

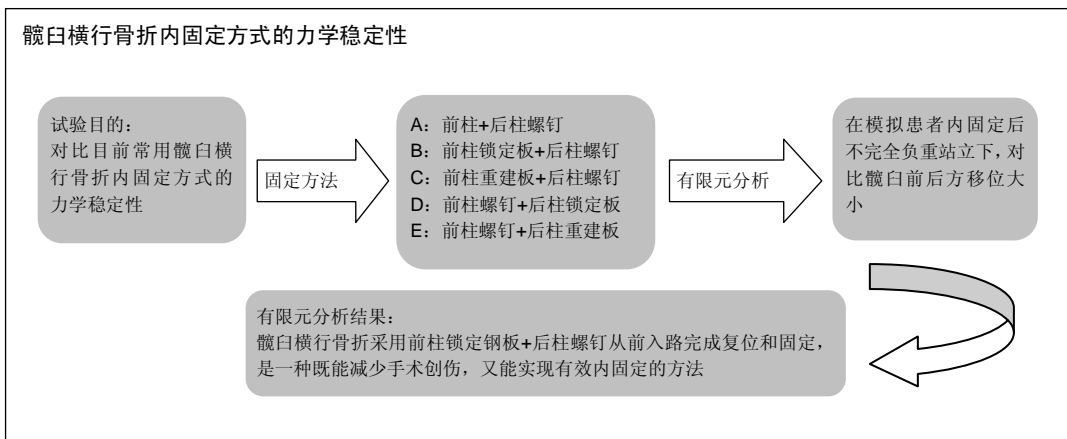
# 有限元分析髌臼横行骨折不同植入物的内固定方式

周坚锋<sup>1</sup>, 李建涛<sup>1</sup>, 张浩<sup>2</sup>, 李辰<sup>3</sup>, 尹鹏<sup>1,4</sup>, 李志锐<sup>1</sup>, 陈宇翔<sup>1</sup>, 唐佩福<sup>1</sup>, 张立海<sup>1</sup>(<sup>1</sup>解放军总医院骨科, 北京市 100853; <sup>2</sup>解放军第264医院骨科, 山西省太原市 030001; <sup>3</sup>天津市天津医院骨科, 天津市 300211; <sup>4</sup>南开大学医学院, 天津市 300071)

引用本文: 周坚锋, 李建涛, 张浩, 李辰, 尹鹏, 李志锐, 陈宇翔, 唐佩福, 张立海. 有限元分析髌臼横行骨折不同植入物的内固定方式[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(13):1911-1917.

DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2016.13.012 ORCID: 0000-0002-4070-1851(周坚锋)

## 文章快速阅读:



周坚锋, 男, 1989年生, 广东省海丰县人, 汉族, 解放军医学院在读硕士, 医师, 主要从事创伤骨科方面的研究。

中图分类号:R318

文献标识码:A

文章编号:2095-4344

(2016)13-01911-07

稿件接受: 2016-02-22

http://WWW.crter.org

## 文题释义:

**横行骨折固定:** 横行骨折为简单的髌臼骨折, 骨折涉及到髌臼前后柱, 常引起关节不稳定和创伤性关节炎, 移位的横行骨折采用切开复位内固定已成为治疗的金标准。目前固定方式较多且不统一, 需要更多的有效的生物力学研究验证固定方式的有效性。

**双柱固定:** 临床上对于髌臼横行骨折多主张双柱固定以实现坚强固定效果。目前使用最为广泛的方式为利用重建钢板对髌臼前柱和后柱同时固定。对于涉及到髌臼双柱的骨折, 如横行骨折、T型骨折及双柱骨折等, 仅仅采用单侧入路难以实现同时置入前柱和后柱钢板以固定骨折, 因此即便软组织损伤较大, 临床上还是多采用前后联合入路实现解剖复位和坚强固定。

