

连续 Nd³⁺:YAG 激光对视网膜损伤阈值的研究

徐碣毓 胡富根 周淑英 曹维群 徐贵道 钱焕文 施良顺 王登龙

(军事医学科学院放射医学研究所)

提要 连续 Nd³⁺:YAG 激光照射青紫蓝灰兔眼 100 只, 1000 个照射点, 求得照射时间平均 1.02s 及 0.12s, 检眼镜可见视网膜损伤阈值, 其 ED₅₀ 分别为角膜平均入射 2.52 W/cm² 及 5.42 W/cm²。

Retinal injury threshold by CW Nd³⁺:YAG laser light

Xu Jiemin, Hu Fugen, Zhou Shuying, Cao Weiqun,

Xu Guidao, Qian Huanwen, Shi Liangshun, Wang Denglong

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

Abstract: One hundred chinchilla rabbit eyes were exposed to CW Nd³⁺:YAG laser light. Using Ophthalmoscopic criteria for retinal injury, the intraocular injury points (ED₅₀) were 2.52 W/cm² and 5.42 W/cm² for exposure time of 1.02 s and 0.12s, respectively.

本文研究连续 Nd³⁺:YAG 激光对眼的损伤阈值, 目的为制订激光安全标准提供生物学参考依据。

实验装置与方法

实验用照射装置由 JQY-1 型连续 Nd³⁺:YAG 激光器、激光照射时间监测器、电控快门、He-Ne 激光、限束光阑等组成。激光器最大输出功率为 ~9.5 W。激光光束发散角经 3 倍的准直望远镜和焦距为 510 mm 的单透镜压缩后, 分别为 16 mrad 和 3 mrad。功率输出稳定度小于 ±5%。限束光阑直径为

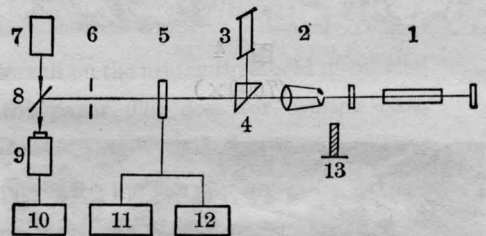


图 2 连续 Nd³⁺:YAG 激光功率测量光路示意图

1—连续 Nd³⁺:YAG 激光器; 2—发射望远镜;
3—He-Ne 激光器; 4—直角棱镜; 5—快门;
6—光阑; 7—TOPCON 眼底照相机; 8—反射镜;
9—RKP-545 探头; 10—RK-5200 激光功率比率计; 11—定时控制器; 12—时间监测器; 13—挡板

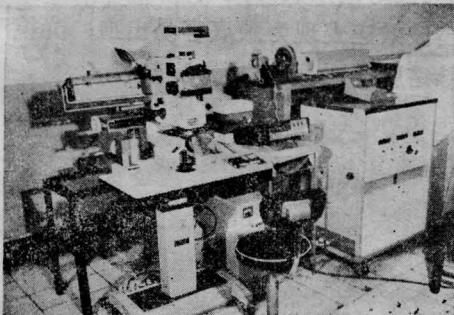


图 1 连续 Nd³⁺:YAG 激光照射装置

5 mm。照射装置及光路见图 1、2。

实验动物用青紫蓝灰兔, 体重 2~3 kg, 照前眼底检查正常, 眼的屈光不正, 远视不超过 2.25 D, 近视不超过 1.00 D, 未予校正。

激光照射部位限于兔眼后极部中央区, 每眼照射 10 个样点, 照后 1 及 24 小时进行检眼镜观察, 由二人以上核对。部分动物活杀, 摘出眼球进行病理组织学观察。

实验结果

本实验照射剂量范围为角膜平均入射 $2.02 \sim 9.09 \text{ W/cm}^2$, 照射平均时间 1.02 s 及 0.12 s , 每一时间照射 5 个剂量组。共计照射 100 只兔眼, 1000 个样点。

1. 视网膜损伤表现

在本实验照射剂量下, 视网膜损伤轻微。照后 1 小时以检眼镜观察, 见小圆形、椭圆形淡灰色或灰白色斑, 周围及中心有少许细小黑色素颗粒, 有的外周有淡灰白色水肿环。稍重者病灶中央有针尖大小黑色灼伤点, 个别损伤灶中央有小点状出血。

照后 24 小时观察, 损伤稍扩大, 周围黑色素颗粒聚集明显增多, 3~5 天后水肿消退, 5~10 天后损伤灶向心缩小, 形成淡灰色素沉着斑。

连续 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光照射后视网膜损伤表现见图 3。

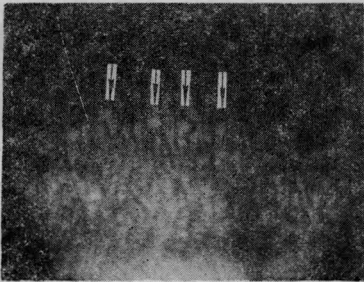


图 3 连续 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光照射兔视网膜淡灰色损伤斑(照射时间 0.1 s , 5.09 W/cm^2)

2. 激光照射剂量、照射时间与兔视网膜损伤发生率关系

本实验共分 10 个剂量组, 1~5 组平均照射时间为 1.02 s , 6~10 组平均照射时间为 0.12 s 。激光照射剂量、照射时间与损伤发生率见表 1。由表可见, 视网膜损伤发生率随角膜入射功率密度的提高而增加, 所需角膜入射功率密度随照射时间的延长而降低。照射时间平均 1.02 s , 角膜平均入射 $2.02 \sim 3.21 \text{ W/cm}^2$, 损伤发生率 $11 \sim 92\%$ 。照射时间平均 0.12 s , 角膜平均入射 $3.56 \sim 9.09 \text{ W/cm}^2$, 损伤发生率 $13 \sim 91\%$ 。

