

· 基础研究 ·

# Dubberley IIA 型肱骨小头骨折内固定的有限元分析<sup>△</sup>

杨 振<sup>1</sup>, 高长虹<sup>2</sup>, 曾昱源<sup>2</sup>, 由一航<sup>2</sup>, 张恩水<sup>2</sup>, 王 洋<sup>3</sup>, 张 涛<sup>2\*</sup>

(1. 潍坊医学院, 山东潍坊 261053; 2. 济南市中心医院, 山东济南 250013; 3. 山东交通学院, 山东济南 250357)

**摘要:** [目的] 采用有限元法比较克氏针 (Kirschner wire, KW)、Herbert 螺钉 (Herbert screw, HS)、微钢板 (mini plate, MP)、微钢板+克氏针 (MP-KW)、微钢板+Herbert 螺钉 (MP-HS) 固定 Dubberley IIA 型肱骨小头骨折的生物力学特点。[方法] 采集志愿者的右肘中立位 CT 影像数据, 运用 Mimics、3-matic 软件建立 Dubberley IIA 型肱骨小头骨折模型, 在此基础上分别建立 KW、HS、MP、MP-KW、MP-HS 固定模型。在 ANSYS 软件中添加不同载荷, 分析骨折端位移量及内固定应力分布。[结果] 骨折端位移量, 伸直载荷下由大到小依次为 KW>HS>MP-KW>MP-HS [(2.7±0.1) mm, (0.7±0.0) mm, (0.4±0.0) mm, (0.2±0.0) mm, P<0.05]; 屈曲载荷下由大到小依次为 KW>HS>MP-KW>MP-HS [(2.0±0.0) mm, (0.6±0.0) mm, (0.3±0.0) mm, (0.2±0.0) mm, P<0.05]; 扭转载荷下依次为 KW>MP-KW>HS>MP-HS [(2.0±0.0) mm, (1.1±0.0) mm, (0.8±0.0) mm, (0.6±0.0) mm, P<0.05]。骨折线处内固定应力, 伸直载荷下由大到小依次为 KW>HS>MP-KW>MP-HS [(8 478.5±30.1) MPa, (1 790.3±33.8) MPa, (1 173.4±32.7) MPa, (645.3±3.5) MPa, P<0.05]; 屈曲载荷下依次为 KW>HS>MP-KW>MP-HS [(4 540.2±60.0) MPa, (1 331.9±6.5) MPa, (824.8±4.9) MPa, (450.9±2.7) MPa, P<0.05]; 扭转载荷下依次为 KW>MP-KW>HS>MP-HS [(6 260.4±39.6) MPa, (2 786.6±4.0) MPa, (1 141.0±35.7) MPa, (1 050.9±26.6) MPa, P<0.05]。[结论] 对于 Dubberley IIA 型肱骨小头骨折, 微钢板+Herbert 螺钉可提供更好的生物力学稳定性, 可以为骨折提供更好的愈合环境。

**关键词:** 成人, 肱骨小头骨折, 内固定, 生物力学, 有限元分析

**中图分类号:** R681.57 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2023) 05-0441-05

**A finite element analysis on 4 types of internal fixation of Dubberley type IIA humeral capitulum fracture // YANG Zhen<sup>1</sup>, GAO Chang-hong<sup>2</sup>, ZENG Yu-yuan<sup>2</sup>, YOU Yi-hang<sup>2</sup>, ZHANG En-shui<sup>2</sup>, WANG Yang<sup>3</sup>, ZHANG Tao<sup>2</sup>. 1. Weifang Medical College, Weifang, 261053, China; 2. Jinan Central Hospital, Jinan 250013, China; 3. Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China**

