

# 点阵结合法进行人体手厥阴心包经的光传播特性研究

邓 鑫<sup>1</sup> 陈长水<sup>1</sup> 江怡帆<sup>1</sup> 刘湘容<sup>1</sup> 刘颂豪<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>华南师范大学激光生命科学教育部重点实验室, 广东 广州 510631)  
<sup>2</sup>华南师范大学信息光电子科技学院, 广东 广州 510631)

**摘要** 在体研究了人体手厥阴心包经及其周围非经络组织的光传输特性。应用点阵结合法对包含手厥阴心包经的一个区域漫射光强度空间分布进行了无损测量。并对该区域的漫射光强度进行了整体分析,在漫射光强度分布的三维图上观察到有明显的线状凹陷,其位置与经络两侧的肌腱相吻合。结果表明,该方法可以有效地测出体表漫射光的空间分布。将实验数据进行三次样条插值处理,发现光波沿手厥阴心包经方向和其他非经络方向传播时的衰减程度存在明显的差异( $p < 0.05$ )。在比较的 5 个方向中,手厥阴心包经方向为漫射光强度衰减最小方向,并且与经络方向偏离越大,漫射光沿该方向衰减越快。

**关键词** 医用光学; 光传输特性; 点阵结合法; 手厥阴心包经; 非经络组织

**中图分类号** R318.51      **文献标识码** A      **doi:** 10.3788/AOS201131.0817001

## Study of Light-Transport Properties of Human Pericardium Meridian

Deng Xin<sup>1</sup> Chen Changshui<sup>1</sup> Jiang Yifan<sup>1</sup> Liu Xiangrong<sup>1</sup> Liu Songhao<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Laser Life Science, Ministry of Education, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China

<sup>2</sup>School for Information and Optoelectronic Science and Engineering, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China

**Abstract** The light-transport characteristics of the pericardium meridian and its surrounding non-meridian tissue are studied *in vivo*. An experimental scheme is established for noninvasively measuring the space distribution of diffuse light in an area including the pericardium meridian with the method of combination of dots and matrix. The distribution of diffuse light in the area are studied integrally. Two obvious linear dips are observed on the 3D image of the distribution of diffuse light, and their location coincides with the tendons on the two sides of the pericardium meridian. The study suggests that with this method the space distribution of diffuse light on the surface of body can be measured effectively. The experimental data is processed with the method of cubic spline interpolation. The study suggests that there is a significant difference between the propagations along the meridian direction and the non-meridian direction ( $p < 0.05$ ). In the five specific directions the light attenuation along the pericardium meridian is significantly less than that along the other non-meridian directions. The larger the angle between the meridian direction and the non-meridian direction, the faster the diffuse light attenuates along this non-meridian direction.

**Key words** medical optics; light-transport characteristic; method of combination of dots and matrix; pericardium meridian; non-meridian tissue

**OCIS codes** 170.3660; 170.3890; 170.6935

收稿日期: 2011-03-14; 收到修改稿日期: 2011-04-28

基金项目: 国家 973 计划(2006CB504505)和广东省中医药项目(2009436,2010461)资助课题。

作者简介: 邓 鑫(1986-),男,硕士研究生,主要从事光学在生物医学中的应用方面的研究。

E-mail: xidiandengxin@126.com

导师简介: 陈长水(1969-),男,教授,博士生导师,主要从事激光光学、生物光子学和光子中医药等方面的研究。

E-mail: cschen@aiofm.ac.cn(通信联系人)

# 1 引 言

医学光子学是近些年产生的一个新的学科,包括光在生物组织中的传输规律、生物组织光学成像技术、基于组织光学的光诊断和光治疗技术等<sup>[1~3]</sup>。其中光与生物组织的相互作用机理是医学光子学应用的前提和基础<sup>[4]</sup>。经络是中医理论系统的重要核心内容,虽然至今未能从解剖学和生理学角度证明经络的存在,20世纪50年代以来,人们借助力、热、电、光、同位素、红外线、循经感传和化学成分分析等各种手段对经络的实质开展了深入的研究,并提出了各自的观点<sup>[5~15]</sup>,这些研究在一定程度上证明了人体经脉的客观存在。在经络的光传输特性研究中,王瑜华等<sup>[16,17]</sup>利用点测量的方法发现了人体手厥阴心包经的光传输损耗较小。为了进一步研究人体手厥阴心包经及其周围组织的光学传输特性,本文搭建了一套点阵结合式实验系统,对包含人体手厥阴心包经的一特定区域进行整体测量研究。

