人体体表循经红外辐射轨迹形成机理的初步探讨*

胡翔龙 许金森 汪培清 许小洋 高凌云 吴宝华
(福建省中医药研究院,福建,福州,350003)

摘要 论述了皮肤的微循环状态和经脉线下深部组织中的传热通道,是形成循经红外辐射轨迹(IRRTM)的两个主要因素,尤以后者更为重要.该通道由深及浅,由多种已知的组织组成,可能还有一些未知的因素参与.该处氧分压和组织温度较高,微循环旺盛,能量代谢活跃,为实现物质、能量和信息的转换和传递提供了有利的条件,使经络参与人体功能的调控过程成为可能.

关键词 红外热像图,循经红外辐射轨迹,经络,皮肤微循环,热传导.

PRELIMINARY EXPLORATION ON THE MECHANISM UNDERLYING THE FORMATION OF INFRARED RADIANT TRACK ALONG MERIDIAN COURSES OVER HUMAN BODY SURFACE*

HU Xiang-Long XU Jin-Sen WANG Pei-Qing XU Xiao-Yang GAO Ling-Yun WU Bao-Hua
(Fujian Institute of TCM, Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract The feature of skin microcirculation and a certain channel of thermal transfer in the deep tissue underneath the meridian course are the main factor for the formation of infrared radiant track along meridian course (IRRTM), while the latter what is more important. The channel of thermal transfer in question, which includes a definite depth, form deep to superficial, consists of a several known tissues and some unknown factors may also be involved. P_{O_2} and tissue temperature are higher, microcirculation abundant and energy metabolism are active to provide a favorable condition for realization of transformation and transmission for material, energy and signal, in this way, meridian is to be able to play an important role in regulation of functional activity of human body.

Key words infrared image, infrared radiant track along meridian courses, meridian, skin microcirculation, heat transfer.

引言

多年来,中医经络学说和中国古代医家所描述的十四经脉循行路线始终吸引着国内外学者的深切关注,因而经脉循行路线的客观显示也一直是经络研究工作中的一个热点.1970年,法国学者曾经提出用红外热像技术有可能显示出经脉的路线.此后,日本等国家的学者也曾进行过这方面的研究,但主要是用于观察穴位的皮温和针刺穴位时体表温度的变化,对经脉的研究很少[1,2].1980年,我国学者也开始将红外热像仪用于经络研究,观察到针刺时相关穴位或沿经皮肤温度的一些变化,但由于技术条件等方面的限制,在经脉循行路线的显示方面未能取得预期的结果[3~5].1990年,我们又使用了更为先进的红外辐射示踪仪,对此再次进行研究,终于将人体体表自然存在的循经红外辐射轨迹(IRRTM)成功地显示出来,使人们直观地"看"到了古人所描述的经脉循行路线[6,7].在自然状态下未显示出IRRTM的受试者,在经脉线上的穴位或非穴位点加热,也可将IRRTM诱发出来,IRRTM确是人群之中相当普遍存在的一种正常生命现象.并发现经脉线上相关组织的导热性较非经脉部位更好,二者的物理学特性确有某些不同,说明经络确是人体固有的某种组织和功能,它在外周必然有其相应的物质基础[8].弄清IRRTM形成的机理是进一步探讨与经脉行路线相关的物质基础的一个很好的切入点.为此,

* 国家攀登计划(批准号95-预-19-312)和福建省科技厅、卫生厅和教委资助项目
稿件收到日期2002-09-16,修改稿收到日期2002-12-09

* The project supported by the National Climbing Program of China (No. 95-Yu-19-312), Science and Technology Department, Education Department and Health Departmen of Fujian of China
Received 2002-09-16, revised 2002-12-09

