

文章编号:1004-7220(2019)06-0601-07

# 空心钉联合同种异体腓骨内固定治疗中青年股骨颈骨折生物力学分析

周 驰<sup>1</sup>, 陈国铭<sup>2</sup>, 黄楚瑶<sup>3</sup>, 陈腾宇<sup>2</sup>, 刘韵韵<sup>2</sup>, 黄睿澜<sup>2</sup>, 何 伟<sup>1</sup>, 吕慧页<sup>2</sup>

(1. 广州中医药大学第一附属医院 关节骨科, 广州 510405; 2. 广州中医药大学 第一临床医学院, 广州 510405;  
3. 广州中医药大学 针灸康复临床医学院, 广州 510405)

**摘要:**目的 比较空心钉联合同种异体腓骨内固定(改良术式)和单纯行空心钉内固定(传统术式)在治疗中青年 Pauwels I、II、III型股骨颈骨折中的力学稳定性差异。**方法** 建立传统及改良术式固定的 Pauwels I、II、III型股骨颈骨折模型,分析模型股骨头皮质骨壳负重区、股骨颈骨折端应力分布情况,以及股骨头皮质骨壳与股骨颈骨折面剪应力分布情况,并根据预测数据绘制股骨冠状位最大主应变云图,比较两组股骨颈骨折端位移。**结果** 股骨头皮质骨壳在 S12、S13 方向剪应力分布均显示采用改良术式优于或相近于采用传统术式。此外,股骨颈骨折面 S12、S23 方向剪应力情况亦显示采用改良术式固定优于传统术式。Pauwels II、III型传统术式固定的股骨颈骨折端位移大于改良术式,其中 Pauwels II型传统术式固定的位移明显大于改良术式,而 Pauwels I型改良术式固定的位移显著大于传统术式。**结论** 改良术式相对适用于 Pauwels II、III型中青年股骨颈骨折,而传统术式则适用于 Pauwels I型中青年股骨颈骨折。

**关键词:**空心钉;同种异体腓骨;股骨颈骨折;内固定;生物力学

**中图分类号:** R 318.01 **文献标志码:** A

**DOI:** 10.16156/j.1004-7220.2019.06.006

## Biomechanical Analysis on Young and Middle-Aged Femoral Neck Fractures Fixed by Intramedullary Fibular Allograft Combined with Cannulated Screw

ZHOU Chi<sup>1</sup>, CHEN Guoming<sup>2</sup>, HUANG Chuyao<sup>3</sup>, CHEN Tengyu<sup>2</sup>, LIU Yunyun<sup>2</sup>, HUANG Ruilan<sup>2</sup>, HE Wei<sup>1</sup>, LÜ Huiye<sup>2</sup>

(1. The Orthopedics Department, the First Affiliated Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510405, China; 2. The First Clinical Medical College, Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, Guangzhou 510405, China; 3. Clinical Medical College of Acupuncture, Moxibustion and Rehabilitation, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510405, China)

**Abstract: Objective** To compare differences in mechanical stability of intramedullary fibular allograft with cannulated screw (modified method) and cannulated screw alone (conventional method) for fixing young and middle-aged Pauwels I, II, III femoral neck fractures. **Methods** Models of Pauwels I, II, III femoral neck fracture fixed by conventional method and modified method were constructed. Stress distributions on weight-bearing area

收稿日期:2018-10-16; 修回日期:2018-12-28

基金项目:国家自然科学基金项目(81774339),广东省自然科学基金项目(2015A030310203),广州中医药大学第一附属医院青年科研人才培养项目(2015QN01)

