

文章编号: 1004-7220(2020)05-0408-06

内侧副韧带修补与冠状突骨折固定对恐怖三联征肘关节稳定性的影响

范鑫斌, 宋超, 丁志宏, 吴亮, 周文超, 冯刚, 刘粤, 孔德策, 杨铁毅, 张岩
(上海市浦东新区公利医院 骨科, 上海 200135)

摘要:目的 探讨内侧副韧带(medial collateral ligament, MCL)修补与冠状突骨折固定(Regan-Morrey II型)对“恐怖三联征”肘关节稳定性的影响。方法 选取1名28岁成年健康男性志愿者的肘关节CT、MRI数据,建立肘关节实体模型。制作3种肘关节模型。模型A:正常模型;模型B:修补冠状突骨折块,不修补MCL;模型C:修补MCL,不修补冠状突骨折块。并且对3种模型分别施加纵向载荷,分析各种工况条件下肘关节关节面的位移、应力分布,比较肘关节的稳定性。结果 3种模型的位移、应力分布类似,关节面最大位移和最大应力均位于尺骨滑车切迹处,最小位移分布在尺骨冠状突及冠状突偏内侧附近区域,而最小应力分布在尺骨冠状突下方偏外侧附近区域。各模型最大位移与最大应力无统计学差异($P>0.05$)。结论 在外侧柱稳定的情况下,修复MCL与修复固定尺骨冠状突骨折块效果相似。

关键词:内侧副韧带;尺骨冠状突骨折;恐怖三联征

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.05.004

Effects on Elbow Stability of the Terrible Triad Using Medial Collateral Ligament Repair and Ulnar Coronoid Process Fixation

FAN Xinbin, SONG Chao, DING Zhihong, WU Liang, ZHOU Wenchao, FENG Gang, LIU Yue, KONG Dece, YANG Tieyi, ZHANG Yan

(Department of Orthopedics, Shanghai Pudong New Area Gongli Hospital, Shanghai 200135, China)

Abstract: Objective To investigate the effect of medial collateral ligament (MCL) repair and coronoid process fracture fixation on stability of the Terrible Triad of the elbow. **Methods** CT and MRI scan images of elbow joints from one healthy 28-year-old male volunteer were used to establish three elbow models. Model A: normal model. Model B: repair of coronoid process fractures, without MCL repair. Model C: repair of MCL, without repair of ulnar coronoid processes. Longitudinal loads were applied on the three models to analyze the displacement and stress distributions of the elbow joint under different working conditions and compare the stability of the elbow joint. **Results** The displacement and stress distributions of the three models were similar. The maximum displacement and maximum stress of the articular surface were located at the ulna pulley notch, while the minimum displacement was located at the coronoid process and its medial side. The minimum stress was located at the lower lateral side of the coronoid process. There were no statistical differences in the maximum displacement and stress among the three models ($P>0.05$). **Conclusions** When the lateral column is stable, the effect of repairing the MCL and fixing the fracture block of ulnar coronoid process is similar.

Key words: medial collateral ligament (MCL); ulnar coronoid process fracture; terrible triad

收稿日期:2019-08-08;修回日期:2019-11-15

基金项目:上海市浦东新区卫生系统领先人才培养计划(PWRL2019-01),上海市卫生和计划生育委员会科研课题(201640173),上海市浦东新区卫生和计划生育委员会重点学科资助项目(PWZxk2017-18),浦东新区医学学科建设项目(PWYts2018-03),上海市浦东新区卫生和计划生育委员会重点专病建设项目(PWZz2017-18)

通信作者:张岩,主任医师,E-mail: rmyyzh@126.com

“肘关节恐怖三联征”这一疾病近年来在临床中得到越来越多的研究和认识。1996年,Hotchkiss^[1]首次将肱尺关节后脱位同时伴有尺骨冠状突骨折和桡骨头骨折的损伤命名为肘关节恐怖三联征。这种损伤创伤机制复杂、诊治困难、并发症多、临床预后差^[2-3]。近年来,对恐怖三联征的研究报道增多,手术治疗方法包括桡骨头内固定或金属假体置换、冠状突骨折固定、内外侧副韧带、伸肌止点等修补重建、肘关节铰链式外固定支架固定等^[4-7]。临床尺骨冠状突骨折往往因为骨块较小、显露困难、固定不确切,易导致固定失败,是治疗恐怖三联征疗效不理想的主要原因之一。而内侧副韧带(medial collateral ligament, MCL)的修补重建在此类疾病的治疗中被视作不重要的步骤,许多学者甚至认为根据损伤机制,无需修补肘关节MCL。因此,本文探讨MCL修补与冠状突骨折固定(Regan-Morrey II型)对恐怖三联征肘关节稳定性的影响。

