

Nd³⁺:YAG 调 Q 倍频激光对视网膜损伤阈值的研究

王康孙 王玲 张明琦 施香荷 陈刚强 石海云

(上海第二医科大学附属瑞金医院眼科)

江兰英 卓瑞鹏 胡庆沈 吴家女

(上海第二医科大学激光研究室)

提要: 本文介绍 Nd³⁺:YAG 调 Q 倍频激光对青紫蓝灰兔视网膜损伤阈值研究的材料、方法和结果。曝光时间 8×10^{-9} s, ED₅₀ 为 $232.05 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 。

Research on injury threshold of grey rabbits' retina by Q-switched and frequency doubled Nd³⁺:YAG laser

Wang Kangsun, Wang Ling, Zhang Minheng, Shi Xianghe, Chen Gangqiang, Shi Haiyun

(Department of Ophthalmology, Ruijin Hospital, Shanghai No. 2 Medical University)

Jiang Lanying, Zhuo Ruipeng, Hu Qingsheng, Wu Jianu

(Laser Research Lab., Shanghai No. 2 Medical University)

Abstract: The material, method and results of the research on the injury threshold of grey rabbits' retina caused by Q-switched and frequency doubled Nd³⁺:YAG laser light are introduced in this paper. When exposure time is 8 ns, ED₅₀ is $232.05 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ (precornea).

Nd³⁺:YAG 倍频激光波长为 5300 \AA , 呈绿光, 它不仅在眼球中间质的透过率高, 被视网膜、脉络膜色素组织吸收率高, 且又被血红蛋白大量吸收, 接近其吸收峰, 因此对眼球的致伤作用较其它可见光波段为大, 尤其在巨脉冲的条件下, 致伤率更高。本文作青紫蓝灰兔视网膜损伤阈值的研究, 为制订激光防护标准提供参考。

一、实验装置

本实验用的激光器为上海交通大学研制的调 Q 倍频 YAG 脉冲激光器。最大输出能量 20 mJ, 发散角 4.5 mrad, 脉冲宽度 8 ns, 单脉冲或重复脉冲(每秒一次), 多模。

光学系统由 He-Ne 激光器、分束器、滤

光片、衰减片以及眼底摄影机等构成(图 1)。

He-Ne 激光与实验用 5300 \AA 绿光同光路, 在实验过程中起定位瞄准作用。分束器

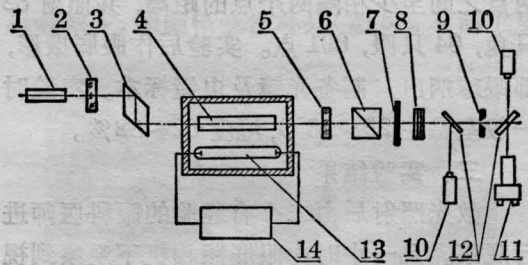


图 1 调 Q 倍频 YAG 激光器实验装置简图

- 1—He-Ne 激光器; 2—全反镜; 3—LN 调 Q 晶体;
- 4—掺钕钇铝石榴石棒; 5—半反镜; 6—KDP 倍频晶体;
- 7—滤光器; 8—衰减器; 9—小孔光阑; 10—能量计;
- 11—眼底照相机; 12—分束器; 13—脉冲氙灯; 14—电源

用作能量监测,分束比为1:1。

滤光片滤去红外光。衰减片调节5300Å波长激光的输出强度。由于本激光器的模式为多模,光斑均匀性较差,故在眼球照射部位前光路中放一直径2.5mm小孔光阑,以限制光斑大小及形状,保证照射激光的均匀性。在角膜前光束直径为4.0mm。Nikon眼底摄影机供实验中观察激光照射眼底的情况,并可随时摄影记录。激光直接通过角膜进入眼底,不加前置镜或接触镜。

调Q激光脉冲宽度非常窄,本实验采用TEKTRONICS 466型存贮示波器,其扫描时间20ns/div,可将接受到的光讯号贮存下来进行拍照。为保证实验数据的准确性,进行实时监测。RJP-700型激光能量计同时可有两个探测器接受光信号,机内可贮存分别测得的能量值和它们之间的比值。把它们分别置于光路中分束器后,由于分束比恒定,可有效地进行实时监测。经大量数据测定,实时监测换算出的能量值与实际值相比,误差小于5%。

二、实验方法

挑选色泽比较接近并无眼部病损2~3kg的青紫蓝灰兔。经麻醉处理后置于可以多维调节的动物箱内,先将He-Ne激光瞄准光束照入灰兔视乳头下方视区,通过Nikon眼底照相机观察,然后进行YAG调Q倍频激光辐照,每只兔眼底照射10~20个激光点,两点之间至少相隔两个点的距离,共照射32只兔,64只眼,691点。实验后作眼底摄影,部眼球摘出,制备光镜及电镜标本。实验时一般室温在25~28°C,湿度62~82%。

