

CO₂ 激光对黄种人皮肤急性损伤阈值的研究

史宏敏 李济时 谭延康 罗洋祥 陈仲本 谢杏冰 袁悦欢

(中山医科大学)

提要: 本文主要叙述了 CO₂ 激光照射系统的监测工作。对 8 只小白猪皮肤受 CO₂ 激光照射的急性损伤阈值(MRD₅₀)进行了测定。在此基础上,对 6 位志愿者的前臂屈侧皮肤进行了受 CO₂ 激光照射后的急性损伤阈值测定,其值为 2.3 J/cm²。用该能量密度照射后皮肤的组织学检查,发现其所引起的反应是最小反应,是可逆的。

Acute injury threshold level of CO₂ laser light for skin of yellow race

Shi Hongmin, Li Jishi, Tan Yankang, Luo Panxiang

Chen Zhongben, Xie Xingbing, Yuan Yuehuan

(Zhongshan Medical University, Guangzhou)

Abstract: Acute injury threshold level MRD₅₀ of CO₂ laser light for the skin of eight white piggies was measured. On the basis of the animal experiment, the same measurement for the skin of six yellow people, was made. MRD₅₀ was found to be 2.3 J/cm². The skin of 5 volunteers was exposed to the above energy densities, and histological examination found that capillaries are expanded and filled with erythrocytes and light edema, but there is no significant change of cuticle. This indicates that the MRD₅₀ erythematous reaction is minimal and reversible.

本研究通过 CO₂ 激光对小白猪和人皮肤垂直照射后产生红斑反应的实验,求出其损伤阈值,亦即求出其最小反应率达 50% 的辐射量,简称 MRD₅₀,这样,可为激光安全防护提供定量的实验数据。

一、实验装置

本实验用连续 CO₂ 激光(10.6 μm), 基模, 以不同的辐照量照射 5 公斤重左右的小白猪皮肤和黄种人皮肤, 观测其红斑反应, 实验装置如图 1 所示。

连续 CO₂ 激光输出功率 15~30 W, 输出功率稳定度 < 4%, 它可由镀金的反射镜(全反射镜 1)移入光路, 由监测功率计加以

测定。激光经全反射镜 2、锗透镜(镀以增透膜)和光阑组成的闭光路系统到达动物和人皮肤的照射点。实验前, 根据激光输出功率

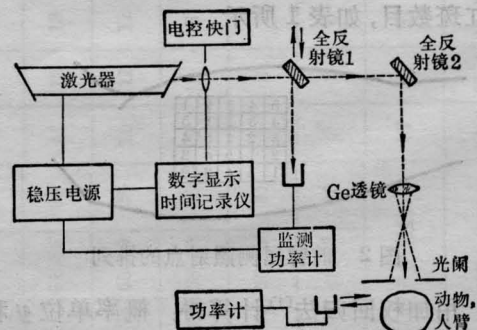


图 1 实验装置

和透镜光阑间距的选择,作好光阑出口处的功率定标工作,以便选择不同的辐照量。在选定每一辐照量照射动物或人皮肤前后,均用快速功率计进行测量,以避免受到其他因素的影响。照射时间由电控快门控制,由光电二极管监视,并由数字时间记录仪将照射时间记录下来,保证实验的可重复性。

二、实验条件及数据

本实验在室温 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $< 80\%$ 的条件下进行测定。

在动物(小白猪)实验的基础上,在相同的实验条件下,对黄种人皮肤受 CO_2 激光照射后的损伤阈值进行了测定。先按改进寇氏法^[1,2]对个别志愿者进行 MRD_{50} 值的测定。确定照射时间为 1 秒,光斑直径 $\phi = 0.5 \text{ cm}$,观察红斑时间为 5 分钟。再选定 5 个成等比级数的辐照量 (J/cm^2),最小的辐照量 D_n 要求照射后照射点都出现红斑反应,5 分钟时绝大多数红斑消失;最大辐照量 D_m 要求照射后 5 分钟绝大多数照射点的红斑保留,肉眼观察未见水肿,红斑消退后未见皮肤异常。

