

中国骨质疏松性骨折骨修复策略 专家共识(2019)



扫一扫下载指南全文

中华医学会骨科学分会青年骨质疏松学组 中国老年学和老年医学学会老年病分会
骨科专家委员会 中国医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组 上海
市中西医结合学会骨质疏松专业委员会

通信作者:苏佳灿, Email: drsujiacan@163.com, 电话:021-31161699

【摘要】 骨质疏松性骨折具有骨量差、修复慢、内固定稳定性弱且失败率高等特点,常伴有不同程度骨缺损。临床以肱骨近端、桡骨远端、胫骨平台、胫骨远端、跟骨与脊柱骨缺损较为常见,主要以自体骨、异体骨与各种骨替代物进行修复。本共识在骨质疏松性骨折流行病学的基础上,依据文献复习和专家调研的结果,对骨缺损特点、骨修复材料、常见部位骨修复策略及康复辅具应用等方面存在争议的问题进行阐述,期望改善疾病预后,并推进骨质疏松性骨折骨缺损临床规范化的修复进程。

【关键词】 骨质疏松性骨折; 修复外科手术; 骨缺损

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC2001500);国家自然科学基金重大研究计划重点项目(91749204);国家自然科学基金(81771491);上海市卫生系统优秀学科带头人计划(2017BR011);上海市卫生和计划生育委员会科研课题(201640156,201740237)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2019.09.001

Expert consensus on bone repair strategies for osteoporotic fractures in China

Youth Chinese Orthopedic Association Osteoporosis Group of Chinese Medical Association, Orthopedic Expert Committee of Geriatrics Branch of Chinese Society of Gerontology and Geriatrics, Multitrauma and Orthopedic Trauma Group of Department of Chinese Medical Doctor Association, Committee of Shanghai Association of Chinese Integrative Medicine

Corresponding author: Su Jiacan, Email: drsujiacan@163.com, Tel: 0086-21-31161699

【Abstract】 Osteoporotic fracture is characterized by poor bone mass, slow repair, weak stability and high failure rate of internal fixation, often accompanied with bone defects to varied degrees. Clinically, the common defect sites are proximal humerus, distal radius, tibia plateau, calcaneus and spine. At present, autogenous, allogenic and various bone substitutes are used for repair. Based on the epidemiology of osteoporotic fracture, literature review, and field research, this consensus outlines the characteristics of bone defects, bone repair materials, bone repair strategies at common sites and the application of rehabilitation aids. It is expected to improve the prognosis of osteoporotic fracture and promote the clinical standardization process of bone defect repair of osteoporotic fracture.

【Key words】 Osteoporotic fractures; Repair surgery; Bone defect

Fund programs: National Key Research & Development Program of China (2018YFC2001500); Key Program of National Natural Science Foundation of China (91749204); National Natural Science Foundation of China (81771491); Chief Academic Leader Project of Shanghai Health System Disciplines (2017BR011); Scientific Research Project of Shanghai Municipal Health and Family Planning Commission (201640156,201740237)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2019.09.001

骨质疏松是一种以骨量降低、骨组织微结构损坏导致骨脆性增加、易发生骨折为特征的全身性骨病。2001 年美国国立卫生研究院 (NIH) 将其定义为以骨强度下降和骨折风险增加为特征的骨骼疾病,其中骨量降低是主要危险因素^[1]。我国卫生健康委员会 2018 年公布的最新流行病学数据显示,我国 40~49 岁人群骨质疏松症发生率为 3.2%,其中男性为 2.2%,女性为 4.3%,城市地区为 3.5%,农村地区为 3.1%;50 岁以上人群骨质疏松症患病率为 19.2%,其中男性为 6.0%,女性为 32.1%,城市地区为 16.2%,农村地区为 20.7%;65 岁以上人群骨质疏松症患病率达到 32.0%,其中男性为 10.7%,女性为 51.6%,城市地区为 25.6%,农村地区为 35.3%^[2]。

骨质疏松性骨折(脆性骨折)指受到轻微创伤或日常活动即可发生的骨折,常见部位是椎体、髌部、前臂远端、肱骨近端和小腿远端等。伴随我国人口老龄化进程加快,骨质疏松性骨折发生率逐年增加。《原发性骨质疏松症诊疗指南(2017)》指出,我国 50 岁以上女性椎体骨折发生率约为 15%,80 岁以上女性椎体骨折发生率约为 36.6%;1990—1992 年 50 岁以上髌部骨折发生率男性为 83/10 万,女性为 80/10 万;2002—2006 年男性为 129/10 万,女性为 229/10 万。女性一生中发生骨质疏松性骨折的危险性(40%)高于乳腺癌、子宫内膜癌和卵巢癌的总和,男性一生中发生骨质疏松性骨折的危险性(13%)高于前列腺癌^[1]。据估计,2035 年我国骨质疏松性骨折(腕部、椎体和髌部)约为 483 万例次,2050 年将达到 599 万例次^[3]。

