

热成像技术在皮肤损伤患者创面评估中的应用

仲骏, 薛燕

(复旦大学附属中山医院 护理部, 上海 200032)

各类急慢性创伤,如烧伤、压力性损伤、糖尿病溃疡等都会对患者造成严重的身体伤害和经济负担^[1-2],如何提高创面愈合水平一直是临床关注的重点问题。准确评估创面状态,正确区分创面类型,有助于医务人员明确创面愈合潜力、选择合适护理产品、指导进一步治疗干预。温度评估是创面评估的重要部分,其结果能够反应创面血管灌注情况、炎症反应以及肌肉活动情况,但目前临床主要由评估者直接触摸创面或周围皮肤,主观感受皮肤温度,其准确性受评估者自身专业水平的影响。热成像技术是一种无创的测温技术,能够根据不同部位之间的皮肤温度差异来指示或估计局部血流状态并提供客观温度数据,国外文献^[3-5]报道热成像技术已被运用于多种急慢性创面的评估。本文就热成像技术在各类皮肤损伤患者创面评估的临床应用进行综述。

1 热成像技术评估皮肤损伤的原理

所有高于绝对零度(-273℃)的物体都会发出红外辐射并可以通过热成像仪测量。皮肤是控制温度的功能性器官,局部皮肤温度升高表明血液灌注或血管化增强,可反映代谢活动或炎症的变化,而肌肉活动减少或灌注不良可能导致皮肤表面温度减低^[6]。热成像仪的工作原理是使用光电设备来测量辐射,并在辐射和表面温度之间建立相互联系,即将红外热辐射转换成相应的电信号,然后经过放大和视频处理,形成可供肉眼观察的视频图像^[7-8]。热成像仪不与被测物体接触便可检测出红外波长频谱中的热图案。据此,通过热成像仪可以直接测得损伤后皮肤表面的温度值,进而评估损伤部位皮肤血管生成、炎性渗出以及其他特征。此外,由于人体皮肤发射红外辐射的方式类似于一个近乎完美的黑体,皮肤吸收几乎所有的入射热辐射,但却几乎不反射,因此皮肤表面红外热成像(skin surface infrared thermography, SSIT)特别适合于温度测量^[9-10]。

2 热成像技术的临床应用

2.1 压力性损伤

压力性损伤(pressure injury, PI)是指由于压力或压力联合剪切力导致的皮肤和/或皮下组织的局部损伤,也可能与医疗设备或其他物体损伤有关,通常发生在骨隆突处^[11]。目前在压力性损伤护理过程中,评估高危患者压力性损伤发生风险以及已发生压力性损伤患者创面愈合潜力仍然是难点^[12-14]。对压力性损伤的研究有, Bilaska等^[15]在一项随机对照研究中采用不同方法护理Ⅲ期和Ⅳ期压力性损伤,并使用热成像仪评估早期创面愈合情况,干预组给予压力性损伤敷料和激光治疗,对照组仅给予敷料治疗,分别在治疗开始、治疗后2周、治疗后4周进行热成像评估,结果发现,愈合良好的创面早期高温段的区域比例较高,该研究提示局部温度升高可能是压力性损伤创面早期愈合的征象。Cai等^[16]在一项研究中比较了使用热成像仪和Braden量表预测压力性损伤发生的效果,该研究对成人重症监护病房415例患者进行了为期10d的皮肤表面温度监测,同时采用Braden风险评估量表评估压力性损伤风险,结果显示,患者尾部相对温度(尾部与周围皮肤温度差值)与压力性损伤风险呈负相关,且受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)下面积(area under the curve, AUC)高于使用Braden量表(AUC: 0.83 vs 0.70)。Koerner等^[17]在一项研究中使用红外热成像仪对重症监护病房患者进行深部组织压力性损伤(deep-tissue pressure injury, DTPI)风险区域的评估,并根据测温结果开展干预措施,研究发现,将早期的热成像异常结果与DTPI预防措施相结合,可以显著降低皮肤损伤发生率。Aloweni等^[18]在一项横断面研究中纳入了Ⅰ期压力性损伤或怀疑DTPI但皮肤完整的患者以及皮肤完好的住院患者,在压力性损伤发生的24h内,采用红外热成像仪监测皮肤温度。结果发现皮肤损伤组患者损伤部位皮肤温度(31.14±1.54)℃高于周围皮肤表面温度(28.93±3.47)℃,而皮肤完好组尾部周围皮肤温度无统计学差异,该研究指出,采用床旁热成像技术测量皮肤温度,有助于临床对Ⅰ至Ⅲ期压力性损伤患者的诊断,但对于Ⅳ期损伤患者则需要其他的

