

· 综 述 ·

# 骨水泥在老年骨质疏松性肱骨近端骨折治疗中的应用进展

管宏<sup>1</sup>, 胡钢锋<sup>2</sup>, 李珍楠<sup>1</sup>, 徐方琪<sup>2</sup>, 朱元<sup>2</sup>

(1. 浙江中医药大学第二临床医学院, 浙江 杭州 310053;

2. 杭州市萧山区第一人民医院, 浙江 杭州 311201)

**摘 要** 随着我国人口老龄化趋势的日益加剧, 老年骨质疏松性肱骨近端骨折也逐渐增多。此类骨折因骨密度和骨质量下降导致内固定失败的发生率较高, 因此, 如何增加骨质疏松性肱骨近端骨折手术治疗中内固定物的稳定性是目前临床上亟待解决的问题。目前临床上治疗此类骨折时, 常采用同种异体骨或自体骨移植、骨水泥加强技术等方式来增强螺钉的把持力。其中骨水泥由于其材料容易获得且具有良好的骨传导性、生物相容性及抗压性等特点, 逐渐受到临床医生的青睐。本文从骨水泥的类型、注入方式及骨水泥手术的注意事项、弊端等 4 个方面对骨水泥在老年骨质疏松性肱骨近端骨折治疗中的应用进展进行了综述。

**关键词** 肩骨折; 骨质疏松性骨折; 老年人; 骨水泥; 综述

肱骨近端骨折是临床上最常见的骨折类型之一, 占全身骨折的 4% ~ 5%<sup>[1]</sup>。临床上常采用经皮穿针、髓内钉、锁定钢板等内固定方式治疗<sup>[2-4]</sup>。随着我国人口老龄化趋势日益加剧, 老年骨质疏松性肱骨近端骨折也逐渐增多, 其中以老年女性患者尤为常见<sup>[5-7]</sup>。此类骨折常合并骨缺损、内侧柱不稳等, 而且采用内固定治疗后常出现螺钉脱出与穿孔、继发性肱骨头内翻塌陷以及骨折再脱位等并发症<sup>[8-9]</sup>, 目前临床上常采用同种异体骨或自体骨移植术、骨水泥加强技术等方式来应对这些问题<sup>[10-11]</sup>。自体骨移植因取骨量有限, 无法适用于较大的骨缺损; 而同种异体骨移植后, 易出现感染、排异反应等并发症<sup>[12]</sup>。骨水泥具有良好的骨传导性、生物相容性和抗压性, 可提高局部骨质强度, 逐渐受到临床医生的青睐<sup>[13-14]</sup>。现就骨水泥在老年骨质疏松性肱骨近端骨折治疗中的应用进展综述如下。

## 1 骨水泥的类型

**1.1 聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥** 聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) 骨水泥是临床上最常见的骨水泥之一。Varga 等<sup>[15]</sup>的研究结果显示, 采用 PMMA 骨水泥结合肱骨近端锁定内固定系统 (proximal humerus internal locking system, PHILOS) 较单纯采用 PHILOS 内固定治疗骨质疏松性肱骨近端

骨折的临床疗效更好。对于骨质疏松性肱骨近端骨折, 采用 PMMA 骨水泥来增强锁定钢板的牢固性, 可降低骨折再次移位的发生率<sup>[16]</sup>。PMMA 骨水泥常用于对骨缺损部位进行直接填充和对前侧柱进行支撑<sup>[17]</sup>。PMMA 骨水泥较其他植入材料如磷酸钙骨水泥、同种异体骨或自体骨等具有更好的力学强度, 适用于骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗<sup>[18]</sup>。但是, PMMA 骨水泥在聚合阶段所产生的反应温度较高, 可能会造成软骨组织和局部软组织的坏死, 从而导致内固定物松动或骨水泥渗入关节间隙<sup>[19]</sup>。此外, PMMA 骨水泥属于生物惰性材料, 生物相容性较差, 不具备诱导新生骨组织形成的能力, 所以不能促进骨折愈合; 而且该水泥还不可降解, 不会被人体所吸收<sup>[20]</sup>。