本研究对 6 名志愿者进行测定,其中男 3 名,女 3 名,年龄 20~21 岁,受照皮肤选在前臂屈侧,如图 2 所示。格的间距近 2 cm,线格外的皮肤以作再次预试验之用。格中 1、2、3、4、5 表示了五种不同辐照量,照射点按均衡对等要求排列。总计每个辐照量有 30 个照射点。激光照射后仔细观察红斑出现和消退时间,并记录照射后 5 分钟时,皮肤所保留的红斑数目,如表 1 所示。

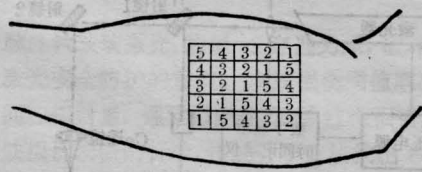


图 2 前臂屈侧照射点的排列

用加权回归法^[1]计算得:概率单位 y 和对数剂量单位 $x = \log D$ 的关系为:

表 1 各种辐照量时红斑反应数 r

志愿者编号	辐照量 (J/cm^2)				
	2.48	2.33	2.19	2.06	1.94
2 (男)	5	4	2	0	0
3 (女)	5	4	2	1	0
4 (男)	5	3	2	1	0
5 (男)	5	3	3	2	0
6 (女)	4	3	1	0	0
7 (女)	5	4	2	1	0
Σ	29	21	12	5	0

$$y = \bar{y} + b(x - \bar{x}) = 40.733x - 9.318 \text{ (见图 3)}.$$

斜率 b 的显著性指数 $g = 0.074 < 0.1$,

$$\text{MRD}_{50} = 2.3 \text{ J}/\text{cm}^2,$$

MRD_{50} 的 95% 可信限为 $2.2 \sim 2.3 \text{ J}/\text{cm}^2$ 。

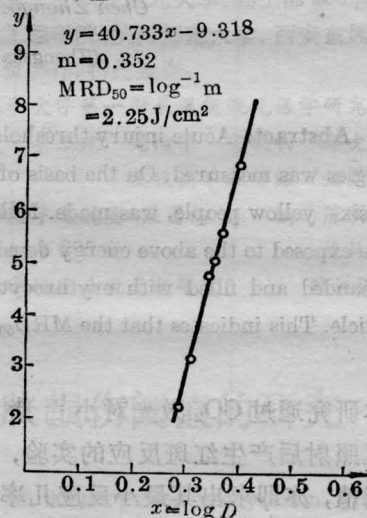
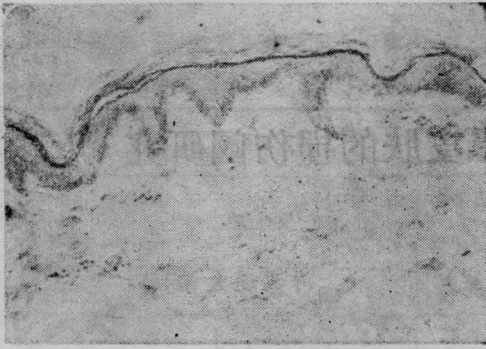
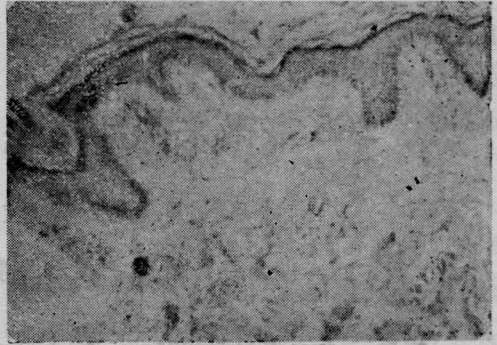


