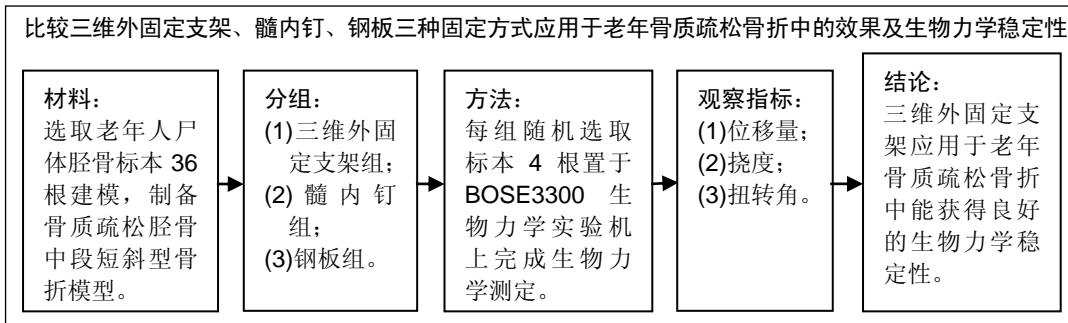


三维外固定支架应用于老年骨质疏松骨折的早期生物力学稳定性

刘瑶¹, 黄跃¹, 刘勇², 罗玉茹³, 罗婧³, 鞠梅³ (¹西南医科大学口腔医学院, 四川省泸州市 646000; ³西南医科大学附属中医医院骨伤科, 四川省泸州市 646000; ³西南医科大学护理学院, 四川省泸州市 646000)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.1005 ORCID: 0000-0002-9641-5168(刘瑶)

文章快速阅读:



刘瑶, 1990 年生, 西南医科大学附属口腔医院护理部干事, 在读硕士, 护师, 主要从事老年骨科护理、口腔护理研究。

通讯作者: 鞠梅, 教授, 西南医科大学护理学院, 四川省泸州市 646000

中图分类号: R459.9

文献标识码: A

稿件接受: 2018-09-06



文题释义:

骨质疏松骨折: 低能量或非暴力骨折, 亦称“脆性骨折”, 是指在日常生活中, 未受到明显外力或受到通常不会引起骨折外力而发生的骨折。

三维外固定支架: 三维外固定支架固定是一种微创治疗方法, 不仅能减少创伤, 还能避免血供破坏, 缩短手术时间, 利于患者术后早期康复锻炼, 能为骨折愈合奠定基础。主要原理是利用骨端区域可调节的自攻半针位置和角度实施加压和延长三维外固定设计, 每个与骨折干平行的面均呈三角形, 既符合力学稳定规律, 增强固定稳定性, 又避免了与骨面直接, 减少对骨膜施压, 从而最大限度保存骨膜血供系统, 有效确保骨髓血供。

摘要

背景: 三维外固定支架材质及构架经过有效的改良后能获得良好的治疗效果, 再加上该固定方法具有微创性, 有望成为老年骨质疏松骨折的有效固定方法, 但是对于其固定应用后生物力学稳定性研究较少。

目的: 探讨三维外固定支架在老年骨质疏松骨折患者中的应用效果及生物力学稳定性, 为老年骨质疏松骨折提供治疗依据。

方法: 2017 年 6 月至 2018 年 6 月选择老年尸体胫骨标本 36 根作为实验对象, 经 18%EDTA 脱钙法建立胫骨标本骨质疏松模型后制备胫骨中段短斜型骨折模型, 并随机分为 3 组($n=12$), 分别给予钢板(钢板组)、髓内钉(髓内钉组)、三维外固定支架(三维外固定支架组)进行骨折固定。每组随机取 4 根标本放置在 BOSE3300 生物力学实验机上完成抗压压缩力学、抗弯曲力学及抗扭转力学测定, 比较不同固定方法的生物力学性能。

结果与结论: ①轴向力测定: 三维外固定支架组在 250, 500 N 轴向力作用下位移量大于髓内钉组, 小于钢板组(P 均 < 0.05); 而在 750 N 轴向力作用下位移量小于其他 2 组($P < 0.05$); ②抗弯曲力测定: 不同弯曲力作用下三维外固定支架组挠度均小于钢板组和髓内钉组($P < 0.05$), 髓内钉组挠度均小于钢板组($P < 0.05$); ③抗扭转力学测定: 不同扭转力作用下, 三维外固定支架组扭转角均小于髓内钉组和钢板组($P < 0.05$), 髓内钉组扭转角均小于钢板组($P < 0.05$); ④结果提示, 三维外固定支架用于老年骨质疏松骨折中能获得良好的生物力学稳定性, 从生物力学角度可将其推广应用。

