

Nd³⁺:YAG 倍频激光对眼损伤阈值的研究

徐碣毓 周淑英 胡富根 曹维群 陈宗礼

张桂素 王登龙 钱焕文 徐贵道

(军事医学科学院放射医学研究所)

提要: 实验用 Nd³⁺:YAG 倍频激光照射青紫蓝灰兔眼及恒河猴眼。求得视网膜损伤阈值 ED₅₀, 兔眼和猴眼的角膜入射能量密度分别为 39.2 μJ/cm² 及 187 μJ/cm²。两 ED₅₀ 之比为 1:4.7。

Study of retinal injury threshold for Nd:YAG frequency-doubled laser light

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

Zhang Guisu, Wang Denglong, Qian Huawen, Xu Guidao

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

Abstract: When the eyes of chinchilla rabbits and rhesus monkeys were exposed to laser pulse of the wavelength of 0.53 μm, the ED₅₀ value thus obtained were 39.2 uJ/cm² and 187 uJ/cm² for intraocular energy density respectively. The experimental results showed that monkey fundus is considerably less sensitive than the rabbit fundus.

本文研究 Nd³⁺:YAG 倍频激光对兔眼及猴眼的损伤阈值, 以为制订激光安全标准参考。

照射装置与实验方法

实验用 Nd³⁺:YAG 激光器, 由一级振荡组成, 用 KD*P 调 Q, 输出 1.06 μm 基频光; 用 KDP 倍频, 输出 0.53 μm 绿光, 脉冲宽度 5 ns, 束散角小于 0.5 mrad, 输出为单横模。

照射装置及其光路如图 1、2, 在倍频晶体和分束器前、后分别加不同倍数的(1.06 和 0.53 μm) 衰减片, 配合充电电压的调整, 改变滤光片的组合, 可得到所要求的激光照射剂量值。

激光照射剂量以角膜入射能量给出。采用分束进行实时监测的方法, 测出了 13 组

1382 个实验样点的照射剂量, 以 45 组监视比, 496 个数据统计, 测量误差为 1.7~4.8% 满足了生物效应实验对微能量精度的要求。

实验动物选用青紫蓝灰兔, 体重 2~3 kg, 恒河猴体重 2~7 kg, 验光检查双眼正常。照后 1、24 小时进行眼底检查, 由 2 人以上核

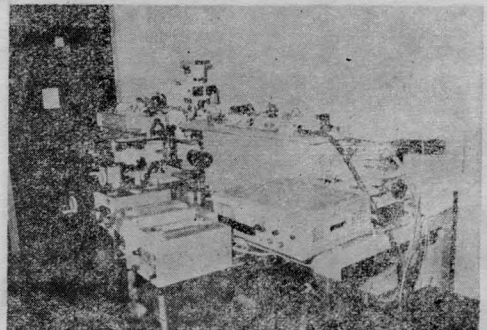


图 1 Nd³⁺:YAG 倍频激光眼损伤照射装置

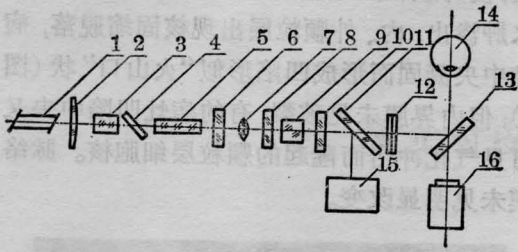


图2 Nd³⁺:YAG 倍频激光眼损伤
照射装置光路图

1—He-Ne 激光器; 2~7—平凸非稳定腔激光器;
8、12—衰减片; 9—倍频晶体; 10—1.06 μm 滤光
片, 11—分束镜; 13—反射镜; 14—动物照射眼;
15—监测能量计; 16—TOPCON 眼底照相机

对。实验共照射兔眼 70 只、530 个照射点，
猴眼 10 只，220 个照射点。

实验结果

1. 兔视网膜损伤阈值研究

兔眼照射能量密度范围为角膜平均入射
14.4~70.1 μJ/cm²，能量范围为角膜平均入
射 2.83~13.7 μJ。所造成视网膜损伤表现，
最轻型损伤为小色素环或色素聚集，大多于
24 小时消失。另一类轻度损伤为圆形淡灰色
凝固水肿斑，中央可有少许色素沉着，边界不
甚清晰，如图 3。部分损伤灶于 24 小时消失，
大部分于 72 小时形成色素斑点。随着照射剂
量增加，出现少数小出血斑，呈圆形或“菊花”
形。

实验结果表明，Nd³⁺:YAG 倍频激光所
致视网膜损伤发生率随角膜入射能量密度的

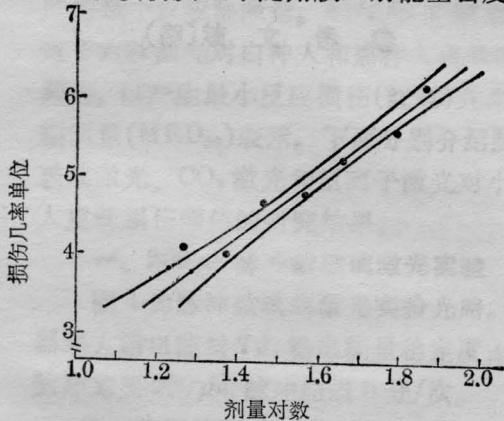


图3 倍频 Nd³⁺:YAG 激光照射兔视网膜
损伤几率单位与剂量对数关系

增加而提高。照射剂量与 1 小时内视网膜损
伤发生率关系见表 1。以 Bliss 几率单位加权
迭代回归法，求得照射剂量对数(X)与视网
膜损伤发生几率单位(\hat{Y})的回归方程及损伤
阈值即 ED₅₀:

$$\hat{Y} = 3.838X - 1.116$$

$$ED_{50} \approx 39.2 \mu\text{J}/\text{cm}^2$$

(95% 可信限 36.5~42.1 μJ/cm²)