骨质疏松性骨缺损是指骨质疏松性骨折后骨的结构完整性破坏而发生的缺损^[4]。由于骨微结构改变,骨矿成分和骨基质成分沉积不断减少,骨小梁稀疏断裂,骨强度下降,骨脆性增加,骨质疏松性骨折经常伴随骨缺损^[5-6]。这种骨折引起的骨缺损在影像学上常以骨折断端压缩破坏或关节面塌陷等为特征性表现。骨质疏松性骨缺损具有骨质差、骨折愈合慢、骨折再发生率高,以及内固定手术失效率高特点,目前临床疗效并不理想。

骨质疏松骨结构最基本的变化是骨量丢失和骨密度降低,表现为骨皮质变薄和松质骨稀疏,骨脆性增加。因而传统的内固定材料常难以获得稳固的断端加压固定,置入物与宿主骨结合不牢固,容易出现术后内固定失败^[7]。较差的骨整合效果易发生内固定松动,从而引起骨折断端不稳,继发骨不连。另

外,骨质疏松骨局部微环境中的分子生物学及细胞学上的缺陷也可能对骨折修复产生不利影响^[8]。为避免术后复位丢失、骨折延迟愈合甚至不愈合,常需植入骨或骨替代物进行修复和内固定强化,为骨折复位提供必要的力学支撑以促进骨折愈合和骨缺损修复。

为进一步规范骨质疏松性骨折骨缺损的骨修复治疗,更好地维持内固定稳定性与术后功能康复,中华医学会骨科学分会青年骨质疏松学组协同中国老年学和老年医学学会老年病学分会骨科专业委员会、中国医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组与上海市中西医结合学会骨质疏松专业委员会特制定本共识。

1 常用骨修复材料

骨质疏松性骨折患者内固定装置失效的主要原因是松质骨的高孔隙率和低强度^[5],内固定通常需要植骨填充骨缺损部位以改善固定效果。目前骨修复材料主要有两种类型:(1)骨传导性骨修复材料,提供机械稳定性和增强置入物的骨整合;(2)诱导性骨修复材料,通过在骨质疏松性骨折患者中诱导骨重建来增强修复。临床常用的骨修复材料主要有自体骨、同种异体骨、人工骨和骨靶向修复材料。

1.1 自体骨

自体骨移植可快速、完全地整合至宿主骨中,是治疗骨缺损的“金标准”和评估其他骨移植物的基准。自体骨是疗效最好的植骨材料,可以根据缺损大小,选择皮质骨进行结构性植骨增加骨折的稳定性,或使用松质骨填充骨缺损促进骨折愈合。但自体骨来源有限,且会造成二次损伤。在临床常见的骨质疏松性肱骨近端骨折诊治中,自体腓骨段移植联合锁定钢板固定能够增强内固定物对内翻应力的支撑,减少内固定丢失、断钉断板和肱骨头坏死的发生风险^[9-11]。自体松质骨移植的大比表面积有利于血运重建和骨传导^[12]。同时,自体松质骨中含有丰富的间充质干细胞(MSCs)和骨诱导因子,有助于维持成骨潜能^[13]。自体皮质移植具有优异的结构完整性,可在早期提供有效的机械支持^[14]。

1.2 同种异体骨

同种异体骨是自体骨的合适替代品,可从活体供体或非生命供体获取,并在骨组织库内处理。松质骨同种异体移植主要应用于骨质疏松性骨折患者脊柱融合增强和空洞骨缺损的填充。皮质同种异体骨主要用于椎体成形术,以填充需要立即承载

荷的骨缺损。脱矿骨基质 (DBM) 是脊柱融合术、骨不连移植和骨缺损填充的常用植骨材料,其整合类似于自体骨,引发软骨内成骨并最终在植入部位形成新骨^[15]。

1.3 人工骨

硫酸钙移植是最快速吸收的合成骨替代物。吸收通常在 1~3 个月内发生,比实际骨沉积更快^[16]。磷酸钙陶瓷 (CaP) 是由不同比例的钙离子和有机磷酸盐组成的钙盐化合物家族,属合成矿物盐,CaP 作为一种具有良好骨传导性的生物可吸收陶瓷受到广泛的关注,并广泛应用于临床^[17-20]。骨水泥已普遍应用于骨质疏松性椎体压缩骨折的治疗,虽然临床效果令人满意,但其并发症风险也依然存在。需要注意其适应证及推注细节,防止骨水泥渗漏。目前,以聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 骨水泥在临床上应用广泛,能迅速稳定损伤的椎体,缓解患者症状。但 PMMA 无骨传导性,无法与宿主骨有机整合,置入人体后,不利于骨细胞的黏附和生长,且其高模量和刚度易导致局部微骨折和邻近椎体压缩骨折^[21]。磷酸钙骨水泥 (CPC) 是一种白色粉末,是自体骨移植和异体骨移植的良好替代物,被广泛运用于脆性骨折的骨质缺损。CPC 的重塑过程发生在骨质-骨水泥界面,其模式为类骨质沉积形成新骨,并在破骨细胞引导下骨水泥被吸收^[22]。

