

激光眼损伤效应

徐贵道·徐碣敏*

(北京放射医学研究所)

本文报导了不同波长、不同发射方式、不同剂量的激光对兔眼的损伤效应；比较了不同色素兔眼的损伤阈值；讨论了兔、猴、人眼损伤阈值的大致比例。

The injurious effects of laser on eyes

Xu Guidaο, Xu Jiemin

(Institute of Radiation Medicine, Beijing)

Abstract

The injurious effects of different wavelength laser with various operating mode and exposure doses on eyes were reported. Comparison of laser damage effects on eyes was conducted between rabbits with different extent of pigment. The ratio of laser damage threshold for eyes of rabbit, monkey to the yellow race was also discussed.

眼是一个对光敏感的成象光学系统，它能使入射的激光束，以很小的面积成象在视网膜上，而使视网膜上的剂量（辐照度或辐照量的统称，下同）提高四到五个量级，很小的入射量便会产生严重的损伤。因此，激光的出现，给医学提出了一个激光眼效应研究的新课题。

本文以我们的工作为主，并收集了国内已发表的有关资料，讨论了不同波长，不同发射方式（不同照射时间），不同剂量的激光对兔眼的损伤效应。比较了不同色素兔眼的损伤剂量。给出了兔、猴、人眼损伤阈值的比值。

一、实验条件

实验条件包括：激光照射装置、激光参数测试仪器、实验动物及损伤观察仪器。

1. 激光照射装置

*参加工作的还有：陈宗礼、钱焕文、王登龙、高光煌、施良顺、张桂素、胡富根、周淑英、曹维群、刘海峰。

本文涉及的8个波长的数据，共用了9种激光照射装置。以发射方式可分为连续和脉冲两种。

连续激光照射装置，一般包括连续输出激光器，如He-Ne, Ar⁺, CO₂, CW-YAG等；光开关系统；照射时间实时检测系统；剂量调节衰减系统；三维调节动物照射台；定点照射实时观察装置；实时监测功率计；限孔光栏及He-Ne准直系统。典型光路如图1。

脉冲照射装置，一般包括：脉冲激光器，如Nd³⁺:YAG、红宝石、准分子、倍频YAG、脉冲二氧化碳等激光器；保证单色光束的滤光片；用于剂量调节的中性滤光片；限孔光栏；实时监测的能量计；定点照射、实时观察系统；He-Ne准直系统；三维调节动物照射台。典型光路如图2。

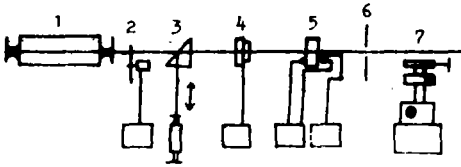


图1 典型连续激光照射装置光路图 (CW-CO₂照射装置)。

1. CO₂激光器, 2. 剂量调节旋转钢网, 3. 准直He-Ne激光器, 4. 监测用通过式功率计, 5. 快门及照射时间测量系统, 6. 限孔光栏, 7. 三维调节照射架

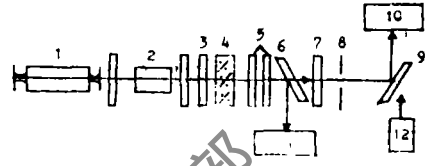


图2 典型脉冲照射装置光路图 (YAG倍频装置)。

1. 准直He-Ne激光器, 2. YAG激光器, 3. 非稳腔补偿透镜, 4. 倍频器, 5. 1.06 μ m滤除片, 6. 分束片, 7. 剂量调节滤光片, 8. 限孔光栏, 9. 0.53 μ m 45°全反射镜, 10. 能量计 (或照射眼), 11. RJ-7200能量计, 12. Topcon眼底镜

2. 激光参数测试仪器

本实验需要测试的激光参数有：激光功率或能量，脉冲宽度或照射时间，角膜入射光斑，光束发散角等。激光功率和能量分别由RK-5200功率计和RJ-7200能量计进行测量，仪器定期经国家计量标准刻度。脉冲宽度由强流管及7904型示波器测得。入射光斑取实验时眼前放置的限孔光栏直径，对损伤角膜为主的红外及紫外线，光栏直径取 ϕ 1mm，以损伤视网膜为主的可见及近红外光取 ϕ 5mm。光束发散角用相纸打光斑法（或照相法）求出。

