

附加钢板技术治疗股骨干髓内钉术后骨不连的现状和研究进展



张伟, 张卓, 陈华

中国人民解放军总医院创伤骨科(北京 100853)



陈华, 副主任医师, 硕士研究生导师。研究方向: 骨创伤微创治疗关键技术建立及相关基础研究。主持科技部国家重点研发项目、国家自然科学基金面上和青年基金、首都特色专项基金、解放军总医院苗圃基金及转化基金等课题。现任中华医学会骨科分会创伤学组委员、骨科菁英会创伤副主任委员。近 5 年来以第一完成人获北京医学会科技进步一等奖 1 项(2017 年度)、解放军总医院科技进步一等奖 1 项(2017 年度)。国际发明专利授权 2 项, 国家发明专利授权 7 项、实用新型专利授权 6 项, 主编专著 3 部、副主编专著 3 部, 副主编专著 1 部。第一作者及通讯作者发表论文 30 篇, SCI 收录 17 篇。科技成果转化 2 项, 获产品注册证 8 项。美国 IUPUI 大学创伤中心临床博士后, 多次在国际会场学术交流, 北美 OTA 会员。

【摘要】 目的 对附加钢板技术治疗股骨干髓内钉术后骨不连的历史、现状和进展进行综述。方法 广泛查阅国内外关于附加钢板技术治疗股骨干髓内钉术后骨不连的临床研究文献, 并进行综合分析。结果 自 1997 年附加钢板技术已成功用于治疗股骨干髓内钉术后骨不连, 根据原髓内钉是否失效, 可分为保留原髓内钉和更换原髓内钉两类。该技术不仅适用于简单骨不连, 还可用于合并严重畸形的复杂性骨不连。相比更换髓内钉、更换外侧钢板和双钢板技术, 附加钢板技术手术创伤更小, 骨折愈合时间更短, 骨折愈合率更高, 患者能更早重返社会和工作。然而, 该技术也存在一些问题有待解决, 包括双皮质螺钉固定困难、缺乏适合股骨干解剖型附加钢板以及缺乏术后功能和生活质量的评估研究。结论 相比其他翻修固定方式, 附加钢板技术能够获得更高的骨折愈合率和更好的临床预后。然而, 术后患者能否在功能和生活质量方面进一步获益还有待证实。此外, 还需要更高质量的临床对照研究深入证明其是否确实优于其他翻修固定方式。

【关键词】 股骨干骨折; 附加钢板; 髓内钉; 骨不连

Research progress of augmentation plate for femoral shaft nonunion after intramedullary nail fixation

ZHANG Wei, ZHANG Zhuo, CHEN Hua

Department of Orthopedics, General Hospital of Chinese PLA, Beijing, 100853, P.R.China

Corresponding author: CHEN Hua, Email: chenhua0270@126.com

【Abstract】 Objective To review the history, current situation, and progress of augmentation plate (AP) for femoral shaft nonunion after intramedullary nail fixation. **Methods** The results of the clinical studies about the AP in treatment of femoral shaft nonunion after intramedullary nail fixation in recent years were widely reviewed and analyzed. **Results** The AP has been successfully applied to femoral shaft nonunion after intramedullary nail fixation since 1997. According to breakage of the previous nailing, AP is divided into two categories: AP with retaining the previous intramedullary nail and AP with exchanging intramedullary nail. AP is not only suitable for simple nonunion, but also for complex nonunion with severe deformity. Compared with exchanging intramedullary nail, lateral plate, and dual plate, AP has less surgical trauma, shorter healing time, higher healing rate, and faster returning to society. However, there are still

DOI: 10.7507/1002-1892.201903073

基金项目: 解放军总医院转化医学重点项目(2018TM-05)

通信作者: 陈华, Email: chenhua0270@126.com

some problems with the revision method, including difficulty in bicortical screw fixation, lack of anatomic plate suitable for femoral shaft nonunion, and lack of postoperative function and quality of life assessment. **Conclusion** Compared with other revision methods, AP could achieve higher fracture healing rate and better clinical prognosis for patients with femoral shaft nonunion. However, whether patients benefit from AP in terms of function and quality of life remain uncertain. Furthermore, high-quality randomized controlled clinical studies are needed to further confirm that AP are superior to the other revision fixations.

