

·综述·

烧伤创面深度诊断技术的研究进展

刘一嘉¹ 吴鹏² 安纲² 方秋¹ 郑佳¹ 王一兵²

¹山东中医药大学第一临床医学院, 济南 250061; ²山东第一医科大学第一附属医院(山东省千佛山医院)整形外科, 济南市组织工程皮肤再生与创面修复临床医学研究中心, 济南 250014

通信作者: 王一兵, Email: wyb0616@163.com

【摘要】 烧伤创面深度的准确诊断对评估烧伤患者病情的预后尤为重要, 以往对于烧伤创面深度的诊断常依赖医师的主观判断, 随着诊断技术的不断发展, 烧伤创面深度的判定手段也获得了更新。该文主要汇总了吲哚菁绿血管造影、激光多普勒成像、激光散斑衬比成像和人工智能等技术在烧伤创面深度诊断中的应用研究进展, 并比较这些技术的优点与不足, 为烧伤创面深度的精确诊断提供思路。

【关键词】 烧伤; 诊断; 人工智能; 创面深度; 吲哚菁绿血管造影; 激光多普勒成像; 激光散斑衬比成像

基金项目: 山东省重点研发计划(2019GSF108128); 山东省自然科学基金重大基础研究项目(ZR2019ZD38)

Research advances on the techniques for diagnosing burn wound depth

Liu Yijia¹, Wu Peng², An Gang², Fang Qiu¹, Zheng Jia¹, Wang Yibing²

¹The First Clinical Medical College, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250061, China; ²Department of Plastic Surgery, the First Affiliated Hospital (Shandong Provincial Qianfoshan Hospital), Shandong First Medical University, Jinan Clinical Medicine Research Center for Tissue Engineering Skin Regeneration and Wound Repair, Jinan 250014, China

Corresponding author: Wang Yibing, Email: wyb0616@163.com

【Abstract】 The accurate diagnosis of burn wound depth is particularly important for evaluating the disease prognosis of burn patients. In the past, the diagnosis of burn wound depth often relied on the subjective judgment of doctors. With the continuous development of diagnostic technology, the methods for judging the depth of burn wound have also been updated. This paper mainly summarizes the research progress in the applications of indocyanine green angiography, laser Doppler imaging, laser speckle contrast imaging, and artificial

intelligence in the diagnosis of burn wound depth, and compares the advantages and disadvantages of these techniques, so as to provide ideas for accurate diagnosis of burn wound depth.

【Key words】 Burns; Diagnosis; Artificial intelligence; Wound depth; Indocyanine green angiography; Laser Doppler imaging; Laser speckle contrast imaging

Fund program: Key Research and Development Program of Shandong Province of China (2019GSF108128); Major Basic Research Project of Shandong Provincial Natural Science Foundation of China (ZR2019ZD38)

烧伤的基本治疗原则是尽快修复损伤的创面, 重建皮肤并恢复其功能。传统上确定烧伤创面深度的方法是通过临床检查或医师视觉评估和主观判断, 国内外最常用的烧伤创面分度方法是三度四分法。对于 I 度和 III 度烧伤创面, 医师可根据其红斑、焦痂等临床特征进行区分; 然而对浅 II 度和深 II 度烧伤创面的区分则稍有难度, 这可能是由于 II 度烧伤创面具有随时间及早期处置方式不同而发生动态变化的特性^[1]。此外, 对于烧伤面积较大的烧伤患者来说, 其烧伤创面深度往往也是不均匀的, 这进一步增加了准确诊断烧伤创面深度的难度。目前, 组织病理学观察仍是临床诊断烧伤创面深度的“金标准”, Arthur M. Kahn 等最早提出将该方法应用于烧伤创面深度的诊断, 但采用该方法观察到的创面面积范围小, 病理诊断时间长且会加重原有创面损伤等, 因此该方法在临床上未能被普遍应用。

