

医用红外热像技术的应用研究进展

严凤花, 严兴科, 何天有

(甘肃中医学院 针灸推拿学院 甘肃 兰州 730000)

摘要: 医用红外热像技术由于其直观、无创及对疾病的早期诊断等优点而日益受到关注和应用。收集了近年来医用红外热像技术的相关研究文献, 分别从疾病的早期探查、辅助诊断、临床疗效评定及中医针灸学研究等4方面分析医用红外热像技术的应用和研究近况, 为临床疾病的早期诊断、疗效评价和应用研究提供参考依据, 以促进医用红外热像技术的临床应用和发展。

关键词: 医用红外热像技术; 临床诊断; 疗效评定; 中医针灸

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2014)06-0433-06

The Progress of Research on Application of Medical Infrared Thermal Imaging Technology

YAN Feng-hua, YAN Xing-ke, HE Tian-you

(School of Acupuncture-moxibustion and Massotherapy, Gansu University of TCM, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The medical infrared thermal imaging technology has been paid more attentions and applications because of its series of advantages of intuitive, noninvasive and early diagnosis, etc. This article collected many related literatures about medical infrared thermal imaging technology to analyze its application and research status from four aspects: early detection of disease, auxiliary diagnosis of the disease, the evaluation of clinical curative effect, the research of traditional Chinese medicine and acupuncture. The above-mentioned analysis provides the basis for early diagnosis of clinical diseases, evaluation of curative effect and applied research, in order to promote the clinical application and development of the medical infrared thermal imaging technology.

Key words: medical infrared thermal imaging technology, clinical diagnosis, curative effect evaluation, TCM acupuncture-moxibustion

0 医用红外热像技术的发展近况

医用红外热像技术是利用人体自身为天然红外辐射源的特点, 通过光学扫描系统采集人体体表的红外辐射能量, 并经过一系列光电信号的转化处理, 最终将人体体表的红外辐射信息以红外热图的形式记录下来的一种先进的非接触成像探测技术^[1]。在此理论上诞生的医用红外热像仪是继CT(计算机断层扫描)、MRI(核磁共振影像)应用的新型医疗设备, 它在继承CT、MRI优点的同时, 还具有灵敏度高、信息量大、安全无创、无有害辐射等更多优点, 且随着计算机和数字图像处理技术的不断发展, 医用红外热像仪

的温度分辨率已经达到 0.05°C , 空间分辨能力达到 1.5 mrad , 图像清晰度也获得了较大的提高, 使结果分析更加精确^[2], 现已成为人体无损检测设备中最具实用价值的检测仪器, 目前已广泛应用于医学临床与相关科学研究之中, 并取得了一定成果。现将医用红外热像仪在医学领域中的应用进展分析、总结如下, 以便为今后相关应用、研究提供参考。

1 医用红外热像技术在临床中的应用

1.1 疾病的早期探查

医用红外热像技术在疾病早期通过观察体表温度的异常变化而及早发现身体的某些异常改变, 从

收稿日期: 2013-10-08; 修订日期: 2014-05-16.

作者简介: 严凤花(1987-), 女, 在读研究生, 研究方向: 针灸防治前列腺疾病。E-mail: yfhzjtn@126.com.

通讯作者: 严兴科(1974-), 男, 教授, 博导, 研究方向: 针灸调节效应的生物学机制。E-mail: yanxingke@126.com

基金项目: 2010年度国家自然科学基金, 编号: 81060304.

而指导患者去做进一步检查,做到早发现、早治疗。如目前严重危害人类健康的缺血性脑血管性疾病,目前对其诊疗往往是在病发后,导致大片脑组织软化坏死时才行头颅 CT、MRI 或者脑超检查等,常常为时已晚。因此寻求一种对本病比较灵敏,在脑组织结构损害之前便能发现其病变的检查仪器,做到早发现、早诊断、早治疗,可有效避免脑组织的缺血性坏死,医用红外热像仪通过检测大脑局部的温度变化来反应脑组织早期异常血流情况,从而做到对本病的早期探查。吴青^[3]用医用红外热像仪对 286 例脑供血不足的患者进行了早期检查,发现患者头颅某部位血流灌注量减少,其红外热图则表现为相对低温区,由此可做出相应诊断。另外,糖尿病患者由于持续的高血糖状态导致糖尿病性微小血管病理改变,使局部血流量减少,其中严重并发症之一糖尿病足就是因为末梢神经、血管等的慢性病理改变所致,医用红外热像仪可对该病早期微小血管的异常改变做到早发现、早诊断,即通过红外热图观察分析糖尿病患者四肢经冷负荷后温度的恢复过程,可明确了解糖尿病患者微小血管、神经末梢等的受损情况,从而做到早期预防因血管、神经病变引起的严重并发症^[4-5]。