【收稿日期】 2022-11-24 【修回日期】 2023-10-11
【基金项目】 2021 复旦大学“双一流”建设重点项目(IDF400003),上海市“医苑新星”青年医学人才培养资助计划(沪卫人事[2022]65号)
【作者简介】 仲骏,硕士,主管护师,电话:021-64041990
【通信作者】 薛燕,电话:021-64041990

方法辅助评估。以上研究表明,利用红外热成像技术能够区分压力性损伤和正常皮肤,并在一定程度上指导护士给与预防性的皮肤护理措施。由于压力性损伤的发生和进展受到许多因素影响,单纯依靠皮肤测温结果尚无法对压力性损伤的发生和预后进行准确预测,但今后可尝试将创面温度与各类评估量表结合,以提高评估的准确性。

2.2 烧伤 近年来,热成像技术在烧伤患者创面管理中广泛应用,尤其可精准评估烧伤创面的深度。烧伤后由于不同深度的皮肤组织具有不同的自愈能力以及继续恶化的风险,早期创面深度评估对烧伤的分类和后续正确实施干预措施至关重要^[19]。Singer等^[20]在一项研究中利用红外热成像技术早期鉴别烧伤创面的深度,该研究纳入了39例烧伤患者,并在烧伤后48h监测患者皮肤表面温度,研究者将“深度烧伤”定义为组织镜检下全层皮肤损伤或21d创面仍不愈合。结果发现,烧伤后48h,非深度烧伤创面的平均温度从 $(30.6 \pm 2.7)^\circ\text{C}$ 增加到 $(32.1 \pm 3.0)^\circ\text{C}$,深度烧伤创面的平均温度从 $(32.3 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ 降至 $(30.8 \pm 1.3)^\circ\text{C}$ 。用创面温度变化判断烧伤深度,准确性明显高于临床主观评估(AUC:87.2% vs 54.1%)。该研究提示,使用热成像预测烧伤创面的深度比医护人员的主观评估更精确,还可准确评估手术时机,并减少不必要的手术。Hardwicke等^[21]在一项研究中纳入了11例烧伤患者,记录患者皮肤热成像的图像信息。这些图像集中拍摄于烧伤后的42h至5d之间,与完整皮肤相比,全层烧伤和深部烧伤患者的创面皮肤温度显著降低,而浅度烧伤的皮肤温度与完整皮肤相比则无统计学差异。其中,全层烧伤比正常皮肤温度低 2.38°C ;深度烧伤比正常皮肤温度低 1.28°C ;浅度烧伤的创面温度仅比正常皮肤温度低 0.18°C ,该研究也证实了通过热成像可以鉴别烧伤深度。Klama-Baryla等^[22]采用热成像技术对21例烧伤患者早期创面及自体移植物的再生情况进行评估,结果显示,由热成像评估的烧伤程度与外科医生识别的烧伤程度结果存在显著差异,热成像评估结果更加精确。该研究还发现,在皮瓣移植后,愈合良好的皮肤存在暂时性温度升高,范围为 $(1.21 \sim 3.1)^\circ\text{C}$,并经过CT血管造影证实,温度升高是由于毛细血管生成,而随着瘢痕组织的不断生长,表面温度逐渐下降。还有研究在收集大量的热成像监测数据的基础上,通过模型构建,客观、定量的评估创面是否会在3周内自愈,以及是否需要手术治疗,为临床干预提供了指导^[23]。

