

严重开放性胫腓骨骨折诊断及早期固定循证指南(2025版)

芮永军¹ 徐永清² 朱庆棠³ 王欣⁴ 谢肇⁵ 陈山林⁶ 糜菁熠¹ 郑宪友⁷ 唐举玉⁸
丁小珩⁹ 喻爱喜¹⁰ 宋涛¹¹ 侯建奎¹² 戚剑³ 范新宇² 费军¹³ 郭林⁵ 韩兴文¹⁴
李伟桐¹⁵ 王爱国¹⁶ 谢昀¹⁷ 邢涛¹⁸ 李萌¹⁹ 禹宝庆²⁰ 庄岩¹¹ 何晓清² 孙涛²¹
栗鹏程⁶ 巨积辉²² 周洪翔²³ 任海东²⁴ 赵广跃²⁵ 艾合买提江·玉素甫²⁶ 赵刚¹
吴永伟¹ 刘军¹ 马运宏¹ 王亚朋¹

中华医学会显微外科学分会

¹无锡市第九人民医院, 无锡 214000; ²中国人民解放军联勤保障部队第九二〇医院, 昆明 650032; ³中山大学附属第一医院, 广州 510120; ⁴宁波市第六医院, 宁波 315040; ⁵陆军军医大学第一附属医院, 重庆 400038; ⁶首都医科大学附属北京积水潭医院, 北京 100035; ⁷上海交通大学医学院附属第六人民医院, 上海 200233; ⁸中南大学湘雅医院, 长沙 410008; ⁹青岛大学附属医院, 青岛 266003; ¹⁰武汉大学中南医院, 武汉 430000; ¹¹西安交通大学附属红会医院, 西安 710054; ¹²郑州仁济医院, 郑州 450000; ¹³陆军军医大学陆军特色医学中心, 重庆 400042; ¹⁴兰州大学第一医院, 兰州 730000; ¹⁵浙江大学医学院附属第二医院, 杭州 310009; ¹⁶郑州市骨科医院, 郑州 450052; ¹⁷福建医科大学附属第一医院, 福州 350005; ¹⁸甘肃省中医药研究院, 兰州 730050; ¹⁹西安交通大学第一附属医院, 西安 710061; ²⁰上海中医药大学附属第七人民医院, 上海 200137; ²¹烟台市烟台山医院, 烟台 264003; ²²苏州瑞华骨科医院, 苏州 215100; ²³安徽医科大学附属第一医院, 合肥 230002; ²⁴徐州仁慈医院, 徐州 221004; ²⁵西安市人民医院, 西安 710004; ²⁶新疆医科大学第一附属医院, 乌鲁木齐 830001
通信作者: 芮永军, Email: wxswkyryj@163.com; 徐永清, Email: kzkgyhy@126.com

【摘要】 严重开放性胫腓骨骨折发生率约占所有开放骨折的28.1%,其中Gustilo-Anderson III B/C型因存在骨与软组织缺损、高感染率及截肢风险,临床处理极具挑战性。术前评估不全面可能导致早期手术方案设计缺陷或术中意外。既往多采用外固定支架固定治疗此类骨折,但存在关节活动受限、骨愈合延迟、关节僵硬、废用性骨萎缩等缺陷,导致患者功能恢复较差。随着清创技术的改进、抗生素规范使用和创面早期覆盖理念的普及,早期内固定理念得以广泛接受,但骨折固定方式、确定性固定时机、髓内钉是否扩髓和是否需要腓骨固定等问题仍存在争议。为规范严重开放性胫腓骨骨折的诊断及早期固定方式、降低并发症发生率、促进患者功能恢复,由中华医学会显微外科学分会牵头组织国内相关领域专家,依据循证医学方法,制订《严重开放性胫腓骨骨折诊断及早期固定循证指南(2025版)》,针对严重开放性胫腓骨骨折的诊断和早期固定提出12条推荐意见,为临床医师提供科学、规范的指导。

【关键词】 胫骨骨折;腓骨;感染;骨折固定术;外科皮瓣

【中图分类号】 R639;R641;R683.4

基金项目: 无锡市“太湖人才”顶尖医学专家团队项目(TTPJY202112);无锡市卫健委重大项目(Z202401);无锡市“双百”中青年医疗卫生拔尖人才项目(HB2023126)

国际实践指南注册与透明化平台: PREPARE-2025CN424

DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20250812-00440

Evidence-based guideline for diagnosis and early fixation of severe open tibiofibular fractures (version 2025)

Rui Yongjun¹, Xu Yongqing², Zhu Qingtang³, Wang Xin⁴, Xie Zhao⁵, Chen Shanlin⁶, Mi Jingyi¹, Zheng Xianyou⁷, Tang Juyi⁸, Ding Xiaoheng⁹, Yu Aixi¹⁰, Song Tao¹¹, Hou Jianxi¹², Qi Jian³, Fan Xinyu², Fei Jun¹³, Guo Lin⁵,



Han Xingwen¹⁴, Li Weixu¹⁵, Wang Aiguo¹⁶, Xie Yun¹⁷, Xing Tao¹⁸, Li Meng¹⁹, Yu Baoqing²⁰, Zhuang Yan¹¹, He Xiaoqing², Sun Tao²¹, Li Pengcheng⁶, Ju Jihui²², Zhou Hongxiang²³, Ren Haidong²⁴, Zhao Guangyue²⁵, Aihemaitijiang·Yusufu²⁶, Zhao Gang¹, Wu Yongwei¹, Liu Jun¹, Ma Yunhong¹, Wang Yapeng¹

Society of Microsurgery of the Chinese Medical Association

¹Ninth People's Hospital of Wuxi, Wuxi 214000, China; ²920th Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Kunming 650032, China; ³First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510120, China; ⁴Ningbo No. 6 Hospital, Ningbo 315040, China; ⁵First Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China; ⁶Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035, China; ⁷Sixth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200233, China; ⁸Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China; ⁹Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, China; ¹⁰Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430000, China; ¹¹Honghui Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China; ¹²Zhengzhou Renji Hospital, Zhengzhou 450000; ¹³Army Medical Center, Army Medical University, Chongqing 400042, China; ¹⁴First Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; ¹⁵Second Affiliated Hospital of Zhejiang University, School of Medicine, Hangzhou 310009, China; ¹⁶Zhengzhou Orthopedic Hospital, Zhengzhou 450052, China; ¹⁷First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fuzhou 350005, China; ¹⁸Gansu Provincial Institute of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730050, China; ¹⁹First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China; ²⁰Seventh People's Hospital of Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200137, China; ²¹Yantai Mountain Hospital, Yantai 264003, China; ²²Suzhou Ruihua Orthopedic Hospital, Suzhou 215100, China; ²³First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230002, China; ²⁴Xuzhou Mercy Hospital, Xuzhou 221004, China; ²⁵Xi'an People's Hospital, Xi'an 710004, China; ²⁶First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830001, China

Corresponding authors: Rui Yongjun, Email: wxswkyryj@163.com; Xu Yongqing, Email: kzgkyyhy@126.com

【Abstract】 Severe open tibiofibular fractures account for approximately 28.1% of all open fractures. Among them, Gustilo-Anderson type IIIB/C fractures present significant clinical challenges due to associated bone and soft tissue defects, high infection rates, and risk of amputation. Inadequate preoperative assessment may lead to suboptimal emergency surgical planning or intraoperative complications. Historically, external fixation was often preferred, but this approach has been associated with limitations such as restricted joint mobility, delayed bone union, joint stiffness, and disuse osteoporosis, resulting in poor functional recovery. With advancements of debridement techniques, standardization of antibiotic use, and popularization of early soft tissue coverage, early internal fixation has gained broader acceptance. Nevertheless, controversies persist regarding the choice of fixation method, timing of definitive fixation, use of reamed versus unreamed intramedullary nailing, and necessity of fibular fixation. To standardize the diagnosis and early management of severe open tibiofibular fractures, reduce complication rates, and improve functional recovery, the Society of Microsurgery of the Chinese Medical Association organized a panel of domestic experts to develop the *Evidence-based guideline for the diagnosis and early fixation of severe open tibiofibular fractures (version 2025)*, using evidence-based methodology. The guidelines provided 12 recommendations covering diagnostic and early fixation strategies of severe open tibiofibular fractures, aiming to provide clinicians with scientifically grounded and standardized guidance.

【Key words】 Tibial fractures; Fibula; Infection; Fracture fixation; Surgical flaps

Fund programs: Wuxi "Taihu Talents" Program Grant for Top Medical Expert Teams (TTPJY202112); Wuxi Municipal Health Commission Major Project (Z202401); Wuxi "Double Hundred" Award for Outstanding Young and Middle-aged Medical Talents (HB2023126)

Practice guideline registration for transparency: PREPARE-2025CN424

DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20250812-00440

开放性胫腓骨骨折是一种常见的严重创伤,发生率约占所有开放骨折的 28.1%^[1]。Gustilo-Anderson 分型系统是开放性骨折的主要分型方法,分为 I、II、III 型,其中 III 型又分为 A、B、C 3 个亚型。特别是 III B/C 型,涉及广泛的骨与软组织损伤,感染风险高、截肢率高、治疗复杂,一直是临床治疗的难点^[2-3]。术前评估不全面可能导致急诊手术方案设计缺陷或术中意外。治疗开放性骨折的主要目标是修复骨

损伤并行有效的软组织重建。以往处理通常依赖于清创和长期的外固定以避免内固定导致的感染等风险。早期未能稳定固定骨折,将可能导致一系列严重的临床问题。首先,长期的外固定强度不足、无法行早期功能锻炼,导致骨折愈合时长延长,且存在废用性骨萎缩风险^[4]。外固定支架长期使用导致针道感染率高达 34.5%,感染后二次手术翻修率增加至 41.2%^[5-6]。其次,延迟固定可能造成骨折端畸形



愈合、关节僵硬,影响患者预后和功能恢复,同时还延长整体的治疗周期,增加患者的心理和经济负担^[7]。此外,由于软组织的瘢痕化,延迟固定显著增加后续修复的难度和术中血管神经损伤的发生风险^[8]。