## 摘要

**背景:** 髌臼横行骨折多累及髌臼前后柱。常用的前柱和后柱钢板固定需要采用前后联合入路, 创伤大不利于患者术后恢复, 而有限切开或经皮微创拉力螺钉置入虽可减少软组织损伤, 但其固定强度缺乏生物力学验证。

**目的:** 对比横行骨折不同类型的内固定方式, 并结合修复入路及软组织损伤情况探讨既能达到有效内固定, 又能减少软组织损伤的内固定方式。

**方法:** 利用有限元分析方法, 以第4代人工作合成半骨盆 sawbones 为模板建立髌臼横行骨折模型, 采用5种不同的内固定方式固定横行骨折。在模拟患者内固定后不完全负重站立下, 对比髌臼前后方移位大小以评价不同内固定方式的稳定性。

**结果与结论:** 前柱锁定钢板+后柱螺钉固定骨折断端前方移位最小, 前柱螺钉+后柱锁定钢板固定骨折后方移位最小, 两种内固定方式移位均小于对应的重建钢板固定。采用前柱+后柱拉力螺钉固定骨折前后方移位均最大, 固定效果最差。前柱锁定钢板+后柱螺钉可采用前单一入路即可完成内固定, 减少手术创伤, 具有较强的稳定性, 且能直视下置入后柱拉力螺钉, 减低螺钉置入的难度, 是行之有效的内固定方法。

## 关键词:

骨科植入物; 数字化骨科; 髌臼; 横行骨折; 内固定; 有限元分析; 生物力学; 手术入路

## 主题词:

髌臼; 骨折; 内固定器; 有限元分析; 生物力学; 组织工程

Zhou Jian-feng, Studying for master's degree, Physician, Department of Orthopedics, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

## Different fixation methods for transverse acetabular fracture: a finite element analysis

Zhou Jian-feng<sup>1</sup>, Li Jian-tao<sup>1</sup>, Zhang Hao<sup>2</sup>, Li Chen<sup>3</sup>, Yin Peng<sup>1,4</sup>, Li Zhi-rui<sup>1</sup>, Chen Yu-xiang<sup>1</sup>, Tang Pei-fu<sup>1</sup>, Zhang Li-hai<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Department of Orthopedics, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; <sup>2</sup>Department of Orthopedics, People's Liberation Army 264 Hospital, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China, <sup>3</sup>Department of Orthopedics, Tianjin Hospital, Tianjin 300211, China; <sup>4</sup>School of Medicine, Nankai University, Tianjin 300071, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** Transverse acetabular fracture often involves the damage of anterior and posterior columns of acetabulum. The most popular fixation of the anterior and posterior columns needs the combined anterior and posterior approach. Big trauma is not conducive to patient's recovery after surgery. Limited incision or percutaneous minimally invasive lag screw placement can reduce soft tissue injuries, but the strength of the fixation lacks of biomechanical verification.

**OBJECTIVE:** To compare different types of fixations for transverse acetabular fracture, explore the appropriate fixation options that can achieve effective fixation and reduce tissue injury by combing with repair approach and the condition of soft tissue.

**METHODS:** The fourth generation of synthetic semi-pelvic sawbones was set as a template to establish a model of acetabular transverse fracture using finite element analysis. Five different fixation options were used to fix the transverse acetabular fracture. The magnitudes of anterior and posterior displacement of transverse fracture were compared to assess the stability of different options under a simulated condition of incomplete weight bearing stand.

**RESULTS AND CONCLUSION:** The motion at anterior column was minimal when fixed by anterior column locking plate + posterior column screw and the minimum displacement at posterior column was the fixation of anterior column screw + posterior column locking plate. Both of the motions of these two fixations were less than the reconstruction plate fixation respectively. The worst fixation was the anterior column and posterior column lag screw fixation with the largest displacement. The anterior column locking plate + posterior column screw, accomplished by single approach, could not only reduce surgical trauma, but also has a stronger stability. Moreover, this fixation option is effective method to place posterior column lag screw under direct vision and reduce the difficulty of screw implantation.

**Subject headings:** Acetabulum; Fractures, Bone; Internal Fixators; Finite Element Analysis; Biomechanics; Tissue Engineering

**Cite this article:** Zhou JF, Li JT, Zhang H, Li C, Yin P, Li ZR, Chen YX, Tang PF, Zhang LH. Different fixation methods for transverse acetabular fracture: a finite element analysis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2016;20(13):1911-1917.