1.4 骨靶向生物材料

目前常见的骨靶向材料主要分为基质靶向与细胞靶向两类。无机羟基磷灰石 (HA) 是骨基质的主要成分,目前临床骨靶向治疗大多使用 HA 高亲和物质作为药物或药物载体,主要代表为四环素类^[23]和双膦酸盐类^[24]。骨组织中间充质干细胞、成骨细胞、破骨细胞与脂肪细胞等细胞成分较为复杂,功能相互影响,使得精准靶向细胞的载药体系更加重要。最新研究进展多以高细胞亲和力的多肽^[25]、核酸^[26]作为靶向组分,以生长因子作为药物组分^[27]。近来也有研究表明,特殊来源的外泌体在体内具有高度骨靶向性^[28],具备较高载药潜力。

2 骨质疏松性骨折修复策略

2.1 肱骨近端骨折

肱骨近端骨折复位后干骺端存在明显骨质缺损,术后常发生骨折再移位及内固定松动,妨碍肩关节的早期锻炼^[29]。对于内翻嵌插型骨折、复位后缺乏内侧支撑的肱骨近端骨折,除进行有效的肱骨距螺钉坚强支撑外,还可行腓骨段植骨,填充复位后肱

骨内侧的骨缺损,实现皮质内侧良好的力学支撑,减少骨与螺钉的微动,加强钢板螺钉系统的稳定性,有助于降低术后并发症发生率^[15, 30-31]。另外,同种异体髂骨、股骨头移植也可以增加骨量及提供骨皮质以增强内固定效果,但不是首选^[32]。

而对于外翻嵌插型骨折,由于纠正外翻后在肱骨近端外侧干骺端出现不同程度骨质缺损,在肱骨近端骨折手术中适当应用 CPC 强化术可以增加骨质抗扭转强度,提高局部机械强度^[33]。可注射 CPC 在操作时具有一定优势,是否应用需结合术中骨缺损程度和患者骨质疏松情况综合考虑。

共识: 缺乏内侧支撑的肱骨近端骨折是植骨的唯一适应证,腓骨植骨是最理想的选择,也可依据术中情况具体选择。局部骨替代物填充在外翻嵌插型肱骨近端骨折的治疗中具有一定作用。

2.2 桡骨远端骨折

老年骨质疏松性桡骨远端骨折常存在干骺端骨质缺损,在骨折复位过程中易造成关节面塌陷及复位丢失,复位后易发生骨折再移位。自体髂骨松质骨填充及带皮质骨镶嵌支撑能够实现结构性重建,恢复解剖形态,防止远期关节面塌陷;稳定地维持复位,防止后期桡骨远端高度的丢失或骨折再移位^[34]。同种异体骨和人工骨也是一种可选择的方式^[35-36]。

共识: 自体髂骨可以有效恢复桡骨远端高度,对塌陷软骨面提供支撑,增加内固定物的牢固性,是最理想的选择。同种异体骨和人工骨也可作为一种备选方案。

2.3 胫骨平台骨折

胫骨平台塌陷性骨折治疗的目标是关节表面重建和坚强固定。作为临床常用手段,辅助锁定钢板内固定在胫骨平台骨折治疗中表现出良好的效果^[37]。对于 Schatzker II~VI 型平台骨折,当塌陷 > 5 mm 时,为防止术后再塌陷、减少创伤性关节炎的发生,行磷酸钙或硫酸钙注射型人工骨填充骨缺损,可有效维持解剖复位和钢板螺钉支撑,临床效果确切^[38-39]。但因其吸收与骨的形成是否同步,以及吸收后是否形成骨缺损等问题尚不明确,还需进一步研究。

共识: 辅助锁定钢板内固定治疗在骨质疏松性胫骨平台骨折中仍处主流地位,磷酸钙或硫酸钙注射型人工骨可作为有效骨修复替代材料治疗塌陷型胫骨平台骨折。

2.4 pilon 骨折

pilon 骨折的胫骨远端关节面塌陷由轴向暴力

造成,骨质疏松性骨折患者关节内损伤往往比非骨质疏松患者的损伤更严重^[40]。pilon 骨折的治疗一般依据四大经典原则:恢复腓骨长度(若有腓骨骨折),胫骨关节面完整性重建,自体骨移植(必要时),内固定支撑钢板的使用^[41]。自体髂骨或同种异体骨移植均可作为治疗 pilon 骨折的植骨材料,增强关节面的力学支撑及内置物的把持力,增加骨折端的稳定性,促进骨折愈合,有效防止后期塌陷的发生。

