

红外热成像技术在女性慢性盆腔痛中的应用优势及发展前景

王东东¹ 王烈宏^{1,2} (通讯作者)

1.青海大学医学院 青海 西宁 810016

2.青海红十字医院妇产科 青海 西宁 810000

【摘要】：女性慢性盆腔痛（Chronic Pelvic Pain, CPP）是由各种功能性或器质性原因引起的以骨盆及周围组织的疼痛，因其病因复杂且易反复发作及前期诊断疼痛具体部位不精确，致使既往治疗方法疗效不佳。红外热成像技术（Infrared Thermography, IRT）通过将探测到的辐射信息转换为图像和温度信息，能直观地反映病变部位的温度变化及分布，在 CPP 的精准检测和辅助诊断中展现了潜在价值。本文就红外热成像技术在女性慢性盆腔痛中的应用现状及发展前景进行综述，旨在为 CPP 的早期精准诊断、制定个性化治疗方式、治疗后预防复发和疗效评估中提供深入的理论参考，以辅助临床医生更好地把握患者病情和制订治疗方案。

【关键词】：慢性盆腔痛；红外热成像技术；精准诊断；个性化治疗

DOI:10.12417/2811-051X.25.09.018

前言

CPP 是一种常见的疼痛综合征，临床中发现通常与消极的认知行为、性行为 and 负面情感相关，或与下尿路、生殖系统、胃肠道、盆底肌筋膜或性功能障碍相关的，源于盆腔器官或（和）结构的疼痛症候群。CPP 发病率为 5.7%~26.6%，多表现为下腹部坠胀疼痛、腰骶部酸痛，常伴有焦虑、失眠抑郁等神经症状，影响人群广泛。CPP 疼痛形式多变，易反复发作，涉及多个系统，主要包含子宫内膜异位症、子宫腺肌病、盆腔炎症性疾病和盆腔粘连等妇科病因，甚至还与泌尿系统、神经系统、肌肉骨骼因素和心理系统等非妇科原因性疼痛相关。由于疼痛来源多样，传统诊断方法包括超声、磁共振成像（MRI）、计算机断层扫描（CT）及腹腔镜检查，但这些诊断方法存在局限性，如超声对早期或深层病变敏感度低，MRI 成本较高，腹腔镜为有创检查，不适用于常规筛查。因此，寻找一种无创、高效、可重复监测的诊断手段成为临床需求。近年来，临床研究者逐渐关注 IRT，因其非接触性、高灵敏性、无辐射等特点，在 CPP 的诊断与监测中逐渐展现出重要的应用潜力。

1 红外热成像技术简介

IRT 是一项新的影像技术，基于检测生物组织表面红外辐射的无创成像技术，可将红外热辐射转换为图像和温度信息^[1]。人体的组织、器官因炎症或异常代谢活动会导致局部温度变化，这些温度差异能够通过红外热像仪直观呈现出来。因此，IRT 不仅可提供解剖信息，还能够反映功能状态。IRT 是一种高效、精准的非接触式温度测量与成像方法^[2]，广泛应用于各领域。其主要组件包括红外探测器、由红外透镜组成的光学系统^[3]、电子信号处理系统、显示与分析系统。

自然界中，任何温度高于绝对零度（-273.15° C）的物体都会发出红外热辐射，人体是一个开放的热力系统，各器官不断产热、散热^[4]，与外界环境进行热交换。当机体发生急慢性损伤或炎症时，均会引起病变组织周围代谢改变，致使病变组

织皮肤温度发生改变。IRT 通过红外探测器捕获这些热辐射，通过光敏成像装置转换为可识别的温度图案，能够直观地显示机体温度的高低。通过电子信号处理系统、显示与分析系统，以彩色等值线图来呈现出机体体表温度分布是否异常，从而了解受检者身体的生理功能信息^[5]及新陈代谢信息。IRT 目前已广泛应用于物理、航天、军事等领域，在医学领域的应用也有 60 多年的历史，包括神经病学、泌尿系统疾病、肿瘤学等。医学领域最初获益于 1956 年美国外科医师将 IRT 用于乳腺癌患者的检查，证实病区皮肤温度高于正常部位，使这项技术被正式纳入临床应用研究。IRT 因其非接触性、高灵敏性和实时动态监测等特点，为 CPP 的诊断和管理提供了全新视角。

