肱骨近端骨折内固定术中重建内侧柱支撑方法

买买提艾力·吐尔逊 陈云丰 曾浪清

摘要 锁定钢板内固定是治疗移位的不稳定性肱骨近端骨折常用方法之一，但其术后并发症发生率较高。除了局部骨质疏松外，缺乏内侧柱支撑是影响内固定力学稳定性及引起术后并发症的重要因素之一。研究表明，在同样使用锁定钢板内固定治疗肱骨近端骨折时，内侧缺乏支撑的患者肱骨头高度丢失程度、骨折复位丢失比例以及螺钉穿出和松动发生率均明显高于内侧有支撑的患者。因此，国内外学者针对如何重建其内侧柱支撑以及增强内固定稳定性进行了大量研究。内侧骨皮质支撑、内侧支撑螺钉运用、自体骨或异体骨移植、局部骨水泥填充是目前临床较常用的方法。研究表明，这些方法在维持并增强锁定钢板内固定治疗肱骨近端骨折稳定性以及减少术后并发症方面有着积极的作用。该文就肱骨近端骨折内固定术中重建内侧柱支撑方法作一综述。

关键词 肱骨近端骨折；内固定；锁定钢板；内侧柱支撑

DOI：10.3969/j.issn.1673-7083.2017.01.003

肱骨近端骨折是老年人常见的骨折之一，发生率仅次于桡骨远端骨折和股骨近端骨折[1]。随着人口老龄化加剧，此类骨折的发病率逐渐增加[2]。对于肱骨近端骨折的老年患者，骨折端骨质疏松使得内固定物把持力减弱，术后更易发生钢板松动、螺钉切割等并发症，所以在内固定物选择上倾向于锁定钢板[3]。锁定钢板内固定是治疗移位的不稳定性肱骨近端骨折常用的方法之一[4]，在治疗复杂肱骨近端骨折时可取得较满意的疗效[5]，然而其并发症发生率高达49%[4,6-7]。研究[8-10]表明，术中重建肱骨近端内侧柱支撑是稳定固定及预防术后内固定失败的关键。Gardner等[8]首次提出重建肱骨近端内侧柱支撑的概念，认为缺乏内侧柱支撑与复位丢失相关。Krappinger等[9]研究证实，高龄、骨质疏松、术中未重建肱骨近端内侧柱支撑及骨折端复位不佳是内固定失败的危险因素。Jung等[11]研究发现，对于内侧柱粉粹的肱骨近端骨折，锁定钢板内固定术后疗效较差。因此，针对骨质疏松和内侧柱粉碎的肱骨近端骨折，如何重建内侧柱支撑及增强其固定稳定性显得尤为重要。

1 内侧骨皮质支撑

对于肱骨近端内侧骨皮质简单骨折，术中可通过肱骨近端内侧骨皮质的解剖复位获得较佳的内侧柱支撑。Lescheid等[12]生物力学研究证实，肱骨近端内侧骨皮质支撑有助于增强肱骨近端二部分外科颈骨折内固定的稳定性。通过内侧骨皮质支撑重建肱骨近端内侧柱支撑值得临床推广。Namdari等[13]研究认为，对于无明显骨质疏松的内侧骨皮质简单骨折（X线片显示平均肱骨干骨皮质厚度＞4 mm），术中争取内侧骨皮质解剖复位即可，无需植骨；对于骨质疏松严重的内侧骨皮质简单骨折（X线片显示平均肱骨干骨皮质厚度＜4 mm）或嵌插型骨折、肱骨头骨量缺损明显的骨折，需一期肱骨头空腔植骨，可选择磷酸钙骨水泥、同种异体松质骨或自体髂骨等。

2 运用内侧支撑螺钉

肱骨干骺端内侧粉碎性骨折、骨缺损以及骨皮质复位欠佳时，可将内侧支撑螺钉置入肱骨头内下区软骨下骨来重建肱骨近端内侧柱支撑。Gardner等[8]首次提出重建肱骨近端内侧柱支撑的概念并提出以下3个标准：①肱骨干骺端内侧非粉碎性骨折且解剖复位；②肱骨干内侧骨皮质与肱骨头骨皮质相接触并“嵌插”；③至少有1枚斜向锁定螺钉置入肱骨头内下区软骨下骨（距关节面5～8 mm）处，此锁定螺钉定义为内侧支撑螺钉。对于内侧粉碎性骨折、骨缺损及内侧骨皮质复位欠佳的肱骨近端骨折，内侧支撑螺钉可抵消部分作用于肱骨头的内翻应力，使肱骨头获得有效支撑，增强肱骨头固定的稳定性，预防肱骨头内翻和复位丢失。内侧柱粉碎常见于复杂的肱骨近端骨折，因此锁定钢板内固定时内侧支撑螺钉起关键作用。Zhang等[14]在一项前瞻性随机对照研究中证实，置入肱骨头内下区的内侧