## 0 引言 Introduction

髌臼骨折是复杂骨折类型之一, 其中横行骨折为常见的髌臼骨折类型, 占髌臼骨折的30%-42%<sup>[1-2]</sup>, 多由交通伤或高处坠落伤等高暴力损伤引起<sup>[3-4]</sup>。骨折累及到髌臼前后柱, 高位的横行骨折线经过髌臼负重区, 影响髌臼稳定性, 是引起髌关节创伤性关节炎的主要原因之一<sup>[5]</sup>。为了提高横行骨折的预后, 过去的保守治疗方式早已被切开复位内固定所取代<sup>[6-10]</sup>。手术以实现解剖复位, 坚强固定, 早期功能锻炼, 减少创伤性关节炎为目的。

目前临床上多使用重建钢板同时对髌臼横行骨折前柱和后柱进行固定, 以达到有效固定强度。重建钢板主要依靠钢板和骨头表面之间的摩擦力维持固定强度, 需要术中根据髌臼解剖形态充分预弯, 存在手术时间长, 预弯不足降低固定强度等问题, 且手术多采用前

后联合入路进行手术, 对软组织损伤较大, 不利于术后的恢复。近年来, 锁定钢板<sup>[11-12]</sup>、经皮或有限切开髌臼前柱和后柱拉力螺钉以及个性化钢板逐渐在临床中开展<sup>[13-17]</sup>, 为固定髌臼横行骨折提供了新的固定方式。锁定钢板具有角稳定性, 但采用前柱和后柱双锁定钢板固定横行骨折仍然无法避免软组织损伤较大的问题。有学者提出采用有限切开方式或经皮微创方式置入拉力螺钉固定髌臼骨折, 虽然存在手术时间长, 对术者经验要求较高以及患者和医师均暴露在大量的射线中等问题, 但其有效的减少软组织损伤, 减少出血量, 降低术后切口感染和切口相关并发症的发生率, 具有潜在的使用价值。而个性化设计钢板固定髌臼骨折手术费用高, 暂时难以广泛使用。

面对目前较多的手术固定方式, 文献中尚缺乏相对应的生物力学实验验证。因此文章拟通过有限元分析方

法对比不同类型的植入物固定横行骨折, 结合临床修复入路及软组织损伤情况, 探讨既能达到较强的固定强度, 又能减少软组织损伤的有效固定方式。

## 1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 有限元分析, 生物力学测试试验。

1.2 时间及地点 于2015年3至9月在解放军总医院骨科完成。

1.3 材料 64排多层螺旋CT(SOMATOM Sensation Open, Siemens AG, Erlangen, Germany), 第4代人工合成半骨盆 sawbones (MODEL3405#, Pacific Research Laboratories, Vashon, WA), UG 软件(Unigraphics NX, Siemens PLM Software, Texas, USA), Mimics(Materialise's Inter-active Medical Image Control System, Materialize, Belgian), 8/10孔3.5 mm重建钢板, 8/10孔3.5 mm锁定钢板, 110 mm、7.3 mm空心拉力螺钉(Synthes, West Chester, PA, USA), ABAQUS有限元分析软件(Dassault Systemes, Vélizy-Villacoublay, France)。

### 1.4 方法

1.4.1 模型建立 应用64排多层螺旋CT逐层扫描由美国Pacific Research Laboratories生产的第4代人工合成半骨盆sawbones, 扫描层厚0.625 mm, 电压120 kV, 电流300 mA, 得到406张CT图片, 以DICOM格式保存并导入Mimics软件。在Mimics软件中设定阈值, 创建模型蒙版, 重建出半骨盆三维模型, 并划分出皮质骨和松质骨。根据Judet-Letournel分型<sup>[18]</sup>, 高位横行骨折的骨折线起自髌趾隆起中点, 经过髌臼顶, 止于坐骨大切迹的中点, 将髌臼分成两部分, 形成高位横行骨折模型。采用Mimics软件建立髌臼横行骨折模型。按照Synthes提供的锁定钢板、重建钢板以及拉力螺钉等内固定器械数据, 在UG软件中建立髌臼前柱10孔3.5 mm的重建钢板和锁定钢板、后柱8孔3.5 mm的重建钢板和锁定钢板以及110 mm、7.3 mm的空心拉力螺钉。将骨折模型及内固定模型导入abaqus有限元分析软件中进行装配和网格划分, 建立有限元模型。

分别建立5种固定方式的有限元模型: ①前柱+后柱拉力螺钉。②前柱螺钉+后柱重建钢板。③前柱螺钉+后柱锁定钢板。④前柱重建钢板+后柱螺钉。⑤前柱锁定钢板+后柱螺钉。

1.4.2 模型属性定义 设定本研究中髌臼、钢板以及螺钉等均为均质的、连续的、各向同性的材料, 材料属性

具体见表1。

表1 模型的材料属性和单元类型

Table 1 Material properties and element type of the model

项目	皮质骨	松质骨	钢板	拉力螺钉
弹性模量(GPa)	16	0.155	118.4	118.4
泊松比	0.265	0.2	0.34	0.34
单元类型	C3D4	C3D4	C3D10	C3D10

