

# 皮肤组织血液含量对皮肤光谱的影响

黄宝华<sup>1</sup>, 陈 荣<sup>1\*</sup>, 曾海山<sup>2</sup>, 王月云<sup>1</sup>, 谢树森<sup>1</sup>

1. 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福建师范大学, 福建 福州 350007

2. 加拿大 BC 癌症研究中心, 加拿大, 温哥华 V5Z 1L3

**摘要** 在分析皮肤组织结构、皮肤荧光光谱与反射光谱产生机制的基础上, 改变皮肤真皮上、下血管丛的血液含量, 依此建立相应的皮肤六层光学模型, 并进行 Monte Carlo 模拟计算。结果表明: 皮肤荧光光谱与反射光谱均可反映皮肤组织内血液含量的变化; 皮肤的真皮上层血管丛的血液含量对光谱强度的影响大, 深部血管丛血液含量对光谱强度的影响小; 荧光光谱和反射光谱可用于探测或分析皮肤组织中血液含量的变化, 特别可能用于真皮上层血管血液病变的皮肤疾病的病患程度及治疗效果的检测。

**关键词** 皮肤血液含量; 荧光光谱; 反射光谱; Monte Carlo 模拟

**中图分类号:** R318.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0593(2007)01-0095-04

## 引言

人体皮肤组织真皮层中含有丰富的血管, 血液成为皮肤组织的重要组成部分。人体皮肤的众多疾病, 如鲜红斑痣、银屑病、红斑狼疮等均与皮肤组织内的血管、血液有关<sup>[1,2]</sup>。皮肤的荧光光谱和反射光谱携带了皮肤组织内部结构的信息, 当然也包含皮肤内的各种色素, 特别是血液的信息。用光谱方法诊断人体皮肤疾病的研究已成为生物医学光学的重要研究内容。本文试图在分析皮肤荧光光谱与反射光谱产生机制的基础上, 采用 Monte Carlo 的方法, 研究皮肤组织的血液含量对皮肤荧光光谱与反射光谱的影响, 希望为分析与血液相关的皮肤疾病的病患程度及治疗效果等提供参考。

## 1 皮肤荧光光谱与反射光谱分析

人体皮肤主要由表皮、真皮和皮下脂肪构成, 表皮不含血管, 真皮含有丰富的血管, 主要有两丛: 上层血管丛, 主要是一些小血管, 位于乳头真皮层; 深部血管丛, 主要是一些大血管, 位于网状真皮层。

入射到皮肤组织表面的光束, 一部分进入皮肤, 被皮肤组织散射与吸收, 其散射、吸收的情况由皮肤组织内各种色素, 如血红蛋白、胆红素和黑色素等决定, 未被吸收的散射光最后会重新返回皮肤表面而进入空气中, 这一部分散射光

称为漫反射光, 在皮肤表面可探测到各波长相应的漫射光强度, 组成反射光谱。

入射到皮肤组织内的一部分光, 被荧光团吸收后激发出荧光。根据 Wu 等人的研究<sup>[3]</sup>, 对于一个垂直入射、有限直径的激发光束, 在半无限大、均匀不透明介质表面探测到的荧光能量为:

$$F = \int_0^{\infty} \beta(\lambda_{ex}, \lambda_{em}) \Phi(z, \lambda_{ex}) E(z, \lambda_{em}) dz \quad (1)$$

式(1)中,  $\beta(\lambda_{ex}, \lambda_{em})$  为皮肤的固有荧光系数, 在某一层内一般认为是常量, 可通过 MSP 系统获得<sup>[4]</sup>;  $\Phi(z, \lambda_{ex})$  是激发光沿着  $z$  轴的一维分布, 可通过 Monte Carlo 计算<sup>[5]</sup>后卷积得到;  $E(z, \lambda_{em})$  是深度  $z$  处的荧光团产生的荧光, 也可以通过 Monte Carlo 计算<sup>[6]</sup>获得。

