

内热源影响下的均质组织表面温度分布研究

周敏华 陈 钱

(南京理工大学电光学院 441 教研室 江苏 南京 210094)

摘要:现有的医用红外热像技术几乎都来自体表,为了提高诊断准确性,必须进一步确定体表温度分布与体内热源间的关系。基于人体内部传热机制和人体与环境的传热机制,推导出稳态下均质(各向同性)组织的表面温度分布与内部球状热源之间的关系,通过模拟计算可验证结论的准确性。

关键词:医用红外热像技术;生物传热;表面温度分布;热源深度

中图分类号:R445.7 文献标识码:A

Study on the Surface Temperature Distribution of the Isotropy Tissue Affected by the Inner Heat Source

ZHOU Min-hua, CHEN Qian

(441 Staff Room, School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, Jiangsu, China)

ABSTRACT: The present medical infrared thermography technology only can get the surface temperature distribution. In order to make the diagnosis accurate, it is necessary to know the relationship between the surface temperature distribution and the inner heat source. Based on the bio-heat transfer theory, the relationship between the surface temperature distribution and the inner spherical heat source of the isotropy tissue will be derived from it in this paper. By the simulation and the calculation, the results will be validated.

Key words: Medical infrared imaging; Bio-heat transfer; Surface temperature distribution; Heat depth

前言

目前,生物组织的热效应已引起了人们的足够重视,形成了红外医学影像学,专门研究生物医学传热及其医学应用,为人体疾病的早期、无损诊断翻开了新的一页。医用红外热像技术是医学技术、红外摄像技术和计算机多媒体技术结合的产物,是一种记录人体热场的影像装置^[3]。但是,由于红外热像仪是被动地接收人体的红外辐射信号,所成的红外热像是体表温度的分布图像,由此并不能直接反映体内热源的大小、深度等相关信息,所以必须进一步确定体表温度分布与体内热源之间的关系^[8]。

本文从生物传热学理论出发,基于人体内部传热机制和人体与环境的传热机制,推导出均质组织的表面温度分布与内部球状热源之间的关系,通过 matlab 的模拟计算,验证了该结论的准确性。

1 理论基础

1.1 人体内部传热机制

热量的传递通常可以归纳为传导、对流和辐射三种形式。由于人体内各部分之间温差不大,辐射换热可不予考虑。因此体内传热机制主要是导热和对流。由于组织内的对流换热主要是通过血液流动来实现的,本文尚未涉及血液换热机制,所以在此只考虑传导换热的作用。

人体内部热传导可由傅立叶定律得出,即:某一方向上的传热量正比于其热流方向上的横截面面积及温度梯度^[1]。

$$Q = -kA \frac{dt}{dr} \quad (1-1)$$

其中, k 为热导率, A 为横截面积, $\frac{dt}{dr}$ 为温度梯度。

1.2 人体与环境间的传热机制

人体同环境之间的换热主要有以下几种方式:对流、辐射、蒸发。本文仅考虑前两种换热方式在均质组织散热过程中所起的作用。

采用牛顿换热公式,可将人体与环境的对流换热热量表示成^[2]:

$$q_c = h_c(T_s - T_o) \quad (1-2)$$

式中 h_c 为对流换热系数, T_s 为人体体表平均温度, T_o 为体表周围空气温度。

同任何物体一样,人体与环境只要存在温差,就要发生着与外界的热辐射交换。辐射散热在维护人体热平衡上具有重要作用,如在外界温度较低而机体处于安静状态时,辐射散热量可达总散热量的 60% 左右。

由斯蒂芬-玻尔兹曼定律可知,从温度为 T_1 的表面到温度为 T_2 的表面净辐射传热量为^[1]:

$$q_{1-2} = \epsilon_1(T_1^4 - T_2^4) \quad (1-3)$$

式中 ϵ_1 为辐射率, σ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数。

如果 T_1 和 T_2 相差不大,可用辐射换热系数将上述非线性表达式转换成线性关系式:

$$\begin{aligned} q_{1-2} &= \epsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) = 4\epsilon_1 \sigma T_m^3 (T_1 - T_2) = h_r (T_1 - T_2) \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中 h_r 为辐射换热系数。

作者简介:周敏华,(1981-),女,博士研究生

主要研究方向:红外医学成像

E-mail: zmh700@126.com

(收稿日期:2006-06-03 接受日期:2006-06-27)

