

老年肱骨近端骨折内侧柱重建的研究进展

姚川江¹, 张宏伟², 张晓刚², 于海洋², 谢飞洋¹, 马涛¹, 陈钵¹, 权祯¹

(1. 甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃中医药大学附属医院, 甘肃 兰州 730000)

【摘要】 肱骨近端内侧柱是肱骨头内下方的一段连续骨皮质区域, 该区域自被提出以来, 越来越受到临床和科研的重视。研究发现它有增加内固定的稳定性, 维持肱骨头高度, 防止内翻, 以及降低螺钉穿出的风险等作用, 生物力学研究也表明, 内侧柱在增加锁定钢板的刚度、抗扭转力、抗剪切力等方面有突出的表现。虽然有诸多好处, 但它的概念、具体区域尚未有统一的定义, 并且现有的分型未涉及内侧柱, 还需更多的研究来提供支持。内侧柱重建的方式主要包括锁定板联合肱骨距螺钉支撑、锁定钢板联合植入骨支撑、内外侧双钢板联合支撑、锁定板联合骨水泥、肱骨笼, 这几种方式各有其特点, 但会增加手术的成本以及带来新的并发症, 如何确定最佳的重建方式是未来研究的重点之一。

【关键词】 肱骨骨折; 骨重建; 老年人; 综述

中图分类号: R683.41

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.03.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Progress in the research of medial column reconstruction of proximal humerus fractures in the elderly YAO Chuan-jiang, ZHANG Hong-wei, ZHANG Xiao-gang*, YU Hai-yang, XIE Fei-yang, MA Tao, CHEN Bo, and QUAN Zhen. *The Affiliated Hospital of Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu, China

ABSTRACT The proximal medial column of the humerus is a continuous cortical region in the inner and lower part of the humerus head, which has attracted more and more attention in clinical and scientific research since it was proposed. It has been shown to increase the stability of internal fixation, maintain the height of the humeral head to prevent varus, and reduce the risk of screw penetration. Biomechanical studies have also shown that the medial column has an outstanding performance in increasing the stiffness, torsion resistance, and shear resistance of the locking plate. Although it has many benefits, there is no unified definition of its concept and specific region, and the existing classification does not include the medial column, therefore more researches are required to provide supporting information. The methods of medial column reconstruction mainly include locking plate combined with talus screw, locking plate combined with bone grafting, internal and external double plate combined support, locking plate combined with bone cement, and humeral cage. These methods have their own characteristics, however they will increase the cost of surgery and bring new complications. How to determine the best way of reconstruction is one of the focuses of future research. In this review, the concept of the proximal medial humerus column, the role of maintaining internal fixation, the role of biomechanics and the reconstruction methods are reviewed.

KEYWORDS Humeral fractures; Bone remodeling; Aged; Review

肱骨近端骨折(proximal humerus fractures, PHF)文献报道^[1]其发生率占全身骨折的 5%。随着社会老龄化的加速, 此病在未来还有不断上升的趋势^[2]。大部分肱骨近端骨折属于稳定的、轻微移位的骨折, 占肱骨近端骨折的 80%^[3], 通过保守治疗可以达到满意的效果; 而 20% 的肱骨近端骨折属于不稳定的、有明显移位的骨折则需要通过手术来治疗。手术的方

式有很多种, 如经皮克氏针、髓内钉、锁定钢板、关节置换等, 其中锁定钢板以其在骨质疏松性骨折中良好的稳定性, 成为临床中的首选手段^[4]。然而, 术后也存在许多问题, 如螺钉穿出、肱骨头塌陷、内翻畸形、肱骨头坏死等并发症。就这些问题, 许多学者认为内侧柱的丢失是引起植入失败和产生并发症的重要因素之一^[5-6], 它在维持肱骨头高度以防止内翻和增加锁定钢板的刚度、抗扭转力、抗剪切力等生物力学方面有突出的表现, 可维持内固定的稳定和降低术后并发症。因此, 在使用锁定钢板固定的同时, 应对丢失的内侧柱进行重建, 以此来增加临床疗效。本文就内侧柱的概念, 维持内固定的作用, 生物力学作用, 目前主要的重建方式等方面的研究进展来展开综述。

项目基金: 甘肃省中医药管理局科研项目(编号: GZK-2019-37); 兰州市科技科技发展计划项目(编号: 2017-4-78); 2020 年甘肃省高等学校创新能力提升项目(编号: 2020B-149)

Fund program: Scientific Research Project of Gansu Administration of Traditional Chinese Medicine (No. GZK-2019-37)

通讯作者: 张晓刚 E-mail: zxc0525@163.com.