关键词:

三维外固定支架; 老年骨质疏松骨折; 生物力学; 钢板固定; 髓内钉固定; 压缩力学; 抗弯曲力学; 抗扭转力学; 国家自然科学基金

主题词:

骨质疏松性骨折; 外固定器; 内固定器; 生物力学; 组织工程

基金资助:

国家自然科学基金青年项目(81300903); 国家社会科学基金项目(16XSH017); 四川省大学生创新创业训练计划项目(201710632096)

Liu Yao, Master candidate, Nurse, School of Stomatology, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China

Corresponding author: Ju Mei, Professor, School of Nursing, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China

Biomechanical stability of three-dimensional external fixator applied in early-stage senile osteoporotic fracture

Liu Yao¹, Huang Yue¹, Liu Yong², Luo Yuru³, Luo Jing³, Ju Mei³ (¹School of Stomatology, ³School of Nursing, Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China; ²Department of Traumatic Orthopedics, Chinese Medicine Hospital Affiliated to Southwest Medical University, Luzhou 646000, Sichuan Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Improved three-dimensional external fixator can obtain good treatment effect and is expected to become a new effective fixation method for osteoporotic fracture in the elderly for minimally invasion. However, little is reported on its mechanical stability after fixation.

OBJECTIVE: To investigate the biomechanical effect of three-dimensional external fixator for aged patients with osteoporotic fractures and provide evidence for its clinical application.

METHODS: From June 2017 to June 2018, 36 aged tibial specimens were selected to prepare the tibia osteoporosis specimen models by 18% EDTA decalcification. After successful modeling, the short oblique osteoporosis fracture model of the middle tibia was established. Then these tibial specimens were randomly divided into three groups ($n=12$ per group), and fixed with steel plate, intramedullary nail, and three-dimensional external fixator, respectively. Four specimens randomly from each group were measured by compression test, bending test, and torsion test with the BOSE3300 biomechanical testing machine, and the differences in biomechanical stability among groups were determined.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Under 250 and 500 N of axial force, the displacement value in the three-dimensional external fixator group was significantly higher than that in the intramedullary nail group, and lower than that in the plate group (both $P < 0.05$). The displacement value under 750 N of axial force in the three-dimensional external fixator group was significantly lower than that in the other two groups ($P < 0.05$). (2) In the bending test, the deflection under different bending forces in the three-dimensional external fixator group was smaller than that in the other two groups ($P < 0.05$). The deflection in the intramedullary nail group was smaller than that in the plate group ($P < 0.05$). (3) The torsional angle in the three-dimensional external fixator group was smaller than that in the other two groups under different torsion forces ($P < 0.05$). The torsional angle in the intramedullary nail group was smaller than that in the plate group ($P < 0.05$). (4) In summary, from the perspective of biomechanics, the three-dimensional external fixator can be widely applied in elderly osteoporotic fractures due to its good biomechanical stability.

Subject headings: Osteoporotic Fractures; External Fixators; Internal Fixators; Biomechanics; Tissue Engineering

Funding: the National Natural Science Foundation for the Youth, No. 81300903; the National Social Science Foundation, No. 16XSH017; the College Student Innovation and Entrepreneurship Training Program of Sichuan Province, No. 201710632096

0 引言 Introduction

骨质疏松症多发生在老年人群,是由于多种原因引起的骨密度、骨质量下降,发生骨微结构的破坏而导致骨脆性增加,从而增加骨折发生风险的一种全身性骨病^[1]。临床上,将骨质疏松分为原发性与继发性两种。原发性骨质疏松又称为绝经后骨质疏松症(I型)(多发生在绝经后5-10年)、老年骨质疏松症(II型,多发生在70岁以上老年人群中)及特发性骨质疏松3种^[2]。目前,临床上对于骨质疏松发病机制尚不完全知晓,除了与绝经和年龄有关外还与内分泌疾病、结缔组织疾病、慢性肾脏疾病及胃肠疾病、长期制动、神经肌肉系统疾病及营养疾病有关,临床表现为疼痛、脊柱变形及骨折^[3-4]。近年来,国内人口老龄化日益加剧,老年骨质疏松骨折发生率呈上升趋势,且多数患者为闭合性骨折,严重影响老年居民健康。因此,加强老年骨质疏松骨折治疗相关研究对改善老年骨质疏松骨折患者预后、提高生活质量具有重要意义^[5]。

