

# 利用TTM技术诊断早期乳腺癌

Hairong Qi, Phani Teja Kuruganti, 刘忠齐

**摘要**-本文主要论证使用红外热成像（TIR）诊断早期乳腺癌。我们用一个术语"TTM"来命名TIR捕捉到的图像。虽然Pennes生物能-热能转换等式可以成功阐释由癌组织代谢产生并传递到体表的热量，但是生物体周边复杂的环境使得在解决这一等式的逆过程的实际问题很不实用。这篇论文介绍了一个新的利用热电类比关系的分析方法，称之为热-电模拟。我们证明如何用这种模拟来估测热源深度，并且帮助了解人体体表下的新陈代谢活动。这种方法已经被用在乳腺癌早期检查方面，而且灵敏度非常高。论文中给出一些研究实例，证明这种方法的有效性，并且提供了临床实验的结果。

## I 绪论

温度是长期建立起的人体健康表征。公元前400年希腊物理学家Hippocrates就提出"人体某部分感觉过热或过凉，表示这部分有疾病存在。" 古希腊人用湿泥巴覆盖住人体，如果某一区域比其它区域干的快，说明该区域温度较高，认为这一区域组织不正常。在伽利略发明温度计以前，古埃及人用手指当作扫描装置监视人体体表的温度。现代温度测量技术已经发展到红外成像领域；完全不需要接触人体。

红外辐射的波长在电磁波的不可见光的微波波段范围内，宇宙中所有物体都辐射表征自身温度的红外线：如果某一物体变热，红外辐射强度增大，并且波长变短。人眼看不到红外线，但可以用热红外摄影机和探测器探测到。

红外成像已经应用在很多领域，从军事、工业工程到现在医疗行业。它因为非侵入；无害，成为辅助诊断的有力武器。

本文重点论述运用红外成像诊断早期乳腺癌。我们将红外成像捕捉的图像命名为"TTM"。早在1961年Williams和Handley在Lancet[7]最早发表了自己关于红外成像在乳腺癌研究中应用的成果。然而，"错误的观点和不加控制的将红外成像应用到乳腺癌检查验证项目（BCDDP）"使得红外成像15年前过早的夭折。人们批评红外成像的诊断结果比钼靶的假阳性率更高，并且因此没能被推荐作为乳腺癌检查的标准手段。我们认为红外成像早期研究的主要问题在于人们对红外成像广泛流行的肤浅理解。比如"红外成像获得的信息量与钼靶获得的信息量相比只是很少的一部分，所以读懂红外图像只是小菜一碟"之类的结论造成对热（像）图的严重误解。

不象X射线和CT等影像技术主要提供解剖结构信息，红外成像提供其它方法很难测到的功能信息。因此必须有深厚的医学知识才能有效解读图像。

所有温度在绝对零度以上的物体都自发辐射电磁波，称之为自然热辐射[3]。从癌组织及周围血流辐射到体表的热，可以用pennes[9]生物能-热能转换等式[8]定量，这个等式包括通过组织传导的热，组织代谢热容量和被等价于动静脉温度差的单位血流灌注率。该等式如下

$$k\Delta^2 T - c_b w_b (T - T_a) + q_m = 0$$

其中k是热传导率，qm是组织的热容代谢率，Cbwb是特定热容的乘积。t表示单位体积组织中总血流量的未知组织温度，tα是动脉温度。

理论上讲，给定了红外成像测量到的人体体表的热辐射强度，通过反解热传递的方程，我们就可以获得人体热模型中的一些组成要素。文献[1]， [2]中给出了不同的解生物能-热

1美国Knoxville,Tennessee大学电子计算机工程系 TN37996 Email:hqi@utk.edu

2贝亿集团有限公司 休斯顿Rockly大街10618号 TX77099 Email:bbym@bioyear.net

能转换等式的方法。虽然通过热辐射体的热动力可以计算出热辐射量，但与生物体有关的周边环境使之几乎不可能。

本文介绍了一种建立在热电类比基础上的新方法，称之为热-电模拟[6]。我们将证明这种模拟如何帮助我们估测出热源深度，并且帮助我们了解人体内部的代谢活动：这种方法已经用于乳腺癌的早期诊断并且灵敏度很高。文中给出一些乳腺癌研究的实例证明这种方法的有效性。同时给出临床实验结果。

