

红外热成像在神经病理性疼痛诊疗中的应用进展

彭 川 张静月 周华成[△]

(哈尔滨医科大学附属第四医院疼痛科, 哈尔滨 150001)

摘 要 红外热成像是一种无创测量和可视化红外辐射的功能成像技术, 已被证实可用于辅助诊断疼痛、肿瘤和炎症等疾病。神经病理性疼痛是疼痛科的常见疾病, 因缺乏精准、高效、客观的辅助检查工具, 在诊疗过程中面临许多难题。近年来, 研究报道红外热成像可通过客观地反映人体表温度的改变和分布特点在神经病理性疼痛的诊疗中发挥作用。随着研究的深入, 红外热成像将在神经病理性疼痛的诊疗中得到充分应用。本文就红外热成像在神经病理性疼痛诊疗中的应用进展作一综述。

关键词 红外热成像; 神经病理性疼痛; 辅助检查

神经病理性疼痛 (neuropathic pain, NP) 是指躯体感觉系统损害或疾病而导致的慢性疼痛, 临床上以自发痛、痛觉过敏、感觉异常和痛觉超敏为主要特征^[1]。流行病学显示, NP 的患病率高达 6.9%~10%^[2]。NP 病人常伴有抑郁情绪和睡眠障碍, 严重影响生活质量^[3]。诊断和疗效评价是 NP 诊疗中的两大难点。临床上诊断 NP 多依据病史、体格检查、评估表、神经电生理等辅助检查以及诊断性治疗, 缺乏精准、客观的诊断标准^[4]。而 NP 的疗效评价也采用视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分、睡眠质量评分等相对主观的指标, 不能客观、准确地评价疗效。近年来, 红外热成像 (infrared thermal imaging, ITI) 逐渐成熟, 为 NP 的诊疗提供了新的思路。ITI 不仅能够通过热像图精准客观地显示人体表温度的改变和分布特点来辅助诊断各种常见的 NP, 而且可以通过人体热对称性的恢复情况来评价疗效。本文综述 ITI 在几种常见 NP 诊疗过程中的应用情况, 为临床更好评定和治疗 NP 提供参考。

一、ITI 的概述

ITI 应用于医学领域, 始于 20 世纪 50 年代进行的乳腺癌筛查, 之后逐渐应用于肿瘤、疼痛、炎症等疾病的辅助诊断和疗效评价^[5]。任何温度高于绝对零度 (-273.15℃) 的物体都会向外辐射红外线^[6]。ITI 的成像原理是接收人体发出的红外辐射, 并通过红外热像图的形式精确表达出体表温度。热像图高温改变常见的原因, 主要包括炎症、血管扩张、

肿瘤和神经卡压。热像图低温改变常见的原因, 主要包括组织供血不足、血管收缩和交感神经亢进。在临床实际应用中, 红外热像图常受到一些局部因素的影响, 因此应针对病人的主诉, 进行局部的检查从而做出正确的判断。

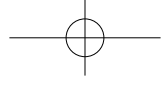
二、ITI 在神经病理性疼痛诊疗中的应用

1. 带状疱疹神经痛

(1) 急性带状疱疹: 健康人体的皮肤表面温度双侧对称分布。若皮肤温度不对称分布则表明身体存在异常。姚益冰等^[7]对疑似急性带状疱疹病人行红外热成像检查, 发现对比健侧与患侧温度, 温差越大提示急性带状疱疹可能性越大, 而与其疼痛程度关系不明确。Park 等^[8]通过评估 55 例带状疱疹病人患侧与健侧皮肤之间的体表热像参数发现, 若带状疱疹急性发作, 受影响的皮肤区域通常表现为温度降低, 在热像图上呈蓝色或深蓝色。ITI 对诊断早期急性带状疱疹具有较高的特异性和敏感性, 而且操作简单、无创、无辐射。