目前,内固定术是老年骨质疏松骨折的主要手术治疗方式,固定后的钉道处理要求高,且外固定器螺钉把持力相对较差,易引发螺钉松动、感染,从而增加骨不连发生率^[6-7],从而造成固定失败。钢板固定并无锁定结构,依靠钢板与骨面之间产生的摩擦力完成骨折断端的固定,因此钢板固定需要紧压在骨面上,研究表明长期压迫骨面会增加钢板下骨缺血坏死发生率^[8-9]。同时,钢板安放时需要剥离骨膜与周围软骨质,引起医源性损伤,导致骨折端血运受到破坏,均不利于骨折愈合^[10]。近年来,三维外固定支架以手术快、创伤小、愈合快等特点应用于老年骨质疏松骨折的临床治疗中,但其生物力学稳定性尚缺乏有效证据^[11]。因此,2017年6月至2018年6月作者以老年人尸体胫骨标本36根作为实验对象,探讨

三维外固定支架在老年骨质疏松骨折患者中的应用效果及生物力学特征,现报道如下。

1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 尸体标本对照观察实验。

1.2 时间及地点 于2017年6月至2018年6月在西南医科大学附属中医医院骨伤科实验室完成。

1.3 材料 选择老年人尸体胫骨标本36根(源于18具尸体标本,男10具,女8具)作为观察对象(由西南医科大学解剖教研室提供),建立胫骨标本骨质疏松模型及胫骨中段短斜型不稳定型骨折模型。尸体年龄65-74岁,平均(69.42±3.41)岁;尸体年限2-6年,平均(2.62±0.79)年。建模完毕后将尸体胫骨标本按随机数字表法分为3组($n=12$),随机分别给予钢板(钢板组)、髓内钉(髓内钉组)、三维外固定支架(三维外固定支架组)进行骨折固定,各组标本均无年龄差异,以免影响实验结果,见图1。

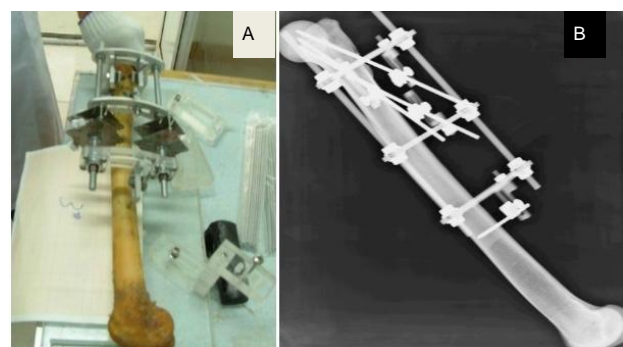


图1 胫骨尸体标本大体形态

Figure 1 Gross observation of tibia corpse specimen

图注:图A为三维外固定支架图;B为尸体标本固定后X射线片。

研究方案均在西南医科大学及其附属中医医院伦理

委员会批准、监督下完成。

标本纳入标准: ①所有尸体标本均由医院解剖研究室提供, 且均获得相关部门研究许可; ②所有尸体标本均未见畸形、骨折; ③实验前将胫骨周围附着肌肉剔除, 切除韧带, 完成X射线片检查。

1.4 材料 BOSE3300生物力学实验机, 济南试金集团有限公司; NJ-50B型扭转试验机, 宁夏青山试验机有限公司; C臂X射线机、Lunar双能X射线骨密度检测仪、定量CT、QCT-3000 Bone Densitometry Report软件, 美国通用公司; 三点弯曲试验机, 美国通用公司; 18%EDTA, 常州德焯化工有限公司。三维外固定支架及钢板螺钉的材料学特征见表1。

