

文章编号:1004-4213(2010)s1-0029-5

经络与周边非经络组织的光传输特性探究

刘湘容,陈长水,江怡帆,刘晓梅,刘颂豪

(华南师范大学 光子纳米生物技术研究中心;光子中医实验室 广州 510631)

摘 要:设计了一套无损检测光波沿人体经络传输特性的自动测量系统,测量 808 nm 光波沿人体经络及其周边非经络组织的漫射光强度,分析不同的激光输出功率对组织相对衰减率的影响.运用生物组织中光子传输理论的近似漫射法对实验结果进行分析,发现经络与周边非经络组织之间的光传输特性存在差异,这种差异性具有明显的医学统计意义($P < 0.05$).另外,还发现手厥阴心包经上的平均相对衰减因子比足太阴脾经小,可以得知,它们的光学特性参数存在差异.研究表明激光输出功率对组织的相对衰减率没有影响,证明了相对衰减率是由组织的光学特性决定的.

关键词:光传输特性;经络;非经络组织;相对衰减率

中图分类号:R318.51

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb201039s1.0029

0 引言

经络是中医理论的一个重要核心,经络理论指导着包括针灸在内的几乎所有中医临床实践.上世纪五十年代以来,国内外专家学者通过循经感传、力、热、电、光、同位素、红外线、化学成份分析、生物能量代谢分析、解剖等各种手段对经络的实质进行了研究,并提出了各自的观点^[1-7].根据中医理论,离体组织与活体组织存在巨大差别,并且某些物质只存在于活体组织中,因此,发展活体的无损测量技术对经络的特性研究具有重要价值.生物医学光子学的发展为经络特性的研究提供了一个有效手段^[8-12].本文研究了人体经络及其周边非经络组织的光传输特性,并利用生物组织中光子传输理论的近似漫射法对实验结果进行分析,以比较经络与其周边非经络组织上的光学特性参数是否存在差异,同时探讨了不同的激光输出功率对组织相对衰减率的影响.

1 理论基础

组织的光学特性参数主要有吸收系数 μ_a 、散射系数 μ_s 、各向异性因子 g 等,根据光的传输理论模型,生物组织的吸收系数和散射系数决定了组织表面的漫射光分布.因而,组织的光学特性参数可以通过测量光在组织中的漫射光强度,并依据光传输理论进行反演推算得到.由于推导过程中的近似及边

界条件不同,光的传输理论有几种不同的表示形式,其中边界条件有三种:零边界条件、外推边界条件和分流边界条件.根据张连顺^[13-14]等人的研究结果表明,外推边界条件能较精确地描述介质表面距光入射位置 1.00 cm 以外处光的分布规律.若由实验测得介质表面 1.00 cm 以外的光分布规律,即可由方程反演获得介质的光学特性参数.

外推边界条件假定在介质外离介质表面一定距离处,光的平均漫射强度为零,如图 1 所示,图中 Φ 为平均漫射强度, $z_b = \frac{1+R_{\text{eff}}}{1-R_{\text{eff}}}2D$, R_{eff} 称为介质内表面有效反射系数,根据漫射近似得出光在介质表面的分布规律^[15]为

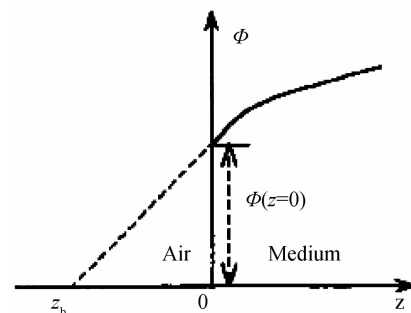


图 1 参数示意图

Fig. 1 Parameter diagram

$$R(\rho, z_0) = \frac{1}{4\pi} \left[z_0 \left(\mu_{\text{eff}} + \frac{1}{r_1} \right) \frac{\exp(-\mu_{\text{eff}} r_1)}{r_1^2} + (z_0 + 2z_b) \left(\mu_{\text{eff}} + \frac{1}{r_2} \right) \frac{\exp(-\mu_{\text{eff}} r_2)}{r_2^2} \right] \quad (1)$$