## II 热—电模拟

生物体中活的细胞不停的进行着新陈代谢活动，生化和物理代谢过程都产生热。因此，人体体表的热辐射强度就反应了人体的代谢水平。根据传统热（像）图技术，癌症组织周围的血管数量和代谢速度比正常组织要多，要快，因此，对应皮肤表面的温度相对高。

虽然，皮肤表面的温度可以测量，如果体表温度与体内热源之间的关系不能确定。热红外成像技术的应用仍然受到限制。Pennes生物能—热能转换等式给出的热传递模型受实际使用的限制。因此，我们找到一个不需要直接解决逆向热传递问题的新方法-热—电模拟。

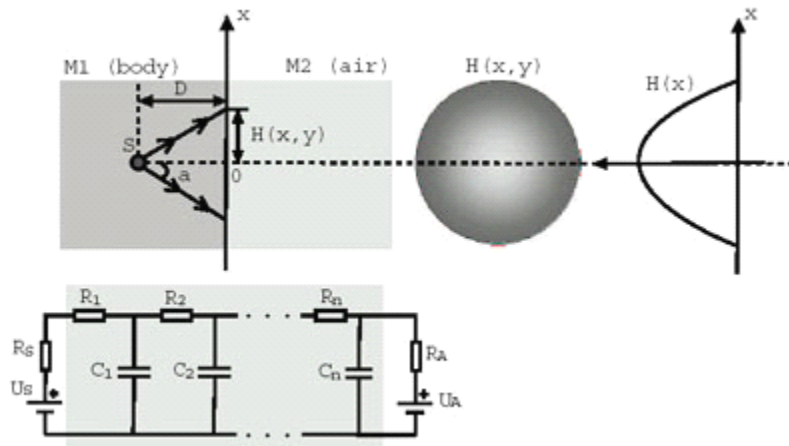


图1证明了热电的类比关系，人体内部热源S可以等效为电压Us，热源内部热损失可以等效为电阻。热源的温度对应于电源的电压，热流对应电流。同样，我们可将空气中的热源（体外热源）看作UA，热损失看作RA，Ri和Ci分别对应每条辐射线上单位热阻和热容。图1中的电路表示一条辐射线上的模拟。在乳腺癌的研究中，假定（S）与体表面之间介质是均匀的。因此，被红外线接收装置接收到的体表的辐射分布模型应该是一条高斯曲线，如图1所示，对应于体外电压的体表温度就可以通过等式2来计算：

$$H(x) = U_S - \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{R_S + R_A + \sum_{i=1}^n R_i} \times (U_S - U_A) \quad (2)$$

and

$$n = \lfloor \frac{D}{R_0 \cos a} \rfloor$$

[a]表示小于a的最大整数，n表示电路中使用的电阻数量，D是热源深度，RO表示在某种介质中单位热损失（或热阻率）。人体不同部位热阻率不同，如表 I 所示：

部位	热阻率
脂肪组织	0.1-0.15 C/cm
肌肉	0.2 C/cm
骨	0.3-0.6 C/cm

人体不同部位的热阻率

热电模拟提供了一种估测热源深度的方便的方法。

### A. 估测热源深度：

估测热源深度的基础是假设体表温度分布模型符合高斯曲线分布。半功率点是高斯曲线一个有用的特性。半功率点将封闭的高斯曲线分成面积相等的两部分。如果我们将高斯曲线从顶到底按固定的间距分切，如图2所示，水平方向上半径增加不明显，直到与半功率点重合。从图2我们看到第一层与第二层之间面积相对增加34个相素，但第三层与第四层之间面积相对增加116相素。因此，半功率点在第三层的位置上。

body parts	heat resistance rate
fatty tissue	0.1 — 0.15 <sup>0</sup> C/cm
muscle	0.2 <sup>0</sup> C/cm
bone	0.3 — 0.6 <sup>0</sup> C/cm

图2 • 阐明高斯曲线的半功率点和热源深度

假设热源温度是H0。右边三角形SAB中，斜边（SAB）与H0相等，且SA=SB=0.707 H0。

水平边（SA）是热源的深度，垂直边（AB）是高斯曲线中最高温度与半功率点温度之间的温差。换言之，如果我们找到半功率点，我们就找到热源的深度。

高斯曲线中每一次切片，相对应温度降低0.1度。在乳腺癌检查的应用中，根据脂肪组织的热阻率，温度每降低0.1度对应1 cm的深度。因此，通过对表面温度以某一设定步长进行切片，我们可以找到半功率点，并且准确到厘米级。

