

文章编号: 1004-7220(2022)04-0618-06

新型交锁髓内钉对尺骨鹰嘴横形骨折固定的力学性能影响

覃小帅^{1a}, 高云², 王冠^{1a}, 许玉林^{1a}, 刘晋琿^{1a,3}, 葛建华^{1a}, 段可^{1a,3}, 鲁晓波^{1a,3*}, 梁成^{1a,1b,3*}

(1. 西南医科大学附属医院 a 骨与关节外科, b 临床医学研究中心, 四川 泸州 646000; 2. 西南医科大学 人体解剖学教研室, 四川 泸州 646000; 3. 四川省骨科置入器械研发及应用技术工程实验室, 四川 泸州 646000)

摘要:目的 研究交锁髓内钉对尺骨鹰嘴横形骨折的固定效果。方法 收集 9 对新鲜尺骨标本, 建立尺骨鹰嘴横形骨折模型, 分别利用克氏针张力带、交锁髓内钉修复骨折; 分别模拟肘关节屈曲 30°、45° 和 60° 下, 在肱三头肌腱处施加幅值 25 N、均值 45 N 和频率 0.5 Hz 循环动态拉力载荷, 记录标本在 300 个循环周期下的骨折位移。结果 屈曲 30° 时, 交锁髓内钉组、克氏针张力带组骨折位移分别为 (1.831±0.333)、(3.723±2.390) mm ($P=0.024$); 屈曲 45° 时, 交锁髓内钉组、克氏针张力带组骨折位移为分别 (1.167±0.374)、(2.455±0.609) mm ($P=0$); 屈曲 60° 时, 交锁髓内钉组、克氏针张力带组骨折位移分别为 (1.407±0.342)、(3.112±1.025) mm ($P=0$)。交锁髓内钉修复的骨折位移更小。结论 交锁髓内钉的力学性能优于克氏针张力带, 交锁髓内钉固定尺骨鹰嘴横形骨折更稳定、更牢固; 且利用操作工具安装交锁髓内钉, 手术更精准、快捷, 手术效率得到极大提高。

关键词: 尺骨鹰嘴; 横形骨折; 交锁髓内钉; 克氏针张力带

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.04.007

Mechanical Properties of Novel Interlocking Intramedullary Nail for Fixing Transverse Olecranon Fractures

QIN Xiaoshuai^{1a}, GAO Yun², WANG Guan^{1a}, XU Yulin^{1a}, LIU Jinhui^{1a,3}, GE Jianhua^{1a}, DUAN Ke^{1a,3}, LU Xiaobo^{1a,3*}, LIANG Cheng^{1a,1b,3*}

(1a. Department of Orthopedics, 1b. Clinical Medicine Research Center, the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan, China; 2. Department of Human Anatomy, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan, China; 3. Sichuan Provincial Laboratory of Orthopaedic Engineering, Luzhou 646000, Sichuan, China)

Abstract: **Objective** To study the effect of interlocking intramedullary nail on fixing transverse olecranon fracture. **Methods** Nine pairs of fresh ulna specimens were collected and the transverse fracture model of olecranon was established. Kirschner wire tension band and interlocking intramedullary nail were used to repair the fracture. Cyclic dynamic tension loads with amplitude of 25 N, mean value of 45 N and frequency of 0.5 Hz were applied to the triceps tendon under simulated elbow flexion conditions of 30°, 45° and 60°, respectively. The fracture displacements of specimens within 300 cycles were recorded in three groups. **Results** At 30° flexion angle, the fracture displacement of interlocking intramedullary nail group and Kirschner wire tension band group was (1.831±0.333) mm and (3.723±2.390) mm, respectively. At 45° flexion angle, the fracture displacement of interlocking

收稿日期: 2021-08-10; 修回日期: 2021-09-14

基金项目: 泸州-西南医科大合作项目(2020LZXNYDF02), 泸县-西南医科大合作项目(2020LXXNYKD-01), 西南医科大学课题(2019ZQN051)

通信作者: 鲁晓波, 主任医师, E-mail: luxiaobo1963@126.com; 梁成, 助理工程师, E-mail: 823695095@qq.com

* 为共同通信作者

intramedullary nail group and Kirschner wire tension band group was (1.167 ± 0.374) mm and (2.455 ± 0.609) mm, respectively. At 60° flexion angle, the fracture displacement of interlocking intramedullary nail group and Kirschner wire tension band group was (1.407 ± 0.342) mm and (3.112 ± 1.025) mm, respectively. The fracture displacement of interlocking intramedullary nail was smaller. **Conclusions** The mechanical properties of interlocking intramedullary nail are better than those of Kirschner wire tension band, and the interlocking intramedullary nail is more stable and firmer for fixing transverse olecranon fracture. Moreover, the interlocking intramedullary nail is installed with the operating tool, thus the operation is more accurate and faster, and the operation efficiency is greatly improved.