在对烧伤患者的救治中, 医师需要早期准确判断烧伤创面深度并制订正确的治疗方案, 倘若高估了烧伤创面深度, 可能会导致不必要的手术创伤并延长住院时间; 而低估了烧伤创面深度, 则可能会因延误治疗而引发增生性瘢痕等^[2]。目前临床上已经出现了许多诊断烧伤创面深度的技术, 这些技术旨在准确判断烧伤创面的严重性以及手术实施的可行性。本文主要总结吲哚菁绿血管造影(indocyanine green

DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20210518-00195

本文引用格式: 刘一嘉, 吴鹏, 安纲, 等. 烧伤创面深度诊断技术的研究进展[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2022, 38(5): 481-485. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20210518-00195.

Liu YJ, Wu P, An G, et al. Research advances on the techniques for diagnosing burn wound depth[J]. Chin J Burns Wounds, 2022, 38(5): 481-485. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20210518-00195.



angiography, ICGA)、激光多普勒成像(laser Doppler imaging, LDI)、激光散斑对比成像(laser speckle contract imaging, LSCI)、人工智能等技术在烧伤创面深度诊断中的应用研究进展,并比较这些技术的优势与局限性,以便烧伤科医师在临床实践中选择更合适的诊断方法。

1 ICGA 技术

1.1 ICGA 技术简介

吲哚菁绿是一种优良的体内组织穿透剂和荧光造影剂,具有红外吸收和发射特性。当吲哚菁绿被注射进入人体静脉血管后,在红外激光的照射下,可发出荧光使血管显影。激光诱导的 ICGA 技术将近红外光作为激发光源,由高速摄影或实时摄像捕捉得到血流动态图,以衡量组织血流灌注情况。

1.2 ICGA 技术的应用及其优点与不足

1992 年,Green 等^[3]最早建立大鼠烧伤模型来评估采用 ICGA 技术是否能区分烧伤创面深度,结果显示在大鼠烧伤后的 1 周内,ICGA 技术能够明确区分部分皮肤烧伤和全层皮肤烧伤。基于动物实验得出的结果,Sheridan 等^[4]采用 ICGA 技术来判断成年烧伤患者创面深度,结果显示 ICGA 识别了 6 个部分皮肤烧伤创面和 1 个全层皮肤烧伤创面,还测得了注射吲哚菁绿染料后最佳的成像时间为 5 min。Wongkietkachorn 等^[5]对 30 例烧伤患者进行了一项前瞻性、多中心、三盲的试验性研究,该组患者烧伤创面集中于手部、面部和下肢等处,其面积大小不一且未确定深度。在该研究中,先由 1 名整形外科主治医师主观评估创面深度,然后由另 1 名整形外科医师对创面进行 ICGA 分析,最后由 2 名专业检验人员对创面进行组织病理学观察得出病理检查结果,研究期间操作医师和患者彼此对操作过程及结果毫不知情。该研究结果表明,与组织病理学观察相比,ICGA 技术诊断烧伤创面深度的准确率、敏感度和特异度均为 100.0%;与 ICGA 技术相比,临床医师主观评估判断烧伤创面深度的准确率为 50.0%、敏感度为 33.3%、特异度为 66.7%。由此可见,采用 ICGA 技术诊断烧伤创面深度的准确率明显高于临床医师主观评估,而且在诸如面部、手掌或脚底等特殊区域同样适用。

ICGA 是造影速度快且不良反应较小的技术,注射吲哚菁绿后约几秒钟就能出现显影并持续约 5 min;当吲哚菁绿经静脉进入人体后,会与血浆蛋白里的白蛋白相结合,随着血液循环到达全身各个血管内,然后被肝细胞摄取,再以游离形式进入胆汁,经胆道入肠,最后随粪便排出体外,且排泄速度较快^[6]。采用 ICGA 技术诊断烧伤创面深度的准确率较高、毒性较小,在患者床边就可以进行操作。但是吲哚菁绿具有易自凝、水溶性差等不足,造影穿透力有限,因此 ICGA 常常无法显示深部血管影像^[7-8];而且注射造影剂是一种有创操作,可能会增加损伤部位并发感染的概率。因此在注射 ICGA 的造影剂后应及时对伤口进行消毒换药处理,防止发生感染等并发症。同时,在临床具体应用 ICGA 时也要注意