【Key words】 Femoral shaft fracture; augmentation plate; intramedullary nail; nonunion

Foundation item: Key Projects of Translational Medicine of General Hospital of Chinese PLA (2018TM-05)

髓内钉是目前治疗股骨干骨折首选固定方式,具有手术创伤小、骨折复位丢失少、术后并发症发生率低等优点,以及明显生物力学优势^[1-3]。但是术后仍可能发生骨不连,发生率为1%~12.5%^[4-6]。对于股骨干髓内钉术后无菌性骨不连,可选择附加钢板、更换髓内钉、更换外侧钢板、双钢板等技术治疗^[7-10]。其中,附加钢板凭借其更高的骨折愈合率和更好的临床预后,成为一线治疗选择^[11-13]。除合并大段骨缺损患者外,附加钢板技术适用于各种类型股骨干骨不连,骨折愈合率超过95%^[14-15]。现对附加钢板技术的发展、分类、应用现状以及存在的问题作一综述,旨在帮助临床医生更深入地理解并掌握该技术,也为其改进和发展提供研究方向。

1 附加钢板技术历史沿革

随着髓内钉在股骨干骨折中的广泛应用和多发伤患者救治成功率提高,髓内钉术后骨不连也越来越多。更换髓内钉成为20世纪90年代首选翻修手术策略^[16-17],但是临床应用后发现该方法存在以下问题:①对于非峡部骨不连,即使更换最大直径髓内钉,仍不能解决扩髓交锁髓内钉对骨不连断端旋转和成角控制不足的问题^[18-21];②对于营养不良型和萎缩型骨不连以及合并骨缺损的骨不连,通过扩髓形成的自体骨“植骨”不足以消除断端间隙、改善断端间接触面积,而更换髓内钉不显露断端的治疗原则使得术中不能植骨,导致无法有效改善骨折愈合生物学环境^[16,22];③更换髓内钉过程中由于不显露断端,无法取相应组织进行细菌学培养,更多情况下医生仅根据术前血清学和体格检查来判断是否合并感染,而感染是骨不连形成的独立危险因素,研究发现约20%术前血清学和体格检查阴性的骨不连合并感染^[23-24],这可能是更换髓内钉治疗失败的原因之一。

为解决上述问题,Ueng等^[25]于1997年首次报道了附加钢板技术。该研究共纳入17例股骨干髓内钉术后骨不连,原有髓内钉均保留,术中显露骨

不连断端,直视下确认断端存在明显旋转不稳定;所有患者行附加钢板处理,骨折均愈合,平均愈合时间7个月。1998年,Ueng等^[26]发表了另一篇关于附加钢板技术的临床研究文章,该次研究共纳入5例股骨干髓内钉术后骨不连且合并交锁螺钉断裂患者,经附加钢板技术治疗后骨折均愈合,平均愈合时间5.4个月。结合上述临床研究结果,Ueng等认为附加钢板技术治疗股骨干髓内钉术后骨不连具有以下优点:①保留原髓内钉,即使交锁螺钉断裂,只要主钉有效且能提供足够轴向稳定性,原髓内钉即可保留;②解决髓内钉对旋转和成角稳定性控制不足的问题,为骨折愈合提供良好力学稳定性;③通过钢板植入切口可同时对断端进行清理和植骨,改善骨折愈合生物学环境。

但是,Ueng等的相关研究未引起欧美主流医学的认可和重视,之后10年间仅Choi等^[27]发表了1篇关于附加钢板技术的研究报道。Choi等在肯定该技术基础上,指出其存在一个重要缺陷,由于髓内钉存在,附加钢板螺钉双皮质固定困难,这可能会增加螺钉松动拔出风险。在其研究纳入的15例患者中,1例术后发生螺钉松动拔出。虽然该例患者最终骨折愈合,但是Choi等认为临床应用中需警惕该并发症的发生。

之后,由于更换髓内钉治疗股骨干骨不连成功率逐渐下降、并发症增多,附加钢板技术开始引起临床关注^[16-17,28]。Nadkarni等^[29]首次报道采用锁定加压钢板(locking compression plate, LCP)作为附加钢板治疗股骨干髓内钉术后骨不连,术后骨折愈合率达100%,平均愈合时间6.9个月。Ekere等^[30]报道了4例原髓内钉失效的股骨干骨不连,首次联合使用附加钢板和更换髓内钉,术后骨折均愈合。2011年,Said等^[31]首次报道了附加钢板技术治疗14例合并畸形的股骨干髓内钉术后骨不连。其中,6例患者合并旋转和短缩畸形,通过调整交锁螺钉畸形获得矫正。2014年,Wang等^[32]收治21例股骨干髓内钉术后骨不连,其中9例合并短缩畸形、

3 例旋转畸形、5 例骨缺损，联合使用附加钢板以及更换髓内钉治疗后，骨折均愈合，平均愈合时间为 6 个月。

上述研究报道一方面证实了附加钢板技术的有效性和安全性，使之成为股骨干骨折髓内钉术后骨不连的一线治疗方案；另一方面也扩展了附加钢板技术适应证，目前已用于各种类型骨不连，尤其是一些合并严重畸形和骨缺损的复杂性骨不连。