严重开放性胫腓骨骨折的传统治疗模式存在学科局限性。既往单纯骨科主导的治疗方案过度关注骨折复位与固定,忽视了软组织缺损与骨固定的协同修复。骨科医师在处理 Gustilo-Anderson III 型骨折时,仅 12.7% 的患者能在早期阶段完成有效软组织覆盖,导致患者因延期覆盖出现深部感染^[9]。现代治疗理念强调多学科协作(骨科与整形外科/修复重建外科联合诊疗的“骨整形”理念),通过早期内固定及创面覆盖可降低感染率、促进骨愈合,并为早期功能锻炼创造条件^[10]。然而,骨折固定方式、确定性固定时机、使用髓内钉时是否扩髓、是否需要固定腓骨等诸多问题尚存在争议。为规范严重开放性胫腓骨骨折的诊断及早期固定方式、降低并发症发生率、促进功能恢复,由中华医学会显微外科学分会牵头组织国内相关领域专家,依据循证医学方法制订《严重开放性胫腓骨骨折诊断及早期固定循证指南(2025 版)》(以下简称“本指南”),针对严重开放性胫腓骨骨折的诊断和早期固定提出 12 条推荐意见,为临床医师提供科学、规范的指导,以提高临床诊疗水平、改善患者预后。

1 指南制订流程

1.1 指南发起单位

本指南由中华医学会显微外科学分会提出申请,出于规范严重开放性胫腓骨骨折诊断及早期固定方式的目的,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)》^[11]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^[12]。

1.2 组建指南工作组

指南工作组于 2024 年 1 月成立,并依次建立指导委员会、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 15 名创伤骨科及显微外科领域专家组成。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,组建专家组。其成员共 38 名,主要由创伤骨科及显微外科领域的专家组成,均为全国各省、直辖市、自治区相关领域的一线专家,涉及单位覆盖全国 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 名长期从事创伤骨科和显微外科的医师组成。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 7 名从事创伤骨科及 7 名从事显微外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及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-2025CN424。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“太湖人才”顶尖医学专家团队项目经费开展,经费主要用于专家咨询及会议召开。

1.5 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严重开放性胫腓骨骨折诊断及早期固定相关的问题,然后通过筛选分析初步拟定 12 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。

1.6 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,经各小组讨论后审定。以“open [TIAB] and tibia [TIAB] and fixation [TIAB]” or “open [TIAB] and fibula [TIAB] and fixation [TIAB]” or “open [TIAB] tibia and fibula [TIAB] and fixation [TIAB]” 和“开放[TIAB]和胫骨[TIAB]和固定[TIAB]”或“开放[TIAB]和腓骨[TIAB]和固定[TIAB]”或“开放[TIAB]和胫腓骨[TIAB]和固定[TIAB]”等检索式,检索 PubMed、Embase、Web of Science、Cochrane Library、Clinical Evidence、万方数据知识服务平台及中国知网数据库。检索时限为建库至 2025 年 9 月 1 日,优先检索近 5 年的文献。文献纳入标准:(1)严重开放性胫腓骨骨折诊断及治疗相关的系统评价、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)严重开放性胫腓骨骨折诊断及治疗相关的临床指南、专家共识、综述等。文献排除标准:(1)儿科、病理性骨折,严重免疫抑制等疾病;(2)无法获得全文;(3)研究内容重复。共检索英文文献 986 篇,中文文献 347 篇。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,最终引用文献 119 篇,其中英文 106 篇,中文 13 篇。

1.7 文献等级评定标准与推荐强度

采用证据推荐分级的评估、制订与评价(GRADE)系统^[13-14]对证据等级与推荐强度进行划分(表 1、2)。编写组专家对检索的文献进行认真筛选,详细学习和解读纳入的文献,制订证据表格,并记录每篇文献的主要信息。当对同一篇文献的理解存在分歧时,则扩大范围进行讨论,直至认可的专家比例达到 80% 以上。

表 1 GRADE 证据质量分级

分级	研究类型	具体描述
高(A)	RCT,质量升高二级的观察性研究	非常有把握观察值接近真实值
中(B)	质量降低一级的 RCT,质量升高一级的观察性研究	对观察值有中等把握:观察值有可能接近真实值,但也有可能差别很大
低(C)	质量降低二级的 RCT,观察性研究	对观察值的把握有限:观察值可能与真实值有很大差别
极低(D)	质量降低三级的 RCT,质量降低一级的观察性研究,系列病例观察,个案报道	对观察值几乎没有把握:观察值与真实值可能有极大差别

注:GRADE 为证据推荐分级的评估、制订及评价,RCT 为随机对照试验

表 2 GRADE 推荐强度分级

推荐强度	说明
强	明确显示干预措施利大于弊
弱	利弊不确定或干预措施可能利大于弊
GPS	基于非直接证据或专家意见、经验形成的推荐

注:GRADE 为证据推荐分级的评估、制订及评价,GPS 为良好实践主张

1.8 推荐意见形成

秘书组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。由指南专家组在综合证据质量、利弊权衡、干预成本及适用环境等多方面因素基础上对推荐意见进行投票,参照 GRADE 网格形成共识,并给出相应推荐意见强度:强推荐、弱推荐或良好实践主张(GPS)。当专家组对推荐意见分歧较大时,根据实际情况确定推荐强度产生方法。第一,推荐或反对某一干预措施至少需要 50% 的专家认可,<20% 的则选择替代措施,未满足此项标准将不产生推荐意见。第二,一条推荐意见被列为强推荐而非弱推荐,则需要得到至少 70% 的专家认可,最后达成的共识交由指南指导委员会评审。经过 2 轮讨论会、1 轮德尔菲法共识会及 1 轮终审会后,最终确定 12 条推荐意见。

1.9 推荐意见的外审及批准

在完成最终版的指南草案后,进行外审专家组的同行评审。通过整体梳理外审专家组的评审意见,对存在争议或证据等级不足的推荐意见进行补充论证与针对性修订,并提交指导委员会进行科学性和适用性评估,经指导委员会最终审核并批准后予以正式发布

1.10 指南的发布、更新及修订

按照卫生实践指南报告标准(RIGHT)^[15]要求完成指南的撰写及发布工作,汇报指南的制订流程与具体内容。指南的中文全文发表在《中华创伤杂志》上,并计划在 3~5 年内根据临床问题的增补情况和检索证据更新情况,适时对本指南的推荐意见进行补充和更新。

1.11 指南推广

本指南发布后,将依托中华医学会显微外科学分会、医学平台发布指南全文、结构化解读;联合医院信息部门,推动指南融入医疗服务全流程;主动对接区域医疗质量管理规范,扩大指南应用覆盖面;建立推广效果监测机制,收集临床应用的痛点与建议,形成指南迭代的良性循环。

2 严重开放性胫腓骨骨折的定义和分类

严重开放性胫腓骨骨折是指因高能量创伤引起的胫腓骨骨折,且伴皮肤广泛撕裂,骨折端与外界相连。这类骨折通常涉及至少 3 种或以上的组织损伤,包括骨骼、肌肉/肌腱、血管和神经等^[16]。根据 Gustilo-Anderson 分类,严重开放性胫腓骨骨折通常被归为 III B 和 III C 型,III B 型伴有广泛的骨与软组织损伤,常需要行皮瓣覆盖创面;III C 型为合并需要修复主要动脉肢体才能成活的损伤^[16],包括肢体的不全离断(定义为肢体断面存在骨折或脱位,残留的相连软组织量少于断面总量的 1/4)。本指南限定 Gustilo-Anderson III B 和 III C 型为严重开放性胫腓骨骨折。

3 严重开放性胫腓骨骨折诊断的推荐意见

严重开放性胫腓骨骨折的诊断直接影响早期固定方法的选择,准确诊断能够帮助确定损伤严重程度、合并伤情况及软组织状态,为治疗决策提供指导。主要包括病史采集、体检及影像学检查。

3.1 病史采集及体检

推荐意见 1: 深入了解外伤史和系统体检是诊断的关键步骤。重点关注致伤机制、受伤时间、环境暴露及其对感染风险的影响,并行伤口评估、神经血管检查、肢体血供及筋膜室评估及上下邻近关节损伤检查(**推荐强度:强**)。

共纳入文献证据 9 项,其中 1 项 A 级证据^[17], 2 项 B 级证据^[16,18], 6 项 C 级别证据^[19-24]。

对于严重开放性胫腓骨骨折,全面了解外伤史和系统体检是诊断与制订治疗策略的首要环节。外伤史需重点关注以下内容:(1)致伤原因(高能量创伤如交通伤、高处坠落伤或挤压伤),这类损伤常伴有广泛软组织破坏和多段胫腓骨骨折^[16]。(2)受伤时间与环境暴露(如农田、水域或战场污染)直接影响清创和感染严重程度^[17]。农田与水域污染显著改变开放性骨折的细菌谱,增加耐药革兰阴性菌、厌氧菌及环境特异性细菌(如弧菌、海洋螺菌)的感染风险^[18]。体检需按以下步骤系统执行:(1)伤口评估。评估创面大小、探查污染深度(如土壤、金属异物或弹片残留)及软组织缺损波及;III B 型为广泛的软组织缺损伴骨膜剥离和骨外露,通常需要行皮瓣覆盖^[19-21]。(2)神经血管检查。触诊足背动脉、胫后动脉搏动,排除急性血管损伤^[22-23];III C 型为合并需要修复主要动脉肢体才能成活的损伤,无论软组

织损伤程度如何^[15];同时测试足部感觉和运动功能,避免因疼痛导致的功能障碍而漏诊神经损伤情况^[23]。(3)肢体血供及筋膜室评估。观察皮肤颜色、温度及毛细血管再充盈时长,警惕骨筋膜间隔综合征早期症状(表现为足趾被动牵拉痛、感觉减退或肢体张力性水泡)。(4)上下邻近关节损伤检查。排查同侧膝关节韧带损伤或踝关节脱位,避免漏诊。

