

成人闭合性下肢骨折内固定术后感染 诊疗指南(2025 版)

米博斌¹ 曹发奇¹ 胡维宪¹ 周武¹ 闫晨晨² 李卉¹ 孙云¹ 熊元³ 赵劲民⁴
花奇凯⁴ 吴新宝⁵ 蒋协远⁵ 张殿英⁶ 付中国⁶ 吴丹凯⁷ 刘光耀⁸ 刘国栋⁹
于腾波¹⁰ 谭金海¹¹ 陈熹¹¹ 林凤飞¹² 林涨源¹³ 廖冬发¹⁴ 王爱国¹⁵ 董世武¹⁶
罗高兴¹⁷ 谢肇¹⁷ 孙东¹⁷ 傅德浩¹⁸ 陈云丰¹⁸ 张长青¹⁸ 刘坤¹⁸ 宋德业¹⁹
芮永军²⁰ 吴飞²¹ 刘曦明²² 王俊文²³ 赵猛²⁴ 车彪²⁵ 胡冰²⁶ 何承建²⁷ 王光林²⁸
陈晓²⁹ 戴冠东³⁰ 方诗元³¹ 宋文超³² 陈明³³ 郭光华³³ 徐永清³⁴ 杨雷³⁵
张文乾³⁵ 张堃³⁶ 汤欣³⁷ 陈华³⁸ 徐卫国³⁹ 郭书权⁴⁰ 刘勇¹ 郭晓东¹ 叶哲伟¹
熊鑫茗¹ 夏天¹ 吴宏斌¹ 周启胜¹ 刘梦非¹ 胡益强¹ 韩艳玖¹ 薛航¹ 查康康¹
陈伟⁴¹ 侯志勇⁴¹ 余斌⁴² 苏佳灿²⁹ 唐佩福³⁸ 姜保国⁶ 刘国辉¹

中华医学会创伤学分会 中华医学会骨科学分会 中国医师协会骨科医师分会 中国
医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组

¹华中科技大学同济医学院附属协和医院, 武汉 430022; ²苏州大学附属第四医院, 苏州 215125; ³华中科技大学同济医学院附属同济医院, 武汉 430030; ⁴广西医科大学第一附属医院, 南宁 530021; ⁵北京积水潭医院, 北京 100035; ⁶北京大学人民医院, 北京 100044; ⁷吉林大学第二医院, 长春 130041; ⁸吉林大学中日联谊医院, 长春 130033; ⁹陆军军医大学陆军特色医学中心, 重庆 400042; ¹⁰青岛市市立医院(集团), 青岛 266072; ¹¹武汉大学中南医院, 武汉 430062; ¹²福州市第二总医院, 福州 350007; ¹³中南大学湘雅医院, 长沙 410008; ¹⁴中国人民解放军西部战区总医院, 成都 610083; ¹⁵郑州市骨科医院, 郑州 450015; ¹⁶陆军军医大学, 重庆 400038; ¹⁷陆军军医大学第一附属医院, 重庆 400038; ¹⁸上海交通大学医学院附属第六人民医院, 上海 200233; ¹⁹中南大学湘雅二医院, 长沙 410011; ²⁰无锡市第九人民医院, 无锡 214062; ²¹武汉大学人民医院, 武汉 430060; ²²中国人民解放军中部战区总医院, 武汉 430061; ²³武汉市第四医院, 武汉 430030; ²⁴十堰市太和医院, 十堰 442000; ²⁵长江航运总医院, 武汉 430010; ²⁶武汉科技大学天佑医院, 武汉 430064; ²⁷湖北省中医院, 武汉 430060; ²⁸四川大学华西医院, 成都 610041; ²⁹上海交通大学医学院附属新华医院, 上海 200092; ³⁰深圳市坪山区人民医院, 深圳 518118; ³¹中国科学技术大学附属第一医院, 合肥 230002; ³²郑州大学第一附属医院, 郑州 450003; ³³南昌大学第一附属医院, 南昌 330200; ³⁴中国人民解放军联勤保障部队第九二〇医院, 昆明 650032; ³⁵温州医科大学附属第二医院, 温州 325027; ³⁶西安交通大学医学院附属红会医院, 西安 710054; ³⁷大连医科大学附属第一医院, 大连 116011; ³⁸中国人民解放军总医院, 北京 100039; ³⁹天津市天津医院, 天津 300211; ⁴⁰重庆医科大学第一附属医院, 重庆 400016; ⁴¹河北医科大学第三医院, 石家庄 050051; ⁴²南方医科大学南方医院, 广州 510515

通信作者:刘国辉, Email:liuguohui@hust.edu.cn; 姜保国, Email:jiangbaoguo@vip.sina.com; 唐佩福, Email:pftang301@126.com; 苏佳灿, Email:drsujacan@163.com; 余斌, Email:yubin@smu.edu.cn; 侯志勇, Email:drzyhou@gmail.com

【摘要】 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染是灾难性并发症,其诊断困难、治疗周期长、致残率高。目前,成人闭合性下肢骨折术后感染的诊治存在诸多难题,如早期精准诊断困难、治疗方案选



择尚有争议等,导致总体诊疗效果不佳。为提高成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的诊治效果,由中华医学会创伤学分会、中华医学会骨科学分会、中国医师协会骨科医师分会及中国医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组共同组织创伤骨科专家,基于循证医学证据,遵循科学性、实用性和先进性原则,制订《成人闭合性下肢骨折内固定术后感染诊疗指南(2025 版)》,从术后感染诊断与治疗方面提出 10 条推荐意见,为成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的规范诊疗提供依据。

【关键词】 下肢骨;骨折,闭合性;骨折固定术,内;感染

【中图分类号】 R639;R641;R683.4

基金项目:国家重点研发计划(2021YFA1101500,2024YFC2510603);国家自然科学基金(82272491)

国际实践指南注册与透明化平台:PREPARE-2024CN316

DOI:10.3760/cma.j.cn501098-20241226-00725

Guideline for diagnosis and treatment of infection after internal fixation of closed lower limb fractures in adults (version 2025)

Mi Bobin¹, Cao Faqi¹, Hu Weixian¹, Zhou Wu¹, Yan Chenchen², Li Hui¹, Sun Yun¹, Xiong Yuan³, Zhao Jinmi⁴, Hua Qikai⁴, Wu Xinbao⁵, Jiang Xieyuan⁵, Zhang Dianying⁶, Fu Zhongguo⁶, Wu Dankai⁷, Liu Guangyao⁸, Liu Guodong⁹, Yu Tengbo¹⁰, Tan Jinhai¹¹, Chen Xi¹¹, Lin Fengfei¹², Lin Zhangyuan¹³, Liao Dongfa¹⁴, Wang Aiguo¹⁵, Dong Shiwu¹⁶, Luo Gaoxing¹⁷, Xie Zhao¹⁷, Sun Dong¹⁷, Fu Dehao¹⁸, Chen Yunfeng¹⁸, Zhang Changqing¹⁸, Liu Kun¹⁸, Song Deye¹⁹, Rui Yongjun²⁰, Wu Fei²¹, Liu Ximing²², Wang Junwen²³, Zhao Meng²⁴, Che Biao²⁵, Hu Bing²⁶, He Chengjian²⁷, Wang Guanglin²⁸, Chen Xiao²⁹, Dai Guandong³⁰, Fang Shiyuan³¹, Song Wenchao³², Chen Ming³³, Guo Guanghua³³, Xu Yongqing³⁴, Yang Lei³⁵, Zhang Wenqian³⁵, Zhang Kun³⁶, Tang Xin³⁷, Chen Hua³⁸, Xu Weiguo³⁹, Guo Shuquan⁴⁰, Liu Yong¹, Guo Xiaodong¹, Ye Zhewei¹, Xiong Liming¹, Xia Tian¹, Wu Hongbin¹, Zhou Qisheng¹, Liu Mengfei¹, Hu Yiqiang¹, Han Yanjiu¹, Xue Hang¹, Zha Kangkang¹, Chen Wei⁴¹, Hou Zhiyong⁴¹, Yu Bin⁴², Su Jiaca²⁹, Tang Peifu³⁸, Jiang Baoguo⁶, Liu Guohui¹

Trauma Branch of Chinese Medical Association, Orthopedics Branch of Chinese Medical Association, Orthopedic Branch of Chinese Medical Doctor Association, and Trauma Orthopedics and Polytrauma Group of Resuscitation and Emergency Committee of Chinese Medical Doctor Association