Corresponding author: ZHANG Xiao-gang E-mail: zxc0525@163.com

1 肱骨近端内侧柱的概念

关于内侧柱的范围目前尚没有统一的定义,一般认为内侧柱为肱骨头内下方的一段连续骨皮质区域^[7-8],此处为骨折应力的薄弱区,伴有骨质疏松的老年人在发生肱骨近端骨折时常造成该区域的丢失。现有的 Neer^[9]4 部分分型中,未涉及内侧柱。但有学者^[10]认为在现有的 Neer 4 部分分型中,应该加入第 5 部分,即内侧柱。利用 4 个平面,即解剖颈平面、外科颈平面、正交于小结节内侧边缘的平面、三角平面把内侧柱划定了特定区域,并且认为这一分类的增加有利于临床医生评估哪些骨折可以重建,而内侧柱概念的统一、肱骨近端骨折分型的纳入等问题还需要更多的研究来提供支撑。

1.1 内侧柱支撑维持内固定的作用

随着研究的深入,内侧支撑对维持内固定的作用在临床和科研中越来越得到重视,在 2007 年, Gardner 等^[11]首次通过临床研究的方式验证了内侧支撑对维持骨折复位的重要意义,内侧支撑的存在对术后肱骨头高度有显著的影响,有内侧支撑组平均丢失高度为 1.2 mm,无内侧支撑组则为 5.8 mm,而无内侧支撑组也出现了更多的并发症,表明内侧柱对手术整体的疗效影响还是非常重要的,所以建议在肱骨近端下方放置 1 个甚至多个向上斜位的锁定螺钉,以维持更好的复位。随后 Jung 等^[12]主要评估内侧支撑对锁定钢板治疗不稳定性肱骨近端骨折术后并发症的影响,如肱骨头坏死、复位高度丢失、骨不连、畸形愈合、钢板断裂、螺钉问题和感染,随访 4 年发现,有内侧支撑组明显较无内侧支撑组发生并发症少,并且强调了恢复内侧支撑是预防骨折术后并发症的最可靠因素。对于这样一个可改变、关键的因素,临床医生应该加以控制。但此研究存在样本量小、使用钢板未统一的问题,可能会导致结果的偏差。随着内侧柱重建的方式越来越丰富, Biermann 等^[13]对肱骨近端钢板内固定展开了系统地回顾性研究,发现目前各种形式对锁定钢板内固定的增强都有助于增加机械稳定性,降低并发症,改善患者的临床疗效。近几年也有文献^[14-15]报道了内侧柱可以增强内固定的稳定性,但目前的研究以及应用也存在诸多不足的地方,如大多数研究内固定物为锁定钢板,其他固定方式未涉及;缺乏相应的循证医学验证,以及系统的理论支撑;内侧柱丢失的程度与支持物的选择未有统一的标准,但内侧柱支撑的作用已经受到越来越多的重视。

1.2 内侧柱的生物力学作用

大部分肱骨近端骨折在解剖复位后常会出现内侧柱缺失的问题,而内侧柱重建的重要性也越来越

被认可,但它的作用需要生物力学研究进一步证明。Lescheid 等^[16]利用人工肱骨近端模型评估了有无内侧支撑对锁定钢板治疗肱骨近端骨折时锁定钢板的机械刚度和强度的力学影响,使用模型在不同的内翻平面,分别施加轴向力、扭转力、剪切力,然后进行测试,结果显示有内侧皮质支撑组的模型相比无内侧支撑组,锁定钢板表现出了更高的强度。但此研究中单纯利用模型骨进行试验,缺少对实际骨折周围环境的模拟,且未涉及骨质疏松程度的模拟。而另一项研究^[17]则优化了模型骨,采用了人体肱骨,并且使每组的骨密度都尽量匹配;在力学环境模拟方案上,也更加符合实际情况,模拟 6~8 周的术后早期功能治疗期间的日常生活活动;经力学测试,锁定钢板联合髓内皮质骨托架固定比单纯锁定钢板固定明显提供了更多的稳定性和刚度。肱骨距螺钉是更早于髓内皮质骨的一种提供内侧支撑的方式, Gardner 等^[11]在 2007 年已在临床研究中证明在解剖复位内侧壁放置 1 枚斜向上的螺钉,对维持肱骨头高度和降低并发症有很好的效果。随后,一项体外生物力学研究^[18]将聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) 骨水泥打入螺钉的头部,以此来增强螺钉头、骨界面,从而增加初始稳定性,结果显示螺钉尖增强物显著减少骨-种植体界面之间的运动,抵消内翻塌陷,但这种技术易发生 PMMA 渗漏,造成缺血性坏死。即使内侧支撑增加了锁定钢板的疗效,但仍存在内植物容易发生固定不牢、松动等问题。di Tullio 等^[19]利用肱骨近端骨折模型测试了用 2 块钢板固定的生物力学作用,结果发现外侧锁定板与内侧非锁定板结合的方式最为坚固,能够提供更稳定的固定效果,并且能够潜在地降低内翻塌陷和骨折愈合障碍的风险,其中内侧非锁定板相当于内侧柱的效果,虽然固定更加稳定,但这种方式也增加了缺血性坏死、骨不愈合的风险。张学东^[20]也通过生物力学方式研究外侧板联合后侧板对内侧柱丢失型肱骨近端骨折内固定生物力学的影响,结果发现内侧柱支撑螺钉的外侧钢板与后侧钢板联合时可以获得更好的生物力学稳定。

