

## 红外热成像技术在乳腺癌检测中的应用进展

林琳, 李韬, 邓方阁

广州医科大学附属第一医院/广州呼吸健康研究院/呼吸疾病国家重点实验室/国家呼吸系统疾病临床医学研究中心, 广东 广州 510120

**【摘要】**乳腺癌作为全球女性中最常见的恶性肿瘤,近年来,发病率逐年增高。人们期待寻找新一代检查方法,能进一步提高乳腺癌检出率,早期控制疾病进程,从而提高乳腺癌患者的生存率。红外热成像技术是一种常见的物理技术,在军事、工业、医疗等多个领域均有应用,我国近十几年来才开始将该技术应用到医学领域中。由于该技术具有操作简单、非接触、无辐射、无创伤等优点,在医学领域中有广泛的应用前景。本文主要对该物理技术在乳腺疾病检测中的应用及该技术的临床诊断价值做简要概述。

**【关键词】**红外热成像技术;乳腺癌;早期发现

**【中图分类号】**R737.9

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2018)06-0734-04

## Application and development of infrared thermal imaging technology in breast cancer detection

LIN Lin, LI Tao, DENG Fangge

National Clinical Research Center for Respiratory Disease/State Key Laboratory of Respiratory Disease/Guangzhou Institute of Respiratory Health/the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510120, China

**Abstract:** Breast cancer is the most common malignant tumor in women around the world, and the incidence of breast cancer is increasing annually. A new generation of examination method is expected to increase the detection rate of breast cancer and control the disease process early for increasing the survival rate of patients with breast cancer. Infrared thermal imaging (IRTI) technology is a common physical technology which has been applied in military, industrial and medical fields. Our country has begun to apply this technology to the medical field in the past decades. With the advantages of simple operation, non-contact, no radiation and no trauma, IRTI has a wide application prospect in the medical field. Herein the application of IRTI in breast disease detection and its diagnosis value are briefly summarized.

**Keywords:** infrared thermal imaging technology; breast cancer; early detection

### 前言

乳腺癌作为全球女性中最常见的恶性肿瘤,其发病率及死亡率逐年增高。据美国癌症协会(American Cancer Society)预测,2018年美国女性乳腺癌新增病例约26.6万,占有恶性肿瘤新发病例的30%,死亡病例约4.1万,占有恶性肿瘤新增死亡病例的14%,新增死亡人数仅次于肺癌,位居第2名;而在我国,截至2013年,乳腺癌占女性恶性肿瘤发病数量的首位,每年新增病例约27.9万,死亡病例以每年新增6.5万位居第5名<sup>[1-2]</sup>。乳腺癌生存率与临床分

级密切相关,乳腺癌10年生存率分别为0级:95%;1级:88%;2级:66%;3级:36%;4级:7%,临床分级越高,生存率越低<sup>[3]</sup>。因此,若能早期检测出乳腺癌,并对疾病进行早期干预和治疗,将进一步提高乳腺癌患者的生存率。

自从乳腺X线钼靶摄影纳入乳腺癌的常规筛查项目后,乳腺癌的死亡率有了显著下降<sup>[4]</sup>。但该摄影技术仍存在自身局限性:(1)需要挤压乳房,令被检者感觉不适;(2)存在一定的漏诊率及误诊率;(3)对致密型乳腺者敏感度不高<sup>[5-6]</sup>。超声在乳腺癌普查中也有重要作用,特别适用于年轻腺体致密的女性,但仍受以下因素影响:(1)超声设备的质量;(2)医师的操作手法及解读图像的能力<sup>[7]</sup>。红外热成像技术(Infrared Thermal Imaging, IRTI)是一种常见的物理技术,在军事、工业、医疗等多个领域中均有应用,相对乳腺X线钼靶摄影和超声而言,该技术具有操作简