¹Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China; ²Fourth Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215125, China; ³Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China; ⁴First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, China; ⁵Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China; ⁶Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China; ⁷Second Hospital of Jilin University, Changchun 130041, China; ⁸China-Japan Union Hospital of Jilin University, Changchun 130033, China; ⁹Army Medical Center, Army Medical University, Chongqing 400042, China; ¹⁰Qingdao Municipal Hospital (Group), Qingdao 266072, China; ¹¹Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430062, China; ¹²Fuzhou Second General Hospital, Fuzhou 350007, China; ¹³Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410008, China; ¹⁴General Hospital of Western Theatre Command of PLA, Chengdu 610083, China; ¹⁵Zhengzhou Orthopedic Hospital, Zhengzhou 450015, China; ¹⁶Army Medical University, Chongqing 400038, China; ¹⁷First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China; ¹⁸Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200233, China; ¹⁹Second Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410011, China; ²⁰Wuxi Ninth People's Hospital, Wuxi 214062, China; ²¹Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China; ²²General Hospital of Central Theater Command of PLA, Wuhan 430061, China; ²³Wuhan Fourth Hospital, Wuhan 430030, China; ²⁴Shiyan Taihe Hospital, Shiyan 442000, China; ²⁵Changjiang Shipping General Hospital, Wuhan 430010, China; ²⁶Tianyou Hospital, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430064, China; ²⁷Hubei Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuhan 430060, China; ²⁸West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; ²⁹Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China; ³⁰Shenzhen Pingshan People's Hospital, Shenzhen 518118, China; ³¹First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230002, China; ³²First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003, China; ³³First Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330200, China; ³⁴920th Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Kunming 650032, China; ³⁵Second Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China; ³⁶Honghui Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China; ³⁷First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, China;



³⁸PLA General Hospital, Beijing 100039, China; ³⁹Tianjin Hospital, Tianjin 300211, China; ⁴⁰First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China; ⁴¹Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, China; ⁴²Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

Corresponding authors: Liu Guohui, Email: liuguohui@hust.edu.cn; Jiang Baoguo, Email: jiangbaoguo@vip.sina.com; Tang Peifu, Email: pftang301@126.com; Su Jiacaan, Email: drsujiacaan@163.com; Yu Bin, Email: yubin@smu.edu.cn; Hou Zhiyong, Email: drzyhou@gmail.com

[Abstract] Postoperative infection of internal fixation of closed fractures the lower limbs in adults represents a devastating complication, characterized by diagnostic challenges, prolonged treatment duration and high disability rates. Current management of these infections faces multiple challenges, such as difficulties in early accurate diagnosis, and various controversies about the treatment plan, leading to poor overall diagnosis and treatment results. To address these issues, based on evidence-based medicine and principles with emphasis on scientific rigor, clinical applicability and innovation, the Trauma Branch of the Chinese Medical Association, Orthopedic Branch of the Chinese Medical Doctor Association, Orthopedics Branch of the Chinese Medical Association, and Trauma Orthopedics and Polytrauma Group of the Resuscitation and Emergency Committee of the Chinese Medical Doctor Association have collaboratively organized a panel of relevant experts to develop the *Guideline for diagnosis and treatment of infection after internal fixation of closed lower limb fractures in adults (version 2025)*. The guideline proposed 10 recommendations, aiming to provide a foundation for standardized diagnosis and treatment of postoperative infection in adults with closed lower limb fractures.

[Key words] Bones of lower extremity; Fractures, closed; Fracture fixation, internal; Infection

Fund programs: National Key Research and Development Program (2021YFA1101500, 2024YFC2510603); National Natural Science Foundation of China (82272491)

Practice guideline registration for transparency: PREPARE-2024CN316

DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20241226-00725

术后感染是成人闭合性下肢骨折内固定术的常见并发症,发生率为1%~2%,且具有诊断困难和治疗周期长的特点,若感染控制不佳,最终可能演变为慢性骨髓炎,造成持续骨感染甚至致残和死亡的风险,是骨科医师面临的最具挑战性的疾病之一^[1-3]。同时,该类感染会给患者及其家庭带来沉重的负担,导致住院时间延长和康复进程延误^[4-6]。随着医疗技术的快速发展,许多骨科疾病的疗效有了稳步的提升。然而,目前临床处理该类骨折术后感染仍面临诸多问题,如部分患者因临床表现隐匿而导致早期难以精确诊断、治疗方案选择尚有争议。因此,早期准确诊断与规范治疗流程是提高手术治疗效果、降低致残率、促进肢体康复、改善患者生活质量的关键。为规范诊疗流程、提高诊疗效果,由中华医学会创伤学分会、中华医学会骨科学分会、中国医师协会骨科医师分会及中国医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组共同组织创伤骨科专家,根据现有文献及临床经验,制订《成人闭合性下肢骨折内固定术后感染诊疗指南(2025版)》(以下简称“本指南”),从术后感染诊断与治疗方面提出10条推荐意见,为成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的规范诊疗提供依据。

1 指南制订流程

1.1 指南发起单位

本指南由中华医学会创伤学分会、中华医学会骨科学分会、中国医师协会骨科医师分会及中国医师协会急救复苏专业委员会创伤骨科与多发伤学组提出立项申请,出于规范成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的患者临床诊疗的目的,依据中华医学会《中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则(2022版)》^[7]制订本指南。本指南的制订符合美国医学科学院与世界卫生组织指南制订手册对于临床实践指南构建的概念与过程框架^[8-9]。

1.2 组建指南工作组

指南工作组于2024年3月成立,并依次建立组建指导委员会、专家组、秘书组及外审专家组共4个工作组。

1.2.1 指导委员会

指导委员会由6名创伤骨科领域专家组成。主要工作任务:(1)确定本指南的主题和大纲;(2)组建指南专家组、秘书组及外审专家组,并管理利益冲突声明;(3)制订指南工作的流程安排;(4)批准指南的发表并推进指南的出版和推广。

1.2.2 专家组

在综合考虑地域代表性因素的前提下,拟组建



专家组 60 名,主要由创伤骨科领域的专家组成,所有成员为全国各省(直辖市、自治区)相关领域的一线专家,涉及单位应覆盖全国 70% 的省份。主要职责:(1)审核指南定义的临床问题;(2)就草拟的推荐意见予以表决;(3)对拟定的指南全文提出修改意见并确定终稿。

1.2.3 秘书组

秘书组由 4 名创伤骨科医师组成。主要职责:(1)完成指南注册;(2)撰写指南计划书并投稿;(3)将临床问题规范化并组织问卷调查;(4)起草、修订和完善指南;(5)组织线上或线下的指南会议。

1.2.4 外审专家组

外审专家组由 5 名从事创伤骨科相关研究,且与本指南无利益冲突的专家组成。核心任务:(1)评估临床实践指南所涉问题及推荐意见的科学性和适用性;(2)对重要决策作出最终抉择。

1.3 指南注册

本指南已在国际指南注册与透明化平台完成双语注册,注册号:PREPARE-2024CN316。该平台尚未见与本指南主题相同或相关的注册记录。

1.4 利益冲突声明与处理

参与指南编订工作的所有成员需对利益关系作出声明,并签署、完成利益声明表。秘书组将对所有成员是否适宜参与本指南的制订进行综合评估。所有作者已声明无任何利益冲突。

本指南的编订主要依托国家重点研发计划和国家自然科学基金项目经费开展,资金主要用于专家咨询及会议召开。

1.5 文献检索过程

按照目标人群、干预方式、对照、结局、研究类型(PICOS)原则构建临床问题,系统性检索相关临床问题证据,经各小组讨论后审定。以“surgical site infection”“postoperative infection”“wound infection”“Infection after internal fixation”“adult”“closed lower limb fracture”“diagnosis”“treatment”“手术部位感染”“手术后感染”“伤口感染”“内固定术后感染”“成人”“闭合性下肢骨折”“诊断”“治疗”等作为关键词,分别检索 PubMed、EmBase、Web of Science、Sinomed、Cochrane Library、中国知网、万方数据知识服务平台、维普等数据库。检索时限为建库至 2025 年 4 月 27 日。

文献纳入标准:(1)成人闭合性下肢骨折内固定术后感染诊疗的临床研究,包括系统评价、Meta

分析、随机对照试验(RCT)、队列研究、病例对照研究、病例报告等;(2)成人闭合性下肢骨折内固定术后感染诊断和治疗相关综述、临床指南、专家共识或著作等;(3)有明确研究结果且为定量资料。文献排除标准:(1)内容重复;(2)无法获取全文。优先检索 5 年内的系统评价、Meta 分析及 RCT。当最新证据不足或证据水平较低时,检索发表 5 年以上的系统评价、Meta 分析、RCT、队列研究、病例对照研究等。共得到文献 924 篇,除去重复文献 135 篇后,根据文献纳入和排除标准、文献评价及补充指南相关问题需要,最终引用 91 篇文献,其中英文 84 篇,中文 7 篇。