# 2 实 验

## 2.1 被试对象及方法

被试对象为30名健康成年人,其中男16例,女14例;年龄最小22岁,最大26岁,平均年龄24.5岁。测量选择手厥阴心包经为研究对象,经络定位按中华人民共和国国家标准(GB12346-90)《经穴部位》进行。实验在暗室进行,室温( $23 \pm 3$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度( $53 \pm 10$ )%,室内空气无明显流动,周围环境无强噪声和电磁源,为避免电机运行时的电磁场对测量结果产生影响,每次测量均在电机停下后进行。受试者在实验前30 min进入实验室,静坐休息、适应环境。实验前先用酒精轻轻擦拭受检部位,待酒精挥发后,再进行实验。

## 2.2 实验平台

自行搭建的高灵敏度人体漫射光检测装置如图1所示。808 nm近红外激光(半导体激光器)经过150 Hz的斩波器(SR540)调制后,耦合进纤芯为 $\phi 600 \mu\text{m}$ 的光源光纤,垂直入射皮肤组织,光纤头亦垂直接触皮肤表面。光在人体组织内传播时,一部分将被组织吸收,其余的将会发生多次散射,特别在到达组织边界处时将会发生全内反射或者辐射出组织。这部分辐射出组织的光称为漫射光,是探测的信号。系统采用一根和光源光纤同样规格的光纤作为探测器来接收这些漫射光。探测光纤在程序控制下沿着特定的路径移动,收集光信号并输入光电倍

增管PMT(H5734-20)中。光电倍增管将这些光信号先转换为方波电信号,然后再输入至锁相放大器(SR830),锁相放大器根据锁定的频率对有用信号进行放大和数字化,并将结果反映在计算机上。为了保证入射光和测量结果的稳定,实验过程中要保持激光器的输出功率,光电倍增管的控制电压和斩波器频率均不变。

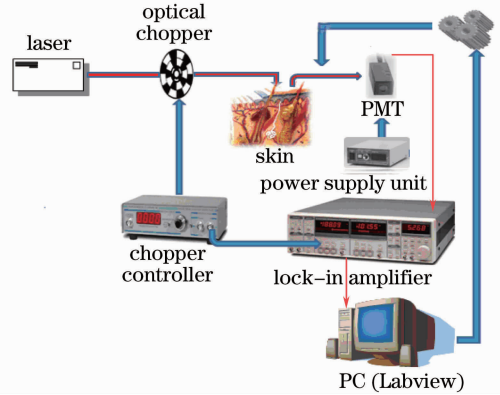


图1 实验测量平台

Fig. 1 Measurement system

## 2.3 实验方法

实验测量的示意图如图2所示,红点表示光纤的入射位置,黑点表示接收光纤的探测位置(彩图请见网络电子版)。其中入射点位于心包经上距离腕横纹1寸(约3.3 cm)的位置,接收点为一个 $11 \times 21$ 的点阵,实验过程中入射光纤保持不动,探测光纤依次经过这些接收点位置接收漫射光。

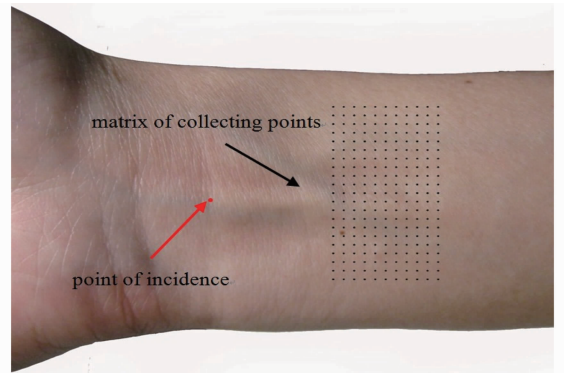


图2 实验测量示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experimental measurement