**1.2 磷酸钙骨水泥** 磷酸钙骨水泥是一种具有生物学活性的新型非陶瓷型羟基磷灰石类人工骨材料, 与人体骨骼的矿物质相似, 在骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗中主要用于填充干骺端的骨缺损<sup>[21-22]</sup>。磷酸钙骨水泥具有良好的生物相容性、骨传导性和可吸收性, 且可任意成形, 使用方便; 临床上被用于填充肱骨干骺端骨缺损时, 不仅可以增强螺钉的把持力, 还可降低二次骨折移位的发生率<sup>[23-25]</sup>。Gradl 等<sup>[26]</sup>的研究证明, 在老年骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗中, 应用磷酸钙骨水泥可明显减少螺钉穿出的风险, 降低二次骨折的发生率。临床上常将磷酸钙骨水泥直接注入骨缺损处或经空心螺钉注入骨水泥来增强螺钉的把持力。磷酸钙骨水泥常以半液体的形式注入骨缺损处, 因此术中需在透视下注入骨水泥以避免骨水

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目 (2020KY794); 萧山区科技计划项目 (2017203)

通讯作者: 胡钢锋 E-mail: 13758191112@163.com

泥渗漏。磷酸钙骨水泥在固化时的温度较 PMMA 骨水泥低, 因此对软骨组织及局部软组织的损伤较小<sup>[27]</sup>。磷酸钙骨水泥由于固化时间长, 固化过程中热释放相对较低, 其粘合力 and 强度相对较差, 支撑能力不足, 容易从骨质中崩解, 无法适用于较大面积的骨缺损。有文献报道, 可通过增大孔隙率的方式来解决磷酸钙骨水泥降解速率低的问题<sup>[28]</sup>。此外, 临床医生在治疗老年骨质疏松性肱骨近端骨折时, 应谨慎使用磷酸钙骨水泥, 因为过量的磷酸钙骨水泥可能会在骨愈合过程中产生惰性障碍<sup>[29]</sup>。

**1.3 硫酸钙骨水泥** 硫酸钙骨水泥具有生物相容性、可降解性、骨传导性等特点, 不会引起炎症反应, 有利于促进骨整合<sup>[30]</sup>。与磷酸钙骨水泥相比, 硫酸钙骨水泥的优势在于固化更快, 而且固化的同时也不产生高热量, 更接近松质骨的强度。但是, 也有报道称硫酸钙骨水泥的注射性能及骨诱导性较差, 降解速率过快, 存在与骨组织生成速率不匹配的问题, 而降解速率过快可能会导致骨愈合失败<sup>[31]</sup>。硫酸钙骨水泥的生物力学强度相对较低, 仅限于填充骨缺损, 当需要对肱骨近端内侧柱支撑时, 则不宜选用硫酸钙骨水泥。

**1.4 镁基骨水泥** 镁基骨水泥是一种以镁为主要成分的骨修复材料, 具备良好的可降解性, 能有效防止螺钉松动<sup>[32]</sup>。镁基骨水泥植入体内后会释放镁离子, 而镁离子可以增强成骨细胞的生物活性, 使新骨成长的更快, 具有强化螺钉-骨界面韧性强度的作用<sup>[33-34]</sup>。Gulotta 等<sup>[35]</sup>的研究发现, 镁基骨水泥能促进肌腱-骨界面的愈合, 可用于老年骨质疏松性肱骨近端骨折合并肩袖损伤的治疗。Schendel 等<sup>[36]</sup>的研究结果显示, 镁基骨水泥较硫酸钙骨水泥具有更快的骨吸收率。Wu 等<sup>[37]</sup>认为, 在镁基骨水泥中加入一种名为介孔硅酸镁的原料后, 可以改善镁基骨水泥的生物活性、降解性和细胞相容性。然而镁基骨水泥具有生物毒性, 会对人体组织产生危害。目前临床上应用的磷酸镁骨水泥, 是一种包含氧化镁、磷酸盐等成分的新材料。磷酸镁骨水泥具有较高的初始强度和优良的生物相容性、骨诱导性, 适用于骨缺损修复术中。Kanter 等<sup>[38]</sup>的实验证明, 磷酸镁骨水泥具有良好的降解性和骨再生能力, 可用于肩关节承重部位骨缺损的修复。但也有研究<sup>[39]</sup>认为, 磷酸镁骨水泥没有毒性, 不会对细胞组织及 DNA 产生损害。也有研究<sup>[40]</sup>