1 材料和方法

1.1 对象

选取1名28岁正常成年男性志愿者,体质量60 kg,身高168 cm,无慢性疾病史,无骨质疏松及其他骨代谢疾病,无骨占位性疾病。

1.2 CT和MRI扫描

选取志愿者右上肢肱骨中段至前臂尺桡骨中段行CT及MRI扫描。肘关节保持屈曲30°体位,扫描方向为由肱骨近端向远端,过肘关节后由尺桡骨近端及远端,垂直于肱骨干纵轴方向,长度为肘关节远近端各15 cm。

CT扫描设备为上海市浦东新区公利医院影像科64排螺旋CT(Siemens公司,德国)。扫描层厚为0.625 mm,床进速度为1.3 mm/s,球管电流与电压分别为500 mA和120 kV,得到肘关节CT数据,以DICOM格式保存。

MRI扫描设备为上海市浦东新区公利医院影像科EXCELART Vantage核磁共振成像系统(Toshiba公司,日本)。扫描层厚为3.5 mm,磁场强度为1.5 T,得到肘关节MRI数据,以DICOM格式保存。

1.3 方法

1.3.1 三维有限元模型建立 将得到的肘关节CT

数据导入ITK-SNAP 3.6.0软件,基于像素灰度值,分割肱骨、尺骨、桡骨、肱骨软骨、尺骨软骨和桡骨软骨图像,进行三角形表面网格重建后,导出STL格式文件。然后将肘关节MRI数据导入ITK-SNAP 3.6.0,基于像素灰度值,分割肱骨软骨、尺骨软骨和桡骨软骨图像,进行三角形表面网格重建,导出STL格式文件。将所有STL格式文件导入HyperWorks 2017中,分别建立基于CT数据的肱骨、尺骨和桡骨模型与基于MRI数据的肱骨、尺骨及桡骨的软骨模型。设定皮质骨、韧带、软骨的弹性模量分别为17 000、48、15 MPa,泊松比分别为0.3、0.3、0.46^[8-9]。采用四面体单元(Solid 185),分别进行有限元网格划分。以杆单元建立肘关节MCL和外侧副韧带模型。

制作3种模型准备进行实验,分别定义制作尺骨冠状突骨折及MCL建立模型。模型A:为正常模型,即尺骨冠状突和MCL完整模型。模型B:修补冠状突骨折块,不修补MCL。模型C:修补MCL,不修补冠状突骨折块。依据Regan-Morrey冠状突骨折分型II型(骨折块<50%),在尺骨冠状突1/3大小骨块处截骨,制作1/3骨块模型。MCL根据解剖位置起止点,分为3束(前束、后束和横束),起于肱骨内上髁前下部,根据3束不同的解剖形态分别止于尺骨近端的前方、内侧和后方,并给予韧带弹性模量。

为避免肘关节外侧稳定性对实验产生影响,本文不涉及比较外侧稳定性修复与不修复时的力学改变。3种实验模型中肘关节外侧均为完整无损模型,模拟肘关节恐怖三联征外侧结构(桡骨小头、肱骨小头、桡侧副韧带等)修补稳定后的情况。

1.3.2 定义边界及加载应力 肱骨、尺骨、桡骨、肱骨软骨、尺骨软骨和桡骨软骨均假设为连续、均质、各向同性的线弹性材料。将四面体有限元网格模型文件及肘关节MCL和外侧副韧带模型文件导入ANSYS 18.2软件,赋予边界条件并加载。将尺骨和桡骨的远端进行三向平移和三向旋转约束。

采用沿肱骨纵轴轴向方向,由近端向远端方向加压,力的作用点位于整个肘关节模型的中心。根据不同的应力大小,设定加载应力分别为50、100、200、300 N。实验为理想模型,忽略肘关节肌肉韧带(除MCL)力、关节软骨等介质的摩擦力以及动力冲