为验证实验设备本身的精度和稳定性,选用包装泡沫材料进行测试,在两条相隔1 cm的平行路线上各测量3次,所得结果如图3所示。

图3横坐标为探测点与入射点的距离,纵坐标是输出信号,其中A,B,C为路线1上的三次测量结果,D,E,F为路线2上的三次测量结果。可以看

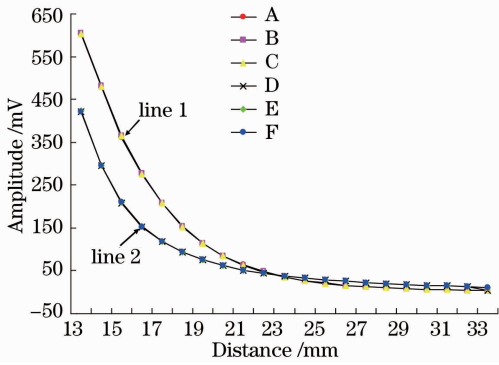


图 3 测量系统稳定性的验证

Fig. 3 Test of stability of the measurement system

出,在每条路线上的测量结果几乎完全重合,说明该系统是稳定可靠的。

### 3 结果与讨论

以入射光纤位置为坐标原点建立坐标系,如图 4 所示, $X, Y$  坐标表示探测点相对于入射点的位置,单位均为 mm。红点为入射光纤位置,黑点为探测点阵。探测区域为一个  $11 \times 21$  的点阵,手厥阴心包经的位置与  $Y$  轴重合,入射点与探测点阵的距

离为 20 mm,任意两个相邻的探测点之间的前后、左右距离均为 1 mm。每个被试对象测得的实验数据均为一个  $11 \times 21$  的矩阵。

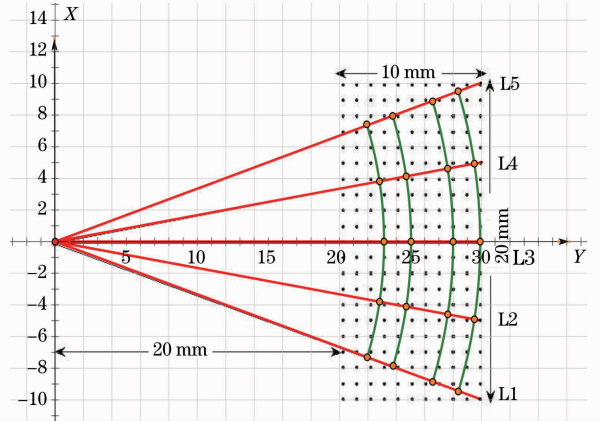


图 4 实验测量示意图

Fig. 4 Schematic diagram of experimental measurement

进一步对得到的数据进行 3 次样条插值处理得到  $1001 \times 2001$  的数值矩阵。分别对以上测量数据插值处理前后的结果应用 Matlab 软件绘图,如图 5 所示, $X, Y$  轴仍然表示探测点相对于入射点的位置, $Z$  轴为测量的漫射光强度。

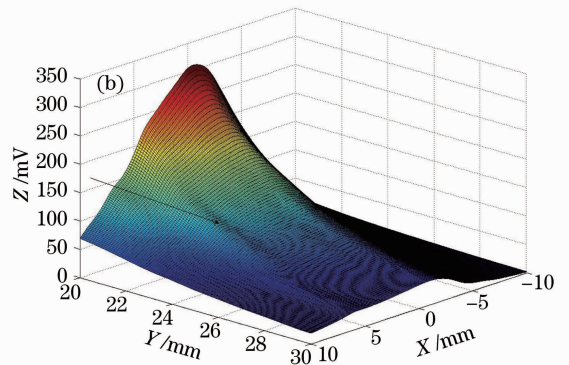
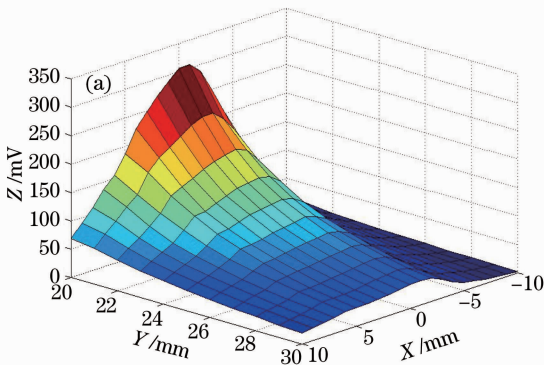