调控荧光剂的剂量,避免因剂量过大造成过敏和休克等不良反应。

2 LDI 技术

2.1 LDI 技术简介

奥地利物理学家 Christian Johann Doppler 于 1842 年首先发现多普勒效应,即由于波源与观察者间的相对运动而导致观察者测得的波频率与波源频率不同。基于同样的原理,当激光遇到移动物体时会发生多普勒频移。LDI 的原理:低输出功率的激光束扫描皮肤或其他组织表面,探测组织微血管中的血细胞移动情况后,探测器接受反射的光波并以彩色编码的图片形式成像,从而体现组织间的血流灌注分布情况。烧伤皮肤由于受热力作用,其局部血流动力学发生变化,浅度烧伤区域的血液流动相对较快,而深度烧伤区域的血液流动则较慢,因此可以采用 LDI 技术来区分浅度和深度烧伤^[9]。

2.2 LDI 技术的应用及其优点与不足

1993 年,Z. B. M. Niaizi 等首次采用 LDI 技术无接触式地扫描烧伤患者创面,通过收集整个烧伤创面的血流灌注图像来评估其深度。后来 Hoeksema 等^[10]应用 LDI 技术扫描得出烧伤创面图像后,通过计算图像中的血流灌注值来判断创面深度及血供情况。Jan 等^[11]则选取了 34 例烧伤患者明确深度的 92 个创面,伤后 3~5 d 通过 LDI 技术评估并计算整个创面的平均血流灌注值来判断创面深度,与此同时,由 1 位资深的烧伤外科医师进行临床主观评估。该研究结果显示,临床医师主观评估正确识别了 75 个创面的深度,准确率为 81.52%、敏感度为 81%、特异度为 82%、阳性预测值为 93%、阴性预测值为 59%;而 LDI 正确识别了 83 个创面的深度,准确率达 90.21%、敏感度达 92.75%、特异度为 82%、阳性预测值达 94%、阴性预测值达 79%。由此可见,采用 LDI 技术诊断烧伤创面深度的准确率明显高于临床医师主观评估,可以将该技术作为烧伤创面深度诊断中协助临床医师主观评估的可靠方案。

LDI 技术的优点在于它是一种非侵入性的物理测量方法,这弥补了 ICGA 技术有创操作的不足。采用 LDI 技术可以较为精确地扫描较大面积的烧伤区域,而且可以客观地评估创面愈合潜力,从而有助于医师决定是否对创面进行手术切除或移植治疗^[12]。但是 LDI 技术的扫描速度较应用 ICGA 技术慢,根据扫描区域和分辨率的不同,每次扫描需 1~2 min;操作过程中要求患者保持静止不动,否则会有运动伪影造成评估偏差^[13-14]。当患者合并有贫血、蜂窝织炎或周围血管疾病时,采用 LDI 技术测量的血流图往往会不清晰^[15]。此外,在使用 LDI 技术评估面部烧伤患者创面深度时,患者需要佩戴护眼设备,因为在扫描过程中可能存在损伤视网膜的风险^[16]。尽管有报道称采用 LDI 技术诊断烧伤创面深度的准确率已经超过 95%,明显高于临床医师主观评估的准确率,但是目前 LDI 技术仍未在临床烧伤创面深度诊断中被广泛使用,这可能是由以下原因所致:(1)购买 LDI 仪成本和后期维修费用较高。(2)受限于使用 LDI 技术时社会医疗保险报