证明, 螯合剂可增强镁基骨水泥的生物相容性。镁基骨水泥属于新材料, 目前仍缺乏大量的临床试验证明其优越性。

## 2 骨水泥的注入方式

**2.1 直接注入骨缺损处** 传统骨水泥技术是先用骨水泥直接注入骨缺损处, 再置入螺钉固定<sup>[41]</sup>。老年骨质疏松性肱骨近端骨折常伴有干骺端骨缺损, 临床治疗时常先于骨折断端处将调和好的 PMMA 骨水泥直接注入, 填充缺损后清除多余的骨水泥, 再采用 PHILOS 固定。对于内侧柱不稳的 Neer 三、四部分肱骨近端骨折<sup>[42]</sup>, 复位肱骨距后, 在透视下先缓慢将磷酸钙骨水泥直接注入骨缺损处, 再采用锁定钢板固定<sup>[43]</sup>。肱骨近端内侧柱起着支撑肱骨头的作用, 采用 PHILOS 内固定联合髓内植入骨水泥填充的方式可以有效地保持内侧铰链的对合<sup>[44]</sup>。但这种先直接填充骨缺损、再置入螺钉的方式往往会导致填充物松动、螺钉与骨水泥不牢固等问题。

**2.2 通过空心螺钉注入** 对于老年骨质疏松性 Neer 三、四部分肱骨近端骨折患者, 常需通过填充骨水泥来支撑肱骨头, 防止其塌陷。但是, 填充骨水泥后再置入螺钉时, 因骨水泥与螺钉的整合性能差, 可能会导致骨水泥松动, 出现螺钉切割、肱骨头再次塌陷等问题。近几年, 在老年骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗中出现了一种新型的强化螺钉技术, 即通过空心螺钉通道将适量的骨水泥注入肱骨头松质骨中。Unger 等<sup>[45]</sup>的研究证明, 通过空心螺钉注入骨水泥, 可增强螺钉的把持力, 防止螺钉松动与脱出; 支撑疏松的骨质, 防止肱骨头塌陷。Kiyak 等<sup>[46]</sup>通过不同的增强技术对 6 种不同设计的螺钉进行力学测试, 研究结果表明用 PMMA 骨水泥或磷酸钙骨水泥增强空心螺钉技术具有更强的把持力。骨水泥的注入可以消除螺钉的空隙, 增强整个螺钉固定系统的力学性能<sup>[47]</sup>。余荣峰等<sup>[48]</sup>的研究结果显示, 新型骨水泥强化螺钉结合锁定钢板内固定与人工肱骨头置换治疗骨质疏松性肱骨近端骨折的临床疗效相当, 说明骨水泥强化螺钉技术结合锁定钢板内固定可以很好地维持老年骨质疏松性肱骨近端骨折的稳定性, 这为老年骨质疏松性 Neer 三、四部分肱骨近端骨折的治疗提供了一种新的思路。

