

·股骨骨折·

两种髓内钉固定A3.1粗隆间骨折的有限元分析： 增强型PFNA与InterTan

张乾龙¹ 王继荣⁴ 宋晨辉^{2,3} 刘修信^{2,3} 任政^{2,3} 刘宇哲^{2,3} 阿里木江·玉素甫^{2,3} 覃祺^{2,3} 冉建^{2,3}

【摘要】 目的 模拟增强型PFNA和联合加压交锁髓内钉Intertan治疗骨质疏松老年反粗隆间骨折的生物力学性能并比较其优劣。方法 采用有限元分析法分别建立增强型PFNA和Intertan固定股骨粗隆间骨折(AO分型31~A3.1型)模型,比较2种模型内植物与股骨的总应力分布、应力峰值及位移。结果 两组内固定等效应力均主要分布与主钉内侧,增强型PFNA组最大等效应力位于主钉与远端螺钉交界处,为192.76 Mpa,Intertan组最大等效应力位于联合交锁钉与拉力螺钉交界处,为395.87; (2)增强型PFNA组与Intertan组均发生了不同程度的位移,最大位置均位于股骨头,并逐渐向远端见效,两股骨头处的位移峰值分别为:增强型PFNA组:4.562 mm,Intertan组:4.68 mm。结论 两组内固定物的最大等效应力均位于髓内钉上,并远大于股骨上承担的应力,说明在两组内固定对于股骨粗隆间骨折均是有效的,在术后早期内固定物承担最大的应力,缓解了股骨上的应力,有利于骨折愈合,但增强型PFNA组的最大等效应力较小,相对Intertan组更加稳定,减少了出现内固定失效的风险。使用增强型PFNA固定时,股骨承担的应力更小,能起到更好的支撑作用。因此增强型PFNA是老年骨质疏松性反粗隆间骨折的更佳选择。

【关键词】 骨折; 有限元分析; 骨水泥; 增强型PFNA; Intertan

Finite Element Analysis of Two Kinds of Intramedullary Nails Fixing A3.1 Intertrochanteric Fracture: Enhanced PFNA and Intertan Zhang Qianlong¹, Wang Jirong⁴, Song Chenhui^{2,3}, Liu Xiuxin^{2,3}, Ren Zheng^{2,3}, Liu Yuzhe^{2,3}, Alimujiang Yusufu^{2,3}, Qin Qi^{2,3}, Ran Jian^{2,3}. ¹Department of Joint Surgery, Zhengzhou Orthopedic Hospital Affiliated to Henan University, Zhengzhou 450000, China; ²Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, China; ³Department of Trauma Orthopedics, Sixth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830002, China; ⁴Department of Orthopedics, The 951st Hospital of the PLA Army, Korla 841000, China
Corresponding author: Ran Jian, Email: 172962217@qq.com

【Abstract】 **Objective** To simulate the biomechanical properties of enhanced PFNA and compression interlocking intramedullary nail Intertan in the treatment of elderly anti-trochanteric fractures with osteoporosis. **Methods** Three-dimensional finite element method was used to establish the model of enhanced PFNA and Intertan fixation for intertrochanteric fracture (AO classification 3.1). The total stress distribution, peak stress and displacement of the two models were compared. **Results** The equivalent stress of internal fixation in both groups was mainly distributed on the medial side of the main screw. The maximum equivalent stress in the enhanced PFNA group was located at the junction of the main screw and the distal screw, which was 192.76 Mpa, while the maximum equivalent stress in the Intertan group was located at the junction of the oblique screw and the lag screw, which was 395.87; (2) Both the enhanced PFNA group and the Intertan group had different degrees of displacement. The maximum position was located in the femoral head and gradually took effect to the distal end. The peak displacement of the two femoral heads was 4.562 mm in the enhanced PFNA group and 4.68 mm in the Intertan group. **Conclusions** The maximum equivalent stress of the internal fixation in both groups is located on the intramedullary nail, and is far greater than the

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-0263.2023.04.003

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2021D01C454)

作者单位:450000 郑州,河南大学附属郑州市骨科医院关节外科¹; 830054 乌鲁木齐,新疆医科大学²; 830002 乌鲁木齐,新疆医科大学第六附属医院创伤骨科³; 841000 库尔勒,解放军陆军第951医院骨科⁴

通信作者:冉建, Email: 172962217@qq.com

stress borne on the femur, which indicates that the internal fixation in both groups is effective for the intertrochanteric fracture of the femur. In the early postoperative period, the internal fixation bears the maximum stress, relieves the stress on the femur, and is conducive to fracture healing. However, the maximum equivalent stress in the enhanced PFNA group is smaller, which is more stable than that in the Intertan group. The risk of internal fixation failure is reduced. When using enhanced PFNA fixation, the femur bears less stress and can play a better supporting role. Therefore, enhanced PFNA is a better choice for senile osteoporotic intertrochanteric fracture.

【Key words】 Fractures; Finite element analysis; Bone cement; Enhanced PFNA; Intertan

髋部骨折是老年人最常见的四肢骨折之一,又称为“人生中的最后一次骨折”^[1]。其中股骨粗隆间骨折(intertrochanteric fracture of femur, IFF)是髋部骨折中最为常见的一种骨折,发病率各个研究不尽相同,但大致均占髋部骨折的50%左右^[2,3],发病年龄较股骨颈骨折更大^[4],与骨质疏松关系更为密切。骨质疏松症是老年人群的常见病,且呈持续上升趋势。在中国伴随着人口老龄化,骨质疏松患者越来越多。2000年我国60岁以上的人群中骨质疏松症的发病率接近四分之一,预计在2025年将增至人口总数的近七分之一^[5]。

