

# Sanders II 型跟骨骨折螺钉微创治疗的有限元优化分析

郭宗慧, 颜勇卿, 唐寅, 王骏杰, 杨长春, 庞清江

(中国科学院大学宁波华美医院骨科中心, 浙江 宁波 315010)

**【摘要】** 目的: 探讨 Sanders II 型跟骨骨折微创治疗时螺钉不同固定方式后的生物力学特点。方法: 将 CT 扫描后的跟骨 Dicom 数据输入 Mimics 21.0 软件及 Ansys 15.0 软件中构建跟骨三维有限元数字模型; 将此模型导入 UG NX 10.0 软件中, 根据 Sanders 分型切割跟骨, 建立后关节面塌陷的 Sanders II 型跟骨骨折模型; 模拟跟骨骨折后微创螺钉内固定手术: 将 1 枚螺钉自后关节面下方由外向内固定距突, 其余 4 枚螺钉分别自跟骨结节处根据不同方式固定跟骨, 得出 4 种不同跟骨模型, 在相同条件下分别对 4 种内固定模型加载, 行非线性有限元分析, 计算不同内固定模型的应力分布情况。结果: 在相同条件加载下, 模型三在骨缝间最大位移值、跟骨最大位移值、螺钉最大等效应力值方面均较其余 3 种内固定模型小, 且应力更分散。结论: 跟骨骨折微创螺钉内固定中, 1 枚载距突螺钉固定后, 2 枚螺钉自跟骨结节交叉固定后关节面, 2 枚螺钉自跟骨结节平行固定跟骰关节的固定方式更符合生物力学要求, 为临床治疗提供必要的理论依据。

**【关键词】** 跟骨; 骨折; 微创; 有限元分析

中图分类号: R35; R683.42

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2021.02.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Finite element optimization analysis of minimally invasive screw treatment for Sanders type II calcaneal fracture

GUO Zong-hui, YAN Yong-qing, TANG Yin, WANG Jun-jie, YANG Chang-chun, and PANG Qing-jiang. Department of Orthopaedics Centre, Huamei Hospital, University of Chinese Academy of Sciences, Ningbo 315010, Zhejiang, China

**ABSTRACT Objective:** To explore biomechanical characteristics of minimally invasive different screw fixations in treating Sanders type II calcaneal fractures. **Methods:** Dicom data of calcaneus by CT scan were input into Mimics 21.0 software and Ansys 15.0 software to construct three-dimensional finite element digital model of calcaneus; this model was input into UG NX 10.0 software, and calcaneus was cut according to Sanders classification to establish Sanders type II calcaneus model with posterior articular surface collapse; then simulated minimally invasive screw internal fixation after calcaneal fracture; a screw from posterior articular surface was used to outside-in fix sustentaculum tali, other 4 screws were used to fix calcaneus by different methods through calcaneal tuberosity, and 4 different calcaneal models were obtained. Under the same conditions, 4 types of internal fixation models were loaded respectively, and nonlinear finite element analysis was performed to calculate the stress distribution of different internal fixation models. **Results:** Under the same condition of loading, the model 3 had smaller displacement value, maximum calcaneus displacement value and maximum equivalent stress value of the screw than other three internal fixation models, and the stress was more dispersed. **Conclusion:** In minimally invasive screw internal fixation of calcaneus fracture, after 1 sustentaculum tali screw fixation, 2 screws crossed fix posterior articular surface from calcaneal tuberosity, 2 screws fix parallelly calcaneocuboid joint from calcaneal tuberosity are more suitable for biomechanical requirements, and could provide basic theory for clinical treatment.

**KEYWORDS** Calcaneus; Fractures; Minimally invasive; Finite element analysis

跟骨骨折是最常见的跗骨骨折, 治疗方法繁多。随着微创理念在跟骨骨折中的推广及应用, 经跗骨窦间隙有限切开撬拨复位结合螺钉内固定治疗是临

床常用的微创治疗方法<sup>[1-2]</sup>。该方法较传统“L”入路具有创伤小、术后软组织并发症少等优点<sup>[3-4]</sup>。目前跟骨骨折微创螺钉内固定方式多种多样<sup>[5-6]</sup>, 但具体哪种固定方式更符合生物力学要求尚缺乏理论依据。鉴于此, 本研究先建立后关节面塌陷的 Sanders II 型跟骨骨折三维有限元模型, 对模型进行螺钉不同内固定方式下的力学加载, 进行生物力学优化分析。因此, 本研究的目的是: (1) 分析在同条件加载