共识:对于 pilon 骨折,可选择自体髂骨或同种异体骨作为植骨材料,能有效防止术后关节面塌陷,可视术中骨缺损程度具体选择植骨材料。

2.5 跟骨骨折

跟骨骨折是否需要术中植骨仍然存在争议。对于跟骨骨折 Sanders 分型 II 型及以上、骨缺损 $> 2\text{ cm}^3$ 、关节面塌陷 $> 2\text{ mm}$ 或复位后的关节面较难固定维持者,如软组织条件允许,术中适当植骨有利于患者术后早期进行负重康复锻炼,且有助于维持关节面稳定^[41-44]。植骨材料方面,一般认为自体骨或同种异体骨较为安全^[45]。

共识:跟骨骨折是否需要植骨仍然存在争议,可依据术中塌陷和缺损的情况酌情植骨。

2.6 脊柱骨折

近期发生的(通常为伤后 3 个月内)胸腰段骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF),伴有明显的疼痛,且伤椎椎体后壁完整,可选择椎体成形术治疗。常用的椎体成形术包括经皮椎体成形术(PVP)和经皮椎体后凸成形术(PKP),两种方式均可恢复压缩椎体的高度和强度、提高脊椎稳定性、防止椎体塌陷、缓解疼痛、改善脊柱功能。PKP 在减少骨水泥渗漏的发生、恢复椎体高度、一定程度上矫正脊柱畸形等方面具有优势。在治疗严重 OVCF(椎体压缩高度小于原高度 $1/3$)时,PKP 在恢复局部后凸角和椎体高度上优于 PVP^[46-47]。这两种技术具体如何抉择,目前没有一致意见,需要术前结合影像学资料综合考虑^[48-50]。骨水泥注射量控制在 $2\sim 5\text{ ml}$ 为宜,过度增加注射量可能增加骨水泥渗漏风险^[51-52],且对远期疗效改善作用有限。实际操作中,应结合椎体大小、术中透视情况和术者的操作手感综合考虑。

伴有明显脊髓损伤的胸腰段 OVCF,如无明确手术禁忌证,可选择减压复位椎弓根螺钉内固定。目前没有根据术前评估决定椎弓根螺钉固定时是否使用骨水泥强化的统一标准。如术中置钉时感觉骨质量较差或反复置钉后螺钉出现松动,需使用骨水

泥强化技术。强化节段可选择头端或尾端 $1\sim 2$ 枚螺钉进行强化,对中间节段的螺钉是否予以强化可根据术中情况决定^[49, 53]。

共识:对于大多数胸腰段 OVCF 患者,PVP 或 PKP 均可获得较好疗效,对于较为严重的椎体压缩骨折,PKP 更加适用。要求术中严格规范操作,避免渗漏风险。骨水泥强化技术可作为胸腰椎骨折椎弓根螺钉内固定手术的重要辅助技术,有助于减少内固定松动和复位固定效果丢失,是否应用该技术需根据术中情况决定。

3 康复辅具在骨质疏松性骨折诊疗中的应用

康复辅具既可作为骨质疏松性骨折的非手术治疗,也可作为手术治疗后加速康复的手段。在康复辅具保护下早期功能锻炼和负重对于骨折愈合及避免骨质疏松进一步恶化具有重要意义。

骨质疏松性桡骨远端骨折相比非骨质疏松性骨折恢复时间更长,可能导致长期功能障碍^[54]。这种功能障碍对于生活能力和生活质量具有重要影响。静态渐进性拉伸夹板和动态拉伸夹板能延长软组织、恢复挛缩关节的运动范围,可用于治疗桡骨远端骨折后持续性腕关节僵硬和预防骨量丢失,在康复早期使用效果更佳^[55]。

康复辅具在治疗足踝部骨质疏松性骨折中已得到广泛应用。无畏动态外骨骼矫形器(IDEO)是能量储存-重分配功能的足踝矫形器。最初 IDEO 设计用于复杂下肢创伤军人的康复,针对的是膝关节以下的高能量损伤后患者的步态紊乱。IDEO 对于创伤后关节炎、轻瘫和肌肉萎缩的患者也是有益的^[56]。研究表明,IDEO 能改善 pilon 骨折术后患者的步行速度,对于更高要求的活动恢复可能更有帮助^[57]。跟骨骨折如无移位,可以尝试跟骨矫形器的非手术疗法。在跟骨矫形器的保护下即可完全负重并可调整压力垫的位置来逐步增加足跟的负重,这有利于早期进行负重和康复训练^[58]。对于移位的跟骨骨质疏松性骨折术后患者,佩戴跟骨矫形器也有助于加速康复。

