

双螺钉与三螺钉固定方式治疗胫骨平台 Schatzker I型骨折的效果比较

王旭梁¹, 陈帆成², 张方雪², 王成贵^{3*}

¹中国医学科学院北京协和医学院阜外医院, 北京

²复旦大学上海医学院, 上海

³浙江大学附属第二医院骨科, 浙江 杭州

Email: *wangchenggui@zju.edu.cn

收稿日期: 2020年8月25日; 录用日期: 2020年9月9日; 发布日期: 2020年9月16日

摘 要

目的: 对双螺钉和三螺钉固定治疗胫骨平台Schatzker I型骨折的生物力学进行有限元分析, 为临床手术设计以及选择提供思路。方法: 利用1位健康男性志愿者下肢CT数据构建胫骨平台Schatzker I型骨折的三维有限元模型。采用不同螺钉固定方式对骨折模型进行固定后, 胫骨平台上方设置600 N的力量载荷同时对胫骨模型下方坚强固定来模拟成人膝关节的受力。比较模型在不同固定方式下的等效应力以及剪切力情况。结果: 双螺钉固定系统的最大von Mises应力值为23.014 MPa, 三螺钉固定系统的最大von Mises应力值为6.252 MPa。双螺钉固定系统与三螺钉固定系统中骨折块的von Mises应力最大值分别是0.736 MPa, 2.158 MPa; 胫骨的von Mises应力最大值为1.933 MPa 1.991 MPa。结论: 使用三螺钉对骨折处进行固定优于双螺钉固定治疗胫骨平台Schatzker I型骨折, 可降低固定物固定失败的风险, 有利于愈合。

关键词

胫骨平台骨折, Schatzker I型骨折, 有限元分析, 螺钉固定

A Stress Comparative Study of Double Screws System and Triple Screws System Fixation in the Treatment of Schatzker Type I Tibial Plateau Fracture

Xuliang Wang¹, Fancheng Chen², Fangxue Zhang², Chenggui Wang^{3*}

¹Fuwai Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing

²Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai

*通讯作者。

文章引用: 王旭梁, 陈帆成, 张方雪, 王成贵. 双螺钉与三螺钉固定方式治疗胫骨平台 Schatzker I 型骨折的效果比较 [J]. 临床医学进展, 2020, 10(9): 1979-1986. DOI: 10.12677/acm.2020.109297

³Department of Orthopaedic Surgery, The Second Affiliated Hospital, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang
Email: *wangchenggui@zju.edu.cn

Received: Aug. 25th, 2020; accepted: Sep. 9th, 2020; published: Sep. 16th, 2020

Abstract

Objective: A finite element analysis was performed on the biomechanics of double screws and triple screws fixation for the treatment of Schatzker type I tibial plateau fracture to provide ideas for clinical surgical design and selection. **Methods:** A three-dimensional finite element model of Schatzker type I fracture of the tibial plateau was constructed using CT data of the lower limbs of a healthy male volunteer. After the fracture model is fixed with different screw fixation methods, a force load of 600 N is set above the tibial platform and the tibial model is firmly fixed at the same time to simulate the force of the adult knee joint. The von Mises equivalent stress and shearing force of the model under different fixing methods are compared. **Results:** The maximum von Mises stress value of the double screw fixing system was 23.014 MPa, and the maximum von Mises stress value of the three screws fixing system was 6.252 MPa. The maximum von Mises stresses of the fracture block in the double-screw fixation system and the three-screw fixation system were 0.736 MPa and 2.158 MPa, respectively; the maximum von Mises stress of the tibia was 1.933 MPa and 1.991 MPa, respectively. **Conclusion:** The use of three screws to fix the fracture is more superior to double screw fixation for the treatment of Schatzker type I tibial plateau fracture, which reduces the risk of fixation failure and facilitates healing.

