

· 标准与指南 ·

2023 版《美国烧伤协会严重冻伤治疗临床实践指南》解读

孙林利 刘丽红 吴帆 张玲春 李武全

昆明医科大学第二附属医院烧伤科, 昆明 650101

通信作者: 李武全, Email: 43800188@qq.com

【摘要】 重度冻伤因其病理机制的复杂性和高截肢风险,不仅对患者的生理功能和心理健康造成深远影响,同时也给临床诊疗和护理工作带来严峻挑战。美国烧伤协会于 2023 年 4 月发布了《美国烧伤协会严重冻伤治疗临床实践指南》,该指南基于 PICO 原则(即研究对象、干预措施、对照方法、研究结果)和现有证据,对严重冻伤成人患者的治疗提供了循证推荐意见,包括快速复温、影像学检查、溶栓治疗及伊洛前列素的使用共 4 个主题的 7 个方面内容。为借鉴和推广该指南,本文重点对该指南进行解读,以期为国内医护人员理解和应用该指南提供参考与帮助。

【关键词】 冻伤; 治疗; 临床实践; 指南解读

基金项目: 云南省教育厅科学基金项目(2024J0322)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250227-00174

Interpretation of the 2023 American Burn Association clinical practice guidelines on the treatment of severe frostbite

Sun Linli, Liu Lihong, Wu Fan, Zhang Lingchun, Li Wuquan

Department of Burns, the Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650101, China

Corresponding author: Li Wuquan, Email: 43800188@qq.com

【Abstract】 Severe frostbite, due to its complex pathological mechanism and high risk of amputation, not only has a profound impact on the physiological functions and mental health of patients, but also poses severe challenges to clinical diagnosis, treatment and nursing. The American Burn Association clinical practice guidelines on the treatment of severe frostbite were released in April 2023. The guideline, based on the PICO principle (i.e. population, intervention, comparison, outcomes of clinics) and existing evidence, provides evidence-based recommendations for the treatment of severe frostbite in adult patients. These recommendations cover four themes, including rapid rewarming, imaging examination, thrombolytic therapy and the use of iloprost. To draw lessons from and promote the application of this guideline, this article focuses on its interpretation, aiming to provide reference and assistance for domestic medical staff to understand and apply this guideline.

【Key words】 Frostbite; Treatment; Clinical practice; Interpretation of guideline

Fund program: Scientific Research Fund Project of Education Department of Yunnan Province of China (2024J0322)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250227-00174

冻伤是寒冷季节或从事低温下作业人员的常见急症,尤其是在寒区军事训练、作战及其他民用作业中更为多发,其中重度冻伤因病程长、治疗复杂、截肢率高^[1-2],给患者身心健康带来极大危害。此外,冻伤患者也是医院治疗资源的重大负担之一,与损伤严重程度类似的烧伤相比,冻伤导致的治疗成本和医疗资源利用率明显更高^[3]。

冻伤后的截肢率在文献中的报道较少,大多数研究都集中在冻伤患者刚入院或围手术期阶段^[4]。相关的研究数据显示,严重冻伤患者的截肢率在 20%~30%^[5-8],其中近 1/4 的冻伤患者需要对截肢进行再次手术干预^[8]。冻伤的病理生理学涉及缺血、炎症和凝血,因此需要多种医疗措施共同干预^[9]。

减少冻伤引起的缺血、炎症和凝血三重损伤,恢复血流以防止不可逆的组织灌注不足是治疗冻伤的主要目标,目前大多数治疗方法侧重于快速复温、溶栓治疗、持续抗凝、口服布洛芬、芦荟伤口护理以及减轻受伤肢体的压力或重量^[9-12]。而对受伤肢体的进一步治疗则多以影像学诊断或传统的观察等待创面临床分界为指导,然后再行手术干预。理想情况下,成功的冻伤治疗应能最大限度地保持肢体和组织的完整性,从而减少后遗症和降低截肢率。在冻伤损伤的救治过程中,秉持“时间就是组织”的理念至关重要,迅速识别冻伤症状、尽早复温治疗并及时将重症患者转送至专业医疗机构治疗,可最大限度减少组织坏死等严重并发症的发生^[3]。美国烧

