

# 牵引下侧身翻身对股骨颈骨折断端生物力学影响的有限元分析

李冬妹<sup>1</sup> 黄素珍<sup>1</sup> 陈希聪<sup>1</sup> 高泽伟<sup>1</sup>

**[摘要]** 目的:采用计算机仿真研究在有牵引与无牵引状态下股骨颈骨折断端在侧身翻身状态下的生物力学差异。方法:选取一老年股骨颈骨折患者髋部 CT 资料,经过 Minics19.0 软件重建股骨中上段三维模型,然后在 Geomagic Studio 软件中进行优化,在 Hypermesh14.0 软件中划分四面体网格,构建 Pauwels Ⅲ型股骨颈骨折,并设置材料参数及骨折断端摩擦系数,施加牵引载荷及下肢重力载荷,设定边界条件,最后导入 LS-DYNA 进行运算仿真。结果:在有牵引与无牵引状态下,骨折断端的应力均集中在股骨颈内下方;牵引状态下骨折断端的应力(30.3 MPa)小于无牵引状态下的应力(106.7 MPa),各个方向的分位移及合位移大于无牵引状态下的位移。结论:牵引状态下的侧身翻身可以牵开相互嵌插的骨折端,减小骨折断端的应力,从而可能减少患者的疼痛感受。

**[关键词]** 牵引;股骨颈骨折;侧身翻身;生物力学;有限元分析

**[中图分类号]** R683.42 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2021)02-0019-04

## Finite Element Analysis of Traction Effect on Femoral Neck Fracture during Body-Turning Nursing

LI Dongmei<sup>1</sup> HUANG Suzhen<sup>1</sup> CHEN Xicong<sup>1</sup> GAO Zewei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Anesthesia, Foshan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Foshan 528000, Guangdong China.

**Abstract Objective:** To investigate the biomechanical effect of traction in femoral neck fracture during body-turning nursing. **Methods:** CT image data in DICOM format of bilateral hip was collected from a femoral neck fracture patient. This data was imported in Mimics 19.0 software and outputted as STL format after reconstruction. Geomagic studio 2013 software was used to smooth process. Subsequently, it was imported in Hypermesh 14.0 software for meshing tetrahedral to form a Pauwels Ⅲ femoral neck fracture. Material property and friction coefficient were set. After that, the traction loading and gravitational loading of low lower limb were added, and boundary conditions were established. Finally, this completed finite element model was submitted to LS-DYNA for calculating and simulating. **Results:** Stress concentrated on the inferior of femoral neck both in traction and non-traction model. Stress around fracture site were lower in traction femoral than that in non-traction, but displacement were more significant than that in non-traction model. **Conclusion:** Traction can retract the intercalated fracture and reduce the compacted stress around fracture site during body-turning, potentially reducing the patient's experience of pain.

**Keywords:** traction; femoral neck fracture; body-turning; biomechanics; finite element analysis

股骨颈骨折约占髋部骨折的 50% 以上<sup>[1]</sup>,目前普遍认为移位型股骨颈骨折应尽早进行手术,主要方式为人工半髋或全髋关节置换<sup>[2]</sup>。老年髋部骨折的患者往往因为基础疾病多,卧床时间较其他部位骨折长,发生褥疮的可能性更高。在等待手术前的护理工作中,翻身护理是预防骶尾部褥疮的重要预防工作。但是因为骨折端的不稳定,翻身过程中往往因为骨折端的相

互摆动、摩擦,加重患者的疼痛感受,可能导致使用止痛药的频率增加。临床实践中牵引术常规应用于术前管理,起缓解疼痛的作用<sup>[3]</sup>。而在实际工作中,翻身常需要在牵引下进行以减轻患者的疼痛。牵引如何影响股骨颈骨折断端的生物力学状态有待研究。本研究通过建立不稳定型股骨颈骨折(Pauwels Ⅲ型)有限元模型,模拟比较侧位翻身下股骨颈骨折断端在牵引及非牵引状态下的生物力学特性,为临床及护理工作提供理论支持。

<sup>1</sup> 广东佛山市中医院麻醉科手术室(广东 佛山,528000)

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

获取 1 名因股骨颈骨折住院的老年患者的髋部 CT 资料(女,71 岁),采用 GE64 排螺旋 CT 自骨盆上缘至股骨中上段进行扫描得到二维图像,以 Dicom 格式保存。