Keywords

Tibial Plateau Fracture, Schatzker Type I Fracture, Finite Element Analysis, Screw Fixation

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景

胫骨平台骨折属于临床上常见的下肢骨折之一，约占所有胫骨骨折的 9.2%，常见于高能量损伤如高处坠落以及交通意外，尤以外侧平台骨折多见[1] [2]。由于胫骨平台骨折通常累及平台关节面，因此往往需要通过手术来获得解剖复位并坚强固定来提供足够的生物力学支撑，从而避免严重并发症的发生[3] [4] [5]。因此固定区域的生物力学强度至关重要，由于生物力学强度不足而引起的骨块间相互滑移是导致骨折愈合不良甚至不愈合的主要原因，经皮螺钉内固定是治疗胫骨平台骨折的手段之一，由于术后往往能获得较为满意的疗效，在临床上较为常用[6] [7] [8]。双螺钉固定作为临床治疗胫骨外侧平台骨折的标准固定方式，近几年为了追求更加坚固的手术固定，防止骨折块滑移，三螺钉固定方式也被广大术者所使用[6]。然而，关于采用不同螺钉固定方式治疗胫骨平台 Schatzker I 型骨折的数字生物力学优劣尚未得到证实。

三维有限元分析作为近些年出现的计算机数字分析方法，在医学领域中得到了广泛应用，主要集中在骨骼等的静力力学分析以及血流方面的流体力学分析[9] [10] [11]。基于有限元分析的生物力学研究可以为临床提供了一个更深入的视角来研究生物力学分布及位移分布，为临床的术式设计以及器械改进等

提供理论依据[12]。因此在本研究中,笔者采用有限元方法对不同螺钉固定方式治疗 Schatzker I 型骨折的应力与位移进行比较与分析。本研究假设,三螺钉相较于双螺钉固定为 Schatzker I 型胫骨平台骨折提供更加坚强的固定,更适合临床的骨折治疗。

2. 方法

排除如骨性关节炎,骨肿瘤以及骨质疏松等骨性疾病后,选取 1 名 30 岁、身高 175 cm、体重 65 kg 的健康男性志愿者,对其下肢进行 CT 扫描,获得健康成年男性胫骨 CT 数据。

2.1. 实验模型建立

将层厚 1 mm 的 CT 原始数据以 DICOM 格式导入到有限元建模软件 Mimics 15.0 (比利时 Materialize 公司)中,利用软件中指定阈值及区域三维重建功能,获得健康成年男性胫骨三维有限元模型。将获得的胫骨模型导入 Geomagic Studio 软件(美国 3D System 公司)进行进一步的预处理以减少模型的重叠,利用裁剪功能对胫骨平台内侧约 5 cm 处进行无缝隙分割,制造出 Schatzker I 型胫骨平台骨折有限元模型。根据螺钉制造商提供的数据,利用 Creo 3.0 软件(美国 Parametric 技术公司)绘制直径 6.5cm 螺钉的有限元模型。如图 1 所示完成装搭之后,导入 ANSYS 软件(美国 ANSYS 技术公司)进行下一步的分析运算。在本研究中,单元类型选择为四节点四面体单元,以获得更准确的几何非线性分析结果。双螺钉模型与三螺钉模型的节点数分别为 5222 个、5763 个;单元数分别为 26,725 个、29,561 个。

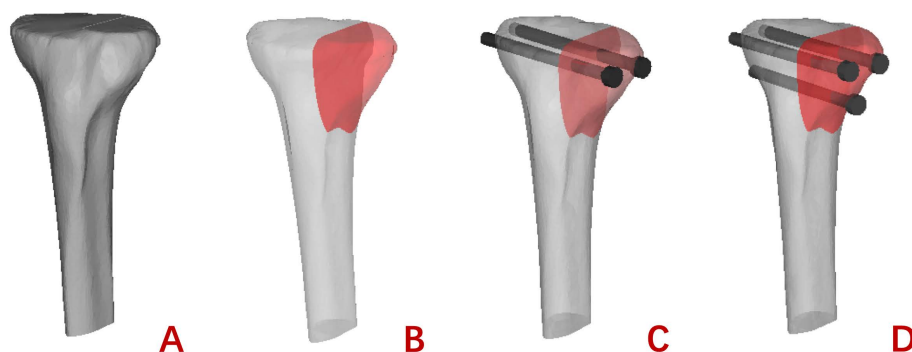


Figure 1. The creation of fracture model of Schatzker type I medial tibial plateau fracture and two screws fixation methods used in this study. A. Intact tibial plateau. B. Schatzker type I medial tibial plateau fracture model. C. Double-screws fixation model. D. Triple-screws fixation model

图 1. 模拟固定胫骨平台 Schatzker I 型骨折及两种螺钉固定方式的有限元模型。A.重建的完整胫骨平台;B.重建的胫骨平台 Schatzker I 型骨折有限元模型;C.双螺钉固定模型;D.三螺钉固定模型