Key words: ulna olecranon; transverse fracture; interlocking intramedullary nail; Kirschner wire tension band

尺骨鹰嘴骨折为创伤骨科常见病之一,约占成人上肢骨折 10%^[1]。骨折常常累及关节面,多为关节内骨折。对于移位的鹰嘴骨折多采用切开复位内固定治疗,治疗原则要求解剖复位、牢固内固定和早期功能锻炼,以防止关节僵硬和创伤性关节炎^[2]。国际内固定研究学会(Association for the Study of Internal Fixation, AO)推荐将克氏针张力带作为治疗简单移位鹰嘴骨折的“金标准”,其能有效中和骨折端的张力,使骨折对合紧密,有利于骨折愈合^[3-5]。国内外针对克氏针张力带固定术治疗效果的研究显示,其存在较高的并发症发生率,常见的有硬件突出、退针、皮肤刺激等^[6-8]。

为此,西南医科大学附属医院骨科研发了一款既能牢固固定、又能降低并发症发生率、同时满足操作精准便捷条件的新型尺骨鹰嘴交锁髓内钉及其辅助植入工具。髓内钉固定于髓腔内,具有微创的特性,同时能有效减少对周围组织的刺激,而植入工具能提高植入的精准性。本文评估新型髓内钉在循环加载下固定鹰嘴横行骨折的力学性能,将克氏针张力带作为对照组。

1 对象与方法

新型尺骨鹰嘴交锁髓内钉由主钉和锥形交锁钉组成,主钉为外径 5.5 mm 空心钉,上有 3 个锁定孔(两个横行,1 个斜形),锥形交锁钉为外径 3.5 mm 空心锥形螺纹钉。锥形交锁钉通过主钉的锁定孔与主钉形成一体结构。本文重点研究鹰嘴横行骨折,为了减少手术时间和减少手术创口面积,锥形交锁钉通过主钉的斜形锁定孔与主钉交锁从而固定骨折。同时,为提高植入精准性,设计的辅助操作工具保证了锥形交锁钉能准确植入锁定孔(见图 1)。

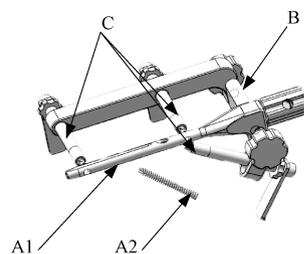


图 1 尺骨鹰嘴交锁髓内钉及其操作工具

Fig. 1 Ulna olecranon interlocking intramedullary nail and its operating tools

注: A1-主钉, A2-锥形交锁钉, B-定位支架, C-导向套筒。

1.1 骨折模型和手术方法

从西南医科大学解剖实验室获取 9 对新鲜冷冻尸体上肢标本[6 女 3 男, 年龄 (48 ± 8) 岁], 进行 X 线扫描, 排除畸形、陈旧性骨折、严重骨质疏松、肿瘤等病变。分离皮肤及皮下软组织, 暴露尺骨鹰嘴。用 1 mm 摆锯在鹰嘴与冠突中点处垂直于尺骨干截骨, 建立鹰嘴横形骨折模型[见图 2(a)]。

按照随机配对的原则, 分为两组。第 1 组采用克氏针张力带固定, 骨折端复位后, 用复位钳临时固定, 采用两枚 2.0 mm 克氏针自鹰嘴顶端平行穿入, 越过骨折线 4~5 cm, 尾端保留 0.5~1 cm 并折弯, 在骨折线远端尺骨干上横行钻孔, 穿入 1 mm 钢丝, 在鹰嘴背面紧贴骨面作“8”字形交叉固定。第 2 组采用髓内钉固定, 先用克氏针自鹰嘴顶端纵行尺骨体方向钻入行临时固定, 再用 5.5 mm 钻头沿克氏针方向钻入髓腔扩髓, 插入主钉和辅助工具; 用 2.5 mm 钻头沿导向套筒钻孔, 然后用外径 3.5 mm 锥形交锁钉插入主钉上的斜形锁定孔, 与主钉构成交锁固定[见图 2(b)]。所有内固定操作均由同一骨科医师完成, 标本制作和力学测试均在生物力学实验室内完成。