伤协会于 2023 年发布了《美国烧伤协会严重冻伤治疗临床实践指南》(2023 版《指南》)^[3], 该指南为严重冻伤成人患者提供了相关治疗推荐意见, 为使临床医务人员更好地应用该指南, 现重点对该指南进行解读。

1 2023 版《指南》简介

临床实践指南是医学指南的一种, 针对医疗保健特定领域中的诊断、管理及治疗进行说明, 旨在提供医疗决策及准则推荐建议, 而这些建议的形成是基于系统评价证据的总结, 以及不同干预措施的利弊平衡和相应的资源经济学评估^[13]。美国烧伤协会组织具有冻伤治疗经验的临床医生和研究人员成立多学科合作团队, 并于 2022 年 3 月成立专家组, 通过专家会议讨论和共识提出与“严重冻伤成人患者治疗”主题相关的临床重要问题和定义, 采用 PICO 原则[即研究对象 (population, P), 干预措施 (intervention, I), 对照方法 (comparison, C), 研究结果 (outcomes of clinics, O)]提出 7 个具有临床重要性的问题进行文献检索, 检索数据库包括 Medline、Embase、Cochrane、CINAHL 以及美国国家医学图书馆等; 专家组遵循循证医学的基本原则对近 60 年文献资料进行系统性回顾和分析, 根据现有证据为严重冻伤成人患者 (年龄 ≥ 18 岁) 的治疗制定并于 2023 年 4 月发布了《指南》, 该指南为严重冻伤成人患者提供了相关治疗推荐意见, 内容涵盖快速复温、影像学检查、溶栓治疗及伊洛前列素的使用等。

2 核心概念界定

2.1 严重冻伤: 冻伤根据损伤范围分为 4 度, I 度: 仅累及表皮层, 可引起麻木和红斑, 有轻微的表皮脱落和轻度水肿; II 度: 损伤真皮层, 皮肤表面起水疱, 水疱内可见透明或乳白色液体, 周围有红斑和水肿; III 度: 损伤扩展到网状真皮内和真皮血管从下方, 产生出血性水疱; IV 度: 损伤贯穿真皮层, 并涉及相对无血管的皮下组织, 坏死延伸至肌肉和骨骼^[1, 3, 14]。其中 I ~ II 度为轻度冻伤, 对症治疗后可痊愈, 不遗留功能障碍; III ~ IV 度为重度冻伤, 常造成肢体严重损伤或坏死, 导致截肢, 是目前临床治疗的重点和难点^[1-2]。2023 版《指南》中提到的严重冻伤是指因大气降温导致四肢灌注不足, 该指南仅适用于年龄 ≥ 18 岁的严重冻伤成人患者, 不适用于导致孤立组织坏死的冷接触伤或急性冻伤。

2.2 快速复温: 快速、早期复温是最早治疗严重冻伤的方法之一, 并被广泛应用和推荐。2023 版

《指南》中将快速复温定义为使用温度为 38 ~ 42 °C 的温水循环或非循环水浴, 持续时间为 15 ~ 30 min。

2.3 溶栓治疗时间: 溶栓治疗时间是指从有记录或预估的复温开始时间到启动溶栓治疗的间隔时间, 包括快速复温和被动复温两种方式; 而从冻伤组织完成复温到启动溶栓治疗的间隔时间称为热缺血时间。2023 版《指南》将距复温完成时间 ≤ 12 h 使用溶栓剂称为早期溶栓治疗, 将 12 h $<$ 距复温完成时间 < 24 h 使用溶栓剂称为晚期溶栓治疗。