## III 实验结果和分析

### A. 模拟结果

图3说明了切片工作的综合过程。图像取自一块猪肉脂肪的切片过程。将一只通电的小灯泡置于猪肉脂肪中央作为热源以便控制热源位置。图中也给出经过软件重建的彩图。白色代表最高温度，黑色代表最低温度。首先必须找到一个合适的温度，使得下一次切片时白色相素出现在猪肉脂肪中央的位置上。在图3的例子中，合适的温度是20.50o。每一次切片彩图中最高温度降低0.1o（起使温度低了0.1o）那样显示出来的白色相素就更多。如果我们找到某一点白色相素突然增加很多，这一点之前的切片 温度就是半功率点。在这个例子中，断层过程中第四层比第三层的白相素点明显增加，灯泡的深度就是3 cm，与实际相符。注意，测量白相素的增加是通过测量的相素群半径的增加。

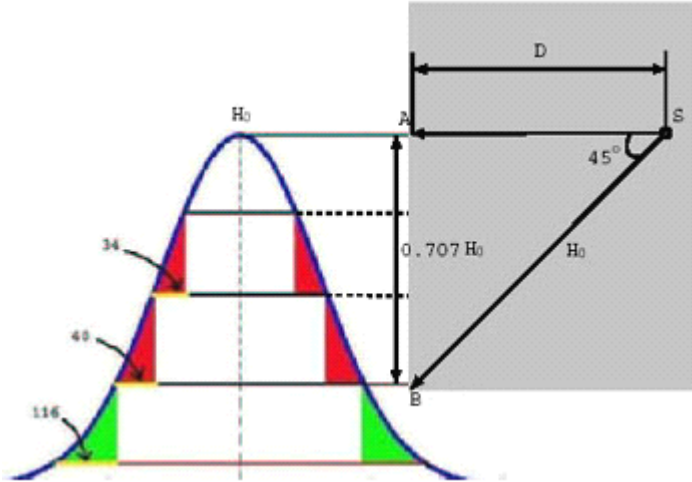


图3.用猪肉脂肪模拟断层

### B.病人数据分析

除了测量热源的深度，切片还可以显示白相素的发展情况。不同组织有不同的发展模式。通过观察发展情况可判断是哪种组织。比如，淋巴结和肿瘤的热是环形发展的，而血管热沿着血管的方向发展的。

乳腺癌诊断步骤已经形成，共包括六步：

步骤1：腋下淋巴

步骤2：不正常区域的面积

步骤3：不正常区域热的形状和值的高低

步骤4：血管的状况

步骤5：乳头和乳晕

步骤6：动态观察（抗生素等）

以第一步为例，如果腋下淋巴显示一个不足2 cm深的热源，该情况异常程度（+）；如果有两个深度不足2 cm的热源并且  $|F_{左} - F_{右}| > 0.2$ ，该情况不正常程度（++）等。

图4.给出一个左乳小叶癌的案例。通过切片，我们发现以下不正常指标：

1. 一个2cm大的肿瘤，被4根血管包围（+++）；
2. 乳头3级闭合（+++）；
3. 两侧乳头温度差0.80（+）；

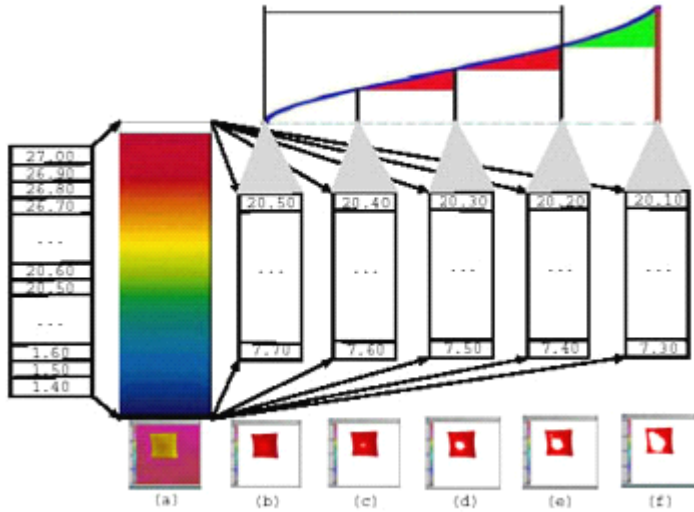


图4.左乳小叶癌病人切片图

图5.给出左乳导管癌的病例。通过断层我们发现以下不正常的指标：

1. 两侧腋下温度相差0.80 (++++);
2. 肿瘤距体表深度2cm (++);
3. 肿瘤被5根血管围绕 (+++);
4. 乳晕不足3级封闭 (+++).

