DOI: 10.14188/j.1671-8852.2026.0868 **文章编号** 1671-8852(2026)10-1345-07

Schatzker Ⅱ型胫骨平台骨折不同内固定方式的有限元分析

牛勇翔[1,2] 曹 颖[2] 马 旋[2] 吴石磊[2] 陈 明[2] 黄玉成[2]
[1]江汉大学 湖北 武汉 430033；
[2]武汉市第四医院/湖北省运动医学中心/湖北省骨科临床医学研究中心/运动损伤与精准治疗湖北省重点实验室 湖北 武汉 430033

摘要 目的：对比Schatzker Ⅱ型胫骨平台骨折四种不同内固定方式的生物力学差异，明确人工骨填充和不同螺钉组合的力学优势，为临床个体化微创手术方案提供理论依据。方法：选取一名健康成年男性志愿者，利用有限元软件构建Schatzker Ⅱ型胫骨平台骨折模型。根据不同内固定方式分为4组，A组采用无人工骨填充＋栅栏螺钉（前后双螺钉＋外内双螺钉＋防滑螺钉）；B组采用人工骨填充＋栅栏螺钉（前后双螺钉＋外内双螺钉＋防滑螺钉）；C组采用人工骨填充＋前后双螺钉＋防滑螺钉；D组采用人工骨填充＋外内双螺钉＋防滑螺钉。在相同的支撑和约束条件下，运用有限元分析软件分析比较不同载荷下四种内固定模型的生物力学性能。结果：在相同载荷下，D组内固定应力分布最均匀，整体应力表现最优；C组内固定应力水平最高，存在明显应力集中，力学性能最差。骨折位移方面，B组外侧骨折块及关节面骨块位移最小，固定稳定性最佳；C组的位移最大，固定稳定性最差。在A组和B组相同螺钉配置下，B组人工骨填充可有效分散内固定应力，降低骨折块位移幅度，提升整体固定稳定性。结论：人工骨填充联合外内双螺钉＋防滑螺钉固定，应力分布更合理，适用于简单骨折；人工骨填充联合栅栏螺钉固定整体稳定性最佳，适用于骨折塌陷严重患者；人工骨填充联合前后双螺钉＋防滑螺钉固定力学效果最差，不推荐临床常规使用。

关键词 胫骨平台；骨折；有限元；固定；螺钉
中图分类号 R687.4 **文献标志码** A

Finite element analysis of different fixation methods for Schatzker Ⅱ tibial plateau fractures

NIU Yongxiang[1,2], CAO Ying[2], MA Xuan[2], WU Shilei[2], CHEN Ming[2], HUANG Yucheng[2]
[1]*Jianghan University, Wuhan 430033, Hubei, China;*
[2]*Wuhan Fourth Hospital; Hubei Sports Medicine Center; Hubei Orthopedic Clinical Research Center; & Hubei Key Laboratory of Sports Injury and Precision Treatment, Wuhan 430033, Hubei, China*

Abstract

Objective: To compare the biomechanical differences among four internal fixation methods for Schatzker Ⅱ tibial plateau fractures, and to identify the mechanical advantages of bone graft substitute combined with different screw configurations, thereby providing a theoretical basis for individualized minimally invasive surgical strategies in clinical practice. **Methods:** A finite element model of a Schatzker Ⅱ tibial plateau fracture was constructed using data from a healthy adult male volunteer.

课题来源：湖北省自然科学基金项目（JCZRLH202602028）；武汉市卫健委医学科研项目（WX23A13）。
作者简介：牛勇翔，男，2000—，医学硕士生，主要从事创伤骨科疾病的研究，E-mail：1940580778@qq.com。
通信作者：黄玉成，E-mail：ehyc836@163.com；陈明，E-mail：cm19720@163.com。