(2) 带状疱疹后神经痛: Han 等^[9]对带状疱疹后神经痛 (postherpetic neuralgia, PHN) 病人的体表热像参数进行了分析, 认为热像图上病变区域异常增温改变与 PHN 的发生没有明显相关性。热像图的变化可能是由于局部皮疹、治疗后的痕迹等因素干扰所致。刘兵等^[10]认为 ITI 能够客观反映局部的热代谢状态, 具有早期预测 PHN 的价值。尚芸等^[5]运用 ITI 对 PHN 的临床疗效进行评估, 发现治疗后双侧温差明显减小, 病变区域温度也较治疗

[△] 通信作者 周华成 zhouhuacheng@163.com



前明显降低。目前, ITI 尚不能作为一种明确诊断 PHN 的工具, 但对 PHN 有早期预测的价值, 而且可以作为评价 PHN 疗效的客观指标。

2. 三叉神经痛

宫庆娟等^[11]对比了原发性三叉神经痛病人与正常人面部的红外热像图, 发现 ITI 能客观反映面部局部组织的新陈代谢、血液循环和神经的功能状态。大多数病人患侧面部皮肤温度与健侧相比明显降低, 在热像图上呈蓝色或深蓝色, 而少部分病人表现为患侧面部温度升高, 在热像图上呈红色或深红色。后者热像图的变化可能是由于以下两个原因: ①病人面部局部的血流量, 因病人反复揉搓而增加; ②病人面部合并有其他疾病。ITI 作为一种无创高效的功能成像技术, 能够较好地反映面部局部组织的代谢状况和血流状态, 有望为临床诊断三叉神经痛及病人疗效的动态观察提供评估指标。

3. 糖尿病周围神经病变

多篇研究表明足底热图是一种早期诊断糖尿病周围神经病变 (diabetic peripheral neuropathy, DPN) 的好方法。Balbinot 等^[12]在对早期 DPN 诊断价值的研究中发现, 使用简化的足底热图研究趾间温差, 对于诊断早期 DPN 具有极高的敏感性与特异性。DPN 病人的足底温度升高, 红外热像图显示不规则的热分布和趾间明显的温差。足底热图变化的原因可能是, 自主神经病变导致 DPN 病人的血管舒缩功能紊乱、动静脉异常开放, 引起足部血流分布异常。Bagavathiappan 等^[13]利用红外热成像对足底温度与 DPN 相关性进行研究, 发现 DPN 病人的足底温度 ($32^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$) 高于无神经病变的糖尿病病人 ($27^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$), 且足底温度的升高与糖化血红蛋白无关。足底热图可用于糖尿病周围神经病变的早期诊断, 但应结合临床实际与局部检查。

4. 复杂性区域疼痛综合征

Riedl 等^[14]在 2001 年首次报道了 ITI 应用于复杂性区域疼痛综合征 (complex regional pain syndrome, CRPS) 临床症状与中枢神经系统病理生理学的相关性研究, 结果发现皮肤温度变化与自主神经功能障碍有关, 在热像图上患处常呈蓝色或深蓝色。Schurmann 等^[15]对比了各种影像学方法诊断 CRPS 的敏感性和特异性, 发现 ITI 对诊断 CRPS 显示出了较强的特异性, 且在观察期内的第 2 周至第 16 周有所提高 ($50\%\sim 89\%$)。Peltz 等^[16]在《复杂性区域综合征诊断指南》上指出利用 ITI 测量 CRPS 病人患侧肢体与健侧肢体的温差可以辅助诊断 CRPS, 患侧肢体与健侧肢体之间的温度差等

于或大于 1°C 被认为是 CRPS 的诊断标准之一。Cho 等^[17]在 CRPS 的治疗过程中发现, 若在疾病早期能够有效的对病人进行治疗, 则热像图上反映为患侧与健侧肢体之间恢复了热对称性, 这种热变化与症状的缓解有关。