横行骨折模型采用四节点四面体单元进行网格划分, 其他部件均采用十节点四面体单元进行网格划分。骨折块之间、重建钢板与髌臼之间以及拉力螺钉与骨块之间为摩擦, 摩擦系数分别为0.46, 0.3和0.3, 锁定钢板与螺钉之间设为绑定。

1.4.3 边界条件及载荷选定 横行骨折有限元模型中耻骨联合处以及髌髌关节面上的全部节点, 将节点的6个自由度全部约束为0, 作为本试验的边界条件。选取髌臼负重区上的全部节点作为受力区, 力的方向为在冠状面上呈45°向上, 矢状面上呈25°向后, 施加400 N的力, 模拟患者站立时不完全负重的情况<sup>[19-21]</sup>。

1.5 主要观察指标 观察骨折断端的位移变化, 在横行骨折前后方骨折处, 分别选择相同的5个点, 比较不同模型前后方骨折的平均移位, 作为内固定生物力学稳定性的评价指标。

## 2 结果 Results

2.1 髌臼横行骨折采用5种固定方式的移位情况具体见表2。

利用前柱锁定钢板+后柱拉力螺钉固定横行骨折, 骨折断端前方移位最小, 为0.054 7 mm; 而后方移位最小的是利用前柱拉力螺钉+后柱锁定钢板固定, 为0.045 8 mm。采用前柱+后柱拉力螺钉固定髌臼横行骨折, 骨折断端的前后方移位均为最大, 分别为0.125 5和0.108 7 mm。

其余的固定方式骨折断端前方位移从小到大依次为前柱螺钉+后柱锁定钢板、前柱重建钢板+后柱拉力螺钉以及前柱螺钉+后柱重建钢板, 数值分别为0.055 4, 0.075 8和0.080 2 mm; 骨折断端后方移位从小到大依次为前柱锁定钢板+后柱拉力螺钉、前柱螺钉+后柱重建钢板和前柱重建钢板+后柱拉力螺钉, 其数值分别为0.054 5, 0.065 3和0.106 0 mm。

前柱螺钉+后柱锁定钢板固定骨折断端前后方移位均小于前柱螺钉+后柱重建钢板固定, 相类似的, 前柱

表2 不同固定方式下髌臼横行骨折前后方移位

(mm)

Table 2 Anterior and posterior displacement in transverse acetabulum fracture fixed by different fixation methods

固定方式	前方移位						后方移位					
	点1	点2	点3	点4	点5	平均	点1	点2	点3	点4	点5	平均
前柱螺钉+后柱螺钉	0.125 4	0.125 7	0.126 3	0.125 2	0.124 9	0.125 5	0.103 9	0.108 6	0.109 7	0.110 8	0.110 8	0.108 7
前柱螺钉+后柱锁定钢板	0.055 4	0.055 5	0.055 5	0.055 4	0.055 2	0.055 4	0.045 2	0.046 1	0.046 0	0.046 0	0.045 6	0.045 8
前柱锁定钢板+后柱螺钉	0.054 6	0.054 7	0.055 0	0.054 7	0.054 6	0.054 7	0.053 2	0.054 7	0.054 8	0.055 0	0.054 7	0.054 5
前柱螺钉+后柱重建钢板	0.079 7	0.080 0	0.080 3	0.080 5	0.080 4	0.080 2	0.065 1	0.065 3	0.065 5	0.065 7	0.065 1	0.065 3
前柱重建钢板+后柱螺钉	0.073 0	0.076 0	0.076 5	0.077 0	0.076 8	0.075 8	0.105 5	0.105 8	0.106 3	0.106 2	0.106 0	0.106 0