2 数学推导

在此仅考虑了球状热源在均质组织中的传热问题,忽略了组织自身的传热机制,即组织无内热产生,无血液流动且不做功。

由上描述可绘出均质组织的传热截面图,如图1所示。图中R为球状热源半径, T_c 为热源温度, d为组织表面到热源中心的距离。设均质组织表面任一点到热源中心的距离为 ρ , 且该点温度为 T_p , a为热源中心与该点的垂直距离。

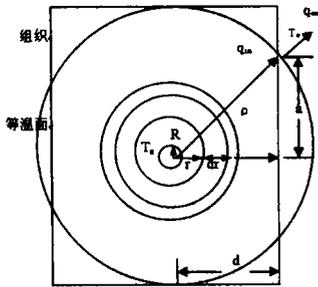


图1 均质组织的传热截面图

Figure 1 Heat-transfer section of the isotropy tissue

假设热流是径向对称的,且径向导热系数为常数。厚度为的球壳的傅立叶定律为:

$$Q_r = -k(4\pi r^2) \frac{dT}{dr} \quad (2-1)$$

由此得出能量平衡为:

$$-\frac{dQ_r}{dr} = k4\pi \frac{d}{dr} (r^2 \frac{dT}{dr}) = 0 \quad (2-2)$$

积分可得:

$$T = -C_1/r + C_2 \quad (2-3)$$

由边界条件 $r=R$: 时, $T=T_c$ 以及 $r=\rho = \sqrt{d^2 + a^2}$ 时, $T=T_p$, 求出 C_1 和 C_2 , 得到的温度分布为:

$$T = T_c - \left[\frac{1-R/r}{1-R/\rho} \right] (T_c - T_p) \quad (2-4)$$

热通量为:

$$Q_r = \frac{4k\pi r^2}{1/R - 1/\rho} (T_c - T_p) \quad (2-5)$$

则体表单位面积的传热量为:

$$q_r = \frac{Q_r}{4\pi \rho^2} = \frac{kR}{\rho(p-R)} (T_c - T_p) \quad (2-6)$$

假设从内部热源传导出来的热在边界上与环境之间完全换热,即

$$q_{in} = q_{out} \quad (2-7)$$

其中

$$q_{in} = q_r = \frac{kR}{\rho(p-R)} (T_c - T_p) \quad (2-8)$$

$$q_{out} = h_r(T_p - T_o) + h_c(T_p - T_o) = \alpha(T_p - T_o) \quad (2-9)$$

计算可得:

$$T_p = T_o + \frac{T_c - T_o}{\frac{\alpha \rho (p-R)}{kR} + 1} \quad (2-10)$$

其中 $p = \sqrt{d^2 + a^2}$ 。从上式可以看出,表面温度分布与热源大小 R 及热源深度 d 之间存在着一定的关系。

3 数值求解及其模拟结果

本文以 $R=5\text{mm}$ 的球状热源为例进行数值求解,实验数据见表1。

表1 实验数据

Table 1 Experiment data

$T_o/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$k/w/(m \cdot k)$	$\alpha/w/(m^2 \cdot k)$
27.4	37.3	0.2	4.2

使用 matlab 对上述结论进行计算,可得如图2所示的组织表面温度分布 T 与热源深度 d 及垂直距离 a 之间的关系。

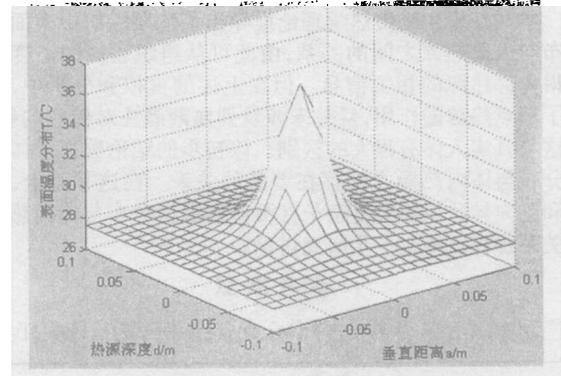


图2 均质组织表面温度分布

Figure 2 Surface temperature distribution of the isotropy tissue

热源深度 d 一定时, a 与组织表面温度 T_1 的关系如图3所示,左图是 $d=0.02\text{m}$ 时 a 与 T_1 之间的关系,右图是 d 的不同取值下 a 与 T_1 之间的关系。