**Abstract: [Objective]** To compare the biomechanical characteristics of internal fixation of Dubberley type IIA humeral capitulum fracture with Kirschner wire (KW), Herbert screw (HS), mini plate (Mini plate), mini plate plus Kirschner wire (MP-KW), mini plate plus Herbert screw (MP-HS) by finite element method. **[Methods]** After the CT image data of the right elbow in neutral position were collected from a volunteer, the Mimics and 3-matic software were used to establish a Dubberley type IIA humerus fracture model. On this basis, KW, HS, MP, MP-KW and MP-HS fixation models were established, respectively. As loads were added in ANSYS software, the displacement of fracture ends and the stress distributed on the implant of internal fixation were analyzed. **[Results]** The displacement of fracture ends was ranked up-down as KW>HS>MP-KW>MP-HS [(2.7±0.1) mm, (0.7±0.0) mm, (0.4±0.0) mm, (0.2±0.0) mm, P<0.05] under straight extension loading, while KW>HS>MP-KW>MP-HS [(2.0±0.0) mm, (0.6±0.0) mm, (0.3±0.0) mm, (0.2±0.0) mm, P<0.05] under flexion loading, and KW>MP-KW>HS>MP-HS [(2.0±0.0) mm, (1.1±0.0) mm, (0.8±0.0) mm, (0.6±0.0) mm, P<0.05] under torsion loading. In addition, the Von-Mises stress on the implant at fracture line was ranked up-down as KW>HS>MP-KW>MP-HS [(8 478.5±30.1) MPa, (1 790.3±33.8) MPa, (1 173.4±32.7) MPa, (645.3±3.5) MPa, P<0.05] under straight extension loading, whereas KW>HS>MP-KW>MP-HS [(4 540.2±60.0) MPa, (1 331.9±6.5) MPa, (824.8±4.9) MPa, (450.9±2.7) MPa, P<0.05] under flexion loading, and KW>MP-KW>HS>MP-HS [(6 260.38±39.6) MPa, (2 786.6±4.0) MPa, (1 141.0±35.7) MPa, (1 050.9±26.6) MPa, P<0.05] under torsion loading. **[Conclusion]** For Dubberley type IIA humeral capitulum fracture, mini plates plus Herbert screws provide better biomechanical stability, which might give a better healing environment for the fracture.

**Key words:** adult, humeral capitulum fracture, internal fixation, biomechanics, finite element analysis

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.05.11

<sup>△</sup>基金项目: 济南市科学技术局临床医学科技创新计划项目 (编号: 202019037); 济南市科学技术局科技发展计划项目 (编号: 20120206)

作者简介: 杨振, 硕士研究生, 研究方向: 关节外科, (电话)15064153009, (电子信箱)15064153009@163.com; 并列第一作者: 高长虹, 主任医师, 研究生导师, 研究方向: 创伤手足外科, (电子信箱)rainbow5@163.com

\* 通信作者: 张涛, (电话)13370582982, (电子信箱)zhangtao120120@163.com

肱骨小头骨折 (fracture of the humeral capitulum, FHC) 属于肘关节的特殊类型损伤, 常由低能量的冠状面剪切力损伤引起, 又名肱骨远端冠状面剪切骨折<sup>[1-3]</sup>。肱骨小头单纯骨折少见, 约 3/5 伴有外侧韧带损伤, 4/5 累及滑车<sup>[4, 5]</sup>, 因其发病率极低<sup>[6]</sup>, 临床易与肱骨外髁及外上髁损伤混淆, 且复位及固定困难, 需引起临床医师重视。骨折位于关节囊内, 无韧带、关节囊及肌肉附着, 手法复位外固定或维持固定较困难, 保守治疗效果差, 多无法达到满意的骨折复位, 会形成撞击、肘关节僵硬、创伤性关节炎等并发症, 属关节内骨折的严重类型, 目前在身体状况允许的情况下手术治疗成为肱骨小头骨折治疗的金标准<sup>[7]</sup>。目前临床多采用 Dubberley 分型, 综合考虑了肱骨小头前后柱骨折情况, 指导意义重大。根据是否累及滑车、粉碎程度及是否累及后柱分为 3 型, 每亚型分为 A、B 两型<sup>[8]</sup>。目前对于 Dubberley 2A 型骨折 (即肱骨小头累及滑车, 未累及后柱), 克氏针、空心螺钉、微钢板普及率广, 本研究根据 3 种内固定物的不同组合, 结合三维有限元分析不同内固定方式的生物力学特性, 为临床骨科医师合理选择固定方式提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据采集与肘关节模型建立