基金项目：上海市科学技术委员会医学引导类科技项目（134119a2201）

作者单位：200233， 上海交通大学附属第六人民医院骨科

通信作者：陈云丰 E-mail：drchenyf@qq.com

支撑螺钉有助于增强复杂肱骨近端骨折内固定稳定及减少内固定失败。

2.1　临床研究

Gardner 等[8]采用锁定钢板治疗 35 例肱骨近端骨折，其中 18 例内侧柱支撑获得重建，17 例未获重建，术后重建组肱骨头高度丢失明显低于未重建组（1.2 mm vs. 5.8 mm，$P<0.001$），重建组 1 例发生螺钉穿出肱骨头关节面，未重建组 5 例发生螺钉穿出肱骨头关节面；认为除了解剖复位外，使用内侧支撑螺钉是锁定钢板内固定治疗复杂肱骨近端骨折时增强内固定稳定性、维持复位并减少术后并发症的关键因素。曾浪清等[15]将 130 例采用锁定钢板内固定治疗的肱骨近端骨折患者根据肱骨近端内侧柱支撑重建情况分为内侧骨皮质支撑组、多枚螺钉置入组、单枚螺钉置入组和无支撑重建组，发现内侧骨皮质支撑组术后功能恢复最佳、骨折愈合时间最短、术后肱骨头内翻角最小、并发症发生率最低，其次为多枚螺钉置入组，其临床功能结果优于单枚螺钉置入组和无支撑重建组，而单枚螺钉置入组临床结果略优于无支撑重建组，尤其是肱骨头内翻角明显小于后者。

2.2　生物力学研究

生物力学研究[16]表明，在肱骨近端二部分骨折锁定钢板内固定术中，内侧支撑螺钉对刚度和最大载荷的作用有争议。因为肱骨近端二部分骨折内在稳定性好于复杂肱骨近端三、四部分骨折，因此在这类骨折中内侧柱支撑螺钉的作用可能减弱。Bai 等[16]研究发现，用锁定钢板和 2 枚内侧支撑螺钉固定不稳定性肱骨近端二部分骨折模型，结果显示轴向和剪切刚度显著增加，但内侧骨皮质完整时刚度无变化。曾浪清等[17]将 30 具人工合成肱骨标本随机分为内侧骨皮质支撑组、3 枚内侧支撑螺钉置入组（无内侧骨皮质支撑）和无内侧柱支撑组，并对 3 组标本进行生物力学测试，发现内侧骨皮质支撑组生物力学性能最佳，3 枚内侧支撑螺钉置入组生物力学性能较无内侧柱支撑组明显增强。由此可见，内侧骨皮质支撑或内侧支撑螺钉重建肱骨近端内侧柱支撑值得临床运用。

3　自身骨或异体骨移植

临床上常遇到结构性骨缺损、骨折塌陷关节面复位后遗留软骨下骨缺损及骨折愈合不良和萎缩性骨不连等情况，此时均需要移植骨骼或采用骨骼替代品进行治疗。目前临床上用于移植修复骨缺损的材料包括自体骨、同种异体骨、异种骨和人工合成骨。各种材料的特性不一，各有优缺点。

3.1　自体骨移植

自体骨移植 3～6 个月后便可以完成骨的爬行替代、再生和塑形。因此，自体骨移植一直被认为是植骨的金标准，临床上进行植骨手术首选自体骨。Kim 等[18]采用锁定钢板内固定、一期取自体髂骨植骨治疗 21 例肱骨近端四部分骨折患者，平均随访 27.5 个月，所有患者均获得骨性愈合，平均愈合时间为（2.50±0.35）个月，未发现肱骨头缺血性坏死；末次随访时平均颈干角为 129°±9°，肩关节 Neer 评分平均为 92.0 分（81～100 分），优良率达 100%。Zhu 等[19]对 18 例肱骨近端四部分粉碎性骨折患者进行锁定钢板内固定联合自体髂骨移植（实验组），对 22 例同样骨折分型的患者单纯进行锁定钢板内固定（对照组），与对照组相比，实验组关节各方向活动度均优于对照组，疼痛视觉模拟评分（VAS）低于对照组，平均健康调查简表（SF-36）评分明显高于对照组（88.00 分 vs. 69.45 分，$P<0.001$）。