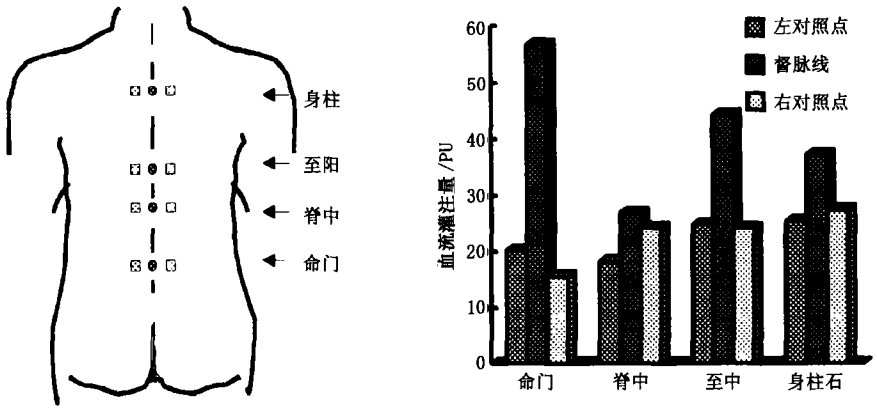


图1 沿督脉IRRTM的皮肤微循环测试部位和检测结果

Fig. 1 Illustration of tested points of skin microcirculation along Du meridians and the result obtained

我们又进行了以下6个方面的工作,现将主要实验结果报道如下文.

1 实验

观察对象为105名健康成年志愿者.体表的循经红外辐射轨迹以红外辐射示踪仪测试,详细方法参见胡翔龙等的报导[7].冷负荷试验是在自然状态下,先拍摄所观察部位的红外热像图1~2幅作为基础对照.然后,以致冷空调的冷风均匀吹向所观察部位5min,停止致冷后,记录皮温恢复过程中IRRTM的动态变化.

深部组织温度以三通道的测温仪测定(TJ-03型).温度传感针以热敏电阻制成,外径0.6mm,尖端为针状,测温范围为32~41℃,响应时间1min,分辨率为0.01℃.使用前3支针形传感器经过严格的校正,读数一致,性能稳定.实验时分别插于经脉线上及两侧的非经对照点,待仪器读数稳定后,开始记录.每分钟记录1次,每个测试点记录10次,取其平均值,分别记录皮下2cm、1.5cm和1cm 3个深度的温度值,每个实验日测试1个水平.

皮肤和皮下微循环灌注量的测量采用三通道的激光多普勒血流仪(Perimed 5000型),同步测试经脉线上及其两侧旁开非经对照部位的微循环状态.测定皮肤微循环时采用平面探头,直径5mm.测定深部组织微循环时则通过一针形导管将直径0.3mm的光纤插至表皮下2cm处,取出导管,将光纤固定即可测量.测定的结果通过计算机打印并绘出相应的曲线,测试时间为20min.

组织氧分压以三通道的组织氧分压测定仪(TJ-Y03A型)测定.该仪器是根据极谱的原理设计,传感针的直径0.6mm,测量范围为0.1k~20.6 kPa,分辨率为0.1kPa,响应时间小于2min.实验前,仪器均经过校正,3支传感针的读数相同,且保持稳定,以保证实验结果的可靠.观察的经脉为督脉和大肠经,3支传感针分别插入经脉线上的测试点及其两侧旁开的非经对照点.插入深度均为皮表下2cm,每2min记录1次.观察时间为20min(取其均值).

以上各项测试主要是在背部督脉上进行,因80%的受试者,沿督脉都可出现长程的IRRTM,但也有部分实验在大肠经、心包经和肺经等经脉上进行复核.鉴于实验的需要,针刺效应及其阻滞的观察主要采用大肠经,针刺穴为合谷.本实验的受试者都经过红外热像仪的检测,其中一部分实验是直接在热像仪的监视下进行的.

2 结果

2.1 IRRTM与皮肤微循环的关系

红外热像图所显示的是皮肤表面的温度,这一温度首先就与皮肤的微循环状态密切相关,为此,我们进行了以下3项观察.

2.1.1 局部轻微压迫对IRRTM的影响

以一弹簧压力器轻压IRRTM(压力为200gm/cm^2,与皮肤接触部分为一有机玻璃块,面积1×2cm^2,温度与该处皮温相同),被压迫部位的IRRTM即消失,解除压迫后,IRRTM又逐渐恢复.以上结果在每一名受试者均可重复,说明IRRTM的形成与皮肤微循环直接相关.

2.1.2 皮肤微循环灌注量的测定

测试对象是15名健康成年志愿者,先后观察了督脉和肺经2条经脉,图1是沿督脉的IRRTM的测试部位和检测结果.IRRTM及其两侧旁开对照组的皮肤微循环灌注量分别为22.89±3.77pu、41.63±

2.65pu、24.11 ± 1.78pu. IRRTM 上的灌注量高于两侧旁开对照组,统计学上都有非常显著的差异,说明 IRRTM 上皮肤的微循环较其两侧旁开部位旺盛. 总的来说,皮温高的部位微循环的灌注量也高,但二者之间不完全呈正比关系. 对肺经观察的结果基本相同(一共测试了孔最(Lu6)、尺泽(Lu5)、中府(Lu1)、中府 - 云门(Lu2)中点等 4 个水平).