3 2023 版《指南》解读

2023 版《指南》专家组在 2022 年 5 月至 9 月通过多次线上会议讨论, 提出了与“严重冻伤成人患者治疗”主题相关的 7 个临床问题, 并将所有问题转化成 PICO 格式, 现将 7 个临床问题归纳为快速复温、影像学检查、溶栓治疗及伊洛前列素的使用共 4 个主题进行解读。

3.1 快速复温: 复温是冻伤系统化治疗的第一步, 也是至关重要的部分^[15], 复温方案在很大程度上决定了冻伤组织的最终治疗结果。目前临床常用的复温方法主要包括缓慢复温和快速复温, 缓慢复温历史悠久, 冻伤组织在就医过程中也容易形成缓慢复温过程, 但临床大多数研究表明缓慢复温弊大于利^[14-15]。国外大量临床研究表明, 与让肢体缓慢复温相比, 快速复温可显著减少组织坏死^[3, 16-18]。国内学者付金鑫等^[19]的动物冻伤模型研究也证实了冻伤后快速复温的优势。快速复温通常采取浸浴方式, 国内学者于家傲和高欣欣^[15]提出快速复温需要在专业的治疗机构进行, 整个过程在复温液体温度、复温顺序以及复温终止指征等方面的要求均极为严格; 快速复温液体温度需要被控制在 39 ~ 42 °C, 持续 15 ~ 30 min, 这与 2023 版《指南》中快速复温的定义基本一致; 且大量研究证实这个温度对冻伤组织造成的损伤最小^[3, 15]。

2023 版《指南》建议, 有条件的情况下应考虑快速复温, 复温液体温度应控制在 38 ~ 42 °C, 持续时间为 15 ~ 30 min; 在快速复温过程中应谨慎复温温度控制不当而造成的额外热损伤, 从而避免肢体面临再次冻伤的风险。此外, 在冻伤或三级护理中心进行评估和最终治疗前, 还应考虑不要延长由此导致的热缺血时间。对于冻伤患者, 尤其是合并有低体温的大面积严重冻伤患者, 复温适应证的判断、复温方式的选择、复温潜在风险的预判以及应急措施的把控是复温过程的关键环节。

3.2 影像学检查：随着成像技术及医学影像学的不断进步，数字 X 线摄影、CT、磁共振成像及超声成像等医学影像学技术在评估烧伤伤情中发挥了重要作用^[20]。然而，有关冻伤影像学方面的研究报道较少见。2023 版《指南》将影像学检查用于评估溶栓治疗时机和指导手术干预，以评价影像学检查对截肢时机、截肢平面及截肢数量的影响。

3.2.1 评估溶栓治疗时机：国外学者 Gonzaga 等^[21]对 62 例经动脉溶栓治疗严重冻伤患者的回顾性研究发现，血管造影可识别冻伤部位的血管解剖和组织血流灌注情况，为确定截肢平面提供了参考。2023 版《指南》专家组基于大量文献系统回顾影像学检查对严重冻伤患者溶栓治疗时机的影响，部分文献报道影像学检查存在检查结果出现假阳性的风险，可能导致患者接受溶栓治疗而引发潜在并发症，也可能出现假阴性检查结果而引起因溶栓治疗不及时导致肢体截肢^[3]；此外，影像学检查还可能延长冻伤肢体的热缺血时间^[16, 22-23]。基于证据不足，2023 版《指南》不推荐使用影像学检查来评估溶栓治疗时机。

3.2.2 指导手术干预：冻伤的手术干预，如清创和截肢，通常会推迟几个月，以便让组织分界。然而，延迟手术会导致住院时间延长，感染风险增加，疼痛治疗时间延长，并增加医疗成本。国外学者 McCarthy 等^[24]研究发现，影像学检查中的高光谱成像技术可比临床检查更早检测出永久性损伤组织的氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的变化，并能显著区分急性期浅Ⅱ度、深Ⅱ度与Ⅲ度烧伤区域血氧饱和度的差异性，可在烧伤早期辅助判断是否需进行手术干预，以减少患者的痛苦，改善预后。本课题组成员前期在对《2019 版荒野医学协会冻伤预防和治疗实践指南》的解读中提出，可以使用影像学检查来评估冻伤组织的存活能力，并指导截肢时机和截肢平面^[1]。