击等,分析模型关节面各部分的应力分布和位移情况。

2 结果

2.1 位移分布云图

图1所示为3种模型加载50 N应力的整体位移分布。

肘关节屈曲30°时,沿肱骨纵轴轴向施加应力后(以300 N为例),3种模型的位移分布相当。肘关节尺骨关节面最大位移位于尺骨滑车切迹处,即肱骨纵轴的延长线与尺骨关节面接触处,而最小位移大致分布在尺骨冠状突及冠状突偏内侧附近区域(见图2)。

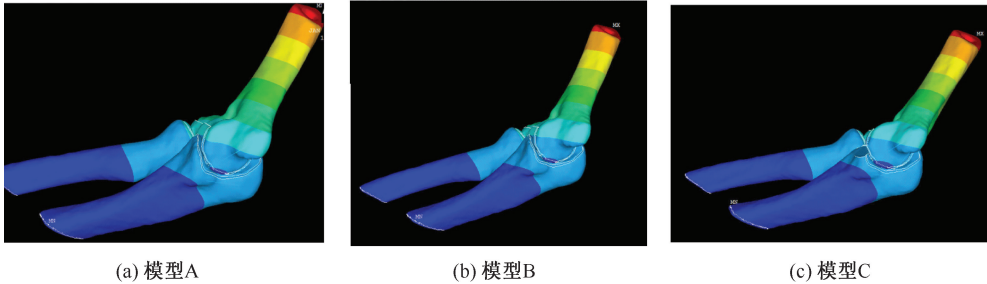


图1 50 N 加载下3种模型位移分布

Fig.1 Displacement distributions of 3 models under 50 N loading (a) Model A, (b) Model B, (c) Model C

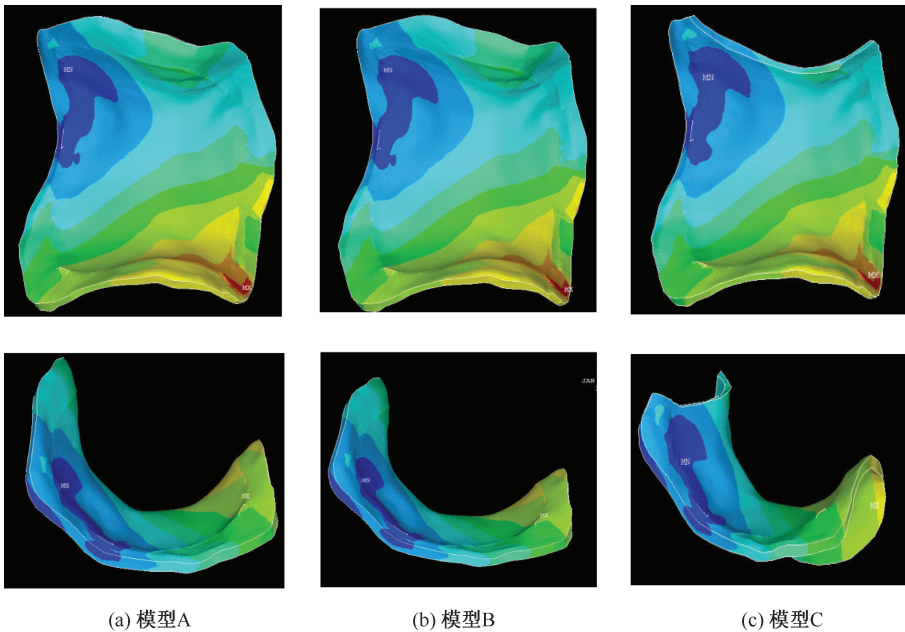


图2 300 N 加载下3种模型尺骨关节面位移分布(展开成平面后)

Fig.2 Displacement distributions of the ulna joint surface for three models under 300 N loading (the plane is expanded) (a) Model A, (b) Model B, (c) Model C