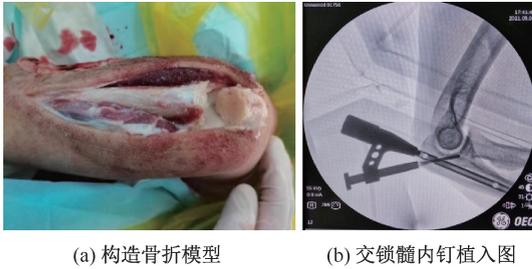


图2 骨折模型构造及手术操作示意图

Fig. 2 Fracture model construction and schematic diagram of operation (a) Structural fracture model, (b) Implantation diagram of interlocking intramedullary nail

1.2 力学实验测试

根据实验要求将修复后的尺骨从前臂中剥离,保留肱三头肌肌腱[见图3(a)]。用自凝牙托粉(上海新世纪齿科材料有限公司)将尺骨固定在定制的下夹具中,实验仪器采用 Instron E10000 动态力学试验机(Instron 公司,英国),下夹具可调节肱三头肌腱与尺骨干的夹角,安装于力学测试机的基座上,将肱三头肌腱固定于力学测试机的上夹具中进行动态加载测试[见图3(b)、(c)]。

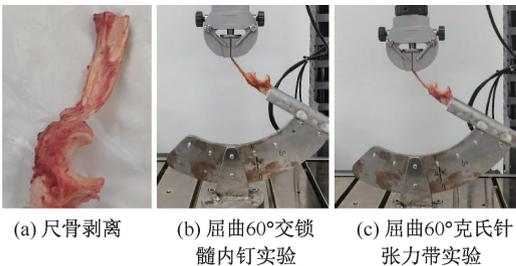


图3 尺骨剥离及力学实验示意图

Fig. 3 Schematic diagram of ulna dissection and mechanical experiment (a) Ulnar dissection, (b) 60° flexion interlocking intramedullary nail experiment, (c) 60° flexion Kirschner wire tension band experiment

将每组9个样本随机分为3组。本文使用不同的标本进行各组力学测试,共使用9对即18个标本进行实验,按照随机配对的原则。分别为克氏针张力带屈曲30°组、克氏针张力带屈曲45°组、克氏针张力带屈曲60°组、交锁髓内钉屈曲30°组、交锁髓内钉屈曲45°组、交锁髓内钉屈曲60°组。共计6组实验,每组实验使用3个标本(见表1)。

表1 实验分类

Tab. 1 Classification of experiments

实验类型	屈曲角度/(°)	实验代号	实验组数
交锁髓内钉	30	S1	3
	45	S2	3
	60	S3	3
克氏针张力带	30	K1	3
	45	K2	3
	60	K3	3

调节下夹具角度模拟肘关节屈曲30°、屈曲45°、屈曲60°,在各种情况下进行动态加载测试,在肱三头肌腱处施加幅值25 N、均值45 N和频率0.5 Hz循环动态拉力载荷;即肱三头肌腱的拉力在20~70 N正弦改变,1个运动周期用时2 s,0.5 s后施加最大拉力70 N,1.5 s后施加最小拉力20 N。并通过位移传感器记录标本在300个循环周期下的骨折位移。

2 实验结果

根据表1进行力学测试实验,模拟不同肘关节屈曲角度进行交锁髓内钉和克氏针张力带的循环拉力实验。对修复后骨折位移采用双尾分布的双样本异方差 t 检验。结果表明,屈曲30°时,交锁髓内钉组、克氏针张力带组骨折位移分别为 (1.831 ± 0.333) 、 (3.723 ± 2.390) mm ($P=0.024$);屈曲45°时,交锁髓内钉组、克氏针张力带组骨折位移为分别 (1.167 ± 0.374) 、 (2.455 ± 0.609) mm ($P=0$);屈曲60°时,交锁髓内钉组、克氏针张力带组骨折位移分别为 (1.407 ± 0.342) 、 (3.112 ± 1.025) mm ($P=0$),差异都存在显著性。由此可见,肘关节屈曲30°、45°和60°情况下,交锁髓内钉修复的骨折位移更小。

