

早期应用骨水泥治疗下肢Gustilo III型开放性骨折的临床疗效

龚勤*, 旷瑜, 闵竞, 郑华#

重庆医科大学附属永川医院创伤骨科, 重庆

收稿日期: 2024年1月27日; 录用日期: 2024年2月21日; 发布日期: 2024年2月28日

摘要

目的: 探讨在下肢Gustilo III型开放性骨折的治疗中, 早期应用骨水泥的临床疗效。方法: 采用回顾性病例研究分析, 收集2019年6月~2023年3月于重庆医科大学附属永川医院收治的14例患者的临床资料, 所有患者均行分期手术治疗, 采用骨水泥膜诱导技术治疗开放性骨折。通过采集术前术后的白细胞计数(white blood cell count, WBC)、红细胞沉降率(erythrocyte sedimentation rate, ESR)、C-反应蛋白(C-reactive protein, CRP)指标; 采集感染的症状体征情况, 以及相应的影像学检查结果; 用以评定是否发生感染, 评估骨与软组织缺损愈合及并发症等情况, 并基于Paley分类评估下肢功能; 基于以上结果, 分析患者的临床疗效。结果: II期术前的感染指标与I期相比, WBC、ESR、CRP较I期均有所下降, 差异有统计学意义(P 均 < 0.05)。所有患者伤口愈合均良好, 未出现深部感染或皮肤坏死; 无一例截肢。1例患者未行II期骨重建手术, 余13例患者随访期内均达骨折临床愈合标准。所有患者均未发生慢性骨髓炎、下肢深静脉血栓、肺栓塞等并发症。下肢功能评定结果为优10例, 良4例。结论: 骨水泥膜诱导技术在下肢开放性骨折的早期应用, 可有效预防感染, 填充骨与软组织缺损部位, 诱导膜可为后期植皮及更换内固定提供良好的生物学环境, 有利于骨折与创面的良好愈合, 临床疗效确切。

关键词

开放性骨折, 骨水泥, 膜诱导技术

Clinical Efficacy of Early Application of Bone Cement in the Treatment of Gustilo's Type III Open Fractures of the Lower Extremity

Qin Gong*, Yu Kuang, Jing Min, Hua Zheng#

Department of Trauma Orthopedics, Yongchuan Hospital Affiliated to Chongqing Medical University, Chongqing

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 龚勤, 旷瑜, 闵竞, 郑华. 早期应用骨水泥治疗下肢 Gustilo III 型开放性骨折的临床疗效[J]. 临床医学进展, 2024, 14(2): 3947-3954. DOI: 10.12677/acm.2024.142550

Abstract

Objective: To investigate the clinical efficacy of bone cement in the early application of Gustilo type III open fractures of the lower extremity. **Methods:** A retrospective case study was conducted to analyze the clinical data of 14 patients with open fractures treated with bone cement from June 2019 to June 2023 in Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University. All patients underwent staged operation using the cement membrane induction technique for open fractures. The infection indicators were recorded. Infection indices were monitored, including white blood cell count (WBC), erythrocyte sedimentation rate (ESR) and C-reactive protein (CRP). Clearance of infection, signs and symptoms of infection, including pain, localized redness and swelling, warmth, oozing, odor, and sinus tract formation, that were inconsistent with the degree of injury, and corresponding imaging findings were recorded. The occurrence of infection, healing of bone and soft tissue defects, and complications were evaluated according to the hospital infection criteria; and the function of the lower extremities was assessed based on the Paley classification; based on the above results, the clinical efficacy of the patients was analyzed. **Results:** The indicators of infection in stage II compared with stage I. WBC, ESR, and CRP decreased compared with stage I, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). All patients had good wound healing without deep infection or skin necrosis; none of them had amputation. 1 patient did not undergo phase II bone reconstruction surgery, and the remaining 13 patients reached the clinical healing standard of fracture during the follow-up period. None of the patients had complications such as chronic osteomyelitis, lower extremity deep vein thrombosis, or pulmonary embolism. The results of lower limb function evaluation were excellent in 10 cases and good in 4 cases. **Conclusion:** The early application of bone cement membrane induction technique in open fractures of the lower limb can effectively prevent infection, fill the bone and soft tissue defects, and the induction membrane can provide a good biological environment for the later implantation and replacement of internal fixation, which is conducive to the good healing of the fracture and trauma, and the clinical efficacy is exact.