图 5 (a)漫射光强度分布;(b)三次样条插值处理后的漫射光强度分布

Fig. 5 (a) Distribution of diffuse light intensity; (b) distribution of diffuse light intensity after cubic spline interpolation

由图 5(a)和(b)可以直观地看出该区域的漫射光分布近似关于  $X=0$  平面对称。且漫射光沿任意路径的衰减也基本遵循指数衰减规律。在图 5(b)中箭头所指位置可以观察到一条近似与  $Y$  轴平行的线状凹陷。30 例被试者中,在经络双侧均出现明显线状凹陷的有 17 例,占 56.7%,单侧明显出现的共有 6 例,占 20%。(出现线状凹陷的明显程度与被试者的胖瘦有关,偏瘦者较为明显)考察在测量区域内各个探测点处漫射光衰减沿  $X$  方向的变化情况,计算各个探测点处漫射光强关于  $X$  的偏导数,如图 6 所示。

图 6(a)中  $X, Y$  坐标表示探测点相对于入射点

的位置。 $Z$  坐标表示各点处漫射光强度值对  $X$  的偏导数。为了直观地显示结果,将其反应在二维图上,如图 6(b)所示。图 6(b)中曲线 1~11 分别对应图 4 中与  $X$  轴平行且距离入射点由近及远的 11 条探测路径,横坐标与图 4 的  $X$  坐标一致,纵坐标表示该点处漫射光强对  $X$  的偏导数。图中每条曲线的走向基本一致,曲线在  $X=0$  的位置, $Y$  值基本都在 0 附近, $X=0$  即为经络线上的点,其偏导数基本都在 0 左右,表明经络线上的点衰减速率很小, $X=0$  线附近为测量光强极大值。该曲线簇均有两个峰值,均分别在  $X=-5$  和  $X=5$  的左右,峰值的偏移在 1~2 mm 左右。表明该处的偏导数最大,即光衰

减应最快。

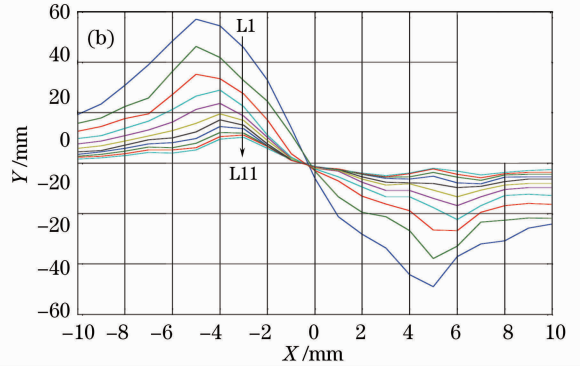
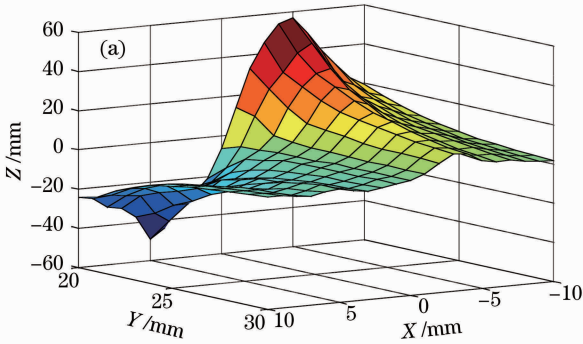


图 6 漫射光强对 X 的偏导数。(a) 3D; (b) 2D

Fig. 6 Partial derivative of diffuse light to X. (a) 3D; (b) 2D

手厥阴心包经左右两侧各有一条肌腱,分别为掌长肌腱与桡侧腕屈肌腱,其与手厥阴心包经的距离均大约为 4~5 mm,肌腱和经络三者走向在本实验测量的点阵区域内大致相互平行。在图 5(b)中箭头所指处可以清晰看到有一条近似与 Y 轴平行的线状凹陷,其位置也与肌腱位置吻合,对照图 6(b)可以看出该位置也正好处于漫射光强度对 X 偏导数曲线的峰值位置。