2 附加钢板技术分类

根据原髓内钉主钉有效或断裂，可以将附加钢板技术分为保留原髓内钉及更换原髓内钉两类。当同时存在以下情况时可以保留原髓内钉：① 原髓内钉长度和直径合适，主钉未断裂和失效，能够为骨不连断端提供有效地轴向和侧方弯曲稳定性；② 骨不连不合并明显成角，无需畸形矫正，术中只需单纯采用附加钢板为原髓内钉提供抗旋转稳定性即可。有时为了纠正旋转和短缩畸形，可通过取出原交锁螺钉后进行旋转复位并恢复长度，达到矫正畸形的目的。

当出现以下情况时需要更换原髓内钉：① 原

髓内钉过短或过细；② 原髓内钉主钉断裂；③ 骨不连合并明显成角畸形需要矫正。在纠正畸形基础上，经正确进钉点重新植入直径更大和更长的髓内钉，再固定附加钢板。

3 附加钢板技术临床应用现状

经检索，1997 年—2018 年共 28 篇关于附加钢板技术的临床研究被 MEDLINE 和 SCI 收录，其中 2008 年—2018 年是研究发表最集中的时间段。其中，保留原髓内钉的附加钢板技术文献共 18 篇^[25-27, 29, 31, 33-45] (表 1)，共纳入 345 例股骨干髓内钉术后骨不连患者，除 3 例治疗失败外，其余骨折均愈合，愈合率达 99.1%。其中 15 篇报道了骨折愈合时间，平均 6.04 个月。详见表 1。更换原髓内钉的附加钢板技术文献共 5 篇^[30, 32, 46-48] (表 2)，共纳入 113 例股骨干髓内钉术后骨不连患者，骨折愈合率达 100%。其中 4 篇报道了骨折愈合时间，平均 7.08 个月。

关于附加钢板和其他固定方式的临床对比研究共 5 篇^[28, 49-52] (表 3)。其中，附加钢板组共纳入 152 例股骨干骨不连患者，骨折愈合率 100%，平均愈合时间 5.74 个月；以更换髓内钉作为对照组的

表 1 保留原髓内钉的附加钢板技术治疗股骨干髓内钉术后骨不连的临床研究

Tab.1 Clinical study of AP with retaining the previous intramedullary nail for femoral shaft nonunion

文献 Reference	例数 n	平均年龄 (岁) Mean age (years)	骨不连类型 Nonunion type			随访时间 (月) Follow-up time (months)	自体骨移植 Autologous bone grafting	骨折愈合率 (%) Fracture healing rate (%)	平均愈合时间 (月) Mean healing time (months)
			肥大型 Hypertrophic	营养不良型 Oligotrophic	萎缩型 Atrophic				
Ueng 等 ^[25]	17	34	10	0	7	24 ~ 48	7	100	7
Ueng 等 ^[26]	5	25	NM	NM	NM	24 ~ 36	3	100	5.4
Choi 等 ^[27]	15	36.8	1	14	0	42.3	15	100	7.2
Nadkarni 等 ^[29]	7	48.7	NM	NM	NM	14.7	7	100	6.9
Said 等 ^[31]	14	42	NM	NM	NM	26	9	100	4.3
Birjandinejad 等 ^[33]	25	NSR	NM	NM	NM	>12	NSR	100	NSR
Chen 等 ^[34]	50	44	13	NM	28	76	50	100	6
张建政等 ^[35]	9	NSR	NM	NM	NM	NSR	NSR	100	NSR
Gao 等 ^[36]	13	38.9	0	4	9	14	13	100	7.5
Hakeos 等 ^[37]	7	42.6	0	3	4	17.9	5	100	6.3
Ye 等 ^[38]	4	48.5	2	0	2	15.3	4	100	5
Lin 等 ^[39]	22	34.3	9	7	6	17.2	13	100	5.5
Park 等 ^[40]	39	41.9	9	0	30	24.8	38	97.4	6.1
王飞达等 ^[41]	21	37.7	10	4	7	23.9	21	100	9.1
Chiang 等 ^[42]	30	50.5	5	18	7	NM	17	96.7	4.1
Jhunjhunwala 等 ^[43]	40	35	14	NM	24	12	24	97.5	4
Vaishya 等 ^[44]	16	36	12	4	0	9.6	4	100	6.25
Park 等 ^[45]	11	47.5	11	0	0	NM	0	100	NSR

注：NSR 指研究所纳入的患者包括多部位长骨骨不连（如股骨、肱骨、胫骨），文献中关于股骨部分信息未单独提及；NM 指研究所纳入患者的某些特征未具体描述

Note: NSR (Not Separately Reported) means that multiple sites of long bone nonunion were involved in one study (such as femur, humerus, or tibia), and part of information about femoral nonunion were not separately reported; NM (Not Mentioned) means that some information about the patients included in one study were not mentioned