3.2 影像学检查

推荐意见 2: X 线、CT 及血管影像学检查可详细评估骨关节与血管的损伤程度,为制订急救手术方案提供依据(**推荐强度:GPS**)。

共纳入文献证据 9 项,其中 5 项 B 级证据^[24-28], 3 项 C 级证据^[29-31], 1 项 D 级证据^[32]。

影像学评估在严重开放性胫腓骨骨折的诊断和治疗中起着至关重要的作用。骨关节影像学检查主要包括骨折部位及上、下邻近关节的 X 线片,以便全面了解骨折情况。对于关节内及关节周围骨折,必要时术前可行 CT 检查,以更清晰显示骨折线走行、关节面损伤情况,以及是否存在骨块移位缺失等,为急诊手术方案的制订提供重要依据^[29]。血管影像学检查可以明确是否存在肢体动脉(腘动脉、胫前动脉、胫后动脉)损伤,从而及时行血管重建或修复,避免肢体缺血导致的严重后果。膝周动脉网的存在为下肢远端提供了一定的侧支循环,即使肢体远端有血供仍不能排除腘动脉损伤^[24]。对于怀疑有肢体动脉损伤的患者,在生命体征平稳的情况下,立即行 CT 血管造影(CTA)或数字减影血管造影(DSA)检查。CTA 可快速评估血管损伤,提供三维血管重建信息,并同时观察骨结构及血管的解剖关系,其优势在于非侵入性、检查时长短,且能清晰显示下肢血管的形态学异常,已成为严重开放性胫腓骨骨折急诊血管评估的首选工具^[25]。DSA 通过导管介入技术直接注射造影剂,实时动态观察血流情况,并可在检查过程中直接行血管介入治疗(如取栓、栓塞或血管内支架成形术等)^[30-31]。在无法立即行 CTA 或 DSA 检查时,彩色多普勒超声可快速筛查血管损伤,尤其适用于血流动力学不稳定的患者^[26]。多普勒超声可快速检测血流情况,判断动脉是否受损,较传统的触诊或踝肱指数(ABI)更直接,尤其当存在休克或低血压时^[27]。此外,开放性骨折因制动和血管损伤,其深静脉血栓形成(DVT)风险高,超声可作为术前筛查手段,规避深静脉血栓脱落导致的肺动脉栓塞风险^[28]。行超声检查时,应将开放性伤

口区域与其他体表区域分开检查, 优先检查非污染部位, 减少探头接触污染源的机会^[32]。值得注意的是, 在行影像学检查时, 应避免因检查而延误抢救生命或肢体缺血的处理。

4 严重开放性胫腓骨骨折早期固定的推荐意见

严重开放性胫腓骨骨折早期固定的核心优势在于: 通过组合式外固定支架或有限内固定实现骨折的临时稳定, 避免长期外固定导致的针道感染、关节僵硬及生物力学缺陷; 结合彻底清创、抗生素骨水泥局部应用与早期(伤后 7 d 内)创面覆盖^[33], 形成“三位一体”的感染防控体系, 显著降低深部感染风险; 并通过早期更换为确定性内固定(如髓内钉或钢板)配合非扩髓技术及必要的腓骨固定, 恢复下肢力线、促进骨愈合, 为早期功能锻炼创造条件, 最终改善患者预后。实现“早期固定”的前提是完成“创面早期覆盖”。“早期”的时间限定通常为伤后 7 d 内, 可参照《严重肢体创伤创面早期修复专家共识》^[33]。

4.1 急诊固定

4.1.1 组合式外固定支架临时固定

推荐意见 3: 急诊优先使用组合式外固定支架行骨骼临时固定, 并在远离损伤区置钉(**推荐强度: 强**)。

共纳入文献证据 9 项, 其中 1 项 A 级证据^[17], 3 项 B 级别证据^[34-36], 4 项 C 级证据^[4, 6, 37-38], 1 项 D 级证据^[39]。

对于严重开放性胫腓骨骨折, 建议急诊采用组合式外固定支架行骨骼临时固定^[4, 34]。组合式外固定支架因操作简便、快速、安全性高及出血量少的特点, 在处理需损伤控制的严重开放性胫腓骨骨折中显示出其优势^[35]。此外, 组合式外固定支架不仅有助于软组织的恢复, 还能有效减轻软组织张力, 便于肢体消肿, 特别是在多次连续清创过程中, 能够维持肢体的稳定性, 为软组织的修复和肢体功能的恢复创造有利条件。这种固定方式通过多平面螺钉布局提供三维力学稳定性, 既能实现骨折断端的轴向牵引复位, 又能有效控制旋转畸形^[39]。临床研究结果表明, 组合式外固定支架作为临时固定装置可使创面感染率降至 12.5%~18.7%, 为后期确定性治疗(如髓内钉或钢板转换)提供理想的过渡方案^[6, 36]。跨关节固定策略通过稳定骨折部位, 减少关节面继发性塌陷风险和软组织损伤, 同时在膝

关节脱位伴腓血管损伤的情况下, 维持关节复位和轴向稳定性, 减少对腓动脉的压迫或牵拉, 从而为软组织和血管的修复创造有利条件^[37]。建议采用“远离损伤区”的置针原则, 将钢针置于健康皮肤区域^[37]。对于合并血管损伤需行皮瓣修复的患者, 组合式框架的模块化设计便于术中调整, 不影响显微外科操作空间^[17, 38]。

4.1.2 胫骨有限内固定

推荐意见 4: 对于胫骨关节内或干骺端骨折, 在优先实施彻底清创确保组织覆盖及感染控制后, 可急诊采用有限内固定(**推荐强度: 强**)。

共纳入文献证据 5 项, 其中 1 项 A 级证据^[40], 2 项 C 级别证据^[41-42], 2 项 D 级证据^[43-44]。

严重开放性胫腓骨骨折常合并休克、凝血功能障碍等危及生命的情况, 应遵循损伤控制原则, 避免在急诊阶段施行复杂的确定性内固定手术^[41]。有限内固定为实现快速关节解剖复位和骨结构稳定提供了最佳策略。有限内固定的应用建立在两个关键前提基础上: (1) 必须实施严格的清创术, 清除所有污染及失活组织; (2) 需确保为内固定提供良好的组织覆盖^[40]。软组织覆盖是建立微生物学屏障的重要手段, 可有效隔离骨折部位、防止细菌侵入、降低感染风险。对于累及关节面的骨折或干骺端粉碎性骨折, 在复位后可使用解剖型锁定钢板结合拉力螺钉或克氏针固定^[43-44]。干骺端骨折使用预塑型锁定钢板可提供多平面稳定性, 其弹性模量设计可减少应力遮挡, 同时允许早期关节活动。对于关节内骨折块, 空心螺钉或克氏针结合支撑钢板能够实现软骨下骨的有效支撑。对于软组织损伤严重、无法立即行皮瓣移植覆盖创面的患者, 急诊处理时可采用抗生素被覆骨水泥钢板行临时固定。这种钢板表面覆盖抗生素骨水泥, 可有效防止细菌黏附、降低感染风险。同时, 使用负压封闭引流(VSD)技术临时覆盖创面, 可有效引流创面渗液、促进创面愈合, 为后续皮瓣移植创造条件^[42]。在完成急诊处理后, 需尽量在伤后 7 d 内行创面覆盖。创面覆盖可选择局部转移皮瓣、游离皮瓣或交腿皮瓣, 具体方案需要根据患者伤情进行个体化选择。通过这种急诊处理方式, 可有效预防感染、缩短手术操作时长, 并为患者后期功能恢复奠定基础。抗生素被覆骨水泥钢板较外固定支架更加稳定, 有助于关节功能锻炼; 相比外固定支架, 内固定装置更舒适, 并避免针道感染等并发症发生。

4.1.3 腓骨内固定

推荐意见 5: 对于合并韧带联合损伤、复杂 Pilon 骨折或伴有骨缺损的胫腓骨多段骨折需早期稳定的患者,急诊采用腓骨内固定(**推荐强度:GPS**)。

共纳入文献证据 10 项,其中 4 项 B 级证据^[45-48], 3 项 C 级别证据^[49-51], 3 项 D 级证据^[52-54]。

急诊腓骨内固定在下肢力线纠正方面发挥着重要作用,能够维持小腿长度、稳定踝关节、改善胫骨远端骨折的旋转对线,从而有效维持下肢力线,为后期的骨重建创造良好的条件,最终实现更好的临床效果^[45]。当骨折涉及下胫腓联合或合并外踝结构破坏(如外踝韧带撕裂)时,通过内固定恢复腓骨长度和踝关节解剖关系,避免踝关节失稳,防止继发性外翻或内翻畸形^[49,52]。在胫骨严重短缩的开放性 Pilon 骨折中,急诊手术需优先复位腓骨以恢复下肢长度基准,并为胫骨重建提供力学支撑,有利于对位、对线和恢复肢体长度^[50-51]。急诊腓骨内固定应注意以下几点:(1)若无良好软组织覆盖、污染严重时,内固定可能增加深部感染风险。此时,腓骨内固定属于相对禁忌。须优先通过彻底清创控制感染,并设法实现良好的软组织覆盖,为腓骨固定创造安全条件^[53]。(2)若胫骨固定已能提供足够稳定性,且腓骨骨折无移位或仅为非承重部位骨折(如腓骨远端非关节面骨折,骨折线距离关节面大 > 7 cm),腓骨固定也是非必需的^[46,54]。(3)若腓骨骨折严重粉碎或骨缺损无法解剖复位,强行内固定可能导致力学轴线异常或继发性关节炎^[47]。(4)额外切口可能增加皮肤坏死风险,须充分评估软组织条件,建议选择微创技术[如微创经皮钢板内固定术(MIPPO)或髓内钉]以减少伤口并发症^[48]。