髓内固定具备创伤小、符合人体生物力学、内植物并发症少、手术时间短等优势^[6]。累及粗隆的骨折属于囊外骨折,并且发生在血供较好的干骺端,一般不会给股骨头的血供造成威胁,故IFF的首选手术方式,尤其是伴有骨质疏松的不稳定型骨折已逐渐转变为髓内固定^[4,7,8]。据报道,在2007至2017年11年间,美国有92.4%的IFF使用髓内钉固定^[9]。根据美国骨科医师协会2015年髋部骨折指南,建议将髓内钉作为治疗不稳定IFF的首选^[10]。其中股骨近端防旋髓内钉(proximal femoral nail anti-rotation, PFNA)是临床上最常用的髓内钉方式,PFNA在旋转控制的刀片插入过程中通过小梁骨的压实具有良好的锚固作用,并且无需过度钻孔,有效保留松质骨,但不稳定骨折的机械并发症发生率仍高达16%,主要与内翻塌陷、旋转和股骨头螺旋刀片切割有关。因此有学者研究认为增强型股PFNA较单纯螺旋刀片在骨质疏松性骨折中具有更好的生物力学效果^[11-13],是减少穿出与切出的有效途径。骨水泥增强型PFNA同时结合了两种材料的优点,是解决PFNA出现切割的有效办法。Schuetze等^[14]的临床研究表明,增强PFNA刀片是一种安全的方法,水泥填充不会增加术后并发症或死亡率。螺旋刀片周围设计为中空,头端或螺旋刀片周围多孔设计,不断旋转螺旋刀片并缓慢使用注射器推注适宜的骨水泥,使骨水泥均匀分布在带孔螺旋刀片的周围或所需薄弱部位,

术中多次透视确保骨水泥位置正确,分布均匀。另一种解决骨质疏松性反股骨粗隆间骨折内固定失效问题的内固定方式是股骨近端联合拉力交锁髓内钉(interlocking intramedullary nail for proximal femur, Intertan),在植入时使用额外的加压螺钉在骨折间隙提供骨折块间的加压^[15]。InterTan是Smith-Nephew公司设计的一款双钉髓内钉系统,其最大特点是股骨头内有两枚头髓钉,并且可以相互锁定,能够有效避免发生“Z”字效应。Liu等^[16]的meta分析表明,在治疗不稳定股骨粗隆间骨折时,Intertan髓内钉的临床表现优于PFNA。股骨反粗隆间骨折主要是指自股骨小粗隆近端斜向外下处的骨折,按Evans分型属于V型骨折,由于该类骨折的骨折线走行与大多数骨折类型相反,股骨距被破坏,骨折远端受内收肌牵拉导致骨折不稳定。由于发病率较低,因此国内外对于股骨反粗隆间骨折研究较少,故本研究致力于利用有限元分析比较增强型PFNA和联合加压交锁髓内钉Intertan治疗伴有骨质疏松的反粗隆间骨折的生物力学性能及其优劣。

资料和方法

一、设计

3D有限元分析实验。首先收集一名健康成年女性双下肢全长CT扫描数据,将该股骨CT数据通过mimics软件提取并建立股骨三维模型。在Geomagic Studio软件中进行模型优化,使用Solidworks软件,以股骨粗隆间骨折A3.1为模版对右侧股骨进行简化分割,模拟出反股骨粗隆间骨折,并根据患者股骨髓腔大小和厂家提供的内固定尺寸数据画出适合志愿者的内固定模型,按照手术过程植入模拟的内固定模型于反股骨粗隆间模型中,最后使用ANSYS 2021 R1软件进行网格划分、建立接触、材料赋值和数据计算等步骤,得出两种髓内钉固定模型和股骨的位移及应力分布云图及应力峰值有何差异。

二、时间及地点

于2022年7月至2023年1月在新疆医科大学第六临床医学院(第六附属医院)骨科与生物力学实验室完成。

三、材料

股骨CT数据 选择20岁健康女性志愿者1名,身高170 cm,体质量60 kg,志愿者未合并器官衰竭、无多发伤和复合伤,采用GE64排螺旋CT,双下肢全长进行扫描,每层0.6 mm,得到二维横断图像,以Dicom格式保存CT资料。研究方案经新疆医科大学第六临床医学院伦理委员会批准,批准号:LFYLLSC20221215-01,志愿者对测试过程及用途知情同意,同时签署了知情同意书。

四、前处理建模过程

1.将成人下肢全长CT导入至mimics,利用3D

bone 功能分离出骨盆、股骨、髌骨、胫腓骨(见图1)。

2.抑制除股骨外的其他骨,保留股骨,并做蒙罩、包裹、光滑等步骤初步建立三维模型等处理,保存为STL格式(见图2)。

3.导入Geomagic Studio,在Geomagic Studio中打开,将得到的股骨三维模型资料(见图3)。

4.进行优化处理,通过光滑、删除钉状物、磨砂、网格医生评价,无不良表面后重画网格、精确曲面、自动曲面化、拟合曲面得到股骨皮质,复制形成另一个股骨模型,转换为多边形,向内偏倚整体3.64 mm^[17],再通过上述步骤得到股骨松质三维模型,保存为.stp格式。

5.分别将皮质骨和松质骨导入至Solidworks(见图4~5)

