

## 5个不同波长的激光及其线偏振激光辐照人正常膀胱组织光学特性

魏华江<sup>1</sup>, 邢达<sup>1\*</sup>, 巫国勇<sup>2</sup>, 金鹰<sup>1</sup>, 谷怀民<sup>1</sup>

1. 华南师范大学激光生命科学研究所, 广东 广州 510631  
2. 中山医科大学第一附属医院心胸外科, 广东 广州 510089

**摘要** 采用双积分球系统和光辐射测量技术的基本原理以及运用生物组织的光学模型, 研究了 476.5, 488, 496.5, 514.5 和 532 nm 激光及其线偏振激光辐照人正常膀胱组织的光学特性。结果表明: 组织对激光及线偏振激光的总衰减系数和散射系数均随着波长的增大而减小, 而且线偏振激光与非线偏振激光入射是有明显的差异。吸收系数是随着波长的增大而缓慢地减小, 但有一些起伏, 而与是否线偏振光入射无明显差异。平均散射余弦也是随着波长的增大而减小, 而且线偏振激光与非线偏振激光入射是有明显的差异。光学穿透深度则是随着波长的增大而增大, 而有一些起伏。折射率在这 5 个波长范围内的值在 (1.37 ~ 1.44) 之间。Kubelka-Munk 二流模型下组织对同一波长的激光及其线偏振激光的吸收系数、散射系数、总衰减系数和有效衰减系数没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。组织对不同波长的激光或其线偏振激光的吸收系数、散射系数、总衰减系数和有效衰减系数则有些是有明显的差异。

**主题词** 人正常膀胱; 光学特性; Ar<sup>+</sup> 激光与 532 nm 激光; 双积分球系统; 线偏振激光  
**中图分类号**: R318.5    **文献标识码**: A    **文章编号**: 1000-0593(2004)09-1039-03

### 引言

恶性肿瘤的早期诊断在国际上受到普遍的重视并已成为重要的基础问题。氩离子激光感生自体荧光分析法、无损光学检测和光动力学疗法等都必须以精确地获得生物组织的光学特性作为重要基础。光与生物组织相互作用时, 光子可能被吸收和散射, 线偏振光入射不同生物组织的解偏度是不同, 这些都与光的特性以及生物组织的成分和排列结构密切相关。有研究表明, 在测定生物组织的吸收和确定其厚度时, 采用偏振光比采用非偏振光要准确<sup>[1]</sup>, 皮肤对偏振光强度的反射率随着皮肤被拉伸而增大<sup>[2]</sup>, 这是生物组织中的组织成分的排列结构与模拟的生物组织的成分和排列结构的不同而使偏振光的偏振信息发生改变所致<sup>[3,4]</sup>。当光子与生物组织相互作用后, 光子则带着与生物组织成分结构有关的信息<sup>[5,6]</sup>。从组织光学的角度来看, 生物组织可看作是一种光学混浊介质, 生物体的生理特性变化或癌变等组织特性的变化都导致生物组织的光学特性参数的改变。Ar<sup>+</sup> 激光常用于促进创口愈合的辅助治疗以及血管瘤的激光治疗。532 nm 激光也对促进创口愈合的辅助治疗有良好的作用, 且水对 532 nm 激光的吸收很少, 因此, 常被用于生物医学上的偏振成像, 运用偏振手段对生物组织病变前后的偏振参数进行测

量和对比分析, 为医学诊断提供一种新的信息分析方法。此外, 采用线偏振光入射薄的生物组织可以减少光轴上透射光中的散射成分<sup>[7]</sup>, 提高测量准直透射光的精确度且可探讨其对组织的光学特性。本实验采用双积分球系统和光辐射测量技术及光传输的理论模型, 测量了人正常膀胱组织对 476.5, 488, 496.5, 514.5 和 532 nm 激光及其线偏振激光的光学特性, 并对实验结果进行分析与讨论。

### 1 样品的制备和实验方法

实验用手术切除的人新鲜离体正常膀胱活组织。样品取下即用生理盐水保存并置冰箱速冻冷藏, 实验时才取出, 全过程在 4 h 内。制备方法是用生理盐水冲洗干净样品表面的血液等, 剥去样品外侧的其他组织, 将样品切为 18.5 mm × 18.5 mm 的面积, 人正常膀胱组织的厚度为 (1.32 ± 0.05) mm, 将样品用自行设计和加工的样品夹固定后放置于双积分球光学系统的样品池用于测量。自行设计和加工的样品夹和人正常膀胱组织光学特性参数的测量装置及所应用的组织光学理论请参见文献[8]。