基金项目: 宁波市医学重点学科项目(编号: 2016-F06); 中国科学院大学宁波华美医院华美研究基金(编号: 2017HMKY27)

Fund program: Ningbo Medical Key Discipline Project (No. 2016-F06)

通讯作者: 庞清江 E-mail: gzhcmu@126.com

Corresponding author: PANG Qing-jiang E-mail: gzhcmu@126.com

下不同螺钉固定方式下所承受的应力,对跟骨骨折的固定方式进行生物力学探讨。(2)通过生物力学对比探究 Sanders II 型跟骨骨折螺钉固定的优化方案。

### 1 资料与方法

#### 1.1 一般资料

以 1 名 40 岁正常男性志愿者为试验对象,身高 175 cm,体重 70 kg;X 线检查排除病变、畸形和损伤等异常情况。本院采用德国西门子 4D 双源 CT (SOMATOM Definition);宁波大学生物医学研究室提供如下软件:医学影像软件 Mimics 21.0 (Materialise 公司,比利时);建模软件 UG NX 10.0 (SIEMENS PLM SOFTWARE 公司,德国);有限元分析软件(Ansys 15.0 ANSYS 公司,美国)。

#### 1.2 试验方法

**1.2.1 数据采集** 对志愿者自胫骨中下段至全足行中立位 4D 双源 CT 扫描,扫描层厚为 0.3 mm;扫描后获得 512×512 矩阵的 CT 图像数据 360 层,用 Dicom 格式进行保存。

**1.2.2 三维模型建立** Mimics 21.0 软件直接读取 Dicom 格式文件,建立跟骨三维模型。将建立的模型导入 Geomagic Studio 2013 软件中,在三维实体模型的基础上经表面光滑,减少三角形等运算得到经过面网格优化后的模型,导出 NURBS 曲面。利用 UG NX 10.0 软件读取 NURBS 曲面,根据 Sanders 分型将跟骨模型切割,造成 Sanders II 型跟骨骨折,后关节塌陷;通过器械商(AO)提供的螺钉信息,螺钉定位直径 3.5 mm 皮质骨螺钉 5 枚,即 1 枚螺钉自后关节面下方向内侧固定载距突,其余 4 枚螺钉均对称自跟骨结节周围打入,根据不同的装配方式获得不同的模型。模型一:上部 2 枚螺钉平行固定后关节

面,下部 2 枚螺钉平行固定跟骰关节;模型二:上部 2 枚螺钉平行固定后关节面,下部 2 枚螺钉交叉固定跟骰关节;模型三:上部 2 枚螺钉交叉固定后关节面,下部 2 枚螺钉平行固定跟骰关节;模型四:上部 2 枚螺钉交叉固定前关节面,下部 2 枚螺钉交叉固定跟骰关节。见图 1。

将 4 种不同固定状态下的跟骨模型导入 Ansys 15.0 软件中,经过设定单位元、材料赋值属性、划分单元网格获得跟骨三维有限元数字模型。模型中涉及的各种组织材料均简化为各向同体的均质性弹性材料;设定跟骨皮质骨厚度为 1 mm,内为均质松质骨。为了更能体现骨折线处骨块的应力情况,在骨缝间用质软材料进行黏合。这种质软均质材料代替存在的骨折线,厚度设定为 0.1 mm。跟骨模型内部各种材料的性能参数见表 1<sup>[7]</sup>。

表 1 跟骨模型内部各材料弹性性能参数  
Tab.1 Elastic property parameter of internal materials of calcaneal model

弹性性能	皮质骨	松质骨	骨折线	螺钉
弹性模量(MPa)	7 300	100	5	200 000
泊松比	0.3	0.3	0.4	0.28

#### 1.3 力加载方法

本试验设定跟骨模型加载点为跟骨后关节面,中关节面自上向下加载,跟骨结节处自下向上加载;跟骨的足内在肌对跟骨牵拉引起的拉力可以通过力的合成与分解原理给予抵消。跟骰关节面和跟骨与地面接触的最低点为约束点。在跟骨三维模型上模拟跟骨在中立位的受力情况。见图 2。