6.建立反股骨粗隆间骨折(AO分型31A3.1):基

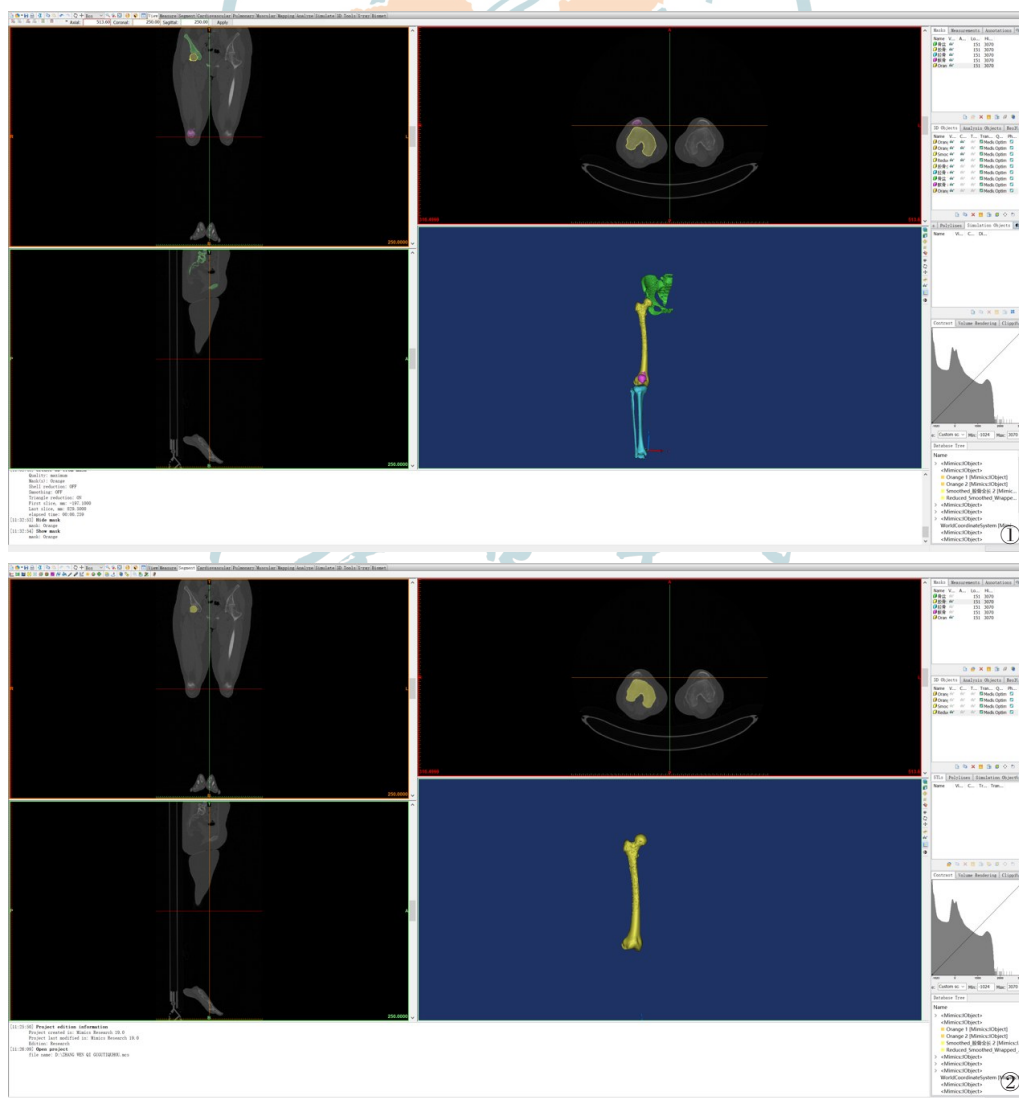


图1 在mimics中分离出右侧下肢骨示意图 图2 抑制除股骨以外的其他骨,保留股骨示意图

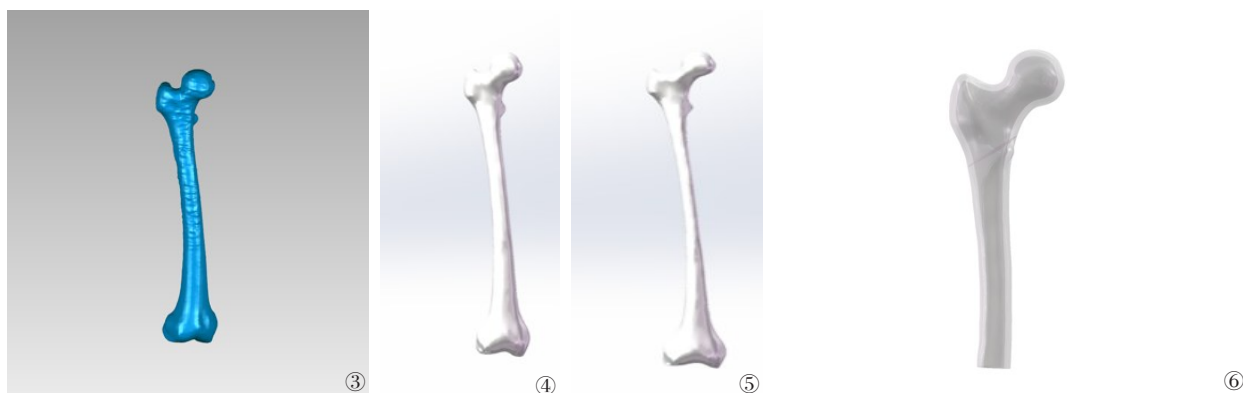


图3 导入至 Geomagic 中股骨示意图 图4~5 导入至 Solidworks 后的皮质骨(图4)与松质骨(图5) 图6 反股骨粗隆间骨折示意图

于股骨的某一个点建立一个平行于此平面基准面,以粗隆间骨折 A3.1 为模版,建立一条直线与股骨干约呈 45 度,且骨折线外侧在大转子下方,内侧位于小转子上方,利用分割命令把股骨分为股骨头皮质/松质和股骨干皮质/松质四部分。为了减少计算量,同理利用此方法切除股骨远端,为保持两模型一致,两组髓内钉方式均利用此模型进行(见图6)。

7.构建增强型 PFNA:主钉长度 200 mm,近端直径 15.25 mm,远端直径 10 mm,外翻角 4 度,螺旋刀片直径 10 mm,长度 100 mm,颈干角 130 度,远端螺钉直径为 5 mm,长度 30 mm,骨水泥含量为 5 ml,将两种不同的内固定模型分别装配至 A3.1 骨折模型中,确定尖顶距 ≤ 25 mm^[17](见图7~12),保存为 X_T 格式。