选择一名 33 岁男性志愿者, 无上肢病史及创伤史, 已阅读志愿者协议书并签字。患者仰卧位, 右肘部伸直, 右前臂中立位, 采用 Philips 64 排螺旋 CT 机对志愿者右前臂尺桡骨至肱骨进行扫描, 数据以 DICOM 格式保存。以右肘关节数据为样本, 将 DICOM 格式保存的数据导入 Mimics 20.0 软件, 通过阈值划分、区域增长命令获得前臂尺桡骨及肱骨蒙版, 通过多层编辑命令分别填补尺桡骨及肱骨残缺, 创建 3D 实体, 对肘关节的三维模型进行光滑处理, 导出 STL 文件。将 STL 文件导入 3-matic 12.0 软件, 通过偏移命令建立肱骨松质骨模型, 建立尺侧副韧带、桡侧副韧带及软骨模型。

### 1.2 Dubberley IIA 骨折与固定模型建立

根据肱骨骨折的 Dubberley 分型建立 IIA 型骨折, 设置骨折间隙 0.5 mm 以体现骨折后局部骨质不连续。建立克氏针 (Kirschner wire, KW)、Herbert 螺钉 (Herbert screw, HS)、微钢板 (mini plate, MP)、微钢板+克氏针 (MP-KW)、微钢板+Herbert 螺钉 (MP-HS) 内固定的三维模型。建立完全节点共享非

流行装配体, 生成四面体网格, 导出 CDB 网格文件, 见图 1。骨折模型分别重复置入内固定物 10 次。

### 1.3 加载与设定

在 ANSYS 2022 R1 软件中, 参照相关文献, 为各组件赋予其力学属性<sup>[9-12]</sup>, 见表 1。以桡骨干轴线方向为 Z 轴设置为垂直坐标。设置接触的容差值为 0.1 mm, 韧带与骨、骨与软骨、Herbert 螺钉与肱骨、皮质螺钉与肱骨之间设置为“绑定接触”, 克氏针与肱骨之间设置“摩擦接触”, 摩擦系数为 0.1, 关节软骨间设为“无摩擦”。肱骨近端表面边界条件设为“固定支撑”, 以防止选定的几何或网格实体发生移动或形变。在桡骨远端关节面沿桡骨纵轴建立坐标, 垂直 Z 轴方向施加 500 N 载荷模拟肘关节伸直受力, 调整桡骨纵轴与 Z 轴角度模拟肘关节屈曲受力 (屈曲 30°); 绕桡骨干轴线在肱骨远端关节面施加 10 Nm 力矩模拟内旋、外旋受力。

表 1 模型各组件赋予材料的力学参数

材料	弹性模量 E (MPa)	泊松比 $\mu$ (%)
肱骨骨密质	13 400	0.3
肱骨骨松质	2 000	0.3
尺侧副韧带	260	0.3
桡侧副韧带	260	0.3
软骨	10	0.4
尺桡骨	17 500	0.3
克氏针 (不锈钢)	200 000	0.3
Herbert 螺钉 (钛合金)	110 000	0.3
微钢板	130 000	0.3
皮质螺钉	130 000	0.3

### 1.4 测量指标

测量不同载荷中肱骨小头侧骨折断端位移分布及位移峰值。肱骨小头内固定 Von-Mises 应力分布及应力峰值。每个模型重复 10 次。

### 1.5 统计学方法

采用 SPSS 23.0 软件进行统计分析, 计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 多组数据之间比较采用单因素方差分析, 两组间数据比较采用独立样本 *t* 检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 模型验证

本研究构建的肘关节模型采用三维四面体网格, 包括 693 878 个节点和 469 196 个单元。所建模型仿

真度及精确度高，能较好地模拟真实肘关节。在其基础上，建立了 Dubberley IIA 骨折模型及 KW、HS、MP、MP-KW 及 MP-HS 组内固定模型，结果显示