胸腰段脊柱矫形器能提供刚性支撑并增加腹内压,形成围绕脊柱的半刚性圆柱体支撑,从而分担脊柱的负荷。临床试验表明,胸腰段脊柱矫形器能显著增加胸腰段 OVCF 患者的躯干肌肉力量,改善肺功能并减少脊柱后凸角度,减轻疼痛^[59-60]。传统的刚性脊柱矫形器由于躯干肌肉萎缩和呼吸受限等因素导致其使用受到限制,刚性脊柱矫形器对于骨质

疏松性骨折患者甚至可能是有害的^[61]。目前,基于生物反馈激活腰背肌肉原理的较低程度固定的动态胸腰段脊柱矫形器逐步得到应用并取得良好疗效^[62]。

共识: 动静态拉伸夹板用于桡骨远端骨折后早期康复效果良好;足踝矫形器已广泛应用于足踝部骨质疏松性骨折,有利于早期负重和康复训练;动态胸腰段脊柱矫形器能帮助脊柱骨质疏松性骨折患者增加肌肉力量、减轻疼痛。

4 说明

本共识并非老年骨质疏松性骨折的临床治疗标准,仅为学术性指导建议,不作为法律依据。在患者个体情况与实际临床条件等各种因素制约下,临床治疗方案依实际情况因人而异;随着医学科技的发展,本共识部分内容将进一步完善。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

顾问: 张英泽, 中国工程院院士、中国医学科学院学部委员、中华医学会骨科学分会主任委员

专家组名单: 苏佳灿(海军军医大学附属长海医院)、王栋梁(上海交通大学医学院附属新华医院)、董世武(陆军军医大学生物医学工程与影像医学系)、施忠民(上海交通大学附属第六人民医院)、刘国辉(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、陈雁西(复旦大学附属中山医院)、熊鑫茗(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、张云飞(空军军医大学附属唐都医院)、侯志勇(河北医科大学第三医院)、张殿英(北京大学人民医院)、禹宝庆(复旦大学附属浦东医院)、陈文明(上海理工大学医疗器械与食品学院)、王启宁(北京大学工学院)、童培建(浙江省中医院)、刘曦明(解放军中部战区总医院)、张建政(解放军总医院第七医学中心)、周强(重庆医科大学附属第三医院)、牛丰(吉林大学白求恩第一医院)、杨伟国(香港大学医学院)、张文财(广州中医药大学附属骨伤科医院)、王勇(温州市中西医结合医院)、陈世杰(中南大学湘雅三医院)、贾金鹏(解放军总医院第一医学中心)、杨强(天津市天津医院)、张鹏(山东省立医院)、张勇(空军军医大学附属唐都医院)、苗军(天津市天津医院)、孙廓(南昌大学第二附属医院)、沈涛(中国医科大学附属盛京医院)、于斌(北京协和医院)、杨雷(温州医科大学附属第二医院)、张磊(上海中医药大学附属曙光医院)、曹烈虎(海军军医大学附属长海医院)、陈晓(海军军医大学附属长海医院)、胡衍(海军军医大学附属长海医院)

参 考 文 献

- [1] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2017) [J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017, 10(5):413-443. DOI:10.3969/j. issn. 1674-2591. 2017. 05. 002.
- [2] 国家卫生健康委员会 2018 年 10 月 19 日媒体沟通会文字实

- 录-中华人民共和国国家卫生健康委员会[EB/OL]. [2019-07-17]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/xwdt/201810/d816a5c72f6b45e399a1e7214642cd47.shtml>.
- [3] 中华医学会骨科学分会青年骨质疏松学组, 中国医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组, 上海市中西医结合学会骨质疏松专业委员会. 中国骨质疏松性骨折围手术期处理专家共识(2018) [J]. 中国临床医学, 2018, 25(5):860-866. DOI:10.12025/j. issn. 1008-6358. 2018. 20181053.
- [4] Khosla S, Hofbauer LC. Osteoporosis treatment: recent developments and ongoing challenges [J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2017, 5(11):898-907. DOI:10.1016/S2213-8587(17)30188-2.
- [5] von Ruden C, Augat P. Failure of fracture fixation in osteoporotic bone[J]. Injury, 2016, 47 Suppl 2: S3-S10. DOI:10.1016/S0020-1383(16)47002-6.
- [6] Rothberg DL, Lee MA. Internal fixation of osteoporotic fractures[J]. Curr Osteoporos Rep, 2015, 13(1):16-21. DOI:10.1007/s11914-014-0245-9.
- [7] 赵晓刚, 薛德挺, 潘志军. 骨质疏松性骨折外科治疗[J]. 国际骨科学杂志, 2013, 34(1):1-5, 10. DOI:10.3969/j. issn. 1673-7083. 2013. 01. 001.
- [8] Grant KD, Busse EC, Park DK, et al. Internal fixation of osteoporotic bone[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2018, 26(5):166. DOI:10.5435/JAAOS-D-16-00142.
- [9] Kim DS, Lee DH, Chun YM, et al. Which additional augmented fixation procedure decreases surgical failure after proximal humeral fracture with medial comminution: fibular allograft or inferomedial screws? [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2018, 27(10):1852-1858. DOI:10.1016/j.jse.2018.03.020.
- [10] Chow RM, Begum F, Beaupre LA, et al. Proximal humeral fracture fixation: locking plate construct +/- intramedullary fibular allograft[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2012, 21(7):894-901. DOI:10.1016/j.jse.2011.04.015.
- [11] Mathison C, Chaudhary R, Beaupre L, et al. Biomechanical analysis of proximal humeral fixation using locking plate fixation with an intramedullary fibular allograft [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2010, 25(7):642-646. DOI:10.1016/j.clinbiomech.2010.04.006.
- [12] Khan SN, Cammisa FJ, Sandhu HS, et al. The biology of bone grafting[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2005, 13(1):77-86. DOI:10.1002/jor.1100090318.
- [13] Ilan DI, Ladd AL. Bone graft substitutes [J]. Hand Clinics, 2012, 28(4):457-468. DOI:10.1016/j.hcl.2012.08.001.
- [14] Roberts TT, Rosenbaum AJ. Bone grafts, bone substitutes and orthobiologics: the bridge between basic science and clinical advancements in fracture healing[J]. Organogenesis, 2012, 8(4):114-124. DOI:10.4161/org.23306.
- [15] Kim JB, Lee DY, Seo SG, et al. Demineralized bone matrix injection in consolidation phase enhances bone regeneration in distraction osteogenesis via endochondral bone formation [J]. Clin Orthop Surg, 2015, 7(3):383-391. DOI:10.4055/cios.2015.7.3.383.