综上所述,内侧柱支撑的生物力学作用主要体现在 2 个方面:一方面可以更好地维持肱骨头的高度,防止肱骨头塌陷和内翻畸形,这对保证肩关节功能有很大帮助;另一方面增加锁定钢板在固定时的刚度、抗扭转力和抗剪切力,同时可降低螺钉的松动和穿出的风险。但目前的生物力学试验也存在几个问题,如模型骨为尸体骨或人造骨,不能有效模拟老年骨质疏松性骨折的特点;没有评估肩关节周围软组织对力学的影响,不能充分反映临床实际;测试的

方式和指标未有统一的标准。未来还需要更多、更优质的生物力学研究来为内侧柱提供理论支持。

2 内侧柱重建的方式

锁定钢板是目前治疗复杂肱骨近端骨折最常用的固定方式,但仍存在诸多并发症,内侧柱重建有望减少这些问题的发生。目前主要的重建方式包括锁定板联合肱骨距螺钉支撑、锁定钢板联合植入骨支撑、内外侧双钢板联合支撑、锁定板联合骨水泥、肱骨笼等方式。这几种方式各有利弊,如何选择需要临床医生通过评估患者的情况、对手术掌握的熟练程度等多方面因素来制定合适的方案。

2.1 锁定钢板联合肱骨距螺钉支撑

Gardner 等^[11]首次使用了螺钉支撑的概念,发现在解剖复位内侧壁放 1 个向上的螺钉可明显减少内翻塌陷的发生并维持良好的复位。Zhang 等^[21]通过一项前瞻性研究也证明了内侧支撑螺钉对复杂骨折的机械稳定性有帮助,并且可以维持更好的复位,但发现内侧支撑对于 Neer 2 部分骨折没有明显的好处,所以认为在一些简单的肱骨近端骨折中,没有必要放置额外的螺钉来稳定内侧结构。郭秀武等^[22]也研究了使用螺钉支撑的方式来增强内侧柱,通过对比认为使用螺钉支撑可以减少并发症的发生,提高患者肩功能恢复。但随着肱骨距螺钉的使用,问题也随之而来:螺钉的数量以及放置的位置没有统一的标准。在一项尸体研究^[23]中,发现肱骨头上放置的螺钉越多发生穿孔的风险越低,而且下内侧螺钉进一步减少了这种风险,建议在内侧柱丢失的肱骨近端骨折固定时要放 1 个下内侧螺钉,并在肱骨头至少放 5 枚螺钉。Fletcher 等^[24]则利用有限元分析的方式预测螺钉配置对固定失败风险的影响,发现 9 枚螺钉的配置展现了最低的周向螺钉应变力,而当螺钉配置少的时候,它们之间的距离应该尽可能大一些,并且建议使用肱骨距螺钉。Lindsay 等^[25]则建议使用更少的螺钉,发现使用 5 个或 7 个螺钉的固定刚度并没有显著差异,而在伴有骨质疏松的老年患者中有螺钉穿出的风险。而在另一项研究^[26]中,研究者认为肱骨距螺钉的置入会增加肱骨头坏死的风险。虽然肱骨距螺钉的使用在内侧柱丢失的肱骨近端骨折中有诸多益处,但目前螺钉的数量以及位置无统一的标准,还需要更多的生物力学测试以及临床研究来确定最优的方式。这种方法适用于所有伴有内侧柱丢失的骨折类型,缺点是肱骨距螺钉的置入困难,当内侧柱粉碎严重时可发生松动的风险;优点是相比较于其他几种方式,费用较低。