表1 三维外固定支架及钢板螺钉的材料学特征

Table 1 Material properties of three-dimensional external fixator and screws

项目	三维外固定支架	钢板	螺钉
厂家	意大利 ORthofix 公司	苏州海欧斯医疗器械有限公司	苏州海欧斯医疗器械有限公司
批号	REF92025	国食药监械(准)字 2017第3460376号	国食药监械(准)字 2017第3460386号
材质	不锈钢	钛合金	钛合金
适应证	桡骨远端骨折、胫骨骨折固定; 畸形矫正; 肢体重建	胫骨骨折固定	胫骨骨折固定
材料生物相容性	生物相容性良好	生物相容性良好, 内植物可长期保留体内	物相容性良好, 内植物可长期保留体内
产品标注的不良反应	无	无	无

1.5 实验方法

1.5.1 胫骨标本骨质疏松模型及骨折模型建立

(1)胫骨标本骨质疏松模型建立: 胫骨尸体标本经过简单处理后用浓度为18%的EDTA进行6-15 d连续脱钙处理, 完成胫骨标本骨质疏松模型建立, 完毕后对胫骨尸体标本进行CT检查, 将获得的数据输入QCT-3000型数据处理软件中, 完成骨矿物质密度测定。与国内原发性骨质疏松骨密度标准进行比较, 对于未达到骨质疏松标准标本继续进行脱钙处理, 保证所有胫骨标本均完成标准骨质疏松模型建立^[12-13]。

(2)中段短斜型骨折模型建立及分组: 骨质疏松建模成功后以胫骨中、下1/3前侧部位作为起点, 利用线锯沿起点向上30°角锯断, 完成胫骨中段短斜型骨折模型的建立^[14]。建模完毕后将尸体胫骨标本随机分为3组($n=12$), 随机分别给予钢板(钢板组)、髓内钉(髓内钉组)及三维外固定支架(三维外固定支架组)进行骨折固定。

1.5.2 生物力学测定 固定完毕后分别将其放置在BOSE3300生物力学实验机上, 专用夹具固定后完成不同标本压缩力学、抗弯曲力学及抗扭转力学测定。

(1)轴向力测定: 所有胫骨标本固定完毕后每组各随机选取胫骨标本4根, 将模型整体固定在生物力学实验机上, 采用专用夹具进行固定, 保证轴向压力与实验胫骨模型位

于一条直线上。从胫骨模型顶端加载轴向压力, 负荷从0-800 N逐渐增加, 根据加载与位移数据绘制相关曲线, 分别记录加载250, 500及750 N下位移量^[15]。

(2)抗弯曲力测定: 每组各随机选取胫骨标本4根, 利用专用夹具整体固定在生物力学实验机上, 保证弯曲压力与固定后模型的中垂线相互垂直; 弯曲力从0-8 N·m开始增加, 从而获得弯曲-挠度数据曲线, 分别记录弯曲力1, 3及6 N·m下挠度大小^[16]。

(3)抗扭转力测定: 每组各随机选取胫骨标本4根, 利用专用夹具整体固定在生物力学实验机上, 保证轴向压力与实验胫骨模型位于同一直线上。在胫骨模型顶端不间断施加转矩, 转矩分别从0-6 N·m增加, 从而获得转矩-扭角曲线, 分别记录2, 4及6 N·m转矩下尸体标本的扭转角^[17]。

1.6 主要观察指标 ①以轴向力测定位移量; ②以抗弯曲力测定挠度; ③以抗扭转力测定扭转角。

1.7 统计学分析 采用SPSS 18.0软件处理, 计量资料采用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 差异比较行 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 实验标本数量分析 此次课题中纳入成人尸体胫骨标本36根, 全部进行结果分析, 中途无折断, 均顺利完成模型建立及生物力学测定。

2.2 各组成人尸体胫骨标本基线情况比较 见表2。每组各随机选取胫骨标本4根, 3组尸体标本年龄、年限及骨密度测定结果差异均无显著性意义($P > 0.05$)。

表2 各组基线资料比较

($\bar{x}\pm s, n=4$)

Table 2 Comparison of baseline data among groups

组别	标本年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	标本年限 ($\bar{x}\pm s$, 年)	骨密度 ($\bar{x}\pm s$, g/cm ³)
三维外固定支架组	67.00±4.66	0.43±0.09	228.88±10.03
钢板组	69.00±3.25	0.50±0.12	223.07±8.02
髓内钉组	70.00±4.13	0.30±0.11	225.41±9.12