Four fixation groups were established: Group A (no bone graft substitute+palisade screws, i. e., anteroposterior double screws+lateromedial double screws+anti-slip screw); Group B (bone graft substitute+palisade screws, i. e., anteroposterior double screws+lateromedial double screws+anti-slip screw); Group C (bone graft substitute+anteroposterior double screws+anti-slip screw); and Group D (bone graft substitute+lateromedial double screws+anti-slip screw). Under identical support and boundary conditions, finite element analysis was performed to evaluate and compare the biomechanical performance of the four fixation models under different loading conditions. **Results:** Under the same loading conditions, Group D exhibited the most uniform stress distribution within the internal fixation, representing the optimal overall stress performance. Group C showed the highest stress level with marked stress concentration, indicating the poorest mechanical behavior. In terms of fracture fragment displacement, Group B achieved the smallest displacement of the lateral condylar fragment and articular surface fragment, demonstrating the best fixation stability, while Group C showed the largest displacement and the worst stability. Comparison of Group A and Group B, which had identical screw configurations but differed in the use of bone graft substitute, revealed that the addition of bone graft substitute in Group B effectively dispersed internal fixation stress, reduced fracture fragment displacement, and enhanced overall fixation stability. **Conclusion:** Bone graft substitute combined with lateromedial double screws plus an anti-slip screw provides a more reasonable stress distribution and is suitable for simple fractures. Bone graft substitute combined with palisade screws offers the best overall stability and is indicated for fractures with severe collapse. The combination of bone graft substitute with anteroposterior double screws plus an anti-slip screw yields the worst mechanical outcomes and is not recommended for routine clinical use.

Key Words Tibial Plateau; Fracture; Finite Element; Fixation; Screw

胫骨平台骨折是临床常见的关节内骨折,好发于30～50岁男性[1-2],其中外侧胫骨平台劈裂-塌陷骨折(Schatzker Ⅱ型)最为常见,约占所有胫骨平台骨折的35%[3]。治疗核心在于恢复关节面平整、重建下肢力线、实现稳定固定,以降低创伤性关节炎风险并利于早期功能锻炼[4-5]。传统切开复位钢板内固定虽为标准方案[6],但在Schatzker Ⅱ型骨折中存在软组织剥离多、创伤大、引流量多、术后康复慢等不足。经皮微创技术(撬拨复位、顶棒技术、关节镜辅助、栅栏螺钉等)已成为近年骨科治疗的趋势[7-14]。栅栏螺钉技术通过多方向经皮螺钉交叉固定实现微创、稳定的复位效果。塌陷复位后遗留的骨缺损若不填充,易导致复位丢失、关节面再塌陷。磷酸钙人工骨具有良好生物相容性、骨传导性及可降解性,临床应用可有效支撑塌陷区、维持复位、促进骨愈合[15]。

然而,不同螺钉组合及骨缺损填充策略的生物力学差异,仍缺乏系统对比。人工骨填充与否、螺钉组合方式如何搭配,才能在微创前提下兼顾应力分散与位移控制,目前尚无明确生物力学依据。为此,本研究采用有限元分析,构建Schatzker Ⅱ型胫骨平台骨折模型,对比四种内固定方案在不同载荷下的应力分布、骨折块位移及塌陷风险,旨在为临床个体化微创治疗提供生物力学参考。

1 材料与方法

1.1 模型建立 选取一名健康成年男性志愿者,身高175 cm,体质量70 kg,无下肢骨骼疾病史。采用64排螺旋CT对右侧胫骨进行薄层扫描,层厚1 mm,共获取图像数据450层。将DICOM格式原始数据导入Mimics 21.0软件,通过阈值分割、区域生长及三维重建算法生成胫骨(皮质骨和松质骨)初始几何模型。通过3-matic软件重新定义胫骨坐标轴,设定胫骨平台内侧和外侧棘的中心点与踝关节穴的顶点连线为胫骨机械轴,设定内踝尖与外踝尖的连线为胫骨冠状轴。利用Geomagic Studio 2017进行曲面优化与实体化转换,建立包含皮质骨与松质骨双相结构的胫骨实体模型。再通过SolidWorks 2023软件建立胫骨骨折及塌陷模型、骨钉、人工骨三维模型。基于标准解剖结构,塌陷高度设

置为 13 mm，骨折线起自外侧平台中央偏前，向后内延伸，骨折线与纵轴夹角为 20 °，骨缺损体积为 2.72 cm^3。模型几何尺寸与典型 Schatzker Ⅱ型骨折的文献报道相符[16]。为了便于计算，截取胫骨近端三分之一进行建模和分析，见图 1。