虽然自体骨移植被认为是植骨的金标准，但自体骨取材有限，切取供移植的骨骼时难免增加失血量，延长手术时间，给患者增加痛苦，此外供区部位还会有一定的不适，甚至出现并发症。正是这些共有的缺陷使自体骨移植在临床应用受到一定的限制，迫使学者们去寻找并应用其他替代材料。

3.2　同种异体骨移植

Walch 等[20]最早提出对肱骨外科颈骨不连的患者使用髓内异体骨移植条。Gardner 等[21]于 2008 年首次报道用锁定钢板内固定联合髓内同种异体腓骨移植治疗 7 例肱骨近端骨折的临床研究，所有患者随访到骨性愈合，均未发生复位丢失，术后 3～4 个月移植骨条与肱骨近端成为一体；提出髓内腓骨移植不仅可以重建内侧柱支撑，还可以辅助肱骨近端内侧骨皮质复位。Neviaser 等[22]报道对 38 例移位的肱骨近端骨折采用锁定钢板内固定联合髓内同种异体腓骨移植治疗，结果显示术后复位丢失率（2.6%）、螺钉切除率（0%）和肱骨头坏死率（2.6%）均较低，而且术后临床功能评分均较高。

贺云飞等[23]研究发现，半肩关节置换术与锁定钢板内固定治疗肱骨近端三、四部分骨折术后功能恢复无显著性差异，但锁定钢板内固定术后并发症明显多于半肩关节置换术。因此，中老年肱骨近端三、四部分骨折治疗应首选半肩关节置换术。近期

Chen等[24]进行前瞻性病例对照研究，选取60例骨质疏松的肱骨近端四部分骨折患者，采用锁定钢板内固定联合髓内同种异体腓骨移植术（30例，实验组）和半肩关节置换术（30例，对照组），结果发现实验组平均臂肩手功能障碍（DASH）评分和Constant-Murley肩关节功能评分均高于对照组（$P<0.05$），且术后并发症发生率低于对照组。这种差异可能由髓内异体腓骨移植引起。锁定钢板内固定联合髓内骨移植可以有效地防止复位丢失和内翻塌陷，减少术后并发症。对于无内侧骨皮质支撑的肱骨近端骨折，需要用髓内骨移植重建内侧支撑，预防肱骨头内翻塌陷。

生物力学研究表明，肱骨近端骨折锁定钢板内固定联合髓内腓骨移植较单纯锁定钢板内固定生物力学性能更佳。Mathison等[25]选取6对防腐尸体标本进行配对比较研究，为模拟肱骨近端内侧粉碎性骨折，在外科颈水平进行10 mm的楔形截骨术，相比单纯锁定钢板内固定，锁定钢板内固定联合髓内腓骨移植最大载荷增加1.72倍，刚度增加3.84倍。Osterhoff等[26]将20具人工合成肱骨标本分为锁定钢板内固定组（$n=10$）和锁定钢板内固定联合髓内腓骨移植组（$n=10$），以评估髓内腓骨移植对循环运动、骨折端位移和标本形态改变的影响，结果发现髓内腓骨移植后循环运动减少5倍，骨折端位移减少2倍，标本形态改变减少2倍，无螺钉穿出和内固定失败发生。

4 肱骨近端骨水泥填充

目前骨水泥已应用于肱骨近端骨折的治疗，并且许多生物力学研究证实它能增强锁定钢板内固定稳定性。磷酸钙盐和硫酸钙盐骨水泥可用于填充肱骨近端骨折骨缺损，特别是干骺端连接。不论为何种类型的骨折，在肱骨头骨缺损处或螺钉头部添加骨水泥，均较单纯锁定钢板内固定具有更强的刚度、更大的最大载荷和更小的骨折端位移，并且能够降低并发症发生率[27-28]。

