

出射光,每一束经声光调制器进行强度调制,调制后的信号为两种不同强度( $I_2 > I_1$ )。 $I_1$ ——

代表输入信号中  $A_i, B_i$  有一个为 1 一个为 0 的情况;  $I_2$ ——代表输入信号中  $A_i, B_i$  两个均为 1 的情况,当声光调制器无输出时,代表输入信号中  $A_i, B_i$  均为 0 的情况。通过干涉滤光片的每束透射光代表向下级的进位信号并经过  $M_1, M_2, M_3$  叠加到相邻的下一级输入端。 $IF$  的反射光经偏光棱

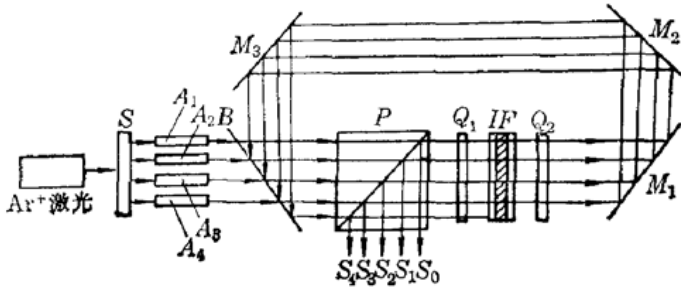


图 5 二进制四位数光学全加器

镜输出由五个探测器分别接收,它们的输出代表两个二进制四位数相加的结果,经光电转换后由数码管显示,二进制四位数的两个加数由计算机键盘输入,由计算机控制四个声光调制器使其输出符合  $I_2 > I_1$  的要求,图中的偏光棱镜和  $1/4$  波片是为改变光束的偏振方向。为了使进位信号能和相邻的下级输入信号进行同步相加,输入脉冲宽度应大于双稳器件的延迟时间。上述方案构成的光学全加器属于串行进位并行全加器。该方案的优点是用一块干涉滤光片可以实现二进制多位数的加法功能(例如,四位数、八位数等),有一定集成度,结构简单,双稳器件的反射光透射光得以充分利用并体现了光学的并行性特点。缺点是输入信号和进位信号的叠加在分束镜上进行,光能损耗大(大约 50%)。如果光束的传输采用光纤,光信号的叠加在光纤耦合器上进行,光能损失将有可能减少,此外每束光的强度调制要用一个声光调制器,这对多位数的全加器来说,整个结构显得庞大,但是有可能得以解决,而用一块干涉滤光片或一个非线性 F-P 腔实现多位数光学全加器的结构方案是实用的。

### 参 考 文 献

1. F. A. P. Tooley *et al.*, *Opt. Commun.*, **63**, 365(1987)

(收稿日期: 1988 年 10 月 31 日)

## 不同波长脉冲染料激光照射视网膜的生物效应比较\*

王康孙 蓝之琳 叶衍铭\*\* 张明珩 石海云 陈刚强

(上海第二医科大学附属瑞金医院眼科)

### Comparison of biological effect of pulsed dye laser irradiation on the retina at different wavelengths

Wang Kangsun, Lan Zhilin, Ye Yanming, Zhang Mingheng, Shi Haiyun, Chen Gangqiang  
(Department of Ophthalmology, Ruijin Hospital, Shanghai Second Medical University, Shanghai)

**Abstract:** The retina of 44 eyes of 22 chinchilla rabbits were irradiated by pulsed dye

\* 国家自然科学基金资助项目; \*\* 工作单位为复旦大学物理系。

laser light at three different wavelenghtes(520 nm, 590 nm, 630 nm) to compare the reactions of acute biological effect respectively.