**【收稿日期】**2018-04-25

**【作者简介】**林琳,硕士,住院医师,主要从事心胸部影像学诊断,E-mail: yxrlynn@163.com

**【通信作者】**邓方阁,博士后,副教授,主要从事红外热成像与临床应用,E-mail: pairsdeng256@163.com

单、非接触、无辐射等优点,在医学领域中有广泛的应用前景。因此,我们主要对该物理技术在乳腺疾病检测中的应用及该技术的临床诊断价值做简要概述。

## 1 IRTI简介

IRT I 是一项无辐射、无创、非接触的功能成像技术,它能反映机体局部新陈代谢及血流状态,早期发现人体异常生理改变。导致人体生理机能改变的原因有很多,包括外伤、感染、肿瘤及静脉血栓等,这些生理改变往往与局部血管扩张、炎性物质的释放及代谢亢进有关,使得局部产生热源<sup>[8]</sup>。IRT I 仪能通过高精度红外探测器,探测并接收人体向外发射的红外辐射,然后经光-电转换,将接收到的红外辐射转换为电信号,最后通过计算机处理系统,将人体表面温度的分布以伪条码的形式在显示器上直观地显示,从而便于临床工作者观察、分析热源,并精确地测量人体表面温度值,用于临床诊断。

该技术可以实现远距离、全天候监察,早期主要由政府投资,应用于军事领域<sup>[9]</sup>。随后因各种原因,政府逐渐放宽了对该项技术的控制,自上世纪60年代开始,该技术逐渐被应用到医学领域中。1982年,美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)正式批准IRT I 作为乳腺癌检查的辅助工具之一<sup>[10-11]</sup>。但因早期的IRT I 仪敏感度及稳定性均较低,并且结构复杂、体积大、价格昂贵,限制了该技术在医学领域的进一步发展。近十几年来,随着探测器及计算机辅助诊断(Computer-Aided Diagnosis, CAD)技术的发展,IRT I 技术逐渐成熟。新一代IRT I 仪采用非制冷焦平面探测器,空间分辨率达1.1 mrad,温度分辨率 $\leq 0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,采集图像速度达30帧/s,其敏感度高,检测时间短,价格低廉,能动态观察病灶,并且可复性高,在民用工业、刑事侦查及医疗等多个领域均有应用,特别是在医疗领域中的大范围疾病筛查中,有广阔的应用前景,可应用于疼痛、肿瘤、神经、血管疾病的检测以及针灸疗效、烧伤程度判断等<sup>[12-17]</sup>。

## 2 IRT I 在乳腺癌检测中的应用

自20世纪50年代开始IRT I 技术逐渐被应用到医学领域中,而该技术最开始的临床应用,就是用于检测乳腺癌<sup>[18]</sup>。研究学者们利用热成像仪,对乳腺癌患者进行检测,结果发现肿瘤所在区域的皮温较周围正常乳腺高,温度差值甚至超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,并推测是由于恶性肿瘤代谢活跃、血管异常增殖所致,根据该特点,可利用

IRT I 检测乳腺癌<sup>[19]</sup>。但早期IRT I 技术有诸多缺陷,比如体积大、操作不便、需制冷、价格昂贵且敏感度不足等,因而发展缓慢。并且伴随着乳腺X线钼靶摄影和乳腺超声等设备的崛起,IRT I 逐渐被人们所忽略<sup>[20]</sup>。近年来,随着IRT I 逐渐成熟,又吸引了大批研究学者对该技术的临床诊断价值进行探讨。

研究学者们通过建立多种动物模型,探讨IRT I 在动物乳腺癌检测中的作用。2004年,Xie等<sup>[21]</sup>通过建立大鼠乳腺癌模型,结果显示IRT I 能发现体积小( $\geq 0.5\text{ cm}$ )、快速增殖的病灶,与人类乳腺癌不同,肿瘤在热像图上呈相对温度减低区,并且推测肿瘤周围炎症是导致局部温度增高的主要因素,根据该特点,IRT I 也许能预测乳腺癌预后。2007年,Song等<sup>[22]</sup>建立了异种移植肿瘤大鼠模型,发现IRT I 能够检测出肿瘤早期增殖阶段 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温差变化,并能通过IRT I 评估抗肿瘤药物的作用。2009年,Poljak-Blazi等<sup>[23]</sup>通过构建多组大鼠模型(肿瘤组、炎症组及血肿组)研究IRT I 对乳腺肿瘤检测中的作用,结果显示肿瘤接种早期局部皮温会出现短暂下降,10 d后肿瘤皮温逐渐增高,由此认为IRT I 能评估肿瘤生长状态,并能将肿瘤与炎症、血肿鉴别出来。2015年,Pavelski等<sup>[24]</sup>利用IRT I 分别对30只健康母狗及20只患乳腺癌的母狗进行检测,结果发现在实验组中,无论肿瘤大小及部位如何变化,肿瘤局部皮温仍较正常组高。上述动物实验结果均表明,乳腺肿瘤局部皮温随肿瘤生长过程增高或降低,在IRT I 图像上均有特定表达,我们可以根据这些表达特点,对肿瘤进行检测,甚至评估疾病预后。