2.2. 材料属性赋值

骨骼与螺钉模型的单元均定义为线性弹性材料属性,皮质骨,松质骨以及固定物的杨氏模量分别设置为 17 Gpa, 5 Gpa 与 110 Gpa;皮质骨,松质骨以及固定物的松柏比分别 0.33, 0.33 与 0.3 [13]。本研究中的所有材料,均被简化为均质且各向性质相同。

2.3. 边界条件及载荷

胫骨模型下方进行稳定固定,在上方处加载载荷,如图 2 所示进行设置。胫骨平台上方加载 600 N 方向垂直向下的力来模拟正常成人双足站立时膝关节处生理载荷,其中根据生理分布,载荷分为 60%与 40%均匀分布于胫骨内侧平台与外侧平台以最大程度模拟生理状态。为合理简化模型及减少不必要的运

算量，螺钉与骨骼的固定简化为摩擦系数为 0.3 的摩擦接触[9]。

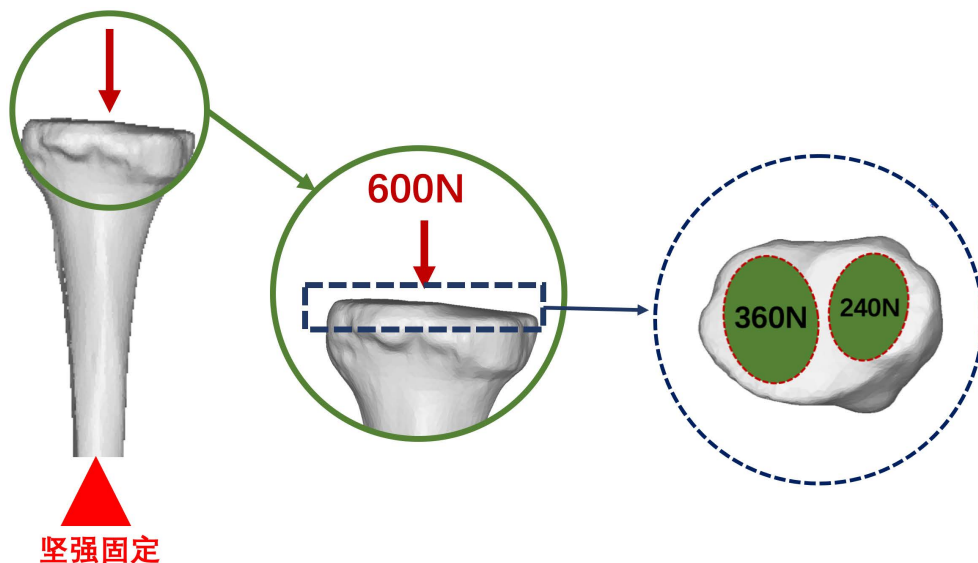


Figure 2. The loading and boundary conditions as well as the distribution of tibial finite element model

图 2. 胫骨有限元模型受力载荷分布及边界示意图

2.4. 实验观察指标

对各项参数完成设置之后，利用 ANSYS 软件对模型进行分析运算，结果中的等效应力以及各个方向的剪切力导出后作为实验观察指标作进一步的分析；对模型中每个部件的最大应力点的数值以及位置也进行收集整理，以分析模型载荷后的应力集中情况；对模型中每个部件的各方向最大剪切力进行整理，分析模型在后的局部受力情况；并将模型整体力学以及各向剪切力分布绘制云图。

2.5. 统计学分析

利用 SPSS17.0 统计学软件，对实验结果进行分析整理，结果采用两独立样本 t 检验，P 值小于 0.05 被认为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 两种模型 von Mises 应力的比较

双螺钉固定系统的螺钉最大应力为 23.014 MPa，出现在靠近前方螺钉的骨折块间隙处位置，见图 3；骨折块最大应力为 0.736 MPa，出现在靠近前方螺钉孔上方与螺钉接触的位置，见图 4；胫骨最大应力为 1.933 MPa，出现在下方螺钉孔下方与螺钉接触的位置，见图 5。三螺钉固定系统的螺钉最大应力为 6.252 MPa，出现在下方螺钉的骨折块间隙处位置。骨折块最大应力为 2.158 MPa，出现在靠近前方螺钉孔螺帽与骨块接触的位置；胫骨最大应力为 1.991 MPa，出现在下方螺钉孔下方的位置。

