



人体穴位红外辐射光谱特征

姚 伟^① 丁光宏^{①*} 张 迪^① 沈雪勇^②

(^① 复旦大学生物力学研究所, 上海市针灸经络研究中心, 上海 200433;

^② 上海中医药大学针灸推拿学院, 上海 200032)

摘要 用 PHE201 体表红外光谱仪进行了一系列人体体表红外辐射光谱的检测, 发现了人体红外辐射光谱在 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 与黑体辐射差别较大, 说明人体表面存在热致红外辐射外的其他红外辐射. 正常人与冠心病左侧内关穴归一化红外辐射强度在 $1.5\sim 3.7\ \mu\text{m}$ 波段有明显差异性. 通过与 ATP 水解反应过程中释放的红外光谱比较推测可以用能量代谢解释 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 处的峰值. 用激光照射肥大细胞可引起肥大细胞脱颗粒现象, 说明中医灸法和激光穴位照射可引起肥大细胞脱颗粒而产生生理效应.

关键词 人体穴位 红外辐射光谱 肥大细胞

人体是一个红外源, 它发射 $1\sim 30\ \mu\text{m}$ 的连续红外光谱. 人体热致辐射国内外研究得较多, 其中典型的是用红外热像仪观察人体体表温度及其分布等变化规律^[1,2], 在临床乳腺癌等疾病的早期诊断中获得了广泛应用. 人体机体中包含着千万种生化反应, 这些生化反应不断透过人体表面向外界发射红外光子, 并存在受激辐射的条件^[3]. 实验研究也表明经络功能与体内红外传输有密切关系^[4], 因此人体表面局部区域(穴位区与非穴位区)红外辐射的光谱特性, 含有人体重要的生理、病理信息. 同理, 红外激光照射穴位也可调节人体的生理机能.

为了分析人体红外辐射光谱特征以及中医灸治疗的生理基础, 我们采用特制的 PHE201 体表红外光谱仪^[5], 进行了一系列人体(穴位区、非穴位区)红外辐射光谱的检测, 发现了人体红外辐射光谱特征, 正常人与疾病患者特定穴位的特定波段的辐射光谱有统计学的差异. 将人体的红外辐射光谱与 ATP 水解反应过程中释放的红外光谱进行比较, 发现了相似性.

1 实验方法

采用由红外物理国家重点实验室研制的高灵敏度红外光谱检测仪(PHE201型)检测人体体表微弱的红外光谱信号. 该装置通过接收器接收红外光传递到光栅, 经过光栅的分光后送到红外传感器, 然后通过锁相放大器将获取的信号放大, 由 A/D 转换后再输入计算机做观察和数

收稿日期: 2007-05-20; 接受日期: 2007-09-03

国家重点基础研究发展计划(编号: 2005CB523306)、上海市科技发展基金(批准号: 05DZ19747)和上海市重点学科科研项目(批准号: T0302)资助

* 联系人, E-mail: ghding@fudan.edu.cn

数据处理(见图 1), 光谱测量范围为 $1.5\sim 16\ \mu\text{m}$.