将图 5(a)所示的漫射光强度测量结果展示在二维图上。如图 7 所示, O 为光纤入射点,线 A, B, C, D, E 为测量点阵的 5 条特殊路径。以测量点与 O 点的距离为横坐标,测量得到的漫射光强度为纵坐标,对 A, B, C, D, E 5 条特殊路径的测量结果绘图如图 8 所示。

如图 7 所示以光纤入射 O 点为圆心, L 为半径的圆弧(L 为任意值)交 A, B, C, D, E 5 条线分别为  $A_L, B_L, C_L, D_L, E_L$  点,分别对应  $OA_L, OB_L, OC_L, OD_L, OE_L$  5 个方向。除  $OE_L$  方向,  $OA_L, OB_L, OC_L, OD_L$  均随 L 的取值不同而变化,  $OE_L$  始终为经络方向。由图 8 可见,在探测点阵的区域内的 5 条特定的路径上,任一与入射点相距 L 处,经络方向(黑线

表示经络方向)的漫射光强度为该 5 个方向中的最大值。并且当 L 取不同值时,除  $OE_L$  方向(经络方向)不变,其余的方向均发生变化,但经络方向的漫射光强度仍为所有方向中的最大。且与经络方向偏离越大,漫射光沿该方向传输衰减越快。

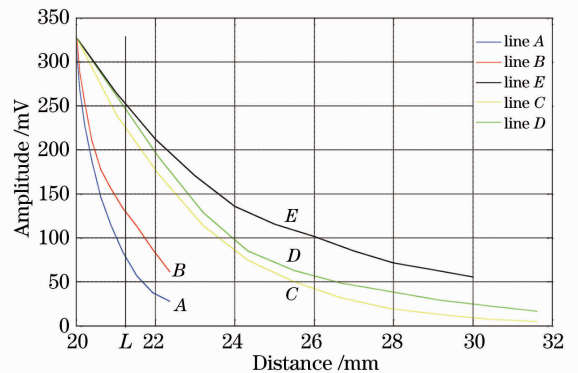


图 8 5 条特殊路径上的漫射光强度

Fig. 8 Intensity of diffuse light in five specific lines

为定量地考察漫射光沿不同方向传输时的衰减差异,将经过插值处理后的数据,如图 4 所示沿包含经络在内的 5 个方向,距离入射点 4 个等距线上的 20 个位置点对应的漫射光强度进行提取。5 个方向分别为 L1, L2, L3, L4, L5,其中 L3 为手厥阴心包经方向,选取的四个距离分别距离入射点为 23, 25, 28 和 30 mm。考虑到经络本身具有一定的宽度<sup>[18]</sup>,提取数据点的选取并没有很密集。

本实验程序自动对每个探测点都重复测量 10 次并取平均值,测量结果具有很好的重复性。漫射光强度测量数据的统计结果以均数和标准差( $I \pm SD$ )表示。30 名被试对象的实验结果统计如表 1 所示。

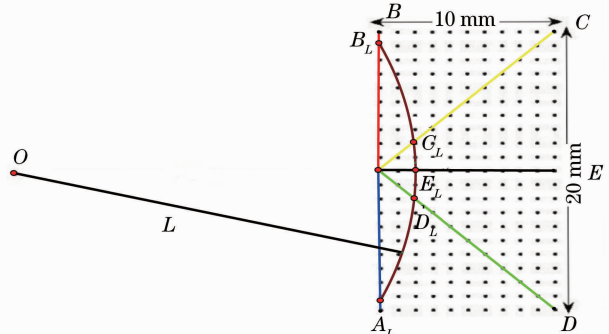


图 7 实验测量示意图

Fig. 7 Schematic diagram of experimental measurement



表 1 5 个方向的漫射光强度分布

Table 1 Distribution of diffuse light intensity in five directions

Distance /mm	L1 /mV	L2 /mV	L3 /mV	L4 /mV	L5 /mV
23	59.8±11.3	95.2±17.0	119.9±31.8	108.3±24.5	80.3±16.2
25	50.5±11.5	61.7±11.9	80.4±22.6	71.3±17.3	50.5±11.5
28	18.4±5.0	33.6±7.3	47.6±14.5	41.8±11.6	28.0±7.6
30	11.7±3.7	23.1±5.1	35.2±11.4	30.4±8.8	19.4±5.5

