

微创钢板内固定技术治疗肱骨干骨折的现状与进展

王 贤, 孙 可, 尹 东

(广西壮族自治区人民医院关节运动医学科 广西 南宁 530021)

【摘要】微创钢板内固定术因其微创,不影响肩肘关节功能的特点在肱骨干骨折的手术治疗中取得良好的临床疗效。本文通过查阅国外肱骨干骨折微创钢板内固定的文献资料,分析肱骨干微创钢板内固定术的应用现状,总结肱骨干微创钢板内固定术常用入路的技术要点,并对其相对于其他手术方式的优劣势进行探讨。

【关键词】综述; 肱骨; 骨折; 微创; 接骨术; 髓内钉

【中图分类号】R683

【文献标识码】A

【文章编号】2095-1752 (2023) 13-0029-05

The application and progress of the minimal invasive plate osteosynthesis for humeral shaft fracture

WANG Xian, SUN Ke, YIN Dong

Department of Joint Surgery and Sports Medicine, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning, Guangxi 530021, China

【Abstract】 Minimally invasive plate osteosynthesis has achieved good clinical outcome in humeral shaft fractures because of its minimal invasion and no interruption on the function of shoulder and elbow joints. In this paper, we reviewed the English literatures about minimally invasive plate osteosynthesis of humeral shaft fractures, analyzed its current application situation, summarized the technical points of the common approaches, and discussed its advantages and disadvantages compared with other surgical treatments.

【Key words】 Review; Humerus; Fracture; Minimal invasive; Osteosynthesis; Intramedullary nail

肱骨干骨折是临床常见的骨折类型,约占全身骨折的3%^[1]。目前,移位的肱骨干骨折的主要手术方式为开放复位钢板内固定(open reduction internal fixation, ORIF)和髓内钉(intramedullary nailing, IMN)内固定术。切开复位钢板内固定复位效果良好且不影响肩肘关节功能,但手术创伤较大,且易并发医源性桡神经损伤;髓内钉内固定术创伤虽小,但可能影响肩关节功能,并且有一定骨折不愈合风险。微创钢板内固定术(minimal invasive plate osteosynthesis, MIPO)因其微创,保留了骨折端及软组织的血供,且不影响肩肘关节功能的优点在临床上广泛应用于肱骨干骨折并取得良好的疗效^[2-3]。本文通过检索国外主要医学数据库相关文献,对肱骨干骨折微创内固定术(肱骨 MIPO)的应用现状,常用手术入路以及存在的争议等方面进行综述,以期临床实践提供参考。

1 肱骨干微创钢板内固定英文文献分布特点

以英文关键词“humeral shaft fracture” OR “minimal invasive plate osteosynthesis” OR “humerus MIPO”在PubMed, Embase, Web of science 数据库进行检索:检索时间限定为各数据库建立时间至2022年12月。设定文献纳入标准:①肱骨干骨折微创内固定术的临床研究,②肱骨干骨折微创内固定术的病案报道,③有临床病例资料的解剖学或基础研究,④英文文献。排除标准:①肱骨干病理性骨折的研究,②肱骨近端骨折的研

究,③综述,④无法获得全文的文献。最终获得英文文献85篇。该85篇文献发表于2002年—2022年时间段内,其发表时间分布如图1所示。85篇文献作者单位分布于22个国家和地区,发表数最多的五个国家分别是中国16篇,韩国11篇,巴西11篇,泰国7篇,瑞士5篇(作者单位地域分布如图2所示);在85篇文献中前方入路相关文献最多,共42篇,外侧入路和螺旋钢板肱骨MIPO相关文献分别为11篇和17篇,后方入路相关文献8篇,其他特殊入路或多种入路MIPO技术混合报道文献7篇(图3)。肱骨干微创钢板内固定英文文献在发表时间,作者单位地理信息的分布特点以及各手术入路的占比一定程度上反映了肱骨微创钢板内固定术的应用现状,①从时间分布来看,自2002年首次报道以来该技术热度逐年增加至2012年达峰值后其热度趋于平稳;②英文文献作者单位的地域分布特点一定程度上反映了该地区肱骨干骨折MIPO技术的开展情况,在亚洲开展肱骨干骨折MIPO技术的热度最高,南美次之,这两区域英文文献发表占比达到76%,远高于欧美国家;③各种不同入路肱骨MIPO技术相关文献占比一定程度上反映了当前各种肱骨MIPO技术的开展情况。前入路仍是目前最主要的肱骨MIPO手术方式,螺旋钢板和外侧入路肱骨MIPO主要针对肱骨干近端骨折,是其重要的补充,针对特殊类型骨折的后入路和其他特殊手术方式临床应用仍较少。