销比例不足。(3)很多临床医师对使用 LDI 的科学依据不了解或持怀疑态度等,更倾向于临床主观评估^[17]。

3 LSCI 技术

3.1 LSCI 技术简介

LSCI 技术和 LDI 技术原理类似,二者都是利用反射光在皮肤散射的原理测量血管管径、血管密度、血液流速和血流灌注的成像技术,其区别在于 LSCI 是通过测量组织表面的静态散斑图样的波动来生成血流图像,以此估计空间或时间域中血流速度的变化^[18-19],对血液微循环进行实时成像。

3.2 LSCI 的应用及其优点与不足

20 世纪 90 年代,Ajay Sadhwani 首次利用聚四氟乙烯建立的模型模拟浅度与深度烧伤创面,并采用 LSCI 技术进行了测定。Crouzet 等^[20]在 9 只大鼠背部制成不同深度的 20 mm×10 mm 烧伤创面,采用 LSCI 技术采集创面血流灌注值,结果显示 LSCI 技术最快能在伤后 3 h 内评估烧伤创面的严重程度并区分烧伤创面深度。Zheng 等^[21]进行了一项单中心前瞻性观察性队列研究,他们利用 LDI 技术和 LSCI 技术评估 14 例烧伤患者面积平均为 5.5%TBSA 的 50 个烧伤创面,结果显示在成像时间方面,LDI 需 2.5 min,而 LSCI 仅需 10 s;此外,LSCI 技术在预测创面愈合时间方面优于 LDI 技术。

LSCI 技术与 LDI 技术的相同点在于测量目标一致,而且其准确率均能在损伤后的第 3 天达到 95%,不同点在于,LSCI 技术解决了 LDI 技术应用中因身体微动造成的运动伪影问题,显著提高了图像的清晰度^[22-23]。然而 LSCI 技术测量的准确性与时间有关,在烧伤发生后的 48~72 h 准确率最高,而 48 h 之前的准确率充满不确定性^[24]。因此,对于烧伤发生后超过 48 h 才前来就医的患者,且其烧伤面积比较大时,应尽量选用 LSCI 技术。特别是针对成批就诊的烧伤患者,可以利用 LSCI 技术来快速评估患者治疗方式及预后。尽管 LSCI 技术在诊断烧伤创面深度方面较 LDI 技术有很大的优势,但诸如生物敷料和文身颜料等因素会影响散斑成像的物理特性,使光线被吸收、散射和反射,进而增加 LSCI 诊断的不确定性^[25-27]。因此,采用 LSCI 技术评估烧伤创面深度的准确性还需在临床实践中进一步验证。早期的 LSCI 仪器庞大且携带不便,最近有研究者开发出一种近似平板电脑大小的便携式 LSCI 仪,应用该设备可以非常灵活地实施术中血流情况监测或床边病情诊断^[28]。

4 人工智能

人工智能指的是一门利用计算机来模拟、延伸和甚至超过人类的思维和行为的技术,涉及计算机科学、生物学、神经科学、语言学等众多学科领域。随着信息技术的快速发展,人工智能技术越来越成为人们关注的焦点,逐渐被运用到医疗行业的各个领域。机器学习技术作为人工智能的核心,在医学影像方面具有巨大潜力,该技术以数据驱动方式分析任务,并从特定问题的大数据集中自动学习相关模型特征和数据特征,是实现人工智能的必要手段^[29]。而深度学习是机

器学习的一种,其起源于人工智能神经网络,并与图像识别、语言处理和语音识别相结合,是人工智能机器学习研究中的一个新领域。近年来,随着深度学习的发展,人工智能技术在处理医学图像方面取得了突破性进展^[30],目前已可以对医学图像进行变换、分割、特征提取、分类和目标检测等。

卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)是近年来新发展的一种有效的机器学习方法,由美国斯坦福大学的研究者建立,属于深度学习的范畴,目前已被成功应用于图像识别、语音分析等领域中^[31]。CNN 在图像处理方面明显优于其他网络,其在皮肤疾病诊断及影像学诊断方面的准确率高于低年资专科临床医师^[32]。Cirillo 等^[33]选取了 23 幅儿科患者的烧伤图像,建立了最佳 CNN 模型 ResNet-101 来学习、识别和分类原始图像,结果显示,该模型能够在几秒钟内对 4 种类型的烧伤创面深度进行分类,其平均准确率为 91%、特异度为 94%、敏感度为 74.35%,但是该模型无法准确预测组织结构较厚的脚底、手掌以及血管分布密度不同的面部等部位的烧伤创面深度。何志友等^[32]采用 CNN 中的 ResNet-50 构建人工智能烧伤创面深度识别模型,利用该模型较准确地区分了浅 II 度与 III 度烧伤,其识别烧伤创面深度的精确率达到 84%。Wang 等^[34]采集了 484 张患者烧伤后 48 h 内的创面图像,然后也选择了 CNN 中 ResNet-50 深度学习模型识别其烧伤深度,结果显示该模型对 3 种不同烧伤程度的识别准确率均>80%。

由此可见,人工智能中 CNN 模型能够快速准确地判断烧伤患者的创面深度,在临床中展现出良好的专业性和创新性。尽管人工智能在医疗的各个领域中发挥着巨大的潜力,但是人工智能替代不了医师诊断疾病。临床医师也应该提高自己的医疗水平,避免对人工智能的过度依赖。

5 其他诊断烧伤创面深度的技术

目前,临床上还有其他用于诊断烧伤创面深度的技术。Pan 等^[35]采用纸基 ELISA 法分别检测浅 II 度烧伤患者创面水疱液、深 II 度烧伤患者创面水疱液、健康人血清中血管生成素水平,结果显示深 II 度烧伤创面水疱液中血管生成素水平显著高于浅 II 度烧伤创面,浅 II 度烧伤创面水疱液中血管生成素水平高于健康人血清,提示可通过检测水疱液中血管生成素水平辅助判断创面深度,但是具体血管生成素临界值尚待明确。Owda 等^[36]研究显示,可以用辐射测量法中的发射率值来区分大鼠正常皮肤和不同烧伤深度的创面。该技术能在几秒钟内确定烧伤的严重程度,若测量出低发射率则表明创面可能存在渗出、感染和难以愈合的情况;而测量出高发射率则表明烧伤创面深度较深,可能已经达到深 II、III 度烧伤。而且辐射测量法不受因敷料覆盖而产生偏差的影响,可弥补 LSCI 技术在这方面的不足,可将其作为一种非接触技术用于监测敷料下烧伤创面的愈合状态。

6 小结与展望

综上所述,与仅凭低年资医师的临床经验来判断烧伤创

面深度相比,不断兴起的烧伤创面深度诊断技术在预测创面深度的准确性方面更具优势。这些技术弥补了低年资医师临床经验的不足,可以辅助他们进行烧伤创面深度诊断,进而更早预见创面的结局,避免发生感染等其他更严重的并发症。