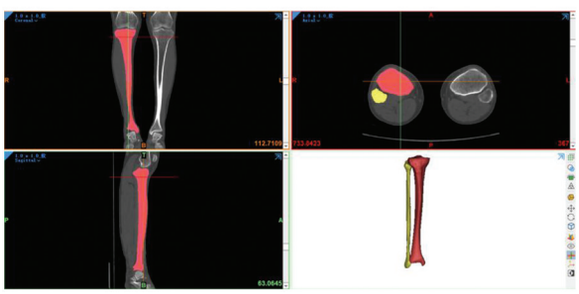


图 1　Mimics 软件建立右侧胫腓骨三维模型

1.2　材料属性　四根螺钉直径为 3.5 mm，防滑螺钉直径为 7.3 mm，见表 1。材质均为钛合金（弹性模量 110 000 MPa，泊松比 0.33）。人工骨材料为磷酸钙（弹性模量 1 500 MPa，泊松比 0.28），骨组织分为皮质骨（弹性模量 17 000 MPa，泊松比 0.30）、松质骨（弹性模量 500 MPa，泊松比 0.20）。并设置所有材料均为各向同性线弹性[17]。具体属性见表 2。

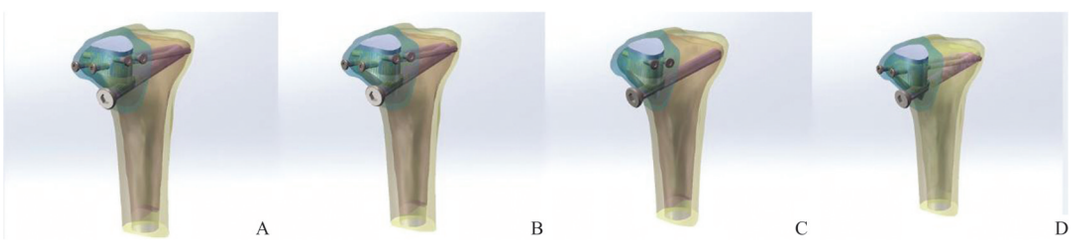
表 1　骨钉数据统计表

骨钉序号	外径/mm	内径/mm	钉长/mm
骨钉 1	3.5	2.4	42
骨钉 2	3.5	2.4	48
骨钉 3	3.5	2.4	70
骨钉 4	3.5	2.4	67
骨钉 5	7.3	5.3	70

表 2　材料属性赋值表

名称	弹性模量/MPa	泊松比
皮质骨	17 000	0.30
松质骨	500	0.20
人工骨	1 500	0.28
骨钉	110 000	0.33

1.3　分组与内固定方案　A 组：无人工骨填充＋栅栏螺钉（前后双螺钉＋外内双螺钉＋防滑螺钉，共 5 枚）；B 组：人工骨填充＋栅栏螺钉（同 A 组螺钉配置）；C 组：人工骨填充＋前后双螺钉＋防滑螺钉（无外内螺钉，共 3 枚）；D 组：人工骨填充＋外内双螺钉＋防滑螺钉（无前后螺钉，共 3 枚）。见图 2。



A. 无人工骨填充＋栅栏螺钉；B. 人工骨填充＋栅栏螺钉；C. 人工骨填充＋前后双螺钉＋防滑螺钉；D. 人工骨填充＋外内双螺钉＋防滑螺钉。

图 2　四组内固定模型

1.4　网格划分　HyperMesh 14.0 划分四面体网格；经收敛性验证，骨与人工骨单元尺寸 2.0 mm，螺钉单元尺寸 1.0 mm。各组单元数量相近，满足计算精度，各模型的网格数据见表 3。

1.5　相互作用与边界条件　接触：骨折面、塌陷骨块-骨、人工骨-骨设为面-面接触；皮质骨-松质骨、螺钉-骨设为绑定约束。骨折面是表面与表面接触，摩擦系数为 0.3；螺钉与骨是绑定关系；塌陷骨块与骨、人工骨与骨都是表面与表面接触，摩擦系数为 0.3[18]。载荷：胫骨平台后倾角 10 °，施加载荷 500 N、1 000 N、1 500 N（模拟患者部分负重、完全负重至行走时的应力变化），内外侧载荷比 6∶4，方向沿机械轴 10 °夹角向下[19]。约束：胫骨远端完全固定。