通信作者:何伟,主任医师,E-mail: hw13802516062@126.com

of the femoral cortical bone shell and the end of femoral neck fracture, as well as shear stress distributions on cortical bone shell of the femoral head and femoral neck fracture surface were analyzed, the maximum principal strain cloud maps of the femur in coronal position were drawn according to the predicted data, and the displacements of femoral neck fracture end between two groups were compared. **Results** The shear stress distributions on cortical bone shell of the femoral head in two directions (S12, S13) showed that femoral neck fractures fixed by modified method was superior or close to that by conventional method. Besides, the shear stress distributions on fracture surface of the femoral neck in two directions (S12, S23) showed that modified internal fixation was superior to conventional internal fixation. The displacements of femoral neck fracture end in Pauwels II and III fracture fixed by conventional method were greater than those by modified method and the displacements of Pauwels II fracture fixed by conventional method were obviously larger than those of Pauwels II fracture fixed by modified method. But Pauwels I fracture fixed by modified method showed a larger displacement than that fixed by conventional method. **Conclusions** Modified method is more suitable for fixing femoral neck fracture with large angles (Pauwels II and III fracture), and conventional method is more suitable for fixing neck fracture with small angles (Pauwels I fracture).

**Key words:** cannulated screw; fibular allograft; femoral neck fractures; internal fixation; biomechanics

股骨颈骨折是指股骨头下至股骨颈基部之间的骨折,临床上较为常见,约占全部骨折3.6%,占股骨近端骨折51.97%<sup>[1]</sup>。研究表明,髋部骨折人群中,股骨粗隆间骨折易发生于老年人,而年龄越小者发生股骨颈骨折的概率越大<sup>[2]</sup>。中青年股骨颈骨折多由高能量创伤所致<sup>[3]</sup>,股骨颈周围的软组织、血管、骨质等损伤往往较重。由于骨小梁难以承受高负荷,故应力分布改变会阻碍骨小梁塑型修复,而骨小梁破坏会导致股骨头坏死<sup>[4]</sup>。据报道,中青年股骨颈骨折的不愈合率和缺血性坏死发生率分别高达35%和45%<sup>[1]</sup>。

对于中青年患者,人工关节无法满足其预期寿命较长、运动量较大的需求,且有着假体松动、再脱位、感染、深静脉血栓等并发症,翻修率较高<sup>[5]</sup>。因此,临床上中青年股骨颈骨折的治疗通常以内固定为主<sup>[6]</sup>。

力学环境是股骨颈骨折后骨重建的重要因素,包括载荷传递、应力分布等,与股骨近端的皮质骨和松质骨有一定相关性,可帮助判断预后康复情况<sup>[7-8]</sup>。目前临床上较常用的内固定方式包括空心加压螺钉、动力髋螺钉(dynamic hip screws, DHS)螺旋刀片或DHS类内固定物加1枚空心钉同时固定等。作为传统术式,中空加压螺钉固定骨折时具有固定强度高、抗扭转能力强、手术操作简便、手术创伤小等优点,但单纯螺钉固定的支持作用较差<sup>[9]</sup>。DHS螺旋刀片则具有传统DHS生物力学优势及多

枚空心螺钉抗旋性好的双重优点<sup>[10]</sup>,在避免延迟愈合和内翻畸形等方面优势明显,在临床上被广泛使用,但仍然存在创伤大、应力集中等缺陷。

鉴于单纯行空心钉内固定术(传统术式)治疗手段普遍存在应力集中的缺陷,近年来临床出现了空心钉联合同种异体腓骨植入的改良术式内固定治疗手段。腓骨生物特性使得这种治疗方法能有效促进骨折愈合<sup>[11]</sup>。同时,它还能有效分散局部坏死区表面的应力,从而预防因应力导致的股骨头持续塌陷<sup>[12]</sup>,是临床治疗中青年股骨颈骨折的一个新选择。

但是,现阶段改良术式的生物力学研究仍处于相对空白状态,其与传统术式的稳定性比较有待进一步分析和证明。本文针对改良与传统术式在3种股骨颈骨折中的生物力学特性进行分析,为两种内固定治疗手段在生物力学方面的优劣提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

中国健康成年女性志愿者患者1名(已签署知情同意书),39岁,身高166 cm,体质量60 kg。通过双髋关节X线摄取图像,东芝64排CT薄层扫描和MRI影像,以DICOM格式保存,利用Mimics 15.01重建髋关节三维模型。利用Rapiform软件进行实体化,并进行网格划分。采用ABAQUS 6.11有限元分析软件构建模型。