图1 肱骨干骨折 MIPO 英文文献逐年发表情况

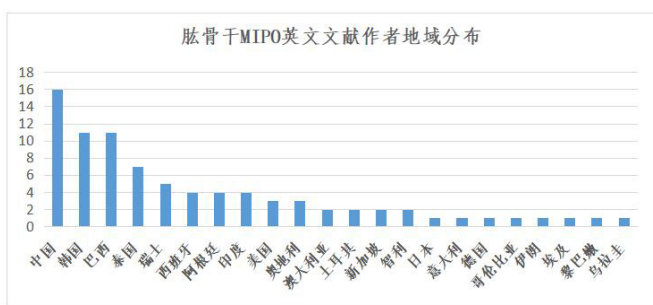


图2 肱骨干骨折 MIPO 英文文献作者地域分布

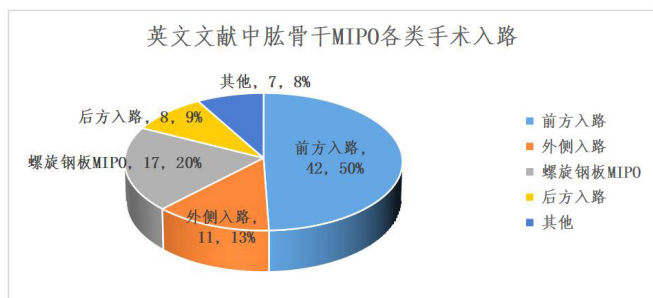


图3 英文版文献中肱骨干 MIPO 常用手术入路占比

2 肱骨 MIPO 的常用手术入路概述

2.1 前入路肱骨 MIPO

前入路肱骨微创钢板内固定术最早由 Livani 于 2004 年报道^[4]，作为目前应用最广泛的肱骨微创钢板内固定术式，其主要适用于肱骨中段骨折^[4-5]。其近端切口位于三角肌与肱二头肌腱之间，远端切口位于肱二头肌外侧，劈开肱肌将肌皮神经向外侧牵开^[6]暴露肱骨，钢板放置于肱骨前方。前入路肱骨 MIPO 术中无须显露桡神经，手术操作过程中桡神经的保护主要体现在两个方面，①手术全程保持前臂旋后位可使桡神经远离钢板，以避免桡神经的医源性损伤^[6]，②在肱骨髁上 10.8 ~ 17.59 cm 的范围内，桡神经紧贴肱骨后表面走行于桡神经沟内，该区域从前向后置入螺钉极易损伤桡神经，故称为“桡神经危险区”，禁止在“桡神经危险区”从前向后置入螺钉即可最大限度地避免损伤桡神经^[7]。此外在 Shetty 等^[8]和 Brunner 等^[9]的报道中还出现了肌皮神经损伤的病例，肌皮神经在肱肌表面由内向外跨过肱骨

前方的区域称为“肌皮神经危险区”^[7]，避免在此区域经皮置入螺钉即可有效保护肌皮神经避免医源性损伤。

2.2 外侧入路肱骨 MIPO

外侧入路肱骨 MIPO 最早由 Lau 等^[10]报道，其钢板放置于肱骨外侧，适用于肱骨干近端及中段骨折，是前入路肱骨 MIPO 的重要补充。其近端切口根据显露需要可选择劈三角肌入路^[11,12]和三角肌胸大肌入路^[13]，而远端切口主要有肱肌与肱桡肌间隙入路^[12]和劈开肱肌^[13]两种显露方式。外侧入路肱骨 MIPO 无论采用哪种显露方式都存在一定的桡神经损伤风险。术中显露桡神经可以避免桡神经的直接卡压，但是却不能显著降低桡神经损伤的风险^[14]，桡神经在肱骨远端的走行靠近或直接暴露于远端手术窗口，在此区域内的手术操作包括拉钩不当放置和压迫，以及复位固定过程中对桡神经直接或间接牵拉等因素，均可能导致医源性桡神经损伤。因此医源性桡神经损伤也是限制外侧入路肱骨 MIPO 应用的主要因素。