**Key words:** dye laser, retina, biological effect

本文采用三种不同有机染料作激活介质,比较了不同波长的短脉冲( $\mu\text{s}$ 级)激光对视网膜的急性生物效应。

## 实验条件与方法

采用 DOL-3 型眼科用染料激光器,分别用 Coumarin 504、Rh6G 等染料作激活介质,获得绿色(520 nm)、橙色(590 nm)和红色(630 nm)的激光,脉冲能量为 4 mJ 左右,光斑直径 200  $\mu\text{m}$ 。视网膜激光曝光时间为 1.6  $\mu\text{s}$ 。

取色泽比较接近的正常青紫蓝灰兔 22 只,44 眼作实验对象。在 2.5% 戊巴比妥钠静脉麻醉下进行实验。在实验前用 2% 何马托品和 10% 新福林充分扩瞳。每只兔的双眼分别照射两种不同波长的激光,每种波长照射 14~15 只眼。在三面接触镜下照射视乳头下方视网膜,共 20 点,每只之间相隔一个光凝点直径。

对 6 只兔 12 只眼于激光(三种不同波长)照射后半小时,耳背静脉注射 10% 荧光素钠 2 ml,观察眼底荧光显影情况,并进行摄片。

对 3 只分别经不同波长激光照射后半小时在全麻下作眼球摘出,用 2% 戊二醛固定。72 小时后每只眼球分别切取  $2 \times 1 \times 0.5$  mm 视网膜脉络膜组织各一块,在同一固定液中继续固定 12 小时以上,各组织块经 0.1 M 二甲砷酸钠缓冲液(pH=7.4)洗涤后,再用 1% 锇酸固定 2 小时,然后经逐级酒精脱水,环氧丙烷过渡,环氧树脂 Epon 618 定向包埋。包埋块用 LKB 超薄切片机切片,最后用醋酸铅和枸橼酸铅作切片染色,用电子显微镜观察,进行组织学检查。

## 观察结果

### 1. 眼底表现

三种不同波长激光照射后,视网膜上皆出现边界不太清楚的淡灰黑色光凝斑,有色素布散。部分光凝斑出现小气泡,其中少数光凝斑于一、二分钟内气泡消退后发生小出血,个别有少量流入玻璃体。用绿光照射,光凝斑的出血率为 1%,未发现玻璃体出血;橙光照射,出血率为 4%,其中有 2 点少量流入玻璃体;红光照射,出血率为 3%,其中有一点流入玻璃体。

### 2. 荧光造影

三种不同波长激光照射后半小时作荧光造影,在动静脉期皆可见到光凝斑处呈高荧(图 1(a)),并有荧光渗漏,继之渗漏扩大,融合成片(图 1(b)),然后荧光渗入玻璃体及前房,三者无明显差别。

### 3. 组织学检查

三种不同波长激光照射视网膜,半小时后的超微结构变化,病损主要累及视网膜外层、色素上皮及邻近的脉络膜毛细血管。视网膜内层损伤轻。三种不同波长激光照射后,皆可见到视细胞外节盘膜结构部分凝聚,部分间隙增宽,还有部分破裂。内节线粒体肿胀,嵴断裂,空

泡化,内、外节间隙增宽、水肿,并有蛋白凝固。外核层核固缩,染色质凝聚成块,胞浆内细胞器减少,细胞体积缩小,细胞间隙增宽(图2(a))。色素上皮线粒体肿胀,嵴断裂,出现大小不等的空泡,微绒毛消失,色素颗粒崩解(图2(b))。相比之下,红光照射所引起的视网膜外层损伤最严重,并造成内核层损伤。表现为视细胞内外节严重破坏,外界膜细胞模糊(图2(c)),内核层核缩小,染色质凝集成块,胞浆内细胞器减少,有空泡形成。三种不同波长激光照射后,都可引起脉络膜毛细血管充血,管壁内皮细胞线粒体肿胀,嵴断裂,血管壁尚完整。绿光照射后,还可见到毛细血管壁致密化,内皮细胞线粒体空泡化,核凝聚成块,脉络膜间质胶原纤维凝固,色素细胞破裂,颗粒崩解。红光照射,脉络膜深层亦累及,见脉络膜小动脉充血,管壁平滑肌细胞线粒体肿胀,嵴断裂,空泡形成。小动脉壁内皮细胞线粒体肿胀,嵴断裂。