## 2 皮肤血液含量对皮肤光谱的影响

### 2.1 光学模型及其参数的确定

基于曾海山对皮肤光学研究<sup>[4,7]</sup>, 可建立正常皮肤的六层光学模型, 依次为: 角质层(Stratum corneum)、表皮层(Epidermis)、上层乳头真皮层(Upper papillary dermis, 由乳头真皮层和上层血管丛合并而成)、网状真皮层(Reticular dermis)、深层血管丛(Deep blood plexus)与真皮层(Dermis)。建立模型时可以认为, 血液层组织由人体血液与人体真皮组织按一定的比例组合而成, 正常皮肤的光学模型的深

收稿日期: 2005-09-06, 修订日期: 2005-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(6977809), 教育部重点项目(205081), 福建省科技厅国际合作项目(20051009)和福建省发改委项目(2005,847)资助

作者简介: 黄宝华, 女, 1980年生, 福建师范大学激光研究所研究生 \* 通讯联系人 e-mail: chenr@fjnu.edu.cn

部血管丛由 10% 真皮组织与 90% 血液组织组成；上层乳头真皮层由 90% 真皮组织与 10% 血液组成。

将上层乳头真皮层和深部血管丛的血液含量分别增加或减少 5%，可获得相应的皮肤光学模型，如表 1~表 4。其中所采用的皮肤组织光学参数及其确定方法见文献[4,7]。

**Table 1 Six-layer skin optical model after reducing 5 percent blood content in upper papillary dermis. The transport parameters ( $\mu_a$ ,  $\mu_s$ ,  $g$ ) are for 470 nm only**

Layer	$d/\mu\text{m}$	$n$	$\mu_a$ / $\text{cm}^{-1}$	$\mu_s$ / $\text{cm}^{-1}$	$g$
Air	—	1.0	—	—	—
Stratum corneum	10	1.45	199	2 200	0.9
Epidermis	80	1.4	50	580	0.756
Upper papillary dermis	180	1.396 5	12.74	587.88	0.766
Reticular dermis	1 500	1.4	5.65	593	0.756
Deep blood plexus	70	1.34	133.18	509	0.958
Dermis	160	1.4	5.65	593	0.756
Subcutaneous	—	1.46	—	—	—

**Table 2 Six-layer skin optical model after increasing 5 percent blood content in Upper Papillary dermis. The transport parameters ( $\mu_a$ ,  $\mu_s$ ,  $g$ ) are for 470 nm only**

Layer	$d/\mu\text{m}$	$n$	$\mu_a$ / $\text{cm}^{-1}$	$\mu_s$ / $\text{cm}^{-1}$	$g$
Air	—	1.0	—	—	—
Stratum corneum	10	1.45	199	2 200	0.9
Epidermis	80	1.4	50	580	0.756
Upper papillary dermis	180	1.396 5	26.90	578.62	0.786
Reticular dermis	1 500	1.4	5.65	593	0.756
Deep blood plexus	70	1.34	133.18	509	0.958
Dermis	160	1.4	5.65	593	0.756
Subcutaneous	—	1.46	—	—	—

**Table 3 Six-layer skin optical model after reducing 5 percent blood content in deep blood plexus. The transport parameters ( $\mu_a$ ,  $\mu_s$ ,  $g$ ) are for 470 nm only**

Layer	$d/\mu\text{m}$	$n$	$\mu_a$ / $\text{cm}^{-1}$	$\mu_s$ / $\text{cm}^{-1}$	$g$
Air	—	1.0	—	—	—
Stratum corneum	10	1.45	199	2 200	0.9
Epidermis	80	1.4	50	580	0.756
Upper papillary dermis	180	1.393	19.82	583.25	0.776
Reticular dermis	1 500	1.4	5.65	593	0.756
Deep blood plexus	70	1.27	140.26	504.6	0.948
Dermis	160	1.4	5.65	593	0.756
Subcutaneous	—	1.46	—	—	—

