

关于激光器安全操作规则的建议

刘 普 和

(中山医学院)

提要: 本文主要分述氦-氖、氦-镉、氦-镭、氦离子、氩离子、掺钕钇铝石榴石、钕玻璃、二氧化碳、氮分子、红宝石和染料等十种激光器的危害、阈限值和安全操作规则,以便工作者使用某一种激光时做到心中有数,而不必顾及其他。

Some suggestions on the safe operation rules of lasers

Liu Puhe

(Zhongshan Medical College)

Abstract: This paper mainly describes the laser hazards, threshold limit and safe operation rules for each of the following ten lasers: He-Ne, He-Cd, Kr⁺, Ar⁺, Nd: YAG, Nd: glass, CO₂, N₂, ruby and dye lasers.

一、前 言

对于人体,激光主要是伤害眼、皮肤和神经中枢,其中以眼受到伤害的可能性最大。对于眼睛,波长不同,则眼受伤的部位不同。例如,波长为0.325微米的氦-镭紫外激光会使角膜和晶状体受伤,而波长1.06微米的钕铝石榴石激光则使角膜和视网膜受伤。此外,功率(能量)密度不同,眼受伤的程度也不同。其表现可能是角膜烧伤、晶状体混浊、白内障和视网膜凝固、撕裂、穿孔。对于皮肤,其伤害随激光功率(能量)的增加,依次出现红斑、丘疹、起泡、烧焦甚至汽化等现象。激光对神经中枢的作用主要是通过眼实现的,表现为视觉疲劳、眼部不适以及头晕、失

眠等等。

毋庸讳言,激光是危险的。可是目前有许多激光工作者都对激光的危害注意得很不够。例如,有人用二氧化碳激光刀切割病人额部和面部病变组织时,无论是病人还是医生,都没有采取什么防护措施。当然,和用电一样,只要严格遵守安全操作规则,就能使激光无害地为人民服务。所以,“激光防护标准”的制定是件很重要的工作。

在提出操作规则时,首先要注意的是波长,其次是功率(能量)密度。还要注意到吸收激光时间的长短,时间长些,则热能被传递到受照面四周组织的机会就多一些。因此即使是同一种激光器,若工作状态不同,其防护措施也不同。就阈限值(TLV)大致可以说,

收稿日期: 1981年10月23日。

Q 开关的(十毫微秒级)比正常脉冲的(毫秒级)小一个数量级。

总之,对于不同激光器应制定不同的安全操作规则。显然,如果把用于染料激光器的一套规则用于氦-氖激光器,有许多规则将是多余的,是自找麻烦。反之,若将氦-氖激光器的规则用于染料激光器,则防护措施明显不足,易造成伤害。看来比较合理的办法是,对常用激光器分别提出其危害、阈值以及安全操作规则。如可能,最好分室放置各类激光器,以便简化规则的执行。

二、常用激光器的危害、阈值和安全操作规则

1. 氦-氖激光器

氦-氖激光器主要发射波长为 0.6328 微米的激光,这种波长的激光能够顺利地通过眼球诸层次,而在视网膜上造成一个直径为 10~20 微米的象,其余能量则为色素上皮和脉络膜中的色素吸收。因为黑色素粒的吸光能力约是周围组织的 1000 倍,它将变成热源,使附近的椎体、柱体细胞受伤。附近的视网膜透明组织将受热凝固而变为白浊、不透明,然后色素沉着而成疤痕,疤痕处就失去视力。所有可见激光和近红外激光都是这样伤害眼睛的。至于强脉冲或 Q 开关激光则不是通过热作用而是通过压强作用撕裂网膜或使之穿孔。

阈值:在束内直视激光,限制孔径为 7 毫米(以下同),照射持续时间为 0.25 秒时,阈值是 2.5 毫瓦·厘米⁻²;时间为 10~10⁴ 秒时是 18 毫焦耳·厘米⁻²;时间长于 10⁴ 秒时是 18 微瓦·厘米⁻²。皮肤的阈值,不论照射时间的长短,都是 0.2 瓦·厘米⁻²。

氦-氖激光器的安全操作规则如下:

- 眼不要在束内直视激光,也不要激光直射他人眼睛。

- 不用光学仪器观看激光束。

- 不让激光射到镜式反射面,能作镜式反射的物体应移出激光区。

- 如果在束内直视激光,应该戴眼镜。

2. 氩-镉激光器

氩-镉激光器主要发射蓝色激光(波长 0.4416 微米)和近紫外激光(波长 0.325 微米)。蓝色激光主要为眼底吸收。近紫外激光虽然也为青年人眼底吸收,但有一部分为老花眼晶状体吸收。实验证明,当用激光照射恒河猴眼超过 10³ 秒时,猴眼对蓝色激光的敏感为红色激光的 40 倍,所以氩-镉激光比氦-氖激光要危险得多,但十几毫瓦的氩-镉激光照射皮肤的危害不大。

阈值:在束内直视激光,照射持续时间为 0.25 秒时,阈值是 2.5 毫瓦·厘米⁻²;时间为 10~10⁴ 秒时是 10 毫焦耳·厘米⁻²,时间长于 10⁴ 秒时是 1 微瓦·厘米⁻²。皮肤的阈值是 0.2 瓦·厘米⁻²。其紫外激光的阈值则和氮分子激光的一样。

安全操作规则与氦-氖激光器的相同。

3. 氩激光器

氩激光器主要发射绿色激光(波长 0.531 微米)、黄色激光(波长 0.568 微米)和红色激光(波长 0.647 微米),并以发射后者为主。它主要伤害眼。

红色激光的阈值:在束内直视激光,照射时间为 0.25 秒时,阈值是 2.5 毫瓦·厘米⁻²;时间为 10~10⁴ 秒时是 28 毫焦耳·厘米⁻²;时间长于 10⁴ 秒时是 28 微瓦·厘米⁻²。皮肤的阈值是 0.2 瓦·厘米⁻²。

安全操作规则和氦-氖激光器的一样。

4. 氩离子激光器

氩离子激光器主要发射绿色激光(波长 0.5145 微米)和蓝色激光(波长 0.4880 微米),它们除了可能严重地伤害眼和皮肤外,还能点燃易燃物质,产生有害的气载污染物,还有高压电击危险等等。

阈值:若取其平均波长为 0.500 微

米,则阈值可认为和氩-镉激光器的一样。

安全操作规则:

- 门口和室内都应张贴“危险”的警告标志。

- 禁止束内直视激光或用激光直射他人眼睛以及用光学仪器观看激光束。

- 如果可能,应封闭整个激光光路,使光束不外泄。

- 室内应光亮,室壁涂刷浅色漫射物质。

- 手术器械应是黑色的,表面凸而漫射。

- 室内所有人员都应戴相应防护眼罩,不戴眼罩的不得入内。

- 在人机之间应设置屏障,以阻止人走近激光器。

- 如需要通过显微镜看激光照射的工件或生物标本时,应用适当滤光器把进入眼的激光削弱到安全水平。

- 应戴手套,以防手被烧伤。

5. 钇铝石榴石激光器和钕玻璃激光器

这两种激光器主要发射波长为1.06微米的不可见近红外激光。二者都是大功率激光器,能伤害角膜和视网膜,主要伤害视网膜。

钇铝石榴石激光对角膜是热作用,轻则使之浮肿,重则产生混浊;对视网膜的作用是使网膜脱离。强脉冲钕玻璃激光是压强作用,其造成的伤害是角膜穿孔和视网膜撕裂。此外,近红外激光能深入皮肤产生剧痛并造成严重烧伤,但生理反射有保护作用。

阈值:在束内直视激光,持续100秒时,阈值是30毫焦耳·厘米⁻²;持续时间大于10³秒时是1.6毫瓦·厘米⁻²;至于皮肤,持续照射时间大于10秒时是0.2瓦·厘米⁻²。在束内直视脉冲宽度约1毫秒的钕玻璃激光的阈值是5×10⁻⁵焦耳·厘米⁻²,此时皮肤的是0.2焦耳·厘米⁻²。若用5~100毫微秒的Q开关则眼的是5×10⁻⁶焦耳·厘米⁻²,皮肤的是0.02焦耳·厘米⁻²,各为正常脉冲的十分之一。

安全操作规则和氩激光器的一样。

6. 二氧化碳激光器

二氧化碳激光器主要发射波长为10.6微米的红外激光,常用功率几十瓦,二氧化碳激光全部为角膜吸收,达不到眼底。照射眼睛就可能立即烧伤角膜、结膜和眼睑。对于角膜烧伤,最轻的是造成一些小而白的混浊点,在照射后10分钟出现,只累及角膜上皮,不浮肿,两天后消退,无可见疤痕。重则从外到里形成白柱形烧斑,再重则形成溃疡性伤斑或穿孔。二氧化碳激光将为厚0.2毫米的皮肤吸收,很容易起泡或烧焦,因功率大,一下子就会烧伤,生理的避开反应对眼和皮肤起不了保护作用,所以使用二氧化碳激光器时应特别小心。