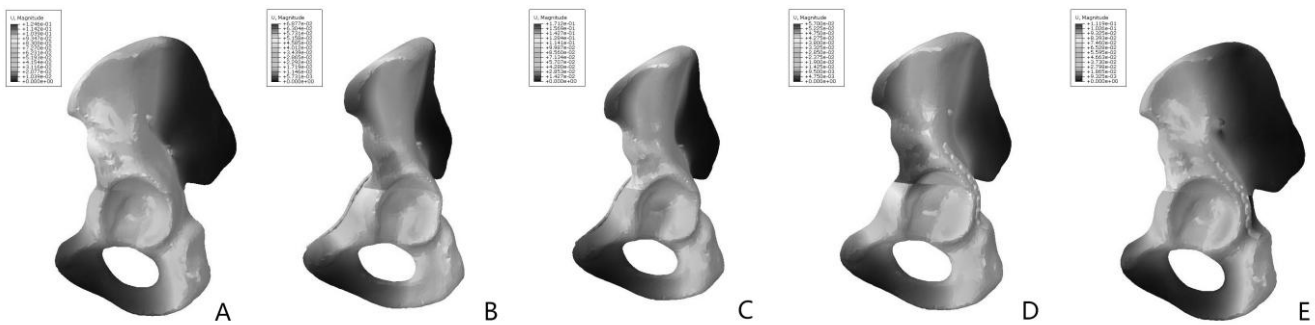


图1 髌臼横行骨折采用5种固定方式的移位云图

Figure 1 Displacement nephogram in transverse acetabulum fracture fixed by five fixation methods

图注: 图A为前柱+后柱螺钉固定下位移云图; B为前柱锁定钢板+后柱螺钉固定下位移云图; C为前柱重建钢板+后柱螺钉固定下位移云图; D为前柱螺钉+后柱锁定钢板固定下位移云图; E为前柱螺钉+后柱重建钢板固定下位移云图。

锁定钢板+后柱螺钉均固定前后方的移位也均小于前柱重建钢板+后柱螺钉。

## 2.2 髌臼横行骨折采用5种固定方式的移位云图见图1。

由图1可见, 前柱+后柱螺钉模型(图1A)受力下髌臼整体移位较大, 主要集中在横行骨折前方以及髌前上棘处, 其次为横行骨折后方; 前柱锁定钢板+后柱螺钉模型(图1B)受力后, 模型移位主要集中在髌前上棘, 横行骨折前后断端移位较接近, 模型整体移位较小; 前柱重建钢板+后柱螺钉模型(图1C)整体移位较大, 主要集中在髌前上棘, 而横行骨折后方移位次之, 前方移位相对较小; 前柱螺钉+后柱锁定钢板模型(图1D)整体位移最小, 主要集中在髌前上棘, 而骨折断端前后平均移位较接近; 前柱螺钉+后柱重建钢板模型(图1E)受力后整体移位也较大, 骨折断端前方位移较大, 后方位移较小。

## 3 讨论 Discussion

横行骨折是常见的髌臼骨折类型, 虽然根据 Judet-Letournel 分型横行骨折为简单骨折<sup>[18]</sup>, 但其累及到髌臼前后柱, 将髌臼分成上下两部分, 高位横行骨折线通过髌

臼顶负重区, 极大的影响到髌臼的稳定性。切开复位内固定已经成为移位髌臼骨折治疗的金标准。临床上对于髌臼横行骨折多主张双柱固定以实现坚强固定效果。目前使用最为广泛的方式为利用重建钢板对髌臼前柱和后柱同时固定。有文献报道可采用髌腹股沟入路和改良的 Stoppa 入路(前入路)、Kocher-Langenbeck 入路(后入路)或者前后联合入路进行复位和固定髌臼骨折<sup>[10, 22-26]</sup>。但对于涉及到髌臼双柱的骨折, 如横行骨折、T型骨折及双柱骨折等, 仅仅采用单侧入路难以实现同时置入前柱和后柱钢板以固定骨折, 因此即便软组织损伤较大, 临床上还是多采用前后联合入路实现解剖复位和坚强固定。随着微创技术在骨科中的推广, 经皮拉力螺钉固定髌臼前后柱方式逐渐受到重视<sup>[27]</sup>。Farouk 等<sup>[15]</sup>提出利用髌臼前方有限切开, 对横行骨折进行复位并单独使用前柱螺钉固定横行骨折, 但其病例数较少, 缺乏远期随访, 且无有力的生物力学实验支持其固定强度的有效性。本研究利用有限元分析方法, 对比了横行骨折五种不同内固定方式的稳定性。本研究结果表明, 固定横行骨折软组织损伤最小的前柱+后柱拉力螺钉固定方式固定后骨折断端前方位移和后方位移均最大, 固定效果最差。采用前柱螺钉+后柱锁定钢板固定髌臼横行骨折后方位移最