3.2. 两种模型 XY 轴、YZ 轴及 XZ 轴上剪切力的比较

两个模型 XY 轴、YZ 轴以及 XZ 轴上的最大应力(见表 1)。三螺钉系统的螺钉部分以及胫骨部分各向剪切力均小于双螺钉固定系统的各向剪切力；而骨折块部分的 XY 轴与 YZ 轴方向剪切力则是三螺钉系统稍大于双螺钉固定系统。上述所有最大剪切力均集中在骨折块间隙周围位置。

Table 1. Maximum stress of different components in two fixation method models

表 1. 两种固定方式模型各部件的最大应力值

		双螺钉系统(MPa)	三螺钉系统(MPa)
螺钉系统	von Mises 应力	23.014	6.252
	XY 轴剪切力	3.594	1.145
	YZ 轴剪切力	2.223	0.771
	XZ 轴剪切力	2.644	0.705
骨折块	von Mises 应力	0.736	2.158
	XY 轴剪切力	0.053	0.562
	YZ 轴剪切力	0.256	0.508
	XZ 轴剪切力	0.903	0.124
胫骨部分	von Mises 应力	1.933	1.991
	XY 轴剪切力	0.175	0.163
	YZ 轴剪切力	0.77	0.739
	XZ 轴剪切力	0.962	0.636

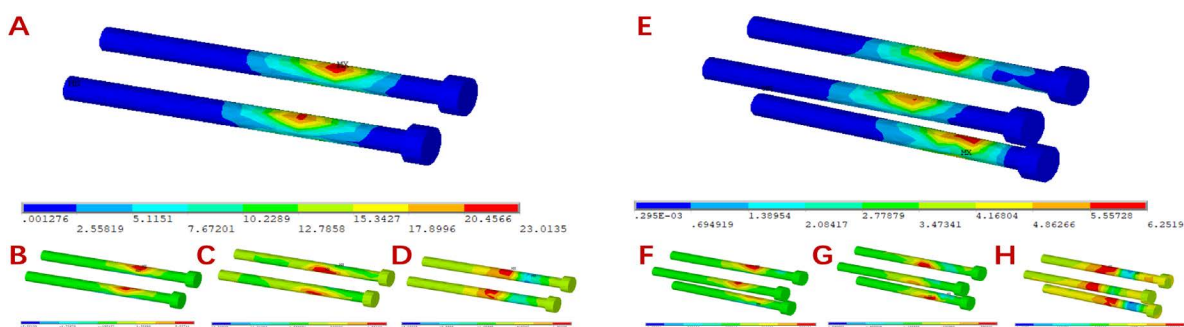


Figure 3. Stress distribution of screws on models. Von Mises stress distribution (A), shear stress of XY axis (B), shear stress of YZ axis (C) and shear stress of XZ axis (D) of double-screws fixation model. Von Mises stress distribution (E), shear stress of XY axis (F), shear stress of YZ axis (G) and shear stress of XZ axis (H) of triple-screws fixation model

图 3. 两种固定模型中螺钉系统的应力分布云图。双螺钉固定模型中螺钉系统的(A) von Mises 力分布云图, (B) XY 轴剪切力分布云图, (C) YZ 轴剪切力分布云图, (D) XZ 轴剪切力分布云图; 三螺钉固定模型中螺钉系统的(E) von Mises 力分布云图, (F) XY 轴剪切力分布云图, (G) YZ 轴剪切力分布云图, (H) XZ 轴剪切力分布云图