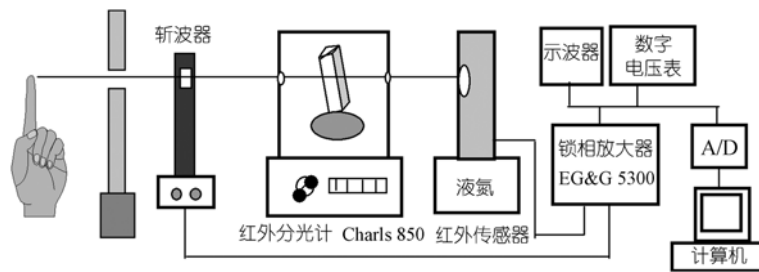


图 1 人体自发辐射红外光谱测试系统

2 实验结果

2.1 人体红外辐射强度个体差异较大但光谱特性却较一致, 并存在除热致辐射外其他原因的红外辐射

应用 PHE201 型体表红外光谱仪对 7 名健康成人的 3 个穴位(内关、劳宫和合谷穴)和相应的桡侧与尺侧 2 个旁开点进行了检测^[5], 旁开点区域边界与穴位区域边界相隔 5 mm 以上. 检测的结果显示尽管人体红外辐射的个体差异比较大, 但所有光谱的峰值都在 $7.5\ \mu\text{m}$ 附近, 主要辐射范围在 $5\sim 12\ \mu\text{m}$ 之间, 这之间的红外辐射占总辐射强度的 90%以上. 因此, 用红外热像仪测到的人体表面温度分布主要是这个波段的辐射. 为了消除人体体表温度的影响, 我们将每条光谱曲线除以自身平均强度(一个与体表温度有关的量)得到了归一化的光谱, 归一化处理后的光谱个体差异非常小, 所有受试者的光谱曲线与平均曲线都非常接近(图 2). 比较内关穴与其尺侧及桡侧对照区归一化平均光谱曲线(图 3), 看出经归一化处理后穴位点与尺侧对照点的光谱在所有频段上均无差异性($P > 0.05$), 穴位与桡侧比较除在 $10.5\ \mu\text{m}$ 处有差异性外($t = 2.33, P < 0.05$), 其他频段上无差异性($P > 0.05$). 对劳宫穴与合谷穴我们可以采用同样的方法得到类似的结果, 而劳宫穴与其尺侧及桡侧对照点的比较在所有检测频段均无差异性($P > 0.05$). 但合谷穴的红外辐射和双侧对照点比较在 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 段却有明显差异($t = 2.45, P < 0.05$). 在这 3 个穴位中, 平均辐射光谱有差异, 表明不同的穴位可能存在红外辐射差异性.

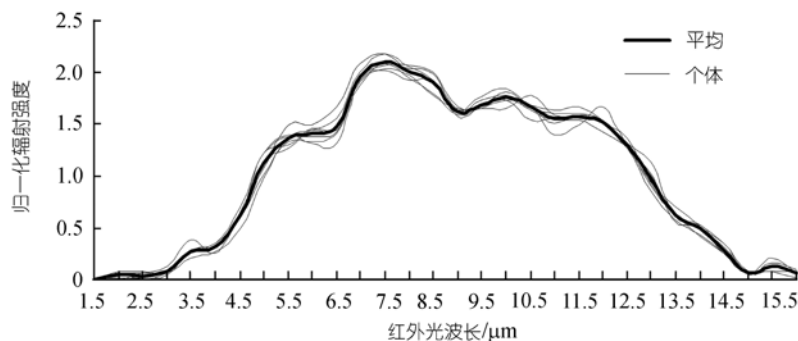


图 2 不同个体内关穴实验数据对温度归一化后的光谱及其平均光谱

人体的红外辐射中主要是热致辐射, 但除了热致辐射之外, 是否存在其他红外光子辐射一直是人们感兴趣的. 为此, 我们检测了 35°C 黑体辐射的光谱, 并将穴位处所检测到的结果除以

黑体辐射光谱, 得到了扣除黑体辐射影响的校正光谱, 如图 4, 从图 4 中可看到在 $4\sim 14\ \mu\text{m}$ 之间, 人体辐射特征与黑体辐射差别不大, 曲线基本在 1 附近很微小波动. 但在 $2\sim 3$ 和 $15\ \mu\text{m}$ 附近有 2 个明显的高峰, 其中在 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 处峰值是黑体的 1.5~2 倍, 在 $15\ \mu\text{m}$ 处更是高达黑体的 3~3.5 倍, 表明在这两个波段上人体有比黑体辐射强的多的辐射. 而且这 2 个峰的宽度仅有 $1\sim 2\ \mu\text{m}$, 是一般的热致红外辐射中所不常见的, 这表明人体穴位除了热致辐射外存在其他原因的红外辐射.