Cauchy 等^[25]评估了严重冻伤后 2 d 和 8 d 进行骨扫描的效果，结果显示，骨相放射性示踪剂摄取与最终截肢平面相关的敏感度 (0.65)、特异度 (0.99) 和阳性预测值 (0.92) 都很高；在严重冻伤后 8 d 进行第二次扫描时预测值会提高，因为第一次扫描中血流灌注不良的区域会在第二次扫描中有所进展。Lacey 等^[22]关于微血管造影术 (microangiography, MA) 联合静脉吲哚菁绿荧光与骨扫描在确定截肢平面的相关性研究显示，骨扫描与截肢平面存在中

度相关性，而 MA 与截肢平面呈显著正相关。有学者研究了单光子发射计算机断层成像 (singlephoton emission computed tomography, SPECT)/CT 的使用，这种模式将骨显像与 CT 图像融合，创造出更优化的解剖细节，可用于区分存活组织。2023 版《指南》中的一项回顾性研究证据显示，截肢平面与 SPECT/CT 检查对组织存活水平的预测结果相符，没有患者在截肢术后需要再次手术干预^[26]。基于证据不足，2023 版《指南》对使用影像学检查来指导冻伤后截肢时机、截肢平面及截肢数量无推荐意见。

3.3 溶栓治疗：冻伤溶栓治疗的目的是溶解和清除微血管血栓形成，对于可能有严重并发症的严重冻伤，血管重建术和解冻 24 h 内使用静脉或动脉内组织型纤溶酶原激活物 (tissue-type plasminogen activator, t-PA) 可以挽救有血栓风险的组织^[1]。相关研究结果显示，溶栓治疗每延迟 1 h，抢救成功率会降低 28%^[1-2, 27]。

3.3.1 溶栓剂的应用：2023 版《指南》专家组回顾溶栓药物治疗严重肢体冻伤的相关文献，其中国外学者 Cauchy 等^[28]研究发现，在静脉注射 t-PA 的基础上使用伊洛前列素患者的截肢率为 19%，而对照组为 60%。Patel 等^[29]研究表明，动脉内溶栓治疗可有效降低严重冻伤患者的截肢率和缩短住院时间。Rogers 等^[16]的回顾性研究结果显示，快速复温作为冻伤的初始治疗方式较为常见，但它与患者的保肢率无关，早期溶栓治疗对提高保肢率有积极作用。使用溶栓剂的一个局限性是担心出血并发症，严重冻伤患者在接受溶栓治疗后出现出血并发症的发生率不详，Murphy 等^[30]对 100 余例患者进行 t-PA 治疗的研究结果显示，8.4% 的患者在 24 h 内出现出血并发症，需要改变治疗方法或进行干预（如输血）；静脉注射和动脉注射 t-PA 治疗的并发症发生率分别为 2.7% 和 3.7%。目前国内大多数学者对严重冻伤患者溶栓治疗效果持肯定态度^[31-34]。

总体而言，溶栓治疗对严重冻伤患者的抢救效果有改善趋势，具体表现在截肢率更低和截肢平面降低，这取决于所用的评分系统或结果衡量标准。2023 版《指南》建议，在有条件的情况下，对符合溶栓治疗要求的严重冻伤患者可使用溶栓剂，以降低冻伤肢体截肢率和截肢平面。2023 版《指南》强调溶栓治疗的禁忌证包括：妊娠、严重的创伤并发症、近期手术、10 d 内大出血史或 3 个月内颅内出血史；相对禁忌证包括：中度创伤并发症、多次冻融循环