## 1.2 有限元模型材料属性赋值

通过节点融合并网格化模拟骨与内固定装置的相互作用,并确定松质骨和坏死区的主应力方向轨迹<sup>[13]</sup>。同时,给予皮质骨和松质骨材料属性相应赋值如下:腓骨弹性模量 15.1 GPa,泊松比 0.3;加压螺钉弹性模量 110 GPa,泊松比 0.3;皮质骨弹性模量 15.1 GPa,泊松比 0.3;松质骨弹性模量 445 MPa,泊松比 0.22<sup>[14-18]</sup>。

## 1.3 设置边界条件与定义载荷

估算人体站立中期的肌力,建模并赋予长收肌(560 N)、大收肌(600 N)、臀大肌(550 N)、臀中肌(700 N)、臀小肌(300 N)、梨状肌(500 N)和阔筋膜张肌(300 N)作为轴向联结<sup>[19]</sup>。结合临床实际,设定摩擦系数为 0.2,在骨接触面间采用非线性化的接触分析,进行生物力学分析。股骨头载荷面和位移通过 ABAQUS 的 Displacement 定义位移边界条件设置,股骨头负重区站立时呈圆锥体,股骨头几何中心是圆锥体的顶点,而顶角是围绕股骨颈轴线的 40°<sup>[20]</sup>,行走时负重区角度会发生相应改变<sup>[21]</sup>。模拟单足平衡站立的状态,地面对股骨头的反作用力被施加到股骨头负重区,载荷为 600 N。

## 1.4 骨折类型和手术操作模拟

根据改良术式手术用具的规格,空心钉螺纹长 30 mm,螺纹外径 7.3 mm,植入同种异腓骨柱为长 90 mm、外径 10 mm、中空部分直径 5 mm 的皮质骨。模拟计算内固定螺纹与异体腓骨规格,默认内固定与骨质接触部分完全结合焊接。采用基于生物力学稳定性分型的 Pauwels 分型系统进行骨折类型造模,分为 Pauwels I (Pauwels 角 30°)、Pauwels II (Pauwels 角 50°)、Pauwels III (Pauwels 角 70°)型股骨颈骨折,并进行手术操作模拟。空心钉固定位置的标准是与骨折面的中心对称,钉尖距软骨下层 0.5 cm 内,空心加压螺钉螺杆的直径为 5 mm,钉与股骨干轴夹角为 135°。异体腓骨从股骨头前外侧打入至股骨头软骨下,与软骨面保持一定距离。再于腓骨内下方紧贴腓骨咬合拧入空心螺钉加强固定,形成三角形鼎立稳定的统一体,腓骨内下方空心钉顶端不超过腓骨远端。骨折模型采用 SPLIT 数字分离工具于股骨头颈处切断。最后,结合内固定模型将模型各部分结构导入 ABAQUS 6.13 中,完成整个骨折内固定的三维有限元模型(见图 1)。

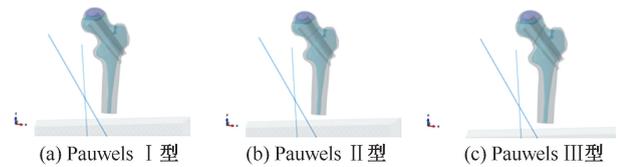


图 1 根据 Pauwels 分型建立不同坏死部位的股骨颈骨折模型  
Fig.1 Models of femoral neck fracture with different necrotic parts according to Pauwels types (a) Pauwels I type, (b) Pauwels II type, (c) Pauwels III type

## 1.5 主要观察指标

(1) 分析股骨头皮质骨壳负重区、股骨颈骨折端应力分布情况;(2) 分析股骨头皮质骨壳和股骨颈骨折面剪应力分布情况;(3) 根据预测数据绘制股骨冠状位最大主应变、股骨颈骨折端位移云图。

## 2 结果

### 2.1 股骨头皮质骨壳负重区应力分布

根据股骨头皮质骨壳负重区应力分布情况可知,高信号区域均主要集中在股骨头负重区,Pauwels I、II、III型骨折内固定治疗后应力分布与生理状态下相比差异不大(见图 2)。