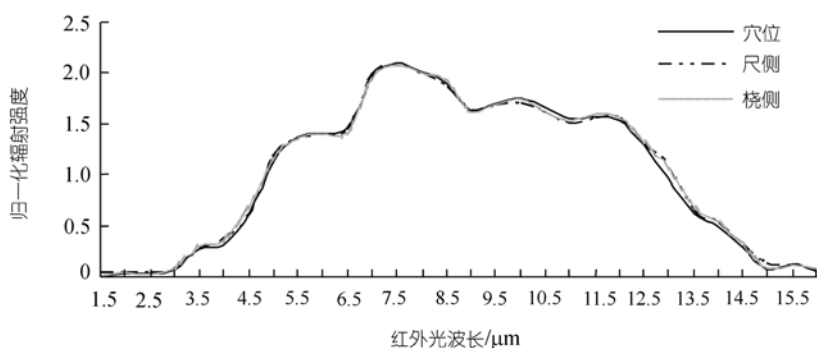


图 3 内关穴与其桡侧和尺侧归一化平均光谱对比

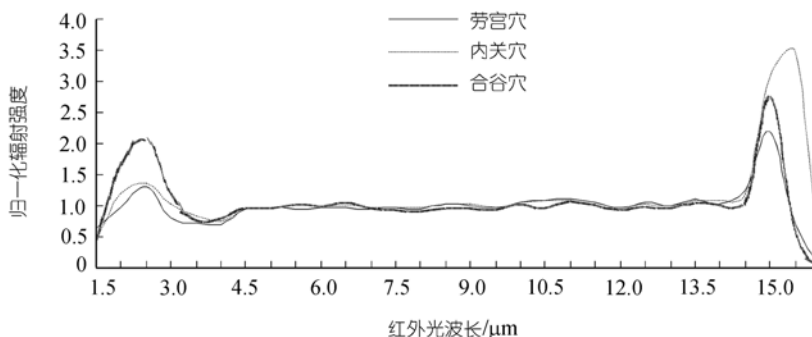


图 4 不同穴位扣除黑体本底的红外辐射光谱

2.2 扣除黑体本底后的穴位红外辐射光谱与体外 ATP 水解过程中发射的光谱在 $3\ \mu\text{m}$ 附近具有共同的辐射峰

在如图 4 的人体穴位红外光谱中, $3\ \mu\text{m}$ 附近存在一高辐射峰, 这表明在这附近人体的红外辐射要高于黑体辐射, 我们推测这个波段的辐射可能来自于人体细胞中 ATP 水解释放的光子辐射, 根据 Plank 公式, $\varepsilon = h\nu$, 其中 h 为 Plank 常数 $6.626 \times 10^{-34}\text{ Js}$. 1 mol ATP 分子水解, 假设生成等量的 ADP 与 ASP, 则发射光子的波长恰好为 $2.5\ \mu\text{m}$, 随着生成 ADP 和 ASP 比例的不同, 光子辐射的范围应在 $1.875\sim 3.75\ \mu\text{m}$ 之间.

为此我们采用同样的 PHE201 型装置, 检测了体外 ATP 溶液在 ATP 反应酶作用下水解过程中红外光谱的释放规律, 如图 5, 从图中可发现 $3\ \mu\text{m}$ 附近存在一个明显的辐射峰, 将这个光谱与人体体表大陵穴检测到的光谱比较, 发现两者完全重合. 为了验证 ATP 水解进程中 $3\ \mu\text{m}$ 峰确实来自于 ATP 水解过程中磷酸键释放的能量, 我们将 ATP 水解前后的溶液分别作了 NMR 检测, 如图 6. 检测表明水解前溶液中游离磷酸根离子浓度很低, 而 ATP 高能磷酸键浓度较高, 水解后, 能量从高能磷酸键释放, 对应的红外光谱在 $3\ \mu\text{m}$ 有一个辐射峰^[6].