尽管这些诊断技术与医师主观判断相比准确率较高,但也不应忽视首诊医师的作用,无论选用何种技术,都需要经验丰富的临床医师预先评估患者创面情况,然后再根据患者的具体情况去选择针对性强的检测方法。如遇面积较小的烧伤且受伤部位在手掌、脚掌和面部等特殊部位时,可以选择 ICGA 技术;对于 48 h 后才就诊的大面积烧伤患者,可选择 LSCI 技术以更好判断血管微循环情况。在过去 10 年里,LDI 技术的安全性和准确性在烧伤创面深度的临床研究中已获得国内外公认,但是有关应用 ICGA、LSCI 和人工智能等技术诊断烧伤创面深度的临床研究仍较少,尚有待进一步研究。此外,对于判定烧伤创面深度的最佳客观诊断指标,国内外学术界尚且没有形成统一共识,需要在临床广泛应用过程中,更加深入地对各种诊断技术进行研究和评估。随着更多研究烧伤创面深度技术的兴起,比较不同技术单独或联合使用的准确率、敏感度或特异度等客观指标,将是未来诊断研究的重点。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Xue EY, Chandler LK, Viviano SL, et al. Use of FLIR ONE smartphone thermography in burn wound assessment[J]. *Ann Plast Surg*, 2018, 80(4 Suppl 4): S236-238. DOI: 10.1097/SAP.0000000000001363.
- [2] Promny D, Billner M, Reichert B. Objektive tiefenbestimmung von verbrennungen der hand[J]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2019, 51(5):362-366. DOI:10.1055/a-0991-7869.
- [3] Green HA, Bua D, Anderson RR, et al. Burn depth estimation using indocyanine green fluorescence[J]. *Arch Dermatol*, 1992, 128(1):43-49.
- [4] Sheridan RL, Schomaker KT, Lucchina LC, et al. Burn depth estimation by use of indocyanine green fluorescence: initial human trial[J]. *J Burn Care Rehabil*, 1995, 16(6): 602-604. DOI: 10.1097/00004630-199511000-00007.
- [5] Wongkietkachorn A, Surakunprapha P, Winaikosol K, et al. Indocyanine green dye angiography as an adjunct to assess indeterminate burn wounds: a prospective, multicentered, triple-blinded study[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 86(5): 823-828. DOI:10.1097/TA.0000000000002179.
- [6] Majlesara A, Golriz M, Hafezi M, et al. Indocyanine green fluorescence imaging in hepatobiliary surgery[J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2017, 17: 208-215. DOI: 10.1016/j. pdpdt. 2016. 12.005.
- [7] Hu Q, Wang K, Qiu L. 6-Aminocaproic acid as a linker to improve near-infrared fluorescence imaging and photothermal cancer therapy of PEGylated indocyanine green[J]. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2021, 197: 111372. DOI: 10.1016/j. colsurf. 2020. 111372.
- [8] 谢小明. 吡啶菁绿荧光血管造影在颅内动脉瘤手术中的应用[D]. 长沙:中南大学, 2014.
- [9] 纪晓峰. 烧伤创面深度的诊断技术和方法[J]. *继续医学教育*, 2007, 21(13):15-20. DOI:10.3969/j.issn.1004-6763.2007.13.003.
- [10] Hoeksema H, Van de Sijpe K, Tondou T, et al. Accuracy of early burn depth assessment by laser Doppler imaging on different days post burn[J]. *Burns*, 2009, 35(1): 36-45. DOI: 10.1016/j. burns.2008.08.011.
- [11] Jan SN, Khan FA, Bashir MM, et al. Comparison of Laser Doppler Imaging (LDI) and clinical assessment in differentiating between superficial and deep partial thickness burn wounds[J]. *Burns*, 2018, 44(2):405-413. DOI:10.1016/j.burns.2017.08.020.
- [12] Asif M, Chin AGM, Lagziel T, et al. The added benefit of combining Laser Doppler Imaging with clinical evaluation in determining the need for excision of indeterminate-depth burn wounds[J]. *Cureus*, 2020, 12(6):e8774. DOI:10.7759/cureus.8774.
- [13] Claes K, Hoeksema H, Vyncke T, et al. Evidence based burn depth assessment using laser-based technologies: where do we stand? [J]. *J Burn Care Res*, 2021, 42(3): 513-525. DOI: 10.1093/jbcr/iraa195.
- [14] Hoeksema H, Baker RD, Holland AJ, et al. A new, fast LDI for assessment of burns: a multi-centre clinical evaluation[J]. *Burns*, 2014, 40(7):1274-1282. DOI:10.1016/j.burns.2014.04.024.
- [15] Kaiser M, Yafi A, Cinat M, et al. Noninvasive assessment of burn wound severity using optical technology: a review of current and future modalities[J]. *Burns*, 2011, 37(3): 377-386. DOI: 10.1016/j. burns.2010.11.012.
- [16] Charuvila S, Singh M, Collins D, et al. A comparative evaluation of spectrophotometric intracutaneous analysis and laser Doppler imaging in the assessment of adult and paediatric burn injuries [J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2018, 71(7): 1015-1022. DOI: 10.1016/j. bjps.2018.03.014.
- [17] Claes KEY, Hoeksema H, Robbens C, et al. The LDI enigma, part I: so much proof, so little use[J]. *Burns*, 2021, 47(8): 1783-1792. DOI:10.1016/j.burns.2021.01.014.
- [18] Ponticorvo A, Burmeister DM, Rowland R, et al. Quantitative long-term measurements of burns in a rat model using Spatial Frequency Domain Imaging (SFDI) and Laser Speckle Imaging (LSI) [J]. *Lasers Surg Med*, 2017, 49(3): 293-304. DOI: 10.1002/ lsm.22647.
- [19] Hong J, Wang Y, Chen X, et al. Fluctuations of temporal contrast in laser speckle imaging of blood flow[J]. *Opt Lett*, 2018, 43(21): 5214-5217. DOI:10.1364/OL.43.005214.
- [20] Crouzet C, Nguyen JQ, Ponticorvo A, et al. Acute discrimination between superficial-partial and deep-partial thickness burns in a preclinical model with laser speckle imaging[J]. *Burns*, 2015, 41(5):1058-1063. DOI:10.1016/j.burns.2014.11.018.
- [21] Zheng KJ, Middelkoop E, Stoop M, et al. Validity of laser speckle contrast imaging for the prediction of burn wound healing potential[J]. *Burns*, 2022, 48(2): 319-327. DOI: 10.1016/j. burns. 2021.04.028.
- [22] 粘永健, 陈志强, 薛冬冬, 等. 烧伤深度诊断技术研究进展[J]. *中华烧伤杂志*, 2016, 32(11): 698-701. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1009-2587.2016.11.014.
- [23] Mirdell R, Farnebo S, Sjöberg F, et al. Accuracy of laser speckle contrast imaging in the assessment of pediatric scald wounds[J]. *Burns*, 2018, 44(1):90-98. DOI:10.1016/j.burns.2017.06.010.
- [24] Mirdell R, Farnebo S, Sjöberg F, et al. Interobserver reliability of laser speckle contrast imaging in the assessment of burns[J]. *Burns*, 2019, 45(6):1325-1335. DOI:10.1016/j.burns.2019.01.011.
- [25] Briers D, Duncan DD, Hirst E, et al. Laser speckle contrast imaging: theoretical and practical limitations[J]. *J Biomed Opt*, 2013, 18(6):066018. DOI:10.1117/1. JBO.18.6.066018.
- [26] Lindahl F, Tesselar E, Sjöberg F. Assessing paediatric scald