2.1.3 皮肤不同层次的微循环灌注量

以多元探头测定了皮肤 3 个层次的血流灌注量,测定的深度约皮肤表面下 0.25mm、1mm 和 2mm 的部位. 结果表明,无论是在 IRRTM 上或两侧旁开的对照点,微循环的灌注量均以 1mm 左右的深度为最大,相当于真皮层内.

以上结果初步表明,IRRTM 线上皮肤微循环的灌注量高于其两侧的对照区,它的形成与皮肤微循环有直接的关系,但由于皮温与微循环不成正比,IRRTM 上的皮温升高可能还有其他因素参与.

2.2 采用冷负荷试验对 IRRTM 的热源的初步判断

将空调的冷风均匀地吹至所观察的部位(主要是背部和上肢),使该部皮温均匀下降,热像图上所有的红外辐射轨迹和散在的斑块均消失. 停止致冷,观察皮温恢复过程中红外辐射轨迹重新显现的情况. 对 30 名志愿者进行了观察,致冷前大多数受试者沿督脉都有比较均匀、规整的 IRRTM,但在大椎部也常出现一些与督脉轨迹交联的 IRRTM. 致冷后,所有背部的 IRRTM 和高温的斑块完全消失. 停止致冷,一般在 3 ~ 5min 后,可以看到督脉线上的皮温首先回升,与其周围对比,形成相对的高温带. 所有受试者观察的结果一致. 图 2(见彩色插页 1)是对一名受试者的观察结果,(a)是致冷前的基础对照,(b)是致冷时的红外热像图,(c ~ f)是致冷后皮温的恢复过程,表现非常清楚.

上述结果提示,IRRTM 的形成虽与皮肤表浅部的微循环相关,但导致 IRRTM 的热源则位于皮下一定深度的部位. 对其他经脉观察的结果也相同.

2.3 经脉线下深部组织温度的测定

为了核实上述推断,我们对督脉线上的神道(Du11)、脊中(Du6)、悬枢(Du5)、命门(Du4)4 个穴位和 T8 水平的非穴点的皮温和皮下 1cm、1.5 mm、2cm 深度的组织温度进行了测定,并以上述 5 个测试点两侧旁开 2cm 的非经部位作为对照点进行同样的测试. 图 3 是测试的部位和对 38 名受试者测定的结果.

图 3 的结果表明:(1)在正常条件下,健康成人经脉线上的皮肤温度显著高于两侧非经对照区,在热像图上可显示出清楚的 IRRTM. (2)在皮下不同的深度,经脉线上的组织温度也显著高于两侧非经对照点. 随着测试深度的增加组织温度也随之升高,但经脉线上组织温度高于其两侧非经对照点的这种特征,始终保持不变,存在一种由深及浅的生理性温度梯度.

2.4 经脉线下深部组织中 pO_2 的检测

观察对象为 28 名健康志愿者,所观察的经脉为督脉、大肠经和肺经.

在对督脉的观察中所检测的部位是腰阳关(Du3)、命门(Du4)、中枢(Du7)、第八胸椎下(T8)及身柱(Du12)等 4 个穴位和 1 个经上非穴位点(基本上覆盖了督脉腰背段全程)及其两侧旁开约2.5 cm 的非经对照点,共 5 个测试水平. 测试的深度为皮下 2cm.

图 4 是 pO_2 的测试部位和检测结果. 从右侧的直方图中可以清楚地看到,在每一个测试水平,沿督脉线下组织中的 pO_2 均较旁开的对照部位高,差异显著($P < 0.05 \sim 0.01$).