表 2 更换原髓内钉的附加钢板治疗股骨干髓内钉术后骨不连的临床研究

Tab.2 Clinical study of AP with exchanging intramedullary nail for femoral shaft nonunion

文献 Reference	例数 n	平均年龄 Mean age (years)	骨不连类型 Nonunion type			随访时间(月) Follow-up time (months)	自体骨移植 Autologous bone grafting	骨折愈合率(%) Fracture healing rate (%)	平均愈合时间(月) Mean healing time (months)
			肥大型 Hypertrophic	营养不良型 Oligotrophic	萎缩型 Atrophic				
Ekere 等 ^[30]	4	38.3	NM	NM	NM	NM	100	NM	
Wang 等 ^[32]	21	40	11	0	10	NM	100	6	
Yang 等 ^[46]	3	39	0	0	3	37	3	100	
Verma 等 ^[47]	15	43.7	NM	NM	NM	12.6	15	100	
Sancheti 等 ^[48]	70	40.7	46	0	24	37.4	70	100	

注: NM 指研究所纳入患者的某些特征未具体描述

Note: NM (Not Mentioned) means that some information about the patients included in one study were not mentioned

表 3 附加钢板和其他固定方式治疗股骨干髓内钉术后骨不连的临床对比研究

Tab.3 Clinical comparative study of AP versus other operative methods for femoral shaft nonunion

文献 Reference	附加 钢板组 AP group	对照组 Control group	骨不连类型 Nonunion type			随访时间 Follow-up time	自体骨移植 Autologous bone grafting	骨折愈合率 (%) Fracture healing rate (%)	平均愈合时间 (月) Mean healing time (months)
			肥大型 Hypertrophic	营养不良型 Oligotrophic	萎缩型 Atrophic				
Park 等 ^[28]	11	7(更换髓内钉)	3 : 4	0 : 0	8 : 3	>36 个月	11/11	100 : 28.6	7.3 : 7.6
茹江英等 ^[49]	17	11(更换髓内钉)	5 : 3	4 : 3	8 : 5	18.6 个月	28/28	100 : 100	6.3 : 8.3
Ru 等 ^[50]	98	92(更换髓内钉)	47 : 46	0 : 0	51 : 46	4.6 年	190/190	100 : 87	5.2 : 8.9
Jiang 等 ^[51]	12	15(更换外侧钢板)	12 : 15	0 : 0	0 : 0	18.4 个月	27/27	100 : 100	4.2 : 5.3
Zhang 等 ^[52]	14	16(双钢板)	4 : 6	6 : 5	4 : 5	>2 年	NM	100 : 93.8	5.7 : 8.4

注: NM 指研究所纳入患者的某些特征未具体描述

Note: NM (Not Mentioned) means that some information about the patients included in one study were not mentioned

研究有 3 项, 共纳入 110 例患者, 骨折愈合率 84.5%, 平均愈合时间 8.27 个月; 更换外侧钢板作为对照组的研究 1 项, 共纳入 15 例患者, 骨折愈合率 100%, 平均愈合时间 5.3 个月; 双钢板作为对照组的研究 1 项, 共纳入 16 例患者, 骨折愈合率 93.8%, 平均愈合时间 8.4 个月。临床对比研究结果显示, 与更换髓内钉和更换外侧钢板相比, 附加钢板技术创伤更小、骨折愈合时间更短、骨折愈合率更高, 临床预后更好。与双钢板相比, 更换原髓内钉的附加钢板技术不仅能获得相似的畸形矫正效果和骨折愈合率, 手术创伤更小、骨折愈合时间更短, 患者能更快重返社会和工作。

附加钢板技术也存在相关并发症, 主要包括切口感染^[31, 33-34, 37, 44, 47, 50] 11 例、骨折畸形愈合^[47, 52] 7 例、骨折不愈合^[40, 42-43] 3 例, 其中感染性骨不连 1 例。此外, 还有内固定激惹^[37, 48] 3 例、邻近关节僵直^[40, 52] 3 例、深静脉血栓形成^[42] 2 例、螺钉断裂^[40, 42] 2 例、植骨供区感染^[42] 1 例、骨折延迟愈合^[40] 1 例。