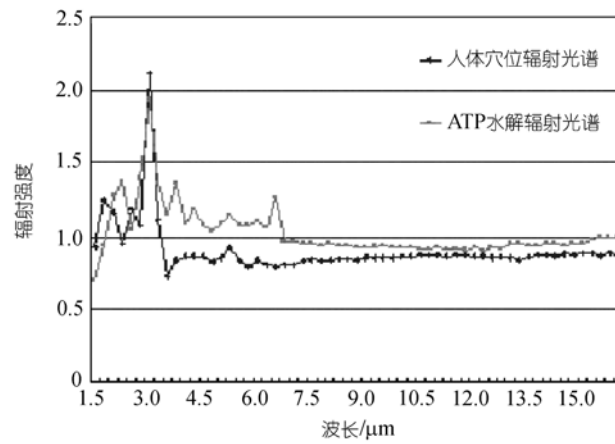


图5 ATP水解反应过程中红外辐射光谱与人体体表大陵穴红外光谱的对照

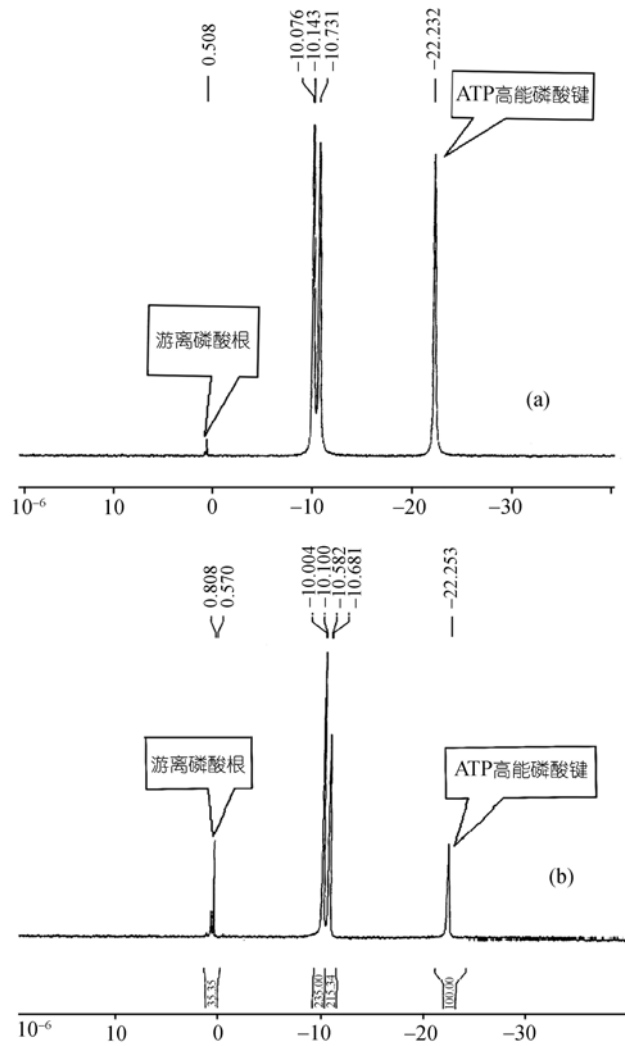


图6 ATP溶液在加入ATP水解酶前后的NMR光谱
(a)反应前; (b)反应后

2.3 正常人与疾病患者内关穴位的红外光谱的差异性

穴位处 $3\text{ }\mu\text{m}$ 附近波段红外辐射与 ATP 能量代谢的这种关系在疾病过程中是否有变化, 对解释中医穴位基础和临床激光照射治疗疾病具有重要意义. 为此, 我们选择一组正常人和一组冠心病患者, 正常组 31 名, 其中男 15 人, 女 16 人, 年龄 $38\sim 64$ 岁, 平均 (50.2 ± 64.71) 岁. 31 名冠心病患者, 其中男 17 人, 女 14 人, 年龄 $39\sim 82$ 岁, 平均 (62.6 ± 88.21) 岁. 应用 PHE201 体表红外光谱仪检测与心脏密切相关的内关穴红外辐射光谱^[7]. 结果表明, 正常人与病人左侧内关穴归一化红外辐射强度在 $1.5\sim 3.7\text{ }\mu\text{m}$ 波段有明显差异性 ($P<0.05$), 这表明对应冠心病患者, 其左侧内关穴的 ATP 能量代谢明显减弱.

2.4 640 nm 激光照射对肥大细胞脱颗粒功能的影响

低能量激光局部照射和穴位照射疗法在临床上已有应用. 有大量研究显示肥大细胞与针刺效应有关, 在我们以往的针刺镇痛机制研究中发现针刺可引起肥大细胞脱颗粒并产生治疗效果, 但在屏蔽肥大细胞疗效脱颗粒功能后再针刺, 则无治疗效果, 说明肥大细胞脱颗粒功能参与了针刺镇痛作用^[8]. 因此, 我们猜想红外治疗的机理可能与光能照射引起肥大细胞脱颗粒的功能相关. 我们采用 640 nm 激光, 对体外培养的肥大细胞进行照射, 发现 10 min 照射后, 细胞激活, 产生脱颗粒功能, 如图 7. 图 7(a)为照射前的肥大细胞, 图 7(b)为照射后的肥大细胞. 显然, 光能照射引起了肥大细胞脱颗粒¹⁾.

