reducible varieties[J]. J Neurosurg, 2006, 104(2 Suppl): 115-122.
2. Ishii K, Matsumoto M, Momoshima S, et al. Remodeling of C2 facet deformity prevents recurrent subluxation in patients with chronic atlantoaxial rotatory fixation: a novel strategy for treatment of chronic atlantoaxial rotatory fixation [J]. Spine, 2011, 36(4): E256-262.
3. Goel A, Desai KI, Muzumdar DP. Atlantoaxial fixation using plate and screw method: a report of 160 treated patients [J]. Neurosurgery, 2002, 51(6): 1351-1357.
4. Goel A. Treatment of basilar invagination by atlantoaxial joint distraction and direct lateral mass fixation [J]. J Neurosurg Spine, 2004, 1(3): 281-286.
5. Goel A, Kulkarni AG, Sharma P. Reduction of fixed atlantoaxial dislocation in 24 cases[J]. J Neurosurg Spine, 2005, 2(4): 505-509.
6. Park J, Scheer JK, Lim TJ, et al. Biomechanical analysis of Goel technique for C1-2 fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2011, 14(5): 639-646.
7. 尹一恒. 颅颈交界区畸形中寰枢外侧关节的结构变异与生物力学研究[D]. 解放军总医院, 2012.
8. 李松凯. 寰枢椎侧块关节融合器的研制及力学研究[D]. 第二军医大学, 2011.
9. 莫少东, 艾福志, 李克维, 等. 用于治疗难复位性寰枢椎脱位的新型经口前路寰枢椎侧块融合器的生物力学研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2017, 35(3): 307-311.
10. Crawford NR, Hurlbert RJ, Choi WG, et al. Differential biomechanical effects of injury and wiring at C1-C2 [J]. Spine, 1999, 24(18): 1894-1902.
11. Panjabi M, Dvorak J, Durancieu J, et al. Three-dimensional movements of the upper cervical spine[J]. Spine, 1988, 13(7): 726-730.
12. 谭明生, 张光铂. 浅谈寰枢椎脱位的治疗选择与手术适应证[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(5): 330-331.
13. Isobe K, Hattori S, Hayakawa H, et al. Congenital anomalies of the cervical spine in our clinic[J]. Clin Orthop Relat Res, 2007, 18(3): 463-478.
14. Tubbs RS, Hallock JD, Radcliff V, et al. Ligaments of the craniocervical junction[J]. J Neurosurg Spine, 2011, 14(6): 697-709.
15. 黄菊英, 聂庆斌, 王兴文, 等. 颅颈交界区的不稳对寰枢侧方关节生物力学的影响[J]. 中华神经外科杂志, 2015, 33(4): 345-349.
16. 杨明浩, 高文雷, 金乾坤, 等. 颅颈交界区畸形寰枢外侧关节生物力学稳定性的有限元分析[J]. 重庆医学, 2015, 44(29): 4070-4072+4076.

(收稿日期:2019-04-24 末次修回日期:2019-10-31)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 李伟霞)