2.3 螺旋钢板肱骨 MIPO

螺旋钢板肱骨 MIPO 是对外侧入路肱骨 MIPO 的改良，其通过对钢板的扭转折弯，改变了钢板的走行方向，使钢板近端固定于肱骨近端外侧，远端固定于肱骨前方，从而达到减少对三角肌止点的剥离，降低桡神经损伤的目的。其近端切口为劈三角肌入路^[15-16]或三角肌胸大肌入路^[17]，远端切口劈开肱肌暴露肱骨，钢板由近端插入后其走行与桡神经几乎平行且始终保持一定距离，远端切口位于肱骨前方，手术操作区域远离桡神经走行的肱骨远端外侧，有效避免了医源性桡神经损伤发生。目前螺旋钢板 MIPO 技术的争议主要在于钢板轴向扭转的角度，文献报道钢板扭转角度在 45° ~ 90° 范围^[15-16,18]，Pastor 等^[19]发现钢板扭转角度越大，钢板远端距桡神经距离越远，Zamboni 等^[16]则认为钢板扭转 70 度贴合度最好，市售的肱骨螺旋钢板（ALPS, Zimmer Biomet, 美国）设计上除了有 45° 的轴向扭转，还在三角肌止点处向前弯曲，理论上可避免三角肌止点的剥离，然而在解剖学研究与应用中该优势并不明显^[20]。

2.4 后入路肱骨 MIPO

后入路肱骨 MIPO 技术是近几年发展的肱骨 MIPO 技术，最早由 Balam 等^[21]于 2014 年报道。后入路肱骨 MIPO 适用于肱骨干中段骨折，尤其适用于骨折线距离鹰嘴窝 < 6 cm，不能采用肱骨前方 MIPO 的病例^[22]。其近端切口位于上臂后方肩峰后角以远 10 cm 左右水平，在近端切口内于肱三头肌长头和外侧头之间仔细解剖分离出桡神经并牵开保护^[22-24]，钝性剥离器由近端向远端

制作肌层下隧道,钢板则由远端向近端插入,钢板插入过程中需伸直肘关节以放松桡神经^[23],直视下向背侧牵开桡神经以确保钢板位于桡神经的腹侧。桡神经麻痹是后入路肱骨 MIPO 最主要的并发症,文献报道其发生率为 4.8% ~ 11.1%^[21-22,25-26]。在后入路肱骨 MIPO 术中需要在近端切口内显露分离桡神经,手术操作如骨折的复位,钢板的插入以及螺钉的植入过程中稍有不慎即可能造成医源性的桡神经损伤,这也是限制后入路肱骨 MIPO 广泛开展的主要因素。此外目前对后入路肱骨 MIPO 应该

选择何种内植物仍存在争议,早期的病例采用直型钢板斜行放置于肱骨的背侧,因为内植物的不匹配而出现了较高比例的肱骨内翻畸形以及软组织激惹现象^[21-22,26],Jitprapaikulsarn 等^[25]推荐使用 3.5 mm 肱骨远端解剖锁定钢板,认为其具有软组织激惹少,骨折残留畸形不明显的优势,但是由于该解剖钢板远端固定于肱骨外侧柱,其对骨折远端的把持力以及单块 3.5 mm 钢板螺钉自身的机械强度是否满足肱骨固定的需要,仍需进一步证实。

