

CO₂ 激光对角膜损伤阈值的研究

徐碣敏 周淑英 胡富根 曹维群 徐贵道 钱焕文 王登龙 施良顺

(军事医学科学院放射医学研究所)

提要: 用连续 CO₂ 激光器, 照射青紫蓝灰兔眼 142 只。求得平均照射时间 1.03 秒, 角膜损伤阈值 ED₅₀ ≈ 5.72 W/cm² (95% 可信限 5.58~5.85 W/cm²); 平均照射 0.12 秒, ED₅₀ ≈ 10.7 W/cm² (95% 可信限 10.4~10.9 W/cm²)。

Injury threshold of cornea by CO₂ laser light exposure

Xu Jiemin, Zhou Shuying, Hu Fugen, Cao Weiqun, Xu Guidao,
Qian Huanwen, Wang Denglong, Shi Liangshun

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

Abstract: The minimal visible lesion in the corneal epithelium resulted from exposure to CO₂ laser light has been carefully determined. The dose to cause 50% damage probability (ED₅₀) varied with time of exposure: for 1.03 s was 5.72 W/cm² (95% CL 5.8~5.85 W/cm²) and for 0.12 s was 10.7 W/cm² (95% CL 10.4~10.9 W/cm²).

CO₂ 激光器是目前工业、科研、医疗以及军事上应用最广泛的器件之一。本文研究连续 CO₂ 激光不同照射时间、不同照射剂量与角膜损伤发生率的关系。从中求得损伤阈值。

一、实验

实验用照射装置由 CO₂ 激光器、功率衰减器、时间控制及测试仪、监视通过式功率计、准直 He-Ne 激光器、限孔光阑及动物照射台组成, 如图 1、2 所示。最大输出为 20 W, 器件输出稳定度在 ±3% 以内, 近似单横模, 发散角 < 2.5 mrad。

照射时间测量精度优于 0.5%。照射时间分两组, 平均 1.03s 和 0.12s, 时间测量的标准误差系数 < ±1% 和 < ±5%。激光功率测量的标准误差系数 < ±5%。

实验动物用青紫蓝灰兔, 体重 2.4~3.7



图 1 照射装置

kg, 照前经裂隙灯显微镜检查正常。照射时兔置于三维调节架上, 眼前置 φ1 mm 光阑限束, 以同光路 He-Ne 激光瞄准。照后 10 分钟内进行裂隙灯显微镜检查, 由两人以上核对。部分眼球摘出进行病理组织学观察。实验共照射 142 只兔眼, 854 个照射点, 分 11 个剂量组, 1~6 组照射时间平均 1.03s; 7~11 组平均为 0.12s。

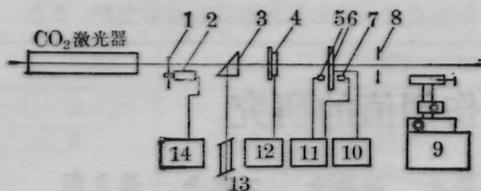


图2 照射装置光路图

1—不锈钢网；2—直流马达；3—直角棱镜；
4—通过式功率计；5—光源；6—机电快门；
7—光电管；8—光闸；9—动物照射台；
10—定时器；11—时间测定；12—1503数
字表；13—He-Ne激光器；14—电源

二、结果

1. 角膜损伤表现: 本实验照射剂量范围为平均功率密度 $4.17 \sim 13.4 \text{ W/cm}^2$, 所造成的损伤皆轻微浅表, 局限于角膜上皮层。裂隙灯下无圆形灰白色或淡灰色损伤斑, 轻者为淡灰色斑点或如新月形中央有一白点。损伤斑一般于照后 $16 \sim 24$ 小时自行消退, 灰白色损伤斑于 $48 \sim 72$ 小时明显减轻如薄纱状。

2. 照射剂量、照射时间与角膜损伤发生率关系: 在本实验条件下, 两种不同照射时间, 11组不同照射剂量与角膜发生率见表7。由表可见, 角膜损伤发生率随平均功率密度的增加而提高, 对于同等损伤发生率则随照射时间的延长, 所需照射剂量降低。

3. 角膜损伤阈值计算: CO_2 激光角膜损伤阈值 ED_{50} 通常指照后 10 分钟内, 以裂隙灯显微镜检查, 有 50% 几率发生角膜刚可见损伤所需的照射剂量。根据实验结果得:

照射时间平均 1.03 s , 回归方程:

$$\hat{Y} = 16.66x - 7.611$$

$$\text{ED}_{50} \approx 5.72 \text{ W/cm}^2$$

(95% 置信限 $5.58 \sim 5.85 \text{ W/cm}^2$)

照射时间平均 0.12 s , 回归方程:

$$\hat{Y} = 11.77x - 7.087$$

$$\text{ED}_{50} \approx 10.7 \text{ W/cm}^2$$

(95% 置信限 $10.4 \sim 10.9 \text{ W/cm}^2$)