和长时间热缺血。溶栓治疗的不良后遗症发生率低，在挽救肢体或手指的情况下应考虑使用。

3.3.2 溶栓治疗时机：回顾现有文献，大多数研究中心都将溶栓最佳治疗时间设定在 12~24 h。Cauchy 等^[28]的随机临床试验结果显示，在 12 h 内接受伊洛前列素联合 t-PA 治疗的患者截肢率为 1.4%，而在 12 h 后接受治疗的患者截肢率为 20%。Nygaard 等^[27]的回顾性研究表明，缺血时间每延长 1 h，冻伤患者的保肢率就会下降 28.1%。Carmichael 等^[23]在转诊中心启动 t-PA 以缩短转院患者热缺血时间的结果显示，转院前接受溶栓治疗的患者截肢率较低。总体而言，缩短热缺血时间更有利于组织抢救和降低截肢率，具体表现在截肢平面降低和截肢数量减少。

国内学者张金龙等^[2]对经导管动脉溶栓治疗严重冻伤的综述结果显示，严重冻伤溶栓治疗的最佳时间窗是接触致冻伤后 24 h 内，冻伤超过 48 h 不是溶栓的最适宜指征。2023 版《指南》建议，在复温后尽早开始溶栓治疗可降低截肢平面并减少截肢数量。然而基于证据不足，2023 版《指南》对开始溶栓治疗的具体时间窗无推荐意见。

3.3.3 溶栓治疗途径：溶栓治疗的重点是减少复温后重新灌注所造成的损伤，溶栓剂是治疗严重冻伤的关键药物。对于冻伤，溶栓剂有动脉注射和静脉注射两种用药途径。国内外多项对溶栓治疗用药途径的研究结果显示，无论溶栓剂的给药途径如何，严重冻伤患者的保肢率都超过 70%^[9, 32-33, 35]。但目前尚无法确定动脉注射还是静脉注射溶栓剂治疗效果更好，需要进一步进行对照研究，以确定哪种给药途径更有优势；而静脉注射溶栓剂可减少医疗资源负担，并能同时治疗多个肢体，其他需要考虑的因素包括：每种给药途径在可能处于精神疾病或药物戒断期的患者中的安全性以及治疗成本。

2023 版《指南》对溶栓剂的用药途径选择无推荐意见，目前尚无研究证实使用动脉溶栓治疗还是静脉溶栓治疗更有利于降低截肢平面并减少截肢数量等问题。

3.4 伊洛前列素的使用：伊洛前列素是一种前列环素类似物，是组织胺拮抗剂，具有舒张血管的作用并有抗炎效应，单用或联合溶栓治疗可降低截肢率，被推荐作为治疗严重冻伤的一线选择药物^[2]。对于严重冻伤后 72 h 内禁忌使用 t-PA 或输注 t-PA 有危险的患者，应考虑仅静脉注射伊洛前列素^[1]。

Cauchy 等^[28]对静脉输注伊洛前列素组、静脉注射前列地尔组、静脉输注伊洛前列素联合 t-PA 组进行对照研究的结果显示，总体预测截肢率为 11.5%，其中仅使用伊洛前列素组截肢率为 0，伊洛前列素联合 t-PA 组截肢率为 3.1%，前列地尔组截肢率为 39.6%。Poole 等^[17]纳入 22 例在 72 h 内就诊的 II~IV 度冻伤患者，所有患者均静脉注射伊洛前列素，其中 IV 度冻伤患者还静脉注射了 t-PA，结果显示，II 度或 III 度冻伤患者均无截肢，总体保肢率为 79.6%，而 IV 度冻伤患者的保肢率仅为 50%。基于现有文献报道，2023 版《指南》无法确定使用伊洛前列素与溶栓剂联合使用是否有益，对伊洛前列素单用或联合溶栓治疗无推荐意见。

