

连续波 Nd:YAG 激光对人皮肤损伤阈值的研究

马宝章 夏伟亚

(上海第二医科大学附属第九人民医院)

卓瑞鹏 江兰英 胡庆沈 李兆璋 吴家女

(上海第二医科大学激光研究室)

提要: 连续波 $1.06\mu\text{m}$ 激光的损伤阈值经过动物实验及人皮肤实验, 最后结果: 中国人皮肤偏白者 MRD_{50} 为 $65.519\text{J}/\text{cm}^2$, 黄皮肤为 $60.989\text{J}/\text{cm}^2$, 偏黑者 $52.321\text{J}/\text{cm}^2$ 。实验证明, 皮肤色素的多少对 Nd:YAG 激光的吸收有明显的差异。

Study of injury threshold of CW Nd:YAG laser light for human skin

Ma Baozhang, Xia Weiya

(Ninth People's Hospital, Shanghai No. 2 Medical University)

Zhuo Ruipeng, Jiang Lanying, Hu Qingshen, Li Zhaozhang, Wu Jianu

(Laser Lab., Shanghai No. 2 Medical University)

Abstract: According to the animal and human skin experiments the result of the injury threshold of CW Nd:YAG laser of Chinese human skin are: MRD_{50} of relatively white people, $65.519\text{J}/\text{cm}^2$, yellow people $60.989\text{J}/\text{cm}^2$, relative black people $52.321\text{J}/\text{cm}^2$. It was proved that the amount of skin pigment is closely related to the absorption of Nd:YAG laser light.

激光在我国的发展已有二十年的历史, 但对激光的防护缺乏系统的措施, 其原因之一就是未有我国自己的人体损伤阈值参数。本文研究了连续波 Nd:YAG 激光对皮肤损伤的阈值, 以便为建立我国激光防护标准提供参考。

本实验分为两部分, 即动物实验及人皮肤实验。

Nd:YAG 激光器系上海航海仪器厂与上海第二医学院共同研制(见图 1)。

一、动物实验

1. 方法

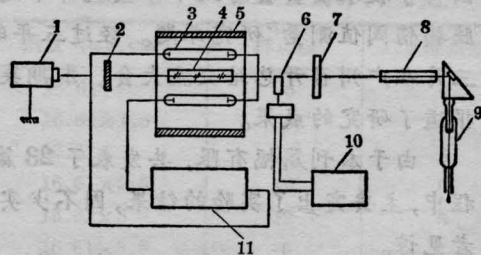


图 1 Nd³⁺:YAG 激光器装置示意图

- 1—监视能量计; 2—全反射膜片; 3—氙灯;
4—YAG 晶体棒; 5—聚光腔(双灯); 6—光路控制继电器; 7—透过膜片; 8—导光系统;
9—改变功率密度装置; 10—时间控制器;
11—电源系统

表1 激光器及实验参数

输出波长 (μm)	输出功率 (W)	发散角 (mrad)	光斑 (mm)	照射方式	照射时间 (min)	能量误差 (%)
1.06 连续	50 稳定度 <5%	5	5	快门开启 脉冲式	1 误差 ±0.7%	±3

挑选体重为6~7公斤的白毛猪3只,进行腹腔内注入2.5%异戊巴比妥钠2cc/kg,麻醉后清洗、剃毛,于两侧胸腹部按2cm²画格,实验在室温15.5°C,湿度61%下进行。

在预实验的基础上选择5个照射剂量,每个剂量共照30个点,每猪10点,照射点的分布包括身体的前后及背腹部位。每照一点均观察红斑出现时间、红斑大小、红斑消退时间,并于每一剂量中取红斑期及红斑消退后标本各一只做病理观察。

2. 结果

以红斑维持3分钟以上的点数为红斑发生点(表2)。

表2 红斑发生情况

组别	功率密度 (W/cm ²)	照射点数	红斑发生率 %
1	43.82	30	3
2	49.43	30	17
3	57.58	29	38
4	65.73	29	69
5	73.89	30	93

加权直线回归法计算结果:

回归方程式:

$$y = -9.644 + 13.783x$$

MRD₅₀: 59.385J/cm²

95% 可信限:

$$56.950 \sim 61.923J/cm^2$$

α² 测验 P<0.05(图2)