Keywords

Open Fracture, Bone Cement, Membrane Induced Technique

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

开放性骨折在四肢长骨骨折中发生率较高, 约占 11%。开放性骨折常由高能量暴力损伤引起, 常伴有骨与软组织缺损、骨不连、感染、截肢等并发症, 早期清创时彻底清除所有无活性组织, 是开放性骨折治疗中控制感染的关键。但彻底清创会导致较大缺损, 包括骨及软组织的缺损, 均需要进行后续的组织重建[1] [2]。目前已有多种方法来解决重建的问题, 主要包括: 带血管蒂游离腓骨移植[3]、Ilizarov 骨搬运技术[4]、Masquelet 技术[5]等。但对于开放性骨折, 骨与软组织的重建需要无感染的创面作为基础。因此, 探索一种既能有效预防感染, 又能对创口内骨与软组织保护的治疗方法至关重要。近年来文献报道, Masquelet 技术治疗创伤后骨与软组织缺损取得了很好的临床疗效, 在 Hatashita S 的研究中, 7 位开

开放性骨折患者中只有 1 例(14%)发生了深度感染。并且所有患者均达到骨性愈合[6]。本研究采用回顾性病例分析的方式,收集 2019 年 6 月~2023 年 3 月期间,重庆医科大学附属永川医院收治的 14 例下肢开放性骨折患者的临床资料,探讨骨水泥在早期治疗 Gustilo III 型开放性骨折的临床疗效。

2. 临床资料与方法

2.1. 一般资料

1) 纳入标准: a) 生命体征平稳,可以耐受手术。b) Gustilo III 型开放性骨折。c) 临床资料完整。2) 排除标准: a) 合并糖尿病、下肢血管病变及免疫系统疾病,无法耐受手术。b) Gustilo I、II 型开放性骨折。c) 临床资料不完整。

本研究收集并统计了 14 例患者,为 2019 年 6 月~2023 年 3 月在重庆医科大学附属永川医院采用骨水泥技术治疗开放性骨折的患者,其中男 12 例,女 2 例;年龄 9~69 岁,平均年龄 43.7 岁。致伤原因如下:交通事故伤 11 例,重物砸伤 3 例。根据开放性损伤的 Gustilo 分型标准,分型如下:III A 型 12 例,III B 型 2 例;股骨 1 例,胫骨 7 例,足部 6 例。患者或家属均签署知情同意书。

2.2. 治疗方法

2.2.1. 术前准备

所有患者在急诊科就诊时接受破伤风预防治疗,入院即完善 WBC、ESR、CRP 等指标的检查;予以患者术前补液;根据骨折类型或伤口污染情况,予以静脉用抗生素预防感染。

2.2.2. 手术方法

所有手术均由重庆医科大学附属永川医院创伤骨科病区手术医师完成。

1) I 期手术(患者入院后尽早进行)

手术步骤: a) 彻底清创:彻底切除污染及坏死的骨与软组织,探查血管、神经的损伤情况,用大量生理盐水(9 L)及稀释聚维酮碘溶液反复清洗创面并仔细止血。b) 骨折的固定及骨水泥植入:复位骨折力线及关节面,予以外固定支架及克氏针固定,以含庆大霉素(0.5 g/40g)的骨水泥填充骨缺损,并平滑包裹骨折端 1~2 cm,使骨水泥范围稍大于骨缺损区的范围。c) 在骨水泥发热塑形时,局部以低温生理盐水浸泡或冲洗降温,以减少对组织的热损伤。d) 于创口内放置引流管,止血并缝合切口;如果创面无法闭合,则以骨水泥填充并覆盖软组织缺损,以 1~0 抗菌缝线固定骨水泥。

2) II 期手术(患者皮肤软组织条件良好后进行,约 6~8 周)