5. 嵌压性神经病变

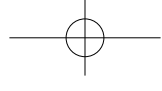
(1) 腕管综合征: Tchou 等^[18]利用红外热成像对 61 例单侧的腕管综合征 (carpal tunnel syndrome, CTS) 病人进行诊断, 发现其敏感性和特异性高达 ($98\%\sim 100\%$)。红外热像图显示: 患侧腕部异常高温, 拇指、示指和中指温度降低。患侧腕部异常高温, 提示了神经卡压的部位。而拇指、示指和中指温度降低的原因可能是, 正中神经受压导致远端相应神经支配区域血液循环与代谢减少。Jesensek 等^[19]对比了 CTS 病人手术前后 4 周的红外热像图指出, ITI 不仅可以用于诊断 CTS, 还可以应用于监测术后的恢复过程。

(2) 尺神经病: So 等^[20]对 ITI 与常规的神经电生理检查诊断尺神经病的准确性进行了研究, 发现 ITI 的灵敏度明显低于常规的神经电生理检查, 仅有 47% 的尺神经病变病人出现了异常的热像图, 且异常的热像图是非特异性的, 可能导致误诊。因此认为 ITI 不能可靠识别尺神经受累, 对尺神经病变的诊断没有帮助。然而近年来也有学者持不同观点。Jang 等^[21]在评估 ITI 作为单侧尺神经病病人的诊断工具的临床价值研究中, 发现 70% 的病人患侧温度降低, 热像图上呈蓝色或深蓝色。病人患侧与健侧 8 个监测区域的温差与健康人两侧温差对比均有较大的差异, 其中尺神经背侧骨区温差的诊断价值最高。ITI 虽有其局限性, 但它对单侧尺神经病具有辅助诊断的价值。

(3) 胸廓出口综合征 (thoracic outlet syndrome, TOS): 病人常因臂丛神经受到压迫而引起颈肩部和 (或) 上肢的疼痛和麻木, 临床易误诊为颈椎病或粘连性肩关节囊炎。Herrick 等^[22]将 ITI 应用于 TOS 的诊断, 发现 ITI 对重症 TOS 有较高的敏感性和特异性, 但对于轻症病人, ITI 不能单独用于诊断, 应与临床症状密切结合。Ellis 等^[23]也在运用 ITI 指导 TOS 减压手术的研究中指出, TOS 病人的热像图常表现为患侧上肢温度降低, 斜角肌部异常高温。若能将术中热像图的变化与手术操作相关联, 有助于更好地分析和解决手术过程中遇到的问题。

6. 脊髓神经根病变

颈椎、腰椎椎间盘突出、椎管狭窄压迫或神经根炎症引起上下肢神经根性疼痛, 是脊髓神经根



病的典型症状。Ra 等^[24]对单侧腰骶神经病变病人的皮肤温度变化与临床病史、影像学 and 神经电生理检查的关系进行了研究,对比了 128 例体格检查提示单侧腰骶神经根病变病人所进行的 ITI、MRI 和电生理检查,发现 ITI 在敏感性和舒适性方面优于 MRI 和电生理检查,79% 的病人在受累侧后背部和(或)下肢出现了低温,在热像图上呈蓝色或深蓝色,提示肌肉萎缩。但 ITI 不能准确反映出病变的节段,因此不能作为明确诊断腰骶神经根病的工具。Park 等^[25]对 224 例单侧脊髓神经根病病人的临床和红外热成像资料进行了回顾性分析,发现其中 180 例病人患侧肢体温度低于健侧,呈蓝色或深蓝色热图,而 44 例病人患侧肢体温度高于健侧,呈红色或深红色热图。分析病人病史,得出后者红外热像图的变化可能是由于:①有外伤史;②症状持续时间短;③严重的神经根疼痛。因此,ITI 对于脊髓神经根病变是一种有效的辅助诊断工具,可以通过皮肤温度的变化和分布区域来确认诊断以及确定治疗方案。