1.2 临床诊断与筛查

根据红外热图提供的病变部位的热场分布可推断病变局部循环、代谢状态,进一步对病变性质、程度及累及的区域做出判断,从而制定正确的诊治方案。

恶性肿瘤的诊断方面,如乳腺癌是目前严重危害女性健康的主要恶性肿瘤之一,有着较高的发病率,其治疗效果更多情况下取决于病期,提高早诊率便是提高其临床治愈率的关键。而乳腺属皮肤的附属器官,位置表浅,对红外扫描尤为灵敏,故临床应用医用红外热像技术对乳腺癌的诊断准确率可高达 90% 以上,现已成为乳腺癌普查的首选方法^[6]。李目英等^[7]对 287 例疑似为患有乳腺疾病的患者进行红外热像仪检查,共检出乳腺癌 21 例,且均经手术及病理得到证实。郭艳萍等^[8]对 1052 例患有乳腺包块的女性患者进行红外热像仪诊断,其诊断为乳腺癌的例数与病理切片或经手术证实为乳腺癌的例数符合率为 81.8%。刘跃华等^[9]用红外热像仪对 150 例乳腺癌患者进行检查,其中 134 例患者具有典型的乳腺癌红外热图特

征,检出率为 89.3%。此外,陈杰翔等^[10]对 57 例肾上腺腺肿瘤患者进行红外热图观察分析,发现肾上腺腺肿瘤患者的红外热图多表现为以病变区为中心的弥漫性高温区,病灶内及其周边常见增粗、迂曲血管影。双侧肾上腺热像图明显不对称,其诊断与 B 超符合率为 91.2%,与 CT 符合率为 100%。李钦传等^[11]对 42 例肺癌患者进行红外热像诊断,观察到患者胸壁距离肿瘤最近的位置可见增温团,形态多不规则,边界不清晰。与相邻胸壁组织的温差为 11.0℃~11.8℃;同时,纵隔投影区域有不规则升温,部分可见圆形或椭圆形高温团。上述研究说明医用红外热像技术对恶性肿瘤的早期筛选诊断具有一定的临床价值,结合其它诊断技术,可对恶性肿瘤做到早期、准确的诊断,为临床早期治疗提供依据。

疼痛性疾病的诊断方面,如急、慢性肩颈痛,颈、腰椎病,肌筋膜疼痛综合征等,许多研究发现医用红外热像技术对其有独特的诊断价值。宫庆娟等^[12]对 55 例腰椎间盘突出症患者进行红外热像仪检查,发现 55 例患者均表现为腰椎部菱形高温区增大,其中 26 例并发腰肌筋膜炎者表现为高温区向腰椎旁边延伸,15 例患者的患肢低温分布区与因突出而受压的神经支配皮肤区相符合,临床可根据患肢的低温分布区,推测受压神经的所在位置,认为红外热像仪对慢性腰腿疼的诊断及鉴别诊断有重要的参考价值。郭静波等^[13]对 50 例强直性脊柱炎(AS)患者进行红外热像仪检查,并与血沉检验进行对比,发现 AS 患者的红外热图表现为骶髂关节区的增温改变,诊断符合率 100%,增温区与周围组织的温差与患者血沉增快程度成正比,认为红外热像仪对 AS 患者,尤其是有遗传病史或早期不典型病例的诊断有重要的指导意义。欧阳红^[14]用红外热像仪在痹症的临床诊断应用中,10 例痹症患者病变部位的红外热图较健侧相比有明显差别,其中寒痹因其病变部位皮肤温度偏低,故红外热图多表现为深蓝、浅蓝和绿色,而热痹因局部温度偏高,红外热图多呈深红色、红色,认为红外热像仪可指导临床对痹症进行辨证分型诊断。此外,李钦传等^[15]应用红外热成像技术在冠心病诊疗的应用研究中,观察到冠心病患者心脏体表投影区温度高于周围区域,其热图呈不规则分布,个别左室前壁大面积心肌梗死患者热图范围明显缩小,而心