## 3 骨水泥手术的注意事项

因为骨水泥具有毒性反应, 所以在注入骨水泥前需静脉滴注地塞米松、异丙嗪等, 预防性地使用麻黄

素。有报道称甲基强的松龙可以有效防止骨水泥释放过敏毒素<sup>[49]</sup>。在治疗老年骨质疏松性肱骨近端骨折时,术中需在间断透视下注入骨水泥,以确认骨水泥是否完全进入骨缺损部位,观察骨水泥是否渗漏;注射完骨水泥后要清除多余的骨水泥;术后 48 h 内静脉滴注抗生素,以防止手术部位感染<sup>[50]</sup>。对于开放性及合并严重软组织损伤的肱骨近端骨折,采用骨水泥时需加入抗生素,这样可以更有效地防治局部感染<sup>[51]</sup>。

#### 4 骨水泥手术的弊端

近几年骨水泥技术已发展至第 3 代,但截至目前仍难以在老年骨质疏松性肱骨近端骨折的临床治疗中得到普遍应用,其主要原因是骨水泥手术存在以下弊端:①骨水泥具有细胞毒性,部分患者易产生过敏反应<sup>[52]</sup>;②术中应用骨水泥易出现骨水泥渗漏、脂肪栓塞、骨水泥性肺栓塞等并发症;③操作上难以确定骨水泥的安全区,尤其是在老年骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗中应用骨水泥更具有有一定难度,因老年患者骨质疏松,骨质被破坏,注入骨水泥后极可能渗漏到关节腔或通过骨皮质缺损处渗漏到关节外;④骨水泥注入时机难以把握,过早或过晚注入骨水泥都会影响手术效果<sup>[53]</sup>;⑤注入骨水泥时,必须在 C 形臂 X 线机透视下进行,这样会增加医生和患者所受的辐射量;⑥也有研究者<sup>[54-55]</sup>通过掺入不同的物质改变骨水泥性质的方法来增强其生物相容性及抗菌能力,诱导骨再生,但此方法同时也会降低骨水泥的强度,这也是骨水泥难以推广的一个重要原因。

#### 5 小 结

目前,临床上骨水泥的种类繁多,在老年骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗中常用的骨水泥类型主要有 PMMA 骨水泥、磷酸钙骨水泥、硫酸钙骨水泥、镁基骨水泥等。临床研究已证明在老年骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗中应用上述骨水泥均可取得一定的临床疗效。但是,在老年骨质疏松性肱骨近端骨折的治疗中应用骨水泥时如何提高手术技巧,在保证安全的前提下控制透视次数,以及骨水泥的新型增强固定技术是否适用于所有部位骨折,骨水泥的注入位置是否影响内固定的稳定,这些问题都有待于进一步研究和探索。

#### 参考文献

[1] SABESAN V J, LOMBARDO D, PETERSEN - FITTS G, et al. National trends in proximal humerus fracture treatment

patterns[J]. Aging Clin Exp Res, 2017, 29 ( 6 ) : 1277 - 1283.

[2] SONG H, WANG M, DU H, et al. Comparison of locking plates and intramedullary nails in treatment of three - part or four - part proximal humeral neck fractures in elderly population: a randomized trial protocol[J]. Medicine ( Baltimore ), 2020, 99 ( 46 ) : e22914.

[3] 郭家良,王海立,董维冲,等. 老年肱骨近端骨折的治疗与康复研究进展[J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2019, 5 ( 4 ) : 233 - 237.

[4] 华筠毅,黄伟杰,戴明华,等. 髓内钉治疗老年性肱骨近端骨折的疗效评价[J]. 组织工程与重建外科杂志, 2018, 14 ( 2 ) : 89 - 91.

[5] GREENBERG A, ROSINSKY P J, GAFNI N, et al. Proximal humeral nail for treatment of 3 - and 4 - part proximal humerus fractures in the elderly population: effective and safe in experienced hands[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2021, 31 ( 4 ) : 769 - 777.

