

# Ar<sup>+</sup> 激光对黄种人皮肤红斑反应的测定

李济时 史宏毓 谭延康 罗泮祥 陈仲本

(中山医科大学物理教研室)

袁悦欢

(中山医科大学附属第一医院皮肤科)

**提要:** 测定了两种波长的 Ar<sup>+</sup> 激光对黄种人皮肤的红斑反应阈值。对切片作光镜检查,除发现真皮毛细血管扩张充血及有轻微水肿外,未发现其他严重的组织损伤。

## Measurement of erythematous reaction by argon laser light for skin of yellow race

Li Jishi, Shi Hongmin, Tan Yankang, Luo Panxiang, Chen Zhongben

(Department of Physics, Zhongshan Medical College)

Yuan Yuehuan

(Zhongshan Medical College, Guangzhou)

**Abstract:** This paper describes an Ar<sup>+</sup> laser used for measuring MRD<sub>50</sub> for the skin of the yellow race. The skin erythematous reaction threshold level at 488.0 nm and 514.5 nm for two groups of volunteers are measured. The skin of the volunteers is exposed to the above energy densities, and histological examination finds that capillaries are expanded and filled with erythrocytes and light edema, but there is no significant change of the cuticle.

激光除对人眼和神经中枢具有伤害作用外,对人皮肤也产生不同程度的危害<sup>[1]</sup>。随着激光辐照量的增大,皮肤辐照部位相继出现红斑、中间带白点的红斑、全白、水泡、烧焦和气化等不同程度的损伤现象<sup>[2]</sup>,红斑是皮肤受过量激光辐射,使毛细血管充血、组织变红的一种烧伤现象<sup>[3]</sup>。在激光安全防护研究中,常用肉眼观察红斑反应的方法<sup>[4]</sup>,在皮肤受照后一定时间,测定红斑保留几率达 50% 的最小辐照量——红斑反应阈值,即 MRD<sub>50</sub><sup>[5]</sup>。

激光对皮肤的 MRD<sub>50</sub> 与激光波长、辐照

量和皮肤色素等因素有密切关系。用 Ar<sup>+</sup> 激光(波长为 488~514 nm)测定白人和黑人皮肤的 MRD<sub>50</sub>,国外早有报道<sup>[6]</sup>。本工作分别测定光斑直径为 0.5 cm、辐照时间为 1 秒的 488.0 nm 和 514.5 nm Ar<sup>+</sup> 激光对黄种人皮肤的 MRD<sub>50</sub>,为制定我国激光安全防护标准提供参考数据。

### 一、实验装置与条件

实验装置原理如图 1 所示。

Ar<sup>+</sup> 激光器输出单谱线连续激光,呈基横模。输出功率连续可调,最大可达 2.5 W。

从 Ar<sup>+</sup> 激光器射出的原光束,经分束片、

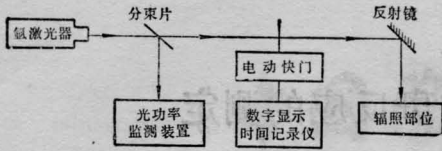


图1 实验装置原理图

电动快门和全反射镜后,垂直射至皮肤的受照部位。利用小孔(小于光束直径1/10)在辐照部位光束横截面内移动,测出功率高斯分布的幅值;然后再测幅值 $1/e^2$ 两对应点间的距离,即为该处光斑直径<sup>[2~4]</sup>。本实验光斑直径经测定为0.5cm。

装置中采用光功率监测装置,它由硅光电池(或硅光电二极管)和灵敏电流计组成,光电流的稳定度即反映光功率稳定度,本实验测量均在光功率稳定度小于5%的条件下进行。

光功率和光斑直径一定时,皮肤所受辐照量取决于辐照时间。辐照时间是由光路中的电动快门控制,辐照时间均为1秒,误差小于5%。

实验测量均在室温为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ,相对湿度小于80%的条件下进行。

每组志愿者均为男女各占一半的年青人(20~22岁),黄种人肤色,但肤色深浅不一,右前臂屈侧皮肤均无损伤。辐照部位经清洁后,按图2画格,相邻格中心相距2cm,格中1、2、3、4和5,分别表示五种不同辐照量的照射位置,基本上按均衡对等分布排列。辐照部位未作麻醉处理。每次辐照后5分钟为观察和统计红斑保留数时间。

