

激光对皮肤损伤阈值的研究

吴庆贞 董佩英

(上海第二医科大学附属瑞金医院皮肤科)

卓瑞鹏 胡庆沈 李兆璋 盖宝康 江兰英 吴家女

(上海第二医科大学激光研究室)

提要: 本文报道了 200 μs 脉冲钕玻璃激光、 CO_2 激光和 488 nm 氩离子激光对皮肤损伤阈值的研究结果。

Investigation on laser injury threshold of skin

Wu Qingzhen, Dong Peiyang

(Department of Dermatology, Ruijin Hospital, Shanghai No. 2 Medical University)

Zhuo Ruipeng, Hu Qingshen, Li Zhaozhang, Gai Baokang, Jiang Lanying, Wu Jiamu

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

Abstract: This paper reports the research results on laser injury threshold of skin irradiated by 200 μs pulsed Nd glass laser, CO_2 laser and 488 nm Ar ion laser light.

关于激光对皮肤损伤阈值的研究,国际上从 1969 年开始相继有少量的报道,其中以美国辛辛那提大学 Rockwell 及 Goldman 1969 年最早叙述了五种激光辐照白种人皮肤的最小反应辐照量。1974 年又较详细报道了六种激光对白种人和黑种人皮肤的损伤阈值,以产生最小反应损伤(红斑)几率 50% 辐照量(MRD₅₀)表示。下面分别介绍脉冲钕玻璃激光、 CO_2 激光和氩离子激光对小猪及人皮肤损伤阈值的研究结果。

一、200 μs 脉冲钕玻璃激光实验

图 1 为脉冲钕玻璃激光实验光路。激光器最大输出能量 7 J, 输出能量稳定度 $\pm 5\%$, 脉冲宽度 200 μs , 脉冲间隔 5 分/次。

1. 动物实验

在选用的上海小白猪和杂交小色猪的脊

椎两侧 2 cm 外的胸腹部皮肤上以 2 cm²/格画格,如图 2。

在预实验选择能量密度的基础上,确定杂交种有色小猪以其辐照能量为在 2.753~11.562 J/cm² 之间,分为五个辐照量作正式

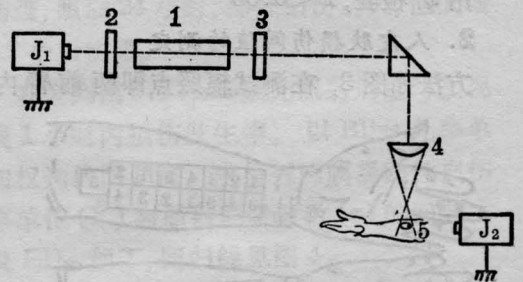


图 1

1—钕玻璃; 2、3—反射镜; 4—聚焦透镜($f/45$);
5—被辐照皮肤; J_1 —实时监测能量计; J_2 —测
输出光束能量计

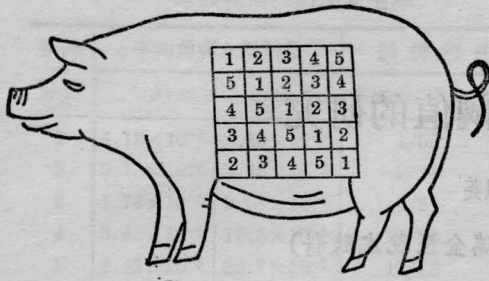


图2 每只猪皮肤画50格

动物实验, 结果如表1。根据局部无水肿、水泡等病变反应的均匀红斑为准, 并红斑持续5分钟以上的发生率, 求其MRD₅₀之辐照量。

表1 敏玻璃激光照射杂交有色小猪实验结果

编组	辐照能量密度	辐照点数	出现红斑点	病理检查
1	2.45 J/cm ²	30	4	(-)
2	4.267 J/cm ²	30	13	(-)
3	5.891 J/cm ²	30	20	(-)
4	9.415 J/cm ²	30	26	20%(+)
5	11.755 J/cm ²	30	30	70%(+)

上表病理检查(-)表示无病理变化,(+)病理变化限于表皮内。上述数据, 以加权直线回归法统计处理

回归方程 $y = 2.121 + 4.326x$

MRD₅₀ 4.628 J/cm²

95% 可信限 4.071~5.261 J/cm²

用 χ^2 检验, $P < 0.05$

2. 人皮肤损伤阈值的测定

方法如图3, 在测试辐照点即两前臂内

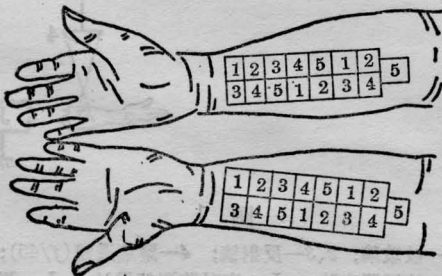


图3

表2 以均匀红斑持续5分钟以上发生率统计

编组	辐照能量密度	辐照点数	红斑发生数	病理检查
1	3.422 J/cm ²	60	1	
2	5.891 J/cm ²	60	7	3人(-)
3	9.751 J/cm ²	60	24	6人(-)
4	12.284 J/cm ²	60	41	3人(-)
5	15.263 J/cm ²	60	51	
6	17.435 J/cm ²	60	59	

