

红宝石激光辐照人皮肤损伤阈的实验

陈迹 王军 卢善芬 徐贵道 施良顺 钱焕文 王登龙

(军事医学科学院放射医学研究所)

提要: 本文报道了红宝石激光辐照人皮肤的实验结果。将照后 24 小时内发生的红斑经统计学处理,其 ED_{50} 为 $4.7 J/cm^2$ 。

Injury threshold of ruby laser irradiation on human skin

Chen Ji, Wang Jun, Lu Shanfen, Xu Guidao, Shi Liangshun,
Qian Huawen, Wang Denglong

(Institute of Radiation Medicine, Academy of Military Medical Sciences)

Abstract: This paper reports experimental results of human skin exposed to ruby laser light. By statistical analysis of the erythema produced with 24 hours post-exposure, ED_{50} about $4.7 J/cm^2$ was obtained.

关于红宝石激光辐照人皮肤损伤阈研究,国外已有报道和评价^[1~4],但都是高加索人与黑人的皮肤,其皮肤损伤阈值相差较大,而且不完全适用于黄种人。

本文是在猪皮肤实验基础上,用同一个红宝石激光器照射人皮肤,观察其红斑发生率,经统计学处理计算出 50% 红斑反应剂量值。

一、实验

红宝石激光器为多模脉冲输出,脉宽 $0.32 ms$, 发散角 $28 \sim 29 mrad$, 最大输出 $18 J$, 光阑直径为 $0.5 cm$, 输出能量稳定度在 $\pm 5\%$ 以内。照射能量测量采用后腔输出实时监测方法,能量接受器为 JNK-1 型激光碳斗能量计与镀金倒锥能量计,均经标定。

实验室温度平均为 $30.1 \pm 1.4^\circ C$, 平均相对湿度为 $74.7 \pm 8.6\%$ 。

参试者为本室男性科技人员,共 15 人,均为汉族,平均年龄 39.5 ± 8.9 岁。照前做

过必要的体检与心电图检查,激光照射前、后无异常变化。第一个照射点为肘窝中心横线下 $3 cm$ 处,以后每隔 $2 cm$ 照射下一个点,每侧前臂各照射不同剂量(平均 $0.52 \sim 2.8 J$) 5 个样点,两前臂共照射 10 个样点,使不同反射比的皮肤分布到 5 个剂量组中,以便得出集体的 50% 红斑剂量(ED_{50})。照射后立即观察受照区皮肤反应与红斑出现情况,在以后观察期内定时(照后 2、12、24 与 48 小时)检查。

二、结果

1. 红斑的发生:本实验共得 152 个有效照射点,分配在 5 个剂量组中,每组约 29~33 个样点(表 1)。从表 1 可以看出红斑发生率随照射剂量降低而降低。红斑的发生时间因照射剂量而异(表 2)。大剂量照射时红斑出现得快,发生率高;低剂量照射时红斑发生率低。如表所列,说明因辐照量降低,在一定观察期内,红斑出现时间推迟。

表1 红宝石激光辐照人皮肤红斑发生率

组别	照射剂量均值 $\pm S_x$ (J/cm ²)	吸收剂量均值 $\pm S_x$ (J/cm ²)	照射点数 (个)	红斑发生率 (%)
1	14.01 \pm 0.72	8.63 \pm 0.61	29	100
2	7.01 \pm 0.56	4.32 \pm 0.30	30	90
3	5.45 \pm 0.25	3.37 \pm 0.24	33	57.6
4	3.92 \pm 0.31	2.43 \pm 0.24	30	36.7
5	2.63 \pm 0.08	1.62 \pm 0.11	30	6.7

表2 人前臂屈侧皮肤红斑的发生率与消退率

组别	红斑发生率(%)		红斑消退率(%)		
	5分钟内	6分钟~1小时	2~12小时内	13~48小时内	3天以上
1	96.6	3.4	10.3	20.7	69.0
2	66.7	33.3	18.5	48.1	33.4
3	36.8	63.2	47.4	52.6	—
4	27.3	72.7	63.6	18.2	18.2
5	50.0	50.0	100	—	—

2. 红斑的消退: 在照后一定观察时间内各组红斑消退率随照射量而变(表2)。这说明照射剂量大, 红斑保留时间长, 照射剂量小, 保留时间短。

3. 追踪观察: 激光照射后不同时间内, 定时观察受照区的皮肤反应。(1) 重度红斑(约占20.7%)反应: 外观微微隆起, 高出正常皮肤平面, 形成小丘疹, 有痒感, 甚至起水疱, 1~2天后结痂, 照后6~7天脱痂。有些重度红斑无明显水疱, 但其表面结成痂皮。(2) 较重度红斑: 外观不隆起, 无丘疹, 无水疱。红斑初期呈红色, 以后逐渐变成紫红色以至暗紫红色。边界清楚, 保留时间长, 一般在照后4~5天消退。(3) 中等度反应: 外观呈红色, 边界清楚, 不隆起, 无丘疹, 和正常皮肤表面平齐, 最初隐约可见, 过一段时间后逐渐清晰。第2剂量组只有8号参试者的红斑于照后第三天稍许有干痂皮, 随后消退。其余红斑均属轻度和极轻度反应: 无丘疹、无水疱, 与正常皮肤表面平齐。初期呈淡红色, 后期呈红色, 边界清楚或不清楚。第3、4剂量组红斑均属轻度或极轻度反应, 淡红色, 多呈圆形, 边界清楚。第5剂量组只发生两个红斑, 1个在照后5分钟内, 另1个在照后30分钟发生,

两个红斑反应轻微, 均于照后第2天消退, 只残留些色素沉着痕迹。在预试验中, 用低于2.5J/cm²剂量(如2.4J/cm²)激光照射时未见有红斑发生, 故2.6J/cm²作为实验的下限。