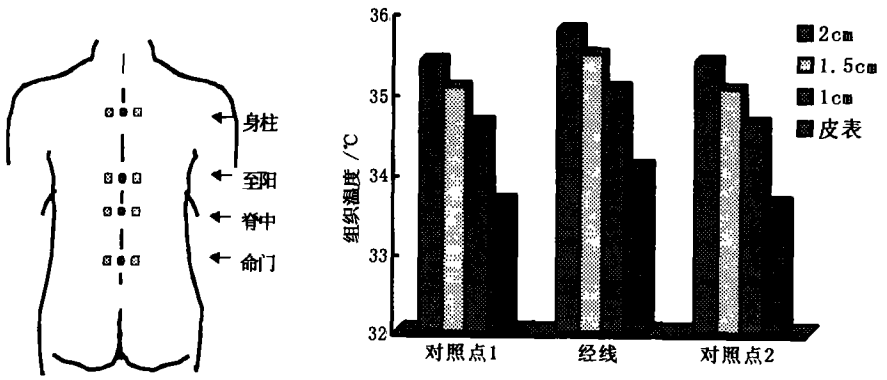


图 3　督脉线下深部组织温度的测试部位及检测结果

Fig. 3　Illustration of tested points of deep tissue temperature and the result obtained

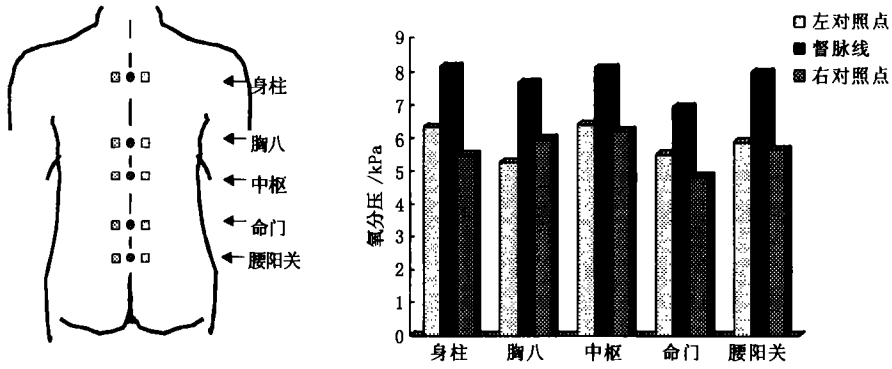


图4 督脉线下组织氧分压的测试部位及检测结果

Fig. 4 Illustration of tested points of pO_2 of deep tissues along Du Meridian course and the result obtained

本实验中所观察到的沿督脉线下深部组织中氧分压偏高的结果提示沿督线下组织中的能量代谢较为旺盛,这可能是该部组织温度较高和形成体表IRRTM的一个原因.对大肠经和肺经观察的结果也基本一致.

2.5 经脉线下深部组织中微循环灌注量的检测

对10名受试者沿督脉路线的命门(Du4)、脊中(Du6)、至阳(Du9)、身柱(Du12)等穴位及其两侧旁开的对照点进行了66次测试.结果表明,经脉线下1~2cm深度组织中的微循环灌注量都显著高于其两侧旁开的对照部位.经脉线下深部组织中的平均微循环灌注量为51.67±10.52pu,左右两侧非经对照部位的微循环灌注量则分别为29.12±5.26pu和30.40±8.54pu,经线与两侧旁开非经对照部位比较,都有显著性差异($P<0.05$).

2.6 针刺对IRRTM和经脉线下能量代谢的影响

针刺对IRRTM有明显的影响,它可使IRRTM的皮温升高、降低或使之更加连续规范.图5(见彩色插页2)是对一名受试者针刺内关穴(PC6)的观察结果,针前(a)沿左侧心包经无明显的IRRTM可见,针刺左内关穴,沿心包经的皮温逐渐升高(b),出现了清楚的IRRTM(c),留针期间,沿经的皮温逐渐降低(d,e),出针后(f)IRRTM才完全消失.

针刺还可使经脉线下的组织氧利用率提高(pO_2降低,微循环灌注量增加),能量代谢增强,而对两侧对照部位则无明显影响.如果在经脉线上施加压迫,则针刺的效应即明显减弱.图6是对大肠经观察的示意图和实验结果.针前,沿大肠经脉线下的组织pO_2为(5.32±0.13)kPa,针刺合谷穴时,沿经脉线下组织氧分压下降了7.38%,如在温溜处施以压迫,pO_2的下降率即锐减为2.9%,差异非常显著.对督脉观察的结果也基本相同,说明针刺不仅影响IRRTM的状态,而且还直接影响与其形成相关的能量代谢过程.