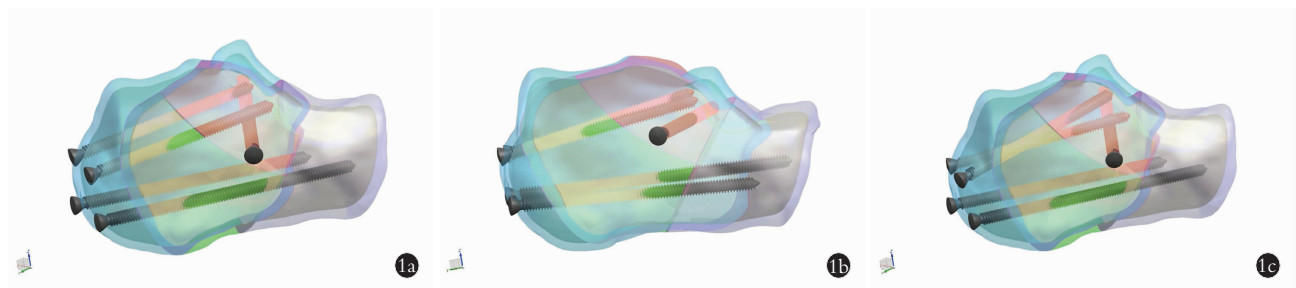


图 1 跟骨骨折后不同螺钉内固定方式后获得的模型 1a. 上部 2 枚螺钉平行固定后关节面,下部 2 枚螺钉平行固定跟骰关节 1b. 上部 2 枚螺钉平行固定后关节面,下部 2 枚螺钉交叉固定跟骰关节 1c. 上部 2 枚螺钉交叉固定后关节面,下部 2 枚螺钉平行固定跟骰关节 1d. 上部 2 枚螺钉交叉固定前关节面,下部 2 枚螺钉交叉固定跟骰关节

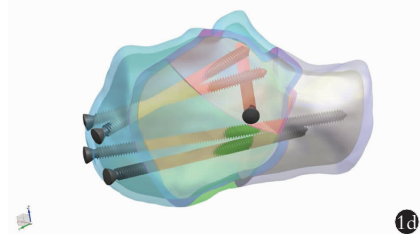


Fig.1 Models obtained with different screw fixation methods after calcaneal fracture 1a. Two screws were fixed in parallel to posterior articular surface on the upper side, and two screws were fixed in parallel with ankle joint on the lower side 1b. Two screws were fixed in parallel to posterior articular surface on the upper side, and two screws were cross-fixed to ankle joint on the lower side 1c. Two screws were cross-fixed to posterior articular surface on the upper side, and two screws were fixed in parallel to ankle joint on the lower side 1d. Two screws were cross-fixed to anterior articular surface on the upper side, and two screws were cross-fixed to ankle joint on the lower side

side 1d. Two screws were cross-fixed to anterior articular surface on the upper side, and two screws were cross-fixed to ankle joint on the lower side

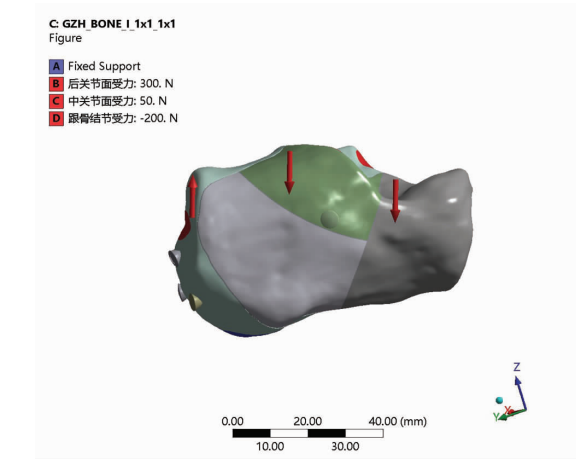


图 2 在跟骨三维模型上模拟跟骨在中立位的受力情况  
Fig.2 Simulating force of calcaneus on neutral position on three-dimensional model of calcaneus

2 结果

鉴于有限元分析计算结果，最大值对于力加载后的应力应变情况更有意义。因此，本试验采用载距

突螺钉等效应力最大值、螺钉整体等效应力最大值(图 3)、跟骨位移最大值(图 4)、骨缝位移最大值(图 5)作为衡量指标。见表 2。

3 讨论

3.1 各模型的螺钉生物力学分析及临床意义

评判一种内固定的稳定性，不但从内固定对骨折固定的牢固程度评价，同时也要观察内固定本身的应力分布特点，进而对术式和内固定本身进行改良<sup>[8]</sup>。衡量一个良好内固定的生物力学标准是内固定本身的应力尽可能分散，因为应力集中容易出现内固定的断裂<sup>[9]</sup>。跟骨后关节面塌陷是由于跟骨受到距骨的垂直暴力造成的，将后关节面复位并稳定固定对于跟骨骨折的恢复至关重要<sup>[10]</sup>。同时，跟骨骨折复位也要求恢复跟骨的长宽高，长度通过下部 2 枚螺钉固定，高度通过上部 2 枚螺钉固定，载距突螺钉可良好的固定后关节面并为后关节面的骨块提供支撑，已获得临床广泛应用<sup>[11]</sup>。本试验均采用载距突螺钉内固定，不同螺钉内固定方式后的模型加载后载距突的等效应力最大值接近，证明不同内固定