4 未来研究方向

2023 版《指南》提供了严重冻伤成人患者治疗的循证治疗建议，强调将严重冻伤患者尽早转诊至综合性烧伤诊疗中心，以筛查是否符合使用溶栓剂的条件，并加快最终治疗。冻伤治疗面临的主要挑战包括以下几方面：公众对冻伤防治知识缺乏；患者因忽视症状而延误就医；临床对冻伤严重程度的分级判断困难；重症冻伤患者向烧伤专科转诊的时效性不足；以及溶栓治疗在冻伤救治中的禁忌证。2023 版《指南》建议，在已有课程设置中加入最新冻伤治疗知识，并开展多中心冻伤治疗继续教育工作，以改善冻伤患者较少的医疗中心医务人员的冻伤治疗水平。

专家组在制订 2023 版《指南》的同时也对严重冻伤治疗未来的研究方向提出了展望，进一步确定了未来研究的几个关键领域：① 开发一种合适的严重冻伤的临床前大气冷冻模型以模拟人体冻伤中观察到的病理生理学特征；② 对辅助疗法和辅助疗法加溶栓治疗进行深入地比较研究；③ 开展评估不同热缺血时间对溶栓效果影响的大规模研究；④ 进行动脉注射与静脉注射溶栓剂疗效和安全性的比较研究；⑤ 开展评估包括局部用药和长期抗凝在内的支持性疗法的影响研究；⑥ 比较静脉注射伊洛前列素联合溶栓剂与单独使用溶栓剂的疗效研究；⑦ 评估延迟成像在指导早期手术治疗方面的效果；⑧ 评估接受与未接受溶栓治疗患者的长期预后。