除动物模型研究外,从21世纪初至今,与IRT I 和乳腺疾病检测相关的临床研究陆续开展,为临床工作提供了更多实验依据。2003年,Parisky等<sup>[25]</sup>报道了他们历时4年的临床研究,该研究利用IRT I 对769例疑似乳腺癌患者进行检测,对照病理结果,发现IRT I 敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为97%、14%、24%及95%。2008年,Arora等<sup>[26]</sup>利用IRT I 对92名经X线钼靶或超声检查建议进一步活检的疑似乳腺癌患者进行检查,并评估IRT I 有效性,结果发现IRT I 敏感度和阴性预测值分别为97%、82%,由此推断IRT I 能辅助诊断乳腺癌。2014年,Rassiwal a等<sup>[27]</sup>利用IRT I 对1 008例“健康女性”进行检查,通过分析热像图,共检出49个异常病例,所有病例均接受了进一步临床体查、放射学检查和病理活检,结果显示IRT I 的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为97.60%、99.17%、83.67%及99.89%,并且由于IRT I 设备简单、价格低廉、易操作,

因而有望通过该技术来提高经济欠发达地区的乳腺癌检出率。同样地,在Zadeh等<sup>[28]</sup>和De Jesus guirro等<sup>[29]</sup>的研究中,均显示了IRTI对诊断乳腺疾病准确性高、可靠性高等特点。

部分学者则结合病理检测结果,将IRTI和乳腺X线钼靶摄影对乳腺疾病的诊断准确性进行比较分析。2013年,Kolaric等<sup>[30]</sup>对26例将行乳腺手术的患者分别进行IRTI及乳腺X线钼靶检查,结果显示IRTI敏感度为100%,X线钼靶敏感度为85%,由此推断IRTI敏感度高,可用于早期乳腺癌筛查中。2015年,Venkataramani等<sup>[31]</sup>研究了65例乳腺癌确诊患者的IRTI及X线钼靶检测结果,结果显示IRTI敏感度为94%,而X线钼靶敏感度为95%,两种检查对乳腺癌的敏感度几乎相等;2016年,Prasad等<sup>[32]</sup>对65例乳腺癌确诊患者进行研究,发现IRTI和X线钼靶的诊断准确率分别达92.31%、95.38%;并且IRTI检出率稍高于X线钼靶。同年,Omranipour等<sup>[33]</sup>研究了132例乳腺疾病患者,结果显示IRTI的诊断准确性稍低于X线钼靶,但其敏感度较高,达81.6%,因而支持IRTI作为乳腺癌辅助诊断工具。除上述研究外,也有部分研究认为IRTI敏感度、特异度范围广,异质性程度高,并不适合用于乳腺疾病筛查<sup>[34-35]</sup>。

除上述临床诊断试验外,还有部分学者通过IRTI来预测乳腺癌发生风险及预后情况。他们普遍认为,IRTI能早期检测出乳腺异常生理改变,而这种改变往往发生在形态学改变之前;除此之外,乳腺癌浸润程度与局部温度增高程度相关,据此可预测乳腺癌的预后情况<sup>[36-37]</sup>。

### 3 总结

IRTI与传统影像学检查不同,它属于功能检查,能提供被检者热场信息,为疾病诊断提供依据。迄今,虽然已有多项临床研究结果支持IRTI作为乳腺疾病辅助诊断工具,但IRTI仍具有自身局限性。实验室环境(温度、湿度、阳光直射、空气流动等);设备质量(稳定性、敏感性等);被检者身体状态(有无服用激素类药物、涂抹乳霜等)以及操作者技术水平等均对检查结果有影响。因此在检查过程中,需要尽量控制以上影响因素,减少错诊及漏诊。除外,标准化的检查流程及热像图诊断标准也是必要因素之一,但遗憾的是,目前为止国内外的检查流程及诊断标准尚未统一,这也是我们今后研究的主要目标和方向。

### 【参考文献】

[1] SIEGEL R L, MILLER K D, JEMAL A. Cancer statistics, 2018[J].