图 3 概率单位~对数辐照量关系图

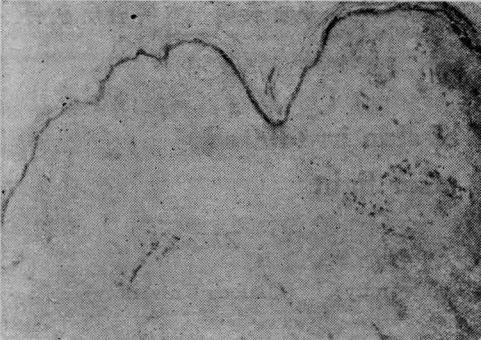
在相同的实验条件下,以所测定的 $\text{MRD}_{50} = 2.3 \text{ J}/\text{cm}^2$ 辐照量照射五位志愿者(21岁~46岁)前臂屈侧,作受 CO_2 激光照射后 5 分钟、30 分钟取样,组织学检查结果(见图 4)是:5 分钟取样切片,见真皮乳头层和浅层毛细血管扩张,少数毛细血管充满红血球,真皮浅层及汗腺附近血管亦扩张。表皮未见明显改变。个别切片能见少许棘细胞水肿和



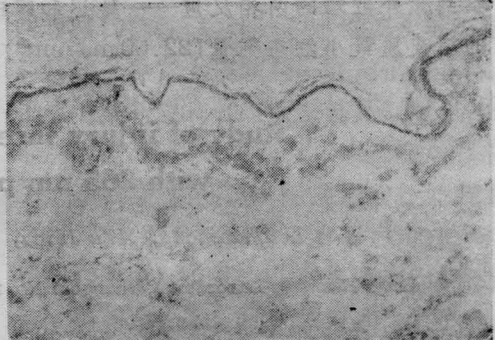
(a) 照后 5 分钟取样, 真皮乳头层和浅层毛细血管扩张、充血



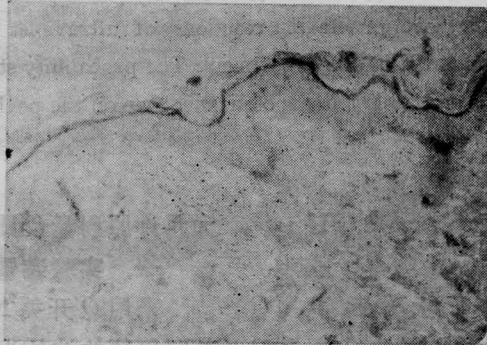
(b) 照射 5 分钟取样, 毛细血管扩张充血较明显



(c) 照后 5 分钟取样, 毛细血管扩张、充血, 小灶性棘细胞水肿



(d) 30 分钟取样, 毛细血管扩张充血减轻



(e) 30 分钟取样, 毛细血管扩张, 充血减轻

图 4 CO₂ 激光照射后皮肤病理改变情况

(放大 12×10 倍)

基底细胞液化(空泡形成); 30 分钟取样切片, 绝大多数见血管轻度扩张, 充血减轻, 见少许棘细胞, 基底细胞水肿仍未消退。由组织学可知, 该辐照量所引起的损伤是阈损伤, 是可逆的。

三、结果和讨论

本实验的结果是: CO₂ 激光对黄种人皮肤的急性损伤阈值 $MRD_{50} = 2.3 J/cm^2$ 。

本研究与 Rockwell 和 Goldman 等人测

定人皮肤的 $MRD_{50} = 2.8 J/cm^2$ (白人、黑人) 相比, 较接近但偏小些。其主要原因在于观察红斑的标准时间定为 5 分钟, 而 Goldman 等定为 60 分钟。根据我们的动物实验得知, 随着观察标准时间变大, MRD_{50} 值也有些增大。我们曾对个别志愿者(男, 45 岁)进行测定, 以 30 分钟为观察红斑标准时间, 用改进寇氏法求出 $MRD_{50} = 3.1 J/cm^2$, 其值比 $2.8 J/cm^2$ 还要大些, 这是由于我们实验中取辐

(下转第 588 页)

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.