[6] WALTERS J M, AHMADI S. High - Energy Proximal humerus fractures in geriatric patients: a review[J/OL]. Geriatr Orthop Surg Rehabil, 2020, 11 [ 2021 - 02 - 26 ]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7734485/>. DOI:10.1177/2151459320971568.

[7] ASKESEN A, GÖÇER A, UZEL K, et al. Effect of Osteoporosis on Proximal Humerus Fractures[J]. Geriatr Orthop Surg Rehabil, 2020, 11 : 2151.

[8] RÖDERER G, SCOLA A, SCHMÖLZ W, et al. Biomechanical in vitro assessment of screw augmentation in locked plating of proximal humerus fractures[J]. Injury, 2013, 44 ( 10 ) : 1327 - 1332.

[9] KIM H, LEE W, CHOI S, et al. Role of additional inferomedial supporting screws in osteoporotic 3 - part proximal humerus fracture: finite element analysis[J/OL]. Geriatr Orthop Surg Rehabil, 2020, 11 [ 2021 - 02 - 26 ]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7649924/>. DOI:10.1177/2151459320956958.

[10] KIM D Y, KIM T Y, HWANG J T. PHILOS plate fixation with polymethyl methacrylate cement augmentation of an osteoporotic proximal humerus fracture[J]. Clin Shoulder Elb, 2020, 23 ( 3 ) : 156 - 158.

[11] BIERMANN N, PRALL W C, BÖCKER W, et al. Augmentation of plate osteosynthesis for proximal humeral fractures: a systematic review of current biomechanical and clinical studies[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2019, 139 ( 8 ) : 1075 - 1099.