4 附加钢板技术不足及问题

4.1 螺钉的双皮质固定

2005 年, Choi 等^[27]首次提出由于原髓内钉存在, 附加钢板螺钉植入难达到双皮质固定, 可能造成螺钉松动脱落, 导致手术失败。该问题引起了骨科医生的注意, 并提出多种解决方案。Nadkarni 等^[29]首次报道采用 LCP 作为附加钢板治疗股骨干髓内钉术后骨不连, 他们认为锁定螺钉的单皮质固定强度和动力加压钢板 (dynamic compression plate, DCP) 普通螺钉双皮质固定相当, 因此当无法实现螺钉双皮质固定时, 推荐使用锁定螺钉单皮质固定。同时, Nadkarni 等进一步肯定了螺钉双皮质固定的重要性, 并提出可以通过钢板偏心放置以获得更多螺钉双皮质固定。

采用 DCP 作为附加钢板时, 张建政等^[35]和 Said 等^[31]都提出了采用避开髓内钉主钉植入螺钉技术 (missing the nail technique) 来实现螺钉双皮质固定。他们指出由于 DCP 螺孔大, 允许螺钉在一定范围调整角度, 可偏前或偏后方向植入, 避开髓内钉的阻挡; 螺钉紧贴髓内钉主钉, 固定双侧皮质, 从而增加螺钉有效长度和把持力, 提高了断端力学稳定性。使用该技术时推荐使用克氏针钻孔, 避免钻头发生断裂。

以上研究均是基于钢板外置,即附加钢板置于股骨干外侧来实现螺钉双皮质固定。2010年, Park等^[28]首次提出前置附加钢板。由于非峡部是骨不连发生高危部位,因此他们利用非峡部髓腔(尤其是远端非峡部)内外径大于前后径的特点,提出前置附加钢板来达到螺钉双皮质固定的目的。张伟等^[53]采用前置附加钢板治疗6例股骨干髓内钉术后骨不连,骨折均愈合。

综上所述,采用LCP作为附加钢板、螺钉偏心植入、钢板偏心放置和钢板前置4种技术都有利于实现螺钉的双皮质固定,可根据钢板类型、钢板位置和骨不连解剖部位等选择恰当技术。

4.2 缺乏适合股骨干髓内钉术后的特定钢板

目前,临床尚无适合股骨干髓内钉术后的特定解剖型附加钢板,医生在临床应用中尝试了多种类型钢板,包括3.5 mm或4.5 mm的直型DCP和LCP,重建钢板、肱骨近端解剖钢板、股骨动力髁钢板和股骨远端LISS钢板等。

当选择不同类型钢板作为附加钢板时,医生对附加钢板的应用长度和固定所需螺钉数量的认识存在明显差异。Park等^[28]认为采用3.5 mm DCP、每一侧固定2~3枚非锁定螺钉即可为断端提供足够稳定性。Hakeos等^[37]选择10~16孔4.5 mm DCP,保证断端每一侧至少植入4枚螺钉,以尽可能实现双皮质固定。除了DCP,临床医生还选择LCP作为附加钢板。Ye等^[38]认为采用LCP作为附加钢板时,由于锁定螺钉的把持力更优,可以减少螺钉数量和缩短钢板长度,从而有利于减少术中软组织的剥离。然而,也有医生对此持不同意见。Park等^[45]采用9~16孔4.5 mm LCP治疗股骨干髓内钉术后骨不连,并未因为采用LCP而减少钢板长度和螺钉数量。他们认为足够长度的钢板和足量螺钉皮质固定才能为骨不连断端提供更优的力学稳定性。

由于选择不同类型钢板以及植入不同数量螺钉,对骨不连断端所提供的力学稳定性也存在明显差异^[54-55],这对医生和患者都存在负面影响。对医生来说:①多种类型钢板会增加术前选择困惑性,即选择何种类型的钢板能获得更好的力学稳定性和更小的手术创伤;②需要掌握更多类型钢板使用方法,延长了学习曲线;③增加了预后的不确定性。对患者来说:①不同类型钢板手术创伤不一,一些过大且不必要的软组织剥离增加了输血风险和功能康复的难度;②过大的软组织剥离会导致髓外血供破坏严重,使得骨折愈合时间延长;

③过大的手术创伤和过长的愈合时间会对患肢功能造成负面影响,增加邻近关节僵直发生风险,延缓患者回归家庭和社会的速度,增加社会和家庭的负担。

4.3 缺乏患者功能和生活质量评价的临床报道

目前,关于骨不连患者术后功能和生活质量报道不多。既往采用更换髓内钉、更换外侧钢板和Masquelet技术等方式治疗骨不连的临床报道均提示,骨折愈合率的提高未带来患肢功能和患者生活质量明显改善^[56-59]。Buijze等^[56]报道了29例下肢长骨复杂性畸形愈合和不愈合患者的长期随访结果,其中6例为股骨。结果显示,所有患者均获得畸形矫正和骨折愈合,但是其中20例(69%)由于下肢功能障碍,在日常生活中表现为中重度困难。Hackl等^[57]回顾性分析了112例采用更换髓内钉翻修的长骨骨不连患者资料,其中肱骨22例、胫骨49例、股骨41例,最终37例骨折愈合,但患者下肢功能评价量表(LEFS)评分及SF-12功能、精神评分均较低。Zollera等^[58]采用Masquelet技术治疗9例下肢骨缺损或骨不连患者,术后骨折均愈合;但是8例完成LEFS评分者平均得分仅53.1分。Kanakeshwara等^[59]采用更换外侧钢板治疗22例股骨远端骨不连,均实现骨折愈合,平均愈合时间6.2个月,LEFS评分为72分。