表 2 不同跟骨模型加载后各材料间的应力应变情况

Tab.2 Stress and strain condition of different materials of different calcaneal models after loading

组别	载距突螺钉的等效应力最大值(MPa)	上部螺钉的等效应力最大值(MPa)	下部螺钉的等效应力最大值(MPa)	螺钉的等效应力最大值(MPa)	跟骨位移最大值(mm)	骨缝位移最大值(mm)
模型一	34.44	119.22	36.30	119.22	0.093 352	0.093 352
模型二	36.03	123.12	52.42	123.12	0.093 649	0.093 329
模型三	35.83	47.70	33.82	47.70	0.091 753	0.091 546
模型四	35.22	49.15	53.35	53.35	0.091 772	0.091 561

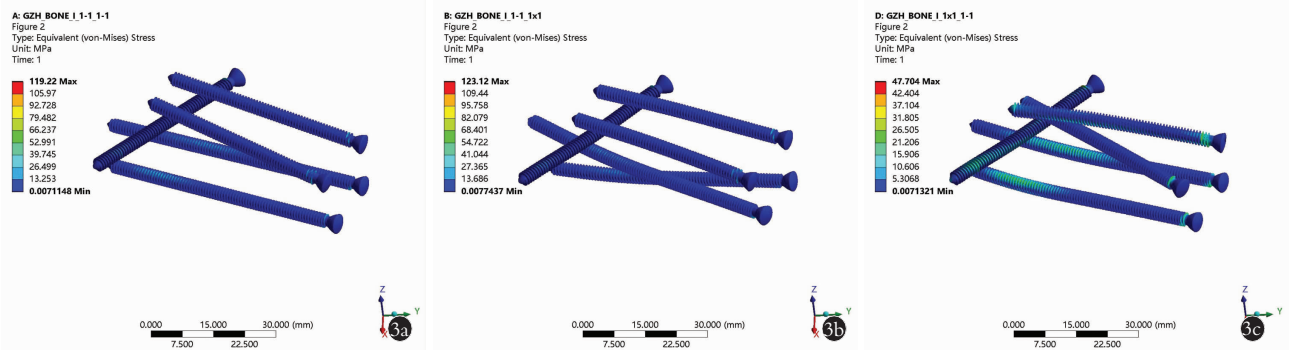


图 3 各模型螺钉整体等效应力最大值 3a. 模型一，最大主应力值 119.22 MPa，位于上 2 枚螺钉的头端 3b. 模型二，最大主应力值 123.12 MPa，位于上部螺钉的头端 3c. 模型三，最大主应力值 47.70 MPa，位于上部螺钉的中远端 3d. 模型四，最大主应力值 53.35 MPa，位于下部螺钉的中远端

Fig.3 The maximum value of the overall equivalent stress of different model screws 3a. Model 1, the maximum principal stress is 119.22 MPa, located on the head end of upper two screws 3b. Model two, the maximum principal stress is 123.12 MPa, located on the head end of upper screw 3c. Model 3, the maximum principal stress is 47.70 MPa, located on the middle and distal end of upper screw 3d. Model 4, the maximum principal stress is 53.35 MPa, located on the middle and distal end of the lower screw