MP-HS 在固定 Dubberley IIA 骨折时，其生物力学稳定性优于其他 4 组，利于骨折愈合，这与汤俊峰等<sup>[13]</sup>及陈鹏等<sup>[14]</sup>的临床报道相符。

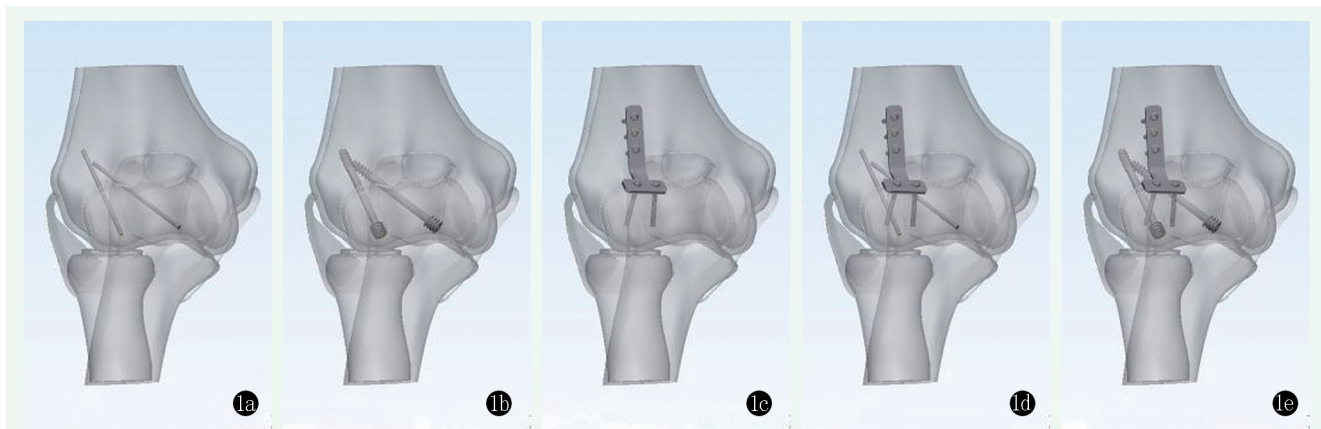


图 1 各内固定系统的有限元模型 1a: KW 模型中 2 枚克氏针交叉置入 1b: HS 模型中 2 枚 Herbert 螺钉为空心结构，交叉置入，钉尾埋入骨皮质内 1c: MP 模型骨折线近端置入 3 枚皮质螺钉，远端置入 2 枚皮质螺钉 1d: MP-KW 模型 1e: MP-HS 模型

### 2.2 位移测量结果

MP 模型在不同载荷下，骨折端与未加载载荷模型边框相比，变形较大，无意义。不同模型骨折端位移分布均集中在远端内侧。四种固定骨折端相对位移量测量结果见表 2，在伸直载荷及屈曲载荷作用下，骨折端位移量比较由大到小依次为 KW 模型>HS 模型>MP-KW 模型>MP-HS 模型，组间比较差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。扭转载荷下，位移量比较为 KW 模型>MP-KW 模型>HS 模型>MP-HS 模型，差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。在扭转载荷作用下，HS 模型和 MP-HS 模型的位移量显著小于 KW 模型和 MP-KW 模型，差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。

表 2 四种固定骨折端相对位移量 (n=10, mm,  $\bar{x} \pm s$ ) 与比较

模型	伸直载荷	屈曲载荷	扭转载荷
KW	2.7±0.1	2.0±0.0	0.2±0.0
HS	0.7±0.0	0.6±0.0	0.8±0.0
MP-KW	0.4±0.0	0.3±0.0	1.1±0.0
MP-HS	0.2±0.0	0.2±0.0	0.6±0.0
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

### 2.3 应力测量结果

不同载荷下，内固定装置 Von-Mises 应力均集中在骨折线处、HS 远端螺纹与骨接触及皮质螺钉与 MP 接触处。四种固定骨折端 Von-Mises 应力测量结果见表 3，在伸直载荷及屈曲载荷作用下，骨折线处内固定应力由大到小依次为 KW 模型>HS 模型>MP-KW 模型>MP-HS 模型，组间比较差异均有统计学意