表 1~表 4 中的组织光学参数都是对应于波长为 470 nm 的组织光学参数。其余波长的参数表不一列出。根据所建立的皮肤光学模型及以上分析结果，进一步采用 Monte Carlo 模拟<sup>[5,6]</sup>，可计算出相应的荧光光谱和反射光谱。计算时采用 100 万个光子发射，反射光谱从 400 到 700 nm，每隔

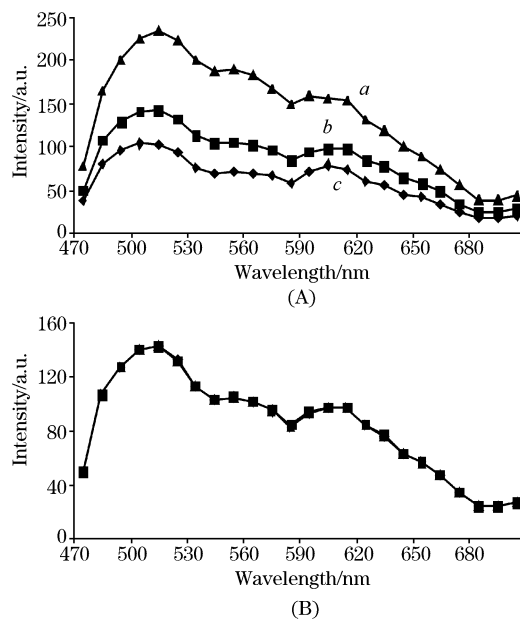
10 nm 计算 1 个数据，共计算 31 个数据，组成 1 条反射光谱曲线；荧光光谱从 470 到 700 nm，每间隔 10 nm 计算 1 个数据，共计算 24 个数据，组成 1 条荧光光谱曲线，采用的激发光波长为 440 nm。

**Table 4 Six-layer skin optical model after increasing 5 percent blood content in deep blood plexus. The transport parameters ( $\mu_a$ ,  $\mu_s$ ,  $g$ ) are for 470 nm only**

Layer	$d/\mu\text{m}$	$n$	$\mu_a$ / $\text{cm}^{-1}$	$\mu_s$ / $\text{cm}^{-1}$	$g$
Air	—	1.0	—	—	—
Stratum corneum	10	1.45	199	2 200	0.9
Epidermis	80	1.4	50	580	0.756
Upper papillary dermis	180	1.393	19.82	583.25	0.776
Reticular dermis	1 500	1.4	5.65	593	0.756
Deep blood plexus	70	1.27	140.26	504.6	0.948
Dermis	160	1.4	5.65	593	0.756
Subcutaneous	—	1.46	—	—	—

## 2.2 血液含量对荧光光谱的影响

根据 2.1 节的研究方法，可得到的荧光光谱曲线（见图 1）。图 1(A) 是上层乳头真皮层血液含量变化时皮肤的荧光光谱曲线，其中曲线 *b* 对应正常皮肤；曲线 *a* 和 *c* 分别对应上层乳头真皮层血液含量减少和增加 5% 的皮肤。从图中可以看到，3 条荧光光谱曲线形状相似，在 540 和 580 nm 处均出现了与血红蛋白的吸收峰对应的峰位；强度发生明显的变化，当血液含量增加时，皮肤的荧光强度下降。



**Fig. 1 Skin fluorescence spectra with different blood content**  
(A) Impact of different blood content in upper papillary dermis;  
(B) Impact of different blood content in deep blood plexus

图 1(B) 给出了深部血管丛从血液含量改变时皮肤的荧光光谱。分析图 1(B) 可知，该血管丛从血液含量改变前后，荧光光谱强度差异不明显，3 条曲线基本重合。图中用实线圆点