由统计结果可以看出在距离入射点 23, 25, 28 和 30 mm 4 个等距线上, 经络方向的漫射光强度分别与其余 4 个非经络方向的漫射光强度具有很大差异, 采用统计软件 SPSS 对测量的数据进行统计分析, 发现经脉线上与其余 4 个非经脉线上所测得的光信号的差异是具有统计学意义的 ( $p < 0.05$ )。且经络方向(L3 方向)在距离入射点 23, 25, 28 和 30 mm 4 个等距线上漫射光强度分别为 119.9, 80.4, 47.6

和 35.2 mV, 总为该 5 个方向的最大值, 即光沿经络方向的传输的衰减在这 5 个方向中为最小。在经络方向(L3 方向)的两侧分别考察 L1 与 L2 和 L4 与 L5 方向上的光传输特性, 发现与靠近经络的 L2, L4 方向上的漫射光强度分别强于远离经络的 L1, L5 方向, 且这种差异具有高度统计学意义 ( $p < 0.01$ ), 结果如图 9 所示。

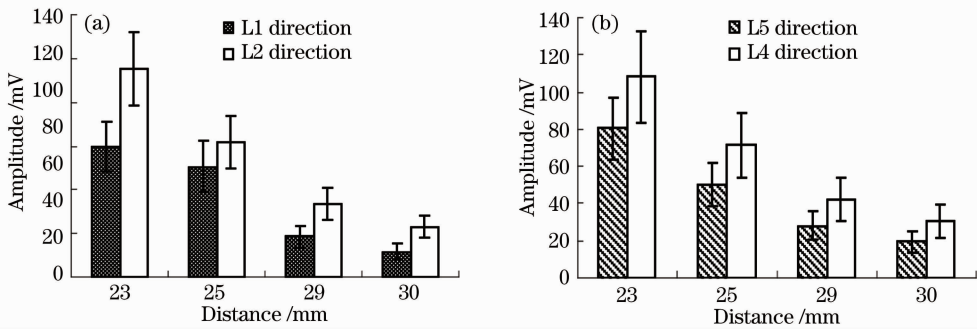


图 9 (a) L1 与 L2 光传输特性的比较; (b) L4 与 L5 光传输特性的比较

Fig. 9 (a) Comparison of optical transport characteristic in L1 and L2 directions; (b) comparison of optical transport characteristic in L4 and L5 directions

## 4 结 论

在体测量了人体手厥阴心包经及其周围非经络组织在激光照射下的漫射光强度空间分布, 建立了一套点光源发射和点阵扫描光接收系统。应用该方法可以对一特定区域内的漫射光整体分布情况进行分析研究, 特别是通过对比特殊组织结构(如经络, 肌腱等)与周围组织的光学特性的差异, 可实现从光学角度对这些特殊组织结构的鉴别以及对它们光学特性的检测。本实验中的测量区域包含一条人体经络和两条肌腱, 分别为手厥阴心包经和掌长肌腱与桡侧腕屈肌腱。实验结果和分析可以看出该区域内的漫射光衰减在肌腱处最大, 在漫射光强度图上的反映为一条线状凹陷。此外, 实验还比较了漫射光沿不同方向传输时衰减的差异, 发现在比较的 5 个方向中, 经脉方向为漫射光强度衰减最小方向, 并且与经络方向偏离越大, 漫射光沿该方向衰减越快。即经络为光在组织中传输的良通道。

## 参 考 文 献

- Liu Chengyi, Wang Yanfang, Zhu Jian *et al.*. Mechanism of intranasal low intensity laser therapy[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(11): 2799~2804  
刘承宜, 王艳芳, 朱 健等. 鼻腔内低强度激光照射疗法的机理[J]. *中国激光*, 2009, **36**(11): 2799~2804
- Gong Wei, Huang Yimei, Li Hui *et al.*. Thermal responses of human skin melanin in vivo to 532 nm multi-pulse laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(8): 2366~2369  
龚 玮, 黄义梅, 李 晖等. 532 nm 多脉冲光辐照人活体皮肤黑色素的热响应[J]. *光学学报*, 2010, **30**(8): 2366~2369
- Zhang Jizhuang, Zhang Xuexue. Effects of blood vessel parameters on the photo-thermal interactions during selective photothermolysis[J]. *Chiniese J. Lassers*, 2009, **36**(8): 2002~2008  
张纪庄, 张学学. 血管参数对皮肤组织选择性光热解作用中光热响应规律的影响[J]. *中国激光*, 2009, **36**(8): 2002~2008
- Yang Hongqin. Study of Human Meridian Phenomena by Medical Photonic Techniques [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007. 27~28  
杨洪钦. 基于医学光子技术的人体经络现象研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007. 27~28
- Hu Xianglong, Xu Jinsen, Wang Peiqing *et al.*. Preliminary exploration on the mechanism underlying the formation of infrared radiant track along meridian courses over human body