2 红外热成像技术的原理

IRT 的核心原理是基于红外辐射与热辐射原理，利用物体表面辐射的红外光将其温度信息转换为可视化图像。人体是天然的生物红外辐射体^[6]，IRT 正是利用红外线穿透力强的特性，通过接收人体不同部位辐射强度不等的红外线，通过红外热成像设备转化为不同的温度分布图^[7]，并以不同的色彩直观地显示人体组织温度分布，定量地分析温度变化，判断出某些病灶的性质、位置，达到诊断疾病^[8]的目的。一方面，当机体发生各种急慢性损伤时引起病变周围的血液动力学障碍、代谢失常及功能改变，IRT 能根据病变区域的温度变化进行精准定位、定量和定向，并将检测结果以图像形式展现。另一方面，在检测组织供血情况时，IRT 能灵敏地检测出因代谢改变或组织灌注改变而呈现的温度变化，有效反映病变组织的生理功能情况^[9]，并通过受检部位细胞间代谢的热辐射差异和健康状态的对应关系，实现对疾病的精准诊断和鉴别。

IRT 具有非接触性^[10]、适应性强、实时性、操作简便的特性。其工作原理依赖目标自身产生的辐射，无须外部光源照射展现出其适应性强的特点。能够快速捕捉目标的动态温度变化亦展示出其实时性。无须接触物体即可测量温度很好地展示出其非侵入性和非接触性的特点。探测到的辐射信号转化为电信

号,通过算法处理映射到伪彩色图像中,直观地反映人体体表热分布特征是否异常^[11],了解受检者身体的生理功能信息及新陈代谢信息。

3 红外热成像技术在 CPP 的临床应用

CPP 是一种临床常见病,其病因复杂多样,发病机制尚不明确,疼痛多见于下腹部及盆部^[12]。由于该病的复杂性和难治性^[13],对患者的身心健康和睡眠质量造成了很大的影响^[14]。目前,没有公认的最佳治疗方案,因此采取有效措施对 CPP 患者进行精准诊断和制定个体化治疗方案尤为重要。目前随着 IRT 在医学领域的广泛应用,其技术特点在 CPP 的检测和辅助诊断中展现了潜在价值,对 CPP 的早期精准诊断、早期预防、制定精准治疗方式、治疗后预防复发等方面有着深远意义。IRT 不同于 MRI、CT 和 X 线,不涉及电离辐射,对患者无损伤且检查时间短,患者无需特殊准备或造影剂注射,减少了检查过程中的不适感,适合需要长期随访的 CPP 患者。

大量临床证据表明 CPP 患者常伴有局部炎症反应^[15],其炎症部位通常表现为局部温度升高。IRT 检测温度变化灵敏度达 0.01℃,相比传统超声或 MRI,能更早发现潜在病变。例如,在子宫内膜异位症相关的 CPP 患者中,盆腔局部温度往往高于正常水平,IRT 接收并分析病变部位产生的热辐射,形成热像图后与正常组织的温度分布图相对比,来评估判断机体的代谢状态,精确判断炎症部位。一方面,IRT 不仅可以提供解剖信息,还能评估血流和代谢状态(如静脉淤滞或动脉扩张)^[16]这类潜在原因引起的 CPP。医用红外热成像仪能够捕捉与血流变化相关的温度分布异常而发现功能障碍区域,帮助临床医生区分神经源性、炎症性或肌肉骨骼源性疼痛,提高精准诊断。另一方面,对于肌肉或神经相关性^[17]的 CPP 患者,医用红外热成像仪可显示肌肉紧张或因神经异常导致的局部热分布变化^[18],再结合超声、MRI 等成像技术,形成多角度综合诊断方案,从而达到精准诊断 CPP,推论疾病性质,指导临床医师精准治疗的目的。重要的是,其非接触式检查方法避免了患者因检查带来的不适,提高了临床可接受性。同时对于孕妇或计划怀孕的女性,IRT 提供了一种安全的影像学选择。