为了考察在循环加载条件下骨折修复后骨块移动的距离,在同组数据中从第1个周期开始间隔100周期选取单个周期数据。选取所记录的300个周期数据中的第1、100、200、300周期的数据进行分析。将第1、100、200、300周期的骨折位移绘制在同一图中(见图4)。为了考察单周期修复骨折位移情况,第1、100、200、300周期起始位置移动到同一位置(见图5)。

本文结果表明:

(1) 交锁髓内钉组曲线都在克氏针张力带组

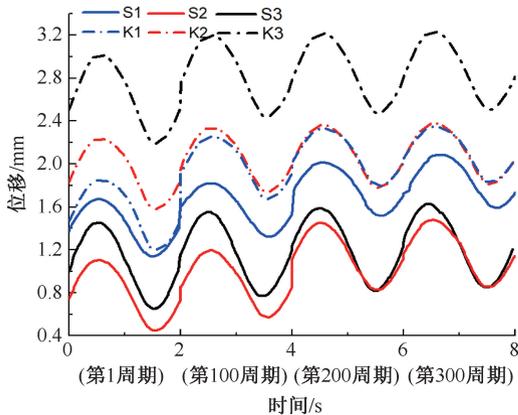


图4 加载周期-骨折变形位移

Fig. 4 Loading cycle-fracture deformation displacement

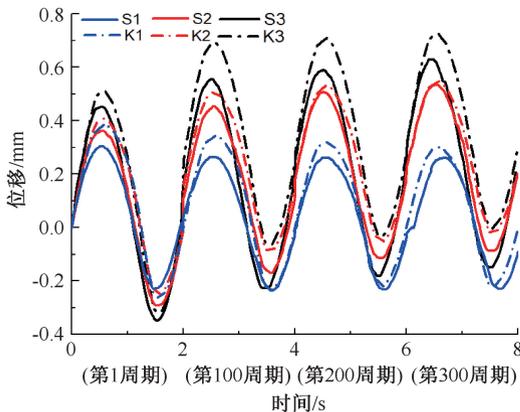


图5 加载周期-同起始点骨折变形位移

Fig. 5 Loading cycle-fracture deformation displacement at the same starting point

的下方,即交锁髓内钉组的起始位移均小于克氏针张力带组的起始位移,说明交锁髓内钉固定比克氏针张力带固定更牢固。

(2) 分析肘关节屈曲角度对克氏针张力带固定的影响。肘关节屈曲 30° 时的起始位移小于肘关节屈曲 45° 时的起始位移,但均小于肘关节屈曲 60° 时的起始位移。肘关节屈曲 30° 时曲线的倾斜程度小于肘关节屈曲 45° 时曲线的倾斜程度,但均小于肘关节屈曲 60° 时曲线的倾斜程度,说明肘关节屈曲角度越小,克氏针张力带的固定性能越好,因为此时张力带发挥最大的作用。本文推断,在肘关节屈曲 90° 时,克氏针张力带固定的力学性能最弱,因为此时张力带发挥的作用最小。

(3) 分析肘关节屈曲角度对交锁髓内钉固定

的影响。肘关节屈曲 45° 时的起始位移小于肘关节屈曲 60° 时的起始位移,但均小于肘关节屈曲 30° 时的起始位移。该结果和克氏针张力带固定组有区别,原因在于两者固定方式不同。克氏针张力带屈曲角度越大,张力带越软,而交锁髓内钉主钉和锥形交锁钉均刚性固定,但两者所成角度影响不同方向力作用下骨块的抗拔性能。本文推测,当主钉和锥形交锁钉成 90° 时,固定刚度在各个角度最优,但该结果和人体解剖参数不适应。