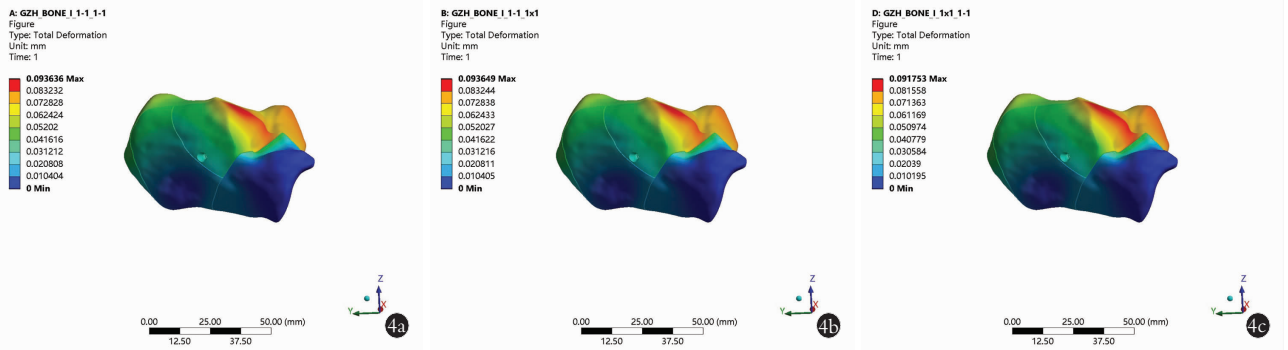


图 4 各模型跟骨位移最大值 4a. 模型一,跟骨位移最大值 0.093 352 mm,位于外侧后关节面 4b. 模型二,跟骨位移最大值 0.093 649 mm,位于外侧后关节及载距突 4c. 模型三,跟骨位移最大值 0.091 753 mm,位于外侧后关节面 4d. 模型四,跟骨位移最大值 0.091 772 mm,位于外侧后关节面及载距突

Fig.4 Maximum calcaneal displacement in each model 4a. Model 1, the maximum value of calcaneus displacement is 0.093 352 mm, located on the lateral posterolateral surface 4b. Model 2, the maximum value of calcaneus displacement is 0.093 649 mm, located on lateral posterior joint and sustentaculum tali 4c. Model 3, the maximum value of calcaneus displacement is 0.091 753 mm, located on lateral posterior articular surface 4d. Model 4, the maximum value of calcaneus displacement is 0.091 772 mm, located on lateral posterior articular surface and sustentaculum tali

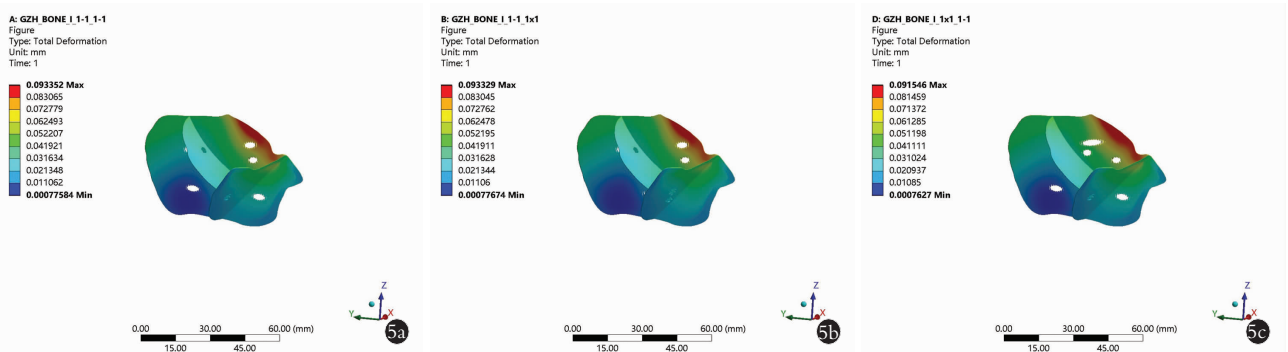
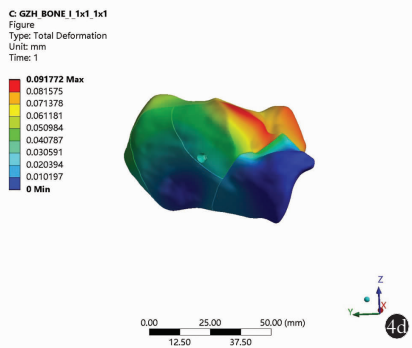
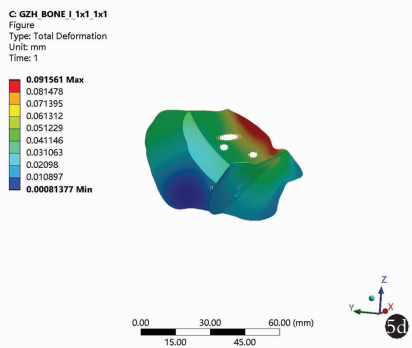


图 5 各模型骨缝位移最大值 5a. 模型一,骨折线位移最大值 0.093 352 mm,位于后关节面骨折线 5b. 模型二,骨折线位移最大值 0.093 329 mm,位于后关节面处骨折线 5c. 模型三,骨折线位移最大值 0.091 546 mm,位于后关节面处骨折线 5d. 模型四,骨折线位移最大值 0.091 561 mm,位于后关节面处骨折线