表1 肱骨 MIPO 各常用入路的要点概述

肱骨 MIPO 术式	适用范围	切口选择	钢板位置	是否需要暴露桡神经	技术要领
前入路肱骨 MIPO	肱骨干中段骨折	近端:三角肌与肱二头肌腱之间,远端:肱二头肌外侧,劈开肱肌暴露肱骨	肱骨前方	不需要	①前臂始终保持旋后位 ②桡神经危险区不置入螺钉 ③肌皮神经危险区不经皮置入螺钉
外侧入路肱骨 MIPO	肱骨干近段及中段骨折	近端:劈三角肌入路或三角肌胸大肌入路,远端:肱肌与肱桡肌间隙入路或劈开肱肌	肱骨外侧	需要 / 不需要	①劈三角肌入路需注意保护腋神经 ②远端切口内需注意保护桡神经
螺旋钢板肱骨 MIPO	肱骨干近段及中段骨折	近端:劈三角肌入路或三角肌胸大肌入路,远端:劈开肱肌	近端位于肱骨外侧,远端位于肱骨前方	不需要	①劈三角肌入路需注意保护腋神经 ②钢板塑形要求轴向进行 45° ~ 90° 扭转,并且被钢板固定的肱骨近远端位于同一轴线
后入路肱骨 MIPO	肱骨干中远段骨折,尤其适用于骨折线距离鹰嘴窝 < 6 cm,不能采用肱骨前方 MIPO 的病例	近端:上臂后方肩峰后角以远 10 cm 左右水平 远端:肱骨远端背侧	肱骨后方,远端位于肱骨远端外侧柱后方	需要	在肱三头肌外侧头和长头之间显露桡神经并向背侧牵开以确保钢板位于桡神经的腹侧

3 肱骨 MIPO 相较于开放复位钢板内固定的优势

肱骨 MIPO 更好的保留骨折端及软组织的血液供应,为骨折愈合创造了有利的生物学条件,然而在临床实际应用中,肱骨 MIPO 相较于 ORIF 是否具有优势,其优势体现在哪些方面,目前仍存在争议。An 等^[27]报道和 ORIF 相比,MIPO 组桡神经损伤的发生率显著降低,相同的结论在肱骨干中下段骨折的治疗中^[28]也得到证实。Oh 等^[29]报道的病例对照研究中 MIPO 组的平均手术时间显著短于 ORIF 组;而在 Kulkarni 等^[30]的研究中 ORIF、MIPO 和髓内钉内固定三组患者中 MIPO 组患者骨折不愈合率最低,肩关节功能恢复最好。Kim 等^[31]比较了 MIPO 和 ORIF 两种技术对于肱骨干简单骨折(OTA 分型 12A, 12B)疗效的差异,研究发现两组在手术时间,骨折愈合时间,肩肘关节功能以及并发症发生率均无显著差异,然而 Rellán 等^[32]的研究中却得到相反的结论,Rellán 等发现肱骨干简单骨折接受肱骨 MIPO 手术的患者其骨折愈合时间显著延长,甚至出现骨折不愈合,进而推测 MIPO 可能更适合肱骨复杂骨折。此外,Wang 等^[33]

发现 MIPO 组患者旋转畸形发生率显著高于 ORIF 组,接受肱骨 MIPO 手术的患者在术后功能无显著提高的情况下反而具有更高的畸形愈合发生率。Beeres 等^[34]报道了迄今为止纳入文献最多的 meta 分析,该研究发现虽然 MIPO 和 ORIF 技术在手术时间,骨折愈合时间,感染率,肩肘关节功能方面无显著差异,但是 MIPO 技术的骨折不愈合率和桡神经损伤发生率显著低于 ORIF。由此可见,肱骨 MIPO 技术目前还不能完全替代 ORIF 技术,ORIF 复位效果更确切,有利于简单骨折的愈合,而肱骨 MIPO 技术在复杂骨折的治疗中优势更为明显,具有更高的骨折愈合率和更低的桡神经损伤风险。

4 肱骨 MIPO 相较于髓内钉内固定是否具有优势

目前关于髓内钉内固定和微创钢板内固定治疗肱骨干骨折的比较研究较少。Benegas 等^[35]报道了 1 组肱骨 MIPO 和髓内钉的随机对照研究,结果发现 MIPO 技术和髓内钉内固定在肩肘关节功能,并发症方面无显著差异,然而 Lian 等^[37]报道了一组肱骨干中下段骨折采用 MIPO 和髓内钉内固定的对照研究却得到了截然相反的结果