- injuries using Laser Speckle Contrast Imaging[J]. Burns, 2013, 39(4):662-666. DOI:10.1016/j.burns.2012.09.018.
- [27] Krezdorn N, Limbourg A, Paprottka FJ, et al. Assessing burn depth in tattooed burn lesions with LASCA imaging[J]. Ann Burns Fire Disasters, 2016, 29(3):223-227.
- [28] Chen H, Miao P, Bo B, et al. A prototype system of portable laser speckle imager based on embedded graphics processing unit platform[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2019, 2019: 3919-3922. DOI:10.1109/EMBC.2019.8857273.
- [29] 贲驰, 李海航, 刘彤, 等. 人工智能技术辅助烧伤深度诊断的研究进展[J]. 中华烧伤杂志, 2020, 36(3):244-246. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20190403-00162.
- [30] Wang G, Li W, Zuluaga MA, et al. Interactive medical image segmentation using deep learning with image-specific fine tuning [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2018, 37(7): 1562-1573. DOI: 10.1109/TMI.2018.2791721.
- [31] 圣文顺, 孙艳文. 卷积神经网络在图像识别中的应用[J]. 软件工程, 2019, 22(2): 13-16. DOI: 10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2019.02.004.
- [32] 何志友, 王元, 张丕红, 等. 基于卷积神经网络的人工智能烧伤深度识别模型的建立及测试效果[J]. 中华烧伤杂志, 2020, 36(11): 1070-1074. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20190926-00385.
- [33] Cirillo MD, Mirdell R, Sjöberg F, et al. Time-independent prediction of burn depth using deep convolutional neural networks[J]. J Burn Care Res, 2019, 40(6):857-863. DOI:10.1093/jbcr/irz103.
- [34] Wang Y, Ke Z, He Z, et al. Real-time burn depth assessment using artificial networks: a large-scale, multicentre study[J]. Burns, 2020, 46(8):1829-1838. DOI:10.1016/j.burns.2020.07.010.
- [35] Pan SC, Tsai YH, Chuang CC, et al. Preliminary assessment of burn depth by paper-based ELISA for the detection of angiogenin in burn blister fluid—a proof of concept[J]. Diagnostics (Basel), 2020, 10(3):127. DOI:10.3390/diagnostics10030127.
- [36] Owda AY, Salmon N, Shylo S, et al. Assessment of bandaged burn wounds using porcine skin and millimetric radiometry[J]. Sensors (Basel), 2019, 19(13):2950. DOI:10.3390/s19132950.