CA Cancer J Clin, 2018, 68(1): 7-30.

- [2] 陈万青, 郑荣寿, 张思维, 等. 2013年中国恶性肿瘤发病和死亡分析[J]. 中国肿瘤, 2017, 26(1): 1-7.
- CHEN W Q, ZHENG R S, ZHANG S W, et al. Analysis of morbidity and mortality in China in 2013 malignant tumor[J]. China Cancer, 2017, 26(1): 1-7.
- [3] BLAND K I, MENCK H R, SCOTT-CONNER C E, et al. The national cancer data base 10-year survey of breast carcinoma treatment at hospitals in the united states[J]. Cancer, 1998, 83(6): 1262-1273.
- [4] DÜNDAR P E, OZMEN D, OZTÜRK B, et al. The knowledge and attitudes of breast self-examination and mammography in a group of women in a rural area in western Turkey[J]. BMC Cancer, 2006, 6: 43.
- [5] FLETCHER S W, ELMORE J G, CLINICAL P. Mammographic screening for breast cancer[J]. N Engl J Med, 2003, 348(17): 1672-1680.
- [6] BERRINGTON DE GONZÁLEZ A, REEVES G. Mammographic screening before age 50 years in the UK: comparison of the radiation risks with the mortality benefits[J]. Br J Cancer, 2005, 93(5): 590-596.
- [7] KHALKHALI I, VARGAS H. Practical use of ultrasound at a dedicated breast center[J]. Breast J, 2005, 11(3): 165-166.
- [8] YAHARA T, KOGA T, YOSHIDA S, et al. Relationship between microvessel density and thermographic hot areas in breast cancer[J]. Surg Today, 2003, 33(4): 243-248.
- [9] LAWSON R N. Early applications of thermography[J]. Ann N Y Acad Sci, 1964, 121: 31-33.
- [10] LAWSON R N. Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast cancer[J]. Can Med Assoc J, 1956, 75(4): 309-311.
- [11] KÖŞÜŞ N, KÖŞÜŞ A, DURAN M, et al. Comparison of standard mammography with digital mammography and digital infrared thermal imaging for breast cancer screening[J]. J Turk Ger Gynecol Assoc, 2010, 11(3): 152-157.
- [12] RING E F. The historical development of thermal imaging in medicine [J]. Rheumatology (Oxford), 2004, 43(6): 800-802.
- [13] PARK J Y, HYUN J K, SEO J B. The effectiveness of digital infrared thermographic imaging in patients with shoulder impingement syndrome[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2007, 16(5): 548-554.
- [14] DENG F, TANG Q, ZHENG Y, et al. Infrared thermal imaging as a novel evaluation method for deep vein thrombosis in lower limbs[J]. Med Phys, 2012, 39(12): 7224-7231.
- [15] DENG F, TANG Q, ZENG G, et al. Effectiveness of digital infrared thermal imaging in detecting lower extremity deep venous thrombosis [J]. Med Phys, 2015, 42(5): 2242-2248.
- [16] DENG F, TANG Q, JIANG M, et al. Infrared thermal imaging and Doppler vessel pressurization ultrasonography to detect lower extremity deep vein thrombosis: diagnostic accuracy study[J]. Clin Respir J, 2018, 12(3): 1118-1124.
- [17] BRENNER M, BRAUN C, OSTER M, et al. Thermal signature analysis as a novel method for evaluating inflammatory arthritis activity[J]. Ann Rheum Dis, 2006, 65(3): 306-311.
- [18] LAWSON R. Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast cancer[J]. Can Med Assoc J, 1956, 75(4): 309-311.
- [19] WILLIAMS K L, WILLIAMS F J, HANDLEY R S. Infra-red thermometry in the diagnosis of breast disease[J]. Lancet, 1961, 2 (7217): 1378-1381.
- [20] RING E F, AMMER K. Infrared thermal imaging in medicine[J]. Physiol Meas, 2012, 33(3): R33-46.
- [21] XIE W, MC CAHON P, JAKOBSEN K, et al. Evaluation of the ability of digital infrared imaging to detect vascular changes in experimental animal tumours[J]. Int J Cancer, 2004, 108(5): 790-794.