果, Lian 等发现 MIPO 组患者在手术时间, 出血量以及肩肘关节功能方面显著优于髓内钉组; Davies 等^[36]比较了 MIPO 和髓内钉两种技术主要并发症的差异, 结果发现髓内钉固定组患者的主要并发症如骨折不愈合, 桡神经麻痹发生率显著高于 MIPO 组。Yuan 等^[38]报道了迄今为止样本量最大的一组病例对照研究 (MIPO 组 204 例, 髓内钉组 232 例), 在该研究中虽然两组患者在手术时间, 出血量和骨折愈合时间上无显著差异, 但是 MIPO 组患者具有更高的肩关节功能评分和更低的骨折不愈合率。van de Wall^[39]对以上文献进行 Meta 分析结果发现和髓内钉相比, MIPO 可能在术后肩关节功能以及骨折愈合率等方面具有优势。然而在最近的部分文献报道中肱骨 MIPO 的这些优势似乎并不明显, Yago 等^[40]报道对于累及肱骨近端的多段骨折, 髓内钉固定与 MIPO 两组患者在骨折愈合率, 愈合时间, 以及术后肩关节功能方面均无显著差异, 但接受髓内钉固定术的患者手术时间显著短于接受肱骨 MIPO 手术的患者, 在 Wang 等^[41]报道的肱骨干近端骨折的病例中, 髓内钉固定组和 MIPO 组术后肩关节功能也无显著差异, 但是髓内钉固定组在手术时间和术后早期疼痛评分方面却显著优于 MIPO 组。随着髓内钉设计的进步以及手术技术的提高, 髓内钉对肩关节功能的影响已显著减少, 对于一些特定部位的肱骨骨折, 髓内钉固定在某些方面可能比 MIPO 更有优势。

综上所述, 肱骨干微创钢板内固定术已成为肱骨干骨折手术治疗的重要组成部分在全球各地广泛开展, 通过各种不同的手术入路, 肱骨 MIPO 的应用范围几乎涵盖了所有的肱骨干骨折。虽然尚不能完全取代切开复位钢板内固定技术, 但是肱骨 MIPO 在肱骨干复杂骨折的治疗中优势更为明显, 具有更高的骨折愈合率和更低的桡神经损伤风险。然而肱骨 MIPO 和髓内钉疗效的比较目前仍存在争议, 肱骨 MIPO 可能在术后肩关节功能以及骨折愈合率等方面优于髓内钉, 但是随着髓内钉设计的进步以及手术技术的提高这一优势将不断弱化, 相较于新一代的髓内钉, 肱骨 MIPO 在哪些类型的肱骨骨折还具有哪些优势, 还有待进一步的深入研究。