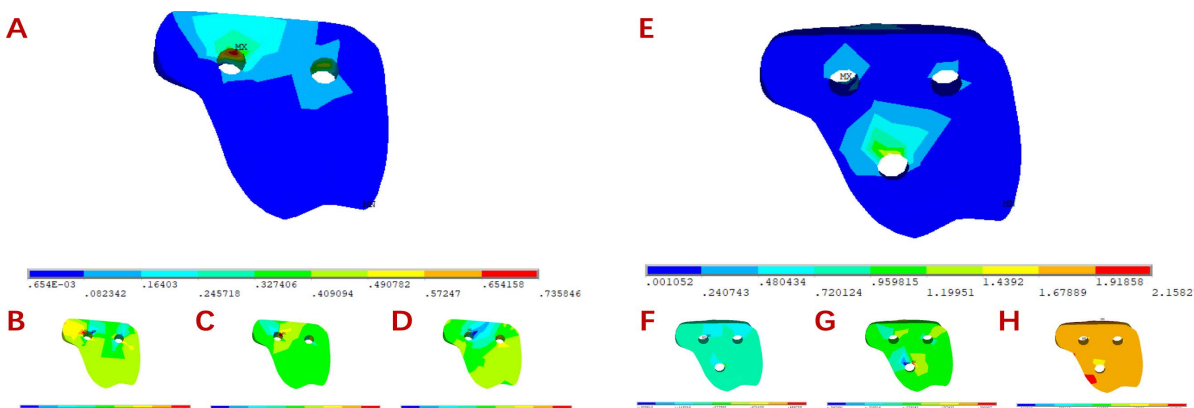


Figure 4. Stress distribution of fracture fragment on models. Von Mises stress distribution (A), shear stress of XY axis (B), shear stress of YZ axis (C) and shear stress of XZ axis (D) of double-screws fixation model. Von Mises stress distribution (E), shear stress of XY axis (F), shear stress of YZ axis (G) and shear stress of XZ axis (H) of triple-screws fixation model

图 4. 两种固定模型中骨折块的应力分布云图。双螺钉固定模型中骨折块的(A) von Mises 力分布云图, (B) XY 轴剪切力分布云图, (C) YZ 轴剪切力分布云图, (D) XZ 轴剪切力分布云图; 三螺钉固定模型中骨折块的(E) von Mises 力分布云图, (F) XY 轴剪切力分布云图, (G) YZ 轴剪切力分布云图, (H) XZ 轴剪切力分布云图

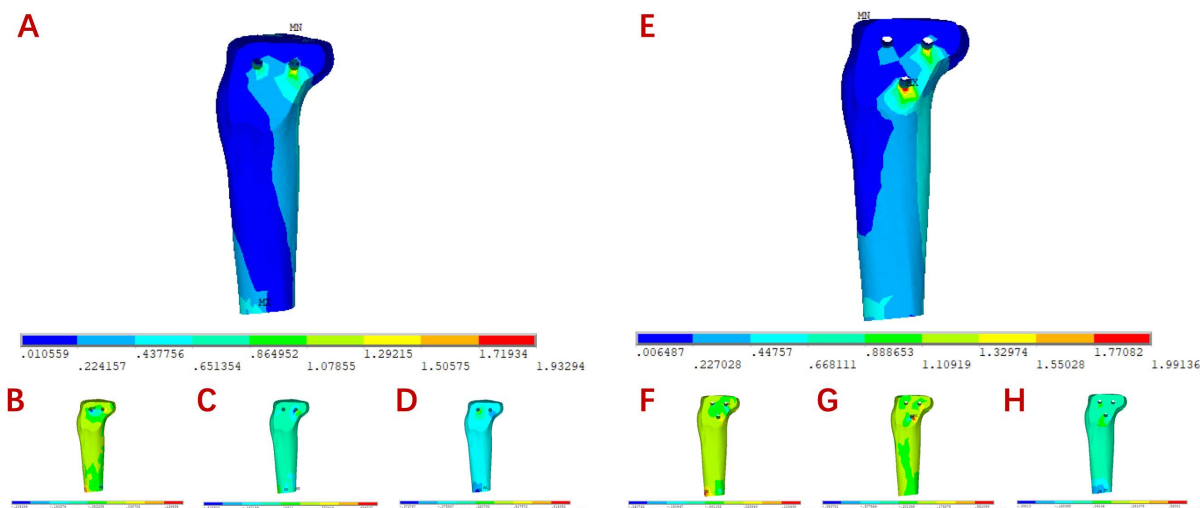
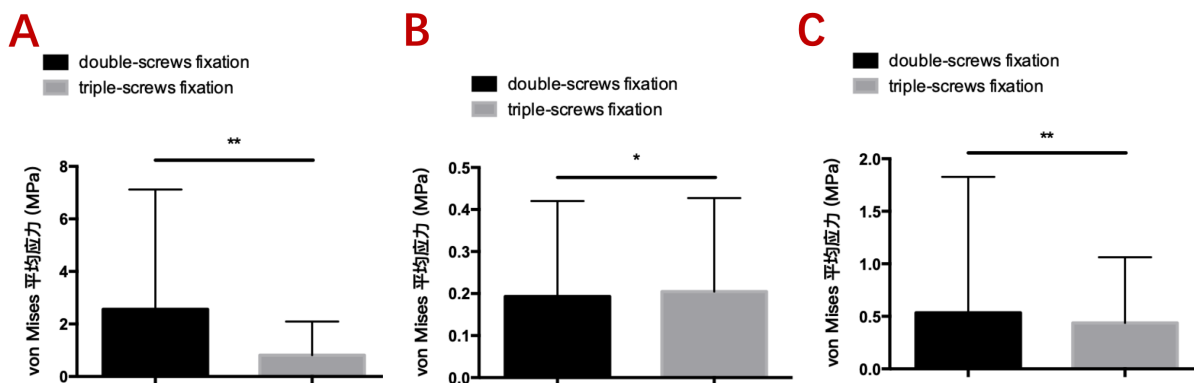