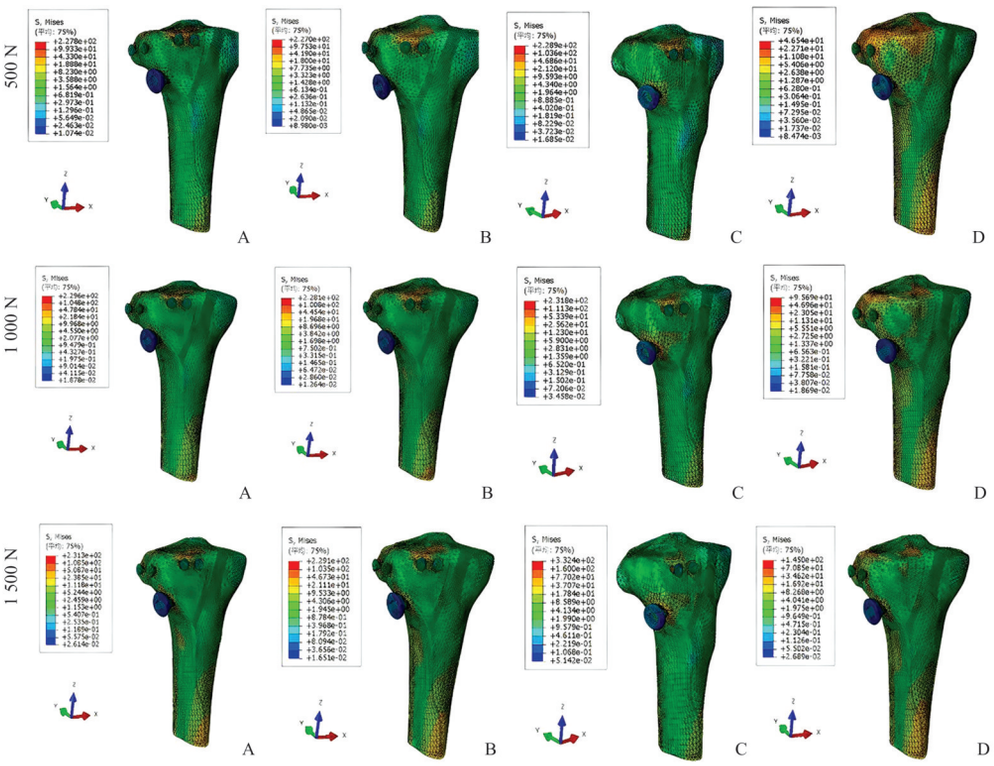
1.6　评价指标　采用 Abaqus 6.14 进行静力分析，主要评价指标包括：①内固定系统最大应力与应力分布；②外侧整体骨折块位移；③塌陷骨块位移。

表 3　网格划分单元统计表

名称	A 组	B 组	C 组	D 组
胫骨皮质骨	42 002	42 002	41 487	41 914
胫骨松质骨	67 431	67 431	59 466	67 431
骨折块皮质骨	10 510	10 510	10 539	9 400
骨折块松质骨	11 386	11 386	9 568	9 839
塌陷骨块皮质骨	1 277	1 277	1 277	1 277
塌陷骨块松质骨	8 626	8 626	7 906	6 840
骨钉 1	3 611	3 611	3 611	—
骨钉 2	4 371	4 371	4 371	—
骨钉 3	6 036	6 036	—	6 036
骨钉 4	5 582	5 582	—	5 582
骨钉 5	73 227	73 227	73 227	73 227
人工骨	—	2 390	2 390	2 390

2 结果

2.1 应力分布 在相同约束条件下,D组应力分布最均匀、平均应力最低(95.743 MPa),无明显应力集中;C组平均应力最高(264.367 MPa),前后螺钉根部应力集中显著;A、B组应力水平中等,栅栏螺钉交叉处存在轻度集中。随载荷增大(500 N→1 500 N),各组最大应力均升高,趋势一致。见图3。



A. 无人工骨填充+栅栏螺钉;B. 人工骨填充+栅栏螺钉;C. 人工骨填充+前后双螺钉+防滑螺钉;D. 人工骨填充+外内双螺钉+防滑螺钉。

图3 由上至下依次为500 N、1 000 N、1 500 N载荷下胫骨平台内固定模型的应力分布云图

注:图例中颜色对应数值大小:颜色从蓝色过渡到红色,代表应力值从小到大的变化,绿色及黄色区域代表中等应力区,单位为MPa。

2.2 骨折块位移 在1 000 N载荷下,内固定位移:B组0.260 8 mm,A组0.267 0 mm,D组0.270 9 mm,C组0.522 2 mm。塌陷骨块位移:B组0.246 2 mm,A组0.252 4 mm,D组0.262 0 mm,C组0.451 5 mm;B组位移最小、稳定性最优;C组位移显著大于其余组,稳定性最差;A、D组居中,差异较小。四组位移均<2 mm,提示均能提供有效固定,见表4,图4、5。