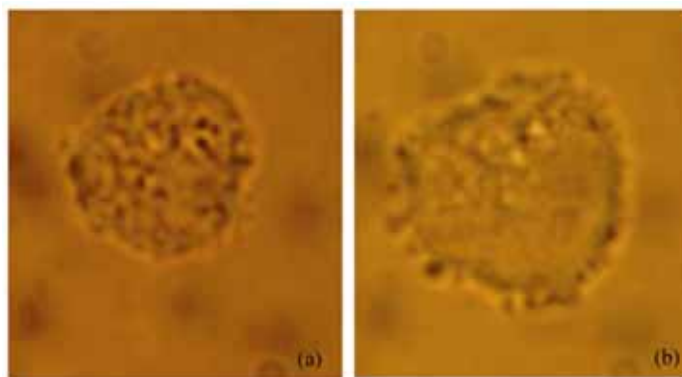


图 7 激光照射引起的肥大细胞脱颗粒现象
(a) 640 nm 激光照射前的肥大细胞; (b) 照射后肥大细胞脱颗粒

3 讨论

人体穴位扣除黑体辐射的特征峰对于人体生物物理研究具有重要意义. 由于人体红外辐射很弱, 特别要测量体表不到一个平方厘米区域的红外光谱, 对实验条件和仪器的灵敏度要求非常高, 我们应用锁相放大技术设计的高灵敏度红外光谱检测装置可以记录到了人体穴位红外辐射光谱的细部特征. 将检测到的穴位红外光谱扣除黑体辐射本底后发现 $2\sim 3\text{ }\mu\text{m}$ 处有一显著高于黑体辐射的窄峰, 提示人体除了热致辐射外还存在其他的光子辐射, 对探讨生命本质, 研究人体能量代谢都具有重要的意义, 同时也为阐释中医的科学基础提供思路.

1) Zhang D, Ding G H, Schwartz W. Cellular mechanism in acupuncture effects. 1st International Workshop on Traditional Chinese Medicine. Shanghai 2007. 4

通过与 ATP 水解光谱的对比分析, 我们推测 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 波段的辐射峰来自于人体细胞中 ATP 水解释放的光子辐射. 穴位及旁开点的光谱辐射的对比显示, 在所检测的 3 个穴位中, $3\ \mu\text{m}$ 峰在穴位点的值比其两侧旁开点要高, 特别是合谷穴, 仅 7 例样本就具有统计性差异 ($P<0.05$). 这说明穴位点的 ATP 能量代谢比周围要高, 这可能和穴位具有许多特殊的生理功能有关, 对穴位的现代科学研究具有一定的意义. 比较正常人和冠心病患者左侧内关穴的红外辐射光谱, 发现两者的红外辐射强度在 $1.5\sim 3.7\ \mu\text{m}$ 波段有明显差异性, 冠心病患者的红外光谱辐射强度低于正常人, 说明冠心病患者的左侧内关穴的 ATP 能量代谢明显减弱.

参 考 文 献

- 1 胡翔龙, 程莘农. 金针之魂——经络的研究. 长沙: 湖南科技出版社, 1997. 142—149
- 2 Hu X L, Wang P Q, Wu B H, et al. Displaying of the meridian courses over human body surface with thermal imaging system. *Rev Paul Acupunct*, 1996, 2(1): 7—12
- 3 沈恂. 生物系统超弱发光的物理本质. 生命科学中的物理学. 甘子钊, 韩汝珊, 张学群, 主编. 北京: 北京大学出版社, 1996. 49—69
- 4 费伦, 承焕生, 蔡德亨, 等. 经络物质基础及其功能性特征的实验探索和研究展望. *科学通报*, 1998, 43(6): 658—672
- 5 丁光宏, 姚伟, 沈雪勇, 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—2534
- 6 韩吟华, 丁光宏, 沈雪勇, 等. 人体体表穴位点红外辐射光谱特征及其与 ATP 能量代谢的关系. *上海生物医学工程*, 2005, 26(4): 198—200
- 7 丁轶文, 丁光宏, 沈雪勇, 等. 正常与冠心病人体体表穴位红外辐射光谱特征研究. *生物医学工程学杂志*, 2006, 23(2): 309—312
- 8 林俊, 黄红, 丁光宏, 等. 穴区肥大细胞功能与急性佐剂性关节炎大鼠针刺镇痛效应的关系. *针刺研究*, 2007, 32(1): 16—19