2.2 锁定钢板联合植入骨支撑

对于有明显内侧柱丢失的 PHF,可以使用植入

骨的方式来补充骨缺损,这也是常用的加强固定方式之一,其中髓内同种异体腓骨移植是最常采用的植骨方式。Gardner 等^[27]首次利用同种异体腓骨,将其放置在骨内并结合到锁定结构中,以帮助复位和恢复肱骨近端内侧柱的机械完整性,但也提到了使用这种方法会有成本高、增加感染的风险等问题。Lee 等^[28]在一项研究中对单纯使用锁定钢板和锁定钢板联合同种异体腓骨这两种方式进行了回顾性比较,结果显示锁定钢板联合同种异体腓骨(fibular allograft, FA)固定组的颈干角平均差为 3.2° ,而锁定钢板组(locking plate, LP)为 10.3° ;前者的肱骨头高度平均值 1.8 mm,后者为 4.2 mm,FA 组明显优于 LP 组,但在肩关节其他指标上,二者无明显差异;所以,认为锁定钢板联合同种异体腓骨恢复内侧支撑,在维持肱骨头高度以及骨折复位方面有效,并可以减少单独使用锁定钢板固定产生的并发症;但使用植入物会发生感染、免疫反应和疾病传播等风险,还需考虑成本增加的因素,所以要根据患者的情况而定,并且建议使用短的同种异体移植物。还有许多研究也证明了锁定钢板联合植入物的优势^[29-30],但与使用肱骨距螺钉相比,到底哪种方法更加有效,未有明确的答案。而在一项比较锁定钢板联合同种异体腓骨移植和锁定板联合肱骨距螺钉的研究中^[31],发现在 3 部分骨折中,两种方法没有显著差异,但是在 4 部分骨折中锁定钢板联合同种异体腓骨移植组展现出了更好的临床效果,在并发症数量上也少于距螺钉组。同种异体腓骨移植是一种很好的方式,能更好地弥补骨缺损,从而恢复内侧柱,而且对肱骨头的血运破坏更少,有利于骨折的康复。这些优点让此项技术在治疗复杂的肱骨近端骨折中具有更好的优势和更大的潜力,但也存在费用高、手术难度大等问题。

2.3 内外侧双钢板联合支撑

在复杂的肱骨近端骨折中,内侧柱的丢失较严重,即使对内侧柱进行了增强,但也存在固定失败、并发症等问题。因此,有学者提出使用内外侧双钢板这种方法来进一步增强固定的强度。He 等^[32]设计了一种新型的内侧解剖锁定钢板联合锁定板治疗肱骨近端粉碎性骨折,并通过有限元分析的方式来比较这种方法与单纯锁定板、锁定板联合腓骨移植和锁定板联合桡骨远端锁定板治疗肱骨近端粉碎性骨折的生物力学特性;结果显示,与其他 3 种方法相比,内侧解剖锁定钢板组联合锁定钢板有更好的整体和局部刚度,承受的等效应力最小,颈干角的变化也最小。Park 等^[33]对 17 例伴有内侧柱不稳定的 PHF 患者使用了该技术,随访 30 个月后,17 例均取得了成功愈合,且无并发症的发生。但这项研究存在局限

性,在分组上无对照组,而且样本量较小。内侧钢板技术可以提供更高的稳定性与强度,所以常用在粉碎较为严重的肱骨近端骨折中,但此方法手术难度较大,临床使用较少,疗效是否确切还需更多的研究来证明。

2.4 锁定钢板联合骨水泥

骨水泥增强是骨科中常用的方法之一,主要的材料有 PMMA、磷酸钙和硫酸钙骨水泥。对于内侧柱丢失的肱骨近端骨折可在骨缺损处或者螺钉头部填充骨水泥,能够增强内固定的稳定性和减少并发症的发生^[34]。Somasundaram 等^[35]回顾性分析了使用锁定钢板联合硫酸钙骨水泥增强固定的肱骨近端骨折患者,24 例中 18 例均取得愈合,没有发生感染、固定失败、畸形愈合等并发症,另外 4 例恢复期较长,最后所有患者在平均 6 个月的时间内用正常的骨小梁质地替换了硫酸钙骨替代物,同时也强调了对神经和血管的保护。另外一项研究^[36]使用 PMMA 骨水泥来增强特定螺钉,与未使用骨水泥增强相比,在干垢端缺失的 3 部分骨折中骨水泥增强可更有效地增加肱骨近端锁定板的稳定性,但此研究样本量较小,且肱骨近端骨折模型相对简单。而关于骨水泥的用量问题,文中指出这应该是未来研究的一个方面,除此之外,根据不同分型的骨折所注射的具体位置还需更多的研究来规范。有研究^[37]进一步证实骨水泥增强可提高内固定的稳定并降低并发症,但骨水泥的使用也存在许多问题,如操作不当可能造成骨水泥渗透到周围软组织,产生的热反应可能造成骨坏死和植入物的松动等,在实际运用中需要临床医生对手术有熟悉的掌握。