(4) 交锁髓内钉组和克氏针张力带组曲线都有向右上方倾斜的趋势。该结果说明,周期性加载情况下,交锁髓内钉组和克氏针张力带组都有松动的趋势。结合图5可知,交锁髓内钉固定向右上方倾斜的趋势均小于克氏针张力带,说明交锁髓内钉固定的刚度更强。同时,肘关节屈曲 30° 时曲线的倾斜程度小于肘关节屈曲 45° 时曲线的倾斜程度,但均小于肘关节屈曲 60° 时曲线的倾斜程度,说明肘关节屈曲角度越小,交锁髓内钉固定的稳定性越好。

3 讨论

新设计植入物的生物力学测试对临床试验具有重要的意义。本文结果表明,经过300个周期的动态加载后,新型髓内钉组的位移小于克氏针张力带组。与克氏针张力带相比,新设计的交锁髓内钉力学性能更优,在动态循环加载测试中具有更好的稳定性。该结果与文献[8-10]中的实验结果相符,即髓内钉的生物力学性能要优于克氏针张力带,但后者所用髓内钉与本文设计的髓内钉构造不同,本文所使用的髓内钉结构更简单。本文采用自主设计的鹰嘴交锁髓内钉,由主钉和交锁钉构成。主钉近端有两个锁定孔,远端有1个锁定孔。研究证明,采用锥形交锁钉与主钉形成交叉固定,牢固固定骨折端^[11]。髓内钉位于髓腔内,能有效减少对周围组织的刺激,降低感染风险,故髓内钉治疗尺骨鹰嘴骨折是一种简单、有效的固定方式。本文研发的髓内钉符合微创外科理念,操作便捷、快速、精准,只需1颗锥形交锁钉,能极大节约手术时间;采用交锁固定,力学性能优异。但该髓内钉对于粉碎性骨折的固定效果有限。国外关于髓内钉治疗尺骨鹰嘴骨折的研究较多。Willem-Maarten等^[12]利用7.3 mm空心髓内螺钉治疗简单的鹰嘴骨折,空心

髓内螺钉远端采用螺纹结构,操作更简单,但稳定性极差,且不具备抗旋转能力。Nowak 等^[13]研发了一款髓内钉用于固定鹰嘴骨折,其主钉上有6个锁定孔,分布于两端,力学性能满足要求,但操作复杂,增加手术时间。

对于粉碎性骨折,其骨质完整性被破坏,髓内钉对骨折端的压力可能会导致骨折缩短和移位。目前,对于粉碎性骨折多采用解剖钢板固定,钢板能在骨折断端产生桥接效果,防止鹰嘴缩短,而且螺钉固定能有效防止骨折移位^[14]。廉会存^[15]回顾了32例接受解剖钢板固定的鹰嘴粉碎性骨折患者,结果显示术后所有骨折均愈合,肘关节功能优良率为90.63%。但钢板内固定术操作复杂,对组织损伤大,会增加感染风险,且常常需进行二次手术。Duckworth 等^[16]评估了33例接受钢板内固定术治疗的鹰嘴粉碎性骨折患者,结果显示共发生4次感染和3次翻修手术。Argintar 等^[17]设计了一款多向锁定钉,并比较其与锁定钢板固定粉碎性骨折的力学性能。结果显示,多向锁定钉具有与解剖钢板相同的力学性能。对于骨折碎片数量较多的复杂粉碎性骨折,锁定钉不能固定全部碎片,需行钢板固定或鹰嘴切除术。目前还鲜有关于多向锁定钉治疗鹰嘴粉碎性骨折的临床报道,其临床疗效还需进一步研究明确。本文设计的这款交锁髓内钉,操作简便,创伤小,符合微创外科观念,植入物位于髓腔内,能有效减少感染风险;但其适用于鹰嘴横形和斜形骨折,不适用于粉碎性骨折,存在改进优化空间;可通过增加髓内钉主钉上锁定孔的数量,利用较细锥形交锁钉固定骨折块,恢复关节面平整;还可以利用髓内钉结合张力带技术,张力带穿过锁定孔固定粉碎骨块于鹰嘴背面。

鹰嘴骨折后正常解剖关系遭到破坏,鹰嘴关节面侧为压力侧,背侧为张力侧。克氏针张力带存在退针、硬件突出、局部感染等问题。Chalidis 等^[18]回顾了62例接受克氏针张力带固定治疗的患者,82.3%患者进行硬件去除,其中66.6%患者抱怨日常生活中存在轻度疼痛。这与克氏针表面光滑、张力带与克氏针不是一体有关,术后功能锻炼易向后滑脱^[19]。本文采用的交锁髓内钉固定能够很好解决上述问题,优点明显。