4.1 临床研究

Robinson等[29]首次报道对25例肱骨近端骨折患者采用锁定钢板内固定联合可注射的磷酸钙骨水泥填充的临床研究，结果所有骨折均愈合，无明显复位丢失，12、24个月随访显示获得了满意的临床疗效。Somasundaram等[30]对21例肱骨近端骨折患者（22侧）采用锁定钢板内固定并用硫酸钙骨水泥填充干骺端骨缺损及螺钉头部增加骨水泥，最终22侧骨折中18侧获得较好的临床疗效，所有骨折均愈合且没有发生感染、内固定失败、畸形愈合和肱骨头缺血性坏死等并发症及与填充硫酸钙相关的不良事件。研究[31]表明，锁定钢板内固定联合一期磷酸钙骨水泥填充治疗肱骨近端骨折，能明显减少术后肱骨头高度丢失及螺钉穿出肱骨头关节面发生。Sarmento等[32]研究提出，锁定钢板固定肱骨近端骨折时，β-磷酸三钙骨移植应作为辅助措施，尤其是伴有内侧柱粉碎的情况下，以协助维持复位。

使用骨水泥关键问题在于以聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）为主要成分的骨水泥固化时释放的热量可能会损坏骨与软骨，并导致骨坏死和内植物松动。然而，Blazejak等[33]对7例老年女性尸体肱骨标本进行锁定钢板内固定并放入37℃的水浴，然后放置4个穿出的螺钉，每枚螺钉增加0.5 mL PMMA，测量螺钉端部和关节面温度，结果软骨下骨温度为43.5℃，关节面温度为38.6℃，都未达到骨与软骨坏死和凋亡的临界温度。

4.2 生物力学研究

从生物力学角度来看，在肱骨头用空心螺钉联合PMMA填充是增强内固定稳定性的有效方法。Unger等[34]在12对新鲜冰冻的肱骨标本上模拟肱骨近端三部分骨折并用肱骨近端内锁定系统（PHILOS）和6枚头部螺钉固定，实验组近端4枚空心螺钉固定且每枚螺钉头部增加0.5 mL PMMA，对照组不添加PMMA水泥，对标本用循环载荷方法进行内翻弯曲或轴向旋转并加载至内固定失败，结果显示实验组比对照组具有更高的循环载荷。

研究显示，填充骨水泥是一种对软骨及骨无损害风险的安全方法，但哪个螺钉需要增加骨水泥还未明确。有学者[29]建议，对通向肱骨头前部（此部位骨密度最低）的螺钉增加骨水泥，对其他螺钉骨水泥只增加到肱骨头中央。肱骨头哪个部位增加骨水泥会进一步提高内固定稳定性，还需要进一步的研究。

5 结语

内侧骨皮质支撑、内侧柱支撑螺钉运用、自体骨或异体骨移植及局部填充骨水泥能够增强锁定钢板内固定治疗肱骨近端骨折的力学稳定性，减少内固定失败率及并发症发生率。上述方法在治疗复杂的肱骨近端三、四部分骨折时，对于术中重建内侧支撑并维持复位具有至关重要的作用。对于肱骨近端内侧骨皮质简单骨折，术中通过肱骨近端内侧骨皮质

的解剖复位可以获得较佳的内侧柱支撑;内侧柱支撑螺钉不需要扩大入路,也无预期不良事件发生,可以在大部分移位的不稳定性肱骨近端骨折,尤其是在内侧粉碎性骨折、骨缺损及内侧骨皮质复位欠佳等情况下应用。然而,骨水泥及骨移植的费用较高,操作较复杂且不易普及,还需要进行更多病例数量和更高水平的临床研究来使治疗标准化。

参 考 文 献

[1] Warriner AH, Patkar NM, Curtis JR, et al. Which fractures are most attributable to osteoporosis?[J]. J Clin Epidemiol, 2011, 64(1):46-53.

[2] Vachtsevanos L, Hayden L, Desai AS, et al. Management of proximal humerus fractures in adults[J]. World J Orthop, 2014, 5(5):685-693.

[3] 吴晓明,王秋根. 肱骨近端骨折手术治疗——解剖学重建或人工肩关节置换[J]. 国际骨科学杂志, 2011, 32(4):216-218.

[4] Gupta AK, Harris JD, Erickson BJ, et al. Surgical management of complex proximal humerus fractures-a systematic review of 92 studies including 4500 patients[J]. J Orthop Trauma, 2015, 29(1):54-59.

[5] 吴渊,叶庭均,王亚梓,等. 锁定钢板治疗肱骨近端三部分和四部分骨折的疗效及并发症——5 年随访分析[J]. 国际骨科学杂志, 2014, 35(1):57-59.