3. 实验动物

使用体重为2~3kg的青紫兰灰兔和白兔及2~7kg的恒河猴。

4. 眼检查仪器

用手持式检眼镜和Topcon眼底照相机检查眼底损伤。裂隙灯检查眼角膜损伤。

二、实验方法

一般每个波长分5~10个剂量组进行。实验前测出激光照射装置的有关参数。调、测出所需剂量。并用He-Ne光束或定点照射装置指示兔眼将要照射的位置。动物经角膜和眼底检查，选用正常者实验。照前用百分之零点五的复方托品酰胺散瞳。动物固定在三维调节架上，通过调节架将眼照射部位调至He-Ne光束或定点照射装置所指示的位置上，进行照射。

照后即刻和一小时內检查，以统计损伤发生率和确定损伤程度。对典型病例进行照象和取样切片电镜下观察。损伤剂量由实时监测读数给出。对每个波长，剂量由低到高逐组进行。

三、数据处理及结果

本研究主要观察了：不同波长的激光对青紫兰灰兔眼的损伤效应；不同发射方式（连续、脉冲、巨脉冲）的损伤效应；不同剂量损伤发生率和不同损伤程度；兔、猴、人眼损伤剂量的比值；不同色素的兔眼损伤剂量比较。

1. 不同波长激光的损伤效应

表1列出了八个波长的激光对青紫兰灰兔眼的损伤阈值。

表1 兔眼损伤阈值

波长 (nm)	照射时间 (或脉冲)	实验物	阈值剂量	文献
222	8ns	兔角膜	$5.44 \times 10^{-2} \text{J/cm}^2$	
308	10-100ns	"	$8.30 \times 10^{-3} \text{J/cm}^2$	
488	0.145	兔眼	$5.04 \times 10^{-4} \text{W/cm}^2$	[1]
530	5ns	"	$3.92 \times 10^{-5} \text{J/cm}^2$	
530	8ns	"	$2.32 \times 10^{-4} \text{J/cm}^2$	[2]
632.8	0.125s	"	$2.15 \times 10^{-4} \text{W/cm}^2$	[3]
694.3	0.32ms	"	$1.49 \times 10^{-2} \text{J/cm}^2$	
1060	0.1s	"	$5.42 \times 10^0 \text{W/cm}^2$	
1060	5ns	"	$1.21 \times 10^{-3} \text{J/cm}^2$	
10600	0.12s	兔角膜	$1.08 \times 10^1 \text{W/cm}^2$	
10600	180ns	"	$2.59 \times 10^{-2} \text{J/cm}^2$	

本文所述“阈值”是指：每只兔眼照射后即刻和一小时，由两个以上有经验的科技人员，用检眼镜或裂隙灯检查确认是否发生了损伤。剂量不同损伤发生率不同。一个波长分数个剂量组，照后对该波长不同剂量组的损伤发生率经统计学处理，求出百分之五十损伤发生率所对应的剂量，称损伤“阈值”，或称ED₅₀。

由表1可见，波长不同损伤阈值不同。530nm绿光阈值最低。

2. 不同照射时间的损伤效应

表2 不同照射时间的损伤效应

波长 (nm)	照射时间	实验物	阈值研究 (J/cm ²)
1060	1s	兔眼	2.52×10^0
1060	0.1s	"	5.24×10^{-1}
1060	150μs	"	1.46×10^{-2}
1060	5ns	"	1.21×10^{-3}

表2是1060nm波长激光,不同照射时间的阈值数据。可见照射时间不同其阈值也不同。脉冲窄而阈值低。

本来1060nm波长的光与组织作用,主要是热效应,随着脉宽的压缩,峰值功率剧增,因而光冲击作用以及由于组织微爆而产生的二次冲击作用逐渐显著,致使脉冲宽度窄时损伤阈值低。

3. 损伤发生率与剂量的关系

由于动物的个体差异等因素,在某一低剂量时,并不是每个照射点都发生损伤。表3是

表3 损伤发生率与剂量的关系
(波长1060nm、脉宽5ns)

分 组	角膜入射剂量 (J/cm ²)	损伤发生率 (%)
1	9.32×10^{-4}	9.0
2	1.02×10^{-3}	20.0
3	1.16×10^{-3}	41.6
4	1.29×10^{-3}	57.0
5	1.44×10^{-3}	85.0