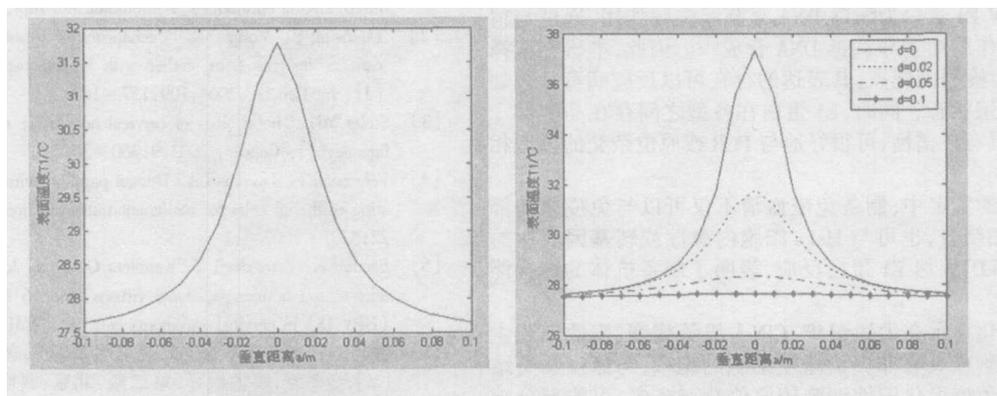


图3 d一定时,组织表面温度分布与 a 的关系

Figure 3 Relationship between T and a when d is stated

当 a 一定时, d 与温度 T_2 (热源径向温度分布) 的关系如图4所示,左图是 $a=0$ 时 d 与 T_2 之间的关系,右图是 a 的不同取值下 d 与 T_2 之间的关系。

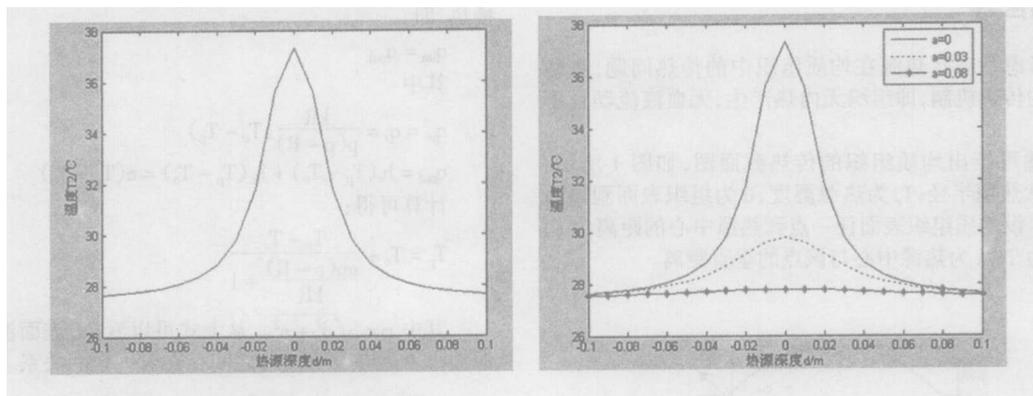


图4 a一定时,不同深度d对应的温度分布

Figure 4 Relationship between T and d when a is stated

由上述分析可以看出,温度 T_1 和 T_2 的分布曲线都是高斯曲线,且均质组织表面温度分布与内部热源深度存在着一定的关系。通过式(2-10)可以看出,由均质组织表面温度分布可获得内部热源大小及热源深度的相关信息,从而为确定人体复杂条件下体表温度分布与体内热源间的关系提供了一定的理论基础,进一步促进现有医用红外热像技术的发展和诊断准确性的提高。

4 结论

本文基于生物传热学理论推导出了均质组织中表面温度分布与内部热源之间的关系,由此可从组织表面的温度分布获得内部热源的相关信息。但在上述的模拟和分析中,只考虑了单点热源的作用,且并未涉及到血液灌注对传热的影响,而这与真实人体有很大的区别。该初步的结论验证了体表温度分布与体内热源之间存在着某种关系。在此基础上,多热源和各向异质组织等复杂条件下体表温度分布与体内热源间的关系将在以后进一步研究讨论。