收稿日期: 2003-01-18, 修订日期: 2003-06-28

基金项目: 国家重大基础研究前期研究专项(2002CCC00400)和广东省自然科学基金团队项目(015012)资助

作者简介: 魏华江, 1961年生, 华南师范大学激光生命科学研究所副教授 \*通讯联系人

## 2 实验结果

实验激光及其线偏振激光对样品的两个侧面各作同样条件的 10 次测量, 每次测量均改变激光对样品辐照的位置, 所测数据有很好的重复性并利用统计软件 SPSS10 for windows 作统计处理, 采用  $t$  检验, 实验数据以均数和标准差 ( $X \pm SD$ ) 表示。实验测得 5 个波长的激光及其线偏振激光辐照组织内、外壁的漫反射率、漫透射率、镜面反射率、准直透射

率和总衰减系数均没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 因此, 对内、外壁所测结果在同一波长下作平均值处理。

### 2.1 人膀胱组织的光传输特性参数

根据实验结果以及公式 (见文献 [5]), 可计算出光传输模型下组织对 5 个波长的激光及其线偏振激光的光传输特性参数及其随波长的变化, 如表 1、表 2 和表 3。结果表明, 在光传输的理论模型下, 组织对 5 个波长的激光及其线偏振激光的光学特性参数均有差异, 下面作详细的讨论。

**Table 1 Absorption coefficients, scattering coefficients, total attenuation coefficients, and effective attenuation coefficients of human normal bladder tissue in Kubelka-Munk two-flux model at laser and linearly polarized laser irradiation**

/ nm	$A_{KM}/\text{cm}^{-1}$	$S_{KM}/\text{cm}^{-1}$	$E_l/\text{cm}^{-1}$	$E_{eff}/\text{cm}^{-1}$	$A_{KM}^*/\text{cm}^{-1}$	$S_{KM}^*/\text{cm}^{-1}$	$E_t^*/\text{cm}^{-1}$	$E_{eff}^*/\text{cm}^{-1}$
476.5	11.1 $\pm$ 0.07	12.8 $\pm$ 0.11	23.9 $\pm$ 0.22	20.2 $\pm$ 0.15	14.6 $\pm$ 0.13	11.3 $\pm$ 0.07	25.9 $\pm$ 0.24	23.3 $\pm$ 0.21
488	11.9 $\pm$ 0.08	11.3 $\pm$ 0.07	23.2 $\pm$ 0.21	20.3 $\pm$ 0.15	11.8 $\pm$ 0.08	11.7 $\pm$ 0.08	23.5 $\pm$ 0.21	20.4 $\pm$ 0.15
496.5	8.17 $\pm$ 0.05	13.4 $\pm$ 0.12	21.6 $\pm$ 0.18	16.9 $\pm$ 0.08	10.6 $\pm$ 0.06	13.6 $\pm$ 0.12	24.2 $\pm$ 0.22	20.0 $\pm$ 0.14
514.5	7.26 $\pm$ 0.04	11.9 $\pm$ 0.08	19.2 $\pm$ 0.15	15.0 $\pm$ 0.09	7.16 $\pm$ 0.04	17.9 $\pm$ 0.09	25.1 $\pm$ 0.23	17.5 $\pm$ 0.09
532	10.2 $\pm$ 0.06	17.6 $\pm$ 0.9	27.8 $\pm$ 0.14	21.5 $\pm$ 0.11	10.6 $\pm$ 0.7	17.9 $\pm$ 0.09	28.5 $\pm$ 0.15	22.2 $\pm$ 0.12

**Table 2 Total attenuation coefficient, absorption coefficient, scattering coefficient, mean cosine of scattering, penetration depth, and refractive index of human normal bladder tissue at laser irradiation**

/ nm	$\mu_t/\text{cm}^{-1}$	$\mu_a/\text{cm}^{-1}$	$\mu_s/\text{cm}^{-1}$	$g$	$l/\text{cm}$	$n$
476.5	78.9 $\pm$ 0.312	5.55 $\pm$ 0.23	73.4 $\pm$ 0.227	0.742 $\pm$ 0.037	0.049 5 $\pm$ 0.002 5	1.40 $\pm$ 0.02
488	70.6 $\pm$ 0.219	5.95 $\pm$ 0.25	64.7 $\pm$ 0.219	0.737 $\pm$ 0.032	0.049 4 $\pm$ 0.002 5	1.38 $\pm$ 0.01
496.5	60.7 $\pm$ 0.213	4.09 $\pm$ 0.17	56.6 $\pm$ 0.218	0.660 $\pm$ 0.028	0.059 1 $\pm$ 0.003 1	1.43 $\pm$ 0.02
514.5	51.6 $\pm$ 0.217	3.63 $\pm$ 0.14	48.0 $\pm$ 0.154	0.644 $\pm$ 0.023	0.066 6 $\pm$ 0.004 5	1.39 $\pm$ 0.01
532	44.9 $\pm$ 0.115	5.10 $\pm$ 0.19	39.8 $\pm$ 0.112	0.593 $\pm$ 0.019	0.055 4 $\pm$ 0.002 9	1.37 $\pm$ 0.01