4.2 早期确定性内固定

推荐意见 6: 早期移除临时外固定支架,在完成软组织覆盖创面的同时使用髓内钉或钢板作为确定性内固定(**推荐强度:强**)。

共纳入文献证据 12 项,其中 3 项 A 级证据^[55-57], 6 项 B 级证据^[4,5,58-61], 1 项 C 级证据^[62], 2 项 D 级证据^[63-64]。

开放性胫腓骨骨折常伴严重软组织缺损,骨折部位软组织覆盖条件差,甚至全身情况不稳定。外固定支架作为临时固定手段具有显著优势,但长期保留存在固定强度不足、无法早期功能锻炼、骨折愈合时长增加、钉道感染风险高等问题^[4,5]。在全身情况稳定、骨折部位彻底清创后,如能在伤后 7 d 内

完成对创面良好的软组织覆盖,在钉道无感染的情况下移除外固定支架的同期更换为内固定治疗^[55-56,58]。根据损伤部位选择钢板或髓内钉。钢板固定适合关节内和干骺端骨折,其主要目的是保持关节面的完整性和确保骨折正确对位、对线。为了增加稳定性,可联合使用拉力螺钉。在手术过程中,重要的是保护骨折端和大骨块的血供。髓内钉固定适用于胫骨干部骨折,可避免对软组织和骨膜的进一步损伤,使用髓内钉可使患者早期负重,相比钢板,髓内钉后期所需植骨量较少^[60,62]。与外固定相比,髓内钉可显著降低感染和骨折不愈合的发生率,而在血管损伤、二次翻修等其他并发症方面两者无显著差异^[57]。此外,髓内钉在降低术后浅表感染率和畸形愈合率方面具有显著优势,且骨折愈合时长更短^[61]。同时,髓内钉并未增加深部感染率的风险。对于 Gustilo-Anderson III B/C 型骨折,单纯使用髓内钉难以获得满意疗效,必须结合皮瓣覆盖等修复重建外科技术以改善预后^[59]。若因条件限制无法实现有效的软组织覆盖,单纯髓内钉固定将显著增加深部感染与骨不连的风险。

严重开放性胫骨骨折在髓内钉置入时是否扩髓仍存在争议,因其可能对骨内膜的血供造成额外损害,增加骨折不愈合和感染的风险。Bhandari 等^[63]比较扩髓和非扩髓髓内钉治疗开放性胫骨骨干骨折的效果,结果显示,在闭合骨折组中扩髓效果更佳,而在开放骨折组中结果相反,但差异无统计学意义。总体而言,非扩髓技术通过保留骨内膜血运,为骨折愈合提供了更优的生物学环境,尤其对 Gustilo-Anderson III 型开放性骨折更为重要。尽管非扩髓髓内钉存在更高的应力集中风险,但其断裂率低于扩髓髓内钉^[64]。因此,近年来学者们倾向于在 Gustilo-Anderson III B/C 型骨折中优先使用外固定支架,待软组织修复后再更换为非扩髓髓内钉。

4.3 早期环形外固定支架确定性固定

推荐意见 7: 对于难以彻底清创、感染风险高或无法行创面覆盖的开放性胫腓骨骨折,可行环形外固定支架确定性固定(**推荐强度:GPS**)。

共纳入文献证据 10 项,其中 2 项 B 级证据^[65-66], 3 项 C 级别证据^[67-69], 5 项 D 级证据^[70-74]。

环形外固定支架是一种模块化的多平面固定器,这类外固定支架使用较为繁琐,鉴于使用的复杂性及其对软组织完整性有很大的限制,目前倾向于避免在急诊情况下使用环形外固定支架。美国

严重肢体创伤研究联盟(METRC)的一项前瞻性 RCT 结果表明,与内固定器相比,环形外固定支架治疗严重开放性胫腓骨骨折时,发生复位丢失和置入物失效的风险更高,且并不能降低深部感染率^[65]。环形外固定支架固定的临床应用需严格把握适应证与禁忌证:(1)适应证方面,环形外固定支架适用于难以彻底清创的 III B 型开放性胫腓骨骨折。例如高压注射伤可能将异物(如油脂、化学物质)注入深层组织间隙,污染范围难以完全清除,导致持续的感染风险,而血管、神经和肌腱关键结构污染时需保留部分组织,限制清创范围,可能导致难以彻底清创^[66-69]。对于难以彻底清创、高感染风险的患者,采用环形外固定支架技术可使深部感染率降至 3.5%^[66,70]。而对于高龄、全身状况差等存在皮瓣移植手术禁忌的患者,也可考虑采用 Ilizarov 骨搬运技术同时修复骨与软组织缺损^[71-72]。(2)禁忌证须重点关注患者依从性和局部解剖条件。依从性差的患者无法维持长期外固定疗程,易发生针道感染和器械失效^[66]。在行环形外固定支架穿针操作时,必须谨慎避开皮肤坏死区域和主要血管的走行路径,避免因外固定针的不当放置而导致截肢风险增加^[73]。对于合并血管损伤患者,须优先重建血运,此时应选择临时单边组合外固定支架,待血管修复稳定后再考虑环形外固定支架^[74]。

4.4 膜诱导技术在早期固定中的应用

推荐意见 8:急诊使用抗生素骨水泥填充并稳定骨缺损部位(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 16 项,其中 2 项 A 级证据^[75-76], 10 项 C 级别证据^[77-86], 4 项 D 级证据^[87-90]。

对于严重开放性胫腓骨骨折的急诊处理,建议采用急诊清创联合抗生素骨水泥填充骨缺损的综合治疗方案。该策略通过局部缓释高浓度抗生素实现感染预防,同时提供机械支撑以维持骨结构稳定性^[75]。局部抗生素使用可显著降低严重开放性胫腓骨骨折深部感染风险,特别是作为全身抗生素预防的辅助手段时,能减少骨折相关感染的发生率^[79]。一项 Meta 分析结果表明,局部联合全身抗生素的使用可显著降低下肢开放骨折深部感染风险,研究对象涉及使用髓内钉治疗的各型开放性胫腓骨骨折,对于 III 型开放性骨折的效果最为显著,与单独全身应用抗生素预防感染相比,局部联合全身抗生素预防感染的效果更加显著^[76]。抗生素骨水泥作为临时占位器,可减少死腔、降低软组织挛缩风

险^[80]。尽管抗生素骨水泥在严重开放性胫腓骨骨缺损中展现出显著优势,仍须关注以下问题:(1)骨水泥中添加抗生素可降低感染率,但不能盲目认为含有抗生素的骨水泥能够治疗骨感染,而不重视清创的重要性^[77]。(2)由于骨水泥在凝固过程中的产热效应,所选抗生素必须具有热稳定性,推荐三种方案:40 g 骨水泥粉剂中加入 2~5 g 万古霉素^[87-89]; 40 g 骨水泥粉剂中加入 0.5~0.8 g 庆大霉素^[81]; 40 g 庆大霉素骨水泥粉剂(含 0.5 g 庆大霉素)中加入 2~5 g 万古霉素^[82,90]。(3)抗生素和骨水泥混合均匀后加入液体单体,面困期放入骨缺损区,骨水泥直径略大于骨缺损区的直径^[83-84],骨缺损端平滑包裹 1~2 cm,这样形成的诱导膜更加均匀并与骨折断端的骨膜连续。(4)骨水泥发热塑型时,使用低温生理盐水浸泡或冲洗,以保护周围的软组织和脆弱的神经血管结构^[85-86]。(5)当无法在同一个手术阶段行确定性伤口覆盖或覆盖失败时,应更换抗生素骨水泥,并行重复清创^[86]。(6)急诊术后换药及后续扩创术时留取伤口分泌物进行培养,为后续手术更换骨水泥间隔物提供分泌物细菌培养的药敏结果^[78]。

推荐意见 9:膜诱导技术 II 期附加钢板内固定可增加长节段胫腓骨骨缺损断端稳定性(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 12 项,其中 2 项 B 级证据^[91-92], 9 项 C 级别证据^[93-101], 1 项 D 级证据^[102]。

局部使用抗生素骨水泥形成诱导膜是一种分阶段修复骨缺损的有效策略,尤其适用于合并严重骨缺损的患者。第一阶段:清创后,将含抗生素的骨水泥植入骨缺损区域,形成临时占位器。骨水泥中的抗生素(如万古霉素、庆大霉素)可局部释放,预防感染^[93]。术后 4~6 周,骨水泥周围会形成富含血管和生长因子的生物活性膜(诱导膜),其分泌的血管内皮生长因子(VEGF)和骨形态发生蛋白 2(BMP-2)可促进后续骨再生^[91]。第二阶段:移除骨水泥,保留诱导膜,并在膜内填充自体松质骨或联合异体骨移植,异体骨或骨替代材料与自体骨比例不超过 1:3 以减少自体骨用量^[94]。若比例过高,会导致成骨不全、增加骨不连风险^[102]。长节段骨缺损使用单一钢板或髓内钉固定将面临较大的骨不连或内固定断裂风险^[95],膜诱导技术 II 期可采用附加钢板技术加强骨缺损断端的稳定性^[96],附加内固定钢板应尽量置于诱导膜外,以避免其产生的遮挡效应导致钢板下方的骨吸收和皮质化不良^[97]。近年

来,3D 打印多孔钛/钽假体通过个性化设计和协同软组织修复机制,为下肢复杂骨与软组织缺损提供了革新性解决方案,尤其适用于干骺端不规则大段骨缺损,未来需进一步优化材料性能以提升骨整合能力和长期疗效^[97-98]。

膜诱导技术一般应用于修复≤6 cm 的骨缺损,对于>6 cm 的骨缺损存在骨再生能力受限缺点^[99]。骨搬运技术通过截骨牵张成骨逐步延长骨段,可修复大段骨缺损,但存在骨搬运时长过长、对接点不愈合及钉道感染等风险^[100]。联合诱导膜后,诱导膜形成的生物活性环境可加速牵张成骨的矿化,同时减少骨搬运过程中的感染风险,该技术可修复>6 cm 的胫骨缺损^[101]。