8.构建 Intertan:在 SolidWorks 中按照医疗器械 Smith-Nephew 公司股骨近端防旋髓内钉及参数构建股骨近端防旋髓内钉三维模型并装配组件,其中主钉为短钉长 200 mm、近端直径 15.25 mm、远端直径 10 mm,颈干角 130°,外翻角 4 度,联合交锁钉:直径 11 mm,长度 100 mm,转子下拉力螺钉:近端直径 7.8 mm,远端直径 7 mm,长度 90 mm,两枚钉联合后直径 15.25 mm,远端螺钉直径 5 mm,长度 30 mm,确定尖顶距 ≤ 25 mm(见图13~19)。

五、导入模型

1.在 ansys 2021 软件中选择静态结构,并导入装配后的 3D 模型。

2.编辑工程数据:根据文献记载将各个模型的弹性模量、泊松比、密度输入至工程数据中(见表1),所有内植物均指定为钛合金(Ti-6AL-7Nb),骨质疏松骨设置为正常骨的 66%。

3.去除干涉:SpaceClaim 中进行去除内固定与

股骨之间的干涉。

4.建立坐标系:以股骨干为纵轴,设置垂直于股骨干的坐标系(见图20)。

5.约束及加载:由于患者为 60 Kg,模拟患者术后负重步行为体重的两倍^[18](见图21),因此根据已建立好的坐标系,沿 X 轴施加 1 200 N 力,将股骨有限元模型其远端的 XYZ 轴自由度设置为 0(见图22),防止出现刚体位移。

6.建立接触:各部件相互作用设置骨折之间摩擦系数为 0.46,骨与内固定、内固定相互之间骨水泥与内固定之间设置为绑定。

7.网格划分:假定皮质骨及松质骨为均质、各项同性、线弹性材料;对模型进行四面体网格划分网格大小为 1 mm,划分结果见(表2)。

结果

一、股骨位移分布及位移峰值

在体重的载荷之下,增强型 PFNA 组与 Intertan 组均发生了不同程度的位移,最大位置均位于股骨头,模型的位移分布云图数据显示,两股骨头处的位移峰值分别为:增强型 PFNA 组:4.562 mm(见图23),Intertan 组:4.83mm(见图24)。

二、股骨应力分布及应力峰值

两组模型的股骨等效应力主要分布股骨皮质内侧,符合既往股骨生物力学实验分布,最大等效应力均位于骨折线周围,增强型 PFNA 组最大等效应力为 80.92 Mpa(见图25),Intertan 组的为 90.976 Mpa(见图26)。

三、股骨最大剪切应力分布及应力峰值

两组模型的股骨最大剪切应力均位于股骨干皮

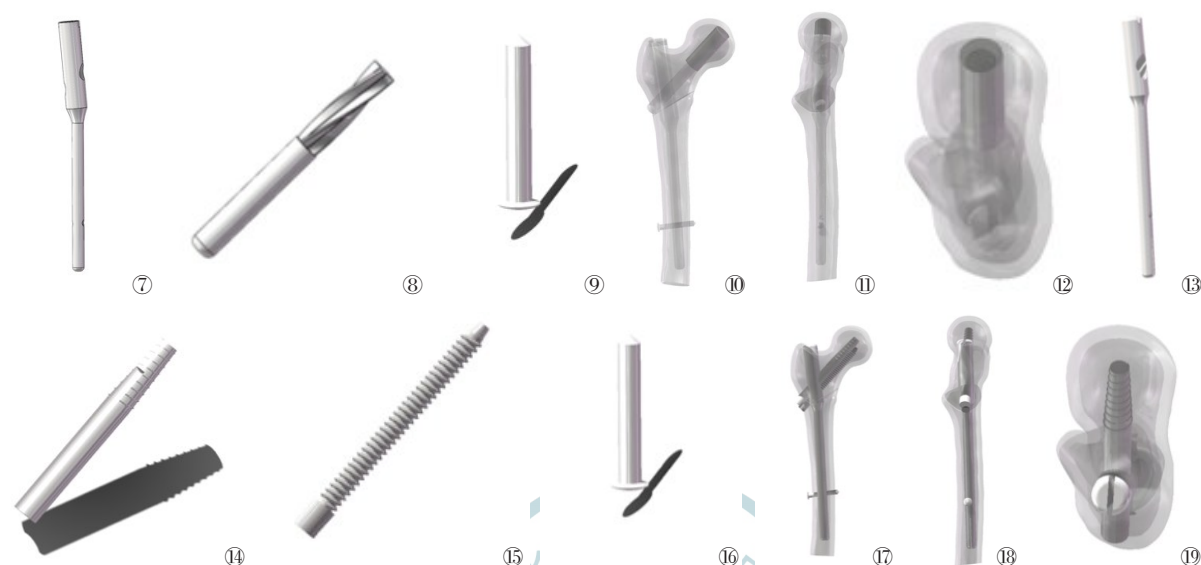


图7~9 PFNA零件示意图。图7 主钉;图8 螺旋刀片;图9 远端螺钉 图10~12 增强型PFNA装配后示意图。图10 正位;图11 侧位;图12 轴位 图13~16 Intertan零件示意图。图13 主钉;图14 联合交锁钉;图15 拉力螺钉;图16 远端螺钉 图17~19 Intertan装配后示意图。图17 正位;图18 侧位;图19 轴位

表1 模型材料属性

项目	皮质骨 ^[18]	松质骨 ^[18]	髓内钉 ^[19]	骨水泥 ^[20]
表观密度(g/cm ³)	1.8	0.2	4.43	1.18
杨氏模量(Mpa)	16700	157	110000	220000
泊松比	0.3	0.3	0.35	0.2