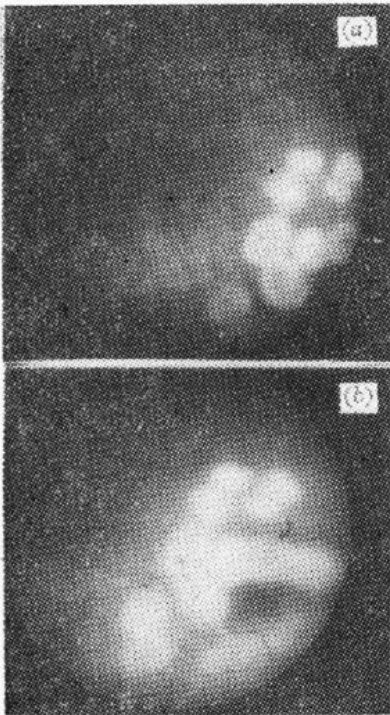


图1(a) 荧光造影于动静脉期,见光凝斑呈高荧,有荧光渗漏;  
(b) 荧光渗漏扩大,融合成片

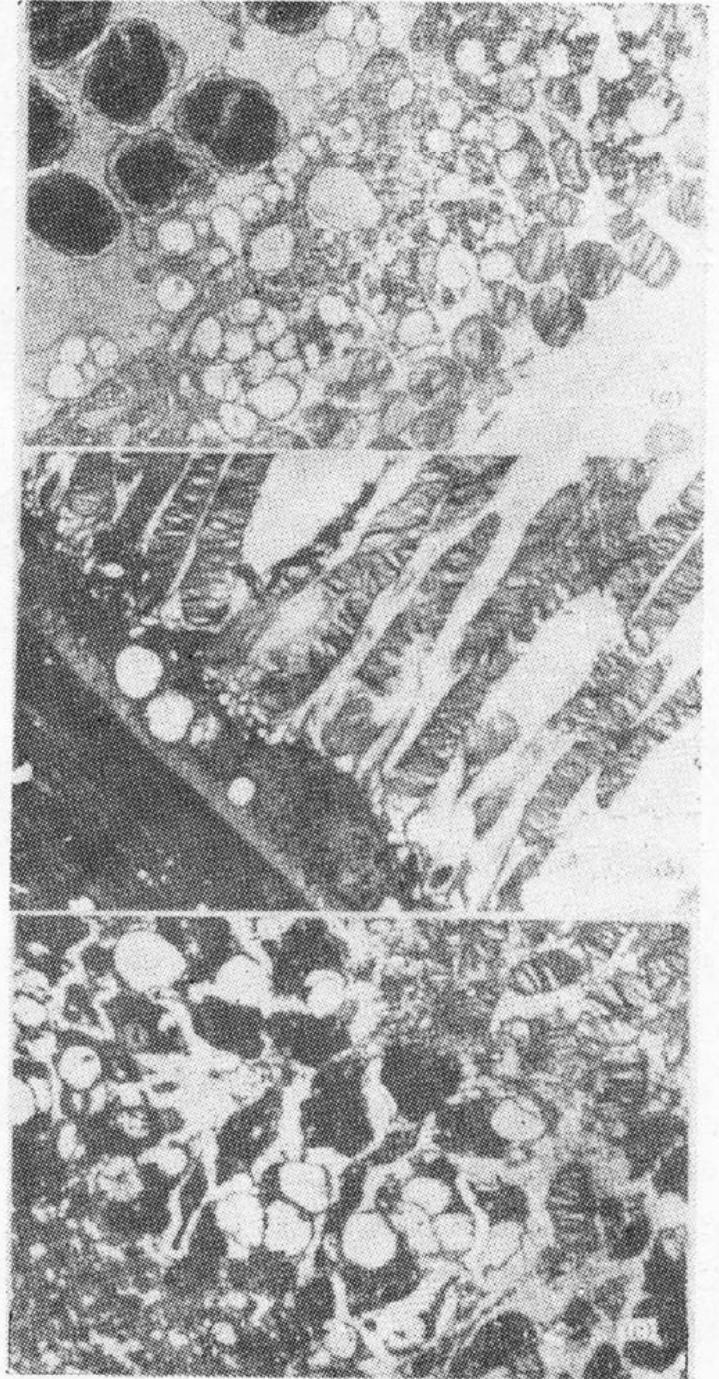


图2(a) 520 nm 波长照射后半小时( $\times 5000$ )  
(b) 590 nm 波长照射后半小时( $\times 6000$ )  
(c) 630 nm 波长照射后半小时( $\times 5000$ )