1.2 方法

1.2.1 三维建模 将 Dicom 格式的髋部 CT 数据拷贝后导入 Mimics 19.0 软件中,经过区域增长、腔隙填充、编辑蒙罩、包裹、光滑等步骤初步建立股骨中上段三维模型,导出为 STL 格式文件(见图 1a);利用 Geomagic Studio 2013 对上述三维模型进行表面优化处理,包括删除钉状物、光滑、构建轮廓线、构造曲面片等,得到优化的股骨三维模型,导出为 STEP 格式文件(见图 1b)。

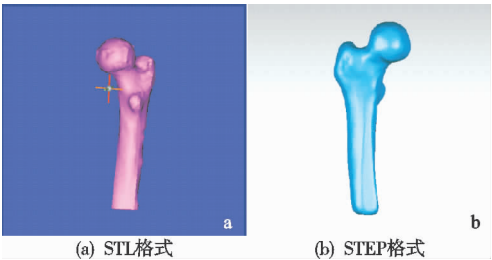


图 1 股骨中上段三维模型

1.2.2 构建股骨颈骨折 Pauwels Ⅲ型模型 将优化的股骨中上段模型导入到 Hypermesh14.0 软件,划分四面体网格,网格大小为 2 mm,经过操作面板中“Tool”“mask”“organize”等功能,将其划分为包含松质骨、皮质骨单元的复合模型,然后根据股骨颈骨折 Pauwels Ⅲ型的分型标准,即骨折线与水平线成 70°,将股骨颈部分单元删除,形成骨折线(见图 2)。

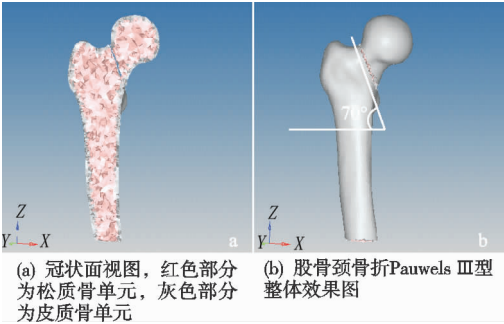


图 2 股骨颈骨折 Pauwels Ⅲ型有限元模型

1.2.3 材料赋值及设置骨折端摩擦系数 对松质骨、皮质骨单元分别进行材料赋值,皮质骨、松质骨屈服应力参考文献[4],其他材料参数如密度、弹性模量、泊松比参考文献[5](见表 1)。骨折断端之间的摩擦系数[6]设置为 0.46。

1.2.4 施加载荷 侧身时股骨中上段受力分析示意图见图 3。成人双下肢质量约占全身体质量的 20%,则单侧下肢质量占全身体质量的 10%,以患者体

表 1 材料参数

材料	密度/ (g · cm <sup>-3</sup> )	弹性模量/ MPa	泊松比	屈服应力/ MPa
皮质骨	1.88	13300	0.3	109.3
松质骨	0.5	440	0.3	86.3

质量 60 kg 计算,单侧下肢的质量为 6 kg,即 60 N<sup>[7]</sup>,方向垂直于下肢纵轴(记为  $F_1$ );牵引力为体质量 10%<sup>[8]</sup>,即 60 N,方向沿下肢纵轴(记为  $F_2$ );根据力的平行四边形法则, $F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}$ 。

换算合力  $F$  约为 84.85 N,方向为与下肢长轴成 45°,载荷作用部位为中上段重心处。实际工作中,翻身护理的时长在数秒至十几秒之间,本研究在预实验中发现载荷作用时间为 5 s 时,骨折端接触最明显,故将载荷作用时间均设置为 5 s。

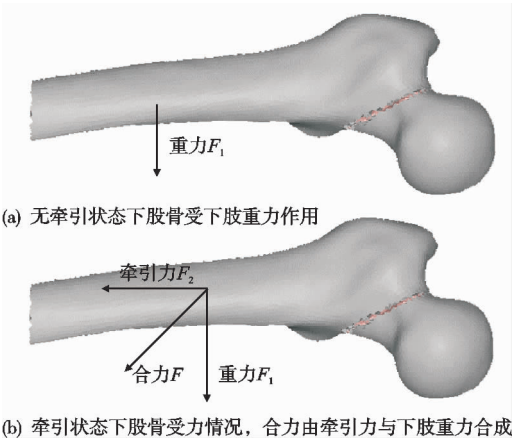


图 3 侧身时股骨中上段受力分析示意图

1.2.5 边界条件 牵引或无牵引状态下,骨折近端相对于骨折远端处于不变位置,因此将骨折近端设置为各个方向固定。

1.2.6 提交运算 完成上述前处理步骤后,骨折模型已包含计算所需的参数信息,将此模型导出为 K 格式文件,并提交至 LS-DYNA 软件运算,在 Hyperview14.0 软件中记录并比较骨折端的应力、位移信息。