4.5 术后感染的预防

严重开放性胫腓骨骨折常见的术后并发症包括感染、骨不连、骨折畸形愈合、软组织坏死等,其中感染是最严重的并发症,因为其常涉及生物膜相关的病原体(如革兰阳性菌、革兰阴性菌或多种耐药菌),并可导致深部组织感染或骨髓炎^[103];常见的感染类型包括手术部位的浅表感染和深层组织感染^[104],其中深部组织感染最为棘手。预防感染是早期固定成功的关键。应采用“首次即获得正确处理”(GIRFT)原则预防感染,包括早期、规范的全身抗生素联合局部抗生素使用、彻底清创、早期覆盖创面三要素^[45]。

推荐意见 10:早期、规范的全身抗生素联合局部抗生素使用对早期固定后感染的预防至关重要(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 4 项,其中 3 项 A 级证据^[105-107],1 项 C 级别证据^[108]。

III B/C 型开放性胫腓骨骨折后应尽早全身静脉使用抗生素。英国 2017 版开放性骨折治疗指南建议,患者在伤后尽快静脉使用抗生素预防感染,理想情况下为伤后 1 h 内^[105]。研究表明,III 型开放性胫骨骨折中,当在伤后 1 h 内给予头孢唑啉时,90 d 内未观察到深部感染,而如果在此之后给予抗生素,则感染率为 17%^[108]。目前对于严重开放性胫腓骨骨折,推荐一代头孢、二代头孢联合氨基糖苷类抗生素;β-内酰胺类过敏者选择克林霉素。若伤口合并有机污染(包括农、林、渔、牧、军工、水沟、土壤及粪便),在以上抗生素应用基础上联用青霉素或甲硝唑^[106]。在抗生素使用前可行多点采样(如创面细菌培养),有助于更全面识别病原体、提高检出

率,并指导抗生素的合理使用。预防性全身抗生素使用时间不超过伤后 72 h,或者创面闭合后 24 h 内^[107]。严重开放性胫腓骨骨折因其高感染风险,全身抗生素联合局部抗生素使用已成为重要治疗策略,局部抗生素使用参考推荐意见 8。

推荐意见 11:清创应具备系统性、彻底性与反复性。按解剖层次由浅入深顺序进行,清除所有污染及失活组织;对高能量或严重污染损伤,应计划在 24~48 h 内再次清创,必要时反复执行(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 4 项,其中 B 级证据 1 项^[109],C 级别证据 2 项^[110-111],D 级证据 1 项^[112]。

清创的目的是去除被污染和失活的组织。要做到彻底清创,必须按一定的顺序和解剖层次,由浅入深,依次处理各层组织:(1)皮肤及浅筋膜。首先沿肢体纵轴扩大皮肤伤口,直到皮肤反折处,使创面充分暴露。清除已被挫灭、失去活力的皮肤,并将不整齐的皮肤边缘切除 1~2 mm,同时清除已剥脱皮肤上无渗血的皮下脂肪组织^[112]。(2)深筋膜。沿肢体纵轴切开深筋膜,以防组织肿胀、内压增加而导致组织缺血。(3)肌肉。失去活力的肌肉应彻底清除,否则极易发生感染。肌肉应基于 4C(color:颜色;capacity of blood:循环情况;contractibility:收缩力;consistency:韧性)原则来清创。(4)肌腱。污染严重的肌腱,彻底清创后应予以保留,如为整齐的切割伤,应 I 期缝合,避免肌腱回缩而丧失功能。(5)血管。腘动脉、胫前和胫后动脉等严重损伤,清创后首先固定骨折,然后应无张力下 I 期吻合修复,必要时进行自体血管移植。在行清创术时,应当尽量保留静脉,以便后期行皮瓣移植术时能够利用这些血管进行吻合。(6)骨与关节。完全游离的骨块应分情况处理,由于这些游离无血运骨片的存在会大大增加感染概率,位于干骺端和骨干部的完全游离皮质骨应去除。与软组织相连且有血供的活骨片应予保留。“拉拽试验”可以确定软组织附着率<50%的骨片去除情况^[110]。完全游离的大骨块可暂时用于复位,并在清创结束时丢弃,而干骺端松质骨及关节面完全游离的骨块在彻底清创、冲洗的前提下应予保留,复位后用拉力螺钉固定。(7)冲洗创口采用创面灌洗术,严重开放性胫腓骨骨折建议使用 9 L 以上生理盐水行创口冲洗^[109]。(8)以往初始清创强调“6~8 h 规则”,但与手术时机相比,清创的充分性更加重要。在完成清创和冲洗后,应对损伤再次评估,

对于高能量损伤或严重污染伤口,若初次清创后对组织活力或清洁度存疑,在 24~48 h 内再次清创^[111]。

推荐意见 12: 早期软组织完全覆盖创面是预防早期固定后感染的重要措施(推荐强度:强)。

共纳入文献证据 9 项,其中 1 项 A 级证据^[55], 3 项 B 级证据^[111-113], 5 项 C 级证据^[114-118]。

严重开放性胫腓骨骨折的感染防控须遵循“损伤控制-早期覆盖”原则,其中伤后 7 d 内完成创面覆盖是降低早期固定后感染风险的重要措施。研究表明,此类高能量损伤伴软组织缺损、骨外露和创面污染形成多重感染危险因素^[114],而延迟覆盖会导致创面生物膜形成和多重耐药菌定植风险增加^[113]。Godina^[115]阐述了早期皮瓣覆盖在下肢创伤创面重建中的优势。既往也有急诊行皮瓣移植覆盖创面的报道^[116]: 术后 1~7 d 的并发症发生率无显著差异,但之后每增加 1 d,并发症发生率增加 11%,而感染的概率则增加 16%,尽早(伤后 7 d 内)行软组织覆盖是必要的,但不必过分追求在急诊阶段进行。也有研究表明,立即进行软组织覆盖并不安全^[117]。美国骨科医师学会(AAOS)和严重肢体创伤研究联盟(METRC)发布的关于预防严重四肢创伤后手术部位感染(SSI)的临床实践指南建议,在伤后 7 d 内行最终伤口覆盖^[55]。这种时效性优势源于早期覆盖有效隔绝创面与外界环境接触,同时改善局部血供以促进抗生素渗透。值得注意的是,创面覆盖的“黄金窗口期”需要与抗生素管理策略协同。建议在伤后 1 h 内启动广谱抗生素,持续至创面完全覆盖后 24 h^[118]。此外,负压创面治疗(NPWT)作为过渡措施时,须控制使用时长 ≤ 5 d,避免革兰阴性菌优势定植^[119]。

5 总结与说明

本指南从临床实践出发,就严重开放性胫腓骨骨折的诊断及早期固定给出多项关键性推荐意见,为临床规范诊治提供参考。本指南强调的“早期”范畴,聚焦于在损伤控制基础上,于伤后 7 d“黄金窗口期”内实现创面覆盖,并积极由临时外固定向确定性内固定(髓内钉、钢板)转换的治疗策略。需要特别说明的是,本指南在确定性固定方案中仅将“环形外固定支架”作为难以彻底清创、存在高感染风险或无法行创面覆盖等特定情境下的代表选项进行探讨;而诸如“锁定钢板外置”“单边延长外固定支架”“泰勒式支架”等其他纯外固定技术,因其

不属于本指南所推荐的“早期”确定性固定核心范畴,故未作深入阐述,其应用须严格评估适应证。本指南旨在提供相关指导性意见,以期达到改善预后的目的,但部分文献证据等级为 C 级和 D 级,缺乏高质量 RCT 和 Meta 分析支持。因此,随着该领域更多高质量研究证据的积累,当前的一些观点可能在不久的将来得到更新。本指南仅作为学术指导建议,不作为法律依据。在实际临床工作中,应根据患者具体病情制订个性化诊疗方案。随着循证医学的不断发展、新技术和新材料的不断涌现,相信严重开放性胫腓骨骨折的早期固定方式将会得到不断改进和完善,从而为患者带来更好的治疗效果和生活质量。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 芮永军、徐永清、朱庆棠、王欣、谢肇、陈山林、糜菁熠、郑宪友、唐举玉、丁小珩、喻爱喜:指南立项及审定、经费支持;王亚朋:指南撰写及修改;其他作者:指南讨论及修改

参 考 文 献

- [1] Weber CD, Hildebrand F, Kobbe P, et al. Epidemiology of open tibia fractures in a population-based database: update on current risk factors and clinical implications [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2019, 45(3):445-453. DOI:10.1007/s00068-018-0916-9.
- [2] 范新宇, 徐永清, 王腾, 等. 膜诱导技术联合显微外科技术治疗 Gustilo III B、III C 型小腿开放性骨折[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2019, 21(10):843-847. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2019.10.004.
- [3] Mundy LR, Truong T, Shammas RL, et al. Acute treatment patterns for lower extremity trauma in the united states: Flaps versus amputation [J]. *J Reconstr Microsurg*, 2017, 33(8):563-570. DOI:10.1055/s-0037-1603332.
- [4] Cullen S, Flaherty D, Fitzpatrick N, et al. Outcomes following surgical fixation of Gustilo-Anderson IIIb open tibial fractures [J]. *Acta Orthop Belg*, 2024, 90(1):83-89. DOI:10.52628/90.1.12387.
- [5] Cullen S, Flaherty D, Fitzpatrick N, et al. Outcomes following surgical fixation of Gustilo-Anderson IIIb open tibial fractures [J]. *Acta Orthop Belg*, 2024, 90(1):83-89. DOI:10.52628/90.1.12387.
- [6] Tesso CB, Mohammed T, Teshome B, et al. Magnitude of infection and associated factors in open tibial fracture treated operatively, in Addis Ababa burn emergency and trauma center [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2024, 35(1):46. DOI:10.1007/s00590-024-04149-5.
- [7] Alsharif JF, Ghaddaf AA, AlQuhaibi MS, et al. External fixation versus intramedullary nailing for the management of open tibial fracture: meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Int Orthop*, 2023, 47(12):3077-3097. DOI:10.1007/s00264-023-05879-7.
- [8] Aljuhani WS, Alshabi YA, Alanazi AM, et al. Risk of infection and conversion time from external to definitive fixation in open tibial fracture [J]. *J Orthop Surg Res*, 2024, 19(1):867. DOI:10.1186/s13018-024-057350-2.
- [9] Schnetz M, Wengert A, Ruckes C, et al. Open fractures of the lower leg: Outcome and risk-factor analysis for fracture-related infection and nonunion in a single center analysis of 187 fractures [J].