1.6 临床问题与结局指标的收集与确定

临床问题的调研遴选与确定过程严格按照指南临床问题形成方法进行,先通过电子邮件或现场问卷初步收集骨科专家在临床诊疗过程中最关心的成人闭合性下肢骨折内固定术后感染相关的问题,然后通过筛选分析初步拟定 10 个问题。专家组针对这些问题进行深入讨论和论证,评估文献的证据等级和归纳文献信息,通过广泛检索和评估相关文献,根据所得文献信息,提出相应的推荐建议。

1.7 证据质量与推荐强度分级

指南根据证据推荐分级评估、制订与评价(GRADE)体系^[10]对证据质量和推荐强度进行分级(表 1、2)。

表 1 GRADE 证据质量分级

证据等级	证据质量
I	高质量 RCT、权威指南、高质量系统综述及 Meta 分析
II	有一定局限性的 RCT、队列研究及病例对照研究
III	观察性研究
IV	个案报道、专家意见

注:GRADE 为证据推荐分级评估、制订与评价,RCT 为随机对照试验

表 2 GRADE 推荐强度分级

推荐强度	定义
强	明确显示干预措施利大于弊或弊大于利
弱	利弊不确定或无论质量高低的证据均显示利弊相当

注:GRADE 为证据推荐分级评估、制订与评价

1.8 推荐意见形成

秘书组将依据检索证据的质量拟定推荐意见决策表,包括推荐意见、依据、证据等级等信息。形



成推荐意见决策后,通过 3 轮 Delphi 法(同行评审、网络函评和线下会议),对推荐意见进行投票,参照 GRADE 体系形成共识,并给出相应推荐意见强度:强推荐、弱推荐。最后确定纳入指南的 10 条推荐意见。本共识适用对象涵盖运动医学科、骨科、感染科及放射科的医护人员。

1.9 推荐意见的外审及批准

秘书组在形成最终版的指南草案后,先进行外审专家组的同行评审流程,秘书组根据外审专家的意见进行汇总和整合,重新修订部分推荐意见,并提交指导委员会进行最后审核,经审定及批准后发布。

2 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的定义与分期

2.1 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的定义

成人闭合性下肢骨折内固定术后感染是指与内置物接触的骨组织感染,伴或不伴软组织感染,由致病菌污染或宿主免疫力低下引发^[11]。骨折内固定术后感染的诊断标准分为提示性和确定性这 2 个级别,只有存在 1 项或多项确诊标准时,才能明确诊断骨折术后感染^[12-14]。

提示性标准:(1)临床表现:局部或全身性炎症(如局部发红、肿胀或发热),新发关节积液,持续性、增加性或新发伤口引流;(2)实验室检查:血清炎症标志物增加[如白细胞计数(WBC)、C-反应蛋白(CRP)、红细胞沉降率(ESR)];(3)影像学检查:骨溶解(骨折部位、置入物周围),置入物松动,骨愈合失败(即骨不连),存在骨膜成骨(如在骨折部位以外的位置或骨折已愈合的情况下),隔离(随时间发生);(4)微生物学检测:从单个深层组织或置入物标本中鉴定出病原微生物。

确定性标准:(1)临床表现:瘘管,窦道,伤口破裂,伤口流出脓液或出现脓液;(2)微生物学检测:通过从至少 2 个独立的深层组织或置入物标本中培养鉴定出表型难以区分的病原体;(3)组织病理学检测:通过使用细菌和真菌的特异性染色技术进行确认深部组织标本中存在微生物,如在慢性或晚发患者(骨折不愈合等)中,每个高倍视野下存在 5 个以上的多形核中性粒细胞。

2.2 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的分型

目前仍缺乏被广泛认可的骨折内固定术后感染的专属分型,而临床常用的分型为时间分型和针对骨髓炎的 Cierny-Mader 分型^[11]。

2.2.1 时间分型

根据术后感染时间的不同,闭合性下肢骨折内固定术后感染可分为 3 期:(1)早期感染(术后 2 周内):通常能通过典型的感染体征、伤口愈合延迟、大血肿及全身感染体征(如发热、嗜睡)作为临床诊断的依据^[1]。这种感染多是由毒力较强的致病菌(如金黄色葡萄球菌)引起,可能已形成生物膜,但尚未成熟,故骨组织及周围炎症变化不明显,骨折稳定性也不会受影响^[15]。(2)延迟期感染(术后 2~10 周):可能表现出与早期或慢性期感染相似的症状。例如,血肿可能会在术后早期出现,但 3 周后仍可能存在,或者瘘管可能 9 周后出现,而这与慢性期感染密切相关^[1,15]。延迟期感染多是由毒力稍弱的致病菌(如表皮葡萄球菌)引起,此时生物膜逐步成熟,对抗生素的耐药性进一步增强,骨周围软组织出现坏死。由于此阶段是骨折愈合的关键期,而细菌性骨浸润和骨炎症会改变骨折愈合的微环境,导致相关骨组织出现不愈合^[16]。(3)慢性期感染(术后 10 周以后):通常由弱毒力致病菌(如表皮链球菌)引起。此时,骨与周围软组织感染更为严重,发生慢性骨髓炎,表现为骨组织炎症性破坏和新骨形成^[15,17]。严重炎症和骨质溶解伴随骨髓炎会导致骨合成不稳定,治疗时需要广泛和反复清创,但易导致骨缺损。

在不同感染期内,骨组织及其软组织的病理学变化不同,决定了治疗策略的不同,如本指南对内固定的去留和抗生素的治疗策略。

2.2.2 Cierny-Mader 解剖分型

根据生物膜病灶的解剖特征将炎症类型分为 4 个阶段^[18-19]:(1)髓内型(I 型):病灶局限于髓腔内,常位于骨干部位,通常不涉及骨髓,软组织正常。(2)表浅型(II 型):病灶累及外层骨皮质、皮下组织和皮肤,不涉及髓腔。(3)局灶型(III 型):病灶累及全层骨皮质和邻近的骨髓腔,边界清楚,存在游离骨碎片,可伴有软组织缺损,骨力学结构尚稳定。(4)弥散型(IV 型):病灶呈节段性,累及骨皮质和髓腔,或者合并整个关节感染,骨力学结构不稳定。

2.2.3 Cierny-Mader 宿主分型

宿主分型是决定治疗策略的主要因素,根据宿主的状态分为 3 型^[18-19]:(1)A 型:宿主为健康患者,无合并症,局部和全身生理功能无异常。(2)B 型:宿主全身或局部生理功能异常。(3)C 型:宿主缺乏抵抗力,全身状态差,预后欠佳。

Cierny-Mader 分型综合了解剖分型和宿主状态,



有助于帮助制订治疗策略,如本指南根据 Cierny-Mader 分型决定清创方式。

3 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染诊断与治疗的推荐意见

3.1 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的诊断

3.1.1 临床表现

推荐意见 1:非特异性的局部或全身炎症等征状对诊断早期感染有提示作用,痿管、窦道等感染体征可确诊骨折术后感染(**推荐强度:强**)。

共纳入文献证据 5 项,其中 I 级证据 2 项^[13-14], III 级证据 3 项^[20-22]

早期感染时,伤口局部会出现非特异性的炎症表现,包括局部红肿和伤口延迟愈合。若存在局部或全身性炎症(如局部发红、肿胀或发热),新发关节积液,持续性、增加性或新发伤口引流等症状时,则应通过进一步的血清学、影像学和微生物学检查来明确是否存在骨折术后感染^[13-14]。对于骨折术后感染的早期诊断,局部炎症表现并不具有特异性,因为术中的机械创伤和身体的应激反应等情况也会造成类似的局部症状^[20-21]。骨折术后感染进展到慢性期时,常会出现局部肿胀、压痛及窦道、痿管形成,并伴有功能障碍^[22]。可确诊存在骨折术后感染的确定性体征包括痿管、窦道、伤口破裂和伤口流出脓液或出现脓液。