组织切片检查结果:多数未见异常,少数显示血管轻度扩张(图3)。

二、人皮肤实验

1. 方法

挑选10名受试者,男女各5名,年龄为

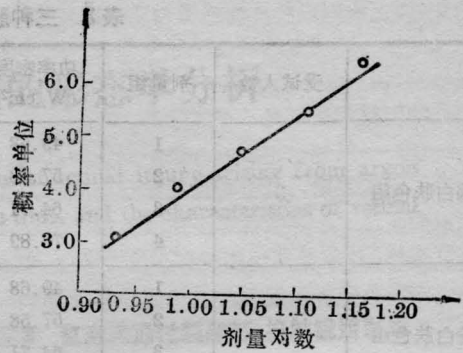


图2 动物组回归直线

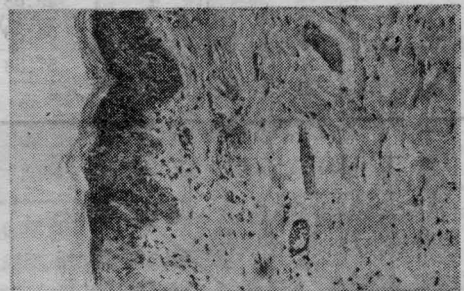


图3 无明显变化

35~53岁,均为皮肤健康者,其中3人偏白,2人偏黑,5人属一般黄色皮肤。照射前测皮肤温度为24~28.5°C,清洗后的两前臂每侧共画15格,每受试者左右两臂共30格,照射3~5个剂量,每个剂量照6点,左右各3点。

每照一点均观察红斑出现时间,红斑大小、红斑消退时间。于接近MRD₅₀剂量中取皮肤标本一块作组织学观察。实验室温度11.5°C,湿度77%。

2. 结果

由于受试者肤色深浅不同,照射时反应亦各异,其结果分三种肤色进行统计分析(表3)。

以上各组均经α²检验,P<0.05,具有显著意义。

3. 组织切片检查结果

全部组织切片均未见明显变化(图7、8)。

三、讨论

1. 实验结果与国外资料对比

表 3 三种肤色受试者红斑发生情况

	受试人数	剂量组	功率密度 (W/cm ²)	照射点数	红斑发生率 (%)	加权回归计算结果
偏白肤色组	3	1	49.68	18	6	回归方程 $y = -14.487 + 17.570x$ MRD ₅₀ : 65.519J/cm ² 95% 可信限: 61.295 ~ 70.173J/cm ² (图 4)
		2	57.58	18	11	
		3	64.71	18	33	
		4	73.89	18	89	
黄白肤色组	5	1	49.68	30	3	回归方程 $y = -14.664 + 18.249x$ MRD ₅₀ : 60.989J/cm ² 95% 可信限: 58.867 ~ 63.188J/cm ² (图 5)
		2	57.58	30	37	
		3	64.71	30	63	
		4	73.89	30	93	
偏黑肤色组	2	1	49.68	12	25	回归方程 $y = -23.137 + 27.744x$ MRD ₅₀ : 52.321J/cm ² 95% 可信限: 46.112 ~ 59.867J/cm ² (图 6)
		2	54.88	12	67	
		3	57.58	12	100	