小, 前方移位仅次前柱锁定钢板+后柱螺钉固定; 而前柱锁定钢板+后柱螺钉固定骨折前方移位最小, 后方移位仅次于前柱螺钉+后柱锁定钢板, 可认为以上两种固定方式具有较好的稳定性, 这与 Khajavi 等<sup>[19]</sup>以及 Shazar 等<sup>[28]</sup>结果相类似, 证明单柱钢板固定结合拉力螺钉固定横行骨折能够达到较好的固定效果。利用前柱拉力螺钉替代横行骨折双钢板固定中的前柱钢板, 仍然能保证较强的稳定性。可单独使用后入路完成骨折复位, 直视下预弯后柱钢板固定髌臼后柱, 更方便寻找入钉点置入前柱拉力螺钉, 减少软组织的损伤, 又能够达到较好的固定效果, 与经皮拉力螺钉固定相比, 降低了手术难度, 减少手术相关并发症, 达到更佳的治疗效果。

目前髌臼骨折进行双柱固定, 多采用重建钢板结合空心拉力螺钉<sup>[29-30]</sup>。近年来, 临床上开始尝试使用锁定钢板治疗髌臼横行骨折<sup>[31]</sup>。此次研究中发现, 前柱锁定钢板结合后柱螺钉固定与前柱重建钢板结合后柱螺钉固定相比, 前者骨折断端前、后方移位均较小, 稳定性更强。前柱螺钉结合后柱锁定钢板与前柱螺钉结合后柱重建钢板相比也得出相同的结果。重建钢板主要依靠钢板与骨面间的摩擦力来维持固定效果, 需要在术中根据髌臼表面解剖形态, 直视下充分折弯钢板保证与骨面贴附, 以保证足够摩擦力维持固定强度。但髌臼表面形态复杂, 术者常常需要多次折弯钢板, 不仅增加手术时间, 还可能因多折弯降低钢板强度, 减弱固定效果; 无法与髌臼表面合理贴附的重建钢板还可能导致复位失效, 引起创伤性骨性关节炎。此外, 重建钢板还需要采用双皮质固定, 具有螺钉打入关节腔内的风险<sup>[32-33]</sup>。与重建钢板相比, 锁定钢板则具有较多的优势。锁定钢板固定骨折断端主要依靠螺钉与钢板间的锁定功能<sup>[34]</sup>, 具有成角稳定性, 因此术中无需充分预弯, 显著减少了手术时间, 并降低手术难度。还可采用单皮质固定, 避免螺钉置入关节内的风险。Mehin 等<sup>[35]</sup>则运用锁定钢板对横行骨折进行单独后柱固定, 结果显示与前柱螺钉+后柱重建钢板固定差异无显著性意义。Khajavi 等<sup>[19]</sup>的生物力学实验中单独前柱锁定钢板固定横行骨折, 其强度与前柱重建钢板结合后柱拉力螺钉差异无显著性意义。这些结果都表明锁定钢板比重建钢板具有更强的稳定性, 与本研究结果相类似。

Isaacson 等<sup>[36]</sup>利用改良的 Stoppa 入路对涉及到后柱移位的髌臼骨折进行复位和固定, 取得满意效果。Chesser 等<sup>[37]</sup>以及 Elmadag 等<sup>[38]</sup>也采用前入路方式对

各类型的髌臼骨折进行复位和固定同样取得满意疗效。有学者研究提出, 采用 Kocher-Langenbeck 入路进行复位和固定髌臼骨折并发症发生率较高<sup>[5, 39]</sup>。因此作者建议利用髌臼前入路, 采用前柱锁定钢板结合后柱螺钉固定髌臼横行骨折。

本研究与既往的有限元分析利用真实骨骼建模不同, 作者以美国 Pacific Research Laboratories 生产的第 4 代人工合成半骨盆 sawbones 为模板, 并根据其提供的材料数据建立有限元模型。与使用真实骨骼建模不同, 真实骨骼形态上具有一定差异, 不同作者建立的有限元模型无法很好进行比较。此外, 还能与利用 sawbones 进行的生物力学实验数据进行比较。Sawbones 的生物力学有效性已被证实<sup>[40-43]</sup>。即便如此, 本研究仍然存在不足之处。该研究以计算机仿真技术对内固定固定强度进行模拟, 其结果仅仅是尽量符合实际生物力学情况, 而不能完全替代生物力学实验, 仍需要进行下一步验证。