包打开后,心脏表面红外成像见明显的局部低温区,其中以术前确诊为心肌梗死患者为甚,并且其区域与肉眼所观察到梗死区域及冠脉造影所示狭窄段冠脉血供支配区域一致,可见红外热成像技术在冠状动脉硬化性心脏病手术中缺血部位的确定、阻塞靶血管及旁路血管吻合点定位及心肌梗死范围判断方面均有一定的指导作用。

炎症疾病的诊断方面,由于炎症疾病的炎症反应导致局部或全身温度明显升高,故可利用对温度变化比较敏感的医用红外热像仪对其进行高灵敏的诊断。如李伟等^[16]在肩周炎的红外热像观察中,发现急性炎症患者病损区呈红色或深红色热图,而慢性炎症患者病损区呈蓝色或深绿色热图且图形不规则,两侧不对称,本研究不仅说明了红外热像技术对肩周炎有重要的诊断价值,亦可对肩周炎的急性慢性分期具有鉴别诊断意义。陈胜天等^[17]在慢性前列腺炎的临床诊断中,通过红外热像仪观察到慢性前列腺炎患者红外热图表现为阴囊两侧及下腹部近阴茎根部有片状、团状或条状的高热区,与邻近区域温差大约为 $>2^{\circ}\text{C}$,正常人与慢性前列腺炎患者的外生殖器周围的高温区与其邻近区域的温差存在显著性差异,与B超检测相比,红外热像仪成像较B超早,且比B超灵敏。苏萍^[18]利用红外热像仪在盆腔炎性疾病的诊断中,观察到当炎症累及一侧附件时,患侧腹股沟上方出现条状或团块状高温区,与周围温度相差 $>0.5^{\circ}\text{C}$,双侧显影明显不对称;当炎症累及双侧附件时,在双侧腹股沟的上方出现对称或不对称的条状或团块状高温区,与周围温度相差 $>0.5^{\circ}\text{C}$,双侧温差不等;当炎症累及整个盆腔时,耻骨联合上方及双侧腹股沟上方均可见团状或片状高温分布区,与周围温度相差 $0.3^{\circ}\text{C}\sim 1.2^{\circ}\text{C}$,且双侧附件高温区温差不定,其临床诊断阳性符合率高达93%。张彩霞等^[19]对38例腹腔炎性疾病进行了红外热像观察,总结出阑尾炎患者常在右下腹或伴右中上腹区或右侧腹区的反应性热区;胰腺炎患者多位于中上腹局限或弥散性的反应热区;胆囊炎患者多位于右上腹局限性的反应高温区等。但盆腔或腹腔的温度与个人因素有密切关系,如肥胖者因腹部脂肪堆积过多,可能影响红外热图的检查结果,故临床一般需结合其他检查作出最终诊断。

早孕诊断方面,因红外热像技术直观、准确、灵敏等优点,对早孕可做到定性、定位的准确判断。黄东晖、赵亚南等^[20-21]用医用红外热像仪对早期宫内妊娠的妇女进行盆腔及乳腺的红外热像分析时,发现早期宫内妊娠妇女在子宫区显示为团块状高温区,与周围组织温差平均为 $0.35^{\circ}\text{C}\pm 0.17^{\circ}\text{C}$,附件区与周围组织温差平均为 $0.39^{\circ}\text{C}\pm 0.23^{\circ}\text{C}$,乳腺高温区与周围组织温差平均为 $0.63^{\circ}\text{C}\pm 0.06^{\circ}\text{C}$,上述高温区均明显高于未孕妇女的对应部位。利用红外热像技术对早期胚囊的着床定位时,当局温度超过 $0.3^{\circ}\text{C}\sim 0.5^{\circ}\text{C}$,并呈现边缘光滑、密度均匀一致的圆形亮点时,即为胚囊的着床位置,与术中所见符合率为82.7%。红外热像技术用于早孕诊断及胚囊着床定位时,不但对胚胎及母体无任何辐射性损害,还可根据其分布对称与否进行宫内孕与宫外孕的区别,在优生、优育方面同样具有重要意义。