50% 红斑剂量(ED₅₀)的计算: 在本实验条件下将各组数据经统计学处理, 以 Bliss 方法加权迭代回归计算, 求出方程式、ED₅₀ 及其 95% 可信限。

$$\hat{Y} = 0.95293 + 6.05599x$$

$$ED_{50} \approx 4.7 \text{ J/cm}^2$$

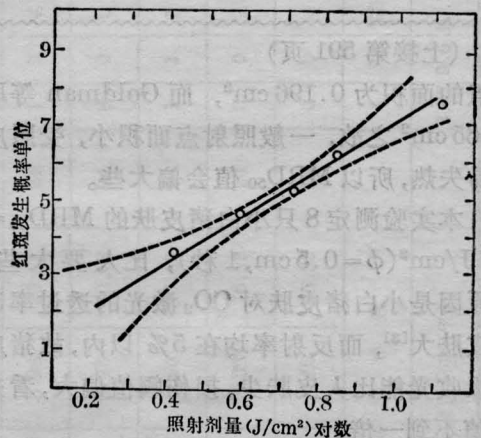


图1 红宝石激光辐照人皮肤红斑发生率与剂量关系

95% 可信限为 $4.217 \sim 5.146 \text{ J/cm}^2$, 经 χ^2 检验, $\chi^2 = 1.8683$, 而 $\chi_{0.05}^2 = 7.8045$, $P > 0.05$, 说明计算模型和实际测量值是符合的, 此实验结果可以接受(图 1)。

三、讨论

在同一剂量组中, 因个人皮肤反射率不同, 吸收激光能量有差别, 因而造成不同程度的皮肤红斑效应。本实验参试者前臂屈侧皮肤对红宝石激光反射率最大者为 $43.8 \pm 1.9\%$, 最低者为 $32.5 \pm 1.8\%$, 平均为 $38.8 \pm 3.6\%$ 。因此, 在最高剂量组中, 反射率低者吸收激光光能较多, 红斑反应较重。在最低剂量组中, 反射率低者能引起红斑的照射剂量, 对于反射率高者已不能造成皮肤红斑。因此, 皮肤的颜色深浅, 反射率的高低, 对皮肤红斑效应有很大影响。

将本实验所得结果经统计学处理, 以 Bliss 法加权迭代回归计算出 ED_{50} 大约为 4.7 J/cm^2 , 它与高加索人 ED_{50} 相差 $2.3 \sim 4.3$ 倍, 与黑人 ED_{50} 相差 $0.5 \sim 1.5$ 倍(表 3)。可见中国人的皮肤颜色更接近于黑人。有效剂量也与黑人相近, 均为 1.4 J 。

ANSI 规定可见光辐照皮肤的最大容许照射量(MPE)为 150 mJ/cm^2 。本实验所得 ED_{50} 与 MPE 的比值为 31。就是说中国人皮肤损伤阈和 MPE 相距是比较近的, 在制订

表 3 红宝石激光辐照人皮肤
损伤阈实验结果的比较

	本实验参试者	黑人	高加索人
参试人数(人)	15	2	4
照射点数(个)	152	105	100
辐照量(J/cm^2)	2.6~14.0	0.5~8.0	5.0~30.0
皮肤反射率(%)	32~44	30~41	52~62
红斑发生率(%)	57.9	32.4	72
$ED_{50}(\text{J/cm}^2)$	4.7	2.2~6.9	11~20

激光安全防护标准时, 要考虑到这个因素。

本文统计学处理承汤仲明同志协助, 特致谢意。

参 考 文 献

- [1] J. G. Kuhn et al.; *Laser Injury in Skin. Lab. Invest.*, 1967, **17**, No. 1, 1~13.
- [2] L. Goldman; *The Skin. Arch. Environ. Health.*, 1967, **18**, 434.
- [3] W. H. Parr; Skin Lesion Threshold Values for Laser Radiation as Compared with Safety Standards. US Army Medical Research Laboratory Report, 1964, Feb. 24, 813.
- [4] J. P. G. Williams et al.; Final Report of Investigations of laser Skin Hazards, AD-735794 (p.8161), 1971.
- [5] R. J. Rockwell et al.; Research on Human Skin Laser Damage Thresholds, AD A-012703(p.8947), 1974.
- [6] 王军等; “红宝石激光辐照猪皮肤损伤阈实验”, 本刊本期, 631.

(上接第 591 页)

射点的面积为 0.196 cm^2 , 而 Goldman 等取 0.865 cm^2 之故, 一般照射点面积小, 受照皮肤易失热, 所以 MRD_{50} 值会偏大些。

本实验测定 8 只小白猪皮肤的 $MRD_{50} = 3.7 \text{ J/cm}^2$ ($\phi = 0.5 \text{ cm}$, 1 秒), 比人要大些, 其原因是小白猪皮肤对 CO_2 激光的透过率比人皮肤大^[3], 而反射率均在 5% 以内, 故猪皮肤吸收光能比人皮肤少, 损伤阈值偏大, 看来差值不到一倍。

在实验精度上, Rockwell 等求 MRD_{50} 时, 在正态概率纸上只有两点实验数据用作

图法求出, 而本实验在最大辐照量和最小辐照量之间还能取得 3 个辐照量, 使之成等比级数关系, 若用作图法可取五个点作图, 故可信度较大。本研究结果较为合理, 能为激光防护提供有益的参考数据。

参 考 文 献

- [1] 周海钧等; “生物检定统计方法”, 人民卫生出版社, 1983.
- [2] 孙瑞元; “定量药理学”, 1963.
- [3] L. Goldman, J. R. Rockwell, Jr.; “Laser in Medicine”, New York, Gordon Press, 1971.