2.5 肱骨笼

肱骨笼作为一项新的技术被用来治疗肱骨近端骨折,它是一种镍钛合金可膨胀的髓内笼,主要为肱骨头提供一个内部的支持。Hudgens 等^[38]回顾分析用肱骨笼来治疗的 11 例 Neer 3、4 部分骨折的患者,在平均 54 周的随访中发现所有的骨折愈合,没有发现伤口相关或神经系统并发症。关于肱骨笼的研究还很少,目前在临床中的应用也不是很广,还需要进一步的研究来证明其安全性和可行性。

3 总结与展望

肱骨近端骨折是常见的骨质疏松性骨折,由于伴有骨质疏松,复杂的肱骨近端骨折目前仍然是治疗的难点。单纯利用锁定板固定存在诸多并发症,如螺钉穿出、肱骨头塌陷、坏死等。许多学者认为肱骨近端内侧柱的丢失是影响术后效果的关键因素之一,这一概念近年来也得到越来越多的重视。对于有内侧柱丢失的 PHF 患者,需要对内侧柱进行重建。

对于内侧皮质骨丢失不严重的 PHF 患者,术中通过解剖复位恢复内侧支撑;而对于内侧柱粉碎的骨折则需要重建内侧柱,常用的有锁定板结合肱骨距螺钉、锁定钢板结合不同植骨方式、锁定板结合髓内置入骨水泥填充、内外侧双钢板结合支撑以及新型的肱骨笼等方式。它们都有其各自的优缺点以及适应证,需要临床医生根据患者的自身情况来选择适合的方案。但目前关于内侧柱的定义、范围以及重建的方式尚未有明确的概念,在现阶段的肱骨近端骨折分型中也未涉及内侧柱的分型。所以,还需要大量的生物力学研究和临床试验进一步完善内侧柱理论,为临床提供指导,提高临床疗效,从而给肱骨近端骨折患者带来更好的生活质量。