综上所述, 髌臼横行骨折采用前柱锁定钢板+后柱螺钉从前入路完成复位和固定, 是一种既能减少手术创伤, 又能实现有效固定的方法。

**致谢:** 非常感谢北京航空航天大学姚杰老师以及中国人民解放军 307 医院苏秀云老师在有限元分析方面进行的指导。

**作者贡献:** 周坚锋主导实验, 并撰写文章; 李建涛、张浩和李辰检测实验使用的有限元模型和方法; 尹鹏和李志锐指导文章的写作; 陈宇翔完成三维建模等基础工作; 唐佩福和张立海指导实验方向, 并审核研究结果。

**利益冲突:** 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

**伦理问题:** 文章主要采用有限元计算机仿真模拟, 利用 sawbones 建立有限元模型, 不涉及到患者或其他个人等伦理问题。

**文章查重:** 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

**文章外审:** 本刊实行双盲外审制度, 文章经国内小同行外审专家审核, 符合本刊发稿宗旨。

**作者声明:** 文章第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

#### 4 参考文献 References

- [1] Yildirim AO, Alemdaroglu KB, Yuksel HY, et al. Finite element analysis of the stability of transverse acetabular fractures in standing and sitting positions by different fixation options. *Injury*. 2015;46 Suppl 2: S29-35.
- [2] Geijer M, El-Khoury GY. Imaging of the acetabulum in the era of multidetector computed tomography. *Emerg Radiol*. 2007;14(5):271-287.
- [3] Borg T, Hailer NP. Outcome 5 years after surgical treatment of acetabular fractures: a prospective clinical and radiographic follow-up of 101 patients. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2015;135(2):227-233.
- [4] Laird A, Keating JF. Acetabular fractures: a 16-year prospective epidemiological study. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(7):969-973.
- [5] Collinge C, Archdeacon M, Sagi HC. Quality of radiographic reduction and perioperative complications for transverse acetabular fractures treated by the Kocher-Langenbeck approach: prone versus lateral position. *J Orthop Trauma*. 2011;25(9):538-542.
- [6] Qadir RI, Bukhari SI. Outcome of operative treatment of acetabular fractures: short term follow-up. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 2015;27(2):287-291
- [7] Oberst M, Hauschild O, Konstantinidis L, et al. Effects of three-dimensional navigation on intraoperative management and early postoperative outcome after open reduction and internal fixation of displaced acetabular fractures. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;73(4):950-956.
- [8] Giannoudis PV, Grotz MR, Papakostidis C, et al. Operative treatment of displaced fractures of the acetabulum. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(1):2-9.
- [9] Magill P, McGarry J, Queally JM, et al. Minimum ten-year follow-up of acetabular fracture fixation from the Irish tertiary referral centre. *Injury*. 2012;43(4): 500-504.
- [10] Harris AM, Althausen P, Kellam JF, et al. Simultaneous anterior and posterior approaches for complex acetabular fractures. *J Orthop Trauma*. 2008;22(7): 494-497.
- [11] Marintschev I, Gras F, Schwarz CE, et al. Biomechanical comparison of different acetabular plate systems and constructs--the role of an infra-acetabular screw placement and use of locking plates. *Injury*. 2012;43(4):470-474.
- [12] Heller S, Brosh T, Kosashvili Y, et al. Locking versus standard screw fixation for acetabular cups: is there a difference? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013;133(5): 701-705.
- [13] Gras F, Gottschling H, Schroder M, et al. Sex-specific differences of the infraacetabular corridor: a biomorphometric CT-based analysis on a database of 523 pelves. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(1): 361-369.
- [14] Yi C, Burns S, Hak DJ. Intraoperative fluoroscopic evaluation of screw placement during pelvic and acetabular surgery. *J Orthop Trauma*. 2014;28(1): 48-56.
- [15] Farouk O, Kamal A, Badran M, et al. Minimal invasive para-rectus approach for limited open reduction and percutaneous fixation of displaced acetabular fractures. *Injury*. 2014;45(6):995-999.
- [16] Xu M, Zhang LH, Zhang YZ, et al. Custom-made locked plating for acetabular fracture: a pilot study in 24 consecutive cases. *Orthopedics*. 2014;37(7): e660-670.
- [17] Liu Q, Zhang K, Zhuang Y, et al. A morphological study of anatomical plates for acetabular posterior column. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2014;9(4):725-731.
- [18] Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res*. 1980;(151): 81-106.
- [19] Khajavi K, Lee AT, Lindsey DP, et al. Single column locking plate fixation is inadequate in two column acetabular fractures. A biomechanical analysis. *J Orthop Surg Res*. 2010;5:30.
- [20] Bergmann G, Graichen F, Rohlmann A. Hip joint loading during walking and running, measured in two patients. *J Biomech*. 1993;26(8):969-990.
- [21] Chang JK, Gill SS, Zura RD, et al. Comparative strength of three methods of fixation of transverse acetabular fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2001; (392):433-441.
- [22] Matta JM. Operative treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach: a 10-year perspective. *J Orthop Trauma*. 2006;20(1 Suppl): S20-29.
- [23] Connelly CL, Archdeacon MT. Transgluteal posterior column screw stabilization for fractures of the acetabulum: a technical trick. *J Orthop Trauma*. 2012; 26(10):e193-197.
- [24] Kumar A, Shah NA, Kershaw SA, et al. Operative management of acetabular fractures. A review of 73 fractures. *Injury*. 2005;36(5):605-612.
- [25] Oh CW, Kim PT, Park BC, et al. Results after operative treatment of transverse acetabular fractures. *J Orthop Sci*. 2006;11(5):478-484.
- [26] Schmidt CC, Gruen GS. Non-extensile surgical approaches for two-column acetabular fractures. *J Bone Joint Surg*. 1993;75(4):556-561.