**Table 3 Total attenuation coefficient, absorption coefficient, scattering coefficient, mean cosine of scattering, penetration depth, and refractive index of human normal bladder tissue at linearly polarized laser irradiation**

/ nm	$\mu_t/\text{cm}^{-1}$	$\mu_a/\text{cm}^{-1}$	$\mu_s/\text{cm}^{-1}$	$g$	$l/\text{cm}$	$n$
476.5	73.8 $\pm$ 0.282	7.30 $\pm$ 0.35	66.5 $\pm$ 0.228	0.737 $\pm$ 0.032	0.042 9 $\pm$ 0.001 9	1.44 $\pm$ 0.02
488	64.9 $\pm$ 0.233	5.90 $\pm$ 0.24	59.0 $\pm$ 0.223	0.702 $\pm$ 0.030	0.049 1 $\pm$ 0.002 4	1.41 $\pm$ 0.02
496.5	55.6 $\pm$ 0.181	5.30 $\pm$ 0.21	50.3 $\pm$ 0.212	0.604 $\pm$ 0.025	0.049 9 $\pm$ 0.002 6	1.42 $\pm$ 0.02
514.5	47.8 $\pm$ 0.173	3.58 $\pm$ 0.12	44.2 $\pm$ 0.146	0.581 $\pm$ 0.023	0.064 9 $\pm$ 0.004 1	1.43 $\pm$ 0.02
532	42.3 $\pm$ 0.114	5.30 $\pm$ 0.20	37.0 $\pm$ 0.107	0.556 $\pm$ 0.018	0.053 8 $\pm$ 0.002 7	1.39 $\pm$ 0.01

## 3 讨论

从以上结果可见, 人正常膀胱组织对激光及线偏振激光的衰减系数和散射系数均随波长的增大而减小, 而且线偏振激光与非线偏振激光入射有明显的差异。吸收系数随着波长的增大而缓慢地减小, 但有一些起伏, 而与是否线偏振光入射无明显差异。平均散射余弦也是随着波长的增大而减小, 而且线偏振激光与非线偏振激光入射有明显的差异。光学穿透深度则随着波长的增大而增大, 而有一些起伏。折射率在这 5 个波长范围内的值在 (1.37 ~ 1.44) 之间, 其随着波长的增大而缓慢地减小, 但有一些起伏, 其相应的线偏振激光也一样, 这是由于组织的折射率是由菲涅耳公式和组织的镜面反射率计算出来的, 而没有利用准直透射率。若利用准直透

射率及菲涅耳公式计算折射率则要准确地测量组织的厚度, 而要准确测量组织厚度是困难的。实验采用准直宽光束 (光斑直径为 6 mm) 辐照组织, 光束与样品的接触面积较大, 测出的折射率相当于对这光束接触样品的面积的平均值, 其相对用较窄的光束辐照的精确度要高。但是折射率受到组织的含水量的影响很大<sup>[9, 10]</sup>。因此, 组织的含水量是直接影响测量结果的一个重要因素。Kubelka-Munk 二流模型下组织对同一波长的激光及其线偏振激光的吸收系数、散射系数、总衰减系数、有效衰减系数没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。而组织对不同波长的激光或其线偏振激光的吸收系数、散射系数、总衰减系数和有效衰减系数则有些有明显的差异。产生明显差异的原因是: 第一, 人正常膀胱组织是薄组织。第二, Kubelka-Munk 二流理论的一个主要假设是辐射度完全由漫射得到的<sup>[11]</sup>。而线偏振光通过薄的生物组织时, 在光轴上所

产生的散射光比非偏振光入射要少<sup>[7]</sup>, 导致组织的散射光通量及光学特性的变化。

#### 4 结 论

组织对激光及线偏振激光的总衰减系数和散射系数均随着波长的增大而减小, 而且线偏振光与非线偏振光入射有明显的差异。吸收系数随着波长的增大而缓慢地减小, 但有一些起伏, 而与是否线偏振光入射无明显差异。平均散射余弦