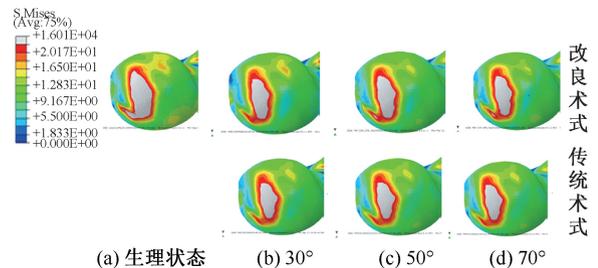


图 2 股骨头皮质骨壳负重区应力分布  
Fig.2 Stress distributions in weight-bearing region of the femoral cortex (a) Physiological condition, (b) Pauwels 30°, (c) Pauwels 50°, (d) Pauwels 70°

### 2.2 股骨颈骨折端应力分布

根据股骨颈骨折端应力分布情况,Pauwels I型改良术式固定时皮质骨壳后方和前方出现应力集中现象;Pauwels I型传统术式固定时皮质骨壳下方出现应力集中现象,同时前上方螺钉与松质骨交界处出现红色高信号区域。Pauwels II型改良术式与传统术式固定时皮质骨壳下方均出现信号集中现象。Pauwels III型改良术式与传统术式固定时高信号区域进一步缩小,腓骨和邻近螺钉与松质骨

周围应力与 Pauwels II 型情况基本一致。分析股骨颈折端应力分布可知,3 种类型骨折改良术式固定时下腓骨和邻近螺钉与松质骨周围应力小于传统术式固定,说明腓骨可辅助空心钉减轻应力集中的局限性,改良术式固定效果优于传统术式(见图 3)。

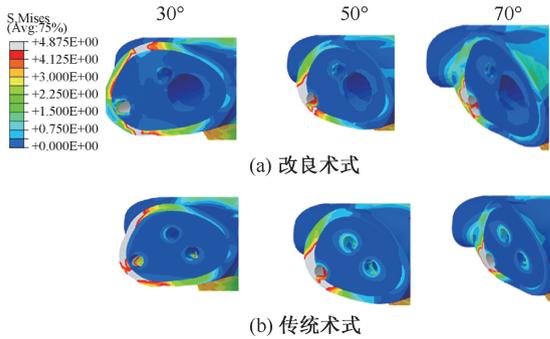


图 3 不同固定术式下股骨颈骨折端应力分布情况

Fig.3 Stress distribution at the end of femoral neck fracture fixed by different methods (a) Modified method, (b) Conventional method

### 2.3 股骨头皮质骨壳剪应力分布

根据股骨头皮质骨壳 S12 方向剪应力分布情况可知,两种术式的应力分布情况接近,但明显 Pauwels I 型改良术式的信号分布区域更接近生理状态的应力分布,说明股骨颈骨折内固定治疗中,Pauwels I 型改良术式的抗剪效果稍优于传统术式。生理状态下,股骨头皮质骨壳 S13 方向前、后方出现两个高信号区域,内方出现一个低信号区域。Pauwels I 型改良术式股骨头皮质骨壳 S13 方向前方高信号区域消失,内方出现偏小的低信号区域,Pauwels II、III 型改良术式的高信号区域缩小,低信号区域与生理状态接近。Pauwels 各型传统术式固定时股骨头前、后方出现两个高信号区域,两者范围较正常偏小,内方出现一个低信号区域。基于生理状态的应力分布,3 种分型股骨颈骨折内固定治疗中,改良术式固定与传统术式相比更接近正常情况,具有更优化的抗剪能力,且内固定治疗中 Pauwels II 型改良术式与正常情况相比应力分布差异性最小(见图 4)。