上述研究结果提示骨折愈合率提高未带来患肢功能和患者生活质量明显改善。虽然附加钢板技术提高骨折愈合率后,能否相应改善患肢功能和患者生活质量,有待进一步研究明确。

5 结论

附加钢板技术已成为股骨干髓内钉术后骨不连的一线治疗选择。在生物力学方面,由于髓内钉的轴向和侧方弯曲稳定性优势得以保留,再结合附加钢板的抗扭转力学优势,使得这种骨-髓内钉-钢板三维固定结构为骨折愈合提供了强大的机械稳定性保障。在生物学方面,术中通过直接显露骨不连断端,可进行全面有效地清理、去皮质化和植骨,消除断端间隙,增加接触面积,有利于改善骨折愈合环境。因此,相比其他翻修固定方式,在髓内钉基础上的附加钢板能够获得更好的临床预后。然而,该技术也存在一些不足及问题有待进一步研究。例如,患者在功能和生活质量方面能否获益;设计一款适合股骨干髓内钉术后骨不连的特定钢板,使其更容易实现螺钉双皮质固定,并且减少不必要的软组织剥离。此外,还需要高

质量的前瞻性临床随机对照研究进一步研究该技术的优势。

作者贡献: 陈华负责全文框架构思、设计、统稿并指导修改, 张伟负责研究实施、数据收集、整理以及文章撰写, 张卓负责查阅、收集文献和整理表格。

利益冲突: 所有作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。经费支持没有影响文章观点及报道。

参考文献

- Neumann MV, Südkamp NP, Strohm P. Management of femoral shaft fractures. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 2015, 82(1): 22-32.
- Rommens PM, Hessmann MH. *Intramedullary nailing*. Berlin: Springer, 2015: 419-452.
- Tarr RR, Wiss DA. The mechanics and biology of intramedullary fracture fixation. *Clin Orthop Relat Res*, 1986, (212): 10-17.
- Giannoudis PV, MacDonald DA, Matthews SJ, *et al*. Nonunion of the femoral diaphysis. The influence of reaming and non-steroidal anti-inflammatory drugs. *J Bone Joint Surg (Br)*, 2000, 82(5): 655-658.
- Tzioupis C, Giannoudis PV. Prevalence of long-bone non-unions. *Injury*, 2007, 38(Suppl 2): S3-S9.
- Hak DJ, Fitzpatrick D, Bishop JA, *et al*. Delayed union and nonunion: epidemiology, clinical issues, and financial aspects. *Injury*, 2014, 45(Suppl 2): S3-S7.
- McMillan TE, Johnstone AJ. Technical considerations to avoid delayed and non-union. *Injury*, 2017, 48(Suppl 1): S64-S68.
- Pihlajamäki HK, Salminen ST, Böstman OM. The treatment of nonunions following intramedullary nailing of femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma*, 2002, 16: 394-402.
- Gelalis ID, Poltis AN, Arnaoutoulou CM, *et al*. Diagnostic and treatment modalities in nonunions of the femoral shaft: a review. *Injury*, 2012, 43(7): 980-988.
- 张伟, 陈华, 唐佩福. 股骨干无菌性骨不连的最新治疗进展. *中国修复重建外科杂志*, 2018, 32(5): 519-525.
- Rupp M, Biehl C, Budak M, *et al*. Diaphyseal long bone nonunions — types, aetiology, economics, and treatment recommendations. *Int Orthop*, 2018, 42(2): 247-258.
- Garnavos C. Treatment of aseptic non-union after intramedullary nailing without removal of the nail. *Injury*, 2017, 48(Suppl 1): S76-S81.
- Somford MP, van den Bekerom MP, Kloen P. Operative treatment for femoral shaft nonunions, a systematic review of the literature. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2013, 8(2): 77-88.
- Bell A, Templeman D, Weinlein JC. Nonunion of the femur and tibia: an update. *Orthop Clin North Am*, 2016, 47(2): 365-375.
- Medlock G, Stevenson IM, Johnstone AJ. Uniting the un-united: should established non-unions of femoral shaft fractures initially treated with IM nails be treated by plate augmentation instead of exchange IM nailing? A systematic review. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2018, 13(3): 119-128.
- Brinker MR, O'Connor DP. Exchange nailing of ununited fractures. *J Bone Joint Surg (Am)*, 2007, 89(1): 177-188.