1.3 临床疗效评定方面的应用

医用红外热像技术主要用于评价药物治疗对疾病的改善及传统疗法、现代疗法的疗效考证、研究等诸多方面。如熊键等^[22]用医用红外热像仪对星状神经节阻滞治疗颈心综合症的疗效进行观察评价,发现经1个疗程治疗后,在所观察的6个测温点中除颈点外,其他5个测温点在该疗效评定中均具有意义,认为星状神经节阻滞对颈心综合征有治疗作用,而红外热像图可作为颈心综合征疗效评定的有效方法之一,在临床中具有较高的实用价值。张立娟等^[23]将红外热图与糖尿病足坏疽疗效判定标准相结合,评价血府逐瘀汤对早期糖尿病足的治疗疗效,治疗前两组患者的足部温度比较无显著性意义($P>0.05$),经中药治疗后治疗组与对照组的肢体温差升高(0.27 ± 0.26) $^{\circ}\text{C}$ 。两组治疗后在疾病疗效判断及红外热像结果的差异分析中均具有统计学意义($P<0.05$),说明血府逐瘀汤加基础疗法在改善糖尿病患者足部微循环方面较单纯的西医疗法效果显著。朱杰等^[24]对86例紧张性头痛患者给予都梁软胶囊治疗,并用医用红外热像仪进行疗效观察,发现都梁软胶囊治疗15天后,80例患者治疗前、后病变局部的温度或上升至正常,或使低温区与周边区域的温差缩小,其温度改变与患者的症状改善程度基本一致。从上述研究可以看出红外热像技术对多种临床疾病的疗效评价有实质性意义,可作为今后临床疗效评价的重要手段之一。

1.4 中医领域中的应用

从上世纪 80 年代以来,红外热像技术已广泛应用于中医研究领域,并取得了较大成果,通过红外热像技术直观、动态的观察,使许多中医诊断指标定性、量化,由主观的经验判断变为客观指标,以此指导临床,促进中医的现代化发展。如陈振相等^[25]通过医用红外热像仪观察到正常人面部各脏腑反映区的温度分布有一定规律可循,并总结出了面部各脏腑反应区的温度常数,今后临床可借助该温度常数进行诊断,各脏腑反映区的温度应与其温度常数接近,否则视为病态反映。王鸿谟等^[26]用医用红外热像仪对 46 例健康青年面部进行观察,通过明堂色部和颜面色部的对比发现它们的即时温度有所不同,面部五脏色区温度由高到低依次为:心区>肺区>肝区>肾区>脾区;而面部五脏色点的温度由高到低排列为:肺点>心点>肾点>肝点>脾点。在区温与点温的比较中,除脾区、脾点均为最低温度外,五脏其他区温与点温之间并无相同规律,说明明堂色部与颜面色部是 2 个完全不同的反映系统,当某脏腑发生异常变化时,部分病人则反映于颜面色部,部分病人则反映于明堂色部,在临床诊断应用中二者不可相互取代。此外,诸凯、章熙民等^[27-28]用医用红外热像仪对健康患者的舌面进行了热像观察,结果表明舌温与性别、年龄、舌面分区、病证及舌血液灌注率等有密切关系,再次用客观数据说明了舌诊在中医临床辨证中的重要价值。

1.5 针灸领域中的应用

1.5.1 经络研究中的应用

经络学说是中医学理论体系的核心之一,它以完全不同于现代医学和生命科学理论的方式指导着中医学各科临床实践,并以卓越的疗效阐明了其自身的存在价值,也因此得到了国内外学者的深切关注。如何应用先进科技手段来验证古代先辈们所描述的经络循行的客观性、经络的本质和物质基础等相关问题是多年来科研领域研究的重点和热点。在过去虽然有许多学者借助电、磁、声、光、核素等多种先进科学技术经络展开了大量研究,并取得了一定成果^[29-32]。但是,这些研究方法均有外加因素的介入,且对受试对象具有一定程度的影响。而经过不断的探索发现日趋成熟的医用红外热成像技术在外界干扰的条件下可通过采集经络自发的红外