表示 3 条曲线的测试点重合。

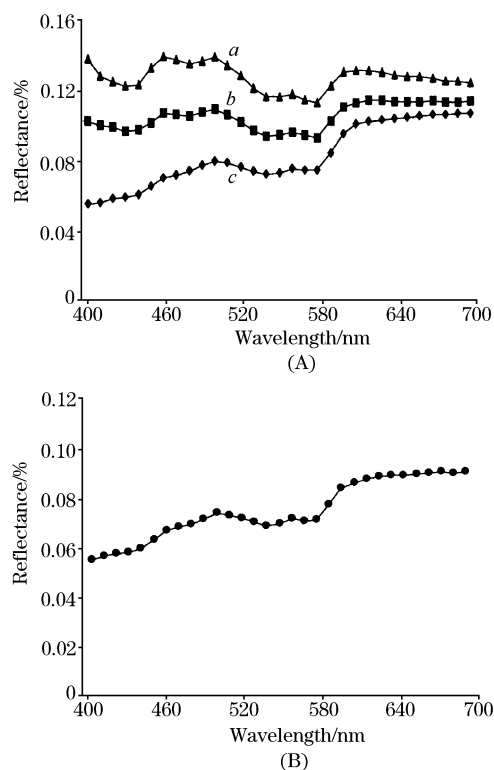


Fig. 2 Skin reflectance spectra with different blood content

(A) Impact of different blood content in upper papillary dermis;

(B) Impact of different blood content in deep blood plexus

### 2.3 血液含量对反射光谱的影响

同样采用 2.1 节的研究方法,可以得到皮肤的反射光谱(见图 2)。图 2(A),(B)分别给出了上层乳头真皮层和深部血管丛血液含量变化时的反射光谱曲线。其中曲线 *b* 对应正常皮肤光学模型;曲线 *a* 和 *c* 分别对应上层乳头真皮层血液含量减少和增加 5% 的皮肤光学模型。对比图 1 和图 2 各曲线可知,皮肤荧光光谱与反射光谱曲线随皮肤血液含量变化趋势十分相似。图 2(A)的 3 条反射光谱曲线的形状相似,在 540 和 580 nm 处均出现与血红蛋白的吸收峰对应的峰位;皮肤的反射光谱强度随上层乳头真皮层血液含量的增加而下降;深层血管丛的血液含量改变前后,皮肤反射光谱的强度几乎没有变化,3 条反射光谱曲线基本重合。

## 3 结 论

本文在分析皮肤组织结构,皮肤荧光光谱与反射光谱产生机制的基础上,分别改变皮肤真皮上、下血管丛的血液含量,并依此建立相应的光学模型,确定其组织光学参数,通过 Monte Carlo 模拟计算,得到以下结论:皮肤荧光光谱与反射光谱均可反映皮肤组织内血液含量的变化;当血液含量增加时,皮肤荧光光谱和反射光谱强度均下降;皮肤的真皮上层血管丛的血液含量对光谱强度的影响大,真皮深部血管丛血液含量的影响小。本研究说明荧光光谱和反射光谱均可用于探测或分析皮肤组织中血液含量的变化,特别是皮肤真皮上层血液的变化,从而可能用于皮肤疾病,尤其是皮肤真皮上层血管血液疾病,如鲜红斑痣、银屑病等的病患程度及治疗效果的检测。

## 参 考 文 献

- [1] GU Ying, JIANG Lan, ZHAO Xiu-mei, et al(顾 瑛, 姜 澜, 赵秀梅, 等). Chinese J. Laser Med. Surg. (中国激光医学杂志), 1995, 4(3): 151.
- [2] YU Chang-qing, LIU Jie, DOU Xiao-ming, et al(于常青, 刘 杰, 窦晓鸣, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2003, 23(6): 1150.
- [3] WU J, et al. Applied Optics, 1993, 32(19): 3585.
- [4] Zeng Haishan, MacAulay Calum, McLean David I, et al. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 1997, 38: 234.
- [5] Wang Lihong, Jacques Steven L. MCML-Monte Carlo Simulation of Multi-layered Turbid Media. Laser Biology Research Laboratory, University of Texas M. D. Anderson Cancer Center Houston, TX 77030, 1993.
- [6] Zeng Haishan. Monte Carlo Simulation of Multi-layered Turbid Media On Fluorescence Escape Process. MCML Program of the Univ. of Texas M. D. Anderson Cancer Center, 1992.
- [7] Zeng Haishan, MacAulay Calum, Palcic Branko, et al. SPIE, 1994, 2135: 94.