基金项目:国家重点基础研究发展计划(No. 2006CB504505)和广东省中医药项目(No. 2009436, No. 2010461)资助

第一作者:刘湘容(1983-),男,硕士研究生,主要研究方向为光学在生物医学中的应用研究. Email: liuxiangrong6@126.com

导师(通讯作者):陈长水(1969-),男,教授,博导,主要研究方向为激光光学、生物光子学、光子中医药等. Email: cschen@aiofm.ac.cn

收稿日期:2010-11-17; **修回日期:**2011-01-14

式中 $r_1 = \sqrt{\rho^2 + z_0^2}$, $r_2 = \sqrt{\rho^2 + (z_0 + 2z_b)^2}$, $\mu_{\text{eff}} = \sqrt{3\mu_a(\mu_a + \mu_s)}$, ρ 为在介质表面上所考察点 P 到光束入射点 O 的距离, 坐标关系如图 2 所示, $\mu_s' = \mu_s(1-g)$ 叫做介质的有效散射系数, g 为散射介质的

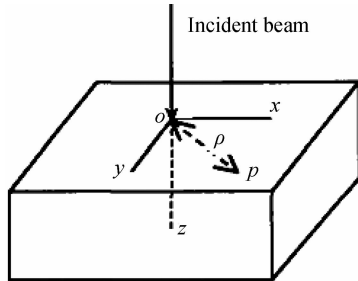


图 2 坐标关系示意图

Fig. 2 Coordinate relationship diagram

各向异性因子, 对于不同的生物介质 g 变化不大, 可以认为是一常数^[16]. 当辐照的光束为笔直细光束, 且各向同性的散射光沿 Z 轴纵向分布, 此时上式的 $z_0 \approx \frac{1}{\mu_s}$, 因此, 上式可以写为

$$R(\rho) = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{1}{\mu_s} (\mu_{\text{eff}} + \frac{1}{r_1}) \frac{\exp(-\mu_{\text{eff}} r_1)}{r_1^2} + (\frac{1}{\mu_s} + 2z_b) (\mu_{\text{eff}} + \frac{1}{r_2}) \frac{\exp(-\mu_{\text{eff}} r_2)}{r_2^2} \right] \quad (2)$$

杨洪钦^[10]等人的研究表明, 细直激光束辐照生物组织时, 径向漫射光强度相对衰减率与组织吸收系数 μ_a 和约化散射系数 μ_s' 呈指数递增关系. 其中相对衰减率的定义为: 假设 A 点的漫射光强度为 I , 径向传播一段距离后漫射光强度减少到 $I - dI_a$, 则 dI_a/I 称为漫射光的相对改变量, 将测量路径上的各点的测量值与初始测量点上的值相除:

$$\frac{I - dI_a}{I} \times 100\% \quad (3)$$

可得到相对于起始测量点的一系列相对强度, 该相对强度的衰减率即称为相对衰减率. 因此, 只要测量出组织表面的漫射光强度, 就可以比较不同组织吸收系数和散射系数的大小.

本研究通过测量组织的漫射光强度, 推算出该测量路径的漫射光相对强度分布, 并对其进行曲线拟合, 得到该路径的相对衰减因子, 通过比较不同测量路径的相对衰减因子, 分析不同测量路径的光学特性是否存在差异. 本实验中采用光纤导光并垂直入射人体皮肤表面, 可以近似作为点光源, 采取外推边界条件下的光传输理论方程求解相对衰减因子.

2 对象及方法

2.1 实验对象和实验材料

健康成年人 39 例, 其中男 19 例, 女 20 例; 年龄

22-26 岁, 平均年龄 24.1 岁. 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 $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $(55 \pm 10)\%$, 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 (步进电机不存在永久磁铁, 一旦关闭即不存在磁场) 时进行. 受试者在实验前 30 min 进入实验室, 静坐休息、适应环境. 实验前用 75% 酒精轻轻擦拭受检部位, 待酒精挥发后, 进行实验.