质,主要分布于骨折线周围,增强型PFNA组股骨剪切应力为17.999 Mpa(见图27),Intertan组的为35.634 Mpa(见图28)。

四、髓内钉位移分布及位移峰值

两组髓内钉位移分布均呈现出近端最大,并向远端逐渐减小。其中两组顶端位移的最大值分别为增强型PFNA组4.4127 mm(见图29),Intertan组4.4546 mm(见图30)。

五、髓内钉应力分布及位移峰值

两组内固定等效应力均主要分布与主钉内侧,增强型PFNA组最大等效应力位于主钉与远端螺钉交界处,为192.76 Mpa(见图31),Intertan组最大等效应力位于联合交锁钉与拉力螺钉交界处,为395.87 Mpa(见图32)。增强型PFNA组的最大等效应力较小,相对Intertan组更加稳定,减少了出现内

固定失效的风险。

六、拉力螺钉应力分布与应力峰值

增强型PFNA组螺旋刀片最大应力位于螺旋刀片与柄交界处(168.4 Mpa)(见图33),并且从应力分布可以看出骨水泥降低了螺旋刀片周围的应力,Intertan组的联合交锁钉最大应力位于与拉力螺钉交界处(395.87 Mpa)(见图34),螺旋刀片相对有更小的内固定应力,更不易出现断钉的状况。

七、主钉应力分布及应力峰值

两种模型主钉应力均集中于主钉内侧,可能与受力方向有关,应力峰值均位于与远端螺钉交界处,同时也是PFNA组的整体应力峰值,其峰值分别为PFNA组192.76 Mpa(见图35),Intertan组175.71 Mpa(见图36)。Intertan组的主钉相对有较小的等效应力,更不易出现断钉的状况。

八、骨水泥与拉力螺钉应力分布及应力峰值

骨水泥与拉力螺钉在两组内固定中起着相似的作用,均是为了加强两组主钉与联合交锁钉之间的抗旋转和抗拉力的作用,骨水泥的最大应力位于与螺旋刀片接触处为89.957 Mpa(见图37),拉力螺钉的最大应力位于螺纹尾端为363.7 Mpa(见图38),

表2 模型单元节点数

Intertan	皮质	松质	髓内钉	增强型PFNA	皮质	松质	髓内钉	骨水泥
节点	1065284	540135	285243	节点	966711	497936	247321	74908
单元	710934	349165	180678	单元	511080	326683	160409	48535

两组比较来看,骨水泥固定有更小的应力,更不易出现断裂失效的状况。

九、远端螺钉应力分布及应力峰值

两种模型远端螺钉应力峰值均集中于钉体周围,其中最大应力位于与主钉接触区;其等效应力峰值分别为:增强型PFNA组 68.53 Mpa(见图39),Intertan组 87.706 Mpa(见图40),增强型PFNA组的远端螺钉有着更小的内固定应力,更不易出现断钉的状况。

从统计表(见图41~42)和应力、位移云图可以看出,两组内固定物的最大等效应力均位于髓内钉上,并远大于股骨上承担的应力,说明两组内固定对于股骨粗隆间骨折均是有效的,在术后早期内固定物承担较大的应力,有利于骨折愈合,但增强型PFNA组的最大等效应力较小,相对Intertan组更加稳定,减少了出现内固定失效的风险。使用增强型PFNA固定时,股骨承担的应力更小,能起到更好的支撑作用。内固定位移的大小直接影响着骨折可否