手术步骤: a) 术前准备:于 II 期术前 1 周拆除外固定支架,用高分子石膏托临时固定骨折。观察针道愈合、干燥无渗出,相关感染指标复查均正常。b) 取出骨水泥:锐性切开诱导膜并去除填充的骨水泥块(术中注意保护诱导膜的完整性)。c) 骨折的固定:复位骨折后,以钢板、螺钉或髓内钉对骨折行坚强的内固定。d) 术中植骨:材料可选自身髂骨,制备作大小约 3~5 mm³ 颗粒状,于骨缺损处植骨;若自体骨量不足,可加入同种异体松质骨,同种异体骨与自体骨比例不超过 1:3 [7]。

2.2.3. 术后处理

(1) 术后创面无菌敷料加压包扎。(2) 静脉滴注抗生素预防感染。(3) 药物及物理治疗预防下肢深静脉血栓形成(皮下注射低分子量肝素,指导患者进行踝泵运动及股四头肌等长收缩运动,下肢气压治疗等)。(4) 对症支持治疗。(5) 根据创口情况积极换药处理。(6) 观察引流管是否通畅及引流量变化,每日引流量连续 3 d < 30 ml 即可拔除引流管。I 期手术后,创口外覆盖的骨水泥根据外科医生的评估、决定被移除(通常 2~4 周后)。(7) 术后 2 周予以伤口拆线,部分愈合不良切口,可延期拆线。(8) 术后复查:术后

定期行 X 线检查, 了解骨折愈合情况; 可见明显骨痂形成时, 行部分负重锻炼; 骨折完全愈合后, 可完全负重行走。

2.3. 观察指标

2.3.1. 观察并记录实验室检查结果及症状、体征

(1) 患者术后全身及创口局部情况(包括与损伤程度不相符的疼痛、局部红肿、发热、渗出、异味、窦道形成)。(2) 术后定期复查的相关感染指标(WBC、ESR、CRP)与肝肾功的结果。(3) 创口局部采样, 进行细菌培养的结果。(4) 术后 X 线检查结果。(5) 体格检查结果。

2.3.2. 评估病情

(1) 感染是否控制: 若患者无全身感染症状、无局部红肿热痛, 且局部采样的细菌培养结果阴性, 即认为感染得到有效控制(如发生感染, 则再次清创及更换骨水泥)。(2) 骨与软组织缺损愈合及术后并发症: X 线检查结果及查体情况可见骨折愈合情况、骨折临床愈合情况及软组织缺损愈合情况。(3) 功能评定(根据 Paley 等评定标准): 优: 患肢短缩 ≤ 2 cm, 畸形愈合 $\leq 7^\circ$, 关节功能受限 $\leq 15\%$; 良: 上述 3 条中有 1 条不达标; 差: 上述 3 条中有 2 条不达标。评估下肢功能情况[8]。

2.4. 统计学分析

应用 SPSS 24.0 统计软件对收集的数据进行统计学分析, 计量资料经正态性检验均符合正态分布, 数据以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 术前、术后的计量资料比较采用配对 t 检验。 $P < 0.05$ 判断为差异有统计学意义。

3. 结果

总计 14 例患者, 其中男 12 例, 女 2 例; 年龄 9~69 岁, 平均年龄 43.7 岁, 14 例患者均获随访 6~28 个月, 平均 14.7 个月。I 期感染指标与 II 期术前相比, 14 例患者 WBC 由术前(15.2 ± 6.1) $\times 10^9/L$ 降至(7.1 ± 2.1) $\times 10^9/L$ ($t = 5.76, P < 0.05$), ESR 由术前(74.1 ± 24.8) mm/h 降至(29.2 ± 11.7) mm/h ($t = 8.67, P < 0.05$), CRP 由术前(44.7 ± 36.1) mg/L 降至(16.0 ± 13.8) mg/L ($t = 3.97, P < 0.05$)。见表 1。