参考文献

- [1] Lisa H, Randa B, Franco M, et al. Open reduction internal fixation vs non-operative management in proximal humerus fractures: a prospective, randomized controlled trial protocol [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19(1): 299.
- [2] Antonios T, Bakti N, Phadkhe A, et al. Outcomes following arthroplasty for proximal humeral fractures [J]. J Clin Orthop Trauma, 2020, 11(Suppl 1): S31-S36.
- [3] Bergdahl C, Ekholm C, Wennergren D, et al. Epidemiology and patho-anatomical pattern of 2 011 humeral fractures: data from the Swedish Fracture Register [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2016, 17: 159.
- [4] Sargeant HW, Farrow L, Barker S, et al. Operative versus non-operative treatment of humeral shaft fractures: a systematic review [J]. Shoulder Elbow, 2020, 12(4): 229-242.
- [5] 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.
- [6] Sun Q, Wu X, Wang L, et al. The plate fixation strategy of complex proximal humeral fractures [J]. Int Orthop, 2020, 44(9): 1785-1795.
- [7] 刘智. 常见上肢骨折的治疗现状 [J]. 中国骨伤, 2018, 31(9): 787-789.
LIU Z. Current status of treatment of common upper limb fractures [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(9): 787-789. Chinese.
- [8] Jawa A, Burnikel D. Treatment of proximal humeral fractures: a critical analysis review [J]. JBJS Rev, 2016, 4(1): e2.
- [9] Neer CS 2nd. Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation [J]. J Bone Joint Surg Am, 1970, 52(6): 1077-1089.
- [10] Russo R, Cautiero F, Rotonda GD. The classification of complex 4-part humeral fractures revisited: the missing fifth fragment and indications for surgery [J]. Musculoskelet Surg, 2012, 96(Suppl 1): S13-S19.
- [11] 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.
- [12] 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 Musculoskeletal Disord*, 2013, 14(1): 102.
- [13] Biermann N, Prall WC, 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.
- [14] Schliemann B, Wähnert D, Theisen C, et al. How to enhance the stability of locking plate fixation of proximal humerus fractures? An overview of current biomechanical and clinical data[J]. *Injury*, 2015, 46(7): 1207–1214.
- [15] Laux CJ, Grubhofer F, Werner CML, et al. Current concepts in locking plate fixation of proximal humerus fractures[J]. *J Orthop Surg Res*, 2017, 12(1): 137.
- [16] 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.
- [17] Hsiao CK, Tsai YJ, Yen CY, et al. Intramedullary cortical bone strut improves the cyclic stability of osteoporotic proximal humeral fractures[J]. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2017, 18(1): 64.
- [18] Schliemann B, Seifert R, Rosslenbroich SB, et al. Screw augmentation reduces motion at the bone-implant interface: a biomechanical study of locking plate fixation of proximal humeral fractures[J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2015, 24(12): 1968–1973.
- [19] di Tullio PO, Giordano V, Souto E, et al. Biomechanical behavior of three types of fixation in the two-part proximal humerus fracture without medial cortical support[J]. *PLoS One*, 2019, 14(7): e0220523.
- [20] 张学东. 外侧结合后侧钢板在肱骨近端骨折内侧柱支撑的生物力学研究[D]. 天津: 天津医科大学, 2018.
ZHANG XD. Biomechanical study of lateral combined with posterior plate in medial column support of proximal humerus fracture [D]. Tianjin: Tianjin Medical University, 2018. Chinese.
- [21] 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.
- [22] 郭秀武, 樊健, 袁锋. 内侧柱是否使用螺钉支撑对锁定钢板治疗肱骨近端骨折的疗效比较[J]. *中国骨伤*, 2016, 29(6): 509–512.
GUO XW, FAN J, YUAN F. The effect of locking plate on the treatment of proximal humerus fracture[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2016, 29(6): 509–512. Chinese with abstract in English.
- [23] Erhardt JB, Stoffel K, Kampshoff J, et al. The position and number of screws influence screw perforation of the humeral head in modern locking plates: a cadaver study[J]. *J Orthop Trauma*, 2012, 26(10): e188–e192.
- [24] Fletcher JWA, Windolf M, Richards RG, et al. Screw configuration in proximal humerus plating has a significant impact on fixation failure risk predicted by finite element models[J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2019, 28(9): 1816–1823.
- [25] Lindsay C, Hasty E, Carpenter D, et al. Proximal humeral locking plates: a cadaveric study of 5 versus 7 metaphyseal locking screws[J]. *Orthopedics*, 2018, 41(5): 306–311.
- [26] Osterhoff G, Ossendorf C, Wanner GA, et al. The calcar screw in angular stable plate fixation of proximal humeral fractures – a case study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2011, 6: 50.
- [27] 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.
- [28] Lee SH, Han SS, Yoo BM, et al. Outcomes of locking plate fixation with fibular allograft augmentation for proximal humeral fractures in osteoporotic patients: comparison with locking plate fixation alone[J]. *Bone Joint J*, 2019, 101(3): 260–265.
- [29] Wang H, Rui B, Lu S, et al. Locking plate use with or without strut support for varus displaced proximal humeral fractures in elderly patients[J]. *JBJS Open Access*, 2019, 4(3): 1–8.
- [30] Panchal K, Jeong JJ, Park SE, et al. Clinical and radiological outcomes of unstable proximal humeral fractures treated with a locking plate and fibular strut allograft[J]. *Int Orthop*, 2016, 40(3): 569–577.
- [31] 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.
- [32] He Y, Zhang Y, Wang Y, et al. Biomechanical evaluation of a novel dualplate fixation method for proximal humeral fractures without medial support[J]. *J Orthop Surg Res*, 2017, 12(1): 72.
- [33] Park SG, Ko YJ. Medial buttress plating for humerus fractures with unstable medial column[J]. *J Orthop Trauma*, 2019, 33(9): e352–e359.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Sarmento M, Martins S, Monteiro J. β -Tricalcium phosphate in the surgical treatment of proximal humeral fractures[J]. *Acta Med Port*, 2016, 29(1): 41–45.
- [38] Hudgens JL, Jang J, Aziz K, et al. Three- and 4-part proximal humeral fracture fixation with an intramedullary cage: 1-year clinical and radiographic outcomes—Science Direct[J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2019, 28(6S): S131–S137.

(收稿日期: 2021-02-04 本文编辑: 李宜)