[6] Schliemann B, Siemoneit J, Theisen C, et al. Complex fractures of the proximal humerus in the elderly: outcome and complications after locking plate fixation[J]. Musculoskelet Surg, 2012, 96(Suppl 1):S3-S11.

[7] Konigshausen M, Kubler L, Godry H, et al. Clinical outcome and complications using a polyaxial locking plate in the treatment of displaced proximal humerus fractures. A reliable system?[J]. Injury, 2012, 43(2):223-231.

[8] Gardner MJ, Weil Y, Barker JU, et al. The importance of medial support in locked plating of proximal humerus fractures[J]. J Orthop Trauma, 2007, 21(3):185-191.

[9] Krappinger D, Bizzotto N, Riedmann S, et al. Predicting failure after surgical fixation of proximal humerus fractures [J]. Injury, 2011, 42(11):1283-1288.

[10] Krappinger D, Roth T, Gschwentner M, et al. Preoperative assessment of the cancellous bone mineral density of the proximal humerus using CT data[J]. Skeletal Radiol, 2012, 41(3):299-304.

[11] Jung WB, Moon ES, Kim SK, et al. Does medial support decrease major complications of unstable proximal humerus fractures treated with locking plate?[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2013, 14:102.

[12] 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.

[13] Namdari S, Voleti PB, Mehta S. Evaluation of the osteoporotic proximal humeral fracture and strategies for structural augmentation during surgical treatment[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2012, 21(12):1787-1795.

[14] Zhang L, Zheng J, Wang W, et al. The clinical benefit of medial support screws in locking plating of proximal humerus fractures: a prospective randomized study[J]. Int Orthop, 2011, 35(11):1655-1661.

[15] 曾浪清,陈云丰,唐三元,等. 不同内侧柱支撑重建对锁定钢板固定治疗肱骨近端骨折的影响[J]. 中华创伤骨科杂志, 2014, 16(1):6-11.

[16] Bai L, Fu Z, An S, et al. Effect of calcar screw use in surgical neck fractures of the proximal humerus with unstable medial support: a biomechanical study[J]. J Orthop Trauma, 2014, 28(8):452-457.

[17] 曾浪清,陈云丰,李元超,等. 内侧支撑螺钉在锁定钢板治疗肱骨近端骨折中的生物力学优势[J]. 医用生物力学, 2013, 28(3):338-343.

[18] Kim SH, Lee YH, Chung SW, et al. Outcomes for four-part proximal humerus fractures treated with a locking compression plate and an autologous iliac bone impaction graft [J]. Injury, 2012, 43(10):1724-1731.

[19] 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.

[20] Walch G, Badet R, Nove-Josserand L, et al. Nonunions of the surgical neck of the humerus: surgical treatment with an intramedullary bone peg, internal fixation, and cancellous bone grafting[J]. J Shoulder Elbow Surg, 1996, 5(3):161-168.

[21] Gardner MJ, Boraiah S, Helfet DL, et al. Indirect medial reduction and strut support of proximal humerus fractures using an endosteal implant[J]. J Orthop Trauma, 2008, 22 (3):195-200.

[22] Neviaser AS, Hettrich CM, Beamer BS, et al. Endosteal strut augment reduces complications associated with proximal humeral locking plates[J]. Clin Orthop Relat Res, 2011, 469 (12):3300-3306.

[23] 贺云飞,刘耀明,石鹏飞,等. 肱骨头置换术与锁定钢板内固定治疗中老年肱骨近端三四部分骨折疗效比较[J]. 国际骨科学杂志, 2014, 35(6):406-407.

[24] Chen H, Ji X, Gao Y, et al. Comparison of intramedullary fibular allograft with locking compression plate versus shoulder hemi-arthroplasty for repair of osteoporotic four-part proximal humerus fracture: consecutive, prospective, controlled, and comparative study[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2016, 102(3):287-292.

(下转第 32 页)

Diagn Interv Imaging, 2014, 95(11):1045-1053.

[19] Gillespie R, Torode IP. Classification and management of congenital abnormalities of the femur[J]. J Bone Joint Surg Br, 1983, 65(5):557-568.

[20] Gabos PG, El Rassi G, Pahys J. Knee reconstruction in syndromes with congenital absence of the anterior cruciate ligament[J]. J Pediatr Orthop, 2005, 25(2):210-214.