创面外观、毛细血管再充盈以及烧伤创面对触摸和针刺的敏感性是最常用的主观评估烧伤深度的

方法,但据估计,其临床评估的准确率仅为64%~76%^[24]。组织学分析是目前创面评估的金标准,但其评估范围有限,且侵入性的活检会增加患者痛苦,甚至在某些情况下可能会导致额外的创伤并加重疤痕^[7,25]。烧伤会对皮肤造成血管损伤,出现皮肤血液灌注下降,皮肤表面温度异常,上述研究均表明,通过红外成像仪测量烧伤创面的温度变化可以精准评估烧伤的深度。但要注意若创面结痂则无法通过热成像技术准确记录痂下组织实际温度。

2.3 辐射相关皮肤损伤 造成辐射相关皮肤损伤(radiation skin injury,RSI)的主要原因有核辐射事故、肿瘤放疗和职业照射^[26-28]。尤其在肿瘤放疗患者中,RSI的发生率逐年升高。据统计,有近85%~95%的肿瘤患者因放疗而出现不同程度的皮肤损伤^[28]。由放化疗导致的黏膜炎在组织学上是一种强烈的炎症反应,且不同的患者在相同治疗方案下可能出现不同程度皮肤黏膜的损伤。由于缺乏有效的早期创面评估手段,部分患者只有在发生严重的黏膜损伤时才引起重视,此时只能提供支持干预甚至被迫中断放疗方案^[29-30]。目前,通过热成像技术可以在发生严重辐射相关皮肤损伤早期识别高风险人群。Cohen等^[31]开展了一项观察性研究,目的是验证发生严重皮肤黏膜损伤的患者是否在放疗早期就表现出黏膜表面温度的变化,该研究共纳入了34例采用相同的放化疗方案治疗的口咽癌患者,使用热成像仪在化疗前和化疗后的每周测量口腔黏膜表面温度,结果发现早期黏膜温度升高与黏膜炎严重程度分级呈正相关,该研究提示,热成像能够早期检测到皮肤表面温度微小变化,且与放化疗患者的黏膜炎的进展有关。Zhu等^[32]在一项研究中纳入了41例单侧乳腺癌切除术后放疗的患者,每周对双侧锁骨上测温区域的四个测温点进行红外热成像测温,比较两侧平均温度和最高温度的差异。结果发现,与基线相比,放疗期间观测部位的皮肤平均温度和最高温度均随着治疗时间的增加不断升高,放疗第2周的皮肤最高温度和温度变化值与后期皮炎严重程度呈显著正相关,研究提示放疗期间通过热成像技术随访皮肤温度可客观评价并预测辐射相关皮肤损伤的严重程度。上述研究提示,热成像技术在辐射相关皮肤损伤预测和评估中的具有特定优势,建议在今后护理工作中,将皮肤温度监测纳入放化疗患者皮肤损伤风险评估体系中,以早期识别高危人群并开展早期干预。