3 讨论

我们过去的工作表明,IRRTM确是人群之中相当普遍存在的一种正常生命现象,这是一个很有意义的发现[6].为什么体表的红外辐射轨迹会沿着古典的十四经脉路线分布?为什么经脉线上相关组织的热学特性又与其两侧的非经对照部位有明显的不同[7,8]?这是一个值得深思的问题.说明古人所描述的经脉路线确是人体所固有的某种"组织"和功能.深入分析IRRTM的产生机理,是进一步探讨与经脉路线相关的物质基础的一个很好切入点.

红外热像图上所显示的是人体体表的温度分布,从生理学的角度来讲,它首先与皮肤表层的微循环状态直接相关,但冷负荷实验的结果却提示,在IRRTM下的深部组织中还存在一高温的热源,正因为如此,在致冷后的恢复过程中,经脉线上的皮肤温度才会首先回升,形成相对的高温带.本文的实验结果也证明IRRTM上皮肤微循环灌注量确是显著高于其两侧的非经对照区.在皮表下2cm深度的范围内,经脉线下的组织温度也明显高于其两侧的非经对照区,经脉线下实际上是一条三维结构的传热通道.因此,从热物理学的角度来说,IRRTM的形成与两个因素相关,首先是沿IRRTM的皮肤微循环旺盛,皮表的温度较高,产生较强的热辐射;其次是经脉线下(即IRRTM线下)深部组织中所存在的生理性的温度梯度,热量从温度较高的深部组织,通过传导和对流的方式不断向浅部传递,直至皮表,从而形成了一条由深到浅的传热通道,IRRTM只是这一传热通道的外在表现.当然,这两个环节也是彼此相关的.IRRTM上的皮肤温度与微循环灌注量不成正比

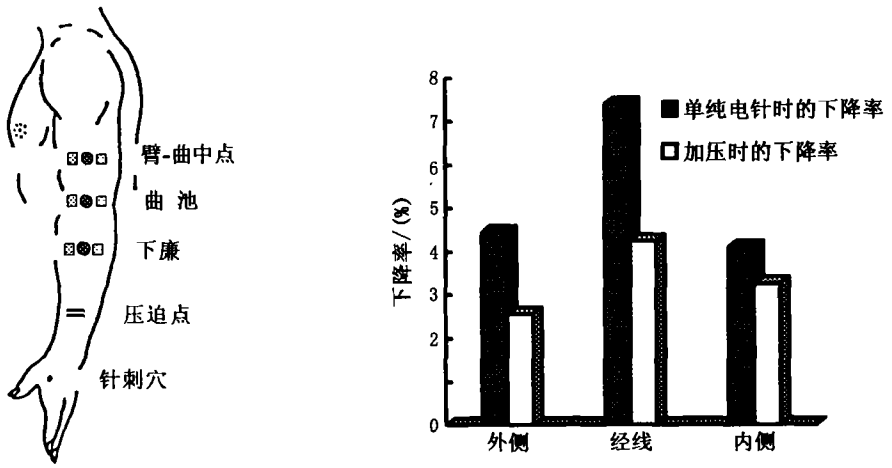


图 6　机械压迫对针刺时沿经组织氧分压变化的影响

Fig. 6　Effect of mechanical pressure on the change of pO_2 in deep tissues along meridian course during acupuncture

的事实表明，来自深部组织的热量也是造成经脉线上皮温升高的一个因素. IRRTM 的皮肤微循环旺盛，当然也有可能与其深部组织的温度较高相关，但二者之间的确切关系还需要进一步分析. 从功能的角度来看，位于皮下深部组织中的传热通道当然更为重要. 中医学认为经脉伏行于分肉之间，深而不见，皮部只不过是经脉在体表的连续部分，而不是它的主体. 根据现代生理学对皮肤的结构和功能的了解来看，仅仅只有皮肤也实现不了经络对人体机能的调控作用[9]. 因此，要弄清 IRRTM 的产生的原因及其机能意义，还应该把更多的注意力集中到对经脉线下深部组织中的传热通道的研究.