3.1.2 实验室检查

推荐意见 2:疑似骨折内固定术后感染者,通过检测血清炎性指标做出进一步诊断,可联合多个炎性指标检测,以增强检查的特异度(**推荐强度:强**)。

共纳入文献证据 5 项,其中 I 级证据 2 项^[23-24], II 级证据 3 项^[25-27]。

传统血清炎性指标包括 WBC、CRP 及 ESR。然而,由于手术和麻醉等应激因素的影响,患者术后的血清炎性指标容易产生波动,单一的炎性指标对术后感染的诊断缺乏特异度^[25]。因此,可联合上述 3 个指标进行检测,异常升高的指标越多,感染的可能性越大^[26]。若怀疑有早期感染,可连续动态复查 CRP 并辅助检测其他炎性因子。其他一些炎性因子也可辅助确诊感染,如血清白细胞介素-6(IL-6)、D-二聚体、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)及血清淀粉样蛋白 A(SAA)等^[26-27]。已有研究结果表明,血清 IL-6 水平的诊断价值与 ESR 和 CRP 相当,而血清 D-二聚体水平被认为是感染性骨不连的潜在术前预

测因子,敏感度和特异度分别为 75% 和 91.2%^[23-24]。

3.1.3 影像学检查

推荐意见 3:MRI 检查对于诊断骨折术后感染具有重要意义,可清晰显示周围软组织变化和感染范围,其他影像学检查也可辅助诊断骨折术后感染(**推荐强度:弱**)。

共纳入文献证据 6 项,其中 I 级证据 5 项^[11,13,28-30], III 级证据 1 项^[31]。

影像学检查仅作为辅助诊断,提供是否存在感染的征象并不能确诊是否存在骨感染。其临床价值包括观察是否存在骨折术后感染的放射学体征、明确骨折和内固定的状态、协助制订手术方案等^[11]。常见的影像学检查包括 X 线、CT、MRI 和核医学检查等^[13]。MRI 检查在下肢闭合性骨折内固定术后感染的早期诊断中具有重要价值,能够及时发现骨髓水肿及周围软组织的变化,并清晰显示感染范围。但对于部分体内有内固定的患者应慎行 MRI 检查,因为金属置入物可能会产生局部伪影,从而降低图像质量^[29]。患者存在永久性起搏器或颅内动脉瘤弹簧圈是 MRI 的绝对禁忌证^[28]。X 线检查对于评估下肢骨折预后具有重要作用,当发生术后感染时,可观察到骨腐蚀并在骨折远端出现反应性新骨。相比于 X 线,CT 检查能更准确地评估骨质变化,并确定与窦道相通的骨感染位置。若在髓内固定的骨髓腔内发现气体,应高度怀疑骨感染的可能^[30]。然而,X 线和 CT 检查对于软组织变化无法进行准确判断,且容易受到金属内置物的影响。核医学检查主要包括骨扫描、白细胞扫描及正电子发射计算机断层显像(PET)等。骨扫描不适合于术后感染早期的诊断,白细胞扫描对于术后早期感染和不能明确的骨髓炎感染的诊断有较高的价值,但在国内开展较少。PET 对于开放骨折术后感染的定性和定位诊断具有极高价值,并且适用于体内有内固定的患者,但不作为首选推荐^[31]。

3.1.4 微生物学检测

推荐意见 4:微生物学检测可确诊闭合性下肢骨折内固定术后感染,并判断感染病原体种类。超声处理可以辅助提高检测的灵敏度,PCR 技术能缩短诊断周期(**推荐强度:强**)。

共纳入文献证据 10 项,其中 I 级证据 5 项^[32-36], II 级证据 2 项^[37-38], III 级证据 3 项^[39-41]。

细菌培养的主要目的在于确定是否存在病原菌感染及鉴定感染病原菌的种类。在使用抗生素



的情况下,细菌生长会受到抑制,因而在怀疑存在感染时,取细菌培养前应停用抗生素至少 2 周^[34]。可从深部组织样本中培养微生物以确认是否存在感染,为后续的抗生素治疗提供指导方案^[33]。在闭合性下肢骨折内固定术后感染的标本采集和诊断中,可采用“3-2-1”原则,即至少取 3 个疑似存在感染的部位进行致病菌培养;若有 2 个或更多采样点培养出的致病菌相同,即可确认感染;对于一些高毒力的致病菌,如金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等,只需从 1 个采样点培养出病原菌即可确定感染^[35]。超声处理是使用长波超声去除嵌入在置入物表面生物膜中的细菌和真菌,超声处理液中脱落的病原体可在琼脂平板上培养或放入血培养瓶中^[36]。如果手术过程中移除内固定,则将其进行超声处理并培养超声处理液。研究结果表明,超声处理有利于鉴定病原体,特别是使用血培养瓶时,其灵敏度可从之前的 87% 提高至 100%^[34]。在术前 2 周末给予抗生素治疗的情况下,超声处理检测优于单独组织培养^[37]。超声处理液的膜过滤与传统组织培养相结合时表现出更高的灵敏度^[38]。因此,可在移除置入物后进行超声处理,作为传统培养诊断的有效补充。分析前的步骤也很重要,包括在手术室中严格遵守非接触式技术、在手术室中无污染地转移到无菌运输容器、快速运输和充分的即时处理^[39]。

目前 PCR 技术已经被证明是检测病原体的一种有效补充手段,仅需 1 d 即可获取检测结果,显著缩短诊断周期^[32]。虽然基于 PCR 的诊断可允许在抗生素治疗后检测致病病原体,但由于其识别的是特定引物的病原体或基因序列,故此并不能全面覆盖与骨感染相关的细菌^[39]。相关研究表明,16S rRNA PCR 在拭子培养检测时不如组织培养,但在检测超声处理液中的灵敏度与组织培养相当,提示 PCR 和超声结合有着巨大潜力^[40-41]。

3.1.5 组织病理学检测

推荐意见 5:病原学检测是确诊骨折内固定术后感染的“金标准”(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 3 项,均为 I 级证据^[11,42-43]。

病理学检查是通过对疑似感染组织进行染色,观察是否存在致病微生物。对于所有疑似感染患者,均应进行组织病理学检查,建议至少取 3 处不同部位的疑似感染组织进行送检。若术前或术中已经能够明确骨感染诊断时,不推荐术中快速冰冻检查,仅需术后常规病理检查即可^[11]。若术前无法

确诊骨感染且需要术中明确是否有骨感染以确定治疗策略时,建议至少取疑似骨感染组织周围的软组织进行术中快速冰冻病理学检查。建议将每个高倍镜视野内中性粒细胞的数量 ≥ 5 个作为诊断标准^[42-43]。

3.2 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的治疗

3.2.1 清创

推荐意见 6:应彻底清除伤口中受感染的组织,直至健康骨组织出现点状出血。可使用牵拉测试来评估骨碎片的软组织附着率,用生理盐水在低压环境下对创面进行充分且足量的灌洗(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 14 项,其中 I 级证据 7 项^[44-50], II 级证据 4 项^[51-54], III 级证据 3 项^[55-57]。

彻底清创是治疗闭合性下肢骨折内固定术后感染的关键。建议采用扩大范围的清创方式,即清创达正常组织 5 mm,将受感染的骨组织全部切除,直至健康骨组织出现点状出血,即“辣椒征”^[51]。肌肉活力可通过一致性、色泽、收缩性及毛细血管出血情况来评估。考虑到即使去除 30% 的肌肉也不会影响其主要功能,应尽可能清除受污染或丧失活力的肌肉。不同的 Cierny-Mader 分型推荐的清创方式如下^[11]:对于髓内型感染,常采用扩髓-灌洗-引流的形式^[55];对于表浅型和局灶型感染,采用“蛋壳式”(保留完整皮质骨,去除内部坏死与炎性组织)骨组织清创联合“地毯式”(彻底清除感染灶周围软组织)软组织清创^[56];对于弥散型感染,采用节段切除^[57]。

清创时应去除所有明显的碎片,且彻底清洗髓内管。同时,去除所有松散的骨碎片,以避免其成为感染源和发生移位,导致严重软组织和神经血管损伤。牵拉测试(将碎骨块与周围软组织分开的操作)可以确定骨碎片的软组织附着率,对于附着率 $< 50\%$ 的骨碎片应进行去除^[44-45]。来自骨干的较大骨碎块可暂时用于复位,并在清创结束时丢弃,但必须保留关键的关节碎片以重建关节表面。如果污染严重,则必须彻底清洗骨碎片,并在保留软骨的同时,充分去除松质骨中的污染物^[46]。尽管在第一次清创期间,微生物培养呈阳性的患者发生感染的风险较高,但仅 26.9% 的感染是由初始伤口培养中鉴定的微生物引起的,这表明原始生物体与导致骨折术后感染的生物体之间并无显著的临床相关性,故在第一次清创期进行微生物培养并非必要^[46,52]。