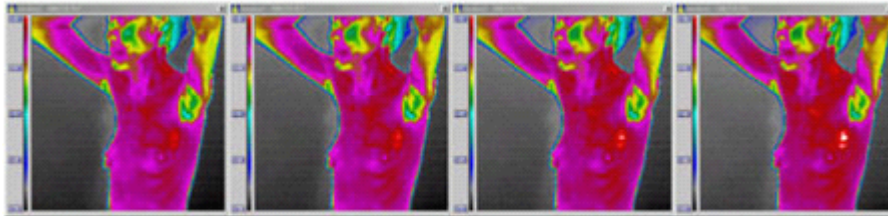


图5.左乳导管癌患者断层图

#### IV 概要

这篇论文介绍的方法的创新之处就是它第一次揭示了每一切片与人体内新陈代谢活动之间的关系。使用热-电模拟的方法和半功率点恰好揭示了这种关系。这项技术及由此技术研究成功的设备已经获得专利[6]。我们称这一系统为贝亿系统或TMI（热扫描成像）系统。临床实验已经证明它具有更高的灵敏度及特异性。在中国，这个概念在几方面的应用已经被证明有效，其中包括乳腺癌检查，卵巢癌检查。已经有40万例病人接受过贝亿系统的检查，其中5万人接受了乳腺癌的检查。有103例贝亿系统诊断为乳腺癌的病例后来都经过活检证实了。在103个病例中92例也作过钼靶检查，钼靶漏掉了92例中的6例，其中2例漏掉的乳腺癌是2mm大。这一概念正在美国/加拿大等单位通过有效性验证，包括加拿大Ville Maire乳腺癌中心，（200例热扫描成像系统的诊断结果中的198例 与该中心的诊断完全符合）路易斯安那州Baton Rouge 的Elliott • Mastology中心和美国国家健康研究院(NIH)。

## 参考文献

- [1] C.L.Chan.周边因素法分析生物能—热能转换等式。ASME J. Heat Transfer,114: 358—365, 1992年。
- [2] T.R.Hsu, N.S.Sun 及G.G.Chen逆向热传导分析中的限定因素模拟方法。ASME J. Heat Transfer.114: 553—557, 1992年。
- [3] B.Fjones.重新评价红外线成像在医疗诊断中的价值。IEEE转载自Medical Image Analysis in Medicine, 17 (6): 1019—1027, 1998年12月。
- [4] Smnel Hodge.Jr.热像图和人身伤害诉讼。Wiley Law Publication.1987年。
- [5] J.R.Keyserlingk, P.D.Anlgon, E.Yu, N.Bellivean, 和M.Yassa。乳腺功能红外成像。IEEE, Engineering in Medical and Biology.2000年5月/7月刊, 30-41页。
- [6] 刘忠齐和王琛, 热辐射成像方法及设备, 2000年美国专利报告 6,023,637。
- [7] K.Lloyd—Williams和R.S Handley.红外温度测量方法诊断乳腺病, Lancet. (2): 1378--1381, 1961年。
- [8] E.Y.K.Ng和N.M.Sndarshan.xxx., Journal of Medical Engineering and Technology, 2001年,3月/4月版 25 (2): 53-60页
- [9] H.H.Pennes.前臂静止时组织和动脉血管温度分析,Journal of Applied Physiology,1948年 2: 93—122
- [10] 热学 <http://www.thermolog.com/history.htm>
- [11] J.D Wallace.乳腺热像图检查: 一种目前可实现的方法。Gallagher H.S.编辑, 早期乳腺癌: Detection and Treatment。13-19页,1975年。

注:本文摘译自2002 "IEEE International Symposium on Biomedical Imaging" 华盛顿2002年7月7日~10日 原文中一些错误已在译文中修正。