### 2.4 股骨颈骨折面剪应力分布

根据股骨颈骨折面 S12、S23 方向剪应力分布情况可知,两种术式出现差异主要集中在 Pauwels I 型股骨颈骨折。从 S12 方向分析,两种术式骨折面

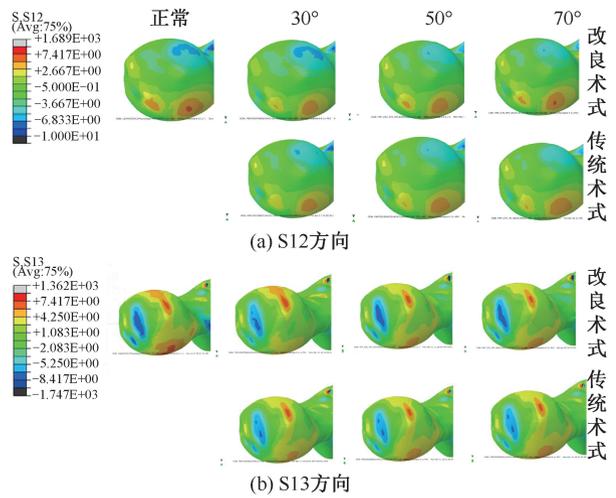


图 4 股骨头皮质骨壳在不同方向剪应力分布情况

Fig.4 Shear stress distributions on cortical bone crust of the femoral head at different directions (a) The S12 direction, (b) The S13 direction

前、后方均出现高信号区域。同时,前、后方出现两个低信号区域,Pauwels I 型传统术式固定应力分布均小于改良术式。此外,Pauwels 各型股骨颈骨折面 S12 方向剪应力分布中,腓骨周围信号较高,而其余两根螺钉周围信号较采用传统术式低,腓骨可以辅助空心钉使应力分布更加均匀。从 S23 方向角度而言,Pauwels I 型改良术式较传统术式固定,骨折面后方出现较为明显的低信号区域。Pauwels II、III 型改良术式与传统术式固定基本一致,同时可见 Pauwels II、III 型传统术式固定后方空心钉出现红色高信号区域,应力较为集中,说明改良术式固定在骨折面的抗剪效果优于传统术式(见图 5)。

### 2.5 股骨冠状位最大主应变分布

根据股骨冠状位最大主应变云图,正常情况下股骨头内应变主要分布在区间 0.75~1.75,没有出现高信号集中区域。内固定治疗中 Pauwels I、II、III 型改良术式的股骨头内近骨折面及植骨物周围出现高信号集中区域,但植入物顶部未见有高信号集中区域,3 种骨折的应变分布几乎一样。而 3 种类型传统术式除股骨头内近骨折面及植骨物周围出现高信号集中外,也见于植入物顶部,3 种骨折的应变分布也几乎一样,说明股骨颈骨内固定治疗时改良术式效果要优于传统术式固定(见图 6)。

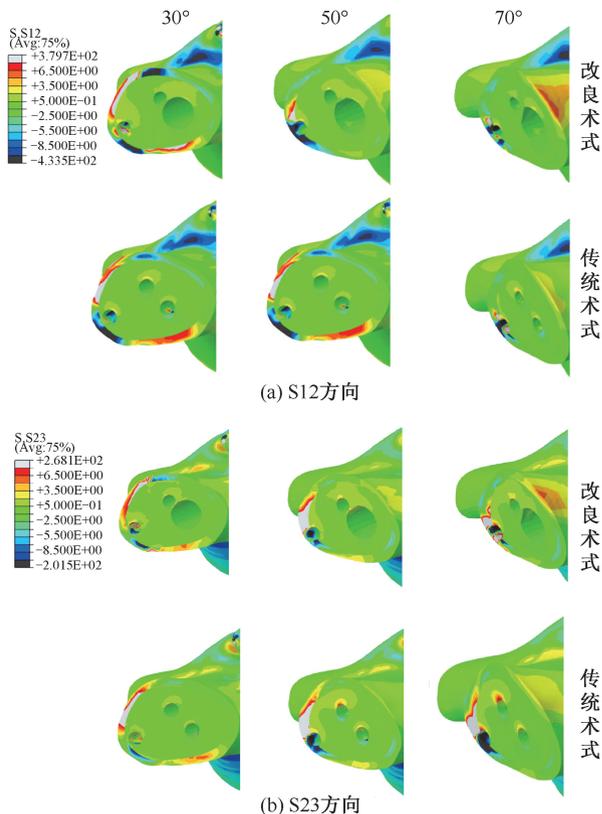


图5 股骨颈骨折面不同方向剪应力分布情况

**Fig.5 Shear stress distributions on femoral neck fracture surface in different directions** (a) The S12 direction, (b) The S23 direction