7. 肿瘤压迫或浸润引起的神经病变

肿瘤压迫或浸润会导致邻近神经受到刺激而引起相应支配区域的症状,并诱发异常性疼痛。肖源勋等^[26]利用 ITI 发现了 1 例由骶神经鞘瘤引起的顽固性足痛症病人。红外热像图显示:患侧臀腿和足跟腱中度异常低温,足底部片状异常高温。结合临床考虑,足底异常高温是多次微创治疗所致,而臀腿和足跟部异常低温,怀疑骶神经有卡压性损伤,进一步进行检查,最终明确了顽固性足痛症的病因。ITI 在评估肿瘤压迫或浸润引起的神经刺激或压迫症状方面行之有效,但需结合临床病史和局部检查,以避免外界因素的干扰。

三、ITI 的局限性

近几年来,ITI 逐渐被开发用于诊断各种疾病。ITI 使用非电离辐射,具有扫描速度快、图像分辨率好、数据客观准确等优点,没有健康危害,对诊断疾病有很大帮助。但 ITI 仍具有自身局限性,其有限的穿透深度(2~3 mm)只能提供皮肤温度分布的图像,不能提供人体内部特定深度的数据^[27]。此外,设备质量(可靠性、敏感性等)、检测时的环境条件(室内温度、湿度等)、局部因素的干扰(局部疤痕、溃疡等)也会影响成像^[28]。

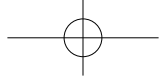
四、总结与展望

综合国内外文献,ITI 能够客观敏感地反映神经病变,尤其是神经卡压的部位和程度。ITI 具有无创、精准、可视化的特点符合现代医学减少损失

和精准医疗的发展方向。但是,ITI 也存在自身局限性和外界因素的干扰。在临床实践中,应先根据病人的主诉进行局部检查,再结合红外热像图和正常人体与感觉神经的解剖生理,做出正确的诊断。尽管目前 ITI 应用于 NP 的诊疗尚未普及,也缺乏统一完善的标准,但该技术值得我们去挖掘和应用探索。随着研究的深入,ITI 将在 NP 诊疗中得到充分应用和发展,发挥该技术在疼痛学科疾病诊疗中的作用。

参 考 文 献

- [1] Jensen TS, Baron R, Haanpää M, *et al.* A new definition of neuropathic pain [J]. *Pain*, 2011, 152:2204-2205.
- [2] van Hecke O, 冯刚. 一般人群的神经病理性疼痛: 流行病学研究系统回顾 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2015, 21(5):327-328.
- [3] 薛纯纯, 谢磊, 沙中玮, 等. 神经病理性疼痛与睡眠障碍 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2020, 26(7):522-525.
- [4] 陈向军. 神经病理性疼痛诊断量表 [J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2013, 13(9):747-751.
- [5] 尚芸, 吕卓敏, 答秀维, 等. 红外热成像图对带状疱疹后神经痛介入治疗临床疗效的评价观察 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2020, 26(5):397-400.
- [6] 卢振和. 红外热像技术在疼痛临床的应用(一) [J]. *实用疼痛学杂志*, 2010, 6(2):121-123.
- [7] 姚益冰, 谢可越, 黄冰, 等. 红外线热成像用于带状疱疹的早期诊断价值 [J]. *中华全科医学*, 2018, 16(1): 7-9, 29.
- [8] Park J, Jang WS, Park KY, *et al.* Thermography as a predictor of postherpetic neuralgia in acute herpes zoster patients: A preliminary study [J]. *Skin Res Technol*, 2012, 18(1):88-93.
- [9] Han SS, Jung CH, Lee SC, *et al.* Does skin temperature difference as measured by infrared thermography within 6 months of acute herpes zoster infection correlate with pain level?[J]. *Skin Res Technol*, 2010, 16(2):198-201.
- [10] 刘兵, 赵姣妹, 任长和, 等. 红外热成像早期预测带状疱疹后神经痛的临床价值 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2020, 26(4): 276-281.
- [11] 宫庆娟, 黄乔东, 陈金生, 等. 红外热像在原发性三叉神经痛诊断中的价值 [J]. *现代医院*, 2013, 13(6): 15-16.
- [12] Balbinot LF, Canani LH, Robinson CC, *et al.* Plantar thermography is useful in the early diagnosis of diabetic neuropathy[J]. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*, 2012, 67(12):1419-1425.
- [13] Bagavathiappan S, Philip J, Jayakumar T, *et al.* Correlation between plantar foot temperature and diabetic