义 ( $P<0.05$ )。在扭转载荷作用下，骨折线处内固定应力由大到小依次为 KW 模型>MP-KW 模型>HS 模型>MP-HS 模型，组间比较差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。在扭转载荷作用下，HS 模型和 MP-HS 模型中内固定应力显著小于 KW 模型和 MP-KW 模型，差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。但 HS 模型和 MP-HS 模型比较，差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。

表 2 四种固定骨折端 Von-Mises 应力 (n=10, Mpa,  $\bar{x} \pm s$ ) 与比较

模型	伸直载荷	屈曲载荷	扭转载荷
KW	8 478.5±30.1	4 540.2±60.0	6 260.4±39.6
HS	1 790.3±33.8	1 331.9±6.5	1 141.0±35.7
MP-KW	1 173.4±32.7	824.8±4.9	2 786.6±4.0
MP-HS	645.3±3.5	450.9±2.7	1 050.9±26.6
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

## 3 讨论

FHC 是由肘部剪切应力传导引起的骨折，前臂在跌倒时处于旋前位，进而将轴向应力经前臂传导由桡骨头对肱骨小产生撞击而导致，造成肱骨小头冠状面剪切骨折，诱使骨折块向上而出现移位，并常累及滑车关节面，暴力严重会合并肘关节其他部位损伤<sup>[17]</sup>。FHC 的临床发病率极低，Kimball 等<sup>[16]</sup>报道其发病率仅为肘关节周围骨折的 1%，既往易漏诊、误诊，近些年随着临床医生对肱骨小头骨折的重视及



CT 三维重建的广泛应用临床发病例较前略有上升。FHC 的常用分型有 AO 分型、Bryan-Morrey 分型及 Dubberley 分型, 其中 Dubberley 分型结合 CT 三维重建在临床诊断及治疗指导方面更具优势<sup>[1, 15]</sup>。

肱骨小头骨折为关节内骨折, 恢复肱骨头高度、解剖复位关节面骨折块、恢复肱桡关节的稳定性以及早期进行功能锻炼对肘关节功能恢复至关重要。肱骨小头骨折的临床治疗方法有: 闭合复位、切开复位内固定和肘关节置换术等<sup>[18]</sup>。有文献报道的闭合复位多为个案, 且多为简单骨折, 而肘关节置换手术要求高, 适用于老年人, 远期效果不确定。目前切开复位内固定成为公认的治疗肱骨小头骨折的首选治疗方式<sup>[13, 19]</sup>, 选择不同内固定物决定了肱骨小头骨折的多种选择, 常选用的内固定物有: 钢板、螺钉和克氏针等, Borbas 等<sup>[20]</sup>在 18 具尸体肘关节上制造 Dubberley 1A 型骨折, 加以不同固定方式, 通过生物力学研究证实了对于未累及后柱的 A 型骨折, 螺钉固定和钢板固定均能起到理想效果。手术入路无统一标准, 常见入路有: 肘关节外侧入路、肘关节前侧入路及经尺骨鹰嘴截骨后方入路等, 对于未累及后柱的 A 型骨折, 采用肘关节外侧入路可将肱骨远端前方关节面及骨折段清晰显露<sup>[21]</sup>, 从前向后置入螺钉, 具有创伤小、并发症低等优点, 最大限度避免损伤肱骨外侧髁后侧的穿支血管, 以保护肱骨小头及滑车的血液供应。