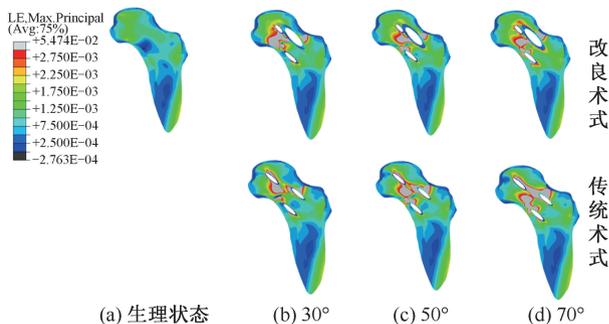


图6 股骨冠状位最大主应变云图

**Fig.6 Maximum principal strain cloud map of the femur coronal position** (a) Physiological condition, (b) Pauwels 30°, (c) Pauwels 50°, (d) Pauwels 70°

## 2.6 股骨颈骨折端位移情况

模拟结果表明,传统术式在固定 Pauwels II、III型股骨颈骨折时骨折端位移分别为 2.285、2.280 mm,而改良术式在 Pauwels II、III型的骨折端

位移均为 2.275 mm,这表明改良术式治疗 Pauwels 角 50°和 70°有较大的优势。而在 Pauwels I 型股骨颈骨折时,情况恰好相反,改良术式固定时股骨颈骨折端位移为 2.333 mm,而传统术式固定时位移为 2.269 mm,改良术式位移大于传统术式。

## 3 讨论与结论

基于股骨头皮质骨壳进行力学分析可知,改良术式与传统术式固定 Pauwels I、II、III型股骨颈骨折,股骨头皮质骨壳负重区应力均无明显差异,说明两种术式基本解决了骨折后固定,但临床需要进一步考虑预防股骨头坏死修复。结合临床情况,骨折固定的稳定性有利于骨小梁生长修复和改善股骨头坏死缺血内环境,加快有效松质骨结构(尤其是股骨头前外侧柱),对预防坏死塌陷有重要意义。根据股骨颈骨折端应力分布情况,采用改良术式固定 Pauwels I、II、III型骨折较采用传统术式固定,其植入腓骨与螺钉周围的应力分布信号均较低,且皮质骨壳应力集中区面积均有不同程度的缩小。由此可见,使用腓骨代替 1 根螺钉作为植入材料,可均匀承担负重区的应力,并增强股骨头内松质骨的力学性能,有利于重建力学传导途径,有效预防塌陷。传统术式组尤其是股骨头前外侧的应力集中明显,容易造成负重区骨质断裂,穿出关节面。

根据剪应力分布情况,进一步比较两种术式术后的各向稳定性以及抗剪切力。对于 S12 方向而言,同一骨折角度下,采用改良术式较采用传统术式固定的股骨头皮质骨壳剪应力均更接近生理状态;而 Pauwels 各型股骨颈骨折在 S13 方向股骨头皮质骨壳剪应力则需要根据具体情况分析:① 同为 Pauwels I、II、III型骨折,采取改良术式的股骨头皮质骨壳剪应力分布均更为接近生理情况。② 同为采取改良术式,Pauwels II、III型骨折的股骨头皮质骨壳剪应力分布与生理情况更相近,尤其是 Pauwels II型骨折;从这个角度而言,说明 Pauwels 各型股骨颈骨折采用改良术式稍优于传统术式固定。结合股骨头皮质骨壳的结果分析,改良术式的腓骨条与空心钉统一体可以更好满足股骨头负重区承担与修复的力学性能需求,对保髋有重要意义。基于股骨颈骨折端进行剪应力分析,Pauwels 各型股骨颈骨折采用改良术式或传统术式固定时

在各方向剪应力分布情况的差异均不大,而应力集中部位均出现在股骨头前外侧。需要注意的是,改良术式植入的是腓骨,其性质与股骨大致相同,通过观察采用改良术式 Pauwels 各型股骨颈骨折面 S12 方向的剪应力分布情况可知,腓骨周围信号较高,而其余两根螺钉周围信号较采用传统术式低。可见采用改良术式可充分利用腓骨承重,减少对其余两根螺钉的依赖,有利于股骨颈骨折恢复。从临床实际情况来看,股骨颈骨折合并坏死后容易造成股骨头内的不稳定性,除股骨头坏死的生物修复外,力学性能的恢复也是保髋的核心关键。从剪应力这一影响因素分析,改良术式可以提供更有效持久的稳定性,避免内固定发生不稳定而出现畸形。