- Injury, 2025, 56(6):112303. DOI:10.1016/j.injury.2025.112303.
- [10] Naique SB, Pearse M, Nanchahal J. Management of severe open tibial fractures: the need for combined orthopaedic and plastic surgical treatment in specialist centres[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2006, 88(3):351-357. DOI:10.1302/0301-620X.88B3.17120.
- [11] 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.
- [12] World Health Organization. WHO handbook for guideline development[M]. 2nd ed. Geneva: WHO Press, 2014:93-132.
- [13] 李律宇, 李川, 邢丹, 等. 骨质疏松性桡骨远端骨折中西医结合诊疗临床实践指南计划书[J]. *中华创伤杂志*, 2025, 41(3):253-258. DOI:10.3760/cma.j.cn501098-20241121-00665.
- [14] Weiss MJ, Hornby L, Shemie SD, et al. GRADEing the un-GRADe-able: a description of challenges in applying GRADE methods to the ethical and implementation questions of pediatric organ donation guidelines[J]. *J Clin Epidemiol*, 2018, 103:134-137. DOI:10.1016/j.jclinepi.2018.06.008.
- [15] Chen Y, Yang K, Marušić A, et al. A reporting tool for practice guidelines in health care: The RIGHT statement[J]. *Ann Intern Med*, 2017, 166(2):128-132. DOI:10.7326/M16-1565.
- [16] Prasarn ML, Helfet DL, Kloen P. Management of the mangled extremity[J]. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2012, 7(2):57-66. DOI:10.1007/s11751-012-0137-4.
- [17] Chebli D, Dhaif F, Ridha A, et al. A meta-analysis of the incidence of infections following open tibia fractures and the microorganisms that cause them in high-, middle-and low-income countries[J]. *Trop Doct*, 2024, 54(3):272-281. DOI:10.1177/00494755241232171.
- [18] Youbong TJ, De Pontfarcy A, Rouyer M, et al. Bacterial epidemiology of surgical site infections after open fractures of the lower limb: A retrospective cohort study[J]. *Antibiotics (Basel)*, 2021, 10(12):1513. DOI:10.3390/antibiotics10121513.
- [19] Stahel PF, Kaufman AM. Contemporary management of open extremity fractures: What you need to know[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2024, 97(1):11-22. DOI:10.1097/TA.0000000000004288.
- [20] Gottipati S, Gowtham B, Chalimeda S, et al. Functional outcomes in orthopaedic open wounds treated with vacuum-assisted closure therapy: A prospective case series[J]. *Cureus*, 2024, 16(2):e54468. DOI:10.7759/cureus.54468.
- [21] von Räden C, Wunder J, Schirdewahn C, et al. Initial treatment of severe soft-tissue injuries in closed and open fractures to prevent fracture-related infection[J]. *Injury* 2024, 55 Suppl 6: 111935. DOI:10.1016/j.injury.2024.111935.
- [22] Faraz A, Qureshi AI, Noah H Khan M, et al. Documentation of neurovascular assessment in fracture patients in a tertiary care hospital: A retrospective review[J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2022, 79:103935. DOI:10.1016/j.amsu.2022.103935.
- [23] Bi AS, Fisher ND, Parola R, et al. Arterial injury portends worse soft tissue outcomes and delayed coverage in open tibial fractures[J]. *J Orthop Trauma*, 2022, 36(10):535-543. DOI:10.1097/BOT.0000000000002372.
- [24] Nguyen A, Tallarita T, Beckermann J, et al. Endovascular repair of a traumatic popliteal artery injury[J]. *Cureus*, 2022, 14(11):e31100. DOI:10.7759/cureus.31100.
- [25] Dreizin D, Smith EB, Champ K, et al. Roles of trauma CT and CTA in salvaging the threatened or mangled extremity[J]. *Radiographics*, 2022, 42(2):E50-E67. DOI:10.1148/rg.210092.
- [26] Li B, Tian X, Fei H, et al. Management of suspected peripheral vascular injuries in orthopedic trauma[J]. *Orthop Surg*, 2024, 16(7):1548-1554. DOI:10.1111/os.14079.
- [27] Su CL, Hsu CC, Liao CH, et al. A simple scoring model for evaluation of concomitant vascular injuries in patients with lower extremity open fractures[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2023, 151(5):1083-1092. DOI:10.1097/PRS.00000000000010045.
- [28] Zhang X, Hao A, Lu Y, et al. Deep vein thrombosis and validation of the Caprini risk assessment model in Chinese orthopaedic trauma patients: a multi-center retrospective cohort study enrolling 34,893 patients[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2023, 49(4):1863-1871. DOI:10.1007/s00068-023-02265-1.
- [29] Chen Zhou ZH, Martínez Chamorro E, Ibáñez Sanz L, et al. Traumatic arterial injuries in upper and lower limbs: what every radiologist should know[J]. *Emerg Radiol*, 2022, 29(4):781-790. DOI:10.1007/s10140-022-02053-1.
- [30] Monazzam S, Goodell PB, Salcedo ES, et al. When are CT angiograms indicated for patients with lower extremity fractures? A review of 275 extremities[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2017, 82(1):133-137. DOI:10.1097/ta.0000000000001258.
- [31] Weger K, Hammer P, McKinley T, et al. Incidence and clinical impact of lower extremity vascular injuries in the setting of whole body computed tomography for trauma[J]. *Emerg Radiol*, 2021, 28(2):265-272. DOI:10.1007/s10140-020-01847-5.
- [32] Craxford S, Vris A, Ahluwalia R, et al. Fracture related infection in open tibial fractures[J]. *J Orthop*, 2024, 51:98-102. DOI:10.1016/j.jor.2024.01.010.
- [33] 芮永军, 戚剑, 唐举玉, 等. 严重肢体创伤创面早期修复专家共识[J]. *中华显微外科杂志*, 2023, 46(4):368-382. DOI:10.3760/cma.j.cn441206-20230407-00062.
- [34] Myatt A, Saleeb H, Robertson GAJ, et al. Management of Gustilo-Anderson IIIB open tibial fractures in adults - a systematic review[J]. *Br Med Bull*, 2021, 139(1):48-58. DOI:10.1093/bmb/ldab013.
- [35] Lerner A, Jakusonoka R, Juntins A, et al. Temporary bridging trans-hip external fixation in damage control orthopaedics treatment after severe combat trauma: A clinical case series[J]. *Injury*, 2023, 54(3):991-995. DOI:10.1016/j.injury.2023.01.007.
- [36] Cortez A, Urva M, Haonga B, et al. Outcomes of intramedullary nailing and external Fixation of open tibial fractures: Three to five-year follow-up of a randomized clinical trial[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2022, 104(21):1877-1885. DOI:10.2106/JBJS.22.00016.
- [37] Mickley J, Philips W, Colosimo S, et al. Does maintaining external fixators during definitive fixation of bicondylar tibial plateau fractures influence fracture alignment and deep infection rates?[J]. *Injury*, 2025, 56(3):112180. DOI:10.1016/j.injury.2025.112180.
- [38] Soetjahjo B, Ermawan R, Saputra R, et al. Functional outcome evaluation of grade III open tibial fracture treated by external fixation as definitive treatment[J]. *Indones J Med*, 2021, 6(4):452-459. DOI:10.26911/theijmed.2021.06.04.11.
- [39] Su H, Zhong S, Ma T, et al. Biomechanical study of the stiffness of the femoral locking compression plate of an external fixator for lower tibial fractures[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1):39. DOI:10.1186/s12891-023-06150-1.
- [40] Qiu E, Kurlander DE, Ghaznavi AM. Godina revisited: a systematic review of traumatic lower extremity wound reconstruction timing[J]. *J Plast Surg Hand Surg*, 2018, 52(5):259-264. DOI:10.1080/2000656X.2018.1470979.
- [41] Siddiqui NA, Pirzada A, Virji SN. Life before limb: What about life after limb loss? A perspective from a low middle class income country: A Surgical Perspective[J]. *Pak J Med Sci*, 2023, 39(4):1197-1198. DOI:10.12669/pjms.39.4.7038.
- [42] Kang Y, Wu Y, Ma Y, et al. A novel primary antibiotic cement-coated locking plate as a temporary fixation for the treatment of