采用生理盐水在低压环境下对创面进行充分且足量的灌洗,不仅能彻底清洁手术区域,还能有效防止细菌在软组织和骨骼中扩散^[53-54]。但不建议



在冲洗液中使用其他添加剂,以免增加细胞毒性^[47]。已有研究结果表明,使用肥皂或防腐剂等添加剂灌洗并未改善患者的预后^[47,50]。在一项包含 458 例患者的前瞻性研究中,使用抗生素溶液(杆菌肽)冲洗伤口较使用肥皂溶液在降低感染风险方面没有优势^[48]。而另一项纳入 2 447 例患者的研究结果表明,与生理盐水组相比,肥皂组的再手术率显著升高^[47]。最近的一项包含 1 680 例患者的前瞻性 RCT 结果表明,相比未使用生理盐水,使用生理盐水或肥皂溶液对患者术后生活质量影响并无显著差异^[49]。因此,建议用生理盐水冲洗开放性伤口。

3.2.2 内固定处理

推荐意见 7:骨折内固定术后早期感染时,可根据患者条件和手术效果考虑保留内固定;延迟期感染时,随着时间延长更倾向于移除内固定;慢性期感染时,除移除内固定外,还需对受累组织进行 1~3 mm 的清创和长期抗菌治疗(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 6 项,其中 I 级证据 5 项^[1,58-61], III 级证据 1 项^[62]。

内固定可以保持骨折的稳定性,而稳定性是促进骨折愈合的关键因素,对预防和控制感染至关重要。因此,需认真考虑是否保留内固定以确保骨折部位的稳定性^[62]。在早期感染(术后 2 周内)情况下,如果骨折成功复位且内固定具有最佳的机械性能,可以考虑将内固定保留在体内以保持稳定。但如果未满足上述条件,或者患者存在吸烟、髓内固定、软组织无法充分覆盖创面等危险因素,建议尽早去除内固定^[1,58]。如果骨折已经愈合,则强烈建议去除内固定以降低复发感染的风险^[59]。对于延迟期感染(术后 2~10 周),由于其是一个连续的阶段,故在其前期(<4 周)仍可以考虑保留内固定来维持骨折的稳定性,但在后期更倾向于去除内固定^[60]。如果骨折成功复位、内固定稳定且感染得到控制,可以考虑保留内固定。然而,如果存在早期感染中提及的危险因素,则随着时间的延长,更倾向于更换内固定^[23]。在慢性期感染(术后 10 周以后)情况下,必须考虑长期感染导致的骨合成异常和骨结构不稳定,造成骨愈合延迟或不愈合的情况。因此,在移除内固定的同时,还需要对所有受累骨(整合物)和软组织进行根治性清创,即在感染区域,从肉眼可见的坏死或感染组织边缘向外扩展 1~3 mm 进行切除。此外,还需要进行长期抗菌治疗,并进行软组织包膜重建^[1,61]。移除内固定后,可

以使用外固定或定制的水泥棒实现临时稳定,当感染被彻底移除后,再行二次内固定处理^[62]。

3.2.3 抗生素使用

推荐意见 8:对于骨折内固定术后早期感染患者,若保留内固定则需抗生素治疗 12 周,而去除内固定后则需进行抗生素治疗 6 周。对于延迟期与慢性期感染患者,抗生素治疗持续 12 周,若选择抑菌治疗,则应持续使用抗生素至去除内固定后 4~6 周;局部应用抗生素能有效辅助治疗慢性期感染(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 12 项,其中 I 级证据 3 项^[17,63-64], II 级证据 4 项^[65-68], III 级证据 5 项^[69-73]。

在大多数情况下,抗生素治疗可延迟至深层组织取样后进行,但患者一旦出现脓毒血症,应立即在采血培养后开始抗生素治疗^[73]。完成组织样本采集后,应立即开始经验性静脉给药,直到获得明确的培养结果。经验性治疗应选用广谱抗生素,包括糖肽类和抗革兰阴性菌药物^[53]。对于骨折内固定术后早期感染患者,在保留内固定的情况下,需要长期使用抗生素,通常静脉给药 2 周后转为口服,总疗程为 12 周;如果已去除内固定,在感染已经控制且无残留异物时,疗程可缩短为 6 周(前 2 周静脉给药,后 4 周口服给药)^[69-70]。对于延迟期与慢性期感染患者,因为有生物膜的存在,需使用具有生物膜活性的抗生素,如利福平和氟喹诺酮类药物^[65-66]。若具有生物膜活性的抗生素治疗有效果时,则建议持续 12 周。若患者出现耐药性或不耐受情况,保留内固定将导致感染难以彻底清除,仅能达到抑菌效果^[71-72]。在此情况下,若选择抑菌治疗,则应持续使用抗生素直到去除内固定后 4~6 周^[63]。如果骨折愈合可能性较小或未出现愈合迹象,抑菌治疗可能不会有效果。

局部抗菌药物是治疗骨折感染的重要辅助手段,尤其适用于骨缺损或“死腔”^[67]。建议在彻底清除感染病灶的基础上使用负载抗生素的载体来增加局部抗生素浓度,进一步杀灭残留菌。目前,临床最常用的载体类型包括聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)和硫酸钙;局部抗生素可选择万古霉素、庆大霉素、妥布霉素及头孢菌素^[64]。每 40 g PMMA 水泥推荐负载 2.4~4.8 g 妥布霉素和 2~4 g 万古霉素,每 5 ml 硫酸钙骨粉负载 0.5 g 的万古霉素和 2 ml 庆大霉素^[17,68]。这些载体也均存在各自的缺陷,如 PMMA 具有良好的机械性能,但无法降解,需要二次手术取出;而硫酸钙虽能降解,但易导致无菌性炎症^[68]。



3.2.4 软组织和骨修复

推荐意见 9:根据软组织缺损的位置和程度,选择合适的肌皮瓣实现软组织覆盖。根据骨缺损程度,选择合适的骨移植手术方式(**推荐强度:强**)。

共纳入文献证据 14 项,其中 I 级证据 5 项^[74-78], II 级证据 5 项^[67-68,79-81], III 级证据 4 项^[73,82-84]。

软组织覆盖对于促进创面愈合有重要作用,当局部软组织受损时,应根据软组织缺损的位置和程度,通过局部或游离肌皮瓣实现覆盖^[1]。肌皮瓣具有消除死腔、提供软组织覆盖、增强宿主防御机制和改善受体部位血管功能等优点。常用的肌皮瓣包括腓肠肌、比目鱼肌和游离肌皮瓣^[77,81]。在选取肌皮瓣时,主要考虑局部肌肉的生物学状态,避免使用受损伤或缺血改变的肌皮瓣。一般在初次清创后 3~7 d 进行软组织覆盖,并根据深层细菌培养结果选用抗生素进行治疗,在皮瓣移植前再次清创,以减少微生物残留^[82-83]。

自体髂嵴骨移植可用于治疗 <6 cm 的骨缺损,包括缺损部位的前、后外侧和开放性骨移植^[78]。一般在软组织包膜愈合、皮瓣活力良好且感染得到控制的条件下,肌肉移植后 6~8 周进行骨移植。对于胫骨前部缺损或不愈合且已进行软组织移植的患者,可以抬高皮瓣并将移植物放置在不愈合或缺损部位^[79]。当骨缺损 >6 cm 时,需要行专门的重建手术,如血管化骨移植、牵引成骨或膜诱导技术^[74,80]。游离血管化腓骨移植物是一种多功能皮瓣,除了骨骼外,还包括肌肉、皮肤和筋膜,非常适用于骨和软组织联合缺损及拒绝使用外固定器的患者^[84]。牵引成骨术有助于重建感染的骨缺损。建议开始搬运时间一般在截骨术后 7 d (3~10 d)。若感染不严重,可在清创后的 I 期截骨。若术中发现感染严重或患者一般状况欠佳,则建议先进行彻底清创和外固定支架固定,再进行 II 期截骨手术。II 期手术时间一般为 I 期术后 4~6 周,注意动态复查患者感染指标^[75,78]。Masquelet 等^[85]提出“诱导膜”概念,通过完全去除失活的组织,再进行适当的软组织重建,并插入 PMMA 垫片以填充现有的骨空隙。PMMA 垫片能诱导成骨膜形成。软组织长出成骨膜后去除垫片,并在保留的膜套管内用骨移植物填充缺损。该技术在治疗骨折术后骨感染或骨缺损方面效果满意,且较牵引成骨技术舒适度更好^[76,86-87]。