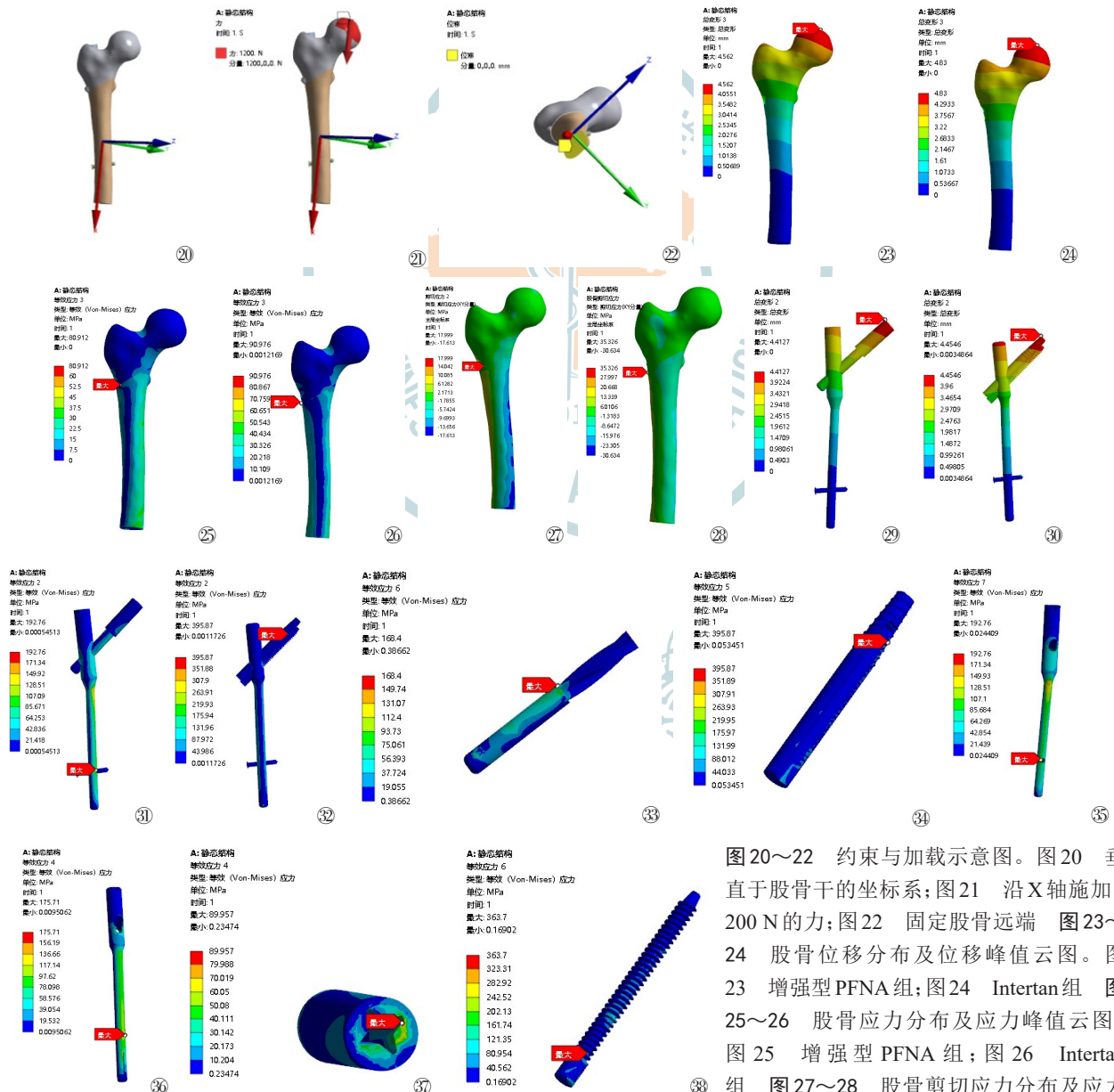


图20~22 约束与加载示意图。图20 垂直于股骨干的坐标系;图21 沿X轴施加1 200 N的力;图22 固定股骨远端 图23~24 股骨位移分布及位移峰值云图。图23 增强型PFNA组;图24 Intertan组 图25~26 股骨应力分布及应力峰值云图。图25 增强型PFNA组;图26 Intertan组 图27~28 股骨剪切应力分布及应力峰值云图。图27 增强型PFNA组;图28 Intertan组 图29~30 内固定位移分布及位移峰值云图。图29 增强型PFNA组;图30 Intertan组 图31~32 内固定应力分布及应力峰值云图。图31 增强型PFNA组;图32 Intertan组 图33~34 螺旋刀片与联合交锁钉应力分布及应力峰值云图。图33 增强型PFNA组;图34 Intertan组 图35~36 主钉应力分布及应力峰值云图。图35 增强型PFNA组;图36 Intertan组 图37~38 骨水泥与拉力螺钉应力分布及应力峰值云图。图37 增强型PFNA组;图38 Intertan组

28 Intertan组 图29~30 内固定位移分布及位移峰值云图。图29 增强型PFNA组;图30 Intertan组 图31~32 内固定应力分布及应力峰值云图。图31 增强型PFNA组;图32 Intertan组 图33~34 螺旋刀片与联合交锁钉应力分布及应力峰值云图。图33 增强型PFNA组;图34 Intertan组 图35~36 主钉应力分布及应力峰值云图。图35 增强型PFNA组;图36 Intertan组 图37~38 骨水泥与拉力螺钉应力分布及应力峰值云图。图37 增强型PFNA组;图38 Intertan组

稳定固定,可见增强型PFNA组的内固定位移相对较小,有着更好的稳定性,降低了发生髓内翻和二次翻修的可能性。因此增强型PFNA无论在股骨和内固定的应力和位移方面均优于Intertan,是老年骨质疏松性粗隆间骨折的更佳选择。

讨 论

随着老年骨质疏松性 IFF 发生数量逐年上升,内固定类型不断更新,以及患者对生活质量要求的逐渐提升,反股骨粗隆间骨折的手术方法和内固定材料的选择仍存在诸多争议。聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥价格相对较低、生物力学强度高,但也存在生物相容性差、产热量大和不可降解等缺点^[21]。PFNA 具有学习周期短,手术时间短等优势,螺旋刀片设计的缺点是其对限制术中压缩的拉出力的阻力相当低,因此不可避免的在骨质疏松的老年人中出现切割、退钉等^[22]效应,对患者造成难以挽回的损失。骨水泥增强型 PFNA 同时结合了两种材料的优点,是解决 PFNA 出现切割的有效办法^[23]。Schuetze 等^[14]的临床研究表明,增强型 PFNA 是一种安全的方法,骨水泥填充不会增加术后并发症或死亡率。手术方法:螺旋刀片周围设计为中空,头端或螺旋刀片周围多孔设计,不断旋转螺旋刀片并缓慢使用注射器推注适宜的骨水泥,使骨水泥均匀分布在带孔螺旋刀片的周围或所需薄弱部位,术中多次透视确保骨水泥位置正确,分布均匀。然而,也有报道可能出现并

发症,如骨水泥渗漏到髋关节;因此,只有在确认没有导丝穿透股骨头后才能应用该技术。在注射骨水泥之前,应按照之前的建议进行标准的渗漏试验^[24]。

Intertan 组合钉的钉道横断面类似于椭圆形,具有更强的抗旋转和抗拔出作用,但对于严重骨质疏松患者,不建议限制组合螺钉的滑动,否则可能出现内固定切出风险^[25],并且 Intertan 的双钉不适用于股骨颈较细的患者。其最大特点是股骨头内有相互锁定的两枚头髓钉,可对骨折端进行线性、可控性加压,有利于骨折端的复位、加压,并且可以相互锁定抗旋转,能够有效避免发生“Z”及“V”字效应^[26-27]。Liu 等^[16]对包括 681 例植入 PFNA 患者和 651 例植入 InterTan 钉患者相关临床指标的分析表明,与 PFNA 相比,InterTan 治疗后出现螺钉移位、切出、股骨头内翻塌陷、股骨干骨折等并发症显著减少。然而,这两组之间,在尖端距离和大腿或髋部疼痛方面没有观察到显著差异。Onggo 等^[28]的 meta 分析表明与单头髓钉结构相比,一体化双头髓内钉具有更少的翻修和并发症。然而,没有足够的证据表明其中一种内固定结构与术后整体功能结果相关。