三、实验结果

激光照射后由二个有经验的眼科医师进行观察。凡一小时内眼底照相机下观察到视网膜出现的色素斑点和细小凝固斑或兼有小出血点者作为阳性反应。

1. 眼底照相机下表现:调Q倍频YAG激光照射兔视网膜后,出现的反应随着能量

的递增而不同,大致可分为以下六种:(1)仅见色素播散,呈肥皂泡样逐渐扩散;(2)细小凝固斑,中央有小色素点;(3)凝固斑,周围有色素圈;(4)葵花样出血,中央有凝固斑。出血可立即发生,亦可经数秒钟后发生;(5)圆形出血,出血在深层,中央有凝固斑。出血可立即发生或延迟发生,(6)视网膜大量出血,并流入玻璃体。一般在ED₁₀₀内的视网膜反应为色素播散与小凝固斑,有时亦可有出血点。这种病损非常小,在检眼镜下不易发现。

2. 光学显微镜表现:用330.41 μJ/cm²(ED₁₀₀能量)照射视网膜,于照射后30分钟取材,制备标本。光学显微镜下未见到视网膜色素上皮层、视细胞层及颗粒层有明显损伤,脉络膜血管轻度充血,并见出血。

3. 电子显微镜表现:用ED₁₀₀能量(330.41 μJ/cm²)照射30分钟后,见局部色素上皮层出现泡样结构,内充满中等电子密度的物质。细胞内有髓鞘样结构出现,线粒体肿胀,嵴断裂(图2)。部分视细胞外节段盘状结构局部空化,膜结构溶解消失,在膜结构之间出现高电子密度颗粒样物质(图3)。大片内节段线粒体肿胀,嵴断裂,呈空泡状(图4)。外颗粒层细胞浆溶解,细胞核变化不大(图5)。



图 2
(9250×)

4. 实验资料统计结果

本实验对64只兔眼,691个激光照射点的阳性反应情况,采用加权直线回归方法计

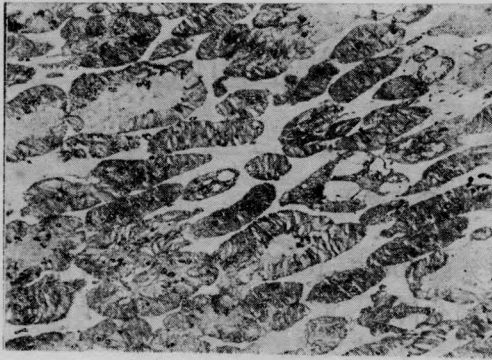


图 3
(5550 ×)

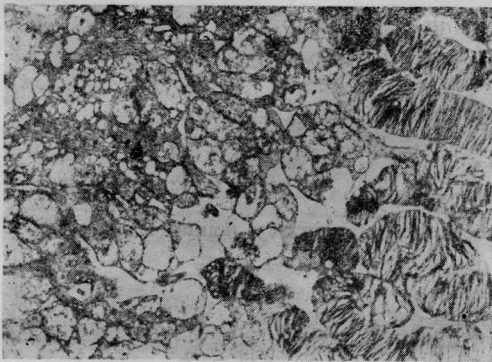


图 4
(7600 ×)

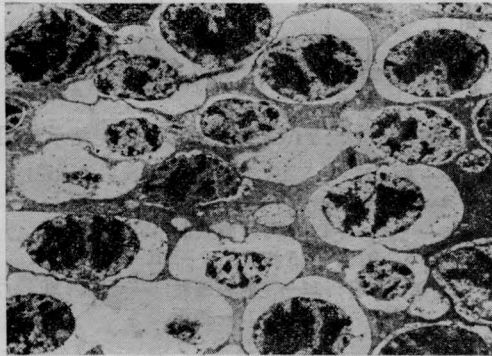


图 5
(5700 ×)

算其 ED_{50} , 实验结果见下表:

调 Q 倍频 YAG 激光照射兔眼视网膜反应结果

分组	平均照射能量 (μJ)	能量密度 ($\mu\text{J}/\text{cm}^2$)	照射 点数	反应 点数	阳性率 (%)
1	21.5	171.18	79	7	8.86
2	25.5	203.03	97	32	32.99
3	29.5	234.87	98	55	56.12
4	33.5	266.72	100	72	72.00
5	37.5	298.57	90	71	78.89
6	41.5	330.41	84	77	91.67

$ED_{50} = 232.05 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ (角膜前)

95% 可信限 224.87 ~ 239.45 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$

四、讨论

调 Q 倍频 YAG 激光由于其波长为 5300 Å, 无论对视网膜脉络膜色素组织和血红蛋白的吸收率均很高, 又由于其脉冲时间很短, 为毫微秒级, 因此当这激光照射视网膜后容易出血。其造成视网膜出血的能量与阈值损伤的能量比较接近。 ED_{50} 损伤能量为 29.14 μJ , 而当能量超过 40 μJ 就有一定比例的反应点发生出血, 约占 1/3 左右。因此, 调 Q 激光损伤阈值的研究与激光防护标准的制定, 具有特殊的重要性。

从眼底表现, 光学显微镜和电子显微镜观察, 小能量的巨脉冲 5300 Å 波长激光对视网膜脉络膜组织的影响, 既有热效应又有冲击波效应。其热效应表现在眼底出现凝固斑, 从组织学角度观察, 电镜下可见到照射局部色素上皮受到影响, 出现泡样结构, 内充满中等电子密度物质, 视细胞内、外节段都受到不同程度的破坏, 如盘状结构溶解、消失, 线粒体肿胀, 嵴断裂, 外颗粒层细胞浆溶解。其冲击波效应表现为眼底容易出血; 光镜下看到脉络膜出血, 而充血却比较轻。