## 讨 论

短脉冲  $\mu\text{s}$  级染料激光在视网膜的光凝反应与连续氩激光  $\text{ms}$  级曝光时间所产生的光凝

反应不完全相同。后者光凝斑为乳白色,边界清楚,不见气泡产生,用低功率照射,不易发生出血。脉冲染料激光的曝光时间很短,在视网膜造成的病损,主要为热效应所致,产生凝固斑,但还可能有很少量冲击波的影响,表现为光凝斑色泽偏灰黑,有色素崩解,边界不太清楚,并出血率比氩激光为高。本实验观察脉冲染料激光照射兔视网膜的出血率约2~3%,造成出血可能与二个因素有关:1.脉冲时间短;2.青紫蓝灰兔视网膜色素分布不均匀。人的视网膜色素分布均匀,因此在临床应用的出血率要少得多。总的说来, $\mu\text{s}$ 级的脉冲染料激光照射视网膜出血率是不高的,这与其波形光滑有关<sup>[1]</sup>。

视网膜色素上皮是吸收可见光谱激光的主要部位<sup>[2]</sup>,这三种不同波长激光照射视网膜后,都造成色素上皮明显破坏。表现为色素上皮线粒体肿胀,嵴断裂,出现大小不等的空泡,微绒毛消失,色素颗粒崩解。由于色素上皮吸收激光能量后转化为热能,传递到邻近组织,以及脉络膜色素颗粒本身亦吸收激光能量,以致造成视网膜和脉络膜组织不同程度的损害。

从超微结构的变化来比较,绿光对视网膜的损伤比较浅,主要限于外核层以外。内核层尚正常。但脉络膜浅层的损伤比较严重,除见到脉络膜毛细血管充血外,毛细血管的管壁亦受到影响,表现为致密化,其内皮细胞线粒体空泡化,核凝聚成块。血管邻近的脉络膜间质胶原纤维凝固,色素细胞破裂,颗粒崩解。这可能与绿光不但被色素组织吸收,还能被血红蛋白大量吸收有关。因此造成脉络膜毛细血管损害,并累及邻近的脉络膜间质。

红光造成的视网膜和脉络膜损伤都较深而严重。视细胞内外节遭到严重破坏,外界膜结构模糊,外核层和内核层的破坏都很明显。脉络膜小动脉亦被累及,可见小动脉充血,管壁平滑肌细胞线粒体肿胀,嵴断裂,内皮细胞线粒体空泡化。这个发现与Borges<sup>[3]</sup>的报道基本相符。由于长波长激光可被色素上皮及其邻近的脉络膜组织吸收大量能量<sup>[2~4]</sup>,因此造成的损伤深而严重。

上述超微结构变化的特点提示我们,在临床应用不同波长激光治疗时,所掌握的能量亦要随之相应变动,以免造成组织不必要的损害。

本工作得到上海第二医科大学生物物理教研室韩玉昇副主任的指导,深表感谢。

### 参 考 文 献

- 1 王康孙 *et al.*, 中华眼科杂志, **16**, 174~177(1980)
- 2 J. Marshall, A. C. Bird, *Brit. J. Ophthalm.*, **63**, 657~668(1979)
- 3 J. M. Borges *et al.*, *Retina*, **7**, 46~57(1987)
- 4 J. Marshall *et al.*, *Brit. J. Ophthalm.*, **59**, 610~630(1975)

(收稿日期: 1988年2月22日)