3.2.5 肢体功能康复

推荐意见 10:根据感染部位、治疗方式等因素

制订个性化的康复方案,多学科协作模式和负压伤口治疗(NPWT)有助于改善患者预后(**推荐强度:弱**)。

共纳入文献证据 6 项,其中 I 级证据 3 项^[11,42,88], II 级证据 1 项^[89], III 级证据 2 项^[90-91]。

肢体功能康复是决定疗效的关键一环,其目的是通过科学合理的康复措施,减少并发症发生,促进患者肢体功能恢复,提高患者生活质量^[11]。无论采用何种治疗策略,均应重视术后肢体功能的康复。根据患者的感染部位、治疗方式、适应性与依从性等制订个性化、可行的肢体功能康复方案,以降低废用性骨质疏松、关节僵硬、足下垂等并发症的发生率^[42]。个性化康复方案应包括控制感染、术后护理、物理治疗和功能锻炼等。多学科协作模式对患者预后积极影响。一项回顾性研究结果表明,由骨科医师、整形外科医师、放射科医师、微生物学家和传染病专家组成的多学科团队协同制订治疗方案可以降低再次手术的风险、缩短住院时长并降低病死率^[89]。NPWT 对预防闭合性下肢骨折手术部位的感染有着重要作用,尤其是高风险闭合手术,如跟骨和胫骨平台骨折等。多项研究结果表明,NPWT 可以降低闭合性下肢骨折术后伤口感染和延迟愈合的风险,并减少翻修手术的发生^[88,90-91]。

4 总结与说明

成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的诊断和治疗一直是骨科医师关注的热点和难点。本指南针对成人闭合性下肢骨折内固定术后感染的诊断与治疗给出推荐意见,为其规范诊疗提供可靠的临床依据。本指南仅阐述基于高质量研究证据的建议,并非制订医疗实践决定的唯一准则。随着对成人闭合性下肢骨折内固定术后感染研究的深入、手术方式和器械的改进与发展,以及更多高质量临床研究证据的积累,本指南目前的一些观点将不断得到更新。本指南仅作为学术性指导建议,不具备法律效力,不作为医疗纠纷的法规依据;不适用于各种特殊情况,所涉及内容不承担医患双方及任何第三方依据本指南制订及履行诊疗过程中的任何决定所产生的任何损失的赔偿责任。医护人员在使用本指南的同时,还需综合考虑患者病情的个体差异及临床具体情况来进行决策。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 米博斌、曹发奇、胡维宪、周武:指南撰写及修改;侯志勇、余斌、苏佳灿、唐佩福、姜保国、刘国辉:指南立项及审定、经费支持;其他作者:指南讨论及修改



参 考 文 献

- [1] Metsemakers WJ, Kuehl R, Moriarty TF, et al. Infection after fracture fixation: Current surgical and microbiological concepts[J]. *Injury*, 2018, 49(3):511-522. DOI:10.1016/j.injury.2016.09.019.
- [2] Crunkhorn AE, Campbell SM, Lutz LL. Developing a program for advanced physical therapist practice in amputation care[J]. *Mil Med*, 2024, 189(1-2):e176-e181. DOI:10.1093/milmed/usad231.
- [3] Rábago CA, Clouser M, Dearth CL, et al. The extremity trauma and amputation center of excellence: Overview of the research and surveillance division[J]. *Mil Med*, 2016, 181(S4):3-12. DOI: 10.7205/MILMED-D-16-00279.
- [4] Parker B, Petrou S, Masters JPM, et al. Economic outcomes associated with deep surgical site infection in patients with an open fracture of the lower limb[J]. *Bone Joint J*, 2018, 100-B(11): 1506-1510. DOI:10.1302/0301-620X.100B11.BJJ-2018-0308.R1.
- [5] Costa ML, Achten J, Knight R, et al. Negative-pressure wound therapy compared with standard dressings following surgical treatment of major trauma to the lower limb: the whist RCT[J]. *Health Technol Assess*, 2020, 24(38):1-86. DOI:10.3310/hta24380.
- [6] Walter N, Rupp M, Hierl K, et al. Long-term patient-related quality of life after fracture-related infections of the long bones[J]. *Bone Joint Res*, 2021, 10(5):321-327. DOI:10.1302/2046-3758.105.BJR-2020-0532.
- [7] 陈耀龙, 杨克虎, 王小钦, 等. 中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则(2022 版)[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(10):697-703. DOI:10.3760/cma.j.cn112137-20211228-02911.
- [8] Kung J, Miller RR, Mackowiak PA. Failure of clinical practice guidelines to meet institute of medicine standards: Two more decades of little, if any, progress[J]. *Arch Intern Med*, 2012, 172(21): 1628-1633. DOI:10.1001/2013.jamainternmed.56.
- [9] Sinclair D, Isba R, Kredo T, et al. World health organization guideline development: an evaluation[J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e63715. DOI:10.1371/journal.pone.0063715.
- [10] Atkins D, Eccles M, Flottorp S, et al. Systems for grading the quality of evidence and the strength of recommendations I: critical appraisal of existing approaches the grade working group[J]. *BMC Health Serv Res*, 2004, 4(1):38. DOI:10.1186/1472-6963-4-38.
- [11] Jiang N, Wang BW, Chai YM, et al. Chinese expert consensus on diagnosis and treatment of infection after fracture fixation[J]. *Injury*, 2019, 50(11):1952-1958. DOI:10.1016/j.injury.2019.08.002.
- [12] Metsemakers WJ, Moriarty TF, Morgenstern M, et al. The global burden of fracture-related infection: can we do better?[J]. *Lancet Infect Dis*, 2024, 24(6):e386-e393. DOI:10.1016/S1473-3099(23)00503-0.
- [13] Morgenstern M, Kühl R, Eckardt H, et al. Diagnostic challenges and future perspectives in fracture-related infection[J]. *Injury*, 2018, 49 Suppl 1:S83-S90. DOI:10.1016/S0020-1383(18)30310-3.
- [14] Metsemakers WJ, Morgenstern M, McNally MA, et al. Fracture-related infection: A consensus on definition from an international expert group[J]. *Injury*, 2018, 49(3):505-510. DOI:10.1016/j.injury.2017.08.040.
- [15] Trampuz A, Zimmerli W. Diagnosis and treatment of infections associated with fracture-fixation devices[J]. *Injury*, 2006, 37 Suppl 2:S59-S66. DOI:10.1016/j.injury.2006.04.010.
- [16] Lovati AB, Romanò CL, Bottagisio M, et al. Modeling staphylococcus epidermidis-induced non-unions: Subclinical and clinical evidence in rats[J]. *PLoS One*, 2016, 11(1):e0147447. DOI:10.1371/journal.pone.0147447.
- [17] Patzakis MJ, Zalavras CG. Chronic posttraumatic osteomyelitis and infected nonunion of the tibia: current management concepts[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2005, 13(6):417-427. DOI:10.5435/0012-4635-200510000-00006.
- [18] Arshad Z, Lau EJ, Aslam A, et al. Management of chronic osteomyelitis of the femur and tibia: a scoping review[J]. *EFORT Open Rev*, 2021, 6(9):704-715. DOI:10.1302/2058-5241.6.200136.
- [19] Cierny G 3rd, Mader JT, Penninck JJ. A clinical staging system for adult osteomyelitis[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2003, (414): 7-24. DOI:10.1097/01.blo.0000088564.81746.62.
- [20] Hua X, Tao H, Fang W, et al. Single-stage in situ suture repair of multiple-ligament knee injury: a retrospective study of 17 patients (18 knees)[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2016, 17:41. DOI:10.1186/s12891-016-0894-1.
- [21] 李炜, 邱盛强, 罗斌, 等. 四肢骨折内固定术后切口感染病原菌特点及血清炎症因子水平[J]. *中国预防医学杂志*, 2020, 21(11):1226-1230. DOI:10.16506/j.1009-6639.2020.11.014.
- [22] Morgenstern M, Moriarty TF, Kuehl R, et al. International survey among orthopaedic trauma surgeons: Lack of a definition of fracture-related infection[J]. *Injury*, 2018, 49(3):491-496. DOI: 10.1016/j.injury.2018.02.001.
- [23] Wang Z, Zheng C, Wen S, et al. Usefulness of serum D-dimer for preoperative diagnosis of infected nonunion after open reduction and internal fixation[J]. *Infect Drug Resist*, 2019, 12:1827-1831. DOI:10.2147/IDR.S213099.
- [24] Zhao XQ, Wan HY, Qin HJ, et al. Interleukin-6 versus common inflammatory biomarkers for diagnosing fracture-related infection: Utility and potential influencing factors[J]. *J Immunol Res*, 2021, 2021:1461638. DOI:10.1155/2021/1461638.
- [25] 李承威, 武蕾蕾, 王德平, 等. 血清降钙素原、C-反应蛋白及白细胞介素-6 联合检测在全膝关节置换术后感染诊断中的价值[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(10):32-36. DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2019.10.006.
- [26] Jiang N, Qin CH, Hou YL, et al. Serum TNF- α , erythrocyte sedimentation rate and IL-6 are more valuable biomarkers for assisted diagnosis of extremity chronic osteomyelitis[J]. *Biomark Med*, 2017, 11(8):597-605. DOI:10.2217/bmm-2017-0082.
- [27] 朱忠, 唐慧琳, 陈伟富, 等. 血清降钙素原与 C-反应蛋白及白细胞介素-6 的检测对四肢闭合性骨折术后早期感染的诊断价值[J]. *中华医院感染学杂志*, 2016, 26(18):4155-4157. DOI: 10.11816/cn.ni.2016-161643.
- [28] Lee YJ, Sadigh S, Mankad K, et al. The imaging of osteomyelitis[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2016, 6(2):184-198. DOI:10.21037/qims.2016.04.01.
- [29] Pineda C, Espinosa R, Pena A. Radiographic imaging in osteomyelitis: the role of plain radiography, computed tomography, ultrasonography, magnetic resonance imaging, and scintigraphy[J]. *Semin Plast Surg*, 2009, 23(2):80-89. DOI:10.1055/s-0029-1214160.
- [30] 余斌. 骨折内固定术后感染的诊断与治疗[J]. *中华肩肘外科电子杂志*, 2020, 8(2):191. DOI:10.3877/cma.j.issn.2095-5790.2020.02.018.
- [31] 尹亮, 岳建兰, 黄世明, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 对下肢开放骨折术后感染的定位诊断价值及引导作用[J]. *武警医学*, 2021, 32(2):128-131. DOI:10.3969/j.issn.1004-3594.2021.02.010.
- [32] Malandain D, Bémer P, Leroy AG, et al. Assessment of the automated multiplex-PCR unyvero i60 ITI® cartridge system to diagnose prosthetic joint infection: a multicentre study[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2018, 24(1):83.e1-83.e6. DOI:10.1016/j.cmi.2017.05.017.