信息而对自然状态下的经络循行进行客观性显示,对传统经络的应用研究具有重要价值。如胡翔龙等^[33]在中医经络的研究中利用红外热成像仪通过多次观察 30 名志愿者的体表红外热谱,提取了强度相同的瞬时红外辐射信息,并连续显示,在没有外加因素的干预和刺激下,成功显示了体表自然存在的红外辐射轨迹,这些轨迹或长或短,循行路线基本与十四经脉之中的经脉循行路线一致。同时,他们又利用红外热成像技术,对 250 名健康志愿者在自然状态下进行红外热像采集与分析发现在受试者背部出现了一条与督脉循行基本一致的红外辐射等温轨迹、上下肢内侧分别出现了与手三阴经和足三阴经循行基本一致的红外辐射等温轨迹,并将这些红外辐射轨迹命名为循经红外辐射轨迹(infrared radiant track along meridian course, IRRTM)^[34]。上述研究成功地显示了人体体表自然存在的经络轨迹,使人们第一次直观地“看”到了古代先辈所描述的经脉循行路线。同样,张栋等^[35]也通过红外热像仪对自然状态下的人体体表进行红外观察发现人体体表确实存在着沿经脉循行行走的高温线区,其中督脉经脉循行的高温线出现率高达 57.1%,长达 50 cm。而其他经脉循行高温线在自然状态下的出现率较低,但针灸后有 35.2% 的观察者体表出现了循经温度变化,且该变化与观察者主诉的循经感传有一定的对应关系,再次证明了经络在人体的客观存在。对于 IRRTM 的形成原因,胡翔龙等^[36]认为经脉线下的相关组织可能是一条具有多元结构的物质、能量和信息转换和传递的通道,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,并与机体的机能调控关系密切,但是这一通道产生的根本原因还有待今后进一步深入研究

1.5.2 针灸效应研究中的应用

医用红外热成像仪通过采集针灸干预下机体体表经脉、腧穴或相关部位的红外辐射信息的变化,可直观、灵敏地显示针灸治病、防病的效应过程。已有研究通过医用红外热像仪观察到针刺可使机体相关部位的温度升高,如刘瑞庭等^[37]用红外热像仪观察到针刺“合谷”穴可使面部某些区域皮肤温度升高,而面部皮肤温度的变化与分布于面部的小动脉的舒张与收缩变化密切相关,但皮肤没有分布舒血管神经,故认为针刺“合谷”穴对面部的升温

效应很有可能是因为针刺抑制了缩血管中枢的兴奋所致。Ernst M 等^[38]用红外热像仪观察针刺 19 名健康者的“足三里”穴对穴位局部温度变化的影响,发现针刺后足三里局部普遍以温度升高为主,推测该升温效应的产生可能是因为针刺抑制了交感神经,致使血管扩张,血流增加所致。张栋等^[39-40]通过红外热像仪观察针刺合谷穴对面瘫患者皮肤温度的影响时,发现针刺后 75.8% 的患者表现为面部温度的升高,特别是口鼻部位的温度升高幅度明显大于其它部位,同样认为针刺后面部产生的升温效应是由于针刺抑制了交感神经的兴奋性,导致血管扩张,血流量增加所致。在相关实验研究中,张栋等^[41]用皮层红外热像显示法观察到电针对家猫大脑皮层有明显的升温效应,为进一步探讨电针对温度的作用机理,他们用红外热像技术和激光多普勒技术对家猫大脑皮层的温度和微循环血流量进行了自体对照观察,发现皮层温度变化与其微循环血流量呈直接相关性,推测电针刺激可能引起家猫大脑皮层的感觉神经元兴奋,神经元代谢增加促使血管扩张,血流量增加,故温度升高^[42-43]。

2 小结

综上所述,医用红外热像技术作为一种结构影像和功能影像相结合的新型技术,具有成像直观、精确灵敏、信息丰富、操作简便、且无有害辐射等优点,在多种疾病的早期诊断、辅助诊断及疗效评价等方面具有重要的应用价值,同时也为医学科研领域的相关研究提供了新方法、新技术,在医学领域中具有广泛的应用前景。但是,目前医用红外热像技术的应用还有其自身的局限性,首先,因为环境中的温度、湿度及流动的空气对人体皮肤温度的影响很大,所以医用红外热像技术对周围环境要求严格,但在临床实际中很难控制其周围环境恒定不变,所以在其临床诊疗中的开展应用具有一定不稳定性;其次,医用红外热像技术仅能通过反映机体体表温度的变化而对深部病变进行定性诊断和粗略的定位诊断,并不能准确获取深部病变组织的温度与相关信息,无法对病灶做到精确定位。再次,由于红外热成像仪制造成本高,尤其是红外探测器组件的造价较为昂贵^[44],使得医用红外热像仪在地县级医院的普及还有一定经济困难。基于上述原因,目前为止,医用红外热像技术在医学领域中的