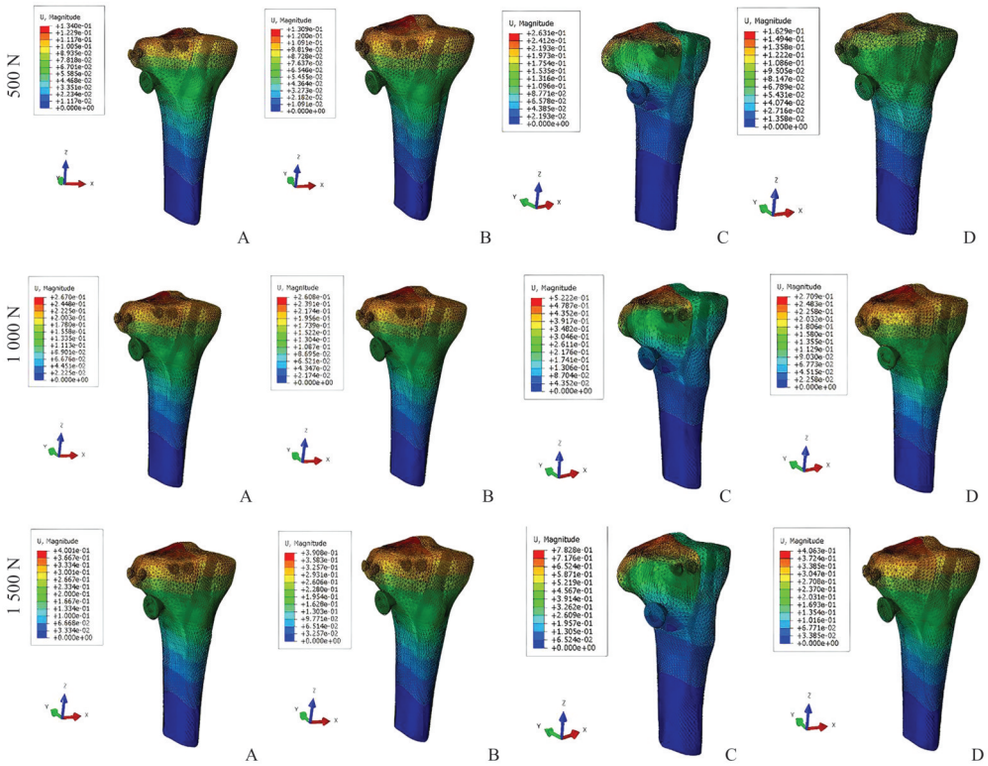
2.3 人工骨的作用 相同螺钉配置下(A组和B组),人工骨填充可降低内固定位移(约2.3%)与塌陷块位移(约2.5%),并减少螺钉应力集中,证实人工骨对塌陷区的支撑作用显著,见表4,图4、5。

3 讨论

3.1 微创栅栏技术的生物力学优势 Schatzker Ⅱ型骨折的治疗矛盾在于微创与稳定的平衡。传统钢板固定创伤大、软组织剥离范围大,易破坏血供,而经皮栅栏螺钉通过前后、外内多方向交叉,形成"立