Figure 5. Stress distribution of tibia on models. Von Mises stress distribution (A), shear stress of XY axis (B), shear stress of YZ axis (C) and shear stress of XZ axis (D) of double-screws fixation model. Von Mises stress distribution (E), shear stress of XY axis (F), shear stress of YZ axis (G) and shear stress of XZ axis (H) of triple-screws fixation model

图 5. 两种固定模型中胫骨的应力分布云图。双螺钉固定模型中胫骨的(A) von Mises 力分布云图, (B) XY 轴剪切力分布云图, (C) YZ 轴剪切力分布云图, (D) XZ 轴剪切力分布云图; 三螺钉固定模型中胫骨的(E) von Mises 力分布云图, (F) XY 轴剪切力分布云图, (G) YZ 轴剪切力分布云图, (H) XZ 轴剪切力分布云图

3.3. 两种模型平均应力的比较

两种模型平均应力的比较中, 三螺钉固定系统的螺钉平均应力明显小于双螺钉系统, 三螺钉固定系统的总平均应力也小于双螺钉系统的总平均应力, 而三螺钉固定系统的骨块平均应力与双螺钉系统的骨块平均应力差距没有前述显著, 见图 6。



*P < 0.05; **P < 0.01

Figure 6. Comparison of mean stress value of two models. A. screws system; B. bone system; C. overall mean stress

图 6. 两种固定模型中平均应力分布。A.螺钉系统; B.骨骼系统; C.总平均应力

4. 讨论

胫骨平台骨折是一种常见的关节内骨折, 占全身骨折发生率的 1%~2%, 对于老年人占到更高的全身骨折发生率[14]。由于是关节内骨折, 往往需要进行手术以达到满意的解剖复位, 避免由于骨折所引起的延迟愈合甚至不愈合等并发症而影响膝关节的功能。使用拉力或皮质骨螺钉对骨折处进行固定是临床上治疗胫骨平台 Schatzker I 型骨折常见的治疗手段之一。然而, 螺钉使用的数量增加往往与手术时间, 术

中出血量已经手术并发症风险密切相关,然而螺钉使用熟料不足则会导致固定不理想,螺钉松动以及骨折不愈合等并发症[15][16]。目前尚未有关于比较不同数量螺钉固定治疗胫骨平台 Schatzker I 型骨折的生物力学研究。有限元分析目前已广泛应用于医学领域,研究者可通过构建不同研究对象的三维有限元模型,在计算机中模拟受力环境,进而分析比较不同力学环境对于对象模型的力学影响[17]。本研究中,笔者利用三维有限元分析方法,重建胫骨平台 Schatzker I 型骨折三维有限元模型,对采用双螺钉以及三螺钉固定的两种固定方式进行了比较。

从两个螺钉固定模型的应力分布分析结果可以看出,对于螺钉系统,主要应力集中于螺钉的骨折间隙处,表明螺钉提供了对抗骨块滑动以支撑骨块的作用。三螺钉系统中螺钉最高应力是双螺钉系统的三分之一,且最高应力出现在增加的下方螺钉中段,说明增加的下方螺钉分担了较多的应力,这种现象在其他位置骨折的固定物中同样出现[18]。过度的应力集中不仅可能会引起固定物的断裂,另外也会由于应力的分布不均匀以及固定物的物理属性有别于骨骼从而导致应力遮挡效应的出现,进一步导致骨折处附近部位疼痛,骨折延迟愈合甚至不愈合[19][20]。然而目前尚未有针对研究引起骨折延迟愈合及不愈合的应力耐受极限,故该方面还有待进一步的研究。