- surface[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2003, **22**(3): 175~180
- 胡翔龙, 许金森, 汪培清等. 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
- 6 C. Choi, K. S. Soh. Study of propagation of light along an acupuncture meridian[J]. *J. Opt. Soc. Korea*, 2003, **7**(4): 245~248
- 7 Hongqin Yang, Shusen Xie, Hui Li *et al.*. Differences in optical transport properties between human meridian and non-meridian [J]. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2007, **35**(5): 743~752
- 8 Zhang Dong. Application of infrared thermography in studies of acupuncture mechanisms and meridians[J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2004, **24**(1): 37~42
- 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
- 9 T. B. Parrish, A. Schaeffer, M. Catanese *et al.*. Functional magnetic resonance imaging of real and sham acupuncture[J]. *IEEE Engng. Med. Bio. Mag.*, 2005, **24**(2): 35~40
- 10 Zhang Changlin. Relationship of electron-magnetic standing wave with acupuncture meridian[J]. *Acupuncture Research*, 1995, **20**(4): 52~62
- 张长琳. 电磁驻波叠加作为经络系统的背景[J]. *针刺研究*, 1995, **20**(4): 52~62
- 11 Sun Pingsheng, Zhao Yuzhuo, Li Yulan *et al.*. The study on conduction of acoustic information along meridians [J]. *Acupuncture Research*, 1988, (2): 139~142
- 孙平生, 赵玉卓, 李玉兰等. 循经传导声信息的研究[J]. *针刺研究*, 1988, (2): 139~142
- 12 Lin Ling, Hao Liling, Chen Ruijuan *et al.*. Magnetic detection electrical impedence tomography and its application in three dimensional localization of the meridian[J]. *Chinese J. Medical Physics*, 2010, **27**(2): 1793~1798
- 林 凌, 郝丽玲, 陈瑞娟等. 磁探测电阻抗成像及其在经络三维定位中的应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2010, **27**(2): 1793~1798
- 13 Tan Chunyu. Essence of meridians based on neural electric field [J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2010, **30**(10): 835~839
- 谭春雨. 基于神经电场理论的经络本质探讨[J]. *中国针灸*, 2010, **30**(10): 835~839
- 14 Hu Guangqiang. Meridian efficacy mechanism and the basis of anatomy physiology [J]. *China Science and Technology Information*, 2005, (20): 177
- 胡光强. 经络功效的机制及其解剖生理学基础[J]. *中国科技信息*, 2005, (20): 177
- 15 Shui-yin Lo. Meridians in acupuncture and infrared imaging[J]. *Medical Hypotheses*, 2002, **58**(1): 72~76
- 16 Wang Yuhua, Yang Hongqin, Xie Shusen *et al.*. Experimental measurement of the optical transport along human meridian direction[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(9): 2443~2447
- 王瑜华, 杨洪钦, 谢树森等. 人体经脉光传输特性的实验测量[J]. *中国激光*, 2009, **36**(9): 2443~2447
- 17 Wang Yuhua, Yang Hongqin, Xie Shusen *et al.*. Experimental measurement of the propagation characteristics of 633 nm laser radiation along pericardium meridian[J]. *J. Optoelectronics . Laser*, 2007, **18**(9): 1132~1134
- 王瑜华, 杨洪钦, 谢树森等. 633 nm 激光辐射沿心包经脉线传输特性的实验测[J]. *光电子. 激光*, 2007, **18**(9): 1132~1134
- 18 Zheng Liyan. Channels may be functional zones adhering to certain tissues[J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2001, **21**(1): 35~36
- 郑利岩. 经脉似附着于一定组织上的功能带[J]. *中国针灸*, 2001, **21**(1): 35~36