2.2 实验装置

采用自制高灵敏度人体光传输检测装置 (图 3). 装置中 808 nm (半导体激光器) 激光经过频率为 1 000 Hz 的斩波器 (SR540) 调制后, 耦合进入纤芯为 $\phi 600 \mu\text{m}$ 的入射光纤, 光纤头垂直接触皮肤表面, 在探测点由另一根纤芯为 $\phi 600 \mu\text{m}$ 的光纤垂直皮肤表面收集漫射出皮肤表面的激光, 传输到光电倍增管 PMT (H5734-20), 光信号经光电倍增管转换和放大后, 送至锁相放大器 (SR830), 存入计算机.

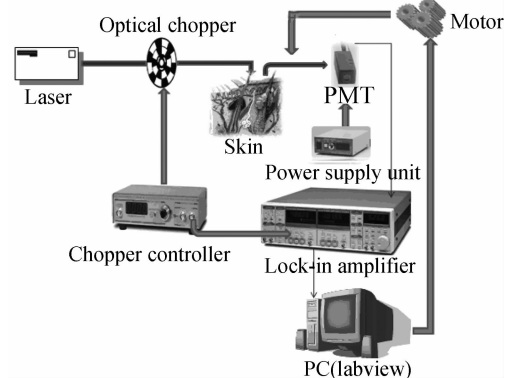


图 3 实验测量平台

Fig. 3 Measurement system

假设输入光电倍增管的功率是 P , 那么锁相放大器的输出电压 U 为

$$U = 0.6365 \times P \times A(\lambda, u) \quad (4)$$

其中, $A(\lambda, u)$ 是光电倍增管的灵敏度, u 是光电倍增管的控制电压, λ 是光的波长, 0.6365 表示峰峰值为 1 V 的信号输入会得到一个幅值为 0.6365 V 的输出. 为了保证射入人体的激光功率不变, 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不变.

2.3 实验方法

在手厥阴心包经及其周边非经络组织上选择了如图 4(a) 所示的四条测量路径, 在足太阴脾经及其周边非经络组织上选择了如图 4(b) 所示的两条测量路径. 图中黑点代表激光的入射点, 黑线是探测路径, 其中路径 1 和 3 与手厥阴心包经重合, 路径 2 和 4 分别为与路径 1 和 3 平行相距 1 cm 处的非经络

组织,位置如图 4(a)所示;路径 5 与足太阴脾经重合,路径 6 为与路径 5 平行相距 1 cm 处的非经络组织,位置如图 4(b)所示. 实验的第一步是调整测量设备,使激光的入射点对准 A 点(大陵穴),探测光纤沿着路径 1(心包经上)测量漫射光,探测起始点在距离入射点 13 mm 处,每隔 1 mm 测量一个点,每个点测 10 次取平均值作为测量值,每条线测量 21 个点,即测量长度为 20 mm. 测量完路径 1 之后,入射点改为 B,探测路径改为路径 2,以此类推,保证每条路径上的测量方式都相同.

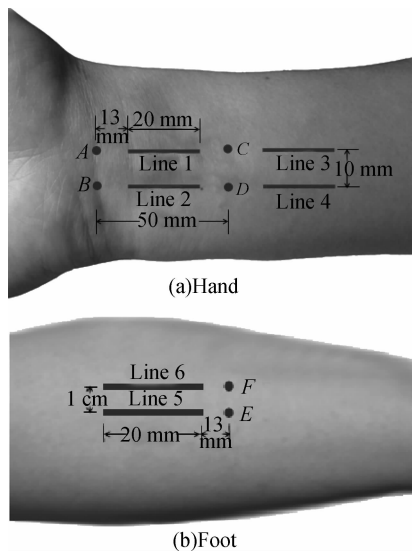


图 4 测量路径示意图
Fig. 4 Schematic diagram of experimental measurement

实验进行前,检测实验系统的稳定性. 选用包装泡沫材料进行测试,在两条相隔 1 厘米的平行路线上各测量 3 次,所得结果如图 5 所示.