- [16] Hak DJ. The use of osteoconductive bone graft substitutes in orthopaedic trauma[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2007, 15(9): 525-536. DOI:10.1016/j.jse.2007.03.013.
- [17] Tang Z, Li X, Tan Y, et al. The material and biological characteristics of osteoinductive calcium phosphate ceramics[J]. *Regen Biomater*, 2018, 5(1): 43-59. DOI: 10.1093/rb/rbx024.
- [18] Nich C, Sedel L. Bone substitution in revision hip replacement[J]. *Int Orthop*, 2006, 30(6):525-531. DOI:10.1007/s00264-006-0135-6.
- [19] Gaasbeek RD, Toonen HG, van Heerwaarden RJ, et al. Mechanism of bone incorporation of beta-TCP bone substitute in open wedge tibial osteotomy in patients[J]. *Biomaterials*, 2005, 26(33):6713-6719. DOI:10.1016/j.biomaterials.2005.04.056.
- [20] Scheer JH, Adolfsson LE. Tricalcium phosphate bone substitute in corrective osteotomy of the distal radius[J]. *Injury*, 2009, 40(3):262-267. DOI:10.1016/j.injury.2008.08.013.
- [21] Schulte TL, Keiler A, Riechelmann F, et al. Biomechanical comparison of vertebral augmentation with silicone and PMMA cement and two filling grades[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(12): 2695-2701. DOI:10.1007/s00586-013-2908-0.
- [22] Ooms EM, Wolke JG, van de Heuvel MT, et al. Histological evaluation of the bone response to calcium phosphate cement implanted in cortical bone[J]. *Biomaterials*, 2003, 24(6):989-1000. DOI:10.1016/s0142-9612(02)00438-6.
- [23] Wang H, Liu J, Tao S, et al. Tetracycline-grafted PLGA nanoparticles as bone-targeting drug delivery system[J]. *Int J Nanomedicine*, 2015, 10: 5671-5685. DOI: 10.2147/IJN.S88798.
- [24] Sedghizadeh PP, Sun S, Junka AF, et al. Design, synthesis, and antimicrobial evaluation of a novel bone-targeting bisphosphonate-ciprofloxacin conjugate for the treatment of osteomyelitis biofilms[J]. *J Med Chem*, 2017, 60(6):2326-2343. DOI:10.1021/acs.jmedchem.6b01615.
- [25] Sun Y, Ye X, Cai M. Osteoblast-targeting-peptide modified nanoparticle for siRNA/microRNA delivery[J]. *ACS Nano*, 2016, 10(6):5759-5768. DOI:10.1021/acs.nano.5b07828.
- [26] Hou Z, Meyer S, Propson NE, et al. Characterization and target identification of a DNA aptamer that labels pluripotent stem cells[J]. *Cell Res*, 2015, 25(3):390-393. DOI:10.1038/cr.2015.7.
- [27] Metavarayuth Kamolrat, Maturavongsadit Panita, Chen Xiao, et al. Nanotopographical cues mediate osteogenesis of stem cells on virus substrates through BMP-2 intermediate[J]. *Nano Lett*, 2019, 2019 Jul 24. DOI:10.1021/acs.nanolett.9b02001.
- [28] Song H, Li X, Zhao Z, et al. Reversal of osteoporotic activity by endothelial cell-secreted bone-targeting and biocompatible exosomes[J]. *Nano Lett*. 2019, 19:3040-3048. DOI:10.1021/acs.nanolett.9b00287.
- [29] Krappinger D, Bizzotto N, Riedmann S, et al. Predicting failure after surgical fixation of proximal humerus fractures[J]. *Injury*, 2011, 42(11):1283-1288. DOI:10.1016/j.injury.2011.01.017.