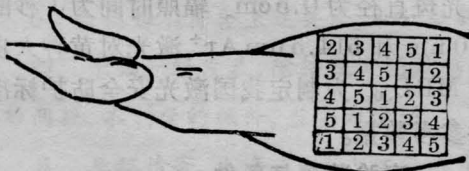


图2 前臂屈侧照射点的排列

## 二、实验方法与数据

利用上述实验装置,分别用 $\text{Ar}^+$ (488.0nm和514.5nm)激光,在几位志愿者前臂屈

侧做预初试验。估计照后出现适度红斑而照后5分钟前消退的最小辐照量;再估计照后5分钟,大部分红斑仍能保留,而斑点位置不出现发白现象的最大辐照量。根据最大和最小辐照量,确定正式实验时,每种激光所用的五个成等比关系的辐照量,并分别编为1~5号。488.0nm $\text{Ar}^+$ 激光辐照量( $\text{J}/\text{cm}^2$ )为:6.67、6.07、5.52、5.03和4.58。514.5nm $\text{Ar}^+$ 激光辐照量( $\text{J}/\text{cm}^2$ )为:8.85、8.06、7.33、6.67和6.07。相邻辐照量之比均为1:0.91。

正式测试时,同组的6位志愿者,按图2编号位置,分别接受同一波长激光五种不同辐照量辐照1秒。即每一辐照量在每位志愿者上只辐照5点,全组共照 $n=30$ 点。各点照后5分钟,由两人在相同照度环境下,观察和统计红斑保留数 $r$ 和几率 $P=r/n$ (以小数表示),数据分别如表1和表2所示。

表1 488.0nm $\text{Ar}^+$ 激光各辐照量照射皮肤1秒,照后5分钟红斑保留数

编号	辐照量( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	照射点数 $n$	红斑保留数 $r$	几率 $P$
1	6.67	30	28	0.93
2	6.07	30	21	0.70
3	5.52	30	14	0.47
4	5.03	30	6	0.21
5	4.58	30	0	0

表2 514.5nm $\text{Ar}^+$ 激光各辐照量照射皮肤1秒,照后5分钟红斑保留数

编号	辐照量( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	照射点数 $n$	红斑保留数 $r$	几率 $P$
1	8.85	30	29	0.97
2	8.06	30	25	0.83
3	7.33	30	21	0.70
4	6.67	30	12	0.40
5	6.07	30	0	0

## 三、数据处理与结果

根据表1和表2数据,用统计学加权回归法<sup>[6,7]</sup>,求红斑保留概率单位 $y$ 与对数辐照

量  $x$  关系的直线回归方程、 $MRD_{50}$  及其可信限。

(1) 488.0 nm  $Ar^+$  的  $MRD_{50}$

由计算可得, 488.0 nm  $Ar^+$  激光对黄种人皮肤  $y$  与  $x$  关系直线回归方程为:

$$y = 20.430x - 10.342$$

图 3 是方程的回归直线, 从图可知, 除第

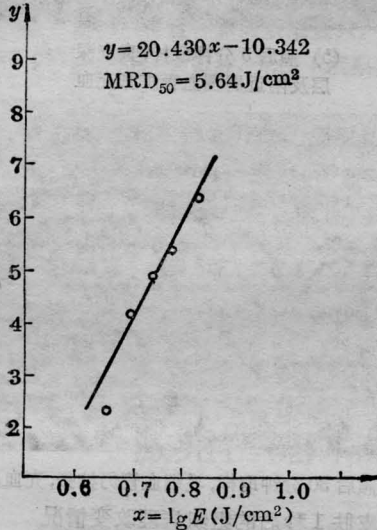


图 3 488.0 nm  $Ar^+$  激光红斑反应  
概率单位  $y$  ~ 对数辐照量  $x$  的回归直线  
○ 点为实验值

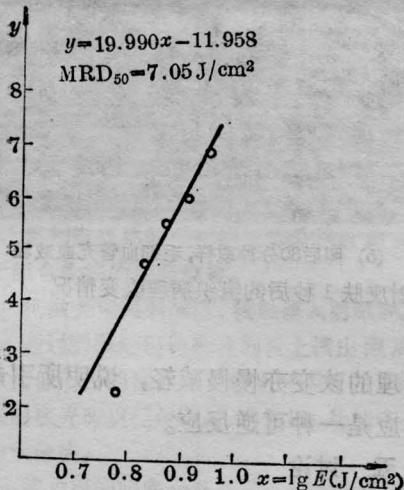


图 4 514.5 nm  $Ar^+$  激光红斑反应  
概率单位  $y$  ~ 对数辐照量  $x$  的回归直线  
○ 点为实验值

一点实验值偏离直线稍远外, 其余四点均紧靠该直线。

由回归方程(或图 3)可求出,  $y=5$ (即红斑保留几率为 50%)的对数辐照量  $x=m$ , 而  $MRD_{50} = \lg^{-1}m$ 。由计算可得:

$$MRD_{50} = 5.64 \text{ J/cm}^2$$

而  $MRD_{50}$  的 95% 可信限为:

$$5.47 \text{ J/cm}^2 \sim 5.81 \text{ J/cm}^2$$

(2) 514.5 nm  $Ar^+$  的  $MRD_{50}$

由计算可得, 514.5 nm  $Ar^+$  激光的  $y$  与  $x$  关系的直线回归方程为:

$$y = 19.990x - 11.958$$

图 4 是方程的回归直线, 从图可知, 除第一点实验值外, 其余各点均靠近该直线。由计算可得:

$$MRD_{50} = 7.05 \text{ J/cm}^2$$

而  $MRD_{50}$  的 95% 的可信限为:

$$6.76 \text{ J/cm}^2 \sim 7.28 \text{ J/cm}^2$$

综上所述, 488.0 nm 和 514.5 nm  $Ar^+$  激光对黄种人皮肤的  $MRD_{50}$  如表 3 所示。

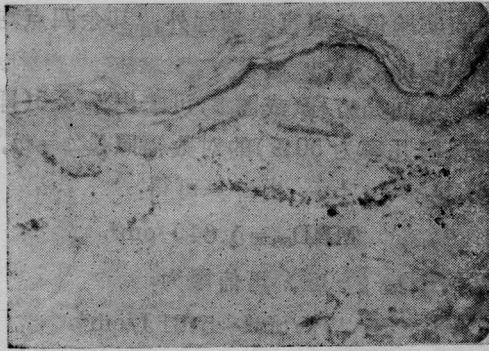
表 3 488.0 nm 和 514.5 nm  $Ar^+$  激光  
对黄种人皮肤的  $MRD_{50}$

$Ar^+$ 激光波长 (nm)	$MRD_{50}$ ( $J/cm^2$ )	$MRD_{50}$ 95% 可信限 ( $J/cm^2$ )
488.0	5.64	5.47~5.81
514.5	7.05	6.76~7.28