- [22] SONG C, APPELYARD V, MURRAY K, et al. Thermographic assessment of tumor growth in mouse xenografts[J]. *Int J Cancer*, 2007, 121(5): 1055-1058.
- [23] POLJAK-BLAZI M, KOLARIC D, JAGANJAC M, et al. Specific thermographic changes during Walker 256 carcinoma development: differential infrared imaging of tumour, inflammation and haematoma [J]. *Cancer Detect Prev*, 2009, 32(5-6): 431-436.
- [24] PAVELSKI M, SILVA D M, LEITE N C, et al. Infrared thermography in dogs with mammary tumors and healthy dogs[J]. *J Vet Intern Med*, 2015, 29(6): 1578-1583.
- [25] PARISKY Y R, SARDI A, HAMM R, et al. Efficacy of computerized infrared imaging analysis to evaluate mammographically suspicious lesions[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2003, 180(1): 263-269.
- [26] ARORA N, MARTINS D, RUGGERIO D, et al. Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer[J]. *Am J Surg*, 2008, 196(4): 523-526.
- [27] RASSIWALA M, MATHUR P, MATHUR R, et al. Evaluation of digital infra-red thermal imaging as an adjunctive screening method for breast carcinoma: a pilot study[J]. *Int J Surg*, 2014, 12 (12): 1439-1443.
- [28] ZADEH H G, HADDADNIA J, AHMADINEJAD N, et al. Assessing the potential of thermal imaging in recognition of breast cancer[J]. *Asian Pac J Cancer Prev*, 2015, 16(18): 8619-8623.
- [29] DE JESUS GUIRRO R R, OLIVEIRA LIMA LEITE VAZ M M, DAS NEVES L M, et al. Accuracy and reliability of infrared thermography in assessment of the breasts of women affected by cancer[J]. *J Med Syst*, 2017, 41(5): 87.
- [30] KOLARIĆ D, HERCEG Z, NOLA I A, et al. Thermography-a feasible method for screening breast cancer?[J]. *Coll Antropol*, 2013, 37(2): 583-588.
- [31] VENKATARAMANI K, MESTHA L K, RAMACHANDRA L, et al. Semi-automated breast cancer tumor detection with thermographic video imaging[G]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2015: 2022-2025.
- [32] PRASAD S S, RAMACHANDRA L, KUMAR V, et al. Evaluation of efficacy of thermographic breast imaging in breast cancer: a pilot study [J]. *Breast Dis*, 2016, 36(4): 143-147.
- [33] OMRANIPOUR R, KAZEMIAN A, ALIPOUR S, et al. Comparison of the accuracy of thermography and mammography in the detection of breast cancer[J]. *Breast Care (Basel)*, 2016, 11(4): 260-264.
- [34] KONTOS M, WILSON R, FENTIMAN I. Digital infrared thermal imaging (DITI) of breast lesions: sensitivity and specificity of detection of primary breast cancers[J]. *Clin Radiol*, 2011, 66(6): 536-539.
- [35] VREUGDENBURG T D, WILLIS C D, MUNDY L, et al. A systematic review of elastography, electrical impedance scanning, and digital infrared thermography for breast cancer screening and diagnosis[J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2013, 137(3): 665-676.
- [36] NG E Y, UNG L N, NG F C, et al. Statistical analysis of healthy and malignant breast thermography[J]. *J Med Eng Technol*, 2001, 25(6): 253-263.
- [37] WU L A, KUO W H, CHEN C Y, et al. The association of infrared imaging findings of the breast with prognosis in breast cancer patients: an observational cohort study[J]. *BMC Cancer*, 2016, 16: 541.

(编辑:薛泽玲)