

经络光学

——经络现象的光学研究

李 晖 杨洪钦* 谢树森

(福建师范大学激光与光电子技术研究所, 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

摘要 人体体表是否存在经脉及其相应的结构和功能, 是经络研究中争论的焦点问题. 为生理学表征的经络现象应有其物质的实在基础. 若能阐明它的物理性实质, 则可揭示经络现象背后起支配作用的科学规律. 该文介绍利用最新的生物医学光学测量方法以及红外热成像层析系统, 来研究人体的经络现象, 并构建了经络光学的研究体系, 还实验探索了人体经脉腧穴红外辐射特征和光波沿经脉线传输特性.

关键词 经络 腧穴 红外辐射 光学特性 生物医学光学

关于经络现象以及与其密切相关的作为中医核心要素的经络学说, 历来是引人入胜的, 但前者至今没有得到令人信服的解释, 而后者尽管有长达数千年历史并有效地指导着当今中医各科的临床实践^[1], 却仍未得到科学界的广泛认同. 经络学说以一种完全不同于现代医学和生命科学理论的方式来阐述人体的机能调节和生命过程, 多年来为国内外学者所关注. 人体体表是否存在经脉及其相应的结构和功能, 是经络研究中争论的焦点问题. 然而, 经络现象已经有了许多实验观察^[2,3], 如: 针刺麻醉、循经感传、人体皮肤表面阻抗循经分布或循经皮肤疾病等. 为生理学表征的经络现象应有其物质的实在基础, 特别地, 经脉在“外周”(皮肤附近)应有其相应的物质性结构. 若能阐明它的物理性实质, 则可揭示经络现象背后起支配作用的科学规律. 因此, 借助现代科学仪器和手段, 通过严格的科学实验, 阐明或揭示人体经脉线的客观存在性以及经脉腧穴的理化特性对于中医学的发展具有重大的实际意义和临床应用价值. 在韩国首尔举行的 2006 年医学物理学与生物医学工程世界大会(World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006)上, 作者首次提出了“经络光学”(“Meridian Optics”)的研究体系. 它运用生物医学光学及其测量技术, 旨在探索人体经络存在的客观性、经脉腧穴的物质基础以及经络系统如何参与人体信息传递和机能调控等.

收稿日期: 2007-05-20; 接受日期: 2007-08-24

国家自然科学基金(批准号: 60578056)和卫生部科学研究基金—福建省卫生教育联合攻关计划(编号: WKJ2005-2-004)资助项目

* 联系人, E-mail: hqyang@fjnu.edu.cn

1 经络光学的研究体系

生物医学光学, 即现代光学与生物学或生命科学和医学的交叉而诞生的一门新兴学科, 近年来已取得了令人瞩目的成就. 它涉及生物系统以光子的形式释放能量和来自生物系统的光子探测, 还包括利用外部的光子与生物系统进行相互作用, 从而获知或提取生物系统的物理特性. 一切生物, 包括动物, 植物和微生物的发育、生长都是依靠光提供能量, 因此生物体发射出的光携带着生物系统的结构与功能信息, 探测生物发射的光子, 可以揭示生命的秘密; 同样地, 利用生物体外部光源, 借助光辐射与生物组织的相互作用理论, 可以获取生物体相关的物理特性^[4-6]. 目前, 许多现代物理手段, 如电阻测量法、核素跟踪法、超声影像、核磁共振 MRI 和红外光谱成像等都被应用于经络现象研究, 并取得了若干有意义的结果^[7-12], 然而, 由于研究方法本身的局限性, 使得许多实验的条件不易控制, 结果重复性差. 特别地, 有关经脉腧穴的理化特性至今仍是一片空白. 如何设计和运用无损的实验方法对经络现象进行研究是当前研究的首要任务. “经络光学”正是在这样的背景下应运而生, 其研究体系如图 1.