2.4 其他皮肤损伤 除上述研究外,热成像技术还在其他类型皮肤损伤评估中有所应用。Siah等^[33]人使用红外热成像技术对60例造口闭合术患者的

创面进行评估,研究发现,所有患者创面表面温度在术后的1~4 d均上升,但发生创面感染的患者,表面温度显著低于非感染的患者。该研究提示,早期皮肤表面温度偏低是患者创面感染的早期征象,分析是由于创面渗出增加和毛细血管生成不良。冻伤是一种以皮肤和皮下组织冻结为特征的疾病,导致周围微血管系统的损伤,早期诊断和治疗对患者预后十分重要。Jones等^[34]利用便携式红外热成像仪,在温度可控的模拟高海拔环境中测量了暴露于常压缺氧状态时手部表面温度的变化。该研究在一系列预定的缺氧水平下,评估了10名健康男性的左手和右手四个解剖位置的皮肤表面温度,热成像分析显示,随着吸入氧浓度的降低,手部解剖区域的周边温度整体下降。该研究提示,便携式红外热像仪可以用于检测暴露于常压缺氧环境下外周体表温度的降低。局限性硬皮病(localized scleroderma, LoS)是一种以局限性皮肤及皮下组织纤维化为特征的疾病,临床上常用局限性硬皮病皮肤评估工具(localized scleroderma cutaneous assessment tool, LoSCAT)评估LoS的疾病分期。Ranosz-Janicka等^[35]在一项研究中评价了LoSCAT评分与红外热成像的评估LoS病变严重程度之间的相关性,2名检查者独立使用LoSCAT量表和热成像仪检查局限性硬皮病变,在红斑、皮肤厚度、真皮萎缩和皮下萎缩得分最高的病灶处使用热成像仪测量皮肤平均温度(average temperature, Tavg),同时测量对侧健康皮肤温度,并计算Tavg的差异(ΔT_{avg})。结果发现热成像检测皮肤炎症的敏感度和特异度分别为80.7%和86.3%,且 ΔT_{avg} 与红斑、皮肤萎缩的评分呈显著正相关。目前,热成像技术在其他皮肤损伤护理中的应用报道较少,应用场景主要应用集中在评估是否发生损伤以及损伤严重程度。较传统的评估方法,热成像技术能够提高评估的准确性,但目前还缺乏通过热成像结果直接指导皮肤损伤护理实践的报道。

3 小结

热成像技术能够以客观、无创的方式,快速评估创面的严重程度、愈合潜力以及干预措施的有效性,并且由于光学分析提供了视觉和触觉评估无法检测到的结构、功能及血流动力学信息,进而提高了评估的准确性^[7]。目前,热成像技术在皮肤护理领域有了较好的发展,尤其是烧伤和辐射相关皮肤损伤方面,能够为临床干预提供客观依据。但由于目前热成像仪测温操作缺乏统一标准,对于成像的质量、成像范围、仪器性能、不同部位测温点的选择,不同研究间存在较大差异,也无法评价是否已消除影响测

温结果的各种因素。在未来发展方面,通过连续温度测量可以进一步提升评估准确性,对于大量的热成像图像,则可通过人工智能技术进一步分析,且部分热成像仪器也已经具备视频分析功能,在评估局部皮肤血管反应性等方面将发挥更大的作用。此外,应建立不同创面热成像评估的标准化流程,并进一步开展相关研究,将热成像技术与现有皮肤评估工具结合,进一步提升创面评估的准确性。

【关键词】 热成像;皮肤损伤;创面;评估;综述

doi:10.3969/j.issn.2097-1826.2023.11.025

【中图分类号】 R473.75 【文献标识码】 A

【文章编号】 2097-1826(2023)11-0105-04

【参考文献】

- [1] 仇铁英,黄金.慢性伤口治疗研究进展[J].中国老年学杂志,2015(12):3454-3456.
- [2] OLSSON M, JÄRBRINK K, DIVAKAR U, et al. The humanistic and economic burden of chronic wounds: a systematic review[J]. Wound Repair Regen, 2019, 27(1): 114-125.
- [3] LI S, MOHAMED A H, SENKOWSKY J, et al. Imaging in chronic wound diagnostics[J]. Adv Wound Care (New Rochelle), 2020, 9(5): 245-263.
- [4] YE H, DE S. Thermal injury of skin and subcutaneous tissues: a review of experimental approaches and numerical models[J]. Burns, 2017, 43(5): 909-932.
- [5] VERGILIO M M, GOMES G, AIELLO L M, et al. Evaluation of skin using infrared thermal imaging for dermatology and aesthetic applications[J]. J Cosmet Dermatol, 2022, 21(3): 895-904.
- [6] WU Y, NIEUWENHOFF M D, HUYGEN F J, et al. Characterizing human skin blood flow regulation in response to different local skin temperature perturbations[J]. Microvasc Res, 2017(111): 96-102.
- [7] PAUL D W, GHASSEMI P, RAMELLA-ROMAN J C, et al. Noninvasive imaging technologies for cutaneous wound assessment: a review[J]. Wound Repair Regen, 2015, 23(2): 149-162.
- [8] SEN C K, GHATAK S, GNYAWALI S C, et al. Cutaneous imaging technologies in acute burn and chronic wound care[J]. Plast Reconstr Surg, 2016, 138(3 Suppl): 119S-128S.
- [9] RING E F, AMMER K. Infrared thermal imaging in medicine[J]. Physiol Meas, 2012, 33(3): R33-R46.
- [10] USAMENTIAGA R, VENEGAS P, GUEREDIAGA J, et al. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing[J]. Sensors (Basel), 2014, 14(7): 12305-12348.
- [11] 王梅洁, 李建萍. 医疗器械相关性压力性损伤的研究进展[J]. 解放军护理杂志, 2020, 37(7): 62-65.
- [12] 缪苗, 张培培, 徐鑫, 等. 难免性压力性损伤发生及鉴别评估的研究进展[J]. 中国实用护理杂志, 2023, 39(21): 1671-1675.
- [13] 张琪, 吕小英, 周庆, 等. 表皮下水分扫描仪在压力性损伤中的应用研究进展[J]. 解放军护理杂志, 2021, 38(12): 76-78.
- [14] HUANG C, MA Y, WANG C, et al. Predictive validity of the Braden scale for pressure injury risk assessment in adults: a systematic review and meta-analysis[J]. Nurs Open, 2021, 8(5): 2194-2207.