Fig.5 The maximum displacement of bone seam in each model 5a. Model 1, the maximum value of fracture line displacement is 0.093 352 mm, located on posterior articular surface fracture line 5b. Model 2, the maximum value of fracture line displacement is 0.093 329 mm, located on the posterior articular surface fracture line 5c. Model 3, the maximum value of fracture line displacement is 0.091 546 mm, located on the posterior articular surface fracture line 5d. Model 4, the maximum value of fracture line displacement is 0.091 561 mm, located on the posterior articular surface fracture line



方式对载距突这枚螺钉影响不大。通过对上部螺钉、下部螺钉、整体螺钉的等效力最大值比较发现,在模型三中均明显小于其余各组。因此,跟骨骨折时,上部螺钉交叉,下部螺钉平行固定方式更符合生物力学要求。

### 3.2 各模型的跟骨生物力学分析及临床意义

为了更好地贴合实际,本试验采用UG NX10.0软件对跟骨进行三维角度切割,使其成为后关节面

塌陷的 Sanders II 型骨折,骨折块间采用弹性模量为 5 MPa,泊松比 0.4 的软性均质材料黏合,以此代替骨折线<sup>[12-13]</sup>。结果采用骨折线位移值能更好地体现螺钉不同内固定状态下的骨折端的稳定情况。对 Sanders II 型跟骨模型进行加载后发现位移最大值均位于后关节面下方骨折线处。结果显示,同等条件加载下,骨折线部的位移值在模型三中最小。在跟骨有限元分析法中,衡量一种内固定器械对跟骨的稳定



性,通过测量加载后跟骨的位移值,尤其是骨骼本身最大位移值同样很重要<sup>[14]</sup>。不同内固定方式下跟骨骨折模型的位移最大值均位于跟骨后关节面,这与后关节面下方中央三角区的存在,骨折后局部塌陷,复位后局部骨缺损导致缺乏有力支撑有关系,与临床情况吻合<sup>[15]</sup>。结果表明不同内固定方式下,在同等条件加载下,模型三(即上面 2 枚交叉,下面 2 枚螺钉平行时)跟骨的最大位移值最小,对跟骨整体的稳定性更加,跟骨更稳定。

### 3.3 螺钉的选材

目前在临床上跟骨骨折微创治疗中螺钉选择一般为空心钉、松质骨螺钉、皮质骨螺钉<sup>[16]</sup>。本试验给予单纯螺钉应力应变分析,最大位移值为 0.086 049 mm,位于模型三上面 2 枚螺钉的头端,最大主应力为 123.12 MPa,应力集中于模型二上面螺钉头部。随着中距关节面加载负荷的增大,固定于后关节面的 2 枚螺钉所受的应力同样会逐渐增大,这要求我们选择的螺钉应具有足够的抗应力性<sup>[17]</sup>;材料上,皮质骨螺钉较松质骨螺钉、空心钉抗应力强<sup>[18]</sup>。空心钉具有微创、固定方便的优点,但同时空心钉的使用也会造成骨端加压,引起跟骨的高度,长度丢失<sup>[19]</sup>。结合本试验结果笔者建议螺钉选材上采用皮质骨螺钉。

### 3.4 本研究的不足和展望

有限元分析法为近年来分析骨折内固定疗效的常用方法,相较于动物实验和尸体力学研究具有低成本、可重复的优势。通过多年的临床验证,有限元分析结果可以为临床工作提供理论依据<sup>[20]</sup>。然而有限元分析方法也有其弊端,需对加载对象进行必要的简化<sup>[21]</sup>。然而跟骨本身结构复杂,松质骨内骨小梁排列并不均匀,但是根据需求,都不可避免地将跟骨内部设置为均质来加载计算<sup>[22]</sup>。加之跟骨周围的腱性组织,如跟腱、跖筋膜、韧带、趾短屈肌腱对跟骨的力学影响尚有待于大量的生物力学研究<sup>[23]</sup>。

综上所述,本研究分别对 Sanders II 型跟骨骨折三维模型进行不同方式的螺钉内固定采用有限元优化分析法符合规范,结果客观准确。通过结果显示,跟骨骨折撬拨复位结合螺钉微创治疗时,1 枚螺钉自后关节面下方固定载距突,2 枚螺钉交叉固定后关节面,2 枚螺钉平行固定跟骰关节面的固定方式无论在螺钉最大主应力值、跟骨及骨折线的位移值方面均优于其余各种内固定方式,更符合生物力学要求,为临床跟骨微创治疗提供理论依据,值得基层医院推广。

### 参考文献

- [1] 崔树廷,刘子祯,汤斌,等. 闭合复位内固定与经跗骨窦小切口内固定治疗 Sanders II 型跟骨骨折的疗效比较[J]. 中国骨伤, 2019, 32(5): 448-453.