应用还是不容乐观,临床上常需要结合其他检查手段对疾病进行综合性诊断,估计这也是医用红外热像技术至今无法在临床应用中普及的主要原因所在。但是,随着科学技术的不断发展,相信医用红外热成像仪在追求低成本的同时,其功能还会不断地提高与完善,从而在今后的医学应用中扮演起越来越重要的角色。

参考文献:

- [1] 孙志波. 红外热像技术在针灸-经络研究中的应用近况[J]. 针灸临床杂志, 2004, 20(5): 55-58.
- [2] 黄泉荣. 医学影像成像原理[M]. 北京:高等教育出版社, 2005.
- [3] 吴青. 中西医结合红外热像仪治疗 286 例脑供血不足[J]. 上海医学影像, 2004, 13(3): 189-191.
- [4] 闻智鸣. 医用红外热像仪用于早期诊断糖尿病性微、小血管、神经末梢合并症的探讨[J]. 医师进修杂志, 2002, 25(4): 21-23.
- [5] 汪培清, 郭水英, 冯亚, 等. 红外热像仪检测糖尿病患者足背温度反应异常的研究[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2002, 8(4): 247-248.
- [6] 杨纪华, 张贺龙, 康艳霞, 等. 红外热像技术在肿瘤诊断中的应用[J]. 现代肿瘤医学, 2009, 17(9): 1817-1819.
- [7] 李目英, 李吉昌, 刘永红. 红外热像图对乳腺癌诊断价值的探讨[J]. 医学影像学杂志, 2003, 13(4): 239-240.
- [8] 郭艳萍, 谌河琴, 王昭兰, 等. 医用红外热像仪对乳腺癌的诊断价值[J]. 中国疼痛医学杂志, 2010, 16(5): 320.
- [9] 刘跃华, 李戎, 王先明. 远红外线热像图对乳腺疾病的诊断价值[J]. 临床和实验医学杂志, 2007, 6(1): 34-35.
- [10] 陈杰翔, 李利. 医用红外热像技术诊断肾上腺肿瘤的临床价值[J]. 现代医药卫生, 2005, 21(6): 650-651.
- [11] 李钦传, 李克非, 范慧敏, 等. MTD 图像处理技术在肺癌诊断中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2008, 24: 211-212.
- [12] 宫庆娟, 卢振和, 陈金生, 等. 腰椎间盘突出症合并软组织损害性病变的红外热成像[J]. 中国疼痛医学杂志, 2011, 17(6): 340-344.
- [13] 郭静波, 李新栋, 刘景聚. 强直性脊柱炎的红外热像图诊断价值[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2001, 23(2): 114.
- [14] 欧阳红. WP-95 型红外热像仪对痹症临床诊断应用[J]. 中国民族医药杂志, 1999, 5: 81.
- [15] 李钦传, 李克非, 范慧敏, 等. 红外热成像技术在冠心病诊疗中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2008, 24: 205-207.
- [16] 李炜, 邓干初, 刘远珍. 红外热像仪诊断肩周炎的临床意义[J]. 中国医学影像学杂志, 2002, 10(1): 69-70.
- [17] 陈胜天, 张秀练. 慢性前列腺炎红外热图临床应用[J]. 中国医学影