股骨冠状位最大应变云图有助于观察冠状位状态下内固定术后股骨与植入物的最大应变分布情况。采用改良术式 Pauwels 各型股骨颈骨折的高信号区主要出现在植入物周围与近骨折面处,而采用传统术式固定时在植入物顶部也会出现高信号集中区域,故采取改良术式会更加合适。内固定方式选取两枚空心钉和 1 枚非血管化腓骨条,不仅可维持骨折后固定,同时有利于血管和骨小梁的连续性修复,防止股骨头旋转和下沉。

采用传统术式固定 Pauwels II、III 型骨折,股骨颈骨折端位移大于采用改良术式,其中采用传统术式固定 Pauwels II 型骨折的位移明显大于改良术式;而在固定 Pauwels I 型股骨颈骨折时,改良术式位移显著大于传统术式。从这个角度而言,Pauwels II、III 型股骨颈骨折采用改良术式时稳定性不亚于传统术式,故出现 Pauwels II、III 型股骨颈骨折时推荐改良术式;而采用改良术式固定 Pauwels I 型股骨颈骨折的稳定性未必优于传统术式。综合上述研究结果,总体上采用改良术式固定 Pauwels I 型股骨颈骨折时应力、剪应力分布情况等与生理状态更为接近,故认为 Pauwels I 型股骨颈骨折采用改良术式优势更大。

综上所述,改良术式相对适用于 Pauwels II、III 型中青年股骨颈骨折,且生物力学分析结果优于传统术式;而针对 Pauwels I 型中青年股骨颈骨折,改良术式虽然在骨皮质应力分布情况下更为接近生理状态,但是 Pauwels I 型股骨颈骨折端位移较大,仍需进一步探索更合适的术式或是延续使用传统术式。

## 参考文献:

- [ 1 ] DAVIDOVITCH RI, JORDAAN CJ, EGOL KA, *et al.* Challenges in the treatment of femoral neck fractures in the nonelderly adult [J]. *J Trauma*, 2010, 68(1): 236-242.
- [ 2 ] 龚伟华,曾一鸣,唐坚.髋部骨折的发生与股骨近端三维几何解剖形态的相关性研究[J].*医用生物力学*, 2013, 28(1): 109-114.  
GONG WH, ZENG YM, TANG J. Correlation between the incidence of hip fractures and the proximal femur by 3D geometric anatomy [J]. *J Med Biomech*, 2013, 28(1): 109-114.
- [ 3 ] SLOBOGEAN GP, SPRAGUE SA, SCOTT T, *et al.* Complications following young femoral neck fractures [J]. *Injury*, 2015, 46(3): 484-491.
- [ 4 ] 邱士超,刘利,吴迪.股骨头坏死的生物力学及有限元分析相关研究[J].*临床医药文献电子杂志*, 2019, 6(28): 43-44.
- [ 5 ] VIBERG B, OVERGAARD S, LAUNTSENJ, *et al.* Lower reoperation rate for cemented hemiarthroplasty than for uncemented hemiarthroplasty and internal fixation following femoral neck fracture [J]. *Acta Orthopaedica*, 2013, 84(3): 254-259.
- [ 6 ] MURPHY DK, RANDELL T, BRENNAN KL, *et al.* Treatment and displacement affect the reoperation rate for femoral neck fracture [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2013, 471(8): 2691-2702.
- [ 7 ] 张西正.骨重建的力学生物学研究[J].*医用生物力学*, 2016, 31(4): 356-361.  
ZHANG XZ. The research on mechanobiology mechanism of bone remodeling [J]. *J Med Biomech*, 2016, 31(4): 356-361.
- [ 8 ] 常文举,丁海.股骨近端解剖与生物力学研究进展[J].*医用生物力学*, 2016, 31(2): 188-192.  
CHANG WJ, DING H. Advances in anatomy and biomechanics of the proximal femur [J]. *J Med Biomech*, 31(2): 188-192.
- [ 9 ] GIORDANO V, PAES RP, ALVES DD, *et al.* Stability of L-shaped and inverted triangle fixation assemblies in treating Pauwels type II femoral neck fracture: A comparative mechanical study [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2018, 28(7): 1359-1367.
- [ 10 ] SCHWARTSMANN CR, LAMMERHIRT HM, SPINELLI LF, *et al.* Treatment of displaced femoral neck fractures in young patients with DHS and its association to osteonecrosis [J]. *Rev Bras Ortop*, 2018, 53(1): 82-87.
- [ 11 ] 刘永明,魏国强,张德军,等.空心拉力螺钉、同种异体腓骨及胫骨骨膜瓣治疗中青年股骨颈骨折的疗效观察[J].*中国*