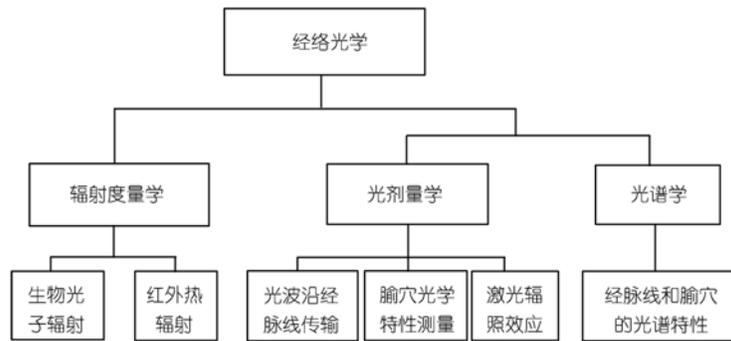


图 1 经络光学研究体系框图

辐射度量学中, 着重研究生物体自身的光子辐射和红外热波辐射, 相关测量方法称为被动式测量. 生物超弱发光是生物体特有的普遍现象, 是生物体内分子跃迁时向外辐射能量, 反映了生命过程的特征. 研究人体超弱发光成像的分布特征及其与脏腑、经络、穴位的对应关系, 可以加深对经络现象的了解. 当前, 国内外已有许多研究组开展此项研究, 其中德国 Popp 研究小组已取得一定的成果^[5]. 进一步研究经脉腧穴上光子自发辐射与人体机能的调控关系将有望成为人体健康的监测手段或方法. 而人体的红外辐射则是人体机体新陈代谢过程的所产生的热量大小的反映, 人体的这种热波同时也携带着的人体功能信息, 能从整体上反映人体不同脏腑的健康状态, 是当前新兴的一种诊断技术^[12]. 如果把人体红外辐射中的热波段部分进行成像, 即通常所说的红外热成像, 不仅可以显现人体经脉腧穴的红外热辐射轨迹和时间相关节律性; 结合人体经脉腧穴的红外热像图和中医药理学理论, 可以对一些疾病进行无损和快速的诊断, 是当前医学影像技术诊断疾病的一种新方法.

经络的光剂量学和光谱学, 则属于主动式测量, 其中光剂量学侧重研究光波与人体经脉线和非经脉线、穴位与非穴位的相互作用机理, 主要包括一定光波沿经脉线和非经脉线传输特性的比较; 穴位光学特性的在体测量, 如采用 OCT 成像法和漫射辐出度法等快速地测量并演出人体相关穴位的光学特性参数, 这些特性参数携带人体生理参数, 因此可以反映人体的

健康状态, 将有望成为中医学临床诊断的一种新指标. 此外, 由于光子不仅是信息的载体, 还是能量的载体, 因此光剂量学中, 包含着丰富的光波辐照效应, 即光波辐照人体穴位或经脉线时所诱发的各种效应, 如激光的针灸麻醉效应, 弱激光与细胞生物学现象(基因调控和细胞凋亡)之间关系、弱激光镇痛的分子生物学机理以及光波与细胞免疫关系等^[13]. 光谱学中, 侧重研究光波与人体经脉线和穴位相互作用时, 经脉线和穴位对光波波长的依赖性. 我们初步的实验结果表明人体经脉线可能是一定波长光波的良好通道, 即一定波长的光波垂直辐照人体经脉线时, 在排除组织解剖结构的因素后, 光波具有沿经脉线方向传输的趋势. 此外, 健康人体腧穴区域与其附近的非腧穴区域的反射光谱存在明显的差异性, 这反映了腧穴和非腧穴区域具有不同的生理学参数和光学特性参数. 因此, 借助光波与生物组织相互作用理论和考虑生物分子结构的 Quantum Monte Carlo 方法或分子动力学模拟, 将有助于我们深入揭示光波沿经脉线传输的特性.