根据 Paley 分类评价下肢功能结果为: 优 10 例, 良 4 例。

14 例患者中, 3 例患者经 ≥ 2 次的清创并更换骨水泥的手术, 感染情况得到控制; 所有未能 I 期闭合的创口, 均以骨水泥覆盖、封闭, 待创面形成新鲜肉芽组织或完整诱导膜后, 4 例患者经植皮或皮瓣移植手术治疗后创口愈合, 其余患者经换药治疗后创口愈合。14 例患者中, 无患者发生慢性感染或皮肤坏死, 伤口均良好愈合, 无患者截肢。1 例患者因自身原因, 未行 II 期骨重建手术, 余 13 例患者随访期内均达骨折临床愈合。所有患者均未发生骨感染、下肢深静脉血栓、肺栓塞等并发症。典型病例见图 1。

Table 1. Preoperative and postoperative observational indexes in 14 patients with open fractures comparison ($\bar{x} \pm s$)

表 1. 14 例开放性骨折患者术前和术后观察指标比较($\bar{x} \pm s$)

时间	WBC ($\times 10^9/L$)	CRP (mg/L)	ESR (mm/h)
术前	15.2 ± 6.1	44.7 ± 36.1	74.1 ± 24.8
术后	7.1 ± 2.1	16.0 ± 13.8	29.2 ± 11.7
t 值	5.76	3.97	8.67
P 值	<0.05	<0.05	<0.05



A: 术前伤口外观; B、C: 术前左侧开放性胫腓骨骨折正、侧位 X 线片; D、E、F: 一期行“左下肢清创 + 胫骨骨折外支架固定 + 骨水泥植入占位及创面覆盖”治疗后正、侧位 X 线片及外观照; G: 第二次清创及骨水泥覆盖创面后创口情况; H: 第三次清创及骨水泥覆盖创面后创口情况, 见创面边缘向内生长形成表皮, 患者选择不植皮, 换药观察; I: 创伤后 10 个月患肢皮肤修复情况; J、K: 二期行“胫骨骨折髓内钉固定 + 取自体髂骨植骨术”, 术后 3+月正、侧位 X 线片。

Figure 1. The patient is a 60-year-old male with an open tibiofibular fracture of the left lower leg caused due to a traffic accident injury

图 1. 患者男, 60 岁, 因车祸伤致左小腿开放性胫腓骨骨折

4. 讨论

随着社会的发展, 高速交通工具的广泛使用, 开放性骨折病例数也随之增多, 严重程度也明显增加, 由于受地域发展, 医疗水平参差不齐等诸多因素的影响, 开放性骨折患者常常贻误了最佳治疗时机, 导致治疗效果不理想, 增加了患者的痛苦和经济负担[1] [2]。

开放性骨折通常是高能量创伤的结果, 常伴有软组织严重损伤, 骨折部位极易被外界微生物污染甚至异物进入伤口造成感染[9], 早期治疗不当容易导致骨与软组织缺损、骨不连、创伤后骨髓炎等并发症, 甚至需要截肢来挽救生命。所以, 对于开放性骨折感染的预防远比治疗更重要。

预防开放性骨折感染的主要措施仍然是彻底清创, 但彻底清创后遗留的大段骨缺损和面积软组织缺损也是治疗难题。到目前为止, 对于开放性骨折的早期治疗, 尚缺乏规范统一的治疗方法和策略, 且临床疗效差别较大。Masquelet 等[5]采用分期膜诱导技术来修复重建较大骨缺损(4~25 cm), 临床效果满意, 已广泛应用于感染性骨缺损[10]、预防髌关节置换假体周围感染[11]、感染性软组织缺损[12]的治疗中。但关于骨水泥在开放性骨折早期治疗的报道较少。因此, 本研究探讨将此技术应用于下肢开放性

骨折的早期治疗后,对临床疗效、患者预后的影响,结果表明在预防感染、后期植皮或更换内固定方面具有明显优势。

开放性骨折治疗的首要目标是预防感染,引起开放性骨折感染的致病菌主要是浮游细菌和生物膜细菌两种形式。细菌生物膜是细菌在自然界的主要生存形式,临床上至少有 65%的微生物感染与细菌生物膜有关[13]。开放性骨折的严重程度决定了感染的风险,I型开放性骨折的风险范围为 0%~2%,II型开放性骨折的风险范围为 2%~10%,III型骨折的风险范围为 10%~50% [2]。对于预防开放性骨折感染的常规治疗方法包括通过彻底清除坏死组织,全身使用抗生素控制感染,这一点在创伤骨科已经达到共识。但全身应用抗生素很难渗透到缺血和坏死组织中,并且可能引起全身毒性以及相关的肾脏和肝脏并发症[14]。有研究表明,局部应用骨水泥可以预防、延缓甚至根除骨骼肌肉系统的感染,是解决骨与关节感染的常用手段[15]。