阈值:照射时间长于10秒时,眼和皮肤都是0.1瓦·厘米⁻²。

二氧化碳激光器的安全操作规则基本上跟氩激光器的一样,但还要注意下述几方面:

- 切记戴防护眼罩,因激光不可见。

- 防护皮肤,可用含生理盐水的纱布复盖待保护部位。在用于开刀的二氧化碳激光未将盐水蒸干之前,不会伤及纱布下的组织。

- 二氧化碳激光开刀时,有烟雾和溅射物,应设法吸走,以免污染刀头和空气。

- 特大功率激光器应隔室操纵。

7. 氮激光器

氮激光器主要发射波长为0.3371微米的近紫外激光。常用功率可达几十毫瓦,峰值功率达0.01~0.1兆瓦。主要为眼的晶状体吸收,引起透明度下降,影响视觉功能,重则产生白内障。近紫外线对皮肤的伤害主要是热作用,轻则生红斑,重则起泡。它还能作用于皮肤中的组织胺,产生组织毒,令人有很不舒服的感觉。至于近紫外弱激光的长期照射是否会产生皮癌,尚待研究。

阈值:在照射时间短于10³秒时,其值是1焦耳·厘米⁻²;长于10³秒时是1毫瓦·厘米⁻²。眼在束内直视和照射皮肤都一样。

氦激光器的安全操作规则基本上跟氩激光的一样,但应特别注意下述几点:

● 氦激光器的紫外激光,可在室内产生嗅得出的臭氧,应注意通风。

● 氦激光器的放电噪声应降低到许可水平。

8. 红宝石激光器

红宝石激光器主要发射波长为0.6943微米红色激光。目前在细胞外科和激光打孔方面,用脉冲能量1~100毫焦耳,在眼科方面用0.5~1.5焦耳每脉冲,在皮肤科方面用150~800焦耳每脉冲。

阈限值:对于正常脉冲红宝石激光,在束内直视时的值是 10^{-5} 焦耳·厘米⁻²,皮肤的是0.2焦耳·厘米⁻²;对于Q开关脉冲激光,眼的值是 5×10^{-7} 焦耳·厘米⁻²,皮肤的是0.02焦耳·厘米⁻²。

红宝石激光器的安全操作规则基本上跟

氩激光的一样。但要注意,目前使用的红宝石激光器,其能量密度比眼的阈限值大许多倍,而红光又不刺眼,一不小心进入眼内的能量密度就可能太大,从而产生不可逆的损害。

9. 染料激光器

染料激光器是波长可调的激光器。脉冲染料激光射入眼内时,因能量集中,破坏性大。主要是机械损害,能撕裂视网膜或使之穿孔。连续染料激光对眼的作用是热凝固网膜,凝固处就失去视力。

阈限值:就若丹明6G染料所发出的可见脉冲激光来说,在束内直视时的值是 5×10^{-7} 焦耳·厘米⁻²,皮肤的是0.03~0.07焦耳·厘米⁻²。

染料激光器的安全操作规则,基本上跟氩离子激光器的一样,但应注意下述几点:

● 应用不同的眼罩,以防护波长不同的

表1 几种常用激光器对眼(瞳孔7毫米,束内直视)和皮肤的阈限值

激光器类型	波长(微米)	照射时间(秒)	眼的阈阻值	皮肤的阈限值
氦-氖激光器	0.6328	0.25	2.5 毫瓦·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
		10~10 ⁴	18 毫焦耳·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
		>10 ⁴	18 微瓦·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
氦-铜激光器 氩离子激光器	0.4416 {0.4880 0.5145}	0.25	2.5 毫瓦·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
		10~10 ⁴	10 毫焦耳·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
		>10 ⁴	1 微瓦·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
氩离子激光器	0.6471	0.25	2.5 毫瓦·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
		10~10 ⁴	28 毫焦耳·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
		>10 ⁴	28 微瓦·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
钕铝石榴石激光器	1.06	10 ²	30 毫焦耳·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
		>10 ³	1.6 毫瓦·厘米 ⁻²	0.2 瓦·厘米 ⁻²
钕玻璃激光器(脉冲)	1.06	约10 ⁻³	5×10^{-5} 焦耳·厘米 ⁻²	0.2 焦耳·厘米 ⁻²
		$(5 \sim 100) \times 10^{-9}$	5×10^{-6} 焦耳·厘米 ⁻²	0.02 焦耳·厘米 ⁻²
二氧化碳激光器	10.6	>10	0.1 瓦·厘米 ⁻²	0.1 瓦·厘米 ⁻²
氮激光器(脉冲) 氦-铜激光器	0.337	<10 ³	1 焦耳·厘米 ⁻²	1 焦耳·厘米 ⁻²
	0.325	>10 ³	1 毫瓦·厘米 ⁻²	1 毫瓦·厘米 ⁻²
红宝石激光器(脉冲)	0.6943	约10 ⁻³	10 ⁻⁵ 焦耳·厘米 ⁻²	0.2 焦耳·厘米 ⁻²
		$(5 \sim 100) \times 10^{-9}$	5×10^{-7} 焦耳·厘米 ⁻²	0.02 焦耳·厘米 ⁻²
染料激光器(脉冲)	0.5~0.7	$(0.5 \sim 20) \times 10^{-6}$	5×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²	0.03~0.07 焦耳·厘米 ⁻²

表2 瞳孔7毫米的眼在束内直视激光时的阈限值(取自 ANSI)

3×10^4 秒	C_B (微瓦·厘米 ⁻²)		$320 \times C_A$ (微瓦·厘米 ⁻²)		
	10^4	$10 \times C_B$ (毫焦耳·厘米 ⁻²)	T_1	$9 \times T^{3/4}$ (毫焦耳·厘米 ⁻²)	
10 (毫焦耳·厘米 ⁻²)	$1.8 \times T_1^{3/4}$ (毫焦耳·厘米 ⁻²)	$1.8 \times T^{3/4} \times C_A$ (毫焦耳·厘米 ⁻²)			10^3 秒
10	$1.8 \times T^{3/4}$ (毫焦耳·厘米 ⁻²)	$5 \times 10^{-4} \times C_A$ (毫焦耳·厘米 ⁻²)	5×10^{-3} (毫焦耳·厘米 ⁻²)	5×10^{-5}	
1.8×10^{-5}	5×10^{-4} (毫焦耳·厘米 ⁻²)				
10^{-9}					
	0.4	0.55	0.7	1.06	1.4 微米

注: C_A 是校正因子, 当波长由 0.55 增到 1.06 微米时, C_A 的值由 1 半对数地增到 5, 当 $\lambda=1.06 \sim 1.4$ 时, $C_A=5$, C_B 是校正因子:

当 $\lambda=0.4 \sim 0.55$ 微米时, $C_B=1$

$\lambda=0.55 \sim 0.7$ 微米, 而照射时间是 $10 \sim T_1$ 秒时, 阈限值 $= 1.8 \times T^{3/4}$ (毫焦耳·厘米⁻²)

$= 0.55 \sim 0.7$ 微米, 而照射时间是 $T_1 \sim 10^4$ 秒时, 阈限值 $= 10 \times C_B$ (毫焦耳·厘米⁻²)

$= 0.55 \sim 0.7$ 微米时, $T_1 = 10 \times 10^{[20(\lambda-0.55)]}$

$= 0.55 \sim 0.7$ 微米时, $C_B = 10^{[15(\lambda-0.55)]}$

染料激光, 单用一副眼罩是对付不了的。

● 有些激光染料, 如花菁、碳花菁, 它们本身就是有毒的。这些染料的溶剂, 如二甲亚砷也是有毒的, 它能改变皮肤的渗透性, 使染料进入皮肤, 所以工作人员一律要戴橡皮手套。

● 若泵浦用氮激光器, 就要注意使臭氧和噪声不超过安全水平。

以上介绍了十种常用激光器的危害、阈限值和 safe 操作规则。为了便于比较, 特将这十种激光器对眼和皮肤的阈限值列于表 1, 表 1 中列出的眼的阈限值实际取自表 2。若使用的激光器在表 1 中没有列出, 可根据波长和照射时间从表 2 查出眼的阈限值。