2 若干实验结果

本文给出基于医学光子学理论和方法获得的若干实验结果, 其中有关红外热成像的相关结果是在胡翔龙研究小组的基础上, 利用红外热成像新技术 TTM (thermal texture maps) 获得的最新结果. 据作者所知, 有关经脉腧穴红外辐射轨迹的时间相关性研究在国内外尚属首例, 而光波沿经脉线传输特性实验测量属国内首例^[14].

2.1 经脉线的循经红外热辐射及其时间节律性

多年来, 许多学者借助电、磁、声、光、核素等多种现代科学技术开展经络研究, 取得若干有意义的结果, 尤其是红外热成像技术, 因其无损、直观、便于重复等优点, 是当前国内外经络现象研究的热点^[8-10]. 福建中医药研究院胡翔龙研究小组从 20 世纪 90 年代初开始采用高分辨率的红外热成像系统开展经络研究, 经过十多年的努力, 取得显著的进展^[8]. 此处, 我们报道利用红外功能成像新技术 TTM 首次研究人体经络腧穴红外辐射现象及其时间相关性的若干最新结果. 图 2 给出 1 名 21 岁健康男青年两侧脾经(图 2 中实线箭头)和任脉(图 2 中虚线箭头)的红外辐射图; 图 3 是 1 名 26 岁健康男青年右侧大肠经上经穴(1 为肩髃; 2 为臂臑; 3 为曲池; 4 为合谷)的红外热像图, 而图 4 则是该受试者右侧大肠经腧穴在一个月(大约 7:30 PM)的重现情况. 图 5 给出了一受试者穴位和非穴位温度场的时间节律, 图 5 中 A 为任脉上神阙, B 和 C 分别为大肠经上的肩髃和臂臑, D 为非穴位. 由图 2 和 3 可知, 红外热像技术可以直观简便地显现人体的经脉腧穴, 证明其客观性; 而由图 4 和 5 可知, 大肠经腧穴温度的变化以天为基数, 即与人体体温的昼夜节律相似呈昼夜节律, 具有很好的重现性, 但不同腧穴温度变化的幅度不一致. 有关经脉腧穴温度变化的时间节律性及其与人体机能调控的关系, 将作更进一步的研究并另文报道.

2.2 光波沿经脉线的传输特性

光波沿经脉线传输特性的实验测量原理如图 6. 激光光波经光斩波器后会聚进入传输光纤(芯径 400 μm , Ocean Optics, USA)后辐照在人体体表经线或非经线上的相关位置, 传输光纤与皮肤的接触压强可精确控制. 探测光纤放置在同一经线的另一位置上, 如内关穴(PC6). 为减小光纤移动给测量所带来的误差, 本实验采用双光纤收集探测头, 2 根光纤的相关参数与传输