2 结果

2.1 骨折端应力

无牵引下,侧身翻身的应力集中于股骨颈内下侧、稍偏后的骨折端,最大应力 106.7 MPa(图 4a)。牵引下,侧身翻身应力集中于股骨颈内下侧、稍偏前的骨折端,最大应力为 30.3 MPa(图 4b)。

2.2 骨折端位移

无牵引状态下,股骨干的最大合位移位于其远端,达到 12.91 mm;骨折断端处最大合位移为 1.64 mm,在 X,Y,Z 轴上的最大分位移分别为 1.08 mm,0.24 mm,-1.11 mm(见图 5a 及表 2)。牵引状态下,股骨干的最大合位移位于其远端,达到 10.6 mm;骨折断端处最大合位移为 5.03 mm,在 X,Y,Z 轴上的

最大分位移分别为 2.64 mm,0.30 mm,−4.64 mm (见图 5b 及表 2)。

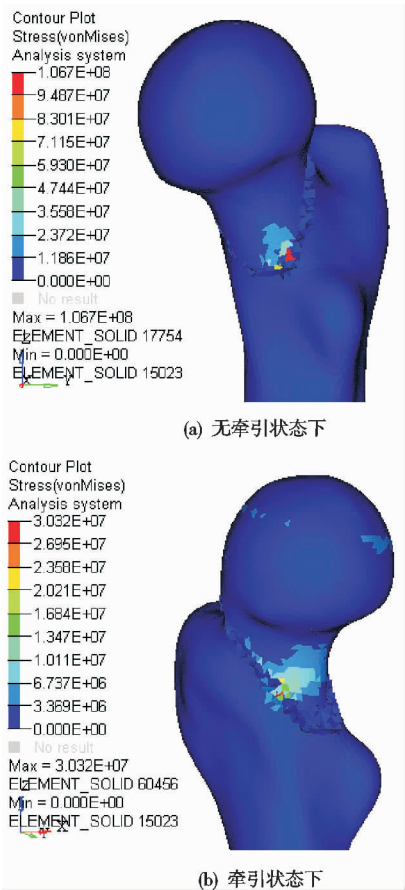


图 4 骨折端应力云图

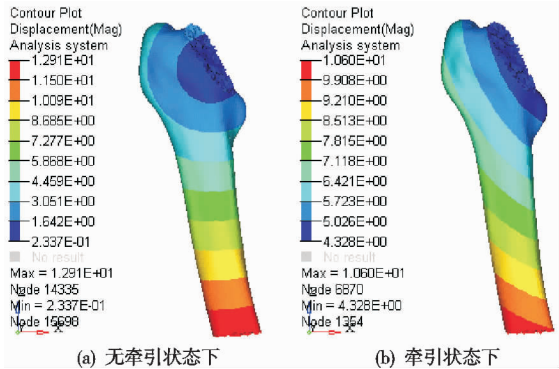


图 5 骨折端位移云图

表 2 骨折端应力及位移

模型	骨折端应力/MPa	骨折端最大位移/mm			
		X 轴	Y 轴	Z 轴	合位移
无牵引	106.7	1.08	0.24	−1.11	1.64
牵引	30.3	2.64	0.30	−4.64	5.03

3 讨论

术前牵引可以起到缓解肌肉痉挛、牵开嵌插骨折端、减少骨折断端摆动,从而起到缓解疼痛的作用。许多研究以止痛药物使用情况、并发症、骨折复位失败率、骨折复位困难情况、手术时间、疼痛缓解评分等结局指标等来评价术前牵引的作用,但目前理论上对股骨颈骨折术前是否有必要牵引仍然存在较大争

议<sup>[9]</sup>。然而笔者在实际工作中常能体会到,牵引状态下先翻身可以减轻患者因体位摆动带来的疼痛。具体差异可能在于笔者的观察处于牵引的过程中,而既往的研究则关注于牵引的结果。本研究通过建立有限元模型,研究了股骨颈骨折在牵引与非牵引状态下侧身时骨折断端的力学改变,结果提示牵引状态下侧身翻身可以减小骨折断面之间的相互作用力。