【参考文献】

- [1] GALLUSSER N, BARIMANI B, VAUCLAIR F. Humeral shaft fractures [J]. EFORT Open Rev, 2021,6(1): 24-34.
- [2] MISHRA P, VERMA M, VERMA R. Anterior bridge plate osteosynthesis in comminuted fracture shaft of humerus in manual workers-is it optimum choice? [J]. Arch Bone Jt Surg, 2021,9(6): 702-707.
- [3] TETSWORTH K, HOHMANN E, GLATT V. Minimally invasive plate osteosynthesis of humeral shaft fractures: current state of the art [J]. J Am Acad Orthop Surg, 2018,26(18): 652-661.
- [4] LIVANI B, BELANGERO W D. Bridging plate osteosynthesis of humeral shaft fractures [J]. Injury, 2004,35(6): 587-595.
- [5] APIVATTHAKAKUL T, PHORNPHUTKUL C, LAOHAPOONRUNGSEE A, et al. Less invasive plate osteosynthesis in humeral shaft fractures [J]. Orthop Traumatol, 2009,21(6): 602-613.
- [6] APIVATTHAKAKUL T, ARPORNCHAYANON O, BAVORN RATANA VECH S. Minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) of the humeral shaft fracture [J]. Injury, 2005,36(4): 530-538.
- [7] APIVATTHAKAKUL T, PATIYASIKAN S, LUEVITOONVECHKIT S. Danger zone for locking screw placement in minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) of humeral shaft fractures: a cadaveric study [J]. Injury, 2010,41(2): 169-172.
- [8] SHETTY M S, KUMAR M A, SUJAY K T, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis for humerus diaphyseal fractures [J]. IJO, 2011,45(6): 520-526.
- [9] BRUNNER A, THORMANN S, BABST R. Minimally invasive percutaneous plating of proximal humeral shaft fractures with the Proximal Humerus Internal Locking System (PHILOS) [J]. J Shoulder Elb Surg, 2012,21(8): 1056-1063.
- [10] LAU T W, LEUNG F, CHAN C F, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis in the treatment of proximal humeral fracture [J]. International Orthopaedics (SICO), 2007,31(5): 657-664.
- [11] BENNINGER E, MEIER C. Minimally invasive lateral plate placement for metadiaphyseal fractures of the humerus and its implications for the distal deltoid insertion-it is not only about the radial nerve. A cadaveric study [J]. Injury, 2017,48(3): 615-620.
- [12] CHAMSEDDINE A H, EL-HAJJ O M, HAIDAR I M, et al. Minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis for treatment of proximal humeral shaft fractures [J]. Int Orthop, 2021,45(1): 253-263.
- [13] JEONG J J, PARK S E, LEE H H, et al. Narrow locking compression plate vs long philos plate for minimally invasive plate osteosynthesis of spiral humerus shaft fractures [J/OL]. BMC Musculoskelet Disord, 2019,20(1): 381. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2757-z>.
- [14] 王贤, 孙可, 唐林, 等. 两种微创钢板内固定技术治疗肱骨干近端骨折临床疗效比较 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2023,37(2): 147-152.
- [15] HOHENBERGER G M, LIPNIK G, SCHWARZ A M, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis of the humeral shaft with regard to adjacent anatomical characteristics [J/OL]. Sci Rep, 2022(12): 279. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04041-w>.
- [16] ZAMBONI C, CARMO B L, MORAES L V M, et al. A practical guide for the use of contour locking plates for the repair of humeral diaphyseal fractures with proximal extension [J]. Injury, 2019,50(12): 2247-2251.
- [17] MOON J G, KWON H N, BIRARIS S, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis using a helical plate for metadiaphyseal complex fractures of the proximal humerus [J/OL]. Orthopedics, 2014,37(3): e237-243. <https://doi.org/10.3928/01477447-20140225-55>.