- Weresh MJ, Hakanson R, Stover MD, *et al*. Failure of exchange reamed intramedullary nails for ununited femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma*, 2000, 14(5): 335-338.
- Shroeder JE, Mosheiff R, Khoury A, *et al*. The outcome of closed, intramedullary exchange nailing with reamed insertion in the treatment of femoral shaft nonunions. *J Orthop Trauma*, 2009, 23(9): 653-657.
- Yang KH, Kim JR, Park J. Nonisthmal femoral shaft nonunion as a risk factor for exchange nailing failure. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 72(2): E60-E64.
- Park K, Kim K, Choi YS. Comparison of mechanical rigidity between plate augmentation leaving the nail *in situ* and interlocking nail using cadaveric fracture model of the femur. *Int Orthop*, 2011, 35(4): 581-585.
- 马显志, 张伯松, 王满宜, 等. 辅助钢板治疗股骨干骨髓内钉固定术后骨折不愈合的生物力学研究. *中华创伤骨科杂志*, 2016, 18(2): 158-162.
- Paul Tornetta III, William Ricci, Court-Brown CM, *et al*. *Rockwood and Green's fracture in adults*. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2015: 2216-2221.
- 张伟, 陈华, 刘浩, 等. 无菌性和感染性股骨骨不连患者的临床对照研究. *中华骨与关节外科杂志*, 2018, 11(2): 118-123.
- Olszewski D, Streubel PN, Stucken C, *et al*. Fate of patients with a "surprise" positive culture after nonunion surgery. *J Orthop Trauma*, 2016, 30(1): e19-e23.
- Ueng SW, Chao EK, Lee SS, *et al*. Augmentative plate fixation for the management of femoral nonunion after intramedullary nailing. *J Trauma*, 1997, 43(4): 640-644.
- Ueng SW, Shih CH. Augmentative plate fixation for the management of femoral nonunion with broken interlocking nail. *J Trauma*, 1998, 45(4): 747-752.
- Choi YS, Kim KS. Plate augmentation leaving the nail *in situ* and bone grafting for non-union of femoral shaft fractures. *Int Orthop*, 2005, 29(5): 287-290.
- Park J, Kim SG, Yoon HK, *et al*. The treatment of nonisthmal femoral shaft nonunions with IM nail exchange versus augmentation plating. *J Orthop Trauma*, 2010, 24(2): 89-94.
- Nadkarni B, Srivastav S, Mittal V, *et al*. Use of locking compression plates for long bone nonunions without removing existing intramedullary nail: review of literature and our experience. *J Trauma*, 2008, 65(2): 482-486.
- Ekere AU, Echem RC. Dual implant application in the treatment of aseptic femoral shaft non-unions—case series. *West Afr J Med*, 2008, 27(2): 117-119.
- Said GZ, Said HG, el-Sharkawi MM. Failed intramedullary nailing of femur: open reduction and plate augmentation with the nail *in situ*. *Int Orthop*, 2011, 35(7): 1089-1092.
- Wang Z, Liu C, Liu C, *et al*. Effectiveness of exchange nailing and augmentation plating for femoral shaft nonunion after nailing. *Int Orthop*, 2014, 38(11): 2343-2347.
- Birjandinejad A, Ebrahimzadeh MH, Ahmadzadeh-Chabock H. Augmentation plate fixation for the treatment of femoral and tibial nonunion after intramedullary nailing. *Orthopedics*, 2009, 32(6): 409.
- Chen CM, Su YP, Hung SH, *et al*. Dynamic compression plate and