本研究为了防止出现应力奇异,因此对股骨表面进行了光滑处理,可能会与力学实验和临床结果稍有差异。本研究为了更加直观的观察结果,因此去除了肌肉对力的影响。本研究采用单一类型的骨折,对其他类型骨折不具有普适性,随着科技的发展及个性化定制治疗的风靡,我们可以在模拟患者的骨折类型的基础上,用软件复位,使用不同类型的

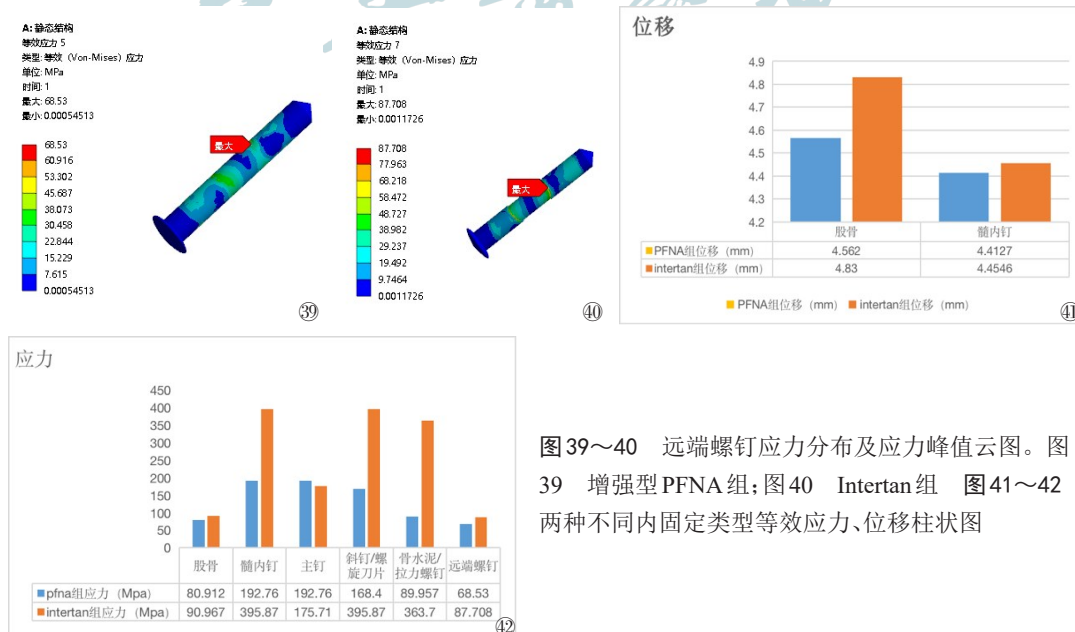


图39~40 远端螺钉应力分布及应力峰值云图。图39 增强型PFNA组;图40 Intertan组 图41~42 两种不同内固定类型等效应力、位移柱状图

内固定方式,比较应力和位移情况,可以更好的指导患者术后功能锻炼。实际的骨水泥注入后,应该是根据骨小梁的形态进行分布,但本研究为了使骨水泥精确至5 ml,模拟为规则的圆柱体,可能较临床实际有所偏差,股骨头受到来自不同方向的力,但本次仅模拟施加了对股骨头的垂直应力,如果加上对股骨近端的旋转应力及各个肌肉的牵拉力,结果可能更加准确。

本研究创造性的比较了一直困扰广大骨科医务工作者的增强型PFNA与双钉系统的优劣。利用有限元分析法模拟骨水泥增强型单头髓钉与双头髓钉之间的差异,为临床医师作出更好的选择提供依据。结果表明,两种髓内钉均可用于反股骨粗隆间骨折,但对于老年骨质疏松的反粗隆间骨折更适合使用增强型PFNA,但这毕竟仅只是模拟,后期还需要大量的临床及生物力学进行验证。

本研究表明,对于反粗隆间骨折,两种模型最大应力均出现在内固定上,而且均未超过钛合金的屈服强度,说明两种内固定方式均是可靠、有效的,均可用于老年骨质疏松性反股骨粗隆间骨折,相对来说增强型PFNA组的最大应力出现在主钉上,较Intertan组大,除此之外,其余各部位的应力和位移均小于Intertan组,说明增强型PFNA组出现髓内翻与内固定断裂的可能性较小,这与Pastor等^[24]的生物力学研究结果一致。越来越多的证据表明早期活动在髋部骨折术后的重要性,因此本实验对两种髓内钉装置系统的强度进行了验证,可使医生指导患者术后早起负重时间缩短。早期活动会减少因制动导致的术后并发症,并对老年患者的下肢功能恢复产生积极影响,

随着科技的发展及个性化定制手术的风靡,我们可以在模拟患者骨折类型的基础上,使用软件复位,使用不同类型的内固定方式比较位移及应力,进行个性化评估哪种内固定方式更适用于此患者。进一步通过拓扑优化对内固定材料进行改良,设计出更加适用于骨质疏松患者的内固定方式。