对于 Gustilo III 型开放性骨折,在 I 期彻底清创后,较大的软组织缺损导致伤口往往无法 I 期封闭,这也就增加了感染的风险。由于局部缺乏软组织覆盖,缺乏物理屏障、免疫屏障,外界细菌容易侵入;同时软组织缺损区域缺乏血供,机体免疫力与全身应用抗生素不能有效清除局部致病菌。

目前采用的持续负压吸引(continuous negative pressure aspiration, VSD)技术,可用以临时覆盖创面并形成封闭的负压引流。但 VSD 在长期应用上存在以下不足:① VSD 本身也属于异物,残存致病菌与 VSD 接触后可形成生物被膜导致感染复发,不能实现无菌化;② 创造了厌氧内环境,可导致在有氧环境下被抑制的残存的厌氧菌活跃、繁殖,导致厌氧菌感染。这是临床感染病例应用 VSD 后出现厌氧菌感染的主要原因之一[16],并且需要多次更换负压引流装置,增加了手术次数及患者的经济负担。相对而言,聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),即骨水泥,具有良好的稳定性、可塑性和空间占位能力。骨水泥可消除死腔,填充骨缺损的空隙,增加局部机械强度,还具有提高局部抗生素浓度、杀灭浮游细菌的作用,避免了细菌生物膜的形成。并有基础研究[17] [18]表明骨水泥与创面之间会形成透明的诱导膜,该诱导膜富含丰富的血管系统,并能分泌血管内皮生长因子、血管生成相关因子等,可促进创面良好愈合。

2011 年, Cierny [19]等人采用骨水泥填塞死腔,避免了肌瓣填塞的副损伤。对软组织缺损区域进行有效覆盖可实现局部血管化,消除因软组织缺损造成的免疫盲区,有利于增强局部免疫力、提高局部抗菌药物浓度。谭斌[20]等人将骨水泥覆盖于软组织缺损的区域,结果证明在诱导膜上植皮,效果更优良,说明诱导膜上植皮的方法是可行的。

下肢开放性骨折后骨缺损的重建具有挑战性,特别是在开放性骨折的早期治疗中,迄今尚无统一的治疗策略。对于骨缺损患者,无论是否伴有软组织缺损,治疗难度均明显增加。常见的治疗方法有带血管蒂的骨段移植技术和 Ilizarov 技术进行骨转运。这些技术需要专门的培训和设备。带血管蒂的骨段移植技术需要具备较高的显微外科技术,难以在各级医院广泛开展,并且需要牺牲健康的腓骨作为供体[3]; Ilizarov 技术是个缓慢和痛苦的过程,皮肤切割、力线偏移常见,且搬移到位后,多数情况下还需进行植骨。带架时间太长;同时长期携带极其不便,钉道感染多见,严重影响患者的生活质量、社交活动和心理健康状态[4]。与其他技术相比, Masquelet 技术可以预防感染,维持植骨的体积,减少骨吸收,治疗时间较短。并且一项多中心研究证明, Masquelet 技术是一种相对简单、安全、可重复性的技术,不需要特殊器械[21]。

膜诱导技术可分为 2 期,第一阶段通过彻底清创、骨水泥填充骨与软组织缺损控制感染,并诱导形成一层具有生物活性的假膜,同时使用外固定支架行临时固定;第二阶段手术于 6~8 周后进行,去除骨水泥后可形成一层厚约 2 mm 的白色“诱导膜”,随后在膜内进行骨松质植骨[5]。骨水泥在本研究中主要起到了两方面作用。从机械力学上,骨水泥作为填充物放置于骨缺损区域,既防止了软组织长入,又重塑了骨骼的内在力学结构,维持局部力学稳定性的作用;从生物学上,填补因清创而造成的死腔,清