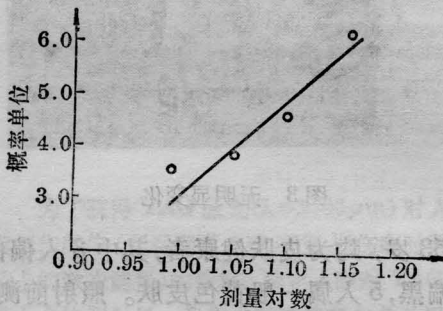


图 4 人皮肤偏白组回归直线

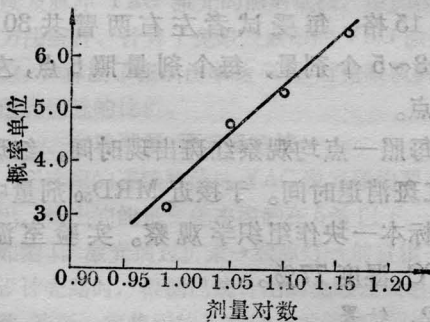


图 5 人皮肤黄白组回归直线

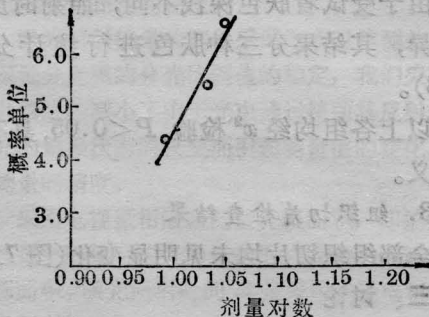


图 6 人皮肤偏黑组回归直线



图 7 无明显变化

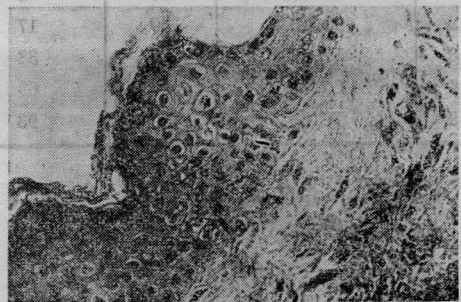


图 8 无明显变化

本组实验首次获得黄种人损伤阈值的数据,是居于白种和黑人之间,此结果是符合客观规律的,为制定我国的激光防护标准提供了有用的数据。

2. 动物与人实验结果都说明皮肤色素的多少,对 1.06 μm 波长的损伤阈值存在一定的影响,有明显的差异,皮肤色素多,吸收激

表4 本组实验结果与国外资料对比

组别	MRD ₅₀ (J/cm ²)	95% 可信限 (J/cm ²)
高加索人	48~78	
中国人(偏白)	65.519	61.295~70.173
中国人(黄白)	60.989	58.867~63.188
中国人(偏黑)	52.321	46.112~59.367
黑人	46~60	

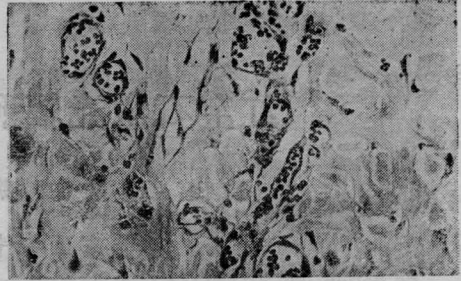


图11 血管轻度扩张,红血球游走于腔外

光能量较多,因此,较低的激光功率密度就达到损伤阈值,故肤色偏黑者损伤阈值偏低,相反,偏白者损伤阈值稍高(图9、10、11)。

3. 本组动物实验小白猪的MRD₅₀为



图9 无明显变化

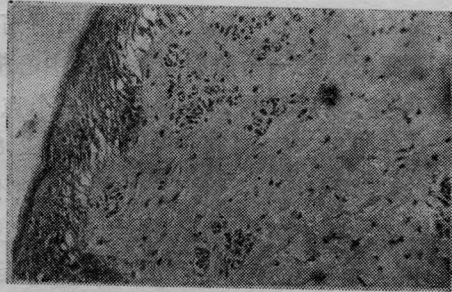


图10 鳞状上皮细胞胞浆呈空泡状,细胞核固缩,固有层毛细血管轻度扩张充血

59.385 J/cm², 95% 可信限为 59.950~61.923 J/cm², 与人皮肤实验结果MRD₅₀为 52.321~65.519 J/cm², 95% 可信限为 46.112~70.173 J/cm²很相近,可见选用小白猪为动物实验是合适的。

4. 可能影响实验结果的几种因素

(1) 麻醉的深度,小猪的麻醉兴奋,包括进入深度麻醉之前及即将苏醒时,皮肤往往出现充血样,此时对 1.06 μm 激光的吸收较好,容易获得有效红斑;当逐渐加深后则皮肤呈白色,用相同剂量照射有时不出现红斑,或出现了又迅速消退,因此,实验时要注意麻醉的深度,以免影响结果。

(2) 观察红斑的主观因素,对红斑的出现与扩大基本无争议,但对红斑的消退有不同意见,因此,对红斑的持续时间就存在着不客观因素。

(3) 实验室温度,过低或过高室温都会影响红斑的观察,注意调节实验时温度,以保证实验的可靠性。

(上接第 625 页)

3. 根据大数量动物实验数据以及眼睛是人体最重要的感觉器官之一,我们认为,以最小损伤阈值(ED₁)的95%可信限下限为基数,取100倍的安全系数是比较合适的。因此,建议我国氦-氖激光最大允许照射剂量应为:1秒照射 8.76×10⁻⁴ W/cm²; 1/8秒照射 13.0×10⁻⁴ W/cm²。此标准略高于美国标准。

参 考 文 献

[1] M. L. Wolbarsht; "Laser applications in medicine and biology", 1971.
 [2] 刘昶庭等;《劳动卫生与环境医学》, 1983, No. 1, 1.
 [3] A. Kohtiao et al.; *Amer. J. Ophthal*, 1966, **62**, 524~527.
 [4] W. P. Hansen et al.; *Appl. Opt.*, 1967, **6**, 1973~1975.