[15] BILSKA A, STANGRET A, PYZLAK M, et al. Skin surface infrared thermography in pressure ulcer outcome prognosis[J]. *J Wound Care*, 2020, 29(12): 707-718.

[16] CAI F, JIANG X, HOU X, et al. Application of infrared thermography in the early warning of pressure injury: A prospective observational study[J]. *J Clin Nurs*, 2021, 30(3-4): 559-571.

[17] KOERNER S, ADAMS D, HARPER S L, et al. Use of thermal imaging to identify deep-tissue pressure injury on admission reduces clinical and financial burdens of hospital-acquired pressure injuries[J]. *Adv Skin Wound Care*, 2019, 32(7): 312-320.

[18] ALLOWENI F A B, ANG S Y, CHANG Y Y, et al. Evaluation of infrared technology to detect category I and suspected deep tissue injury in hospitalised patients[J]. *J Wound Care*, 2019, 28(Sup12): S9-S16.

[19] WEARN C, LEE K C, HARDWICKE J, et al. Prospective comparative evaluation study of laser doppler imaging and thermal imaging in the assessment of burn depth[J]. *Burns*, 2018, 44(1): 124-133.

[20] SINGER A J, RELAN P, BETO L, et al. Infrared thermal imaging has the potential to reduce unnecessary surgery and delays to necessary surgery in burn patients[J]. *J Burn Care Res*, 2016, 37(6): 350-355.

[21] HARDWICKE J, THOMSON R, BAMFORD A, et al. A pilot evaluation study of high resolution digital thermal imaging in the assessment of burn depth[J]. *Burns*, 2013, 39(1): 76-81.

[22] KLAMA-BARYLA A, KITALA D, LABU Ś W, et al. Infrared thermal imaging as a method of improving skin graft qualification procedure and skin graft survivability[J]. *Transplant Proc*, 2020, 52(7): 2223-2230.

[23] RUMI ŃSKI J, KACZMAREK M, RENKIELSKA A, et al. Thermal parametric imaging in the evaluation of skin burn depth[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2007, 54(2): 303-312.

[24] JASKILLE A D, RAMELLA-ROMAN J C, SHUPP J W, et al. Critical review of burn depth assessment techniques: part II. review of laser doppler technology[J]. *J Burn Care Res*, 2010, 31(1): 151-157.

[25] JASKILLE A D, SHUPP J W, JORDAN M H, et al. Critical review of burn depth assessment techniques: part I. historical review[J]. *J Burn Care Res*, 2009, 30(6): 937-947.

[26] 王霁, 华羽晨, 裴忠玲, 等. 自黏性软聚硅酮薄膜敷料和医用防护涂剂预防乳腺癌放射治疗患者皮肤损伤的效果分析[J]. *解放军护理杂志*, 2018, 35(19): 69-71.