- open tibial fracture[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):21890. DOI:10.1038/s41598-023-49460-z.
- [43] 余斌, 廖永华, 肖琳, 等. 有限内固定结合外固定架治疗开放性和感染性胫骨骨折[J]. *美中国际创伤杂志*, 2012, 11(5):24-25.
- [44] 张云, 李凯, 常继辉, 等. T型外支架结合有限内固定治疗邻近胫骨远端关节开放性骨折[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2009, 23(1):122-123.
- [45] Wang Y, Zhou M, Wang P, et al. Orthoplastic management of Gustilo-Anderson type IIIB/C open tibial fractures: a consecutive 10-year series from China Level I trauma center[J]. *Int J Surg*, 2025, 111(9):6135-6150. DOI:10.1097/JS9.0000000000002809.
- [46] Chaudhry YP, Gutierrez-Naranjo JM, Raad M, et al. Risk factors for malalignment after intramedullary nail treatment of distal tibia fractures with associated fibula fractures[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2024, 34(6):3265-3273. DOI:10.1007/s00590-024-04062-x.
- [47] Busel GA, Watson JT, Israel H. Evaluation of fibular fracture type vs location of tibial fixation of Pilon fractures[J]. *Foot Ankle Int*, 2017, 38(6):650-655. DOI:10.1177/1071100717695348.
- [48] Sun DD, Lv D, Zhou K, et al. External fixator combined with three different fixation methods of fibula for treatment of extra-articular open fractures of distal tibia and fibula: a retrospective study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1):1. DOI:10.1186/s12891-020-03840-y.
- [49] Van Maele M, Molenaers B, Geusens E, et al. Intramedullary tibial nailing of distal tibiofibular fractures: additional fibular fixation or not?[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2018, 44(3):433-441. DOI:10.1007/s00068-017-0797-3.
- [50] Yoon HK, Jeon HS, Cho KN, et al. Treatment of the open tibial Pilon fractures - Using limited internal fixation and external fixation[J]. *J Korean Orthop Assoc*, 1998, 33(5):1419. DOI:10.4055/jkoa.1998.33.5.1419.
- [51] Zeng XT, Pang GG, Ma BT, et al. Surgical treatment of open pilon fractures[J]. *Orthop Surg*, 2011, 3(1):45-51. DOI:10.1111/j.1757-7861.2010.00113.x.
- [52] Torino D, Mehta S. Fibular fixation in distal tibia fractures: Reduction aid or nonunion generator?[J]. *J Orthop Trauma*, 2016, 30 Suppl 4:S22-S25. DOI:10.1097/BOT.0000000000000695.
- [53] 胡旭峰, 杨民, 丁国正, 等. 微创经皮钢板内固定技术结合前外侧单一切口入路治疗开放性胫腓骨远端骨折[J]. *中国骨伤*, 2020, 33(10):970-974. DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2020.10.016.
- [54] Kim RG, An VVG, Petchell JF. Fibular fixation in mid and distal extra-articular tibia fractures - A systematic review and meta-analysis[J]. *Foot Ankle Surg*, 2022, 28(7):809-816. DOI:10.1016/j.fas.2021.11.007.
- [55] Haonga BT, Liu M, Albright P, et al. Intramedullary nailing versus external fixation in the treatment of open tibial fractures in Tanzania: Results of a randomized clinical trial[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2020, 102(10):896-905. DOI:10.2106/JBJS.19.00563.
- [56] Goldman AH, Tetsworth K. AAOS clinical practice guideline summary: Prevention of surgical site infection after major extremity trauma[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2023, 31(1):e1-e8. DOI:10.5435/JAAOS-D-22-00792.
- [57] Giannoudis PV, Papakostidis C, Kouvidis G, et al. The role of plating in the operative treatment of severe open tibial fractures: a systematic review[J]. *Int Orthop*, 2009, 33(1):19-26. DOI:10.1007/s00264-007-0443-5.
- [58] Giovannini F, de Palma L, Panfighi A, et al. Intramedullary nailing versus external fixation in Gustilo type III open tibial shaft fractures: a meta-analysis of randomised controlled trials[J]. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2016, 11(1):1-4. DOI:10.1007/s11751-016-0245-7.
- [59] Schemitsch EH, Nowak LL, Schulz AP, et al. Intramedullary nailing vs sliding hip screw in trochanteric fracture management: The INSITE randomized clinical trial[J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(6):e2317164. DOI:10.1001/jamanetworkopen.2023.17164.
- [60] Morwood MP, Streufert BD, Bauer A, et al. Intramedullary nails yield superior results compared with plate fixation when using the Masquelet technique in the femur and tibia[J]. *J Orthop Trauma*, 2019, 33(11):547-552. DOI:10.1097/BOT.0000000000001579.
- [61] Liu J, Xie L, Liu L, et al. Comparing external fixators and intramedullary nailing for treating open tibia fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1):13. DOI:10.1186/s13018-022-03490-x.
- [62] Azi ML, Teixeira AAA, Cotias RB, et al. Induced-membrane technique in the management of posttraumatic bone defects[J]. *JBJS Essent Surg Tech*, 2019, 9(2):e22. DOI:10.2106/JBJS.ST.18.00099.
- [63] Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF, et al. Treatment of open fractures of the shaft of the tibia[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2001, 83(1):62-68. DOI:10.1302/0301-620x.83b1.10986.
- [64] Collinge CA, Rickert MM, Mitchell PM, et al. Refined techniques in tibial nailing[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2025, 33(5):e291-e300. DOI:10.5435/JAAOS-D-24-00238.
- [65] Major Extremity Trauma Research Consortium (METRC). Modern external ring fixation versus internal fixation for treatment of severe open tibial fractures: A randomized clinical trial (FIXIT Study)[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2022, 104(12):1061-1067. DOI:10.2106/JBJS.21.01126.
- [66] O' Toole RV, Gary JL, Reider L, et al. A prospective randomized trial to assess fixation strategies for severe open tibia fractures: Modern ring external fixators versus internal fixation (FIXIT Study)[J]. *J Orthop Trauma*, 2017, 31 Suppl 1:S10-S17. DOI:10.1097/BOT.0000000000000804.
- [67] Tesso CB, Mohammed T, Teshome B, et al. Magnitude of infection and associated factors in open tibial fracture treated operatively, in Addis Ababa burn emergency and trauma center[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2024, 35(1):46. DOI:10.1007/s00590-024-04149-5.
- [68] Craxford S, Vris A, Ahluwalia R, et al. Fracture related infection in open tibial fractures[J]. *J Orthop*, 2024, 51:98-102. DOI:10.1016/j.jor.2024.01.010.
- [69] Bhosale ND, Naikwade D. Functional outcome analysis of ilizarov ring fixator as definitive fixation of open tibial fractures[J]. *Indian J Orthop Surg*, 2023, 9(1):12-17. DOI:10.18231/j.ijos.2023.004.
- [70] Madhvari KR, Fong A, Clark T, et al. Mid to long-term outcomes of grade III-B open tibial fractures definitively managed with a circular frame: A 13-year prospective database study at a major trauma center[J]. *J Orthop Trauma*, 2024, 38(8):447-451. DOI:10.1097/BOT.0000000000002841.
- [71] 章暉, 邹剑, 曾炳芳. 混合环形外固定支架治疗老年人胫骨下端开放性骨折[J]. *组织工程与重建外科杂志*, 2009, 5(2):105-107. DOI:10.3969/j.issn.1673-0364.2009.04.015.
- [72] 毛洪刚. 混合环形外固定支架治疗老年人胫骨下端开放性骨折的临床疗效[J]. *影像研究与医学应用*, 2018, 2(5):206-207. DOI:10.3969/j.issn.2096-3807.2018.05.133.
- [73] Nishida M, Kamekura S, Nakada I, et al. Definitive internal fracture fixation followed by staged free flap coverage ("fix followed by flap" protocol) for open Gustilo type IIIB fractures[J]. *J Orthop Sci*, 2025, 30(1):142-146. DOI:10.1016/j.jos.2024.03.006.
- [74] Hatori Y, Tajika T, Kuboi T, et al. Heparin-induced thrombocytopenia after revascularization of Gustilo-Anderson type IIIC open