- [33] Li C, Renz N, Thies CO, et al. Meta-analysis of sonicate fluid in blood culture bottles for diagnosing periprosthetic joint infection[J]. *J Bone Jt Infect*, 2018, 3(5):273-279. DOI:10.7150/jbji.29731.
- [34] Scheer CS, Fuchs C, Gründling M, et al. Impact of antibiotic administration on blood culture positivity at the beginning of sepsis: a prospective clinical cohort study[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2019, 25(3):326-331. DOI:10.1016/j.cmi.2018.05.016.
- [35] Osmon DR, Berbari EF, Berendt AR, et al. Diagnosis and management of prosthetic joint infection: clinical practice guidelines by the infectious diseases society of america[J]. *Clin Infect Dis*, 2013, 56(1):e1-e25. DOI:10.1093/cid/cis803.
- [36] Peng G, Liu Q, Guan Z, et al. Diagnostic accuracy of sonication fluid cultures from prosthetic components in periprosthetic joint infection: an updated diagnostic meta-analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1):175. DOI:10.1186/s13018-023-03662-3.
- [37] Trampuz A, Piper KE, Jacobson MJ, et al. Sonication of removed hip and knee prostheses for diagnosis of infection[J]. *N Engl J Med*, 2007, 357(7):654-663. DOI:10.1056/NEJMoa061588.
- [38] Trenkwalder K, Erichsen S, Weisemann F, et al. The value of sonication in the differential diagnosis of septic and aseptic femoral and tibial shaft nonunion in comparison to conventional tissue culture and histopathology: a prospective multicenter clinical study[J]. *J Orthop Traumatol*, 2023, 24(1):25. DOI:10.1186/s10195-023-00708-4.
- [39] Hoffmann A, Hoffmann J, Ruegamer T, et al. New diagnostic techniques for diagnosing fracture-related infections[J]. *Injury*, 2024, 55 Suppl 6:111898. DOI:10.1016/j.injury.2024.111898.
- [40] Omar M, Suero EM, Liodakis E, et al. Diagnostic performance of swab PCR as an alternative to tissue culture methods for diagnosing infections associated with fracture fixation devices[J]. *Injury*, 2016, 47(7):1421-1426. DOI:10.1016/j.injury.2016.04.038.
- [41] Renz N, Cabric S, Morgenstern C, et al. Value of PCR in sonication fluid for the diagnosis of orthopedic hardware-associated infections: Has the molecular era arrived?[J]. *Injury*, 2018, 49(4):806-811. DOI:10.1016/j.injury.2018.02.018.
- [42] 中华医学会骨科学分会创伤骨科科学组, 中华医学会骨科学分会外固定与肢体重建学组, 中国医师协会创伤外科医师分会创伤感染专业委员会, 等. 中国骨折内固定术后感染诊断与治疗专家共识(2018版)[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2018, 20(11):929-936. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2018.11.002.
- [43] Morgenstern M, Athanasou NA, Ferguson JY, et al. The value of quantitative histology in the diagnosis of fracture-related infection[J]. *Bone Joint J*, 2018, 100-B(7):966-972. DOI:10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2018-0052.R1.
- [44] Gandham S, Refolo M, Fischer B, et al. The management of soft tissue injuries in open tibial fractures: the 'soft tissue tug test'[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2019, 101(5):1-2. DOI:10.1308/rcsann.2019.0051.
- [45] Southam BR, Archdeacon MT. "Iatrogenic" segmental defect: How I debride high-energy open tibial fractures[J]. *J Orthop Trauma*, 2017, 31 Suppl 5:S9-S15. DOI:10.1097/BOT.0000000000000984.
- [46] Dheenadhyalan J, Nagashree V, Devendra A, et al. Management of open fractures: A narrative review[J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2023, 44:102246. DOI:10.1016/j.jcot.2023.102246.
- [47] FLOW Investigators, Bhandari M, Jeray KJ, et al. A trial of wound irrigation in the initial management of open fracture wounds[J]. *N Engl J Med*, 2015, 373(27):2629-2641. DOI:10.1056/NEJMoa1508502.
- [48] Anglen JO. Comparison of soap and antibiotic solutions for irrigation of lower-limb open fracture wounds. A prospective, randomized study[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87(7):1415-1422. DOI:10.2106/JBJS.D.02615.
- [49] Sprague S, Petrisor B, Jeray K, et al. Wound irrigation does not affect health-related quality of life after open fractures: results of a randomized controlled trial[J]. *Bone Joint J*, 2018, 100-B(1):88-94. DOI:10.1302/0301-620X.100B1.BJJ-2017-0955.R1.
- [50] Schottel P. Wound irrigation pressure did not affect reoperation rate after open fracture repair, but normal saline solution was better than castile soap[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98(10):871. DOI:10.2106/JBJS.16.00210.
- [51] Hua H, Zhang L, Guo Z, et al. Antibiotic artificial bone implantation for the treatment of infection after internal fixation of tibial plateau fractures[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1):1142. DOI:10.1186/s12891-022-06112-z.
- [52] Bosse MJ, Murray CK, Carlini AR, et al. Assessment of severe extremity wound bioburden at the time of definitive wound closure or coverage: Correlation with subsequent postclosure deep wound infection (bioburden study)[J]. *J Orthop Trauma*, 2017, 31 Suppl 1:S3-S9. DOI:10.1097/BOT.0000000000000805.
- [53] Metsemakers WJ, Morgenstern M, Senneville E, et al. General treatment principles for fracture-related infection: recommendations from an international expert group[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2020, 140(8):1013-1027. DOI:10.1007/s00402-019-03287-4.
- [54] Draeger RW, Dahners LE. Traumatic wound debridement: a comparison of irrigation methods[J]. *J Orthop Trauma*, 2006, 20(2):83-88. DOI:10.1097/01.bot.0000197700.19826.db.
- [55] Rodham P, Panteli M, Qin C, et al. Long-term outcomes of lower limb post-traumatic osteomyelitis[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2023, 49(1):539-549. DOI:10.1007/s00068-022-02104-9.
- [56] Jiang N, Zhao XQ, Wang L, et al. Single-stage debridement with implantation of antibiotic-loaded calcium sulphate in 34 cases of localized calcaneal osteomyelitis[J]. *Acta Orthop*, 2020, 91(3):353-359. DOI:10.1080/17453674.2020.1745423.
- [57] Wu H, Shen J, Yu X, et al. Two stage management of Cierny-Mader type IV chronic osteomyelitis of the long bones[J]. *Injury*, 2017, 48(2):511-518. DOI:10.1016/j.injury.2017.01.007.
- [58] Mouzopoulos G, Kanakaris NK, Kontakis G, et al. Management of bone infections in adults: the surgeon's and microbiologist's perspectives[J]. *Injury*, 2011, 42 Suppl 5:S18-S23. DOI:10.1016/S0020-1383(11)70128-0.
- [59] Schmidt AH, Swiontkowski MF. Pathophysiology of infections after internal fixation of fractures[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2000, 8(5):285-291. DOI:10.5435/00124635-200009000-00002.
- [60] Bonneville P. Operative treatment of early infection after internal fixation of limb fractures (exclusive of severe open fractures)[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2017, 103(1S):S67-S73. DOI:10.1016/j.jotsr.2016.06.019.
- [61] Wildemann B, Ignatius A, Leung F, et al. Non-union bone fractures[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2021, 7(1):57. DOI:10.1038/s41572-021-00289-8.
- [62] Morgenstern M, Kuehl R, Zalavras CG, et al. The influence of duration of infection on outcome of debridement and implant retention in fracture-related infection[J]. *Bone Joint J*, 2021, 103-B(2):213-221. DOI:10.1302/0301-620X.103B2.BJJ-2020-1010.R1.
- [63] Zimmerli W, Sendi P. Orthopaedic biofilm infections[J]. *APMIS*,