表4 四组内固定模型不同载荷下位移及最大应力

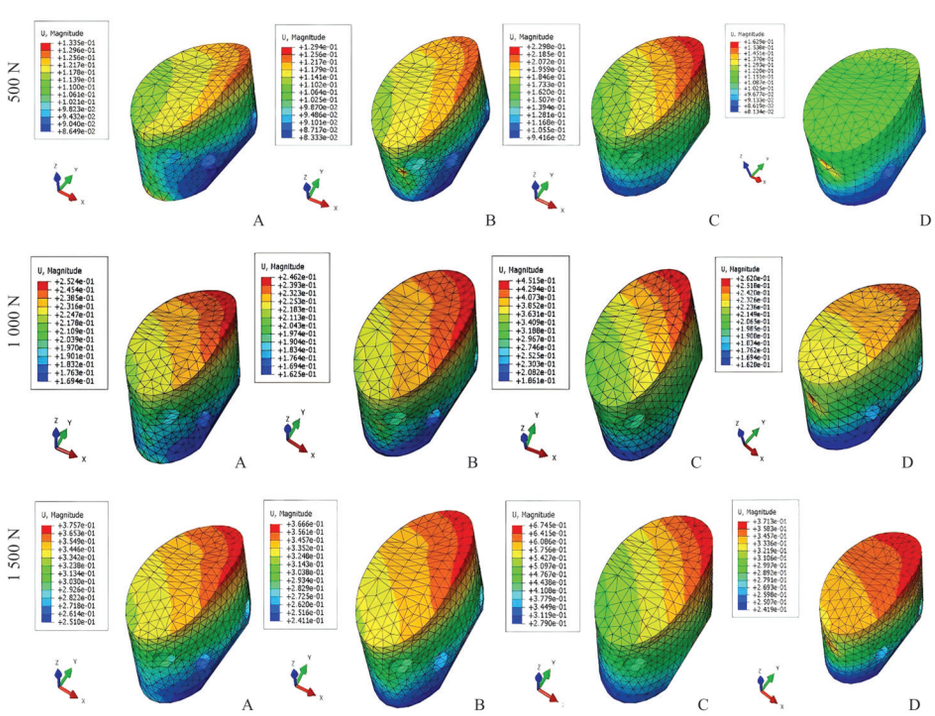
分组	A组			B组			C组			D组		
	内固定位移/mm	塌陷骨块位移/mm	最大应力/MPa	内固定位移/mm	塌陷骨块位移/mm	最大应力/MPa	内固定位移/mm	塌陷骨块位移/mm	最大应力/MPa	内固定位移/mm	塌陷骨块位移/mm	最大应力/MPa
500 N	0.134 0	0.133 5	227.8	0.130 9	0.129 4	227.0	0.263 1	0.229 8	228.9	0.162 9	0.162 9	46.5
1 000 N	0.267 0	0.252 4	229.6	0.260 8	0.246 2	228.1	0.522 2	0.451 5	231.8	0.270 9	0.262 0	95.7
1 500 N	0.400 1	0.375 7	231.3	0.390 8	0.366 6	229.1	0.782 8	0.674 5	332.4	0.406 3	0.371 3	145.0



A. 无人工骨填充＋栅栏螺钉；B. 人工骨填充＋栅栏螺钉；C. 人工骨填充＋前后双螺钉＋防滑螺钉；D. 人工骨填充＋外内双螺钉＋防滑螺钉。

图 4　由上至下依次为 500 N、1 000 N、1 500 N 载荷下胫骨平台内固定模型的位移分布云图

注：图例中颜色对应位移大小，颜色从蓝色过渡到红色，代表位移值从小到大的变化，单位为 mm。



A. 无人工骨填充＋栅栏螺钉；B. 人工骨填充＋栅栏螺钉；C. 人工骨填充＋前后双螺钉＋防滑螺钉；D. 人工骨填充＋外内双螺钉＋防滑螺钉。

图 5　由上至下依次为 500 N、1 000 N、1 500 N 载荷下塌陷骨块模型的位移分布云图

注：图例中颜色对应位移大小，颜色从蓝色过渡到红色，代表位移值从小到大的变化，单位为 mm。

体栅栏框架”,可同时抵抗轴向压缩、外侧剪切及旋转力矩[20]。焦竞等[21]临床研究显示机器人辅助栅栏螺钉固定疗效良好,为本研究提供临床支撑。

本研究显示,B组(栅栏螺钉+人工骨)在位移控制上显著优于C组(仅前后螺钉),与WEIMANN等[14]的生物力学试验一致:多方向交叉螺钉可使骨折块稳定性提升30%~40%,尤其适合骨折块塌陷较深者。

3.2 人工骨填充 塌陷复位后骨缺损是复位丢失的关键危险因素。单纯螺钉固定仅能托住骨折块,无法有效支撑关节面塌陷区,易导致螺钉应力集中、关节面再塌陷。ZENG等[22]证实骨缺损填充可提升稳定性,但未优化螺钉组合;本研究同样证实:作为微创固定的必要补充,人工骨填充可分散螺钉应力、支撑塌陷骨块、减少位移。磷酸钙人工骨兼具骨传导性与可降解性,临床随访显示其能维持复位并逐步被新生骨替代,同时可避免自体骨供区损伤,是微创治疗的理想填充材料[15]。