本研究采用经髓内克氏针张力带固定,克氏针

位于髓腔内,其表面光滑,可能会增加近端移位的风险。Linden 等^[20]评估了59例接受克氏针张力带固定的患者,经髓内克氏针组有78%发生固定不稳,且更容易发生骨关节炎,经皮质克氏针组有36%发生固定不稳。马辕华^[21]对40例行克氏针张力带固定术的患者进行随访,结果显示双皮质克氏针张力带在降低并发症方面比经髓内克氏针张力带更好。由此可见,经皮质克氏针张力带在固定强度方面要优于经髓内克氏针张力带。但经皮质克氏针张力带固定存在潜在血管神经损伤和旋后功能障碍的风险,两种固定装置的综合优劣还需进一步研究证实^[22]。但对于本研究而言,由于实验循环加载为短周期加载,克氏针植入位置影响因素较小。

本研究有如下优势:①严格按照配对分析,比较鹰嘴横形骨折两种内固定方式的力学性能;②所有的内固定操作均由同一外科医生完成,以减少内固定操作带来的误差;③研究所用的交锁髓内钉和辅助工具均为自主设计,髓内钉的设计符合微创理念。

本研究的局限性如下:①尸体标本研究固有的局限性。去除了肘关节周围软组织,仅保留肱三头肌腱,未考虑其他肌肉对肘关节运动的作用;不能反映骨折愈合反应和血流效应等因素对骨折的影响。②只进行300个循环周期的动态加载,仅模拟了术后早期肘关节活动对植入物稳定性的影响。进行力学测试所加载的力较小,只有20~70 N,旨在模拟术后肘关节在不同屈曲角度下轻度活动对植入物稳定性的影响。

4 结论

在鹰嘴横行骨折的固定中,新设计的鹰嘴交锁髓内钉在连续动态加载测试中具有比克氏针张力带更好的力学性能,辅助植入工具可提高植入物植入的准确性,手术更精准、快捷,能极大缩短手术时间,提高手术效率。但新型交锁髓内钉的临床疗效还需进行临床试验进一步明确。

参考文献:

- [1] ROMMENS PM, KUCHLE R, SCHNEIDER RU, et al. Olecranon fractures in adults: Factors influencing outcome [J]. *Injury*, 2004, 35 (11): 1149-1157.
- [2] 王杰, 马剑雄, 马信龙. 尺骨鹰嘴骨折治疗的研究进展[J]. *中国骨与关节外科*, 2012, 5(6): 527-532.