[27] SINGH M, ALAVI A, WONG R, et al. Radiodermatitis: a review of our current understanding[J]. *Am J Clin Dermatol*, 2016, 17(3): 277-292.

[28] YANG X, REN H, GUO X, et al. Radiation-induced skin injury: pathogenesis, treatment, and management[J]. *Aging (Albany NY)*, 2020, 12(22): 23379-23393.

[29] BRAND R M, EPPERLY M W, STOTTLEMYER J M, et al. A topical mitochondria-targeted redoxcycling nitroxide mitigates oxidative stress-induced skin damage[J]. *J Invest Dermatol*, 2017, 137(3): 576-586.

[30] NYSTEDT K E, HILL J E, MITCHELL A M, et al. The standardization of radiation skin care in British Columbia: a collaborative approach[J]. *Oncol Nurs Forum*, 2005, 32(6): 1199-1205.

[31] COHEN E E, AHMED O, KOCHERGINSKY M, et al. Study of functional infrared imaging for early detection of mucositis in locally advanced head and neck cancer treated with chemoradiotherapy[J]. *Oral Oncol*, 2013, 49(10): 1025-1031.

[32] ZHU W, JIA L, CHEN G, et al. Relationships between the changes of skin temperature and radiation skin injury[J]. *Int J Hyperthermia*, 2019, 36(1): 1160-1167.

[33] SIAH C R, CHILDS C, CHIA C K, et al. An observational study of temperature and thermal images of surgical wounds for detecting delayed wound healing within four days after surgery[J]. *J Clin Nurs*, 2019, 28(11-12): 2285-2295.

[34] JONES D, COVINS S F, MILLER G E, et al. Infrared thermographic analysis of surface temperature of the hands during exposure to normobaric hypoxia[J]. *High Alt Med Biol*, 2018, 19(4): 388-393.

[35] RANOSZ-JANICKA I, LI Ś-SWIETY A, SKRZYPEK-SALAMON A, et al. Detecting and quantifying activity/inflammation in localized scleroderma with thermal imaging[J]. *Skin Res Technol*, 2019, 25(2): 118-123.

(本文编辑:沈园园)

(上接第 82 页)

[34] 段丹. 铜砭刮痧治疗乳腺增生的临床疗效观察[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2018.

[35] 黄大智. 药刮法治疗瘀血阻滞型 KOA 临床疗效观察及对血清中 COMP 与 LEP 的影响[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2019.

[36] 张瑞. 中医蜡药对强直性脊柱炎患者 IL-17 的影响和临床疗效的观察[D]. 北京: 北京中医药大学, 2018.

[37] 张薇薇. 中药熏洗治疗化疗致周围神经毒性病变的临床研究[J]. *湖南中医药大学学报*, 2019, 39(12): 1517-1520.

[38] LIU Z, JIN M, LI Y, et al. Efficacy and safety of houttuynia eye drops atomization treatment for meibomian gland dysfunction-related dry eye disease: a randomized, double-blinded, placebo-controlled clinical trial[J/OL]. [2022-10-25]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33322753/>. DOI: 10.3390/jcm9124022.

[39] 瞿波. 基于“肠-肾轴”理论研究中药灌肠对 CKD 3~5 期非透析患者肠道机械屏障的影响及机制[D]. 成都: 成都中医药大学, 2021.

[40] 苏江涛, 周庆辉, 李锐, 等. 腕踝针对急性腰痛的特异性镇痛作用: 随机对照研究[J]. *中国针灸*, 2010, 30(8): 617-622.

[41] 王诗思. 揪针治疗肺气虚寒型变应性鼻炎的随机对照研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2019.

[42] 李永明. 针刺研究的困惑与假说(二): 从假说到循证针灸理论[J]. *中国中西医结合杂志*, 2019, 39(10): 1160-1165.

[43] HOWICK J, WEBSTER R K, REES J L, et al. TIDieR-Placebo: a guide and checklist for reporting placebo and sham controls[J/OL]. [2022-10-25]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32956344/>. doi: 10.1371/journal.pmed.1003294.

(本文编辑:刘于晶)