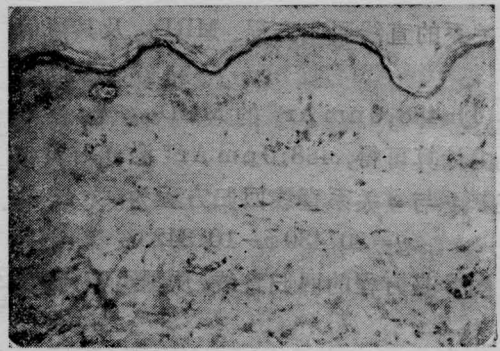
#### 四、组织学检查

以 488.0 nm  $Ar^+$  的  $MRD_{50}$  辐照量 5.6  $J/cm^2$  和 514.5 nm  $Ar^+$  的  $MRD_{50}$  辐照量 7.1  $J/cm^2$ , 分别对四位黄种人志愿者(21~28 岁)前臂屈侧正常皮肤辐照 1 秒, 并分别在照后 5 分钟和 30 分钟, 在红斑位置上取皮切片作光镜组织病理变化检查。在照后 5 分钟的样品内发现, 真皮乳头层和浅层毛细血管扩张, 多数毛细血管充满红血球, 真皮浅层轻度水肿, 真皮深层及附近周围血管亦扩张充血, 而表皮未见明显变性, 如图 5(a)、(b)和图 6(a)所示。在照后 30 分钟样品内

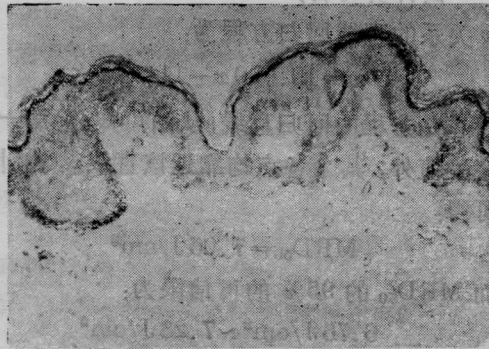




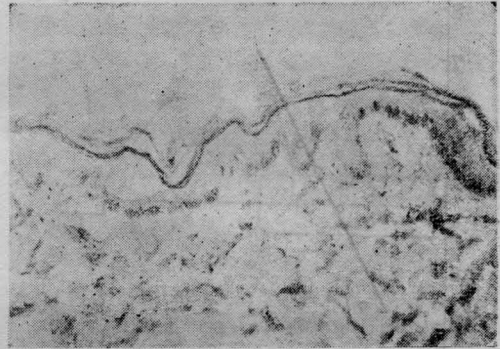
(a) 照后 5 分钟取样, 真皮乳头层和浅层毛细血管扩张, 真皮浅层有些轻微水肿



(b) 照后 5 分钟取样, 真皮深层及附近周围血管扩张充血

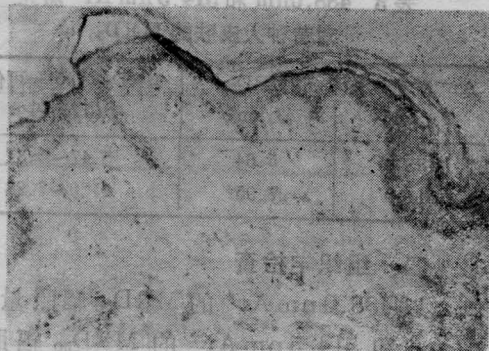


(c) 照后 30 分钟取样, 毛细血管仍扩张, 充血减轻, 未见水肿

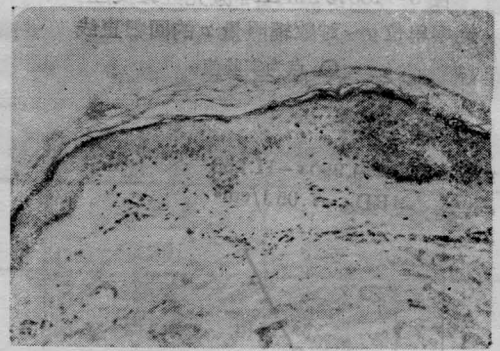


(d) 照后 30 分钟取样, 毛细血管仍扩张, 充血减轻

图 5 辐照量为  $5.6\text{J}/\text{cm}^2$  的  $\text{Ar}^+$  488.0nm 激光照射皮肤 1 秒后的组织病理改变情况 (放大  $12\times 10$  倍)