除骨缺损区域存在的潜在感染灶,为二期植骨或植皮创造了良好的生物学环境;更为重要的是骨水泥作为异物刺激机体形成的膜结构,诱导膜内层为上皮样细胞,外层为成纤维细胞、肌成纤维细胞和胶原束。有基础研究结果表明,诱导膜可提供细胞因子包括血管内皮生长因子(VEGF)和骨形态蛋白-2 (BMP-2)等细胞因子,促进血管生成[16],从而阻止骨吸收,而 BMP-2 可刺激新骨形成[17]。这也是 M-asquelet 技术能够成功的基础。

本研究的病例中, Gustilo III 型开放性骨折常伴有严重的软组织缺损,创口往往不能 I 期闭合。在本研究中采用骨水泥覆盖软组织缺损,将开放性骨折转换为闭合性骨折,并向局部输送抗生素;同时以骨水泥占位骨缺损残腔,在外支架固定下维持局部骨折稳定性,降低急性期感染风险。在创面形成新鲜肉芽组织后,软组织缺损较小的选择直接缝合或换药直至创面愈合,软组织缺损较大的予以植皮或皮瓣移植治疗。研究表明,所有患者均未发生深部感染、慢性骨髓炎等并发症,所有创面愈合良好,无感染或皮肤坏死。证明骨水泥在开放性骨折早期治疗中预防感染的有效性,同时为后期植皮提供良好生物学环境。本研究中,除 1 例患者因自身原因,未行 II 期骨重建手术,其余 13 例患者均达临床骨折愈合标准。证明骨水泥可有效解决开放性骨折早期面临的骨与软组织缺损修复的治疗难题,降低并发症发生率,挽救肢体功能,治疗效果满意。

5. 结论

综上所述,骨水泥诱导的膜可为后期植皮、植骨及更换内固定提供良好的生物学环境,以实现临床愈合,临床疗效确切。我们认为,这种简单、安全、可复制的手术方法应被视为开放性骨折伴骨与软组织缺损的首选技术,通过该两阶段技术,可以减少手术次数和住院时间,实现最佳功能康复。这使得在各级医院都是可以开展的。但是本研究也存在不足,患者病例较少、随访周期较短,且为回顾性分析,仍需要多中心的随机对照研究,以更全面地评价骨水泥在开放性骨折早期治疗的临床疗效。

参考文献

- [1] Weber, D., Dulai, S.K., Bergman, J., *et al.* (2014) Time to Initial Operative Treatment Following Open Fracture Does Not Impact Development of Deep Infection: A Prospective Cohort Study of 736 Subjects. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **28**, 613-619. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000197>
- [2] Jedlicka, N., Summers, N.J. and Murdoch, M.M. (2012) Overview of Concepts and Treatments in Open Fractures. *Clinics in Podiatric Medicine & Surgery*, **29**, 279-290. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2012.01.006>
- [3] Ronga, M., Cherubino, M., Corona, K., *et al.* (2018) Induced Membrane Technique for the Treatment of Severe Acute Tibial Bone Loss: Preliminary Experience at Medium-Term Follow-Up. *International Orthopaedics*, **43**, 209-215. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4164-8>
- [4] Ren, C., Li, M., Ma, T., *et al.* (2022) A Meta-Analysis of the Masquelet Technique and the Ilizarov Bone Transport Method for the Treatment of Infected Bone Defects in the Lower Extremities. *Journal of Orthopaedic Surgery*, **30**, No. 2. <https://doi.org/10.1177/10225536221102685>
- [5] Masquelet, A.C., Fitoussi, F., Begue, T., *et al.* (2000) Reconstruction of the Long Bones by the Induced Membrane and Spongy Autograft. *Annales de Chirurgie Plastique et Esthetique*, **45**, 346-353.
- [6] Hatashita, S., Kawakami, R., Ejiri, S., *et al.* (2021) Acute Masquelet Technique' for Reconstructing Bone Defects of an Open Lower Limb Fracture. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **47**, 1153-1162. <https://doi.org/10.1007/s00068-019-01291-2>
- [7] Fung, B., Hoit, G., Schemitsch, E., *et al.* (2020) The Induced Membrane Technique for the Management of Long Bone Defects: A Systematic Review of Patient Outcomes and Predictive Variables. *Bone and Joint Journal*, **102-B**, 1723-1734. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.102B12.BJJ-2020-1125.R1>
- [8] Paley, D. and Maar, D.C. (2000) Ilizarov Bone Transport Treatment for Tibial Defects. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **14**, 76-85. <https://doi.org/10.1097/00005131-200002000-00002>
- [9] Buckman, S.A., Forrester, J.D., Bessoff, K.E., *et al.* (2022) Surgical Infection Society Guidelines: 2022 Updated Guidelines for Antibiotic Use in Open Extremity Fractures. *Surgical Infections*, **23**, 817-828.