## The Impact of Blood Content in Skin Tissue on Skin Spectra

HUANG Bao-hua<sup>1</sup>, CHEN Rong<sup>1\*</sup>, ZENG Hai-shan<sup>2</sup>, WANG Yue-yun<sup>1</sup>, XIE Shu-sen<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine, Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2. British Columbia Cancer Research Centre, Vancouver, BC, Canada, V5Z 1L3

**Abstract** Based on the analysis of skin structure, and the production mechanism of fluorescence and reflectance spectra, six-layer-

er optical models for skin of different blood content in both upper blood plexus and deep blood plexus were developed, and Monte Carlo simulation was made. The result shows that (1) Both fluorescence and reflectance spectra could reflect the change of blood content in skin tissue; (2) The impact of blood content in upper blood plexus on skin spectra intensity is large, while the impact of blood content in deep blood plexus on skin spectra intensity is small; (3) Fluorescence and reflectance spectra could be used to detect or analyze change of blood content in skin tissue, especially to test the treatment and tune of dermatosis with plexus or blood pathological changes in upper dermis.

**Keywords** Skin blood content; Fluorescence spectra; Reflectance spectra; Monte Carlo simulation

(Received Sep. 6, 2005; accepted Nov. 16, 2005)

\* Corresponding author

## 第 35 届国际光谱大会 将于 2007 年 9 月 23~27 日在厦门召开

国际光谱会议 (Colloquium Spectroscopicum Internationale, CSI) 是世界谱学研究领域的顶级峰会之一。第 35 届国际光谱大会 (CSI XXXV) 将于 2007 年 9 月 23~27 日在厦门召开。这是 CSI 自 1949 年以来首次在我国举行。这次谱学盛会由国家自然科学基金委员会、中国化学会、中国物理学会、中国光谱学会以及厦门市政府主办,由厦门大学承办;会议主席由黄本立和方肇伦院士担任。会议主要议题包括:

- (1) Atomic Spectrometry (AAS, AES, AFS, Plasma, etc.);
- (2) Molecular Spectrometry (UV-Vis, IR, Raman, Chemiluminescence/Fluorescence/Phosphorescence, NMR, etc.);
- (3) Mass Spectrometry;
- (4) Laser Spectrometry;
- (5) Hyphenated Techniques (with  $\mu$ -TAS, HPLC, CE, etc.);
- (6) X-Ray and Synchrotron Spectroscopy;
- (7) Chemometrics

同时组织 Elemental Speciation, Environmental Analysis, Frontier of Mass Spectrometry, Spectroscopic Sensing of Bio-related Species, Spectroscopy for Nanomaterials 和 Surface-enhanced Spectroscopy 等专题研讨会;还将举办光谱/质谱仪器、部件及周边设备、相关样品化学/物理预处理设备等等的展览会。会议计划邀请 5 位世界一流水平的光谱/质谱学家作大会报告和 30 位在光谱/质谱相关研究领域中的知名学者作主题/特邀报告。第 35 届 CSI 的举行将是我国谱学研究者向世界介绍自己研究工作、与同行进行学术交流并增进友谊的一次良机。我们竭诚欢迎全国高等院校、科研机构 and 产业部门中从事谱学研究的同行和仪器厂商的朋友们来厦门参加这次谱学界的盛会。详细信息请浏览 [www.csixxxv.org](http://www.csixxxv.org)

联系方式:厦门大学化学系 CSI 秘书处;邮政编码:361005;电话/传真:0592-2181810;

电子邮件:seccrsi@xmu.edu.cn

重要日期:第二轮通知 2007 年 2 月 10 日

论文摘要截止期 2007 年 4 月 15 日

提前注册截止期 2007 年 5 月 15 日