侧腕上5cm至肘部皮肤, 以2×2.5cm²画格, 共30。

每个受试者在接近其MRD₅₀辐照量, 在照后红斑持续超过5分钟后取一皮肤标本, 作H.E.染色观察病理变化。结果示于表2。

以加权直线回归法计算:

回归方程 $y = -0.686 + 5.705x$

MRD₅₀ 9.921 J/cm²

95% 可信限 9.269~10.618 J/cm²

用 χ^2 检验, $P < 0.05$, 是满意的。

二、CO₂激光对皮肤损伤阈的研究*

实验装置如图4, 最大输出功率20W, 光束发散角 < 3mrad, 功率稳定度 ± 2%, 基模

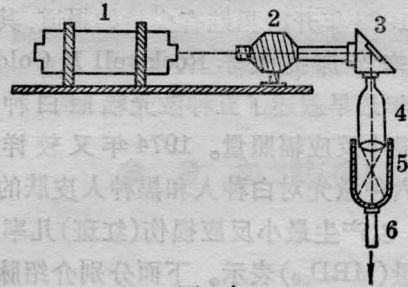


图4

- 1—CO₂激光管; 2—固定架; 3—导光关节臂;
- 4—锗透镜 f/35; 5—镜筒(内外套, 可上下移动);
- 6—辐照孔径 φ5mm

1. 动物实验

表3为CO₂激光的动物实验结果, 以红斑持续5分钟的发生率统计求MRD₅₀。

* 上海第二医学科大瑞金医院灼伤科肖玉瑞参加本工作。

以加权直线回归法统计处理:

回归方程 $y = 2.173 + 7.464x$

$MRD_{50} = 2.391 \text{ W/cm}^2$

95% 可信限 $2.290 \sim 2.496 \text{ W/cm}^2$

用 χ^2 检验, $P < 0.05$, 是满意的。

表 3 CO_2 激光小白猪实验结果

编组	辐照量功率密度	辐照点	红斑数	病理变化
1	1.281 W/cm^2	100	2	(-)
2	1.734 W/cm^2	100	17	(-)
3	2.218 W/cm^2	100	42	(-)
4	2.877 W/cm^2	100	66	20%(+)
5	3.593 W/cm^2	100	95	60%(+)

(-) 示无异常或真皮浅层轻度充血;
(+) 限于表皮内变化。

2. 人皮肤 CO_2 激光损伤阈结果

受试者 10 人, 在各其接近 MRD_{50} 辐照量(按每人所测得数据表 4 所示, 经直线回归统计计算 $MRD_{50} 2.4 \sim 2.9 \text{ W/cm}^2$) 如 2.467 W/cm^2 辐照组有 5 人取皮肤标本, 另 2.757 W/cm^2 辐照量组又有 5 人取活检, 在镜下观察到除了 7/10 者切片上可见真皮浅层毛细血管充血扩张外, 无其他异常变化。

表 4 CO_2 激光损伤结果

编组	辐照量功率密度	辐照点	红斑数	病理变化
1	2.176 W/cm^2	60	3	
2	2.467 W/cm^2	60	17	5人(-)
3	2.757 W/cm^2	60	35	5人(-)
4	3.047 W/cm^2	60	49	
5	3.337 W/cm^2	60	59	

以加权直线回归法统计处理得到:

回归方程 $y = -2.861 + 18.446x$

$MRD_{50} = 2.668 \text{ W/cm}^2$

95% 可信限 $2.607 \sim 2.730 \text{ W/cm}^2$

用 χ^2 检验, $P < 0.05$, 是满意的。

三、氩离子激光对皮肤损伤阈研究

实验装置如图 5, 输出功率(488nm、514.5nm)5~6W, 488nm 波长为 1.5W,

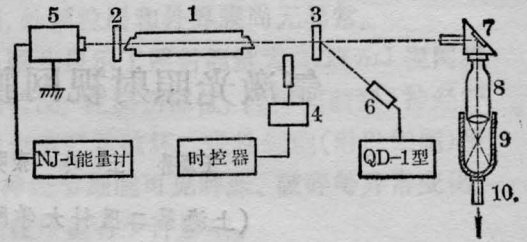


图 5

1—氩激光管; 2,3—反射镜; 4—时控继电器;
5—NJ-1型能量计; 6—光敏元件; 7—导光关
节臂; 8—透镜 $f/45$; 9—镜筒(外套可上下移
动); 10—辐照孔径 $\phi 5 \text{ mm}$

稳定度 $< 3.5\%$ 光束发散度 2.5 mrad 。

1. 动物实验

小白猪激光辐照量从 $3.918 \sim 9.86 \text{ W/cm}^2$, 皮肤上仅见浅红斑, 持续时间不超过 2 分钟; 杂交有色猪为 $3.337 \sim 8.27 \text{ W/cm}^2$, 照射后产生均匀红斑反应, 持续时间 5 分钟, 结果见表 6。