- 2017, 125(4):353-364. DOI:10.1111/apm.12687.
- [64] ter Boo GJ, Grijpma DW, Moriarty TF, et al. Antimicrobial delivery systems for local infection prophylaxis in orthopedic-and trauma surgery[J]. *Biomaterials*, 2015, 52:113-125. DOI:10.1016/j.biomaterials. 2015.02.020.
- [65] Widmer AF, Gaechter A, Ochsner PE, et al. Antimicrobial treatment of orthopedic implant-related infections with rifampin combinations[J]. *Clin Infect Dis*, 1992, 14(6):1251-1253. DOI: 10.1093/clinids/14.6.1251.
- [66] Aboltins CA, Dowsey MM, Buising KL, et al. Gram-negative prosthetic joint infection treated with debridement, prosthesis retention and antibiotic regimens including a fluoroquinolone[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2011, 17(6):862-867. DOI:10.1111/j.1469-0691.2010.03361.x.
- [67] Ferguson JY, Dudareva M, Riley ND, et al. The use of a biodegradable antibiotic-loaded calcium sulphate carrier containing tobramycin for the treatment of chronic osteomyelitis: a series of 195 cases[J]. *Bone Joint J*, 2014, 96-B(6):829-836. DOI:10.1302/0301-620X.96B6.32756.
- [68] Hua H, Zhang L, Guo Z, et al. Antibiotic artificial bone implantation and external fixation for the treatment of infection after intramedullary nail fixation: a retrospective study of 33 cases[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1):209. DOI:10.1186/s12891-022-05161-8.
- [69] Depypere M, Morgenstern M, Kuehl R, et al. Pathogenesis and management of fracture-related infection[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2020, 26(5):572-578. DOI:10.1016/j.cmi.2019.08.006.
- [70] Clausen JD, Mommsen P, Omar Pacha T, et al. Management of fracture-related infections[J]. *Unfallchirurg*, 2022, 125(1):41-49. DOI:10.1007/s00113-021-01116-1.
- [71] Berbari EF, Kanj SS, Kowalski TJ, et al. 2015 infectious diseases society of america (IDSA) clinical practice guidelines for the diagnosis and treatment of native vertebral osteomyelitis in adults[J]. *Clin Infect Dis*, 2015, 61(6):e26-e46. DOI:10.1093/cid/civ482.
- [72] Metsemakers WJ, Fragomen AT, Moriarty TF, et al. Evidence-based recommendations for local antimicrobial strategies and dead space management in fracture-related infection[J]. *J Orthop Trauma*, 2020, 34(1):18-29. DOI:10.1097/BOT.0000000000001615.
- [73] Depypere M, Kuehl R, Metsemakers WJ, et al. Recommendations for systemic antimicrobial therapy in fracture-related infection: A consensus from an international expert group[J]. *J Orthop Trauma*, 2020, 34(1):30-41. DOI:10.1097/BOT.0000000000001626.
- [74] Marsh JL, Prokuski L, Biermann JS. Chronic infected tibial nonunions with bone loss. Conventional techniques versus bone transport[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1994, (301):139-146.
- [75] Cierny G 3rd, Zorn KE. Segmental tibial defects. Comparing conventional and ilizarov methodologies[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1994, (301):118-123.
- [76] Zhou M, Ma Y, Jia X, et al. Comparison of free vascularized fibular grafts and the masquelet technique for the treatment of segmental bone defects with open forearm fractures: a retrospective cohort study[J]. *J Orthop Traumatol*, 2024, 25(1):44. DOI:10.1186/s10195-024-00787-x.
- [77] Gayle LB, Lineaweaver WC, Oliva A, et al. Treatment of chronic osteomyelitis of the lower extremities with debridement and microvascular muscle transfer[J]. *Clin Plast Surg*, 1992, 19(4):895-903.
- [78] Christian EP, Bosse MJ, Robb G. Reconstruction of large diaphyseal defects, without free fibular transfer, in Grade-IIIB tibial fractures[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1989, 71(7):994-1004.
- [79] Ray PS, Simonis RB. Management of acute and chronic osteomyelitis[J]. *Hosp Med*, 2002, 63(7):401-407. DOI:10.12968/hosp.2002.63.7.1983.
- [80] Malizos KN, Zalavras CG, Soucacos PN, et al. Free vascularized fibular grafts for reconstruction of skeletal defects[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2004, 12(5):360-369. DOI:10.5435/00124635-200409000-00010.
- [81] Patzakis MJ, Abdollahi K, Sherman R, et al. Treatment of chronic osteomyelitis with muscle flaps[J]. *Orthop Clin North Am*, 1993, 24(3):505-509.
- [82] Weiland AJ, Moore JR, Daniel RK. The efficacy of free tissue transfer in the treatment of osteomyelitis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1984, 66(2):181-193.
- [83] Gordon L, Chiu EJ. Treatment of infected non-unions and segmental defects of the tibia with staged microvascular muscle transplantation and bone-grafting[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1988, 70(3):377-386.
- [84] Paley D, Maar DC. Ilizarov bone transport treatment for tibial defects[J]. *J Orthop Trauma*, 2000, 14(2):76-85. DOI:10.1097/0005131-200002000-00002.
- [85] Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, et al. Reconstruction of the long bones by the induced membrane and spongy autograft[J]. *Ann Chir Plast Esthet*, 2000, 45(3):346-353.
- [86] Kang Y, Wu Y, Ma Y, et al. "Primary free-flap tibial open fracture reconstruction with the masquelet technique" and internal fixation[J]. *Injury*, 2020, 51(12):2970-2974. DOI:10.1016/j.injury.2020.10.039.
- [87] Azi ML, Teixeira AA, Cotias RB, et al. Membrane induced osteogenesis in the management of posttraumatic bone defects[J]. *J Orthop Trauma*, 2016, 30(10):545-550. DOI:10.1097/BOT.0000000000000614.
- [88] Liu X, Zhang H, Cen S, et al. Negative pressure wound therapy versus conventional wound dressings in treatment of open fractures: A systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Surg*, 2018, 53:72-79. DOI:10.1016/j.ijsu.2018.02.064.
- [89] Ferguson J, Alexander M, Bruce S, et al. A retrospective cohort study comparing clinical outcomes and healthcare resource utilisation in patients undergoing surgery for osteomyelitis in england: a case for reorganising orthopaedic infection services[J]. *J Bone Jt Infect*, 2021, 6(5):151-163. DOI:10.5194/jbji-6-151-2021.
- [90] Crist BD, Oladeji LO, Khazzam M, et al. Role of acute negative pressure wound therapy over primarily closed surgical incisions in acetabular fracture orif: A prospective randomized trial[J]. *Injury*, 2017, 48(7):1518-1521. DOI:10.1016/j.injury.2017.04.055.
- [91] Brem MH, Bail HJ, Biber R. Value of incisional negative pressure wound therapy in orthopaedic surgery[J]. *Int Wound J*, 2014, 11(Suppl 1(Suppl 1):3-5. DOI:10.1111/iwj.12252.

(收稿日期:2024-12-26)

本文引用格式

米博斌, 曹发奇, 胡维宪, 等. 成人闭合性下肢骨折内固定术后感染诊疗指南(2025版)[J]. 中华创伤杂志, 2025, 41(5): 421-432. DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20241226-00725.