- [2] 何晓宇,王朝强,周之平. 经皮微创撬拨复位空心钉内固定治疗跟骨骨折疗效分析[J]. 中国骨伤, 2016, 29(5): 421-423. HE XY, WANG CQ, ZHOU ZP. Clinical efficacy of cannulated screw fixation with percutaneous Poking reduction for the treatment of calcaneal fracture[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2016, 29(5): 421-423. Chinese with abstract in English.
- [3] 姚琦,仇永辉,祝孟海,等. 跟骨骨折术后切口并发症的分析及预防策略[J]. 中华创伤骨科杂志, 2015, 17(9): 757-760. YAO Q, QIU YH, ZHU MH, et al. Analysis and prevention strategies of postoperative incision complications of calcaneal fractures [J]. Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi, 2015, 17(9): 757-760. Chinese.
- [4] 范新星,沈彦,谢文龙. 跟骨外侧延长 L 形切口并发症的危险因素分析[J]. 中国骨伤, 2017, 30(4): 339-344. FAN XX, SHEN Y, XIE WL. Risk factors analysis on wound complications after closed calcaneal fracture operation using lateral extensive L-shaped incision [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2017, 30(4): 339-344. Chinese with abstract in English.
- [5] 黄海晶,辛景义. 跟骨骨折固定方式与螺钉应力分布特点[J]. 足踝外科电子杂志, 2014, 1(2): 135-140. HUANG HJ, XIN JY. Characteristics of fixation and screw stress distribution of calcaneus fractures [J]. Zu Huai Wai Ke Dian Zi Za Zhi, 2014, 1(2): 135-140. Chinese.
- [6] 王亮,叶如卿,王猛. 撬拨复位拉力螺钉内固定与小切口复位接骨板内固定治疗跟骨骨折的病例对照研究[J]. 中国骨伤, 2019, 32(4): 27-33. WANG L, YE RQ, WANG M. Case-control study on poking closed reduction cannulated screw fixation and small incision reduction plate fixation for the treatment of calcaneal fractures [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2019, 32(4): 27-33. Chinese with abstract in English.
- [7] 潘明芒,薛锋,唐果,等. 外支架结合有限内固定与钢板治疗跟骨 Sanders II 型骨折的有限元分析[J]. 中华实验外科杂志, 2017, 34(10): 1743-1746. PAN MM, XUE F, TANG G, et al. Finite element analysis of external stent combined with limited internal fixation and plate for the treatment of calcaneus Sanders type II fractures [J]. Zhonghua Shi Yan Wai Ke Za Zhi, 2017, 34(10): 1743-1746. Chinese.
- [8] Shigemitsu R, Yoda N, Ogawa T. Biological-data-based finite-element stress analysis of mandibular bone with implant supported overenture [J]. Comput Biol Med, 2014, (54): 44-52.
- [9] Tsubone T, Toba N, Tomoki U, et al. Prediction of fracture lines of the calcaneus using a three-dimensional finite element model [J]. J Orthop Res, 2018, 37(2): 483-489.
- [10] Zhang BC, Liu HB, Cai XH, et al. Biomechanical comparison of modified TARP technique versus modified goel technique for the treatment of basilar invagination: A finite element analysis [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41(8): E459-E466.
- [11] 郭宗慧,庞清江,刘江涛,等. 载距突螺钉内固定治疗 Sanders II 型跟骨骨折的生物力学研究[J]. 中华骨科杂志, 2013, 33