也是随着波长的增大而减小, 而且线偏振激光与非线偏振激光入射有明显的差异。光学穿透深度则是随着波长的增大而增大, 而有一些起伏。折射率在这5个波长范围内的值在(1.37~1.44)之间。Kubelka-Munk 二流模型下组织对同一波长的激光及其线偏振激光的吸收系数、散射系数、总衰减系数、有效衰减系数没有显著性差异( $P > 0.05$ )。组织对不同波长的激光或其线偏振激光的吸收系数、散射系数、总衰减系数和有效衰减系数则有些是有明显的差异。

#### 参 考 文 献

- [1] Yong Kai Y, Morgan Stephen P, Stockford Ian M et al. *J. Biomed. Opt.*, 2003, 8(3): 504.
- [2] Guzelsu Nejat, Federici John F, Lim Hee C et al. *J. Biomed. Opt.*, 2003, 8(1): 80.
- [3] Sankaran Vanitha, Walsh Joseph T, Maitland Duncan J. *J. Biomed. Opt.*, 2002, 7(3): 300.
- [4] Zimnyakov D A, Sinichkin Yu P, Kiseleva I V et al. *Opt. Spectrosc.*, 2002, 92(5): 765.
- [5] Chernomordik Victor, Hattery David W, Grosenick Dirk et al. *J. Biomed. Opt.*, 2002, 7(1): 80.
- [6] Chance B, Cope M, Gratton E et al. *Review of Scientific Instruments*, 1998, 69(10): 3457.
- [7] Qu Jianan, MacAulay Calum, Lam Stephen et al. *Appl. Opt.*, 1994, 33(31): 7397.
- [8] WEI Huar-jiang, XING Da, WU Guo-yong et al (魏华江, 邢达, 巫国勇等). *Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析)*, 已录用, 待发表.
- [9] Bolin F P, Preuss L E et al. *Proc. Appl. Opt.*, 1989, 28(12): 2297.
- [10] Li H, Lu Z. *Proc. SPIE*, 1998, 3548: 119.
- [11] Rogatkin D A. *Opt. Spectrosc.*, 1999, 87(1): 101.

## Optical Properties of Human Normal Bladder Tissue at Five Different Wavelengths of Laser and Their Linearly Polarized Laser Irradiation in Vitro

WEI Huar-jiang<sup>1</sup>, XING Da<sup>1\*</sup>, WU Guo-yong<sup>2</sup>, JIN Ying<sup>1</sup>, GU Huar-min<sup>1</sup>

1. Institute of Laser Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

2. First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University of Medical Sciences, Guangzhou 510089, China

**Abstract** A double-integrating-spheres system, the basic principle of measuring technology of radiation, and an optical model of biological tissues were used for the study. Optical properties of human normal bladder tissue at 476.5, 488, 496.5, 514.5 and 532 nm of laser and their linearly polarized laser irradiation were studied. The results of measurement showed that total attenuation coefficient and scattering coefficient of human normal bladder tissue at these wavelengths of laser and their linearly polarized laser irradiation increased with decreasing wavelengths. And there was an obvious distinction between the results at these wavelengths of laser and their linearly polarized laser irradiation. Absorption coefficient of human normal bladder tissue at these wavelengths of laser and their linearly polarized laser irradiation was tardily increased with decreasing wavelengths. But there were a number of gurgitations. And these were independent of the wavelengths of laser or their linearly polarized laser irradiation. Mean cosine of scattering of human normal bladder tissue at these wavelengths of laser and their linearly polarized laser irradiation also increased with decreasing wavelengths. And there was an obvious distinction with these wavelengths of laser and their linearly polarized laser irradiation. But penetration depth of human normal bladder tissue at these wavelengths of laser and their linearly polarized laser irradiation also increased with increasing wavelengths. But there were a number of gurgitations. Refractive index of human normal bladder tissue at these wavelengths of laser ranged from 1.37 to 1.44. Absorption coefficient, scattering coefficient, total attenuation coefficient, and effective attenuation coefficients of human normal bladder tissue in Kubelka-Munk two-flux model at the same wavelength of laser and the linearly polarized laser irradiation do not exhibit prominent distinction ( $P > 0.05$ ). Some absorption coefficient, scattering coefficient, total attenuation coefficient, and effective attenuation coefficient of human normal bladder tissue in Kubelka-Munk two-flux model at different wavelengths of laser and their linearly polarized laser irradiation exhibit obvious distinction.

**Keywords** Human normal bladder; Optical properties; Ar<sup>+</sup> laser and 532 nm laser; Double-integrating-sphere system; Linearly polarized laser

(Received Jan. 18, 2003; accepted Jun. 28, 2003)