表 1 连续 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光照射剂量、照射时间与兔视网膜损伤发生率

实验分组	平均照射时间 (s)	平均角膜入射剂量		损伤发生率	
		(W)	(W/cm^2)	损伤数/样点数	(%)
1	1.019	6.30×10^{-1}	3.21	92/100	92
2	1.022	5.62×10^{-1}	2.87	73/100	73
3	1.023	4.99×10^{-1}	2.55	53/100	53
4	1.019	4.50×10^{-1}	2.30	33/100	33
5	1.020	3.96×10^{-1}	2.02	11/100	11
6	0.116	1.73	9.09	91/100	91
7	0.117	1.27	6.47	67/100	67
8	0.118	9.98×10^{-1}	5.09	44/100	44
9	0.119	8.37×10^{-1}	4.27	28/100	28
10	0.118	6.97×10^{-1}	3.56	13/100	13

3. 连续 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光眼损伤阈值的计算

用 Bliss 几率单位加权迭代回归法进行统计计算, 求得连续 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光照射剂量对数 (X) 与兔视网膜损伤几率单位 (\hat{Y}) 的回归方程及 ED_{50} 如下:

照射时间平均 1.02 s , 回归方程:

$$\hat{Y} = 12.45X + 0.0065$$

$$\text{ED}_{50} \approx 2.52 \text{ W/cm}^2$$

(95% 可信限 $2.46 \sim 2.58 \text{ W/cm}^2$)

照射时间平均 0.12 s , 回归方程:

$$\hat{Y} = 5.950X + 0.6335$$

$$\text{ED}_{50} \approx 5.42 \text{ W/cm}^2$$

(95% 可信限 $5.16 \sim 5.69 \text{ W/cm}^2$)

回归线以 X^2 检验。照射时间平均 1.02 s 及 0.12 s 两组的 X^2 值分别为 1.0401 及 0.1695, 均明显低于 $X_{0.05}^2$ 值 7.8045 ($P > 0.05$), 表明在两种照射条件下, 剂量对数与视网膜损伤发生的几率单位线性关系好。回归线见图 4(a)、(b)。

4. 连续 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光视网膜损伤病理表现

本实验阈值附近照射剂量, 照射时间平均 1.02 s 角膜平均入射 $2.55 \sim 3.21 \text{ W/cm}^2$,

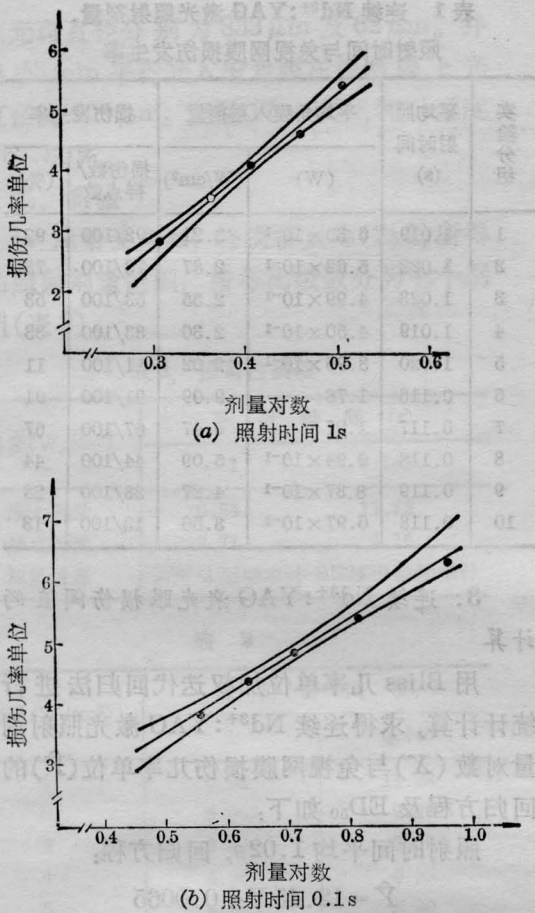


图4 CW-YAG 激光照射兔眼损伤
几率单位与剂量对数关系

照射时间平均 0.12s 角膜平均入射 5.09 W/cm², 视网膜损伤的病理变化有以下表现:

视网膜下有颗粒状渗出物及气化区, 使病灶微微隆起。气化区位于渗出液与外颗粒层间, 呈圆形向四周扩张, 形如网眼状, 间隙大小不等。气化区内有时可见脱落的坏死外颗粒层细胞核。

一些色素上皮细胞高度肿胀或甚至破裂, 黑色素颗粒散在游离, 或堆积成色素条索。损伤区视细胞外节多断裂, 但内、外颗粒层尚排列有序。典型病灶长约 200~300 μm (见图 5(a)、(b))。

照射剂量高于阈值, 渗出气化区可将内、外颗粒层细胞核冲开缺口, 出现核固缩, 甚至内界破裂, 神经节细胞核肿胀坏死或脱落。



(a) 视网膜下渗出、气化(照射时间 1s, 2.55 W/cm²)



(b) 视网膜下渗出、色素游离, 气化区冲开内外颗粒层(照射时间 1s, 5.09 W/cm²)

图5 连续 Nd:YAG 激光照射
兔视网膜损伤病灶 (×63)

小结

实验用 JQY-1 型连续 Nd:YAG 激光照射青紫蓝灰兔眼 100 只, 照射 1000 个样点。以 Bliss 几率单位加权迭代回归法求得照射时间平均 1.02s 及 0.12s, 视网膜损伤阈值, 其 ED₅₀ 分别为 2.52 W/cm² 及 5.42 W/cm²。文中对其损伤表现及病理变化进行描述。

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)