- (4):331-335.
- GUO ZH, PANG QJ, LIU JT, et al. Biomechanical study of the treatment of Sanders type II calcaneal fracture with internal fixation with transpedicular screw[J]. *Zhonghua Gu Ke Za Zhi*, 2013, 33(4):331-335. Chinese.
- [12] Bujtár P, Simonovics J, Váradi K, et al. The biomechanical aspects of reconstruction for segmental defects of the mandible: a finite element study to assess the optimization of plate and screw factors [J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2014, 42(6):855-862.
- [13] Sanders R, Vaupel Z, Erdogan M, et al. Operative treatment of displaced intra articular calcaneal fractures (DIACFs): Long term (0-20 years) results in 108 fractures using a prognostic CT classification[J]. *J Orthop Trauma*, 2014, 28(10):551-563.
- [14] 倪明, 牛文鑫, 梅炯. 交叉螺钉与钢板内固定治疗 Sander III 型跟骨骨折的有限元分析[J]. *医用生物力学*, 2015, 30(6):501-505.
- NI M, NIU WX, MEI J. Finite element analysis of the treatment of Sander III calcaneal fracture with cross screw and plate internal fixation [J]. *Yi Yong Sheng Wu Li Xue*, 2015, 30(6):501-505. Chinese.
- [15] 彭雄, 邱波. 跟骨外侧 U 形切口结合解剖钢板内固定治疗 Sanders III、IV 型跟骨骨折疗效探讨[J]. *生物骨科材料与临床研究*, 2016, 13(4):25-27.
- PENG X, QIU B. Therapeutic effect of anatomical plate internal fixation combined with anatomical plate fixation for the treatment of Sanders III and IV calcaneal fractures[J]. *Sheng Wu Gu Ke Cai Liao Yu Lin Chuang Yan Jiu*, 2016, 13(4):25-27. Chinese.
- [16] 何凯, 张金花, 杨物鹏, 等. 锁定、解剖钢板固定 Sanders II 跟骨骨折稳定性的有限元分析[J]. *生物骨科材料与临床研究*, 2018, 15(3):1-4.
- HE K, ZHANG JH, YANG WP, et al. Finite element analysis of the stability of Sanders II calcaneal fracture with locking and anatomical plate fixation [J]. *Sheng Wu Gu Ke Cai Liao Yu Lin Chuang Yan Jiu*, 2018, 15(3):1-4. Chinese.
- [17] Guerado E, Bertrand ML, Cano JR. Management of calcaneal fractures: what have we learnt over the years [J]. *Injury*, 2012, 43(10):1640-1650.
- [18] JB Elliot, Gundapaneni D, Goswami T. Finite element analysis of stress and wear characterization in total ankle replacements [J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2014, 34:134-145.
- [19] 黄晟, 沈鹏程, 徐浩, 等. 改良经跗骨窦微创小切口空心钉内固定与传统外侧 L 形切口钢板内固定治疗跟骨骨折[J]. *中国组织工程研究*, 2017, 21(35):5668-5672.
- HUANG W, SHEN PC, XU H, et al. Modified sinus minimally invasive small incision cannulated screw and internal lateral L-shaped incision plate for the treatment of calcaneal fractures [J]. *Zhongguo Zu Zhi Gong Cheng Yan Jiu*, 2017, 21(35):5668-5672. Chinese.
- [20] Toumi H, Larguech G, Cherief M, et al. Implications of the calf musculature and Achilles tendon architectures for understanding the site of injury [J]. *J Biomech*, 2016, 49(7):1180-1185.
- [21] 黄国伟, 姜雪峰, 韦山. 新型跗骨窦钢板内固定治疗 Sanders II 型跟骨骨折的有限元分析[J]. *江苏医药*, 2017, 43(11):781-783.
- HUANG GW, JIANG XF, WEI S. Finite element analysis of new sinus plate internal fixation for Sanders type II calcaneal fracture [J]. *Jiang Su Yi Yao*, 2017, 43(11):781-783. Chinese.
- [22] 沈超, 玉建, 王秀会. 跟骨内翻畸形对踝关节应力变化三维有限元分析[J]. *生物骨科材料与临床研究*, 2018, 15(1):5-7.
- SHEN CY, YU J, WANG XH. Three-dimensional finite element analysis of stress changes in the ankle joint of calcaneus varus deformity [J]. *Sheng Wu Gu Ke Cai Liao Yu Lin Chuang Yan Jiu*, 2018, 15(1):5-7. Chinese.
- [23] 沈超, 周小小, 高峰, 等. 跟骨关节内骨折术后内翻畸形的发生和对后足功能的影响[J]. *实用骨科杂志*, 2016, 22(12):1137-1140.
- SHEN C, ZHOU XX, GAO F, et al. The occurrence of varus deformity and the effect on hindfoot function after intra-articular calcaneal fractures [J]. *Shi Yong Gu Ke Za Zhi*, 2016, 22(12):1137-1140. Chinese.

(收稿日期:2019-11-30 本文编辑:李宜)