2.3 各组成人尸体胫骨标本轴向力测定比较 见表3。

表3 各组老年尸体胫骨标本不同轴向力作用下位移量比较

($\bar{x}\pm s, n=4, mm$)

Table 3 Comparison of displacement of senile tibia corpse specimens under different axial forces among groups

组别	250 N	500 N	750 N
三维外固定支架组	0.43±0.09	0.73±0.09	1.15±0.11
钢板组	0.50±0.12 ^a	1.03±0.07 ^a	1.58±0.15 ^a
髓内钉组	0.30±0.11 ^{ab}	0.61±0.05 ^{ab}	1.68±0.19 ^{ab}

表注: 与三维外固定支架组比较, ^a $P < 0.05$; 与钢板组比较, ^b $P < 0.05$ 。

在250和500 N轴向力作用下, 髓内钉组位移量均低于钢板组($P < 0.05$); 轴向力750 N作用下, 髓内钉组位移量大于钢板组($P < 0.05$)。三维外固定支架组在250, 500 N

轴向力作用下位移量大于髓内钉组, 小于钢板组($P < 0.05$); 而在750 N轴向力作用下位移量小于其他2组($P < 0.05$)。

2.4 各组成人尸体胫骨标本挠度大小比较 见表4。抗弯曲力测定结果显示, 不同弯曲力作用下三维外固定支架组挠度均小于钢板组和髓内钉组($P < 0.05$), 髓内钉组挠度均小于钢板组($P < 0.05$)。

表4 各组成人尸体胫骨标本不同弯曲力作用下挠度比较

($\bar{x} \pm s$, $n=4$, mm)

Table 4 Comparison of deflection of senile tibia corpse specimens under different bending forces among groups

组别	1 N·m	3 N·m	6 N·m
三维外固定支架组	0.67±0.14	1.34±0.28	2.15±0.34
钢板组	1.84±0.48 ^a	3.87±0.64 ^a	5.43±0.61 ^a
髓内钉组	0.93±0.19 ^{ab}	2.05±0.26 ^{ab}	3.23±0.55 ^{ab}

表注: 与三维外固定支架组比较, ^a $P < 0.05$; 与钢板组比较, ^b $P < 0.05$ 。

2.5 各组成人尸体胫骨标本扭转角大小比较 见表5。不同扭转力作用下, 三维外固定支架组扭转角均小于髓内钉组和钢板组($P < 0.05$), 髓内钉组扭转角均小于钢板组($P < 0.05$)。

表5 各组成人尸体胫骨标本不同扭转力作用下扭转角比较

($\bar{x} \pm s$, $n=4$, °)

Table 5 Comparison of torsional angles of senile corpse specimens under different torsion forces among groups

组别	2 N·m	4 N·m	6 N·m
三维外固定支架组	2.12±0.09	8.13±0.53	14.31±1.05
钢板组	4.32±1.45 ^a	16.78±0.77 ^a	26.42±3.25 ^a
髓内钉组	2.54±1.04 ^{ab}	10.95±0.67 ^{ab}	17.49±1.21 ^{ab}

表注: 与三维外固定支架组比较, ^a $P < 0.05$; 与钢板组比较, ^b $P < 0.05$ 。

3 讨论 Discussion

老年人是骨质疏松骨折发病的高危人群, 老年骨质疏松骨折常发生于股骨颈、股骨转子间、桡骨等四肢长骨端^[18-19]。此次实验研究为比较钢板、髓内钉及三维外固定支架应用于老年人骨质疏松骨折固定的生物力学稳定性, 严格模拟老年人骨质疏松骨折生理状况, 控制相同的实验条件进行比较, 因而选取老年人尸体胫骨标本制备模型。

目前, 临床上对老年骨质疏松骨折治疗主要以保守治疗和手术固定为主, 虽然保守治疗能改善患者症状, 但长期患肢制动, 易加剧骨丢失, 增加继发性骨折发生率^[20]。钢板、螺钉、髓内钉内固定均为老年骨质疏松骨折患者有效的手术治疗方法, 但由于接骨板压迫骨面, 易造成皮质骨血供障碍, 增加固定段骨应力遮挡和局限性骨质疏松风险, 严重者发生再骨折^[21]。国内学者研究表明, 老年骨质疏松内固定治疗时, 钢板固定材质硬, 骨折稳定好, 但应力遮挡发生率较高^[22-23]。国外学者研究发现老年骨质疏松患者骨皮质相对较薄, 螺钉内固定咬合力下降, 从而影响固定效果, 且螺钉内固定后期钉道护理要求较高, 相比钢