5 总结与展望

2023 版《指南》主要面向为严重冻伤患者提供治疗与护理的急诊和重症监护病房的急救人员及烧伤科医护人员，主要关注严重冻伤患者院内治疗

的部分内容,也为接受治疗的严重冻伤患者提供参考依据,对指导临床实践具有重要意义。该指南以循证医学为基础,基于对现有证据的系统性回顾和评估,解决了特定的 PICO 问题,为严重冻伤成人患者的治疗提供了循证推荐意见,并指出存在的不足及未来研究重点。虽然 2023 版《指南》中附有大量证据来源及推荐意见,却并未对推荐意见的证据质量和推荐等级进行分级,若能对此进行改进将更有利医务人员选择使用,为冻伤患者的治疗提供更多益处。我国虽已有关于冻伤治疗的相关文献报道,但尚无关于严重冻伤治疗的临床实践指南,由于医疗资源、文化背景及社会经济等方面差异,2023 版《指南》中影像学检查的应用及溶栓治疗途径等部分内容是否适用于我国国情还有待考量。我国学者可借鉴 2023 版《指南》,结合我国国情制订国内严重冻伤治疗临床实践指南,以便优化临床治疗方案,进一步减轻冻伤患者的痛苦和治疗成本,改善患者就医体验。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 孙林利,刘文军,桂婧娥,等.2019 版《荒野医学协会冻伤预防和治疗实践指南》解读 [J].中华烧伤杂志,2020,36(7):631-635. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20191216-00459.
- [2] 张金龙,付金鑫,袁凯,等.经导管动脉溶栓治疗严重冻伤的研究进展 [J].中华烧伤杂志,2019,35(1):74-76. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2019.01.015.
- [3] Wibbenmeyer L, Lacey AM, Endorf FW, et al. American Burn Association clinical practice guidelines on the treatment of severe frostbite [J]. J Burn Care Res, 2024, 45 (3): 541-556. DOI: 10.1093/jbcr/irab022.
- [4] Regli IB, Strapazzon G, Falla M, et al. Long-term sequelae of frostbite: a scoping review [J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18 (18): 9655. DOI: 10.3390/ijerph18189655.
- [5] Endorf FW, Nygaard RM. Social determinants of poor outcomes following frostbite injury: a study of the national inpatient sample [J]. J Burn Care Res, 2021, 42 (6): 1261-1265. DOI: 10.1093/jbcr/irab115.
- [6] Endorf FW, Nygaard RM. High cost and resource utilization of frostbite readmissions in the United States [J]. J Burn Care Res, 2021, 42 (5): 857-864. DOI: 10.1093/jbcr/irab076.
- [7] Endorf FW, Nygaard RM. Socioeconomic and comorbid factors associated with frostbite injury in the United States [J]. J Burn Care Res, 2022, 43 (3): 646-651. DOI: 10.1093/jbcr/irab162.
- [8] Coward A, Endorf FW, Nygaard RM. Revision surgery following severe frostbite injury compared to similar hand and foot burns [J]. J Burn Care Res, 2022, 43 (5): 1015-1018. DOI: 10.1093/jbcr/irac082.
- [9] Lee J, Higgins MCSS. What interventional radiologists need to know about managing severe frostbite: a Meta-analysis of thrombolytic therapy [J]. AJR Am J Roentgenol, 2020, 214 (4): 930-937. DOI: 10.2214/AJR.19.21592.
- [10] Hickey S, Whitson A, Jones L, et al. Guidelines for thrombolytic therapy for frostbite [J]. J Burn Care Res, 2020, 41 (1): 176-183. DOI: 10.1093/jbcr/irz148.
- [11] Lacey AM, Rogers C, Endorf FW, et al. An institutional protocol for the treatment of severe frostbite injury: a 6-year retrospective analysis [J]. J Burn Care Res, 2021, 42 (4): 817-820. DOI: 10.1093/jbcr/irab008.
- [12] Lindford A, Valtonen J, Hult M, et al. The evolution of the Helsinki frostbite management protocol [J]. Burns, 2017, 43 (7): 1455-1463. DOI: 10.1016/j.burns.2017.04.016.
- [13] Institute of Medicine (US) Committee on Standards for Developing Trustworthy Clinical Practice Guidelines. Clinical practice guidelines we can trust [M]. Washington (DC): National Academies Press (US), 2011.
- [14] McIntosh SE, Freer L, Grissom CK, et al. Wilderness Medical Society clinical practice guidelines for the prevention and treatment of frostbite: 2024 update [J]. Wilderness Environ Med, 2024, 35 (2): 183-197. DOI: 10.1177/10806032231222359.
- [15] 于家傲,高欣欣.冻伤与烧伤的小同与大异 [J].中华烧伤杂志,2020,36(1):9-13. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2020.01.003.
- [16] Rogers C, Lacey AM, Endorf FW, et al. The effects of rapid rewarming on tissue salvage in severe frostbite injury [J]. J Burn Care Res, 2022, 43 (4): 906-911. DOI: 10.1093/jbcr/irab218.