3.3 内固定方式的选择 胫骨平台骨折手术指征为:内外翻>5°,关节面塌陷>2 mm[23]。即使手术治疗,由于骨折端不规则或复位技术的限制,骨折端常留有间隙,临床上通常以2 mm的骨折移位[24]作为复位成功的界限。本研究中,在500~1 500 N载荷下,各组固定方式,外侧骨折块及关节面塌陷均小于2 mm,证实螺钉固定能够满足强度要求。但需要引起重视的是,不同固定方式或螺钉组合,具有不同的生物力学特点。D组(人工骨+外内+防滑螺钉)的应力分布最优、螺钉最少、创伤最小;外内螺钉垂直于外侧劈裂线,直接抵抗外侧剪切力;防滑螺钉防止纵向滑移,形成三角稳定结构。这种固定方式,适合于骨折范围局限、外侧皮质完整及塌陷区域小的年轻患者,利于快速康复。而B组(人工骨+栅栏螺钉)的位移最优、稳定性最强;五枚螺钉全方位约束骨折块,抗旋转、抗移位能力最强,适合骨折块大、塌陷深的中老年患者,为早期膝关节屈伸锻炼提供安全保障。C组(人工骨+前后+防滑螺钉)的力学强度最差、不推荐常规使用;由于前后螺钉平行于骨折线,抗剪切力弱,易致螺钉疲劳与复位丢失,仅适用于临时固定或骨折极稳定特例。

3.4 局限性与展望 本研究为静态有限元分析,存在理想化假设:未考虑骨质疏松、骨折粉碎程度、软组织张力;未考虑不同患者可能具有解剖差异,单一模型缺乏一定的普适性;未模拟行走、下蹲等动态载荷;未纳入骨愈合、螺钉松动、人工骨吸收等长期因素。未来需:①基于患者个性化模型实现精准评估;②开展动态疲劳试验;③结合随机对照试验验证临床效果;④探索3D打印导板、可吸收螺钉的应用;⑤该模型基于一位健康成年男性的胫骨CT图像建立,对于骨质疏松的老年患者不具备普适性,未来需要建立骨质疏松患者的模型并加入骨密度等专业指标进行更细致的评估。

综上所述,Schatzker Ⅱ型胫骨平台骨折的四种固定方式中,人工骨填充联合外内双螺钉+防滑螺钉固定,应力分布更合理,适用于简单骨折;人工骨填充联合栅栏螺钉固定整体稳定性最佳,适用于骨折塌陷严重患者;而人工骨联合前后螺钉+防滑螺钉固定力学效果最差,不推荐临床常规使用。

参考文献

[1] ELSOE R, LARSEN P, NIELSEN N P H, et al. Population-based epidemiology of tibial plateau fractures[J]. Orthopedics, 2015, 38(9): e780-e786.

[2] 张英泽. 胫骨平台骨折微创治疗策略与进展[J]. 中华创伤骨科杂志, 2017, 19(10): 829-832.
ZHANG Y Z. Therapeutic strategies of minimally invasive treatment of tibial plateau fractures[J]. Chin J Orthop Trauma, 2017, 19(10): 829-832.

[3] MCGONAGLE L, CORDIER T, LINK B C, et al. Tibia plateau fracture mapping and its influence on fracture fixation[J]. J Orthop Traumatol, 2019, 20(1): 12.

[4] RAMPONI D R, MCSWIGAN T. Tibial plateau fractures[J]. Adv Emerg Nurs J, 2018, 40(3): 155-161.

[5] SCHATZKER J, KFURI M. Revisiting the management of tibial plateau fractures[J]. Injury, 2022, 53(6): 2207-2218.

[6] SMITH T O, CASEY L, MCNAMARA I R, et al. Surgical fixation methods for tibial plateau fractures[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2024(11): CD009679.

[7] 冯文广, 孙艳宏, 赵挺祺, 等. 胫骨平台骨折的微创治疗[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2025, 19(4): 478-485.
FENG W G, SUN Y H, ZHAO T Q, et al. Minimally invasive treatment of tibial plateau fractures[J]. Chin J Jt Surg Electron Ed, 2025, 19(4): 478-485.

[8] 崔猛, 马信龙, 孙杰. 胫骨平台骨折手术治疗方法研究进展[J]. 中华创伤杂志, 2021, 37(4): 366-372.
CUI M, MA X L, SUN J. Research progress in surgical methods for tibial plateau fractures[J]. Chin J Trauma, 2021, 37(4): 366-372.

[9] 姜福泽, 雷天润, 周庞虎. 膝关节镜辅助内固定治疗Schatzker Ⅰ~Ⅳ型胫骨平台骨折的早期疗效分析[J].

武汉大学学报(医学版)，2024，45(5)：564-569.
JIANG F Z，LEI T R，ZHOU P H. Early efficacy analysis of knee arthroscopy-assisted internal fixation in the treatment of Schatzker type Ⅰ-Ⅳ tibial plateau fracture[J]. Med J Wuhan Univ，2024，45(5)：564-569.