2.2 应力分布云图

肘关节屈曲30°时,沿肱骨纵轴轴向施加应力后(以300 N为例),3种模型的应力分布相似。肘关节尺骨关节面最大应力位于尺骨滑车切迹处

(与最大位移基本一致),即肱骨纵轴的延长线与尺骨关节面接触处,而最小应力(除去关节面周边)大致分布在尺骨冠状突下方偏外侧附近区域(见图3)。

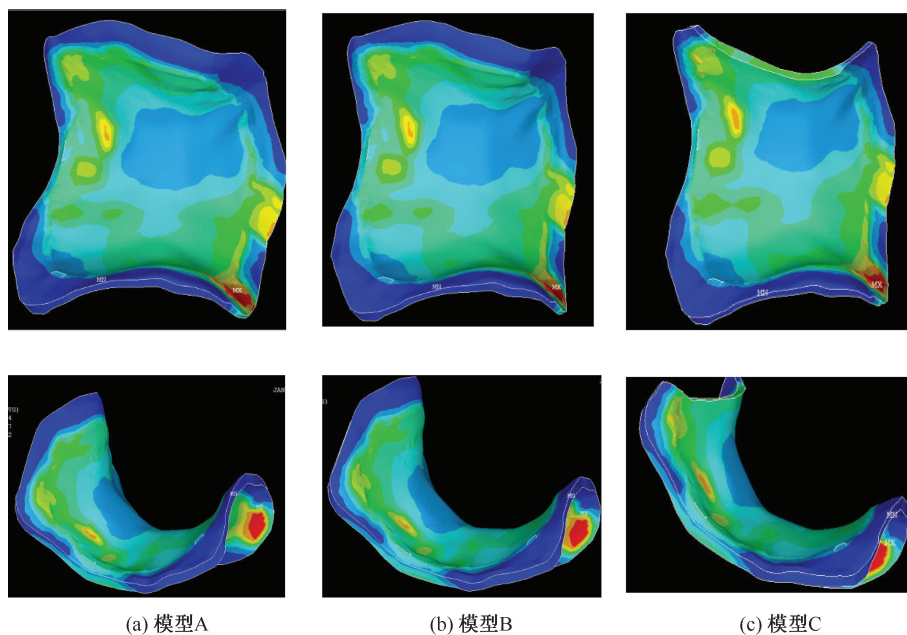


图3 300 N加载下3种模型尺骨关节面应力分布(展开成平面后)

Fig.3 Stress distributions on the ulna articular surface of three models under 300 N loading (the plane is expanded) (a) Model A, (b) Model B, (c) Model C

2.3 位移和应力分布趋势分析

在其他条件均相同情况下,分别加载 50、100、200、300 N 应力,观察分析 3 种模型的位移及应力分布趋势。选取各云图最大位移和最大应力进行统计学分析。使用配对 t 检验,进行组间比较(见表 1)。

表 1 不同应力下 3 种模型最大位移和应力

Tab.1 Maximum displacement and stress of each model under different stresses

应力/ N	最大位移/mm			最大应力/MPa		
	模型 A	模型 B	模型 C	模型 A	模型 B	模型 C
50	0.129	0.129	0.125	0.503	0.504	0.517
100	0.259	0.259	0.251	1.007	1.008	1.035
200	0.518	0.518	0.503	2.015	2.017	2.070
300	0.778	0.778	0.754	3.023	3.026	3.106

使用 SPSS 17.0 进行统计学分析。根据不同模型及不同应力下的最大位移与最大应力数据,使用组间配对 t 检验进行分组统计分析。结果表明,各模型最大位移与最大应力无统计学差异 ($P>0.05$)。

肘关节屈曲 30° 时,当沿肱骨纵轴受力后,在肘关节其他结构相对完整(或已修复)的情况下,3 种模型的位移和应力分布相似。肘关节尺骨关节面

的最大位移与最大应力分布区域位于尺骨滑车切迹处,最小位移大致分布在尺骨冠状突及冠状突偏内侧附近区域,最小应力(除去关节面周边)大致分布在尺骨冠状突下方偏外侧附近区域。

相同工况下,3 种模型在施加的应力逐渐增大后,各模型中最大位移与最大应力均逐渐增加,分布区域相似,且各模型间两两比较无统计学差异。该结果表明,肘关节恐怖三联征稳定性重建时,外侧结构(桡骨小头、肱骨小头、桡侧副韧带等)至关重要。在外侧柱稳定的情况下,修复 MCL 与修复固定尺骨冠状突骨折块的效果相似。即当修复尺骨冠状突困难或固定不确切时,修补 MCL 可以替代修补尺骨冠状突,达到相似的力学稳定作用。

3 讨论与结论

3.1 本实验的创新性与有效性

关于肘关节恐怖三联征的模型研究很少,在对实验进行设计时,本课题组根据现有文献参考,并结合一些实际情况设定研究模型,旨在能够最大限度还原临床上可能遇到的病例的相似情况。当尺骨冠状突为较大骨块时,骨块固定对肘关节的稳定性非常关键,故本文选取尺骨冠状突骨折 $1/3$ 骨块