参考文献

[1] 刘静,王存诚.生物传热学[M].北京:科学出版社,1997:31-45

- [2] J.C.切托著,徐云生,钱壬章译.生物传热学基础[M].北京:科学出版社,1991:9-35
- [3] 吴士明,张传富,曾品菊等.医用红外热像技术临床应用研究[J].激光杂志,2003,24(1):63-65
- [4] Michael Anber. Clinical thermal imaging today[J]. IEEE engineering in medicine and biology, July/August 1998:25-33
- [5] H.H.Pennes. Analysis of Tissue and Arterial Temperatures in the Resting Human Forearm[J]. Journal of Applied Physiology, Vol.1, 1948:93-122
- [6] Tang Xianwu, Ding Haishu, Wang Guangzhi, et al. Relationship between surface temperature distribution and internal heat source size of the in-vitro tissue[C]. EMBC 2004. Conference Proceedings. 26th Annual International Conference of the Volume 1, 2004:873-878
- [7] 王存诚,陈槐卿.生物医学中的热物理探索[M].北京:科学出版社,1994:27-34
- [8] 沙斌,袁修干.数值求解人体生物热方程是边界条件的处理方法[J].北京航空航天大学学报,1992,2:46-50
- [9] 唐一峰,黄钦焯.生物组织热传导方程的解[J].闽江学院学报,2004,25(2):17-19,61
- [10] 蔡睿贤,张娜.生物导热方程的一维不定常解析解[J].自然科学进展,1998,8(3):331-336

(上接第14页)

借助于宿主细胞为其提供的原料能量和酶类等必要条件,以自我复制的方式合成子代病毒的核酸和蛋白质,装配成完整病毒颗粒并释放到细胞外。进入其他细胞再复制,反复进行。HPV的复制和繁殖使宿主细胞发生细胞周期紊乱,迅速分裂并消耗受损,产生增殖性损伤,表现为疣状增生,以至细胞癌变^[1,3]。HPV E1蛋白为病毒DNA复制起关键作用,通过与宿主多种蛋白作用而诱导病毒DNA合成^[7]。因此,本研究选择E1蛋白作为检测的靶点,其表达的存在可以反应病毒是否处于活跃的增殖状态。同时,E1蛋白在各型之间存在高度保守性,其检测具有广谱性,可很好地与PCR或原位杂交的分型相结合^[1,5]。

在抗体的鉴定中,制备免疫血清不仅可以与免疫原的部份E1蛋白相结合,也可与HeLa细胞内源性或转基因表达的全长(约68 kD)天然E1蛋白反应,表明了制备抗体的结合能力和特异性。

免疫组化显示在尖锐湿疣、CIN I级等病变,阳性细胞主要为挖空细胞或具有非典型增生细胞的胞核,与原位杂交结果一致。但免疫组化阳性细胞较原位杂交略多,可能部分感染细胞由于病毒拷贝低而原位杂交呈阴性。

HPV病毒引起的生殖器官疾病已成为目前主要的性传播疾病,尤其是宫颈癌的发病率和死亡率方面在女性是仅次于乳腺癌的最常见的肿瘤。因此,HPV病毒的检测对于性传播

疾病和宫颈癌前病变的早期诊断和治疗具有重要的意义。本研究的结果将有助于这些疾病的早期防治。

参考文献

- [1] Longworth MS, Laimins LA. Pathogenesis of human papillomaviruses in differentiating epithelia[J]. Microbiol Mol Biol, 2004,68:362-372
- [2] Duensing S, Munger K. Mechanisms of genomic instability in human cancer: insights from studies with human papillomavirus oncoproteins[J]. Int Cancer, 2004,109:157-162
- [3] Stoler MH. The virology of cervical neoplasia: an HPV-associated malignancy[J]. Cancer, 2003,9:360-367
- [4] Fehrman F, Laimins LA. Human papillomaviruses: targeting differentiating epithelial cells for malignant transformation[J]. Oncogene, 2003,22:5201-5207
- [5] Seedorf K, Oltersdorf T, Krammer G, et al. Identification of early proteins of the human papilloma viruses type 16 (HPV 16) and type 18 (HPV 18) in cervical carcinoma cells[J]. EMBO, 1987,6:139-144
- [6] 萨姆布鲁克J,弗里奇GF,曼尼阿蒂斯T,著.分子克隆实验指南[M].金冬雁,黎孟枫译.第二版.北京:科学出版社,1989:816-856
- [7] Sun S, Thomer L, Lentz M, Macpherson P, et al. Identification of a 88-Kilodalton Nuclear ATP-Binding Phosphoprotein Encoded by Bovine Papillomavirus Type 1[J]. Virology, 1990,64:5093-5105