- cancellous bone graft for aseptic nonunion after intramedullary nailing of femoral fracture. *Orthopedics*, 2010, 33(6): 393.
- 35 张建政, 孙天胜, 刘智, 等. 附加钢板治疗髓内钉固定后长骨干肥大性骨不连. *中华医学杂志*, 2010, 90(27): 1902-1906.
- 36 Gao KD, Huang JH, Tao J, *et al.* Management of femoral diaphyseal nonunion after nailing with augmentative locked plating and bone graft. *Orthop Surg*, 2011, 3(2): 83-87.
- 37 Hakeos WM, Richards JE, Obremskey WT. Plate fixation of femoral nonunions over an intramedullary nail with autogenous bone grafting. *J Orthop Trauma*, 2011, 25(2): 84-89.
- 38 Ye J, Zheng Q. Augmentative locking compression plate fixation for the management of long bone nonunion after intramedullary nailing. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2012, 132(7): 937-940.
- 39 Lin CJ, Chiang CC, Wu PK. Effectiveness of plate augmentation for femoral shaft nonunion after nailing. *J Chin Med Assoc*, 2012, 75(8): 396-401.
- 40 Park J, Yang KH. Indications and outcomes of augmentation plating with decortication and autogenous bone grafting for femoral shaft nonunions. *Injury*, 2013, 44(12): 1820-1825.
- 41 王飞达, 高耀祖, 苑伟, 等. 附加锁定加压钢板联合植骨治疗股骨干骨髓内钉固定术后无菌性骨不连. *中国骨伤*, 2014, 27(10): 815-818.
- 42 Chiang JC, Johnson JE, Tarkin IS. Plate augmentation for femoral nonunion: more than just a salvage tool? *Arch Orthop Trauma Surg*, 2016, 136(2): 149-156.
- 43 Jhunjhunwala HR, Dhawale AA. Is augmentation plating an effective treatment for non-union of femoral shaft fractures with nail *in situ*? *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2016, 42(3): 339-343.
- 44 Vaishya R, Agarwal AK, Gupta N, *et al.* Plate augmentation with retention of intramedullary nail is effective for resistant femoral shaft non-union. *J Orthop*, 2016, 13(4): 242-245.
- 45 Park KC, Oh CW, Kim JW, *et al.* Minimally invasive plate augmentation in the treatment of long-bone non-unions. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2017, 137(11): 1523-1528.
- 46 Yang KH, Won Y, Kim SB, *et al.* Plate augmentation and autologous bone grafting after intramedullary nailing for challenging femoral bone defects: a technical note. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2016, 136(10): 1381-1385.
- 47 Verma R, Sharma P, Gaur S. Augmentation plating in management of failed femoral nailing. *Injury*, 2017, 48(Suppl 2): S23-S26.
- 48 Sancheti KH, Pradhan C, Patil A, *et al.* Effectiveness of exchange K-nail and augmented plating in aseptic femoral diaphyseal non-union. *Injury*, 2017, 48(2): S61-S65.
- 49 茹江英, 仓海滨, 胡传亮, 等. 两种方法治疗股骨干骨折髓内钉固定后非感染性骨不连的疗效比较. *中国修复重建外科杂志*, 2013, 27(1): 25-29.
- 50 Ru JY, Niu YF, Cong Y, *et al.* Exchanging reamed nailing versus augmentative compression plating with autogenous bone grafting for aseptic femoral shaft non-union: a retrospective cohort study. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2015, 49(6): 668-675.
- 51 Jiang L, Pan Z, Zheng Q. Augmentation plating in hypertrophic non-union after nail fixation of femoral shaft fracture compared with exchange plating. *Chin Med J (Engl)*, 2014, 127(16): 2900-2905.
- 52 Zhang W, Zhang Z, Li J, *et al.* Clinical outcomes of femoral shaft nonunion: dual plating versus exchange nailing with augmentation plating. *J Orthop Surg Res*, 2018, 13(1): 295-301.
- 53 张伟, 朱正国, 常祖豪, 等. 经股直肌旁入路治疗股骨干无菌性骨不连的临床疗效. *解放军医学院学报*, 2018, 39(1): 31-35.
- 54 Roberts JW, Grindel SI, Rebbholz B, *et al.* Biomechanical evaluation of locking plate radial shaft fixation: unicortical locking fixation versus mixed bicortical and unicortical fixation in a sawbone model. *J Hand Surg (Am)*, 2007, 32(7): 971-975.
- 55 Gautier E, Summer C. Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury*, 2003, 34(Suppl 2): B63-B76.
- 56 Buijze GA, Richardson S, Jupiter JB. Successful reconstruction for complex malunions and nonunions of the tibia and femur. *J Bone Joint Surg (Am)*, 2011, 93(5): 485-492.
- 57 Hackl S, Hierholzer C, Friederichs J, *et al.* Long-term outcome following additional rhBMP-7 application in revision surgery of aseptic humeral, femoral, and tibial shaft nonunion. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2017, 18(1): 342-351.
- 58 Zollera SD, Caob LA, Smitha RA, *et al.* Staged reconstruction of diaphyseal fractures with segmental defects: surgical and patient-reported outcomes. *Injury*, 2017, 48(10): 2248-2252.
- 59 Kanakeshwara RB, Jayaramarajua D, Agraharam D, *et al.* Management of resistant distal femur non-unions with allograft strut and autografts combined with osteosynthesis in a series of 22 patients. *Injury*, 2017, 48(Suppl 2): S14-S17.

收稿日期: 2019-03-21 修回日期: 2019-09-23
本文编辑: 刘丹