临床常用的螺钉有 Acutrak 螺钉、Herbert 螺钉和可吸收螺钉, 胡建等<sup>[1]</sup>通过生物力学研究证实了 Acutrak 螺钉及 Herbert 螺钉固定均可起到理想效果。Herbert 螺钉临床最早应用于手部腕舟骨骨折, 因其自身优势现已广泛应用于关节内骨折<sup>[22]</sup>。Herbert 螺钉的特点有: (1) 空心结构设计, 可结合克氏针的临时固定准确定位; (2) Herbert 螺钉自身直径小, 在固定过程中可明显降低骨折块劈裂情况的发生; (3) 头尾双螺纹结构, 头尾螺纹差及螺纹数不同, 在螺钉置入过程中可更好的起到骨折块之间的加压作用, 实现坚强固定; (4) 末端无尾帽结构, 可埋头固定, 减少关节软骨破坏, 为早期功能锻炼提供适宜条件; (5) 组织相容性好, 不需手术取出, 明显降低了二次手术率。张奕等<sup>[23]</sup>采用 Herbert 螺钉修复有移位的肱骨小头骨折, 加压固定效果满意, 具有较低的关节面损伤并发症, 肘关节功能恢复良好。王华松等<sup>[24]</sup>应用肘外侧入路, 对 18 例肱骨小头骨折采用 Herbert 螺钉固定, 优良共 17 例, 均有满意固定效果, 术后均未出现并发症。闫军等<sup>[25]</sup>对 6 例肱骨小头骨

折患者的随访中均未发现骨折移位、内固定失效等并发症, 证实了 Herbert 螺钉在肱骨小头骨折固定中的优势。

本文应用有限元软件, 建立 5 组内固定的有限元模型, 对比分析其有限元生物力学特性。肱骨小头侧骨折断端位移分布及位移峰值反应模型固定的稳定程度, 且与内固定失败风险有关; 内固定应力的分布及集中程度反映内固定的传导性及发生形变、断裂的可能性。在伸直载荷及屈曲载荷作用下, MP-HS 模型骨折端位移量最小。在扭转载荷作用下, KW 模型和 MP-KW 模型位移量小于其他模型。在伸直载荷及屈曲载荷作用下, MP-HS 模型骨折线处内固定应力最小。在扭转载荷作用下, HS 模型和 MP-HS 模型中内固定应力小于其他模型。实验结果显示, HS 及 MP-HS 模型内固定承受载荷更均匀、更分散, 不易发生形变、断裂, 且传导性更好; 骨折端骨块位移小, 抗剪切力优, 能提供更好的稳定性。说明 HS 及 MP-HS 均能提供较好生物力学稳定性, 且 MP-HS 效果最佳。

综上所述, 微钢板+Herbert 螺钉对于 Dubberley IIA 型肱骨小头骨折可提供更好的生物力学稳定性, 可以为骨折提供更好的愈合环境。但本研究未对各种内固定的屈服强度进行分析, 尤其是克氏针及钢板, 因为应力遮挡越大, 内固定松动、断裂的风险越大, 需进一步完善。

#### 参考文献

- [1] 胡健, 刘红国, 石鹏, 等. 切开复位内固定治疗成人陈旧性肱骨小头-滑车冠状面骨折 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36 (1): 29-32.
- [2] 东靖明. 肱骨小头骨折诊疗进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21 (12): 1206-1209.
- [3] Zalavras CG, Papasoulis E. Intra-articular fractures of the distal humerus—a review of the current practice [J]. Int Orthop, 2018, 42 (11): 2653-2662.
- [4] 王伟斌, 袁欣华, 郑轶, 等. Kaplan 入路联合前内侧入路治疗成人肱骨小头-滑车骨折 [J]. 中国骨伤, 2018, 31 (12): 1148-1152.
- [5] Fram BR, Seigerman DA, Ilyas AM. Coronal shear fractures of the distal humerus: a review of diagnosis, treatment, and outcomes [J]. Hand, 2021, 16 (5): 577-585.
- [6] Bellato E, Giai VR, Bachman D, et al. Coronal shear fractures of the distal humerus [J]. J Funct Morphol Kinesiol, 2022, 7 (1): 7.
- [7] Chang AL, Dieterich JD, Diprinzio EV, et al. Surgical approach and internal fixation techniques for intra-articular distal humerus fracture with coronal shear capitellar fracture [J]. Tech Hand Up