[21] Johansson E, Aparisi T. Congenital absence of the cruciate ligaments: a case report and review of the literature[J]. Clin Orthop Relat Res, 1982, 162:108-111.

[22] Roux MO, Carlioz H. Clinical examination and investigation of the cruciate ligaments in children with fibular hemimelia [J]. J Pediatr Orthop, 1999, 19(2):247-251.

[23] Cuervo M, Albinana J, Cebrian J, et al. Congenital hypoplasia of the fibula: clinical manifestations[J]. J Pediatr Orthop B, 1996, 5(1):35-38.

[24] Grogan DP, Holt GR, Ogden JA. Talocalcaneal coalition in patients who have fibular hemimelia or proximal femoral focal deficiency. A comparison of the radiographic and pathological findings[J]. J Bone Joint Surg Am, 1994, 76(9):1363-1370.

[25] Uffelman J, Woo R, Richards DS. Prenatal diagnosis of bilateral fibular hemimelia[J]. J Ultrasound Med, 2000, 19 (5):341-344.

[26] Stanitski DF, Stanitski CL. Fibular hemimelia: a new classification system[J]. J Pediatr Orthop, 2003, 23(1):30-34.

[27] McCarthy JJ, Iobst CA, Rozbruch SR, et al. Limb Lengthening and Reconstruction Society AIM index reliably assesses lower limb deformity[J]. Clin Orthop Relat Res, 2013, 471(2):621-627.

[28] Coventry MB, Johnson EW Jr. Congenital absence of the fibula[J]. J Bone Joint Surg Am, 1952, 34(4):941-955.

[29] Frantz CH, O'Rahilly R. Congenital skeletal limb deficiencies [J]. Lancet, 1961, 2(7581):1296.

[30] Catagni MA. Management of fibular hemimelia using the Ilizarov method[J]. Instr Course Lect, 1992, 41:431-434.

[31] Birch JG, Walsh SJ, Small JM, et al. Syme amputation for the treatment of fibular deficiency. An evaluation of long-term physical and psychological functional status[J]. J Bone Joint Surg Am, 1999, 81(11):1511-1518.

[32] Moseley CF. Assessment and prediction in leg-length discrepancy[J]. Instr Course Lect, 1989, 38:325-330.

[33] Szoke G, Mackenzie WG, Domos G, et al. Possible mistakes in prediction of bone maturation in fibular hemimelia by Moseley chart[J]. Int Orthop, 2011, 35(5):755-759.

(收稿:2016-12-15;修回:2016-12-30)

(本文编辑:杨晓娟)

(上接第 10 页)

[25] 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.

[26] Osterhoff G, Baumgartner D, Favre P, et al. Medial support by fibula bone graft in angular stable plate fixation of proximal humeral fractures: an in vitro study with synthetic bone[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2011, 20(5):740-746.

[27] 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.

[28] Kathrein S, Kralinger F, Blauth M, et al. Biomechanical comparison of an angular stable plate with augmented and non-augmented screws in a newly developed shoulder test bench[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2013, 28(3):273-277.

[29] Robinson CM, Page RS. Severely impacted valgus proximal humeral fractures. Results of operative treatment[J]. J Bone Joint Surg Am, 2003, 85(9):1647-1655.

[30] Somasundaram K, Huber CP, Babu V, et al. Proximal humeral fractures: the role of calcium sulphate augmentation and extended deltoid splitting approach in internal fixation using locking plates[J]. Injury, 2013, 44(4):481-487.

[31] Palvanen M, Kannus P, Niemi S, et al. Update in the epidemiology of proximal humeral fractures[J]. Clin Orthop Relat Res, 2006, 442:87-92.

[32] Sarmento M, Martins S, Monteiro J. beta-Tricalcium phosphate in the surgical treatment of proximal humeral fractures[J]. Acta Med Port, 2016, 29(1):41-45.

[33] Blazejak M, Hofmann-Fliri L, Buchler L, et al. In vitro temperature evaluation during cement augmentation of proximal humerus plate screw tips[J]. Injury, 2013, 44 (10):1321-1326.

[34] Unger S, Erhart S, Kralinger F, et al. The effect of in situ augmentation on implant anchorage in proximal humeral head fractures[J]. Injury, 2012, 43(10):1759-1763.

(收稿:2016-06-20;修回:2016-10-08)

(本文编辑:杨晓娟)