能量代谢是维持一切生命活动最重要的条件，这一传热通道的存在就为沿经组织中的各种生理反应的进行创造了条件. 组织中的 pO_2 高说明流经该处的血液中的氧含量多，而组织的温度高则不仅有利于氧合血红蛋白所携带的 O_2 的离解，向组织细胞提供更多的 O_2，同时，各种酶反应也随温度的升高而加速，使能量代谢过程和各种生理反应增强，组织微循环灌注量的增加，又保证了 O_2 和生命活动所必需的各种物质的供应[10,11]. 这样，沿经组织的能量代谢即可处于持久活跃的状态，为实现物质、能量和信息的转换和传递创造了条件，使经络参与人体功能的调控成为可能. 特别值得注意的是针刺可以提高沿经组织的 O_2 利用率（表现为 pO_2 的下降），使该处的能量代谢进一步增强，这种效应还可以被机械压迫所阻断. 针刺效应的可阻滞性是经络调控的一个重要特点，以已知的现代医学知识尚难对它作出恰当的解释[12].

红外热像图上所显示的只是皮肤表层的温度分布状态，但随着无创性测温技术的发展，目前应用微波计算机断层（microwave - computed tomography）等方法，已经可以在无创伤的情况下，测绘出人体深部组织和内脏器官的温度分布图像[13]. 应用这些先进的技术方法，将有可能对沿经分布的传热通道的结构特征和能量代谢过程进行更加深入的分析，为阐明经络实质提供一些更为可靠的资料.

4　结论

上述实验结果表明，IRRTM 的形成与沿经皮肤的微循环状态和经脉线下深部组织中的传热通道相关，其中，后者尤为重要. 该通道由深及浅，该处氧分压和组织温度较高，微循环旺盛，能量代谢活跃，IRRTM 只是它在体表的一种表现. 这一通道的实体包括了多种已知的组织，可能还有一些未知的因素参与，并与人体的机能调控相关. 至于这一传热通道的结构特征和产生的根本原因则还有待进一步研究.

REFERENCES

[1] WANG Ben-Xian. *Researches on Meridian at Abroad*. Beijing: People's Health Press (王本显. **国外对经络问题的研究**. 北京：人民卫生出版社)，1984：17—35

[2] Tanzawa S, Akiyama S. *Meridian phenomena observation by thermograph*. In: *Proc. Symposium of 2nd World Conference on Acupuncture and Moxibustion*. Paris: World Federation of Acupuncture - Moxibustion Societies, 1990: 33

[3] JIANG Lai, CHEN Zhen-Xiang, SONG Gui-Mei, *et al*. Preliminaly observation on infrared image during advance of propagated sensation along meridian. *Journal of Traditional Chinese Medicine* (蒋来，陈振湘，宋贵美，等. 循经感传红外成像的初步观察. **中医杂志**)，1980，**20**(2)：46—49

[4] LIU Rui-Ting, ZHUANG Ding, YANG Xiu-Zhen, *et al*.

Objective display on phenomena of propagated sensation along channels (PSC). *Acupuncture Research* (刘瑞庭,庄鼎,杨秀珍,等. 循经感传现象客观显示的研究——上肢经脉循行部位红外热像图的变化. **针刺研究**),1990,**15**(3): 239—243

[5] ZHANG Dong, FU Wei-Xing, WANG Shu-You, *et al.* Displaying of infrared thermograph of temperature character on meridians. *Acupuncture Research* (张栋,傅卫星,王叔友,等. 经脉温度特性的红外热像图显示. **针刺研究**), 1996,**21**(3): 63—67

[6] HU Xiang-Long, WANG Pei-Qing, WU Bao-Hua, *et al.* Displaying of the meridian courses over human body surface with the thermal imaging system. *Rev. Paul. Acu.*, 1996, **2**(1): 7—10

[7] HU Xiang-Long, WANG Pei-Qing, XU Jin-Sen, *et al.* The main characteristics of infrared radiant track along meridian courses over human body surface and the condition of its appearance. *J. Infrared Millim. Waves* (胡翔龙,汪培清,许金森,等. 人体体表循经红外辐射轨迹的主要特征和显现规律的研究. **红外与毫米波学报**), 2001, **20**(5): 325—328

[8] HU Xiang-Long, XU Jin-Sen, YE Lei, *et al.* Elicitation of infrared radiant track along meridian courses over human body surface by local heating. *J. Infrared Millim. Waves* (胡翔龙,许金森,叶蕾,等. 人体体表循经红外辐射轨迹的加热诱发. **红外与毫米波学报**),2002,**21**(1): 6—8

[9] Jarrett A. *The Physiology and Pathophysiology of the Skin.* London, New York: Academic press, 1973,**2**: 577—625

[10] Andrew Davies, Blakeley Asa G H, Cecil Kidd. *Human Physiology.* Edinburgh: Churdhill livingstone, 2001: 679—690