参 考 文 献

- Parker M, Johansen A. Hip fracture [J]. BMJ, 2006, 333(7557): 27-30.
- Law GW, Wong YR, Gardner A, et al. Intramedullary nailing confers an increased risk of medial migration compared to dynamic hip screw fixation in unstable intertrochanteric hip fractures [J]. Injury, 2021, 52(11): 3440-3445.
- Ze Zhang, Yudian Qiu, Yawen Zhang, et al. Global Trends in Intertrochanteric Hip Fracture Research From 2001 to 2020: A Bibliometric and Visualized Study [J]. Front Surg, 2021, 8(12): 756614.
- Chang SM, Hou ZY, Hu SJ, et al. Intertrochanteric femur fracture treatment in Asia: what we know and what the world can learn [J]. Orthopedic Clinics of North America, 2020, 51(2): 189-205.
- 朱燕宾, 陈伟, 叶丹丹, 等. 股骨近端N三角理论及股骨近端防旋髓内钉(PFNB)的设计理念 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2021, 07(5): 257-259.
- Ftouni S, Morga A, Swift C, et al. Management of hip fracture in adults: summary of Nice guidance [J]. BMJ, 2011, 342: d3304.
- Niu E, Yang A, Harris AH, et al. Which fixation device is preferred for surgical treatment of intertrochanteric hip fractures in the United States? a survey of orthopaedic surgeons [J]. Clin Orthop Relat Res, 2015, 473(11): 3647-3655.
- Palm H. Hip Fracture: The Choice of Surgery [M]//FALASCHI P, MARSH D. Orthogeriatrics: The Management of Older Patients with Fragility Fractures. Cham (CH). 2021: 125-141.
- Smith L, Albersheim M, Blaschke BL, et al. Trend and economic implications of implant selection in the treatment of intertrochanteric hip fractures: a review of the American board of orthopaedic surgery database from 2007 to 2017 [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2021, 29(18): 789-795.
- Roberts KC, Brox WT, Jevsevar DS, et al. Management of hip fractures in the elderly [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2015, 23(2): 131-137.
- 钱玉, 史航, 朱爱祥, 等. 普通型与骨水泥强化型股骨近端防旋髓内钉治疗老年股骨粗隆间骨折的对比研究 [J]. 东南大学学报:医学版, 2021, 40(2): 189-194.
- 田智勇, 陈洪强, 戴科晶, 等. 股骨近端防旋髓内钉骨水泥增强固定治疗老年股骨转子间骨折的疗效分析 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2021, 23(6): 539-542.
- 黄培镇, 陈心敏, 郑利钦, 等. 骨水泥增强股骨近端防旋髓内钉治疗高龄不稳定型股骨转子间骨折的有限元分析 [J]. 天津医药, 2020, 48(5): 385-390, 后插2.
- Schuetze K, Ehinger S, Eickhoff A, et al. Cement augmentation of the proximal femur nail antirotation: is it safe? [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2021, 141(5): 803-811.
- Serrano R, Blair JA, Watson DT, et al. Cephalomedullary nail fixation of intertrochanteric femur fractures: are two proximal screws better than one? [J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(11): 577-582.
- Liu W, Liu J, Ji GR. Comparison of clinical outcomes with proximal femoral nail anti-rotation versus InterTAN nail for intertrochanteric femoral fractures: a meta-analysis [J]. J Orthop Surg Res, 2020, 15(1): 500.
- Geller JA, Saifi C, Morrison TA, et al. Tip-apex distance of intramedullary devices as a predictor of cut-out failure in the treatment of peritrochanteric elderly hip fractures [J]. Int Orthop, 2010, 34(5): 719-722.
- Wang J, Ma JX, Lu B, et al. Comparative finite element analysis of three implants fixing stable and unstable subtrochanteric femoral fractures: Proximal Femoral Nail Antirotation (PFNA), Proximal Femoral Locking Plate (PFLP), and Reverse Less Invasive Stabilization System (LISS) [J]. Orthop Trauma Surg Res, 2020, 106(1): 95-101.
- 陈健, 马剑雄, 卢斌, 等. 解剖髓内钉ZNN、髓内钉Gamma3和联合加压交锁髓内钉InterTan置入内固定治疗老年反转子间骨折的生物力学特点 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(27): 4271-4276.

- 20 Dhanopia A, Bhargava M. Finite element analysis of human fractured femur bone implantation with PMMA thermoplastic prosthetic plate [J]. *Procedia Engineering*, 2017, 173: 1658-1665.
- 21 陈心敏, 李文标, 熊凯凯, 等. 钉道强化股骨近端防旋髓内钉治疗老年A3.3型股骨转子间骨折:最佳骨水泥量有限元分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2021, 25(9): 1404-1409.
- 22 Sermon A, Zderic I, Khatchadourian R, et al. Bone cement augmentation of femoral nail head elements increases their cut-out resistance in poor bone quality- A biomechanical study [J]. *J Biomech*, 2021, 118(110301).
- 23 Christian Kammerlander, Daniel Pfeufer, Leonard Adolf Lisitano, et al. Inability of older adult patients with hip fracture to maintain postoperative Weight-Bearing restrictions [J]. *J Bone Joint Surg*, 2018, 100(11): 936-941.
- 24 Pastor T, Zderic I, Gehweiler D, et al. Biomechanical analysis of recently released cephalomedullary nails for trochanteric femoral fracture fixation in a human cadaveric model [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2022, 142(12): 3787-3796.
- 25 杨路德, 殷勇, 吴晓波, 等. 动力髋螺钉及InterTan治疗老年人股骨转子间骨折临床疗效对比 [J]. *中国临床医学*, 2017, 24(06): 987-990.
- 26 丛波, 张仲文, 韩龙, 等. 外固定支架与Intertan髓内钉治疗老年股骨转子间骨折的疗效分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2016, 24(22): 2058-2061.
- 27 Eceviz E, Cevik HB. The V-effect in fixation of intertrochanteric fractures with proximal femoral nails [J]. *Orthop Trauma Surg Res*, 2021, 107(3): 102863.
- 28 Onggo JR, Nambiar M, Onggo JD, et al. Integrated dual lag screws versus single lag screw cephalomedullary nail constructs: a meta-analysis and systematic review [J]. *Hip Int*, 2022, 32(4): 550-557.
- (收稿日期: 2023-03-09)
(本文编辑: 吕红芝)

张乾龙, 王继荣, 宋晨辉, 等. 两种髓内钉固定A3.1粗隆间骨折的有限元分析: 增强型PFNA与InterTan [J/CD]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2023, 9(4): 209-217.