- [12] BAJAMMAL S S, ZLOWODZKI M, LELWICA A, et al. The use of calcium phosphate bone cement in fracture treatment. A meta - analysis of randomized trials [J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(6): 1186 - 1196.
- [13] 王云琦, 祝静波, 姜少华. 锁定钢板内固定辅助骨水泥强化治疗老年肱骨近端骨折[J]. 中国冶金工业医学杂志, 2016, 33(5): 503 - 504.
- [14] CRISTOFOLINI L, RUSPI M L, MARRAS D, et al. Reconstruction of proximal humeral fractures without screws using a reinforced bone substitute [J]. J Biomech, 2021, 115: 110138.
- [15] VARGA P, INZANA J A, FLETCHER J W A, et al. Cement augmentation of calcar screws may provide the greatest reduction in predicted screw cut - out risk for proximal humerus plating based on validated parametric computational modelling: augmenting proximal humerus fracture plating [J]. Bone Joint Res, 2020, 9(9): 534 - 542.
- [16] SIEBENBÜRGER G, HELFEN T, BIERMANN N, et al. Screw - tip augmentation versus standard locked plating of displaced proximal humeral fractures: a retrospective comparative cohort study [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2019, 28(7): 1326 - 1333.
- [17] CHEN L, TANG Y, ZHAO K, et al. Sequential release of double drug (graded distribution) loaded gelatin microspheres/PMMA bone cement [J]. J Mater Chem B, 2021, 9(2): 508 - 522.
- [18] 丁国庆, 李晓林. 老年肱骨近端骨折治疗进展[J]. 国际骨科学杂志, 2011, 32(6): 372 - 374.
- [19] VERRON E, PISSONNIER M L, LESOEUR J, et al. Vertebroplasty using bisphosphonate - loaded calcium phosphate cement in a standardized vertebral body bone defect in an osteoporotic sheep model [J]. Acta Biomater, 2014, 10(11): 4887 - 4895.
- [20] 魏晨旭, 何怡文, 王聘, 等. 组织工程学中骨修复材料的研究热点与进展[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(10): 1615 - 1621.
- [21] GROSFELD E C, HOEKSTRA J W, HERBER R P, et al. Long - term biological performance of injectable and degradable calcium phosphate cement [J]. Biomed Mater, 2016, 12(1): 015009.
- [22] O' NEILL R, MCCARTHY H O, MONTUFAR E B, et al. Critical review: injectability of calcium phosphate pastes and cements [J]. Acta Biomater, 2017, 50: 1 - 19.
- [23] NEWMAN J M, KAHN M, GRUSON K I. Reducing postoperative fracture displacement after locked plating of proximal humerus fractures: current concepts [J]. Am J Orthop (Belle Mead NJ), 2015, 44(7): 312 - 320.
- [24] SCHUMACHER M, REITHER L, THOMAS J, et al. Calcium phosphate bone cement/mesoporous bioactive glass composites for controlled growth factor delivery [J]. Biomater Sci, 2017, 5(3): 578 - 588.
- [25] GRÜNEWALD D, LANGENMAIR E, HIRSCHMÜLLER A, et al. Biomechanical in vitro evaluation of a ready - to - use calcium phosphate cement implanted to augment intramedullary nail fixation of a three - part humeral head fracture model [J]. Proc Inst Mech Eng H, 2019, 233(7): 706 - 711.
- [26] GRADL G, KNOBE M, STOFFEL M, et al. Biomechanical evaluation of locking plate fixation of proximal humeral fractures augmented with calcium phosphate cement [J]. J Orthop Trauma, 2013, 27(7): 399 - 404.
- [27] KLEIN R, TETZLAFF R, WEISS C, et al. Osteointegration and resorption of intravertebral and extravertebral calcium phosphate cement [J]. Clin Spine Surg, 2017, 30(3): E291 - E296.
- [28] LODOSO - TORRECILLA I, VAN DEN BEUCKEN J J P, JANSEN J A. Calcium phosphate cements: optimization toward biodegradability [J]. Acta Biomater, 2021, 119: 1 - 12.
- [29] MARONGIU G, VERONA M, CARDONI G, et al. Synthetic bone substitutes and mechanical devices for the augmentation of osteoporotic proximal humeral fractures: a systematic review of clinical studies [J]. J Funct Biomater, 2020, 11(2): 29.
- [30] YANG G, LIU J, LI F, et al. Bioactive calcium sulfate/magnesium phosphate cement for bone substitute applications [J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2014, 35: 70 - 76.
- [31] 袁宁, 刘运德, 李雪, 等. 庆大霉素和 O - 羧甲基壳聚糖对硫酸钙骨水泥改性研究 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2017, 31(3): 306 - 312.
- [32] SEHLKE B M, WILSON T G, JONES A A, et al. The use of a magnesium - based bone cement to secure immediate dental implants [J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2013, 28(6): 357 - 367.
- [33] YOSHIZAWA S, BROWN A, BARCOWSKY A, et al. Magnesium ion stimulation of bone marrow stromal cells enhances osteogenic activity, simulating the effect of magnesium alloy degradation [J]. Acta Biomater, 2014, 10(6): 2834 - 2842.