- Extrem Surg, 2020, 25 (1) : 25-29.
- [8] Dubberley JH. Outcome after open reduction and internal fixation of capitellar and trochlear fractures [J]. J Bone Joint Surg Am, 2006, 88 (1) : 46-54.
- [9] 李波, 张世民, 胡孙君, 等. 肱骨头下皮质外距螺钉重建内侧柱稳定性的三维有限元分析 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36 (8) : 995-1002.
- [10] 金琰琰, 叶豪, 李妍妍, 等. 尺骨冠状突骨折合并肘关节后脱位有限元模型的建立与分析 [J]. 温州医科大学学报, 2022, 52 (7) : 539-544.
- [11] 张旭林, 徐永清, 何晓清, 等. 手舟骨腰部骨折 3 种内固定方式的有限元分析 [J]. 中国临床解剖学杂志, 2019, 37 (5) : 553-558.
- [12] 李永耀, 赵勇, 程灏, 等. 桡骨远端 Frykman VIII 型骨折钢板固定有限元模型的建立及力学分析 [J]. 中国组织工程研究, 2020, 24 (27) : 4272-4277.
- [13] 汤俊峰, 凤晓翔, 孙良业. 加压螺钉结合微型锁定支撑钢板治疗成人肱骨小头骨折的疗效 [J]. 实用骨科杂志, 2022, 28 (7) : 638-641, 672.
- [14] 陈鹏, 傅德皓. Herbert 螺钉与钢板治疗 Mason II 型桡骨小头骨折临床分析 [J]. 实用骨科杂志, 2015, 21 (2) : 160-162.
- [15] Ruchelsman DE, Tejwani NC, Kwon YW, et al. Coronal plane partial articular fractures of the distal humerus: current concepts in management [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2008, 16 (12) : 716-728.
- [16] Kimball JP, Glowczewskie F, Wright TW. Intraosseous blood supply to the distal humerus [J]. J Hand Sur Am, 2007, 32 (5) : 642-646.
- [17] Watson JJ, Bellringer S, Phadnis J. Coronal shear fractures of the distal humerus: Current concepts and surgical techniques [J]. Shoulder Elbow, 2020, 12 (2) : 124-135.
- [18] Dehghan N, Furey M, Schemitsch L, et al. Long-term outcomes of total elbow arthroplasty for distal humeral fracture: results from a prior randomized clinical trial [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2019, 28 (11) : 2198-2204.
- [19] Wiktor Ł, Tomaszewski R. Humeral capitellum fractures in adolescents: a study of 6 cases treated by open reduction and internal fixation with bioabsorbable nails [J]. Adv Orthop, 2022, 2022 : 4012125.
- [20] Borbas P, Vetter M, Loucas R, et al. Biomechanical stability of simple coronal shear fracture fixation of the capitellum [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2021, 30 (8) : 1768-1773.
- [21] 洪新杰, 周启荣, 曹烈虎, 等. 两种手术入路治疗肱骨小头骨折的疗效比较 [J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26 (10) : 865-869.
- [22] 朱光明, 徐耀增, 耿德春, 等. Herbert 螺钉治疗关节内骨折回顾性分析 [J]. 中国矫形外科杂志, 2009, 17 (14) : 1054-1057.
- [23] 张奕, 陶圣祥, 张勇, 等. 肘前入路 Herbert 螺钉内固定修复肱骨小头骨折: 骨折复位及愈合的评价 [J]. 中国组织工程研究, 2015, 19 (9) : 1435-1440.
- [24] 王华松, 王庆伟, 王俊伟, 等. 肘外侧入路空心钉内固定治疗肱骨小头骨折的疗效分析 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2017, 32 (1) : 90-91.
- [25] 闫军, 李雷, 赵吴敌. 经尺骨鹰嘴截骨入路 Herbert 螺钉结合锚钉内固定治疗 Dubberley IIIB 型肱骨小头骨折的疗效分析 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36 (5) : 526-527.

(收稿:2022-11-12 修回:2023-01-30)  
(同行评议专家: 孙 伟 王明明)  
(本文编辑: 宁 桦)