- [3] LOVY AJ, LEVY I, KESWANI A, et al. Outcomes of displaced olecranon fractures treated with the Olecranon sled [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2018, 27(3): 393-397.
- [4] 李旭纲, 戚晓阳, 施鸿飞, 等. 尺骨鹰嘴骨折的治疗研究进展[J]. 山东医药, 2020, 60(11): 80-83.
- [5] 龚韶华, 石晓兵, 包朝鲁. 克氏针张力带与解剖锁定板治疗尺骨鹰嘴骨折的疗效对比[J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26(6): 491-494.
- [6] KOZIARZ A, WOOLNOUGH T, OITMENT C, et al. Surgical management for olecranon fractures in adults: A systematic review and meta-analysis [J]. Orthopedics, 2019, 42(2): 75-82.
- [7] 路遥, 韩康, 王谦, 等. 解剖锁定接骨板与克氏针张力带内固定治疗尺骨鹰嘴骨折的疗效比较[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2020, 35(7): 697-699.
- [8] WILKERSON JA, ROSENWASSER MP. Surgical techniques of olecranon fractures[J]. J Hand Surg, 2014, 39(8): 1606-1614.
- [9] NOWAK TE, BURKHART KJ, MUELLER LP, et al. New intramedullary locking nail for olecranon fracture fixation: An *in vitro* biomechanical comparison with tension band wiring [J]. J Trauma, 2010, 69(5): E56-E61.
- [10] HAHN A, O' HARA NN, KOH K, et al. Is intramedullary screw fixation biomechanically superior to locking plate fixation and/or tension band wiring in transverse olecranon fractures? A cadaveric biomechanical comparison study [J]. Injury, 2020, 51(4): 850-855.
- [11] 梁成, 刘晋琿, 鲁梦婕, 等. 钛合金自攻骨钉力学方程验证及力学性能分析[J]. 医用生物力学, 2021, 36(3): 371-376.
- LIANG C, LIU JH, LU MJ, et al. Mechanical equation verification and mechanical property analysis of the TC4 self-tapping bone screw [J]. J Med Biomech, 2021, 36(3): 371-376.
- [12] BOSMAN WPF, EMMINK BL, BHASHYAM AR, et al. Intramedullary screw fixation for simple displaced olecranon fractures [J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2020, 46(1): 83-89.
- [13] NOWAK TE, BURKHART KJ, ANDRES T, et al. Locking-plate osteosynthesis versus intramedullary nailing for fixation of olecranon fractures: A biomechanical study [J]. Int Orthop, 2013, 37(5): 899-903.
- [14] 张博, 刘林涛, 东靖明. 解剖型钩钢板治疗尺骨鹰嘴骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26(14): 1249-1253.
- [15] 廉会存. 解剖型锁定钢板内固定术治疗尺骨鹰嘴 32 例临床分析[J]. 河南外科学杂志, 2018, 24(6): 53-54.
- [16] DUCKWORTH AD, CLEMENT ND, WHITE TO, et al. Plate versus tension-band wire fixation for olecranon fractures: A prospective randomized trial [J]. J Bone Joint Surg, 2017, 99(15): 1261-1273.
- [17] ARGINTAR E, MARTIN BD, SINGER A, et al. A biomechanical comparison of multidirectional nail and locking plate fixation in unstable olecranon fractures [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2012, 21(10): 1398-1405.
- [18] CHALIDIS BE, SACHINIS NC, SAMOLADAS EP, et al. Is tension band wiring technique the "gold standard" for the treatment of olecranon fractures? A long term functional outcome study [J]. J Orthop Surg Res, 2008, 3(1): 3-9.
- [19] 杨伟. 尺骨鹰嘴骨折的内固定物研制与力学测试[D]. 泸州: 泸州医学院, 2013.
- [20] LINDEN SC, VANKAMPEN A, JAARSMA RL. K-wire position in tension-band wiring technique affects stability of wires and long-term outcome in surgical treatment of olecranon fractures [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2012, 21(3): 405-411.
- [21] 马辕华. 两种克氏针张力带固定方案治疗 Wadsworth II、III 型尺骨鹰嘴骨折的临床体会[J]. 创伤外科杂志, 2016, 18(3): 160-162.
- [22] PARKER JR, CONROY J, CAMPBELL DA. Anterior interosseus nerve injury following tension band wiring of the olecranon [J]. Injury, 2005, 36(10): 1252-1253.

(上接第 617 页)

- [15] 王尚城, 王冬梅, 张宁华, 等. 冲击条件下骨盆动脉损伤有限元模型的建立及验证[J]. 医用生物力学, 2014, 29(3): 206-212.
- WANG SC, WANG DM, ZHANG NH, et al. Establishment and validation of finite element model for pelvis artery injury under impacts [J]. J Med Biomech, 2014, 29(3): 206-212.
- [16] SCHMITZ MR, MURTHA AS, CLOHISY JC, et al. Developmental dysplasia of the hip in adolescents and young adults [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2020, 28(3): 91-101.
- [17] STEPACHER SD, TANNAST M, WERLEN S, et al. Femoral morphology differs between deficient and excessive acetabular coverage [J]. Clin Orthop Relat Res, 2008, 466: 782-790.
- [18] 李慧英. 髌白周围截骨术治疗大龄儿童髌关节发育不良的康复护理[J]. 天津护理, 2019, 27(4): 437-439.
- [19] 聂涌, 马俊, 康鹏德, 等. 正常步态周期中髌白周围区域的应力分布及其在 THA 髌白重建中的指导[J]. 医用生物力学, 2014, 29(1): 31-37.
- NIE Y, MA J, KANG PD, et al. Periacetabular stress distributions during normal gait cycle and its guiding function in acetabular reconstruction of THA [J]. J Med Biomech, 2014, 29(1): 31-37.
- [20] 程亮亮. 发育性髌关节发育不良的生物力学与血运研究及临床转化[D]. 广州: 南方医科大学, 2018.