一些临床试验发现,IRT 可在 CPP 患者中检测到非对称的热模式^[19],为病因探索和治疗评估提供了新的线索,为 CPP 的早期检测、病因探索和疗效评估提供了新思路,为局部病灶的精确定位提供支持。结合其他诊断技术与治疗手段,其潜力不仅应用于 CPP 的诊治,还将在其他临床应用中进一步拓展^[20]。然而,为实现其在临床中的广泛应用,目前仍需进一步优化技术、建立规范化诊断体系,并探索与其他诊断手段的整合。

4 红外热成像技术的优势及未来发展前景

IRT 是一种利用物体辐射的红外线来形成图像的技术,通

过探测机体散发的热辐射来判断温度分布^[21]。相比传统影像学技术,IRT 检查时间短,具有非侵入性、非接触性、操作简便等特性。此外,其便携性还可用于基层医疗机构或远程医疗,为偏远地区的女性提供便捷的筛查和诊断手段。虽然医学领域目前还尚未完全普及,但因其独特的应用前景,并随着科学技术的进步,在众多领域还是具有重要的应用价值。该技术主要优势包括:1、非接触性测温:IRT 在安全距离外对目标进行温度测量和分析^[22],且无需注射造影剂或暴露于电离辐射之下,尤其适用于反复检查以及对孕妇或年轻女性的长期监测。2、高敏感性:在 CPP 患者中,炎症或神经病理性疼痛通常伴随局部组织温度变化,IRT 能够灵敏地检测微小的温度变化,尤其在子宫内膜异位症或慢性炎症性疾病的早期检测中具有优势。3、实时动态监测:IRT 能够实时捕捉温度分布及变化趋势,为动态评估疼痛状态提供重要依据,有助于制定个性化的治疗方案。4、诊断多样性:IRT 不仅能用于发现妇科炎症、子宫内膜异位症等直接导致 CPP 的病因,还能揭示由周围神经病变或循环障碍引起的间接病因。5、温度分布可视化:IRT 可以直观地显示物体表面的温度分布,有助于发现异常点。6、成本效益高:与 MRI 或超声检查相比,IRT 设备价格低廉、操作简单,无需专业培训即可在基层医疗机构推广使用。

未来,随着科技、人工智能及硬件技术的发展,IRT 有望在 CPP 以及其他妇科疾病的诊疗中发挥更重要的作用^[23],并且从专业领域逐步走向消费级市场的广泛普及化。因此其发展趋势将趋于以下方面:1、与 AI 的融合:结合 AI 算法,有望实现自动化热图分析及病因定位,提高诊断效率和准确性。例如,卷积神经网络(CNN)可用于提取盆腔区域的热成像特征,实现疾病模式的自动分类,从而减少医生的主观判断误差。2、便携设备的开发:随着便携式设备的研发,未来可应用于家庭监测或远程医疗。例如,女性可在家中使用便携式红外摄像设备进行自我检测,并通过移动应用上传数据,医生可远程分析并提供诊疗建议。3、多模态成像技术的整合:将 IRT 与超声、MRI 等影像技术整合,可弥补单一技术的不足,为 CPP 的精准诊断提供更多依据。例如,在 CPP 患者的评估中,超声可用于结构性病变的观察,而 IRT 可提供功能性信息,二者结合可提高疾病的综合诊断能力。4、个性化医疗的发展:基于 IRT 的实时监测和数据分析,有望推动针对 CPP 患者的个性化诊疗策略发展。目前 IRT 在医学领域中的应用正处于起步阶段,单单对于 CPP 这一疾病来说,IRT 的成功引入,为 CPP 的早期检测、病因探索、精准诊断和制定个体化治疗方案提供新的线索,对于未来医学发展方向也提供了一种新的思路。然而,要实现大规模临床应用,还需进一步研究其标准化问题,优化诊断流程,并验证其长期临床价值。

参考文献:

- [1] 丁蕾,程熙腾,叶睿,et al.红外热成像技术与中医阴阳应象理论的中医研究进展 [J].临床误诊误治,2024,37(10):87-91+100.
- [2] 张艳杰,刘宜军,魏家琳.红外热成像技术在针灸临床中的应用研究进展 [J].中医学报:1-7.
- [3] KUNG M,ZENG J,LIN S,et al.Prediction of coronary artery disease based on facial temperature information captured by non-contact infrared thermography [J].BMJ Health Care Inform,2024,31(1).
- [4] 王可仪,薛晓娟,孟令坤,et al.红外热成像技术在中医领域的应用研究 [J].天津中医药,2024,41(09):1221-4.
- [5] 陈彩红,李莹.不同辨证分型的围绝经期综合征女性红外热成像的特征 [J].医学理论与实践,2021,34(23):4061-3.
- [6] 魏斌,焦扬,曹芳,et al.基于 CiteSpace 的红外热成像技术在证候诊断及疗效评价中应用现状的可视化分析 [J].中国医药导报,2024,21(03):4-8.
- [7] 张一勉,王煜杰,李宁,et al.基于 CiteSpace 的红外热成像技术在中医领域应用的可视化分析 [J].世界中西医结合杂志,2023,18(05):887-92.
- [8] VERDERBER L,DA SILVA W,APARICIO-APARICIO I,et al.Assessment of alternative metrics in the application of infrared thermography to detect muscle damage in sports [J].Physiol Meas,2024,45(9).
- [9] 缙兆鑫.筋针治疗背肌筋膜疼痛综合征的即时镇痛疗效观察 [D],2023.
- [10] KESZTYÜS D,BRUCHER S,WILSON C,et al.Use of Infrared Thermography in Medical Diagnosis,Screening,and Disease Monitoring:A Scoping Review [J].Medicina (Kaunas),2023,59(12).
- [11] 陈龙畅,马晗,王永吉,et al.红外热成像技术在中医基础与临证应用的研究 [J].中国中医药图书情报杂志,2022,46(03):72-7.
- [12] DYDYK A M,GUPTA N.Chronic Pelvic Pain [M].StatPearls.Treasure Island (FL) ineligible companies. Disclosure:Nishant Gupta declares no relevant financial relationships with ineligible companies.;StatPearls Publishing Copyright © 2024,StatPearls Publishing LLC.2024.
- [13] PETROS P,BORNSTEIN J,SCHEFFLER K,et al.Chronic pelvic pain of"unknown origin"in the female [J].Ann Transl Med,2024,12(2):26.
- [14] WIRTZ M R,REVENSON T A,FORD J S,et al.Effective Interventions for Idiopathic Chronic Pelvic Pain:A Systematic Review [J].Int J Behav Med,2024,31(6):819-32.
- [15] SPEECKAERT R,HOORENS I,LAMBERT J,et al.Beyond visual inspection:The value of infrared thermography in skin diseases,a scoping review [J].J Eur Acad Dermatol Venereol,2024,38(9):1723-37.
- [16] 薛凤霞,陈媛媛.盆腔淤血综合征诊治面临的问题与挑战 [J].实用妇产科杂志,2021,37(09):641-3.
- [17] 陈爱菊,汤虹芳,何军晶.盆底磁刺激治疗慢性盆腔痛的临床观察 [J].云南医药,2024,45(02):80-2.
- [18] GISH B,LANGFORD B,SOBEY C,et al.Neuromodulation for the management of chronic pelvic pain syndromes:A systematic review [J].Pain Pract,2024,24(2):321-40.
- [19] LIN S,RAMANI V,MARTIN M,et al.District-scale surface temperatures generated from high-resolution longitudinal thermal infrared images [J].Sci Data,2023,10(1):859.
- [20] BARKER E S,CHIU K,BROWN V L,et al.Urologic Chronic Pelvic Pain Syndrome Flares:A Comprehensive,Systematic Review and Meta-Analysis of the Peer-Reviewed Flare Literature [J].J Urol,2024,211(3):341-53.
- [21] STANLEY S A,DIVALL P,THOMPSON J P,et al.Uses of infrared thermography in acute illness:a systematic review [J].Front Med (Lausanne),2024,11:1412854.
- [22] 蒋依蕾,黄琦.红外热成像技术应用于中医辨证和疗效评价的研究进展 [J].浙江临床医学,2020,22(04):594-5.
- [23] 王宇,宋莹恒.红外热成像技术在中医健康领域的应用;proceedings of the 全国第十七届红外加热暨红外医学发展研讨会,中国山东青岛,F,2019 [C].