(收稿日期: 2021-05-18)

· 科技快讯 ·

严重烧伤并发早期急性肾损伤的临床特征和危险因素

引用格式: Chen B, Zhao J, Zhang Z, et al. Clinical characteristics and risk factors for severe burns complicated by early acute kidney injury[J]. Burns, 2020, 46(5):1100-1106. DOI: 10.1016/j.burns.2019.11.018.

早期急性肾损伤(AKI)是严重烧伤患者常见的致命并发症。尽管近年来在液体复苏、重症监护和肾替代治疗(RRT)技术方面取得了显著进展,但严重烧伤AKI患者的发病率和病死率仍然相当高。作者对危重烧伤患者进行3年的单中心回顾性研究。纳入年龄在18岁以上、烧伤总面积 $\geq 30\%$ TBSA的患者,观察到早期AKI的发生率与烧伤总面积、Ⅲ度烧伤面积、入院时简明烧伤严重指数(ABSI)、吸入性损伤、机械通气、心血管并发症和横纹肌溶解有关。多元logistic回归分析显示,烧伤总面积(比值比=0.224, $P=0.007$)、Ⅲ度烧伤面积(比值比=0.254, $P=0.014$)、ABSI(比值比=18.326, $P=0.009$)、横纹肌溶解(比值比=24.036, $P=0.000$)是发生早期AKI的独立危险因素。影响早期AKI严重程度的重要因素包括Ⅲ度烧伤、电烧伤和横纹肌溶解,Ⅲ度烧伤面积(比值比=1.437, $P=0.041$)和横纹肌溶解(比值比=5.401, $P=0.035$)也与患者病死率相关。在Cox模型中,经烧伤总面积、Ⅲ度烧伤面积、ABSI和横纹肌溶解校正后,AKI发生的死亡风险为5.407。死亡的3例患者均为AKI 3期,占AKI患者的8.3%(3/36)。接受和未接受早期RRT的3期AKI患者的病死率分别为33.3%和66.7%。该文结论:横纹肌溶解是危重烧伤患者发生早期AKI的独立危险因素,与烧伤严重程度密切相关;重度烧伤患者早期AKI发生率较高,但多为轻度;早期充分的液体复苏,及时有效的焦痂切开减张术,可降低横纹肌溶解的发生率和严重程度,多数可达到较好的预后。

李江锋, 编译自《Burns》, 2020, 46(5):1100-1106; 郇京宁, 审校