(a) 照后 5 分钟取样, 真皮乳头层血管扩张充血



(b) 照后 30 分钟取样, 毛细血管充血减轻

图 6 辐照量  $7.1\text{J}/\text{cm}^2$  的  $514.5\text{nm}$   $\text{Ar}^+$  激光照射皮肤 1 秒后的组织病理改变情况 (放大  $12\times 10$  倍)

只发现毛细血管仍扩张, 充血减轻, 未见水肿现象, 如图 5(c)、(d) 和图 6(b) 所示。

从组织检查结果说明,  $\text{MRD}_{50}$  辐照量对皮肤作用, 除引起毛细血管扩张充血及真皮浅层有些轻度水肿外, 未发现其他较为严重的皮肤组织损伤现象, 且随着红斑的消退, 组

织病理的改变亦慢慢减轻, 说明所引起的红斑反应是一种可逆反应。

### 五、讨论

由表 3 可知, 在 488.0nm 和 514.5nm  $\text{Ar}^+$  的  $\text{MRD}_{50}$  中, 后者比前者大。对同一肤色的皮肤来说, 皮肤对  $\text{Ar}^+$  激光的反射率是

随波长的增大而增加<sup>[3~5]</sup>,在相同辐照量照射下,皮肤对后者的吸收实际上比前者小。因此,产生相同红斑反应所需的辐照量,后者应比前者大。

在低功率 Ar<sup>+</sup> 激光多谱线输出中,波长为 488.0nm 谱线所占的功率是主要的。随着输出功率的增大,波长为 514.5nm 谱线所占的功率则成为主要。由此看来,Ar<sup>+</sup> 激光多谱线对黄种人皮肤的 MRD<sub>50</sub>,可能在 5.6~7.1 之间,这有待于今后实验证明。

1974 年,美国 Rockwell 和 Goldman 等测得 Ar<sup>+</sup> 激光对白人皮肤 MRD<sub>50</sub> 的范围为 4.0~8.2J/cm<sup>2</sup>,而黑人皮肤 MRD<sub>50</sub> 的范围为 4.5~6.0J/cm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>。本实验所得的 MRD<sub>50</sub> 均介于黑人与白人之间。从不同皮肤肤色对 Ar<sup>+</sup> 激光反射率的影响来看,白人皮肤的反射率大于黑人皮肤的反射率<sup>[6]</sup>。一般来说,黄种人皮肤的黑色素颗粒多于白人而小于黑人,其反射率应小于白人而大于黑人。产生

同样的红斑反应,黄种人所需的辐照量则小于白人而大于黑人。由此看来,本实验所得的结果是合理的。

在本实验观察测量中,出现红斑保留几率 0% 的情况,这会给实验结果的计算带来一定误差,但对本结果影响不大。

## 参 考 文 献

- [1] 刘普和;《激光安全指南》,科学出版社,1982.
- [2] A. N. Takata; Development of criteria for skin burns, *Aerosp Med.*, June 1974.
- [3] A. Mallow, L. Chabot; *Laser Safety Handbook*, 1978.
- [4] D. Sliney, M. Wolbarsht; *Safety with Laser and Other Optical Sources*, 1980, New York.
- [5] R. J. Rockwell *et al.*; Research on Human Skin Laser Damage Threshold, Final Report, June 1974.
- [6] 周海钧等;《生物检定统计法》,人民卫生出版社,1983.
- [7] 孙瑞元;《定量药理学》,1963.

## 编 后

随着激光技术及其应用的发展,激光安全防护工作日益显得重要。中华人民共和国科学技术委员会对此十分重视并下达了“激光安全防护标准研究——激光对眼和皮肤损伤阈值测量”研究课题。经过三年的努力,各承担单位完成了既定的任务,于今年三月在广州召开总结交流大会。本期集中反映了我国激光安全防护研究工作的情况,报道了研究的成果。

由于本刊篇幅有限,共发表了 23 篇论文报告,个别文章将在以后登载。在审编过程中,主要突出了实验的结果,因不少实验方法基本相同,本刊做了适当的删改,诚望作者见谅。

编 者