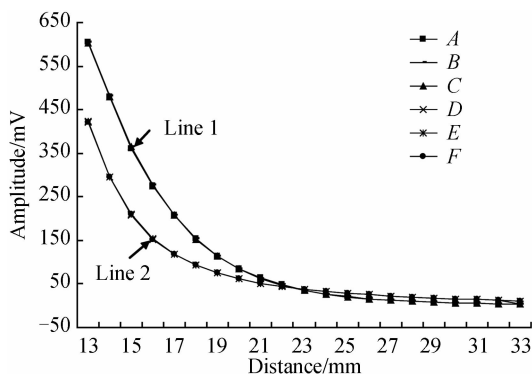


图 5 测量验证系统稳定性
Fig. 5 Test of stability of the measurement system

上图的横坐标为探测器离入射点的距离,单位 mm,纵坐标是输出信号,单位 mV,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. 从图中可以看出,两条路线上的三次测量结果几乎完全重合,这说明系统是稳定可靠的.

2.4 统计学处理

漫射光强度参数以均数和标准差($\bar{X} \pm SD$)表

示,采用 t 检验, $p < 0.05$ 为有显著性差异,利用统计软件 SPSS 16.0 作统计处理.

3 结果与分析

3.1 激光输出功率对组织相对衰减率的影响

理论上,激光器的输出功率不会对组织的相对衰减率产生影响,因为相对衰减率是由组织的光学特性决定的. 为了验证不同的输出光功率是否会对组织的相对衰减率产生影响,分别对 39 位被测者的手厥阴心包经(路径 1)进行测量,图 6 表示激光器电流分别为 0.300 A、0.330 A 时其中一位被测者的光传输特性.

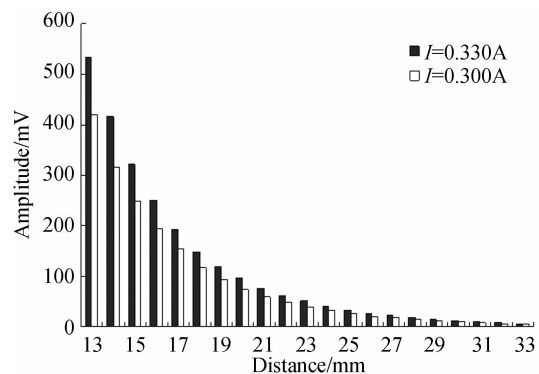


图 6 不同激光功率下被测者的光传输特性
Fig. 6 Light propagation characteristics of the experimenter under different laser power

从图 6 可以看出,被测者的光传输特性呈指数衰减,激光输出功率的改变使得漫射光的强度改变了,由式(3)得到相对于起始测量点的一系列相对强度,该相对强度的衰减率即称为相对衰减率. 利用 Origin8.0 软件对相对强度值进行非线性拟合,得到衰减因子 μ . 被测者在激光器电流分别为 0.300 A、0.330 A 时相对强度值的拟合曲线如图 7 所示.

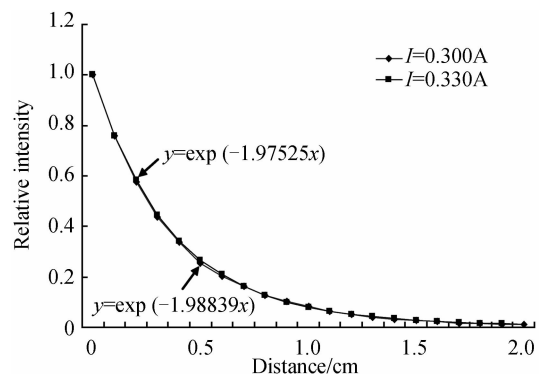


图 7 不同激光功率下被测者相对强度值的拟合曲线
Fig. 7 The fitting curve of the experimenter under different laser power

注意,由于经过计算后的每个相对值均是相对于该测量路径初始点的测量值,因此各点的距离也应是相对于初始点的距离.

以同样的处理方法分别对 39 位被测者的实验

数据进行处理,得到一系列的衰减因子,表一表示 39 位被测者在激光器电流分别为 0.300 A、0.330 A 时的平均衰减因子.采用 SPSS16.0 医学统计分析软件进行统计分析,结果表明 39 位被测者在激光器电流分别为 0.300 A、0.330 A 时的平均衰减因子没有明显的医学统计意义($P>0.05$).