侧身翻身时没有牵引力的作用,下肢受自身重力作用有向下发生位移的趋势,骨折后由于骨的连续性中断,重力作用于骨折远端,使之相对于近端骨折块发生位移、摩擦,导致下肢重力集中于骨折断面(见图 2a),而在牵引力的作用下,尽管远端骨折块的合力(84.85 N)大于下肢自身重力(60 N),但牵引力的存在改变了下肢重力作用的方向,使得在骨折面上的压力减小,最终导致作用在骨折断面的应力(30.3 MPa)小于无牵引状态下的应力(106.7 MPa)。

在牵引状态下骨折端在各个方向的分位移均大于非牵引状态,原因在于牵引状态下,股骨干受力大于非牵引状态下的,股骨干合力方向与骨折线成角更小,股骨干与近端骨折块成相互分离趋势。其中以 Z 轴负方向的分位移比非牵引状态下更大,表明在牵引状态下股骨干会向远端分离,而骨折断端之间的分离趋势正是术前牵引所预期的效果,即牵开嵌插的骨折端,这也与实际相符合,即牵引状态下病人疼痛感大大减少。

牵引的过程本质上可以认为是骨折端相互作用的物理过程,本研究结果仅从有限元角度探讨骨折端之间的物理变化。但实际上牵引是骨骼与骨骼、软组织与软组织、骨骼与软组织之间相互联动的过程,牵引过程伴随着多种髋关节周围力学环境。股骨颈骨折后关节腔内出现积血,液体的填充将使关节腔内的压力明显增高,不同体位牵引、不同牵引力量都会改变关节囊内压力,从而使得患者的疼痛感觉存在差异。如下肢处于外旋位时,髋关节囊处于松弛状态,髋关节囊内压最低,囊内压力随牵引力增加而增大<sup>[10]</sup>。骨折后髋部周围肌群的痉挛紧张也是影响牵引力的重要因素,骨折后患髋在 3~7 d 内达到水肿高峰,相应地髋部周围肌群亦处于紧张状态,牵引力往往被强大的肌肉痉挛抵消,使得真正作用于骨折端的牵引力大打折扣,其中对皮肤牵引的影响最大。骨牵引因为直接通过钢针将牵引力传递至骨折端,因此受到肌紧张的影响理论上小于皮肤牵引。此外,骨折断端的相互嵌插也会减少牵引力的直接作用。

尽管存在多种抵抗牵引力的物理因素,但牵引对疼痛缓解和放松肌紧张起着重要的作用。有文献对髋部骨折后皮肤牵引在缓解疼痛方面进行研究,认为骨折后牵引与无牵引患者的疼痛均会逐渐下降,但应用

皮肤牵引患者的舒适度更高<sup>[11-12]</sup>。但也有研究持反对观点,认为无论术前或术后,牵引均没有明显的作用,大部分未经牵引治疗的患者疼痛评分反而更低。原因可能在于,患肢骨折后外旋、外展,降低了关节囊内压力,减少了疼痛感受<sup>[13]</sup>。

需要指出的是疼痛是一种主观感受,目前实践中常采用疼痛视觉模拟评分作为评价疼痛的指标,目测评分会因为个人的痛阈或疼痛忍耐程度有较大的误差,因此这种指标结果往往是较模糊的<sup>[9]</sup>。此外,疼痛评分往往受其他因素干扰,如精神压力、睡眠质量等。

本研究的不足之处主要在于没有将软组织的抵抗作用纳入到施加载荷中,此外,实际上股骨颈骨折的骨折线、骨折成角往往粗糙不规则,本研究的骨折线较规则,结果可能与实际存在一定差异;而且实际上头颈骨折块并不是完全固定,翻身过程中往往存在内收情况,本研究将头颈骨折块完全固定,其相互作用可能比实际情况明显。

## 参考文献

- [1] ROGMARK C, LEONARDSSON O. Hip arthroplasty for the treatment of displaced fractures of the femoral neck in elderly patients[J]. Bone Joint J, 2016, 98-B(3): 291-297.
- [2] 周洋洋, 倪英杰, 李荣娟, 等. 老年股骨颈骨折治疗研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2019, 33(8): 1033-1040.
- [3] DONEGAN D J, GAY A N, BALDWIN K, et al. Use of medical comorbidities to predict complications after hip fracture surgery in the elderly[J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(4): 807-813.
- [4] 郑利钦, 林梓凌, 李鹏飞, 等. 动态载荷下松质骨对骨质疏松性股骨颈骨折断裂力学影响的有限元分析[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(12): 1887-1892.