CO_2 激光照射剂量, 照射时间与角膜损

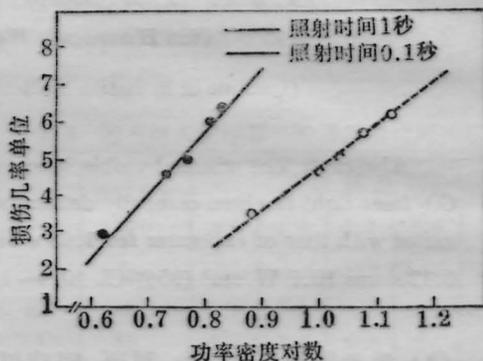


图3 CO_2 激光照射剂量、照射时间与角膜损伤发生率的关系

实线— 1.035 s 虚线— 0.125 s

表1 CO_2 激光照射剂量、照射时间与角膜损伤发生率关系

实验分组	平均照射时间(s)	照射剂量		损伤发生率	
		平均能量密度 (J/cm^2)	平均功率密度 (W/cm^2)	损伤数/样点数	百分率
1	1.0463	8.32	7.95	50/50	100
2	1.0251	7.07	6.89	61/66	92.4
3	1.0240	6.62	6.47	70/82	85.4
4	1.0233	6.04	5.90	25/50	50.0
5	1.0215	5.50	5.39	26/72	36.1
6	1.0232	4.27	4.17	2/102	1.96
7	0.1209	1.62	13.4	62/70	88.6
8	0.1218	1.45	12.0	47/60	78.3
9	0.1211	1.31	10.9	34/60	56.7
10	0.1219	1.24	10.1	68/192	35.4
11	0.1280	0.972	7.59	4/50	8.0

伤发生率的回归线见图4。

三、损伤的病理组织学观察

23只兔眼的病理组织学观察表明,在此照射剂量范围内,基本病变为角膜上皮凝固、水肿及坏死,典型病灶可划分为三个区带:

1. 中央坏死区:角膜灼伤中央,细胞发生凝固坏死,脱落而形成局部上皮缺损。缺损的大小、部位不定,多位于病灶中央,但也有偏于一侧,这可能与CO₂激光“热点”分布并非恒定有关。坏死较重者,全上皮层脱落形成平底或锥形凹陷,轻者仅表层上皮细胞剥脱形成蚕食状或残留上皮如岛状。基质层都无明显改变。

2. 周围凝固带:随着光束周围部分光强的减弱,损伤逐渐减轻。坏死区周围病变以细胞凝固为主,出现核固缩、浓染或核破碎。

3. 边缘水肿、凝固带:病灶边缘角膜上皮浅层扁平或翼状细胞发生肿胀或凝固,出现核皱缩。

(上接第731页)

第四,基模激发效率对轴向偏差的分布并不对称。在 d 偏小时,基模耦合效率随 d 的减小急剧下降。尤其是在 $d=0$ 时,激发效率特别低,比最佳耦合条件下的激发效率下降了50倍之多。因此在实用中,我们宁愿把 d 调整得比 d_0 大,也不愿让它比 d_0 小。

第五,图3给出,横向偏差存在时基模激发效率随波导芯半径 a 的变化有两个明显的

(上接第734页)

激光类型不同时,皮肤的漫反射比不一样,其原因有待进一步分析研究,可能与能量转换速率有关,即激光照射时间短,因光能不能充分地转换成组织的热能,使皮肤对激光的反射量相对增加,所以,测得1060nm波长巨脉冲的反射比最高,连续光最小,长脉冲居中。

以上分析讨论看出,本文所测数据基本

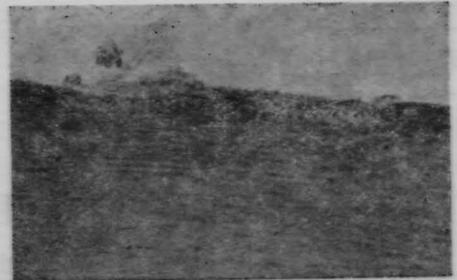


图4 CO₂激光照射角膜上皮细胞核固缩,表层剥脱

以上为典型病灶表现,随着照射剂量的不同,损伤程度亦有差别。稍重病灶,损伤面积大、坏死组织脱落多。轻型病灶,都无坏死病变,而仅发生上皮层凝固如图5所示。极轻病灶,损伤小而浅,仅波及浅层细胞发生肿胀凝固,有的病灶形似一小浅盘,径长200~300 μ m。阈值附近照射剂量的损伤多表现为轻型或极轻型。

本文数据的计算机统计处理由汤仲明同志协助,特此致谢。

参考文献(略)

特点:一个是随着横向偏差量 Δ 增大,其激发效率下降,并且使曲线变得较为平坦;另一个特点是最佳激发效率所对应的 α 值,随着 Δ 增大,有一个朝着 α 减小的方向的小移动。

参 考 文 献

- [1] 张志鹏,石守勇;《中国激光》,1984,11, No. 10, 602.
- [2] D. Marcuse; *Bell Syst. Tech. J.*, 1977, 56, 703.

可靠,可为皮肤激光损伤阈值研究和安全防护标准的制订提供参考。

参 考 文 献

- [1] J. P. G. Williams; 1971, AD-735794.
- [2] L. Goldman *et al*; "Laser in Medicine", New York, 1971, p. 163~172.
- [3] R. J. Reckwell *et al*; 1974, AD-A012703.
- [4] J. Jacquez *et al*; *J. Appl. Physiol.*, 1955, No. 8, 212~214.