- [30] Ponce BA, Thompson KJ, Raghava P, et al. The role of medial comminution and calcar restoration in varus collapse of proximal humeral fractures treated with locking plates[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2013, 95(16):e111-e113. DOI:10.2106/JBJS.K.00202.
- [31] Lescheid J, Zdero R, Shah S, et al. The biomechanics of locked plating for repairing proximal humerus fractures with or without medial cortical support[J]. *J Trauma*, 2010, 69(5):1235-1242. DOI:10.1097/TA.0b013e3181beed96.
- [32] Zhu L, Liu Y, Yang Z, et al. Locking plate fixation combined with iliac crest bone autologous graft for proximal humerus comminuted fracture[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2014, 127(9): 1672-1676. DOI:10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20133104.
- [33] Civinini R, Capone A, Carulli C, et al. The kinetics of remodeling of a calcium sulfate/calcium phosphate bioceramic[J]. *J Mater Sci Mater Med*, 2017, 28(9):137. DOI:10.1007/s10856-017-5940-5.
- [34] Miyake J, Murase T, Moritomo H, et al. Distal radius osteotomy with volar locking plates based on computer simulation[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469(6):1766-1773. DOI:10.1007/s11999-010-1748-z.
- [35] Higgins TF, Dodds SD, Wolfe SW. A biomechanical analysis of fixation of intra-articular distal radial fractures with calcium-phosphate bone cement[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2002, 84(9):1579-1586. DOI:10.2106/00004623-200209000-00010.
- [36] Ali AM, El-Shafie M, Willett KM. Failure of fixation of tibial plateau fractures[J]. *J Orthop Trauma*, 2002, 16(5):323-329. DOI:10.1097/00005131-200205000-00006.
- [37] Van Lieshout EM, Alt V. Bone graft substitutes and bone morphogenetic proteins for osteoporotic fractures: what is the evidence? [J]. *Injury*, 2016, 47 suppl 1:S43-S46. DOI:10.1016/S0020-1383(16)30011-0.
- [38] Ollivier M, Bulaid Y, Jacquet C, et al. Fixation augmentation using calcium-phosphate bone substitute improves outcomes of complex tibial plateau fractures. A matched, cohort study[J]. *Int Orthop*, 2018, 42(12):2915-2923. DOI:10.1007/s00264-018-3926-7.
- [39] Yu B, Han K, Ma H, et al. Treatment of tibial plateau fractures with high strength injectable calcium sulphate[J]. *Int Orthop*, 2009, 33(4):1127-1133. DOI:10.1007/s00264-008-0611-2.
- [40] An S. 骨折治疗的 AO 原则[M]. 危杰, 刘璠, 吴新宝, 等译. 1 版. 上海:上海科学技术出版社, 2003:608-623.
- [41] Ruedi T. Fractures of the lower end of the tibia into the ankle joint: results 9 years after open reduction and internal fixation[J]. *Injury*, 1973, 5(2):130-134.
- [42] Cao H, Li YG, An Q, et al. Short-term outcomes of open reduction and internal fixation for sanders type III calcaneal fractures with and without bone grafts[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2018, 57(1):7-14. DOI:10.1053/j.jfas.2017.05.037.
- [43] Duymus TM, Mutlu S, Mutlu H, et al. Need for bone grafts in the surgical treatment of displaced intra-articular calcaneal