表 6 氩激光对杂交有色猪的实验结果

编组	辐照量功率密度	辐照点	红斑数	病理检查
1	3.337 W/cm^2	30	0	
2	3.918 W/cm^2	30	3	(-)
3	4.788 W/cm^2	30	12	(-)
4	5.659 W/cm^2	30	20	表皮(+)
5	6.82 W/cm^2	30	26	表皮(+)
6	8.27 W/cm^2	30	30	

(-) 皮肤无病理变化或真皮层轻度充血。

表皮(+)——可见部分表皮细胞变性(棘细胞网状变性)、基底细胞液化。

上表数据以加权直线回归法计算:

回归方程 $y = -2.380 + 10.352x$

$MRD_{50} = 5.179 \text{ W/cm}^2$

95% 可信限 $4.917 \sim 5.455 \text{ W/cm}^2$

用 χ^2 检验, $P < 0.05$, 是满意的。

2. 人皮肤损伤阈值测试

每个受试者在接近其 MRD_{50} 的辐照量中选定一辐照点产生红斑持续超过 5 分

(下转第 596 页)

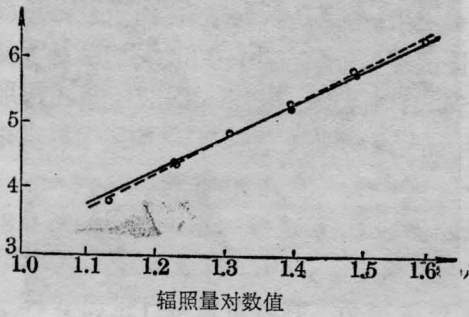


图4 红斑发生概率单位与辐照量对数值的关系图
实线——目测法直线；虚线——加权回归直线
○——实验值；●——计算值

5至18小时才出现延迟红斑。上述现象可能与265nm激光单光子能量比308nm的大有关,光子能量大引起光化反应的速度也快。另外,从实验中所观察到的延迟红斑程度随时间变化的情况可以推测,在紫外红斑出现过程中有数种光化学物质在不同时间起着作用,这与国外有关报导的看法是一致的。

紫外红斑是光致化学反应的结果。皮肤组织在此过程中产生的热不象热效应那么显著,但还是有变化。我们在实验中也注意了这个问题,通过对皮肤温度的测定(用上海医用仪表厂的半导体7151型温度计),发现随着辐照量的增加,皮肤红斑的温度比未受照

射的皮肤温度高。第6组照后1小时皮肤红斑处的温度为29.1°C,对照皮肤的温度为27.8°C,这说明光致化学反应中还是有热的变化。同时也提醒我们注意,进行这类实验时必须注意周围环境温度的稳定性。

2. 紫外激光防护标准的探讨

根据1979年世界卫生组织颁布的紫外辐射卫生标准以及近年来国际上有关的激光防护标准(ANSI、IEC等),紫外波段260~270nm的皮肤最大允许照射量(MPE)为3mJ/cm²,308nm(脉宽为15ns)的MPE为6.2mJ/cm²。根据我们实验获得的损伤阈值——引起50%照射点产生最小可见红斑的辐照量(MRD₅₀):MRD₅₀(265nm)为22.00mJ/cm²,MRD₅₀(308nm)为53.84mJ/cm²,计算MRD₅₀/MPE的比值γ:γ(265nm)为7,γ(308nm)为9。这些数据表明在紫外波段考虑MPE的安全系数(若用动物作实验)至少该取10。由于紫外波段光谱对生物组织反应的影响很大,因此对于脉冲宽度很短的各类紫外激光源应尽可能多做些生物实验,以保证激光防护标准的可靠性。

参考文献(略)

(上接第599页)

钟后取皮肤活检,皮色偏黑者3人在辐照量功率密度4.933W/cm²取材,2人基本无明显病理变化,1人见表皮细胞内外水肿、部分基底细胞液化、真皮层血管扩张充血。一般皮色者7人,在辐照量5.804W/cm²组作皮肤组织检查,6人无变化,1人限于表皮内轻度病理改变。偏白者2人,在辐照量6.674W/cm²活检,均无明显病理变化。有变化者取材辐照量大于其MRD₅₀,结果示于表7。

以加权直线回归法统计计算:

回归方程 $y = -7.388 + 16.550x$

MRD₅₀ 5.603 W/cm²

95%可信限 5.490~5.719 W/cm²

用 x^2 检验, $P < 0.05$,是满意的。

表7 488nm氩离子激光对人皮肤损伤测试结果统计

编组	辐照量功率密度	辐照点	红斑数	病理变化
1	3.337W/cm ²	60	0	
2	3.918W/cm ²	60	2	
3	4.933W/cm ²	60	10	偏黑者3人 2/3(-)1/3(+)
4	5.369W/cm ²	60	18	
5	5.804W/cm ²	60	36	一般皮色7人 6/7(-)1/7(+)
6	6.239W/cm ²	60	48	
7	6.674W/cm ²	60	53	偏白者2人(-)
8	6.96W/cm ²	60	57	
9	7.25W/cm ²	60	60	