- [34] TAN S, WANG Y, DU Y, et al. Injectable bone cement with magnesium – containing microspheres enhances osteogenesis via anti – inflammatory immunoregulation[J]. *Bioact Mater*, 2021, 6(10): 3411 – 3423.
- [35] GULOTTA L V, KOVACEVIC D, YING L, et al. Augmentation of tendon – to – bone healing with a magnesium – based bone adhesive[J]. *Am J Sports Med*, 2008, 36(7): 1290 – 1297.
- [36] SCHENDEL S A, PEAUROI J. Magnesium-based bone cement and bone void filler: preliminary experimental studies[J]. *J Craniofac Surg*, 2009, 20(2): 461 – 464.
- [37] WU Y, TANG X, CHEN J, et al. Improvement of bioactivity, degradability, and cytocompatibility of biocement by addition of mesoporous magnesium silicate into sodium – magnesium phosphate cement [J]. *J Mater Sci Mater Med*, 2015, 26(9): 238.
- [38] KANTER B, VIKMAN A, BRÜCKNER T, et al. Bone regeneration capacity of magnesium phosphate cements in a large animal model[J]. *Acta Biomater*, 2018, 69: 352 – 361.
- [39] 郭良煜, 郭卫春. 磷酸镁骨水泥及其复合物在骨修复应用的研究进展[J]. *医学研究杂志*, 2019, 48(1): 159 – 162.
- [40] 张莉, 杨在君, 丁祥, 等. 整合剂对镁基骨水泥体外细胞毒性的影响[J]. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 37(3): 270 – 273.
- [41] SIEGEL H J, LOPEZ – BEN R, MANN J P, et al. Pathological fractures of the proximal humerus treated with a proximal humeral locking plate and bone cement [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2010, 92(5): 707 – 712.
- [42] NEER C S 2nd. Displaced proximal humeral fractures. I. classification and evaluation [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1970, 52(6): 1077 – 1089.
- [43] 徐鹏, 苏萍, 李雪栋, 等. 锁定接骨板治疗累及肱骨距的肱骨近端骨折: 有效支撑、并发症和功能恢复[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(12): 1949 – 1956.
- [44] 刘炎, 葛鸿庆, 管华, 等. 内侧柱缺失型肱骨近端骨折不同固定方式的有限元分析[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(9): 1384 – 1389.
- [45] UNGER S, ERHART S, KRALLINGER F, et al. The effect of in situ augmentation on implant anchorage in proximal humeral head fractures [J]. *Injury*, 2012, 43(10): 1759 – 1763.
- [46] KIYAK G, BALIKCI T, HEYDAR A M, et al. Comparison of the pullout strength of different pedicle screw designs and augmentation techniques in an osteoporotic bone model[J]. *Asian Spine J*, 2018, 12(1): 3 – 11.
- [47] MULON P Y, ZARZOSA M, HARPER D P, et al. Assessment of two augmentation techniques on the mechanical properties of titanium cannulated bone screws[J]. *Am J Vet Res*, 2020, 81(2): 116 – 121.
- [48] 余荣峰, 张一, 王远政, 等. 新型骨水泥强化螺钉结合锁定钢板内固定与人工肱骨头置换治疗肱骨近端骨质疏松性骨折的比较[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(15): 2335 – 2341.
- [49] DONALDSON A J, THOMSON H E, HARPER N J, et al. Bone cement implantation syndrome [J]. *Br J Anaesth*, 2009, 102(1): 12 – 22.
- [50] 冯云升, 李万强, 陈鹏. 骨水泥联合锁定钢板治疗 26 例老年肱骨近端粉碎性骨折临床疗效观察[J]. *中国伤残医学*, 2017, 25(20): 58 – 59.
- [51] 白刚, 刘起, 孟令军, 等. 抗生素骨水泥在软组织缺损中的应用[J]. *世界最新医学信息文摘(连续型电子期刊)*, 2020, 20(62): 55 – 56.
- [52] INNES M B, ATWATER A R. Orthopedic implant hypersensitivity reactions: concepts and controversies [J]. *Dermatol Clin*, 2020, 38(3): 361 – 369.
- [53] 吴峰, 刘园林, 蔡立雄, 等. 骨水泥增强钢板螺钉固定老年肱骨近端骨折[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(10): 901 – 905.
- [54] XU D, SONG W, ZHANG J, et al. Osteogenic effect of polymethyl methacrylate bone cement with surface modification of lactoferrin[J]. *J Biosci Bioeng*, 2021, 132(2): 132 – 139.
- [55] INCEOGLU S, BOTIMER G, MASKIEWICZ V K. Novel microcomposite implant for the controlled delivery of antibiotics in the treatment of osteomyelitis following total joint replacement[J]. *J Orthop Res*, 2021, 39(2): 365 – 375.

(收稿日期: 2021-03-03 本文编辑: 时红磊)