板固定, 其感染发生率更高^[24-25]。

近年来, 三维外固定支架开始在老年骨质疏松骨折中得以应用, 作为一种外固定微创治疗方法, 不仅能减少创伤, 相对避免血供受损, 缩短手术时间, 利于患者术后早期康复锻炼, 为骨折愈合奠定基础^[26]。三维外固定支架利用骨端区域可调节的自攻半针位置和角度实施加压和延长三维外固定设计, 每个与骨折干平行的面均呈三角形, 既符合力学稳定规律, 增强固定稳定性, 又避免了与骨面直接, 减少对骨膜施压, 从而最大限度保存骨膜血供系统, 有效确保骨髓血供^[27]。此次研究中三维外固定支架从不同平面的骨内交叉进针, 确保骨折处有足够的固定把持力度, 提高骨折部位固定强度, 契合老年骨质疏松骨折患者治疗需要, 从而为老年患者尽早实施康复锻炼提供了条件, 能有效避免长时间卧床的并发症。

此次研究以胫骨尸体标本作为对象进行生物力学测试, 抗压缩力测试结果表明, 钢板和髓内钉轴向抗压性能接近, 且随着轴向力的不断增加, 三维外固定支架能充分显示其优势, 位移量相对较小($P < 0.05$)。抗弯曲力和抗扭转力测试中, 三维外固定支架性能表现明显优于钢板和髓内钉($P < 0.05$), 且髓内钉固定抗弯曲和抗扭转性能优于钢板固定($P < 0.05$)。由此看出, 三维外固定支架用于老年骨质疏松骨折固定中具有良好的抗扭转和抗弯曲性能, 这与刘宗超等^[14]的研究结果一致。

此次研究仍有一定局限: ①实验尸体标本数量局限; ②老年尸体胫骨骨质疏松骨折模型构建并不能完全模拟人体在持续运动下肌肉收缩对3种内固定形式的生物力学影响; ③实验在进行生物力学数据测定时存在一定的人为误差; ④此次实验仅仅针对三维外固定支架用于老年骨质疏松骨折固定早期的生物力学效应进行单一角度研究, 缺乏感染等其他指标研究。因此, 今后需要扩大样本开展临床试验进行深入的多指标和后期研究印证探讨。

综上所述, 三维外固定支架用于老年骨质疏松骨折固定能获得较好的早期生物力学稳定性, 但将其推广应用于老年骨质疏松骨折治疗中还应综合考虑后期效果和感染等多项因素。

致谢: 感谢西南医科大学以及西南医科大学附属中医医院骨伤科实验室工作人员对研究的指导帮助。

作者贡献: 所有作者均参与了文章的设计、实施及评估。

经费支持: 该文章接受了“国家自然科学基金青年项目(81300903)、国家社会科学基金项目(16XSH017)、四川省大学生创新创业训练计划项目(201710632096)”的基金资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程, 不存在利益冲突。