- [27] Bozzio AE, Wydra FB, Mitchell JJ, et al. Percutaneous fixation of anterior and posterior column acetabular fractures. *Orthopedics*. 2014; 37(10):675-678.
- [28] Shazar N, Brumback RJ, Novak VP, et al. Biomechanical evaluation of transverse acetabular fracture fixation. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(352): 215-222.
- [29] Sawaguchi T, Brown TD, Rubash HE, et al. Stability of acetabular fractures after internal fixation. A cadaveric study. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1984;55(6):601-605.
- [30] 吴新宝,王满宜,曹奇勇,等.髌臼骨折的治疗建议[J]. 中华创伤骨科杂志,2010,1(11):1057-1059.
- [31] 张秋林,唐昊,王秋.锁定加压重建钢板在髌臼骨折中的应用[J].中华关节外科杂志,2008,2(2):14-17.
- [32] Ji X, Bi C, Wang F, et al. Digital anatomical measurements of safe screw placement at superior border of the arcuate line for acetabular fractures. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:55.
- [33] Carmack DB, Moed BR, McCarroll K, et al. Accuracy of detecting screw penetration of the acetabulum with intraoperative fluoroscopy and computed tomography. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83-a(9): 1370-1375.
- [34] Gardner MJ, Helfet DL, Lorich DG. Has locked plating completely replaced conventional plating? *American journal of orthopedics (Belle Mead, NJ)*. 2004;33(9): 439-446.
- [35] Mehin R, Jones B, Zhu Q, et al. A biomechanical study of conventional acetabular internal fracture fixation versus locking plate fixation. *Can J Surg*. 2009;52(3): 221-228.
- [36] Isaacson MJ, Taylor BC, French BG, et al. Treatment of acetabulum fractures through the modified Stoppa approach: strategies and outcomes. *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(11):3345-3352.
- [37] Chesser TJ, Eardley W, Mattin A, et al. The modified ilioinguinal and anterior intrapelvic approaches for acetabular fracture fixation: indications, quality of reduction, and early outcome. *J Orthop Trauma*. 2015; 29 Suppl 2:S25-28.
- [38] Elmadag M, Guzel Y, Acar MA, et al. The Stoppa approach versus the ilioinguinal approach for anterior acetabular fractures: a case control study assessing blood loss complications and function outcomes. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(6):675-680.
- [39] Alexa O, Malancea RI, Puha B, et al. Results of surgical treatment of acetabular fractures using Kocher-Langenbeck approach. *Chirurgia (Bucharest, Romania : 1990)*. 2013;108(6):879-885.
- [40] Elfar J, Menorca RM, Reed JD, et al. Composite bone models in orthopaedic surgery research and education. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(2):111-120.
- [41] Basso T, Klaksvik J, Syversen U, et al. A biomechanical comparison of composite femurs and cadaver femurs used in experiments on operated hip fractures. *J Biomech*. 2014;47(16):3898-3902.
- [42] Grover P, Albert C, Wang M, et al. Mechanical characterization of fourth generation composite humerus. *Proc Inst Mech Eng H*. 2011;225(12): 1169-1176.
- [43] Gardner MP, Chong AC, Pollock AG, et al. Mechanical evaluation of large-size fourth-generation composite femur and tibia models. *Ann Biomed Eng*. 2010;38(3): 613-620.