- 医学工程, 2016, 24(2): 39-41.
- [12] 周驰, 何伟, 王海彬, 等. 空心钉联合同种异体腓骨内固定治疗中青年股骨颈骨折临床初步观察[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2013, 7(5): 659-667.
- [13] SKEDROS JG, BAUCOM SL. Mathematical analysis of trabecular ‘trajectories’ in apparent trajectorial structures: The unfortunate historical emphasis on the human proximal femur [J]. *J Theor Biol*, 2007, 244(1): 15-45
- [14] BROWN TD, HILD GL. Pre-collapse stress redistributions in femoral head osteonecrosis: A three-dimensional finite element analysis [J]. *J Biomech Eng*, 1983, 105(2): 171-176.
- [15] BROWN TD, WAY ME, FERGUSON AB. Mechanical characteristics of bone in femoral capital aseptic necrosis [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1981(156): 240-247.
- [16] GRECU D, PUCALEV I, NEGRU M, *et al.* Numerical simulations of the 3D virtual model of the human hip joint using finite element method [J]. *Rom J Morphol Embryol*, 2010, 51(1): 151-155.
- [17] STEWART KJ, EDMONDS-WILSON RH, BRAND RA, *et al.* Spatial distribution of hip capsule structural and material properties [J]. *J Biomech*, 2002, 35(11): 1491-1498.
- [18] 王沫楠, 郭鸿书. 股骨颈骨折固定方式研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17(3): 125-130.
- [19] SVERDLOVA NS, WITZEL U. Principles of determination and verification of muscle forces in the human musculo-skeletal system: Muscle forces to minimise bending stress [J]. *J Biomech*, 2010, 43(3): 387-396.
- [20] LANGLAIS F, FOURASTIER J. Rotation osteotomies for osteonecrosis of the femoral head [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1997, 343: 110-123.
- [21] GAGE JR. Surgical treatment of knee dysfunction in cerebral palsy [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1990, 253: 45-54.

· 致读者 ·

## 关于论著文稿中中、英文摘要的书写要求

文摘是以提供文献内容梗概为目的,不加评价和解释,简明确切地记述文献重要内容的短文。摘要应具有自明性和独立性,并拥有与一次文献同等量的主要信息。即不阅读全文就能获得必要的信息。它的详简程度取决于文献的内容,通常中文文摘以不超过 400 字为宜。应以第 3 人称的语气书写。不要使用“本人”、“作者”、“我们”等作为陈述的主语。

摘要的内容应包括 4 个要素,即目的、方法、结果、结论。(1)目的:指研究的前提和缘起,即为什么要作此项研究,可以有简单的背景材料。(2)方法:指研究所用的原理、对象、观察和实验的具体方法等。(3)结果:指研究的结果、效果、数据等,着重反映创新性的、切实可行的成果,包括本组研究中的重要数据。(4)结论:指对结果进行综合分析,逻辑推理得出的判断。有的可指出实用价值和推广价值;如有特殊例外的发现或难以解决的问题,可以提出留待今后深入探讨。英文摘要的内容与中文摘要的内容要求大体一致。

英文摘要要求做到语法正确,用词准确,与中文摘要对应,方法、结果可略详于中文摘要。

本刊编辑部