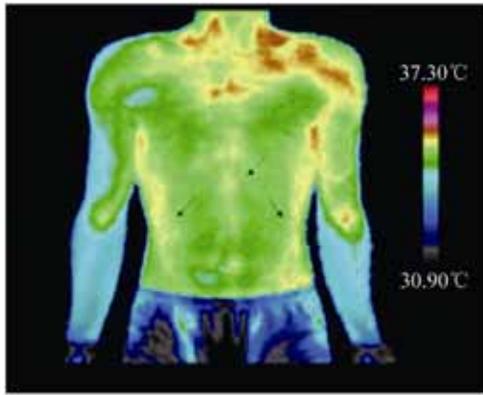


图 2 两侧脾经和任脉的红外辐射轨迹

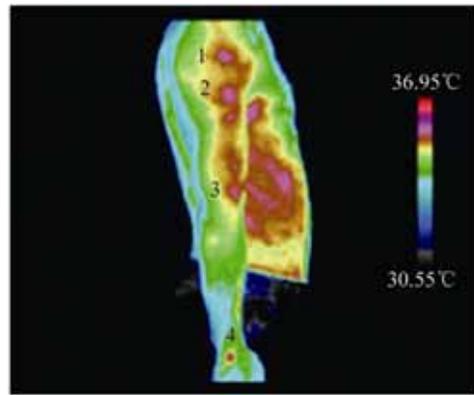


图 3 右侧大肠经腧穴的红外热像图

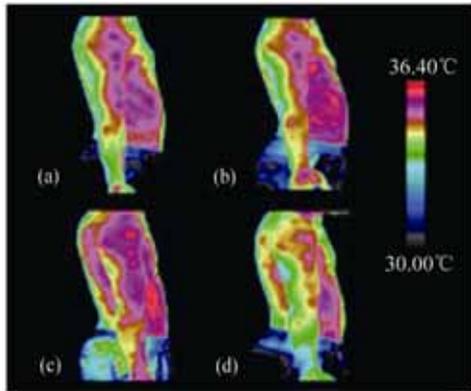


图 4 右侧大肠经腧穴红外热图 30 d 的重现性

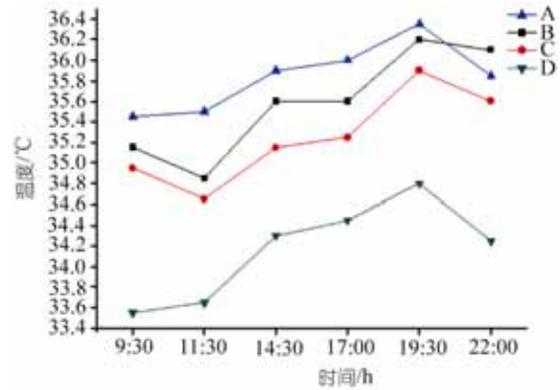


图 5 人体穴位与非穴位温度场的时间节律

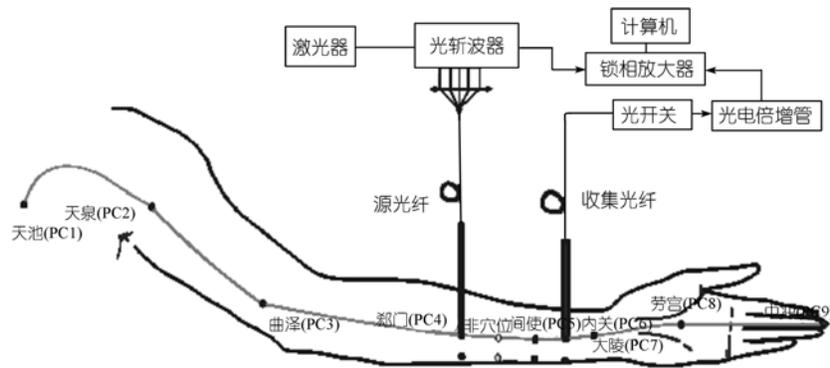


图 6 光波沿心包经脉线传输特性测量的原理框图

光纤相同, 光纤之间间距为 9 mm. 测量时把收集光纤的其中 1 根光纤经由引导光对准后轻微触压心经上的内关穴位, 相应地, 另 1 根光纤的位置则为非经线上的探测点. 双光纤收集探头经光开关把分别来自经线和非经线上的光信号传输给光电倍增管, PMT 把光信号转换成电信号后输出至锁相放大器(SR850, Stanford Research Systems, USA)锁相放大器根据光斩波对信号进行锁相放大并输出显示.