兔视网膜损伤几率单位与剂量对数回归
线见图 3。

表 1 倍频 Nd³⁺:YAG 激光照射剂量
与兔视网膜损伤发生率

实验 分组	平均角膜入射剂量		损伤发生率	
	(J)	(J/cm ²)	损伤数/样点数	(%)
1	2.83 × 10 ⁻⁶	1.44 × 10 ⁻⁵	0/22	0
2	3.61 × 10 ⁻⁶	1.84 × 10 ⁻⁵	7/44	15.9
3	4.44 × 10 ⁻⁶	2.27 × 10 ⁻⁵	7/48	14.6
4	5.54 × 10 ⁻⁶	2.83 × 10 ⁻⁵	20/58	34.5
5	7.04 × 10 ⁻⁶	3.59 × 10 ⁻⁵	37/91	40.7
6	8.64 × 10 ⁻⁶	4.41 × 10 ⁻⁵	47/80	58.8
7	1.09 × 10 ⁻⁵	5.55 × 10 ⁻⁵	74/107	69.2
8	1.37 × 10 ⁻⁵	7.01 × 10 ⁻⁵	69/80	86.2

2. 猴视网膜损伤阈值研究

猴眼照射能量密度范围为角膜平均入射
210~327 μJ/cm²，能量范围为 412~642 μJ。
在此剂量照射条件下，损伤均轻微，表现为小
圆形淡灰色凝固斑、点，边界清晰。本实验照
射 220 个样点，在 1 小时内出现 52 个凝固性
损伤斑，照后 24 小时，部分损伤消失，但又增
加 13 个损伤斑。

表 2 列出 0.53 μm 激光照射剂量与猴视
网膜 1 小时内损伤发生率。以 Bliss 几率单
位加权迭代回归法，求得视网膜凝固性损伤
几率单位(\hat{Y})与照射剂量对数(x)的回归方
程及 ED₅₀ 如下，回归线见图 4。

$$\hat{Y} = 2.804x - 1.373$$

$$ED_{50} \approx 187 \mu\text{J}/\text{cm}^2$$

(95% 可信限 156~238 μJ/cm²)

表2 倍频 Nd³⁺:YAG 激光照射剂量与猴视网膜损伤发生率

实验 分组	平均角膜入射剂量		损伤发生率	
	(J)	(J/cm ²)	损伤数/样点数	(%)
1	4.12×10 ⁻⁶	2.10×10 ⁻⁵	1/59	1.69
2	9.13×10 ⁻⁶	4.66×10 ⁻⁵	2/54	3.70
3	1.78×10 ⁻⁵	9.08×10 ⁻⁵	4/31	12.9
4	3.42×10 ⁻⁵	17.5×10 ⁻⁵	27/54	50.0
5	6.42×10 ⁻⁵	32.7×10 ⁻⁵	18/22	81.8

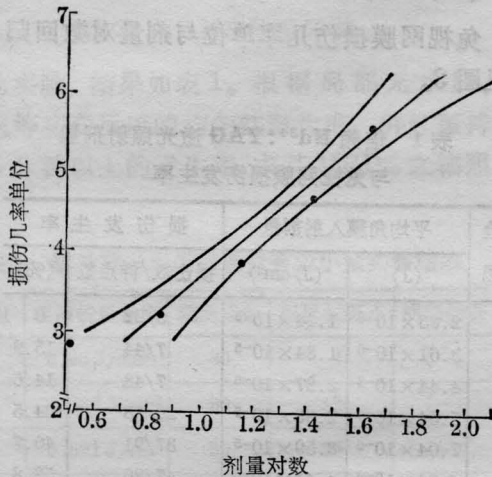


图4 倍频 Nd³⁺:YAG 激光照射猴视网膜损伤几率单位与剂量对数关系

3. 视网膜损伤的病理观察

阈值附近照射剂量视网膜损伤典型表现,可见视网膜下渗出,色素上皮细胞肿胀,黑色素颗粒游离,外节断裂,水肿渗出及气化区将外颗粒层冲开,内、外颗粒层中出现核固缩,整个病灶微隆起。脉络膜可见血管充盈扩张,如图5所示。猴视网膜典型损伤,亦主要为凝固,水肿渗出灶病变,网膜下渗出积

液,使外颗粒层细胞隆起,外网状层层间明显水肿渗出,内、外颗粒层出现核固缩脱落,病灶中央凝固而形成凹陷形似“火山口”状(图6);但内界膜未见破裂,有的病灶凹陷中央又可见气化冲击而隆起的颗粒层细胞核。脉络膜未见明显改变。



图5 Nd³⁺:YAG 倍频激光兔视网膜损伤病灶(×126)(视网膜下渗出、色素游离、外颗粒层渗出气化区,角膜入射7.28μJ)

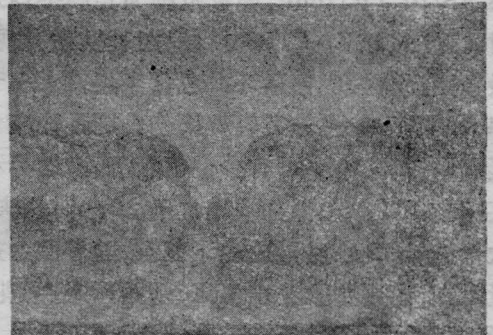


图6 Nd³⁺:YAG 倍频激光猴视网膜损伤病灶(×63)(视网膜下渗出,内层凝固凹陷)

参 考 文 献(略)