机构伦理问题: 该研究方案的实施符合《赫尔辛基宣言》和西南医科大学及附属中医医院对研究的相关伦理要求。

写作指南: 该研究遵守国际医学期刊编辑委员会《学术研究实验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明: 文章统计学方法已经西南医科大学及附属中医医院生物统计学专家审核。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] 毛汉兴, 罗轶, 沈国平, 等. 三种方法固定Schatzker VI型胫骨平台骨折的生物力学评价[J]. 中国基层医药, 2007, 14(8): 1238-1240.
- [2] 王旭, 尹建文, 耿翔, 等. 螺钉与钢板固定骨质疏松患者后踝骨折在模拟正常步态周期中的生物力学研究[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(22):1407-1415.
- [3] Lindsay R. Osteoporosis treatment and fracture outcomes. JAMA Intern Med. 2015;175(6):921-922.
- [4] 张晓刚, 赵希云, 宋敏, 等. 骨质疏松性椎体压缩骨折的生物力学研究进展[J]. 医用生物力学, 2017, 32(21):99-204.
- [5] 李鹏, 罗建平, 钟家勇, 等. 抗旋转股骨近端髓内钉治疗老年股骨转子间骨折疗效分析[J]. 中外医学研究, 2015, 13(2):19-20.
- [6] 高壮松. 不同手术方案治疗Bennett骨折的近期疗效比较[J]. 山西医药杂志, 2017, 46(8):953-956.
- [7] 祝俊雄, 宋纯理. 骨质疏松及其骨折的局部药物治疗[J]. 中国骨质疏松杂志, 2018, 24(6):806-813.
- [8] 刘志伟. 椎体后凸成形术治疗脊柱胸腰段骨质疏松性椎体压缩性骨折的相关有限元研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2012.
- [9] 邱贵兴, 裴福兴, 胡侦明, 等. 中国骨质疏松性骨折诊疗指南(骨质疏松性骨折诊断及治疗原则)[J]. 中国骨与关节外科, 2015, 8(5): 795-798.
- [10] 赵俊延, 陈柳柳, 黄志明, 等. 脂肪干细胞复合聚乳酸共聚物对大鼠骨折愈合后生物力学的影响[J]. 中国实用医药, 2018, 13(10): 194-195.
- [11] Choudhry DR, Choudhry DK. To study the clinical and radiological outcomes of closed depressed tibia plateau fracture without the use of a bone graft or a bone substitute. Env Cons. 2016;22(2):127-132.
- [12] 王春生, 苏峰, 宗治国, 等. 骨质疏松模型建立的研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2015, 21(9):1143-1148.
- [13] 崔轶, 李军, 郭海, 等. 骨质疏松模型的评价方法研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2013, 19(4):416-420.
- [14] 刘宗超, 田泽高, 蒋燕, 等. 三维外固定支架应用于骨质疏松骨折的生物力学研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2015, 29(2):145-148.
- [15] 陈龙, 汪国栋, 刘曦明, 等. 3D导航辅助下经皮骶髂螺钉内固定联合逆行前柱螺钉内固定或前环外固定支架治疗Tilt骨盆骨折的疗效比较[J]. 中华创伤杂志, 2018, 34(2):145-151.
- [16] 宋长兴. 五种外固定方法固定猪胫骨干骨折的生物力学比较[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2011.
- [17] Giurin I, Bréaud J, Rampal V, et al. A simulation model of nail bed suture and nail fixation: description and preliminary evaluation. J Surg Res. 2018;228(1):142-146.
- [18] 刘彦士, 马信龙, 万春友, 等. 计算机辅助测量在Taylor外固定支架治疗胫腓骨骨折中的应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(16): 1457-1462.
- [19] Coughlan T, Dockery F. Osteoporosis and fracture risk in older people. Clin Med (Lond). 2014;14(2):187-191.
- [20] 章伟, 芮碧宇, 潘垚, 等. 新型锁定钢板与AO-PHILOS钢板固定胫骨近端四部分骨折的三维有限元分析[J]. 医用生物力学, 2016, 31(6):548-555.
- [21] 杨萃, 陆芸, 杨永超. 微型外固定支架与掌骨板固定治疗Rolando骨折的三维有限元分析[J]. 山东医药, 2016, 56(32):12-14.
- [22] 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.
- [23] 莫冰峰, 尹东, 黄宇, 等. 手法整复小夹板固定与外固定架固定治疗老年桡骨远端骨折效果对比观察[J]. 山东医药, 2016, 56(44): 89-91.
- [24] Norris BL, Lang G, Russell TA, et al. Absolute versus relative fracture fixation: impact on fracture healing. J Orthop Trauma. 2018, 32 Suppl 1(1):S12-S16.
- [25] Smith G, Mackenzie SP, Wallace RJ, et al. Biomechanical comparison of intramedullary fibular nail versus plate and screw fixation. Foot Ankle Int. 2017;38(12):1394-1399.
- [26] Silverman SL, Kupperman ES, Bukata SV, et al. Fracture healing: a consensus report from the International Osteoporosis Foundation Fracture Working Group. Osteoporos Int. 2016;27(7):2197-2206.
- [27] Maredza M, Petrou S, Dritsaki M, et al. Infographic: Economic justification for intramedullary nail fixation over locking plate fixation for extra-articular distal tibial fractures. Bone Joint J. 2018;100-B(5):622-623.