本实验光源采用 633 nm He-Ne laser (Melles Griot, USA), 实验对象为 40 名健康的青年志愿者(男 21 例, 女 19 例; 年龄: (20.0 ± 3.0) 岁). 实验时, 在心包经方向上选择间使穴(PC5)和非穴位点 NP1(距离内关 25 mm)、NP2(距离内关 30 mm)、NP3(距离内关 35 mm)以及郄门穴(PC4)等 5 个点作为经脉线上激光的辐照点; 相应地, 非经线方向上的激光辐照点依次记为 Ref1, Ref2, Ref3, Ref4 和 Ref5. 这些激光辐照点的选择和确定参照中国国家标准^[15], 并在针灸医师辅助下完成. 表 1 给出了 633 nm 光波沿心包经和非经脉方向传输特性的差异性, 其中差异值指经脉线方向上的信号值 S_{meri} 减去非经脉线方向上的信号值 $S_{\text{non-meri}}$; 而相对差异则指 $(S_{\text{meri}} - S_{\text{non-meri}}) / S_{\text{meri}} \times 100$. 由表 1 可以明显看出当光波分别辐照经脉线和非经脉线时, 沿经线方向上的光衰减较非经线小. 换言之, 经脉线是一定波长光波的良好通道. 图 7 给出了沿心包经和非经方向上, 漫射光辐照度经过一定距离(2.5~3.0 和 3.0~3.5 cm)的光衰减率的情况. 由表 1 和图 7 可知, 光波强度沿经脉线和非经方向呈指数衰减趋势, 且经脉线方向的衰减因子大于非经脉方向上的衰减因子, 有关此实验的详细说明请参阅文献[16]. 光波沿经脉循行路线与非经脉方向的传输特征, 作者将作进一步的研究.

表 1 633 nm 光波沿心包经和非经脉方向光学传输特性的差异性^{a)}

比较测量点	1	2	3	4	5
差异/mV	171.8 ± 87.0	89.2 ± 51.8	28.4 ± 22.4	14.5 ± 13.4	1.1 ± 1.1
相对差异/%	40.8 ± 20.1	55.4 ± 19.3	69.7 ± 16.6	70.3 ± 18.1	64.6 ± 21.7

a) 表中数据采用: 平均值 \pm 标准偏差; 样本数 $n = 40$, $P < 0.01$

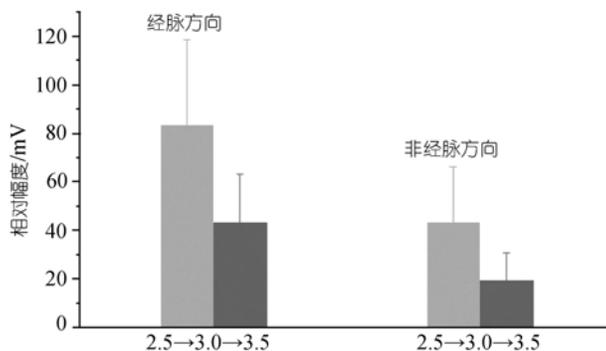


图 7 光波沿经线与非经线的衰减率(单位: $\text{mV} \cdot \text{cm}^{-1}$)

3 讨论和展望

经络学说是在长期临床实践基础上总结出来的, 是人体功能调节规律的一个高度的概括. 两千多年来的临床实践已经证明了它的有效性以及针感沿着经络线传播即循经感传现象的客观事实, 因此必定有其相应的物质基础或组织结构. 但是, 即便当今科学技术已发展到能够让我们从原子和分子水平上对机体细胞进行超微结构进行观察和分析, 人们仍未能发现经络相关的特异性组织结构. 因此, 我们从物质的存在形式和功能结构的角度对经络现象进行重新思考. 现代光学技术的快速发展及其与生命科学的相互渗透使得研究经络现象有了新的可能. 中医学认为经络腧穴与体内脏腑组织密切相关, 是脏腑病变的反应窗口, 因此, 经络腧穴的红外热波辐射包含着人体的某些生理病理信息, 有助于人们无损地通过评估人体经络腧穴功能