表 1 不同激光功率下 39 位被测者路径 1 的平均衰减因子
Table 1 Attenuation factor (μ) of the four experimenters under different laser power

Laser current(I)	Male average	Female average	Total average
0.300 A	1.91±0.21	1.83±0.17	1.87±0.19
0.330 A	1.92±0.19	1.83±0.20	1.88±0.20
P	>0.05	>0.05	>0.05

从表 1 可以看出,激光器电流分别为 0.300 A、0.330 A 时,39 位被测者的平均衰减因子分别为 1.87±0.19、1.88±0.20, $P>0.05$.通过数据对比,可以发现输出光功率的改变使得漫射光的强度改变了,但组织的相对衰减因子没有发生变化,说明激光器的输出功率不会对组织的相对衰减率产生影响,证明了相对衰减率是由组织的光学特性决定的.

3.2 经络及其周边非经络组织的光传输特性

按照上述实验方法,对 39 名实验志愿者进行了测量分析.39 名受试者的平均衰减因子如表 2 所示,从表中可以发现,无论是女性还是男性,路径 2 的平均衰减因子比路径 1 大,路径 4 的平均衰减因子比路径 3 大,路径 6 的平均衰减因子比路径 5 大,其中 1、3、5 为经络路径,2、4、6 为周边非经络组织路径.由此可知无论是沿手厥阴心包经还是足太阴脾经,光波沿经线方向传输时都比其旁开 1 cm 的非

经络传输路径衰减的慢,由前面的理论基础可推断经络路径的吸收系数和散射系数相对较小.采用 SPSS16.0 医学统计分析软件进行统计分析,结果表明光波沿经络路径与非经线方向传输的这种差异性,具有明显的医学统计意义,如图 8 所示.路径 1 与路径 2,平均衰减因子分别是 1.90±0.16 和 2.19±0.37, $P<0.01$;路径 3 与路径 4,平均衰减因子分别是 1.73±0.25 和 2.41±0.40, $P<0.01$;路径 5 与路径 6,平均衰减因子分别是 2.90±0.41 和 3.27±0.66, $P<0.04$.从表 2 还可以发现,路径 1 跟路径 3 比较,平均衰减因子分别是 1.90±0.16 和 1.73±0.25,相对衰减率相差不大,说明同一经线上的吸收系数和散射系数相差不大.而路径 3 跟路径 5 比较,两者平均衰减因子相差较大,分别是 1.73±0.25 和 2.90±0.41,说明脾经的相对衰减率明显比心包经的相对衰减率大,即脾经的吸收系数和散射系数比心包经大.

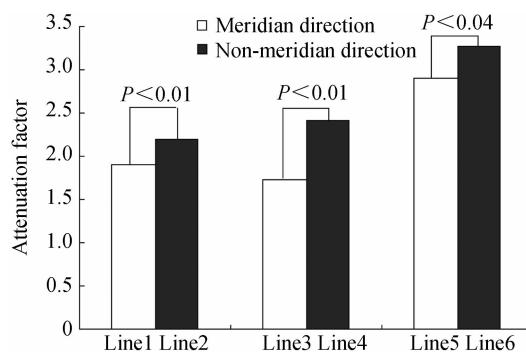


图 8 经络线与其周边非经络线上的衰减因子
Fig. 8 Attenuation factor of Meridian and the surrounding non-meridian tissue

表 2 39 位被测者的平均衰减因子

Table 2 The average attenuation factor of 39 experimenters

	line1	line2	line3	line4	line5	line6
Male average	1.94±0.18	2.13±0.41	1.72±0.28	2.52±0.47	3.15±0.51	3.64±0.75
Female average	1.86±0.14	2.22±0.33	1.73±0.22	2.30±0.33	2.65±0.31	2.94±0.57
Total average	1.90±0.16	2.19±0.37	1.73±0.25	2.41±0.40	2.90±0.41	3.27±0.66
P	<0.01	<0.01	<0.04			

4 结论

实验研究了 808 nm 光波沿人体经络线与旁开非经络线方向的光传输特性,利用生物组织中光子传输理论的近似漫射法对实验结果进行分析,发现经络与非经络组织之间的光传输特性存在明显的差异.同时还发现手厥阴心包经上的平均相对衰减因子比足太阴脾经小,可以推断手厥阴心包经与太阴脾经的光学特性参数存在差异.研究表明组织的相对衰减率不受激光输出功率的影响,证明了相对衰减率是由组织的光学特性决定的.这一结论对人体经络的客观存在以及经络的特异性研究可以提供有益参考数据.