- neuropathy: A case study by using an infrared thermal imaging technique[J]. JDST, 2010, 4(6):1386-1392.
- [14] Riedl B, Beckmann T, Neundorfer B, *et al.* Autonomic failure after stroke-is it indicative for pathophysiology of complex regional pain syndrome?[J]. Acta Neurol Scand, 2001, 103(1):27-34.
- [15] Schurmann M, Zaspel J, Lohp P, *et al.* Imaging in early posttraumatic complex regional pain syndrome: A comparison of diagnostic methods [J]. Clini J Pain, 2007, 23(5):449-457.
- [16] Peltz E, Seifert F, Maihofner C. Diagnostic guidelines for complex regional pain syndrome[J]. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2012, 44(3):135-141.
- [17] Cho CW, Nahm FS, Chol E, *et al.* Multicenter study on the asymmetry of skin temperature in complex regional pain syndrome: An examination of temperature distribution and symptom duration [J]. Medicine, 2016, 95(52):e5548.
- [18] Tchou S, Costich JF, Burgess RC, *et al.* Thermographic observations in unilateral carpal tunnel syndrome: Report of 61 cases[J]. J Hand Surg, 1992, 17(4): 631-637.
- [19] Jesensek Papez B, Palfy M, Mertik M, *et al.* Infrared thermography based on artificial intelligence as a screening method for carpal tunnel syndrome diagnosis[J]. J Int Med Res, 2009, 37(3):779-790.
- [20] So YT, Olnier RK, Aminoff MJ. Evaluation of thermography in the diagnosis of selected entrapment neuropathies[J]. Neurology, 1989, 39(1):1-5.
- [21] Jang YY, Byun SH, Lee SJ, *et al.* Clinical significance of digital infrared thermal imaging clinical significance of digital infrared thermal imaging[J]. J Korean Assoc EMG Electrodagn Med, 2009, 11:78-84.
- [22] Herrick RT, Herrick SK. Thermography in the detection of carpal tunnel syndrome and other compressive neuropathies[J]. J Hand Surg, 1987, 12(5 Pt 2):943-949.
- [23] Ellis W, Cheng S. Intraoperative thermographic monitoring during neurogenic thoracic outlet decompressive surgery[J]. Vasc Endovasc Surg, 2003, 37(4):253-257.
- [24] Ra JY, An S, Lee GH, *et al.* Skin temperature changes in patients with unilateral lumbosacral radiculopathy[J]. Ann Rehabil Med, 2013, 37(3):355-363.
- [25] Park TY, Son S, Lim TG, *et al.* Hyperthermia associated with spinal radiculopathy as determined by digital infrared thermographic imaging[J]. Medicine, 2020, 99(11): e19483.
- [26] 肖源勋, 卢振和, 司徒嘉欣. 红外热成像图发现骶神经鞘瘤 1 例 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2018, 24(9): 718-720.
- [27] Magalhaes C, Vardasca R, Mendes J. Recent use of medical infrared thermography in skin neoplasms[J]. Skin Res Technol, 2018, 24(4):587-591.
- [28] 林琳, 李韬, 邓方阁. 红外热成像技术在乳腺癌检测中的应用进展 [J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(6):734-737.

《中国疼痛医学杂志》编辑部

地 址: 北京市海淀区学院路 38 号, 北京大学医学部

电 话: 010-82801712; 010-82801705

邮 箱: pain1712@126.com

投稿请登录: <http://casp.ijournals.cn> 在线投稿

QQ 群: 222950859 微信公众平台号: pain1712