同时,在剪切力与平均应力方面,三螺钉系统也体现出来了较为明显的优势。三螺钉固定方式模型在螺钉系统以及胫骨上的剪切力最大值均小于双螺钉固定模型,可能是由于三螺钉固定具有更大的受力面积,可以减缓分担剪切力从而使得最大剪切力的数值下降。较大的剪切力同样不利于骨骼的愈合以及固定物的稳定,从这一方面而言也说明三螺钉固定系统更安全稳定。这个研究结果与 Moran 等的研究结果相符,他们发现在实体标本的力学试验中,采用三螺钉固定的模型相较于双螺钉固定的模型具有更加强的支撑能力以及抗滑移能力[6]。

当然,采用双螺钉进行固定也有一定的价值。一方面可以降低手术时间以及术中出血,同时可以避免置入下方螺钉时对周围神经的损伤,另外也可以减轻患者的经济负担。虽然双螺钉固定其受力系统中最大应力值相比较较大,但对于恢复能力强且骨骼强度较高的青少年患者,若能适当推迟术后的下地负重时间,亦可作为备选的手术方式。

5. 结论

综上所述,对于胫骨平台 Schatzker I 型骨折的患者而言,使用双螺钉进行固定更加简单,创伤相比较小,感染风险更低,但是相比于三螺钉固定存在更大的固定物断裂可能。三螺钉固定系统中应力分布更加均匀,有利于患者骨折的愈合,尤其对于可能存在骨质疏松等基础疾病的老年患者而言,选用三螺钉甚至联合钢板固定更有利于患者。

本研究的局限:一方面,模型的材料均设置为了各向同性的材料属性,与实际情况中的骨骼性质稍稍有所不同;同时本研究没有将肌肉,筋膜等软组织对于骨骼力学环境的影响考虑在内;另外,本研究中只是单纯地研究了模型的静态载荷,而与实际环境中的动态力学环境有所出入。

参考文献

- [1] Lasanianos, N.G., Garnavos, C., Magnisalis, E., Kourkoulis, S. and Babis, G.C. (2013) A Comparative Biomechanical Study for Complex Tibial Plateau Fractures: Nailing and Compression Bolts versus Modern and Traditional Plating. *Injury*, **44**, 1333-1339. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.03.013>
- [2] Milenkovic, S., Mitkovic, M., Mitkovic, M., Stojiljkovic, P. and Stojanovic, M. (2020) Lateral Tibial Plateau Fractures-Functional Outcomes and Complications after Open Reduction and Internal Fixation. *International Orthopaedics*. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04763-y>
- [3] Prall, W.C., Rieger, M., Furmetz, J., Haasters, F., Mayr, H.O., Bocker, W. and Kusmenkov, T. (2020) Schatzker II Tibial Plateau Fractures: Anatomically Precontoured Locking Compression Plates Seem to Improve Radiological and