- fractures[J]. J Foot Ankle Surg, 2017, 56(1):54-58. DOI: 10.1053/j.jfas.2016.08.004.
- [44] 燕晓宇, 罗从风, 曾炳芳, 等. 跟骨骨折术中骨缺损不植骨的安全性及疗效的研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2007, 9(11):1015-1019. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2007.11.005.
- [45] Longino D, Buckley RE. Bone graft in the operative treatment of displaced intraarticular calcaneal fractures: is it helpful? [J]. J Orthop Trauma, 2001, 15(4):280-286. DOI: 10.1097/0000513-200105000-00008.
- [46] Wang F, Wang LF, Miao DC, et al. Which one is more effective for the treatment of very severe osteoporotic vertebral compression fractures; PVP or PKP? [J]. J Pain Res, 2018, 11:2625-2631. DOI:10.2147/JPR.S179022.
- [47] Yang CC, Chien JT, Tsai TY, et al. Earlier vertebroplasty for osteoporotic thoracolumbar compression fracture may minimize the subsequent development of adjacent fractures: a retrospective study[J]. Pain Physician, 2018, 21(5):E483-E491.
- [48] Ontario HQ. Vertebral augmentation involving vertebroplasty or kyphoplasty for cancer-related vertebral compression fractures: a systematic review[J]. Ont Health Technol Assess Ser, 2016, 16(11):1-202.
- [49] Rong Z, Zhang F, Xiao J, et al. Application of cement-injectable cannulated pedicle screw in treatment of osteoporotic thoracolumbar vertebral compression fracture (AO type A): a retrospective study of 28 cases[J]. World Neurosurg, 2018, 120:e247-e258. DOI:10.1016/j.wneu.2018.08.045.
- [50] Liu T, Li Z, Su Q, et al. Cement leakage in osteoporotic vertebral compression fractures with cortical defect using high-viscosity bone cement during unilateral percutaneous kyphoplasty surgery[J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(25):e7216. DOI:10.1097/MD.0000000000007216.
- [51] Landham PR, Baker-Rand HL, Gilbert SJ, et al. Is kyphoplasty better than vertebroplasty at restoring form and function after severe vertebral wedge fractures? [J]. Spine J, 2015, 15(4):721-732. DOI:10.1016/j.spinee.2014.11.017.
- [52] Chen X, Ren J, Zhang J, et al. Impact of cement placement and leakage in osteoporotic vertebral compression fractures followed by percutaneous vertebroplasty[J]. Clin Spine Surg, 2016, 29(7):E365-E370. DOI:10.1097/BSD.0b013e3182aa28d6.
- [53] Aydogan M, Ozturk C, Karatoprak O, et al. The pedicle screw fixation with vertebroplasty augmentation in the surgical treatment of the severe osteoporotic spines [J]. J Spinal Disord Tech, 2009, 22(6):444-447. DOI:10.1097/BSD.0b013e31818e0945.
- [54] Edwards BJ, Song J, Dunlop DD, et al. Functional decline after incident wrist fractures--Study of Osteoporotic Fractures; prospective cohort study[J]. BMJ, 2010, 341:c3324. DOI:10.1136/bmj.c3324.
- [55] Lucado AM, Li Z. Static progressive splinting to improve wrist stiffness after distal radius fracture: a prospective, case series study [J]. Physiother Theory Pract, 2009, 25(4):297-309. DOI:10.1080/09593980902782389.
- [56] Highsmith MJ, Nelson LM, Carbone NT, et al. Outcomes associated with the intrepid dynamic exoskeletal orthosis (IDEO): a systematic review of the literature [J]. Mil Med, 2016, 181(S4):69-76. DOI:10.7205/MILMED-D-16-00280.
- [57] Quacinella M, Bernstein E, Mazzone B, et al. Do spatiotemporal gait parameters improve after pilon fracture in patients who use the intrepid dynamic exoskeletal orthosis? [J]. Clin Orthop Relat Res, 2019, 477(4):838-847. DOI:10.1097/CORR.0000000000000487.
- [58] Ruffing T, Muhm M, Winkler H. Pediatric calcaneal fracture after supination trauma; conservative therapy with an orthosis [J]. Unfallchirurg, 2013, 116(11):1030-1032. DOI:10.1007/s00113-012-2291-z.
- [59] Pfeifer M, Begerow B, Minne HW. Effects of a new spinal orthosis on posture, trunk strength, and quality of life in women with postmenopausal osteoporosis: a randomized trial [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2004, 83(3):177-186. DOI:10.1097/01.phm.0000113403.16617.93.
- [60] Pfeifer M, Kohlwey L, Begerow B, et al. Effects of two newly developed spinal orthoses on trunk muscle strength, posture, and quality-of-life in women with postmenopausal osteoporosis: a randomized trial [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2011, 90(10):805-815. DOI:10.1097/PHM.0b013e31821f6df3.
- [61] Murata K, Watanabe G, Kawaguchi S, et al. Union rates and prognostic variables of osteoporotic vertebral fractures treated with a rigid external support [J]. J Neurosurg Spine, 2012, 17(5):469-475. DOI:10.3171/2012.7.SPINE122.
- [62] Meccariello L, Muzii VF, Falzarano G, et al. Dynamic corset versus three-point brace in the treatment of osteoporotic compression fractures of the thoracic and lumbar spine: a prospective, comparative study [J]. Aging Clin Exp Res, 2017, 29(3):443-449. DOI:10.1007/s40520-016-0602-x.

本文引用格式

中华医学会骨科学分会青年骨质疏松学组, 中国老年学和老年医学学会老年病分会骨科专家委员会, 中国医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组, 上海市中西医结合学会骨质疏松专业委员会. 中国骨质疏松性骨折修复策略专家共识(2019) [J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(9):769-775. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2019.09.001.

(收稿日期:2019-06-18)