(Regan-Morrey II型)进行力学分析。肘关节保持屈曲30°体位,这是介于肘关节0°~90°的一个特定位置。选取1位健康成年男性志愿者肘关节真实CT、MRI扫描图像,分别建立基于CT数据的肱骨、尺骨和桡骨模型与基于MRI数据的肱骨、尺骨及桡骨的软骨模型,并根据MCL解剖位置,自行设置MCL位置,基本模拟MCL情况。有限元模型网格划分根据手工编辑的轮廓线及构造的曲面片,采用分块手工划分的方式,并且模型主要采用八节点六面体实体单元。根据相关文献对网格进行检查,采用自由划分的方式生成四面体单元,在一定程度上确保了模型精度,提高了网格质量。并进行肘关节三维有限元模型的有效性验证,结果与文献相符,证明了实验所建模型的有效性,可以用于仿真实验分析。

3.2 MCL在恐怖三联征中的作用

恐怖三联征主要是指肘关节脱位后,轴向应力迫使肘关节屈曲,随后旋后和外翻应力导致肘关节出现后外侧旋转不稳定的症状。MCL作为肘关节对抗外翻应力的主要结构,在肘关节稳定性中起着非常关键的作用。而当MCL断裂后,桡骨头才起主要对抗外翻的作用,但仅能提供30%对抗外翻的应力^[6]。如果在MCL完整情况下切除桡骨头,则肘关节在外翻应力下一般不会发生半脱位,仅在较大外旋暴力下才可能发生半脱位^[7]。尽管如此,关于MCL是否需要修补仍存在争议。例如,Jeong等^[10]和Eyendaal等^[11]均认为MCL是肘关节对抗外翻应力的重要结构。长期的随访表明,MCL损伤的患者存在肘关节外翻不稳,应当进行修复。

3.3 尺骨冠状突固定对恐怖三联征治疗的影响

根据尺骨冠状突部位的解剖形态,由尺骨冠状突尖部到其基底部依次附着3个结构:肘关节前关节囊、肱肌和MCL前束^[12]。目前,尺骨冠状突骨折固定争论的焦点主要集中在I型骨折是否需要固定的问题。而对于II、III型冠状突骨折而言,普遍的观点是需要重建固定,只是固定方法有所不同。Papatheodorou等^[13]认为,I型冠状突骨折仅是尖部的损伤,骨折也是稳定的,不需要进行固定。Sanchez-Sotelo等^[14]也认为,较小的尺骨冠状突骨折可以被忽略,而较大的骨块才需要重建固定。而更多研究认为,虽然I型骨折相对稳定,但仍应通过手术进行修补固定,这样有利于肘关节稳定性的

建立^[15-17]。在重建固定尺骨冠状突方式的问题上,也有许多不同的见解。总体而言,应当根据冠状突骨折块大小、骨折形态、骨质质量,进行相应的固定方式的选择。Chen等^[18]研究表明,可以用粉碎的桡骨头、自体髌骨或同种异体骨去重建尺骨冠状突,以达到更好的稳定性。对于冠状突尖端的骨折,可以采用在尺骨上钻孔缝线或者套索技术,而其他一些固定方式包括螺钉、微型接骨板、锚钉、祥钢板,也可等增强其稳定性^[16-17]。

3.4 实验局限性及临床意义分析

本实验在一个相对较理想的状态下完成,故存在一定的局限性。例如,肘关节处于屈曲30°状态;模型本身是由1名28岁健康成年男性通过影像扫描后的数据建立,排除了骨质疏松及其他一些年龄增加后的退变问题;应力施加的方向和大小都给予特定的界定;实验设定肘关节的外侧结构基本完整。这与许多有限元分析实验的情况相类似^[19-20]。由于采用理想模型,尚不能完全模拟临床中遇到的复杂多变、非常不稳定的肘关节恐怖三联征病例。

本课题组在前期的临床工作中采用修复内、外侧副韧带联合桡骨小头固定治疗肘关节恐怖三联征,已取得较满意的疗效。而对于粉碎、难以固定的尺骨冠状突骨折,采取旷置的方法,肘关节在对抗外翻、旋后等应力时仍能保持足够的稳定性。后续还将通过尸体标本生物力学实验,对肘关节恐怖三联征开展进一步的力学分析验证,以期为临床工作提供一定参考。