以1060nm实验为例,给出了剂量和损伤发生率的数据。

由表3可见,随着剂量的增加,损伤发生率增高。可以预计当剂量大到某一值时,损伤发生率可以达到100%。

4. 损伤程度与剂量的关系

可以把损伤程度分为:轻、中、重度。

远红外及紫外线,主要对角膜损伤。轻度损伤可引起角膜浅层混浊。中度可形成角膜深层或全层白色凝固斑。重度损伤可造成角膜凝

固坏死,气化穿孔,瞳孔变形,甚至房水外溢,晶体前表面混浊。

可见光及近红外光主要损伤视网膜。轻度损伤可引起视网膜凝固水肿。这类损伤病变小,消失快,一般不会引起视力的丧失。中度损伤可造成圆型或“菊花”形的出血斑,有少量出血进入玻璃体。病理组织学表现,受照区视感受器崩解,视网膜外层出血渗出而形成隆起的“丘”形损伤灶。这类损伤大多数在1~2周愈合,并形成机化瘢痕。重度损伤,视网膜爆裂,大出血,组织气化,形成气泡。病理组织学表现为视网膜全层坏死崩解,形成“火山口”状病灶,出血进入玻璃体内。这类损伤3~4周出血大部分吸收,视网膜形成大面积疤痕。

表4列出了694.3nm激光不同剂量所造成不同损伤的百分比。

由表3、4可见,当剂量增高时不但损伤发生率增高,损伤程度也加重。

5. 兔、猴、人眼损伤阈值之比

鉴于青紫兰灰兔眼接近于有色人种的眼,且价廉易得,所以大量数据是由青紫兰灰兔眼实验取得的。但兔眼与人眼还存在着一定的差别。如何将兔眼数据推到人眼?实验又用了少数更接近人眼的恒河猴,并对人眼事故损伤病例进行了调查分析,也收集了病眼在激光治疗中的有关资料,得到如表5中的数据。

由表可见兔、人眼损伤阈值之比在1:2.7~4.7之间。

6. 不同色素的兔眼损伤剂量之比

表4 损伤程度与剂量的关系 (波长
694.3nm,脉宽0.32ms)

分 组	角膜入射能 量 (J)	网膜爆裂大出 血发生率 (%)	网膜凝固轻 度出血发生 率 (%)
1	9.5×10^{-1}	100	—
2	4.8×10^{-1}	50	50
3	4.1×10^{-1}	90*	10
4	2.0×10^{-1}	30	70
5	9.1×10^{-2}	20	80

* 其中60%出血较轻

表5 兔、猴、人眼损伤阈值剂量比值

波 长	眼 损 伤 阈 值			兔、猴、人 比 值	文 献
	兔	猴	人		
0.488 μ m	0.506W/cm ²	0.834W/cm ²	1.75W/cm ²	1:1.65:3.47	[4]
"	6.54W/cm ²	13.08W/cm ²	17.65W/cm ²	1:2:2.7	[1]
1.06 μ m	97.6W/cm ²	333W/cm ²	429W/cm ²	1:3.4:4.4	[5]
0.53 μ m	39.2 μ J/cm ²	187 μ J/cm ²		1:4.7	

表6 不同色素的兔眼对0.53 μ 激光的损伤

分 组	灰 兔		白 兔	
	角膜入射能量	出血发生率%	角膜入射能量	出血发生率%
1	76.1 μ J	51	75.7 μ J	0
2	105.7 μ J	70	104.0 μ J	50
3	138.1 μ J	85	137.7 μ J	64
4	169.6 μ J	79	172.5 μ J	79
5			200.2 μ J	91

不同种族的人眼色素不同。如白种人眼色素少，而我们黄种人色素多。所以在对青紫兰灰兔实验的同时，也对眼色素少的白兔进行了对比实验。数据列入表6。由表6可见，在相当的剂量下，灰兔出血发生率均高于白兔。经统计学处理，灰兔ED₀₁值为73.3 μ J，白兔为104 μ J。白兔比灰兔约高42%。

白兔为104 μ J。白兔比灰兔约高42%。

四、小 结

我们约在五年的时间里，使用了1000多只兔，十几只猴。研究了不同波长、不同发射方式对眼的损伤效应；观察了不同剂量、不同眼色素的兔眼损伤发生率及不同损伤程度；收集了兔、猴、人眼不同的损伤阈值，给出了三者数据的比值。这些数据对急性眼损伤的卫生评价，以及制定激光安全标准提供了生物学依据。

参 考 文 献

- [1] 赵桐真等，《中国激光》，1985年，第12卷，第10期，第603页。
- [2] 王康孙等，《中国激光》，1985年，第12卷，第10期，第609页。
- [3] 丁维玲等，《中国激光》，1985年，第12卷，第10期，第623页。
- [4] 王康孙等，《中国激光》，1985年，第12卷，第10期，第600页。
- [5] 陈荣家等，《中国激光》，1985年，第12卷，第10期，第615页。

作者简介：徐贵道，见本刊1988年，Vol.12, No.1, P.43。

徐馥敏，女，1930年4月出生。研究员。多项成果获卫生部及军内科技成果奖。现从事激光生物医学和实验眼科研究。

收稿日期：1988年2月15日。