[11] LIU Jing, WANG Cun-Cheng. *Heat Transfer in Biology.* Beijing: Science Press (刘静,王存诚. **生物传热学**. 北京:科学出版社),1997: 344—348

[12] HU Xiang-Long, WU Bao-Hua, YOU Zhen-Quan. Preliminary analysis of the mechanism underlying the phenomenon of channel blocking. *J. TCM*, 1986, **6**(4): 289—296

[13] Michio Miyakawa, Bolomey J Ch. *Non-invasive Thermometry of the Human Body.* Boca Raton: CRC Press, 2000: 105—126

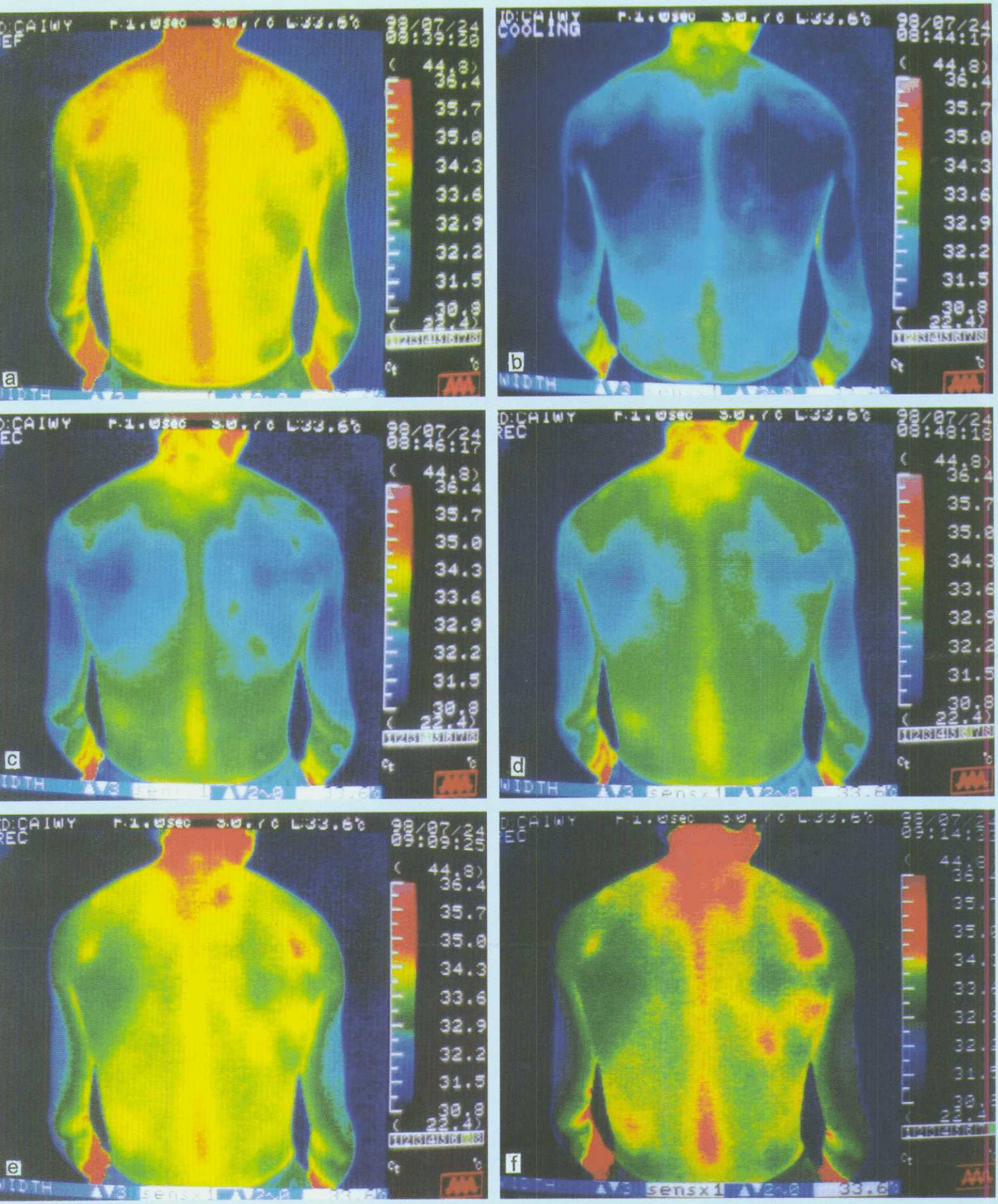


图 1 人体背部冷负荷试验的热像图

Fig.1 Infrared images during cooling test of back of human body

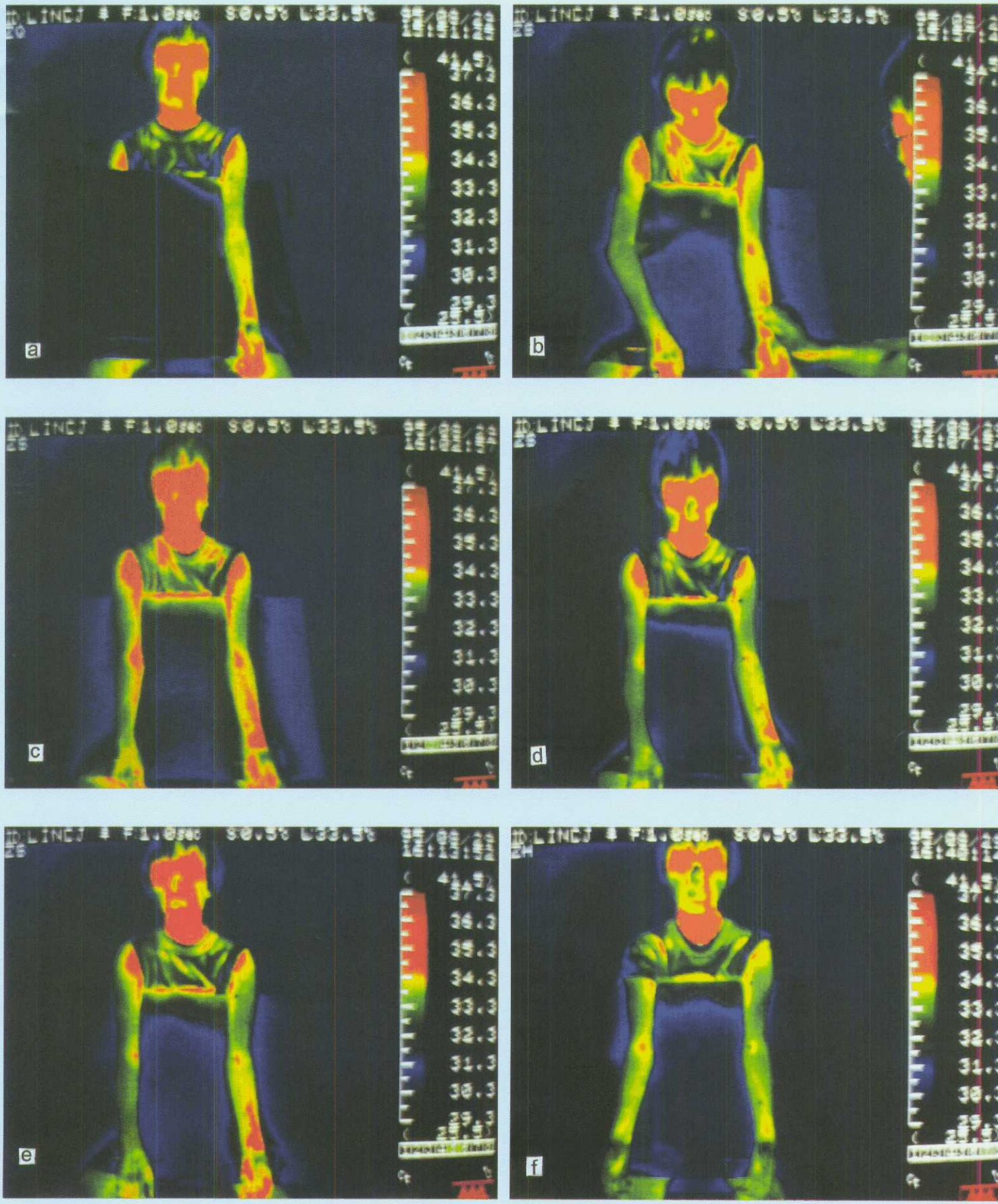


图 2 针刺对 IRRTM 的影响(针刺穴:内关(PC6))

Fig.2 Influence of acupuncture on IRRTM(Acupoint punctured: Neiguan(PC6))