[10] YING J C，YU T M，LIU J L，et al. Clinical comparison of the "windowing" technique and the "open book" technique in Schatzker type Ⅱ tibial plateau fracture[J]. Orthop Surg，2022，14(10)：2553-2562.

[11] CHASE R，USMANI K，SHAHI A，et al. Arthroscopic-assisted reduction of tibial plateau fractures [J]. Orthop Clin N Am，2019，50(3)：305-314.

[12] 王晓龙，闫雪琴，王盼，等. 3D建模联合关节镜治疗Schatzker Ⅱ～Ⅲ型胫骨平台骨折[J]. 实用骨科杂志，2025，31(5)：404-409.
WANG X L，YAN X Q，WANG P，et al. 3D computer simulation combined with arthroscopic-assisted treatment for Schatzker Ⅱ-Ⅲ tibial plateau fractures[J]. J Pract Orthop，2025，31(5)：404-409.

[13] 黄玉成，焦竞，吴石磊，等. 机器人导航下球囊胫骨成形螺钉固定治疗Schatzker Ⅱ、Ⅲ型胫骨平台骨折[J]. 中华骨科杂志，2023，43(22)：1524-1532.
HUANG Y C，JIAO J，WU S L，et al. Robot guided balloon tibial osteoplasty with screw fixation for the treatment of Schatzker Ⅱ and Ⅲ tibial plateau fractures [J]. Chin J Orthop，2023，43(22)：1524-1532.

[14] WEIMANN A，HEINKELE T，HERBORT M，et al. Minimally invasive reconstruction of lateral tibial plateau fractures using the jail technique：A biomechanical study[J]. BMC Musculoskelet Disord，2013，14：120.

[15] HARRIS I，HELFET D L，杜浩. 胫骨平台骨折：采用可注射磷酸钙骨水泥治疗[J]. 中华创伤骨科杂志，2008，10(1)：79-84.
HARRIS I，HELFET D L，DU H. Tibial plateau fractures treatment with injectable calcium phosphate cement [J]. Chin J Orthop Trauma，2008，10(1)：79-84.

[16] GAO S J，YAO Q C，GENG L D，et al. A finite element analysis of the supportive effect of a new type of rotary support plate on lateral tibial plateau fractures[J]. Ann Transl Med，2022，10(18)：1020.

[17] JIAN Z，JIANG X H，LI D J，et al. Finite element analysis of a novel anatomical plate in posterolateral plateau fractures[J]. Front Surg，2024，11：1346462.

[18] JIANG J，XU D Q，JI Z H，et al. Interfragmentary compression force and fixation stability of lateral tibial plateau fractures in normal and osteoporotic bones[J]. J Orthop Res，2024，42(8)：1738-1747.

[19] WEI G Q，NIU X F，LI Y，et al. Biomechanical analysis of internal fixation system stability for tibial plateau fractures[J]. Front Bioeng Biotechnol，2023，11：1199944.

[20] JIANG W，LIU X，KONG X R，et al. Treatment of a collapse fracture of the anterolateral tibial plateau with a lateral locking plate and the Jail screw technique[J]. BMC Surg，2025，25(1)：22.

[21] 焦竞，黄玉成，陈明，等. 机器人辅助下联合球囊复位与经皮栅栏螺钉固定治疗AO/OTA41B2型胫骨平台骨折的近期疗效观察[J]. 骨科，2024，15(5)：402-409.
JIAO J，HUANG Y C，CHEN M，et al. Short-term efficacy of robot-assisted balloon reduction and percutaneous palisade screw fixation in the treatment of AO/OTA41B2 tibial plateau fracture[J]. Orthopaedics，2024，15(5)：402-409.

[22] ZENG C Y，REN X M，XU C，et al. Stability of internal fixation systems based on different subtypes of Schatzker Ⅱ fracture of the tibial plateau：A finite element analysis[J]. Front Bioeng Biotechnol，2022，10：973389.

[23] 杨振邦，朱燕宾，孙惠莲，等. 胫骨平台骨折主要分型研究进展[J]. 中华创伤杂志，2024，40(4)：377-384.
YANG Z B，ZHU Y B，SUN H L，et al. Main classification methods of tibial plateau fractures：A review[J]. Chin J Trauma，2024，40(4)：377-384.

[24] HALLER J M，O′TOOLE R，GRAVES M，et al. How much articular displacement can be detected using fluoroscopy for tibial plateau fractures? [J]. Injury，2015，46(11)：2243-2247.

（2026-05-25 收稿）
编辑　张　峻