- 像学杂志, 2000, 8(2): 150-152.
- [18] 苏萍, 黄东晖, 熊承良. 红外热像图对盆腔炎的诊断价值[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26(3): 183-185.
- [19] 张彩霞, 张俊国. 腹腔炎性疾病的红外特点[J]. 青岛医药卫生, 1998, 30(4): 46-48.
- [20] 黄东晖, 苏萍, 熊承良, 等. 红外热像技术在早孕诊断中的临床应用分析[J]. 激光与红外, 2005, 35(10): 722-724.
- [21] 赵亚南, 谢红一, 章太戊, 等. 用红外热像仪诊断早早孕及对胚囊定位[J]. 红外研究, 1984, 3: 189-193.
- [22] 熊键, 廖维靖, 杨万同, 等. 红外热像图对颈心综合征阻滞疗法的疗效评价[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(4): 265-268.
- [23] 张立娟, 张秀华. 红外热像仪观察血府逐瘀汤对早期糖尿病足的影响[J]. 天津中医药大学学报, 2011, 30(1): 14-16.
- [24] 朱杰, 湛河琴. 都梁软胶囊治疗紧张性头痛 86 例红外热像图疗效观察[J]. 吉林医学, 2012, 33(1): 112-113.
- [25] 陈振相, 魏满良, 殷风云. 对正常人面部红外线图的观察[J]. 中国医药学报, 1998, 6(4): 8-9.
- [26] 王鸿谟, 张栋. 中医色诊学定位与红外热像数字化研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2004, 6(4): 26-32.
- [27] 诸凯, 魏瑶, 何坚, 等. 不同人群舌红外热像观察及动物舌血液灌注率测定[J]. 中医杂志, 2004, 45(1): 49-50.
- [28] 章熙民, 诸凯, 李惟毅, 等. 应用红外热像技术测试舌面温度的研究[J]. 天津大学学报, 1991, 24(3): 20-24.
- [29] Hu Xiang-Long, WU Bao-Hua, Huang Xiao-Qing, et al. Computerized plotting of low skin impedance points[J]. J. TCM, 1992, 12(4): 277-281.
- [30] 李定忠, 李秀章. 中医经络探秘[M]. 北京: 解放军出版社, 2003.
- [31] 丁光宏, 姚伟, 褚君浩, 等. 人体手臂部几个穴位与非穴位区红外辐射光谱特征[J]. 科学通报, 2000, 45(23): 2530-2535.
- [32] 沈雪勇, 丁光宏, 邓海平, 等. 冠心病患者内关穴红外辐射光谱病理信息分析[J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25(6): 443-447.
- [33] 胡翔龙, 吴宝华, 汪培清. 人体体表经脉循行路线的自然显示[J]. 针刺研究, 1993, 2: 83-88.
- [34] 许金森, 汪培清, 胡翔龙, 等. 红外辐射成像技术中等温显示与全温显示在中医经络研究中的应用[J]. 福建中医学院学报, 2004, 14(2): 14-22.
- [35] 张栋, 付卫星, 王淑友, 等. 经脉温度特性的红外热像图显示[J]. 针刺研究, 1996, 21(3): 63-67.
- [36] 胡翔龙, 许金森, 汪培清. 人体体表循经红外辐射轨迹形成机理的初步探讨[J]. 红外与毫米波学报, 2003, 22(3): 175-180.
- [37] 刘瑞庭, 庄鼎, 柏秀珍, 等. 循经感传“气至病所”的客观显示——针刺穴位对面部红外热像图的影响[J]. 针刺研究, 1990(3): 245-247.
- [38] Ernst M, Lee MH. Sympathetic effects of manual and electrical acupuncture of the Tsusanli knee point: comparison with the Hokuhand point sympathetic effects[J]. Exp Neuro, 1986, 94(1): 1-10.
- [39] 张栋, 彭悦, 魏正岫, 等. 针刺合谷穴对面瘫治疗作用的红外热像观察[J]. 中医杂志, 1989, 5: 32-34.
- [40] 张栋. 针灸原理和经络研究中红外热像技术的应用[J]. 中国针灸, 2004, 24(1): 37-42.
- [41] 张栋, 付卫星, 王淑友. 电针对皮层温度影响的皮层热像显示法研究[J]. 针刺研究, 1999, 24(2): 146-152.
- [42] 张栋, 马惠敏, 付卫星, 等. 电针对大脑皮层微循环血流量的影响及不同温度区上的比较[J]. 中国中医基础医学杂志, 2000, 6(2): 49-52.
- [43] 张栋, 李林, 马惠敏, 等. 大脑皮层不同温度区微血管血流量的比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2000, 17(3): 179-181.
- [44] 蔡毅, 王岭雪. 红外成像技术中的 9 个问题[J]. 红外技术, 2013, 35(11): 671-682.