- <https://doi.org/10.1089/sur.2022.206>
- [10] Frese, J., Schulz, A.P., Kowald, B., *et al.* (2023) Treatment Outcome of the Masquelet Technique in 195 Infected Bone Defects—A Single-Center, Retrospective Case Series. *Injury*, **54**, Article ID: 110923. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.110923>
- [11] Jameson, S.S., Asaad, A., Diament, M., *et al.* (2019) Antibiotic-Loaded Bone Cement Is Associated with a Lower Risk of Revision Following Primary Cemented Total Knee Arthroplasty: An Analysis of 731,214 Cases Using National Joint Registry Data. *The Bone & Joint Journal*, **101-B**, 1331-1347. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B11.BJJ-2019-0196.R1>
- [12] 杨焕友, 王斌, 李瑞国, 等. 皮瓣联合抗生素骨水泥链珠在手部骨与软组织感染创面的应用研究[J]. 中华手外科杂志, 2021, 37(3): 177-179.
- [13] 斯蒂芬·L·凯特, 奥利维尔·波伦斯. AO 骨感染治疗原则[M]. 高秋明, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 2022: 3-4.
- [14] 中华医学会骨科学分会, 沈杰, 谢肇, 等. 膜诱导技术治疗感染性骨缺损临床循证指南(2023版) [J]. 中华创伤杂志, 2023, 39(2): 107-120. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn501098-20221010-00671>
- [15] Helgeson, M.D., Potter, B.K., Tucker, C.J., *et al.* (2009) Antibiotic-Impregnated Calcium Sulfate Use in Combat-Related Open Fractures. *Orthopedics*, **32**, 323. <https://doi.org/10.3928/01477447-20090501-03>
- [16] Mathieu, L., Mourtialon, R., Durand, M., *et al.* (2022) Masquelet Technique in Military Practice: Specificities and Future Directions for Combat-Related Bone Defect Reconstruction. *Military Medical Research*, **9**, Article Number: 48. <https://doi.org/10.1186/s40779-022-00411-1>
- [17] Aho, O.M., Lehenkari, P., Ristiniemi, J., *et al.* (2013) The Mechanism of Action of Induced Membranes in Bone Repair. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, **95**, 597-604. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.00310>
- [18] Pelissier, P., Masquelet, A.C., Bareille, R., *et al.* (2004) Induced Membranes Secrete Growth Factors Including Vascular and Osteoinductive Factors and Could Stimulate Bone Regeneration. *Journal of Orthopaedic Research*, **22**, 73-79. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(03\)00165-7](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(03)00165-7)
- [19] George, C. (2011) Surgical Treatment of Osteomyelitis. *Plastic & Reconstructive Surgery*, **127**, 190S-204S. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3182025070>
- [20] 谭斌, 王振林, 李登博, 等. 抗生素骨水泥封闭创面诱导膜植皮修复肌腱外露创面[J]. 中国骨伤, 2020, 33(6): 564-566.
- [21] Karger, C., Kishi, T., Schneider, L. and Fitoussi, F. and Masquelet, A.-C. (2012) Treatment of Posttraumatic Bone Defects by the Induced Membrane Technique. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **98**, 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2011.11.001>