- [5] 张成宝, 余润泽, 喻德富, 等. 有限元分析股骨颈骨折伴下后方不同程度骨缺损空心螺钉内固定后的稳定性[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(18): 2799-2804.
- [6] EBERLE S, GERBER C, VON OLDENBURG G, et al. A biomechanical evaluation of orthopaedic implants for hip fractures by finite element analysis and in-vitro tests[J]. Journal of Engineering in Medicine, 2010, 224(10): 1141-1152.
- [7] 冯治国. 步行训练机器人虚拟样机协同仿真方法研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2013, 30(1): 55-58.
- [8] 李海波, 许圣茜, 汤雪霞, 等. 术前牵引对股骨颈骨折术后发生股骨头缺血性坏死的影响研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2019, 33(6): 671-675.
- [9] 魏志辉, 张铭华, 张中卒, 等. 髋部骨折术前皮肤牵引治疗的系统评价[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(16): 2594-2600.
- [10] 刘大海, 李海波, 苟永胜, 等. 不同体位及牵引质量对股骨颈骨折后髋关节囊内压的影响[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(36): 5846-5849.
- [11] ESTRADA-MASLLORENS J M, CABRERA-JAIME S. Randomised clinical trial on pain control in intertrochanteric fractures of the femur with and without skin traction[J]. Enferm Clin, 2011, 21(5): 264-270.
- [12] EVEN J L, RICHARDS J E, CROSBY C G, et al. Preoperative skeletal versus cutaneous traction for femoral shaft fractures treated within 24 hours[J]. J Orthop Trauma, 2012, 26(10): e177-e182.
- [13] PARKER M J, HANDOLL H H G. Pre-operative traction for fractures of the proximal femur in adults[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2006, 19(3): CD00168.

(收稿日期: 2020-06-19)

(上接第 18 页)

- [9] 童培建. 膝关节炎中西医结合诊疗指南[J]. 中华医学杂志, 2018, 45: 3653-3658.
- [10] 陈庆真, 许少健, 黄永明, 等. 膝关节骨性关节炎中医证候的研究现状[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2007, 15(12): 69-70.
- [11] 段玉民, 王书军, 谷右天, 等. 骨科无菌术后发热的常见原因分析及处理[J]. 中医正骨, 2004(3): 24-25.
- [12] 沈彬, 翁习生, 廖刃, 等. 中国髋、膝关节置换术加速康复——围术期疼痛与睡眠管理专家共识[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2016(2): 91-97.
- [13] 黄珏炜, 崔小东. 青蒿鳖甲汤治疗骨科术后阴虚发热的临床效果观察[J]. 中医临床研究, 2020, 12(4): 117-119.
- [14] 管俊芳, 胡仕祥. 术后非感染性发热的中医证型及治疗[J]. 中医临床研究, 2020, 12(12): 58-59.
- [15] 张诗海, 周章武. 中医辨证治疗骨科术后非感染性发热的临床进展[J]. 中医药临床杂志, 2015, 27(9): 1328-1330.

- [16] 沈淑劲, 卢建华, 樊炳楷, 等. 中医药预防全膝关节置换术后深静脉血栓形成的研究进展[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2018, 26(10): 86-88.
- [17] 熊应宗, 朱俊琛, 王超, 等. 针刀联合塞来昔布治疗膝关节炎的临床疗效观察[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2020, 28(2): 19-23.
- [18] 吴若辉, 孙立君, 王岚莹, 等. 平乐外洗方联合针灸治疗膝骨关节炎的临床研究[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2020, 28(5): 51-54.
- [19] 李延龙, 窦智丽, 吴秀艳, 等. 数据分析方法在证候要素研究中的应用概况[J]. 中华中医药杂志, 2019(9): 4175-4178.
- [20] 苏泽琦, 张文君, 张雨珊, 等. 中医证候、证素分布数据挖掘方法探索与实践[J]. 中华中医药杂志, 2017(12): 5587-5590.

(收稿日期: 2020-07-14)