- lower leg fracture: A case report of subsequent ischemic limb salvage failure[J]. *Am J Case Rep*, 2024, 25:e944121. DOI:10.12659/AJCR.944121.
- [75] Morgenstern M, Vallejo A, McNally MA, et al. The effect of local antibiotic prophylaxis when treating open limb fractures: A systematic review and meta-analysis[J]. *Bone Joint Res*, 2018, 7(7): 447-456. DOI:10.1302/2046-3758.77.BJR-2018-0043.R1.
- [76] Craig J, Fuchs T, Jenks M, et al. Systematic review and meta-analysis of the additional benefit of local prophylactic antibiotic therapy for infection rates in open tibia fractures treated with intramedullary nailing[J]. *Int Orthop*, 2014, 38(5):1025-1030. DOI: 10.1007/s00264-014-2293-2.
- [77] Fung B, Hoit G, Schemitsch E, et al. The induced membrane technique for the management of long bone defects[J]. *Bone Joint J*, 2020, 102-B(12):1723-1734. DOI:10.1302/0301-620X.102B12.BJJ-2020-1125.R1.
- [78] Kindi NA, Abri FA, Yaseen A, et al. Do post-debridement cultures have a role in reduction of infection in open fractures? Report of 166 cases and literature review[J]. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2024, 19(2):94-98. DOI:10.5005/jp-journals-10080-1614.
- [79] Ostermann PA, Seligson D, Henry SL. Local antibiotic therapy for severe open fractures. A review of 1085 consecutive cases[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1995, 77(1):93-97.
- [80] Kanakaris NK, Rodham P, Giannoudis VP, et al. Modern management of severe open fractures of the extremities: The role of the induced membrane technique[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2025, 107(5):504-517. DOI:10.2106/JBJS.24.00647.
- [81] Mathieu L, Tossou-Odjo L, de l'Escalopier N, et al. Induced membrane technique with sequential internal fixation: use of a reinforced spacer for reconstruction of infected bone defects[J]. *Int Orthop*, 2020, 44(9): 1647-1653. DOI: 10.1007/s00264-020-04735-2.
- [82] 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.
- [83] 康永强, 芮永军, 吴永伟, 等. 3D打印量化植骨辅助Masquelet技术二阶段治疗Gustilo III B、III C型胫腓骨骨折长段骨缺损的疗效[J]. *中华创伤杂志*, 2023, 39(3):252-258. DOI:10.3760/cma.j.cn501098-20221226-00813.
- [84] 芮永军, 吴永伟, 刘军, 等. 游离皮瓣修复Gustilo III B、III C型胫腓骨骨折伴软组织缺损的临床疗效[J]. *中华创伤杂志*, 2018, 34(10):881-885. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2018.10.005.
- [85] Masquelet A, Kanakaris NK, Obert L, et al. Bone repair using the Masquelet technique[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(11): 1024-1036. DOI:10.2106/JBJS.18.00842.
- [86] Giannoudis PV, Faour O, Goff T, et al. Masquelet technique for the treatment of bone defects: tips-tricks and future directions[J]. *Injury*, 2011, 42(6):591-598. DOI:10.1016/j.injury.2011.03.036.
- [87] Xiao H, Wang S, Wang F, et al. Locking compression plate as an external fixator for the ooptreatment of tibia infected bone defects[J]. *Z Orthop Unfall*, 2023, 161(3):311-317. DOI:10.1055/a-1545-5363.
- [88] Zhao Z, Wang G, Zhang Y, et al. Induced membrane technique combined with antibiotic-loaded calcium sulfate-calcium phosphate composite as bone graft expander for the treatment of large infected bone defects: preliminary results of 12 cases[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(17):1081. DOI:10.21037/atm-20-1932.
- [89] Sasaki G, Watanabe Y, Miyamoto W, et al. Induced membrane technique using beta-tricalcium phosphate for reconstruction of femoral and tibial segmental bone loss due to infection: technical tips and preliminary clinical results[J]. *Int Orthop*, 2017, 42(1): 17-24. DOI:10.1007/s00264-017-3503-5.
- [90] Jia C, Wang X, Yu S, et al. An antibiotic cement-coated locking plate as a temporary fixation for treatment of infected bone defects: a new method of stabilization[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1):44. DOI:10.1186/s13018-020-1574-2.
- [91] Wang K, Gao F, Zhang Y, et al. Comparison of osteogenic activity from different parts of induced membrane in the Masquelet technique[J]. *Injury*, 2023, 54(11):111022. DOI:10.1016/j.injury.2023.111022.
- [92] Wang Z, Zou C, Zhan X, et al. Application of double plate fixation combined with Masquelet technique for large segmental bone defects of distal tibia: a retrospective study and literature review[J]. *BMC Surg*, 2024, 24(1):103. DOI:10.1186/s12893-024-02396-1.
- [93] Zhang Y, Tian S, Liu M, et al. Comparison of antibiotic-impregnated bone cement coverage versus vacuum sealing drainage in semi-open bone grafting using for tibial fracture with infected bone and soft tissue defect: a retrospective analysis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1):401. DOI:10.1186/s12891-023-06475-x.
- [94] Han W, Shen J, Wu H, et al. Induced membrane technique: Advances in the management of bone defects[J]. *Int J Surg*, 2017, 42:110-116. DOI:10.1016/j.ijssu.2017.04.064.
- [95] Wu Y, Yin Q, Zhou Z, et al. Similarities and differences of induced membrane technique versus wrap bone graft technique[J]. *Indian J Orthop*, 2020, 54(2): 156-163. DOI: 10.1007/s43465-019-00006-4.
- [96] 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.
- [97] 徐永清, 范新宇, 王腾, 等. 皮瓣加3D打印微孔钛(钽)假体治疗下肢软组织缺损伴大段骨缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2022, 45(1):21-27. DOI:10.3760/cma.j.cn441206-20210908-00216.
- [98] Liu B, Hou G, Yang Z, et al. Repair of critical diaphyseal defects of lower limbs by 3D printed porous Ti6Al4V scaffolds without additional bone grafting: a prospective clinical study[J]. *J Mater Sci Mater Med*, 2022, 33(9):64. DOI:10.1007/s10856-022-06685-0.
- [99] El-Hadidi TT, Soliman HM, Farouk HA, et al. Staged bone grafting for the management of segmental long bone defects caused by trauma or infection using induced-membrane technique[J]. *Acat Orthop Belg*, 2018, 84(4):384-396.
- [100] Zhang Y, Wang J, Jiao B, et al. Analysis of functional outcomes and complications of tibial bone defects treated with Ilizarov bone transport technique[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2025, 26(1): 198. DOI:10.1186/s12891-025-08454-w.
- [101] Aurégan JC, Bégué T. Induced membrane for treatment of critical sized bone defect: a review of experimental and clinical experiences[J]. *Int Orthop*, 2014, 38(9):1971-1978. DOI:10.1007/s00264-014-2422-y.
- [102] Zhang Q, Kang Y, Wu Y, et al. Masquelet combined with free-flap technique versus the Ilizarov bone transport technique for severe composite tibial and soft-tissue defects[J]. *Injury*, 2024, 55(6): 111521. DOI:10.1016/j.injury.2024.111521.
- [103] Seidelman J, DeBaun M. Fracture-related infections[J]. *Infect Dis Clin North Am*, 2025, 39(3):437-448. DOI:10.1016/j.idc.2025.02.012.
- [104] PREP-IT Investigators, Sprague S, Slobogean G, et al. Skin antisepsis before surgical fixation of extremity fractures[J]. *N Engl J Med*, 2024, 390(5):409-420. DOI:10.1056/NEJMoa2307679.
- [105] British Orthopaedic Association and British Association of Plastic,



Reconstructive and Aesthetic Surgeons audit Standards for Trauma 4 (BOAST 4)[EB/OL]. Open Fractures. (2017-07)[2025-06-01]. <http://www.boa.ac.uk/LIB/LIBPUB/Documents/BOAST%204%20-%20The%20Management%20of%20Severe%20Open%20Lower%20Limb%20Fractures.pdf>.

[106] Lack WD, Karunakar MA, Angerame MR, et al. Type III open tibia fractures: immediate antibiotic prophylaxis minimizes infection[J]. J Orthop Trauma, 2015, 29(1):1-6. DOI:10.1097/BOT.0000000000000262.

[107] Vanvelk N, Chen B, Van Lieshout EMM, et al. Duration of perioperative antibiotic prophylaxis in open fractures: A systematic review and critical appraisal[J]. Antibiotics (Basel), 2022, 11(3):293. DOI:10.3390/antibiotics11030293.

[108] 中华医学会骨科学分会创伤骨科学组, 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. 中国开放性骨折诊断与治疗指南(2019版)[J]. 中华创伤骨科杂志, 2019, 21(11):921-928. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2019.11.001.

[109] Srour M, Inaba K, Okoye O, et al. Prospective evaluation of treatment of open fractures: effect of time to irrigation and debridement[J]. JAMA Surg, 2015, 150(4):332-336. DOI:10.1001/jamasurg.2014.2022.

[110] 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.

[111] Al-Hourani K, Pearce O, Bott A, et al. Three-vessel view debridement of the open tibial fracture: a surgical technique[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2022, 32(7):1435-1441. DOI:10.1007/s00590-021-03110-0.

[112] 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.

[113] Major Extremity Trauma Research Consortium (METRC). The bioburden associated with severe open tibial fracture wounds at the time of definitive closure or coverage: The BIOBURDEN study[J]. J Bone Joint Surg Am, 2024, 106(10):858-868. DOI:10.2106/JBJS.23.00157.

[114] Tornetta P 3rd, Della Rocca GJ, Morshed S, et al. Risk factors associated with infection in open fractures of the upper and lower extremities[J]. J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev, 2020, 4(12):e20.00188. DOI:10.5435/JAAOSGlobal-D-20-00188.

[115] Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities[J]. Plast Reconstr Surg, 1986, 78(3):285-292. DOI:10.1097/00006534-198609000-00001.

[116] D'Alleyrand JC, Manson TT, Dancy L, et al. Is time to flap coverage of open tibial fractures an independent predictor of flap-related complications?[J]. J Orthop Trauma, 2014, 28(5):288-293. DOI: 10.1097/BOT.0000000000000001.

[117] Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures[J]. J Trauma, 1984, 24(8):742-746. DOI: 10.1097/00005373-198408000-00009.

[118] Zuelzer DA, Hayes CB, Hautala GS, et al. Early antibiotic administration is associated with a reduced infection risk when combined with primary wound closure in patients with open tibia fractures[J]. Clin Orthop Relat Res, 2021, 479(3):613-619. DOI:10.1097/CORR.0000000000001507.

[119] Qian H, Lei T, Hu Y. Negative pressure wound therapy versus gauze dressings in managing open fracture wound of lower limbs: A meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Foot Ankle Surg, 2022, 28(7):1120-1128. DOI:10.1016/j.fas.2022.03.012.

(收稿日期:2025-08-12)

本文引用格式

芮永军, 徐永清, 朱庆棠, 等. 严重开放性胫腓骨骨折诊断及早期固定循证指南(2025版)[J]. 中华创伤杂志, 2025, 41(11): 1021-1034. DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20250812-00440.

《中华创伤杂志》2025 年第 12 期重点内容预告

压电材料在神经修复与功能重建中的前沿进展与挑战..... 孙洪涛

颌面颈部创伤早期救治与损伤控制外科的关键技术与要点..... 田刚 陈菊祥 徐晓刚

基于肾脏灌注超声参数的重型创伤性脑损伤并发急性肾损伤风险预测模型构建与验证..... 韩冰莎 石仪 马帅涛
李娇 栗艳茹 任志强 王炬 赵敬河 冯光

重型创伤性脑损伤患者早期预后不良预测模型构建与验证..... 陈瑶 孙文斌 梅海峰 朱尚

3D打印辅助自体肋软骨移植治疗 Hepple V 型距骨骨软骨损伤的中短期疗效 王嘉正 韩艳 郭英
杨建义 陈亦轩 李亚民 傅绍菱 王诚 张书滔 古峰 马昕 施忠民

切开复位锁定加压钩钢板与关节镜下带袢钢板内固定治疗后交叉韧带胫骨止点撕脱骨折的疗效比较..... 张刘会
张田宇 陈玉宏

改良与传统肠道准备在骨盆骨折患者行内固定治疗中的应用效果比较..... 戴娇 何俊宏 高山
庄云强 张军 汪帅伊 王瑶 杨琼

外泌体源性 miRNA-124 对创伤性脑损伤大鼠海马组织神经再生的促进作用 朱显松 邹东波 李运兴
马原 程敬民 杨涛 杨永祥

柚皮苷促进大鼠胫骨骨折早期愈合的作用及其机制..... 马越 朱建辉 韩兴文

创伤性脑损伤继发急性呼吸窘迫综合征的病理机制研究进展..... 潘凤鸣 彭静 陈青栩 徐煜 卢倩 周宇

靶向线粒体动力学促进脊髓损伤后轴突再生的作用机制研究进展 王凯旋 吾米提·塔西 马勇 吴毛 周勤峰 郭杨