状态而实现对疾病或健康状态的诊断, 是中医诊断的一种新模式. 实验时通过改变四肢的姿势和作标记等方法对血管热像图与循经辐射轨迹进行仔细辨别和区分, 特别注意对没有纵行大血管的体区部位的经络腧穴, 如图 2 和 3 部位进行观察. 结果表明, 红外热成像技术确实可以显现出人体体表的循经红外辐射轨迹, 而且对人体的这种循经红外辐射现象与时间的相关性进行了观察, 证实了人体经脉腧穴是一种正常的人体生命现象的客观存在. 基于组织光学原理和测量技术, 考察了光波沿心经传输特性, 实验结果提示, 人体经脉线可能是光的良通道, 即光呈现向经脉线方向传输的趋势, 这表明光学方法和手段在经络现代研究中的可行性、有效性和重要性. 因此, 经络光学中的辐射度量学、光剂量学和光谱学等相关研究, 从科学的角度对我国中医学几千年来的研究和理论进行诠释和量化, 揭示或者为经脉腧穴的生物物理学特性提供重要的实验依据, 并最终成为一种非侵入性、无创伤性地快速诊断技术或监测疗效的有效方法, 同时促进中医学与现代医学的融合和发展.

4 结论

目前, 经络光学研究尚处于拓荒阶段, 科学研究体系和方法论尚处于构建初期, 许多问题有待于在摸索之中前进、发展和完善. 研究的预期目标理应是通过对经脉线及其与光波相互作用机理的研究, 最终建立和形成以辐射度量学、光剂量学和光谱学等为工具的, 对中医临床或临床前研究有实用价值的交叉分支学科. 它将是具有坚实物理学基础支持的, 现代中医药学的一个重要发展方向, 为古老而又处于前沿的中医针灸研究作出解答, 为人类文明的发展作出积极贡献.

致谢 作者感谢福建中医药研究院胡翔龙研究员的指导和帮助.

参 考 文 献

- 1 Cheng X N. Chinese Acupuncture and Moxibustion, Revis. Edn. Beijing: Foreign Language Press, 1999
- 2 谢益宽, 李惠清, 肖文华. 经络和循经感传的神经生物学性质研究. 中国科学 B 辑: 化学, 1995, 25: 721—730
- 3 朱兵, 荣培晶, 李宇清, 等. 循经感传和循经肌电反应. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2001, 31(5): 465—470
- 4 谢树森, 雷仕湛. 光子技术. 北京: 科学出版社, 2004
- 5 Cohen S, Popp F A. Biophoton emission of the human body. J Photochem Photobio B: Bio, 1997, 40: 187—189
- 6 Kobayashi M, Inaba H. Photon statistics and correlation analysis of ultraweak light originating from living organisms for extraction of biological information. Appl Opt, 2000, 39: 183—192
- 7 Lu W A, Tsuei J J, Chen K G. Preferential direction and symmetry of electric conduction of human meridians: bilaterally symmetrical acupoints provide better conductance for a better connection. IEEE Eng Med Bio, 1999, 18: 76—78
- 8 Ueda Y, Hayashi K, Kuriowa K. The application of fMRI to basic experiments in acupuncture. IEEE Eng Med Bio Mag, 2005, 24: 47—51
- 9 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: 325—328
- 10 Yang H Q, Xie S S, Hu X L, et al. Appearance of human meridian-like structure and acupoints and its time correlation by infrared thermal imaging. Amer J Chin Med, 2007, 35: 231—240
- 11 Lo S Y. Meridians in acupuncture and infrared imaging. Med Hypoth, 2002, 58: 72—76
- 12 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. 科学通报, 2000, 45(23): 2530—2535
- 13 Popp F A, 张锦珠. 光及电磁波与生物体作用的机理. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2000, 30: 598—606
- 14 Choi C H, Soh K S, Lee S M, et al. Study of propagation of light along an acupuncture meridian. J Opt Soc Korea, 2003, 7: 244—247
- 15 中华人民共和国国家标准: 经穴部位 GB12346-90. 北京: 国家技术监督局, 1990
- 16 杨洪钦. 基于医学光子技术的人体经络现象研究. 博士学位论文. 浙江: 浙江大学, 2007. 04