参考文献:

- [1] HOTCHKISS RN. Fractures and dislocations of the elbow [M]//ROCKWOOD CA, GREEN DP, BUCHOLZ RW, *et al*, eds. Rockwood and Green's Fractures in Adults. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1996: 929-1024.
- [2] GIANNICOLA G, CALELLA P, PICCIOLI A, *et al*. Terrible triad of the elbow: Is it still a troublesome injury? [J]. Injury, 2015, 46(12): S68-76.
- [3] CHEN NC, RING D. Terrible triad injuries of the elbow [J]. J Hand Surg Am, 2015, 40(11): 2297-2303.
- [4] CONWAY JE, SINGLETON SB. Posterolateral rotatory instability of the elbow [J]. Sports Med Arthrosc, 2003, 11(1): 71-78.
- [5] HARRISON JWK, CHITRE A, LAMMIN K, *et al*. Radial head fractures in adults [J]. Curr Orthop, 2007, 21(1):

- 59-64.
- [6] MUDGAL CS, JUPITER JB. New concepts in dislocations of the elbow [J]. *Tech Orthop*, 2006, 21(4): 347-362
- [7] SCHNEEBERGER AG, SADOWSKI MM, JACOB HA. Coronoid process and radial head as posterolateral rotatory stabilizers of the elbow [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2004, 86(5): 975-982
- [8] ISRAE MA, TERESA AR, ALAN W, *et al.* Effect of anconeus muscle blocking on elbow kinematics: Electromyographic, inertial sensors and finite element study [J]. *Ann Biomed Eng*, 2017, 45(3): 775-788.
- [9] JABRAN A, PEACH C, ZOU Z, *et al.* Parametric design optimisation of proximal humerus plates based on finite element method [J]. *Ann Biomed Eng*, 2019, 47(2): 601-614.
- [10] JEONG WK, OH JK, HWANG JH, *et al.* Results of terrible triads in the elbow: The advantage of primary restoration of medial structure [J]. *J Orthop Sci*, 2010, 15(5): 612-619.
- [11] EYGENDAAL D, VERDEGAAL SH, OBERMANN WR, *et al.* Posterolateral dislocation of the elbow joint. Relationship to medial instability [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2000, 82(4): 555-560.
- [12] SANCHEZ-SOTELO J, O' DRISCOLL SW, MORREY BF. Medial oblique compression fracture of the coronoid process of the ulna [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2005, 14(1): 60-64.
- [13] PAPTODOROU LK, RUBRIGHT JH, HEIM KA, *et al.* Terrible triad injuries of the elbow: Does the coronoid always need to be fixed? [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2014, 472(7): 2084-2091.
- [14] SANCHEZ-SOTELO J, MORREY M. Complex elbow instability: Surgical management of elbow fracture dislocations [J]. *EFORT Open Rev*, 2017, 1(5): 183-190.
- [15] JENNINGS JD, HAHN A, REHMAN S, *et al.* Management of adult elbow fracture dislocations [J]. *Orthop Clin North Am*, 2016, 47(1): 97-113.
- [16] PIERRART J, BÉGUÉ T, MANSAT P, *et al.* Terrible triad of the elbow: Treatment protocol and outcome in a series of eighteen cases [J]. *Injury*, 2015, 46(Suppl1): S8-12.
- [17] RING D, HORST TA. Coronoid fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2015, 29(10): 437-440.
- [18] CHEN NC, RING D. Terrible triad injuries of the elbow [J]. *J Hand Surg Am*, 2015, 40(11): 2297-2303.
- [19] 彭远来, 马新硕, 危紫翼, 等. 锁骨接骨板预弯塑形的生物力学研究[J]. *医用生物力学*, 2018, 33(1): 1-5.
- PENG YL, MA XS, WEI ZY, *et al.* Biomechanical study on pre-bending of clavicle plate [J]. *J Med Biomech*, 2018, 33(1): 1-5.
- [20] 盛伟, 纪爱敏, 陈长胜, 等. 基于正交试验的股骨干骨折内固定系统螺钉布局的参数化研究[J]. *医用生物力学*, 2018, 33(1): 62-69.
- SHENG W, JI AM, CHEN CS, *et al.* Parametric study on screw layout of internal fixation system of femoral shaft fracture based on orthogonal experiment [J]. *J Med Biomech*, 2018, 33(1): 62-69.