- Clinical Outcomes. *Injury*. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.07.012>
- [4] Ozturk, A.M., Suer, O., Derin, O., Ozer, M.A., Govsa, F. and Aktuglu, K. (2020) Surgical Advantages of Using 3D Patient-Specific Models in High-Energy Tibial Plateau Fractures. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01378-1>
- [5] Frosch, K.H., Korthaus, A., Thiesen, D., Frings, J. and Krause, M. (2020) The Concept of Direct Approach to Lateral Tibial Plateau Fractures and Stepwise Extension as Needed. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01422-0>
- [6] Moran, E., Zderic, I., Klos, K., Simons, P., Triana, M., Richards, R.G., Gueorguiev, B. and Lenz, M. (2017) Reconstruction of the Lateral Tibia Plateau Fracture with a Third Triangular Support Screw: A Biomechanical Study. *Journal of Orthopaedic Translation*, **11**, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2016.12.002>
- [7] Li, M., Chang, H., Wei, N., Chang, W., Yan, Y., Jin, Z. and Chen, W. (2020) Biomechanical Study on the Stress Distribution of the Knee Joint after Tibial Fracture Malunion with Residual Varus-Valgus Deformity. *Orthopaedic Surgery*, **12**, 983-989. <https://doi.org/10.1111/os.12668>
- [8] Callary, S.A., Jones, C.F., Kantar, K., Du Toit, H., Baker, M.P., Thewlis, D., Atkins, G.J. and Solomon, L.B. (2020) A New Approach to Surgical Management of Tibial Plateau Fractures. *Journal of Clinical Medicine*, **9**, 626. <https://doi.org/10.3390/jcm9030626>
- [9] Huang, X., Zhi, Z., Yu, B. and Chen, F. (2015) Stress and Stability of Plate-Screw Fixation and Screw Fixation in the Treatment of Schatzker Type IV Medial Tibial Plateau Fracture: A Comparative Finite Element Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **10**, 182. <https://doi.org/10.1186/s13018-015-0325-2>
- [10] Nappi, F., Mazzocchi, L., Timofeva, I., Macron, L., Morganti, S., Avtaar Singh, S.S., Attias, D., Congedo, A. and Auricchio, F. (2020) A Finite Element Analysis Study From 3D CT to Predict Transcatheter Heart Valve Thrombosis. *Diagnostics*, **10**, 183. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10040183>
- [11] Hong, N., Lee, D.C., Khosla, S., Keaveny, T.M. and Rhee, Y. (2020) Comparison of Vertebral and Femoral Strength Between Caucasian and Asian Adults Using Finite Element Analysis of Computed Tomography Scans. *Journal of Bone and Mineral Research*. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4149>
- [12] Schnitzer, M., Hudak, R., Sedlacko, P., Rajtukova, V., Findrik Balogova, A., Zivcak, J., Kula, T., Bocko, J., Dzupon, M., Izarikova, G., et al. (2020) A Comparison of Experimental Compressive Axial Loading Testing with a Numerical Simulation of Topologically Optimized Cervical Implants Made by Selective Laser Melting. *Journal of Biotechnology*, **322**, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.07.010>
- [13] Chen, F.C., Huang, X.W., Ya, Y.S., Ma, F.F., Qian, Z., Shi, J.F., Guo, S.L. and Yu, B.Q. (2018) Finite Element Analysis of Intramedullary Nailing and Double Locking Plate for Treating Extra-Articular Proximal Tibial Fractures. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **13**, Article No. 12. <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0707-8>
- [14] Jia, P., Lu, F.C., Ullah, K., Zhang, M., Dong, Y.S., Xiong, C., Zhao, Z.H., Wang, J.F., Chen, J.W. and Wang, Y.Q. (2018) Angle Stable Interlocking Intramedullary Nails for Tibial Plateau Fractures. *Orthopaedic Surgery*, **10**, 115-120. <https://doi.org/10.1111/os.12373>
- [15] Elsoe, R., Johansen, M.B. and Larsen, P. (2019) Tibial Plateau Fractures Are Associated with a Long-Lasting Increased Risk of Total Knee Arthroplasty a Matched Cohort Study of 7,950 Tibial Plateau Fractures. *Osteoarthritis Cartilage*, **27**, 805-809. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2018.12.020>
- [16] Krause, M., Frings, J., Isik, H. and Frosch, K.H. (2020) Comparison of Extended Lateral Approaches to the Tibial Plateau: the Articular Exposure of Lateral Epicondyle Osteotomy with and without Popliteus Tendon vs. Fibula Osteotomy. *Injury*, **51**, 1874-1878. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.05.038>
- [17] Wang, P. and Hu, X. (2020) Biomechanical Finite Element Analysis of Superior Endplate Collapse after Thoracolumbar Fracture Surgery. *Annals of Translational Medicine*, **8**, 753. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4091>
- [18] Zhang, Y.K., Wei, H.W., Lin, K.P., Chen, W.C., Tsai, C.L. and Lin, K.J. (2016) Biomechanical Effect of the Configuration of Screw Hole Style on Locking Plate Fixation in Proximal Humerus Fracture with a Simulated Gap: A Finite Element Analysis. *Injury*, **47**, 1191-1195. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.02.028>
- [19] Lee, K.J., Yoo, J.J., Oh, K.J., Yoo, J.H., Rhyu, K.H., Nam, K.W. and Suh, D.H. (2017) Surgical Outcome of Intramedullary Nailing in Patients with Complete Atypical Femoral Fracture: A Multicenter Retrospective Study. *Injury*, **48**, 941-945. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.02.036>
- [20] Dhason, R., Roy, S. and Datta, S. (2020) A Biomechanical Study on the Laminate Stacking Sequence in Composite Bone Plates for Vancouver Femur B1 Fracture Fixation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **196**, Article ID: 105680. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105680>