参考文献

- [1] HU Xiang-long, XU Jin-sen, WAN Pei-qing, 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.
- [2] CHOI C, SOH K S. Study of propagation of light along an acupuncture meridian[J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2003, 7(4): 245-248.
- [3] LO S Y. Meridians in acupuncture and infrared imaging[J]. *Medical Hypotheses*, 2002, 58(1): 72-76.
- [4] PARRISH T B, SCHAEFFER A, CATANESE M, et al.

- Functional magnetic resonance imaging of real and sham acupuncture[J]. *IEEE Eng Med Bio Mag*, 2005, **24**(2):35-40.
- [5] YANG Hong-qin, XIE Shu-sen, LI Hui, *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.
- [6] ZHANG Chang-lin. 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.
- [7] HU Guang-qiang. 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.
- [8] LIU Cheng-yi, WANG Yan-fang, ZHU Jian, *et al.* Mechanism of intranasal low intensity laser therapy[J]. *Chinese Journal of 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.
- [9] QIU De-min, QIU Di-nan. Clinical observation of treatment of cystic hyperplasia of breast with laser irradiation at meridian points[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 1988, **4**(17):254-256.
邱德明, 邱定安. 激光经络穴位疗法治疗乳腺增生的临床观察[J]. 中国激光, 1988, **4**(17):254-256.
- [10] YANG Hong-qin. Study of human meridian phenomena by medical photonic techniques [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
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.
- [11] WANG Yu-hua, YANG Hong-qin, XIE Shu-sen, *et al.* Experimental measurement of the optical transport along human meridian direction [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009, **36**(9):2443-2446.
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):2443-2446.
- [12] LI Zhong-ming, LIU Xiao-hua. The theoretical analysis of thermal interaction between laser and bio-tissue[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2002, **13**(8):860-863.
- [13] ZHANG Lian-shun, ZHANG Chun-ping, WANG Xin-yu, *et al.* Simulation study for noninvasive determination of the optical scattering and absorption coefficients of biological tissue[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2002, **19**(4):318-322.
张连顺, 张春平, 王新宇, 等. 生物组织光学特性参数无损测量的模拟研究[J]. 量子电子学报, 2002, **19**(4):318-322.
- [14] ZHANG Lin, ZHANG Lian-shun, XU Tang, *et al.* In vitro and in vivo noninvasive measurements for the optical properties of the biological tissues [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(11):1377-1381.
张琳, 张连顺, 许棠, 等. 生物组织光学参数的离体和在体无损测量[J]. 光子学报, 2004, **33**(11):1377-1381.
- [15] ALWIN KIENLE, MICHAEL S PATTERSON. Improved solutions of the steady-state and the time-resolved diffusion equations for reflectance from a semi-infinite turbid medium [J]. *JOSA*, 1997, **14**(1):246-254.
- [16] CHEONG W. F., PRAHL S. A., WELCH A. J. A review of the optical properties of biological tissues[J]. *IEEE J Quan Elec*, 1990, **26**(12):2166-2185.

Light Propagation Characteristics of Meridian and Surrounding Non-meridian Tissue

LIU Xiang-rong, CHEN Chang-shui, YU Jin-wang, JIANG Yi-fan, LIU Xiao-mei, LIU Song-hao
(Photon & Nano Research Centre for Biosciences, Laboratory of Photonic Traditional Chinese Medicine,
South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: According to the principle of light propagation, an automatic measurement system for scattering light survey of meridian and surrounding non-meridian at 808 nm central wavelength was designed and the effect of laser power on light decay rate of tissue were discussed. The diffusion theory of light transporting in biological tissues was used to analyze the experimental results. The results showed that there were statistical differences between meridian and surrounding non-meridian ($P < 0.05$). We also found the differences in optical parameters that the average attenuation factor value of pericardium meridian was lower than spleen meridian. In this article, our study showed laser power had no influence on attenuation of light in biological tissues that proved the attenuation is determined by tissue optical characteristics.

Key words: Light propagation characteristics; Meridian; non-meridian tissue; Relative decay rate