- [18] ARUMILLI B, SUHM N, MARCEL J, et al. Long PHILOS plate fixation in a series of humeral fractures [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014,24(8): 1383-1387.
- [19] PASTOR T, KASTNER P, SOULEIMAN F, et al. Anatomical analysis of different helical plate designs for proximal humeral shaft fracture fixation [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2023,49(1): 411-418.
- [20] EKDAHL M, DOMINGUEZ C, PINEDO M, et al. New precontoured long locking plate for proximal metadiaphyseal fractures of the humerus: a cadaveric study for its use with the minimally invasive technique [J]. *JSES Int*, 2021,5(3): 540-545.
- [21] BALAM K M, ZAHRYAN A S. Posterior percutaneous plating of the humerus [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014,24(5): 763-768.
- [22] GALLUCCI G, BORETTO J, VUJOVICH A, et al. Posterior minimally invasive plate osteosynthesis for humeral shaft fractures [J]. *Tech Hand Up Extrem Surg*, 2014,18(1): 25-30.
- [23] JIAMTON C, RATREPRASATSUK N, JARAYABHAND R, et al. The safety and feasibility of minimal invasive plate osteosynthesis (MIPO) of the posterior aspect of the humerus: a cadaveric study [J]. *Clin Anat*, 2019,32(2): 176-182.
- [24] LIPNIK G, SCHWARZ A M, MAIER M J, et al. Dorsal minimally invasive plate osteosynthesis of the humerus: feasibility and risk of nervous injury of a modified technique in an anatomical study [J/OL]. *Ann Anat*, 2022(243): 151958. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2022.151958>.
- [25] JITPRAPA KULSARN S, GROMPRASIT A, SUKHA K, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis via posterior approach for type B and C fractures of distal humeral shaft: surgical tactics and a clinical series [J/OL]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2023,33(4): 1431-1437. <https://doi.org/10.1007/s00590-022-03255-6>.
- [26] GALLUCCI G L, BORETTO J G, ALFIE V A, et al. Posterior minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) of distal third humeral shaft fractures with segmental isolation of the radial nerve [J]. *Chir De La Main*, 2015,34(5): 221-226.
- [27] AN Z Q, ZENG B F, HE X J, et al. Plating osteosynthesis of mid-distal humeral shaft fractures: minimally invasive versus conventional open reduction technique [J]. *International Orthopaedics (SICOT)*, 2010,34(1): 131-135.
- [28] LEE T, YOON J. Newly designed minimally invasive plating of a humerus shaft fracture; a different introduction of the plate [J]. *International Orthopaedics (SICOT)*, 2016,40(12): 2597-2602.
- [29] OH C W, BYUN Y S, OH J K, et al. Plating of humeral shaft fractures: comparison of standard conventional plating versus minimally invasive plating [J]. *Orthop Traumatol*, 2012,98(1): 54-60.
- [30] KULKARNI V S, KULKARNI M S, KULKARNI G S, et al. Comparison between antegrade intramedullary nailing (IMN), open reduction plate osteosynthesis (ORPO) and minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) in treatment of humerus diaphyseal fractures [J]. *Injury*, 2017(48): S8-S13.
- [31] KIM J W, OH C W, BYUN Y S, et al. A prospective randomized study of operative treatment for noncomminuted humeral shaft fractures: conventional open plating versus minimal invasive plate osteosynthesis [J]. *J Orthop Trauma*, 2015,29(4): 189-194.
- [32] RELLÁN I, GALLUCCI G L, DONNDORFF A G, et al. Time until union in absolute vs. relative stability MIPO plating in simple humeral shaft fractures [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2022,32(1): 191-197.
- [33] WANG C, LI J M, LI Y, et al. Is minimally invasive plating osteosynthesis for humeral shaft fracture advantageous compared with the conventional open technique? [J]. *J Shoulder Elb Surg*, 2015,24(11): 1741-1748.
- [34] BEERES F J, DIWERSI N, HOUWERT M R, et al. ORIF versus MIPO for humeral shaft fractures: a meta-analysis and systematic review of randomized clinical trials and observational studies [J]. *Injury*, 2021,52(4): 653-663.
- [35] BENEGAS E, FERREIRA NETO A A, GRACITELLI M E C, et al. Shoulder function after surgical treatment of displaced fractures of the humeral shaft: a randomized trial comparing antegrade intramedullary nailing with minimally invasive plate osteosynthesis [J]. *J Shoulder Elb Surg*, 2014,23(6): 767-774.
- [36] DAVIES G, YEO G, META M, et al. Case-match controlled comparison of minimally invasive plate osteosynthesis and intramedullary nailing for the stabilization of humeral shaft fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2016,30(11): 612-617.
- [37] LIAN K, WANG L, LIN D, et al. Minimally invasive plating osteosynthesis for mid-distal third humeral shaft fractures [J/OL]. *Orthopedics*, 2013,36(8): e1025-e1032. <https://doi.org/10.3928/01477447-20130724-18>.
- [38] YUAN H, WANG R, ZHENG J, et al. Comparison between intramedullary nailing and minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis in treatment of humeral shaft fractures [J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2019,29(10): 942-945.
- [39] VAN DE WALL B J M, BAUMGÄRTNER R, HOUWERT R M, et al. MIPO versus nailing for humeral shaft fractures: a meta-analysis and systematic review of randomised clinical trials and observational studies [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2022,48(1): 47-59.
- [40] ORTEGA-YAGO A, BALFAGÓN-FERRER A, BARRÉS-CARSÍ M, et al. Treating multifocal humerus fractures: a comparison between the mipo technique and intramedullary nailing [J]. *Injury*, 2022,53(10): 3332-3338.
- [41] WANG Y, CHEN H, WANG L, et al. Comparison between osteosynthesis with interlocking nail and minimally invasive plating for proximal-and middle-thirds of humeral shaft fractures [J]. *Int Orthop*, 2021,45(8): 2093-2102.

基金项目：广西医药卫生自筹经费计划课题（桂卫 Z2013376）。