- [17] Poole A, Gauthier J, MacLennan M. Management of severe frostbite with iloprost, alteplase and heparin: a Yukon case series [J]. CMAJ Open, 2021, 9 (2): E585-E591. DOI: 10.9778/cmajo.20200214.
- [18] Purkayastha SS, Bhaumik G, Chauhan SK, et al. Immediate treatment of frostbite using rapid rewarming in tea decoction followed by combined therapy of pentoxifylline, aspirin & vitamin C [J]. Indian J Med Res, 2002, 116: 29-34.
- [19] 付金鑫,段峰,张金龙,等.新西兰白兔严重冻伤模型实验观察 [J].介入放射学杂志,2022,31(10):982-987. DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2022.10.010.
- [20] 尚柳彤,王肖,李瑞欣,等.成像技术在烧伤伤情评估中的应用研究进展 [J].中华烧伤与创面修复杂志,2024,40(8):796-800. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20231012-00112.
- [21] Gonzaga T, Jenabzadeh K, Anderson CP, et al. Use of intra-arterial thrombolytic therapy for acute treatment of frostbite in 62 patients with review of thrombolytic therapy in frostbite [J]. J Burn Care Res, 2016, 37 (4): e323-e334. DOI: 10.1097/BCR.0000000000000245.
- [22] Lacey AM, Fey RM, Gayken JR, et al. Microangiography: an alternative tool for assessing severe frostbite injury [J]. J Burn Care Res, 2019, 40 (5): 566-569. DOI: 10.1093/jbcr/irz112.
- [23] Carmichael H, Michel S, Smith TM, et al. Remote delivery of thrombolytics prior to transfer to a regional burn center for tissue salvage in frostbite: a single-center experience of 199 patients [J]. J Burn Care Res, 2022, 43 (1): 54-60. DOI: 10.1093/jbcr/irab041.
- [24] McCarthy M, Prete VI, Oh S, et al. The use of visible-light hyperspectral imaging in evaluating burn wounds: a case report [J]. J Burn Care Res, 2021, 42 (4): 825-828. DOI: 10.1093/jbcr/irab003.
- [25] Cauchy E, Chetaille E, Lefevre M, et al. The role of bone scanning in severe frostbite of the extremities: a retrospective study of 88 cases [J]. Eur J Nucl Med, 2000, 27 (5): 497-502. DOI: 10.1007/s002590050534.
- [26] Kraft C, Millet JD, Agarwal S, et al. SPECT/CT in the evaluation of frostbite [J]. J Burn Care Res, 2017, 38 (1): e227-e234. DOI: 10.1097/BCR.0000000000000359.
- [27] Nygaard RM, Lacey AM, Lemere A, et al. Time matters in severe frostbite: assessment of limb/digit salvage on the individual patient level [J]. J Burn Care Res, 2017, 38 (1): 53-59. DOI: 10.1097/BCR.0000000000000426.
- [28] Cauchy E, Cheguillaume B, Chetaille E. A controlled trial of a prostacyclin and rt-PA in the treatment of severe frostbite [J]. N Engl J Med, 2011, 364 (2): 189-190. DOI: 10.1056/NEJM1000538.
- [29] Patel N, Srinivasa DR, Srinivasa RN, et al. Intra-arterial thrombolysis for extremity frostbite decreases digital amputation rates and hospital length of stay [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2017, 40 (12): 1824-1831. DOI: 10.1007/s00270-017-1729-7.
- [30] Murphy J, Endorf FW, Winters MK, et al. Bleeding complications in patients with severe frostbite injury [J]. J Burn Care Res, 2023, 44 (4): 745-750. DOI: 10.1093/jbcr/irac180.
- [31] 苏海涛,阚侃,屠华雷,等.介入治疗在四肢严重冻结性冷伤的临床应用效果及安全性分析 [J].黑龙江医学,2024,48(4):389-391. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5775.2024.04.001.
- [32] 张修航,于家傲.冻伤的溶栓治疗方案能够提高指骨挽救率 [J].中华烧伤与创面修复杂志,2022,38(6):548. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2022.06.103.
- [33] 付金鑫.经导管动脉溶栓治疗严重冻伤的实验研究 [D].北京:解放军医学院,2019. DOI: 10.27637/d.cnki.gjyjc.2019.000076.
- [34] 薛乾隆,金小乐,王慧,等.经导管动脉溶栓治疗冻伤对患者末梢循环及血浆血栓素 B2 与 6-酮-前列腺素 F1 α 影响 [J].临床军医杂志,2022,50(6):624-626,629. DOI: 10.16680/j.1671-3826.2022.06.21.
- [35] Drinane J, Kotamarti VS, O'Connor C, et al. Thrombolytic salvage of threatened frostbitten extremities and digits: a systematic review [J]. J Burn Care Res, 2019, 40 (5): 541-549. DOI: 10.1093/jbcr/irz097.

(收稿日期:2025-02-27)

(本文编辑:保健媛 马英)