至此应强调指出, 上述阈限值和 safe 操作规则只适用于室内点激光源。至于点激光源用于室外或激光源是扩展的, 就应提出不同的阈限值和不同的 safe 操作规则。还应指出, 关于 safe 标准, 有的用“阈限值”, 有的用“最大许可照射量”, 有的用“safe 水平”, 术语虽不同, 但实际指的是同一个东西。此外, 也不可认为, 功率(能量)密度小于阈限值就是安全的, 其实 safe 和 unsafe 之间没有截然的分界线。加之各个人对激光的敏感不一样,

对这个人安全的, 但对另一个人可能就不是安全的。最后应指出, 上述阈限值是从安全防护的角度提出的, 当激光用于医疗时当然不受此限。如用红宝石激光焊接视网膜, 用二氧化碳激光刀切除肿瘤或用氩激光给胃止血等等, 就应根据需要确定功率(或能量)密度了。

三、其他应注意事项

1. 激光防护眼罩: 供激光防护用的眼罩, 最好用防风镜式而不用眼镜式, 以避免激光束从侧面射到镜片内表面而反射入眼内的危险。理想的镜片应该是只排除(通过吸收或(和)反射)所要排除的激光, 而让其余的可见光全部通过, 以不影响能见度。当然对该波长的激光也不要完全排除掉, 只要进入眼内的激光已减弱到不伤害眼就可以了。这种减弱程度常用光密度(OD)这一概念来表示。如要求把激光减弱到 10^{-6} , 则 $OD=6$; 减弱到 10^{-8} , 则 $OD=8$, 其余类推。

为了减少镜面的平面反射给附近其他人员造成危害, 镜片宜做成凸面。

(下转第 666 页)

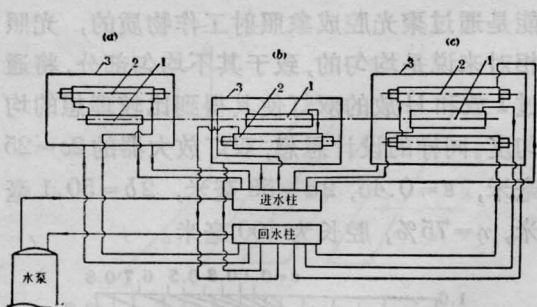


图3 冷却水路

(a)振荡器; (b)I放; (c)II放;
1—棒; 2—灯; 3—聚光腔,

乙烯泡沫塑料组成保温壁,使炉内与外界很好地隔热,保证晶体精确地和均匀地在 $45^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的恒温状态下工作。因为KD*P是水溶性晶体,因此,用“O”型橡皮圈密封在恒温炉内。倍频器具有三维角度的精密微调机构。

器件的实验研究工作,由我所604组同志承担^[1~3]。对吴兆庆、朱宝铃、韩广礼、梁月明等同志在研制工作中的帮助一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 范琦康等;《激光》,1979,6, No. 3, 14.
- [2] 范琦康等;《激光》,1980,7, No. 3, 44.
- [3] 杨福民等;《科学通报》,1981,26, No. 12, 738.

热敏电阻,组成恒温炉。为了使晶体各部分在炉内处于等温状态,炉膛的长径比和炉长与晶体长度之比为4:1。用聚苯乙烯和聚苯

(上接第671页)

波长和光密度是选购激光防护眼罩时必须注意的两个主要参数。

2. 激光外科手术器械: 外科手术器械多是光滑的金属平面,把这些器械原封不动地用于激光手术,它们对激光将作镜式反射,从而危害工作人员和病人。所以为激光外科手术设计一套手术器械是很有必要的。激光外科手术器械必须具备下述条件: (1) 表面毛糙,以造成漫反射。(2) 尽可能把器械对光的一面做成凸面,把平行光变成发散光。(3) 器械应是有色的,为了简便,可一律电镀成酸性铬黑。但不可染黑,因染料受不住二氧化碳激光所生之热。

3. 激光室墙壁的颜色: 墙壁应是毛糙、浅色的。对于可见激光,墙壁应刷激光的互补色。对于二氧化碳激光,据实验白的和黑的反射差不多,看来刷成浅灰会是令人满意的。

参 考 文 献

- [1] Laser Institute of America, Laser Safety Guide, 3rd ed. Cincinnati, Ohio, 1976.
- [2] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, A guide for Control of Laser Hazards, Cincinnati, Ohio, 1973.
- [3] Mallow A.; Laser Safety Handbook, Litton Educational Publishing, Inc., 1978.
- [4] American National Standards Institute, American National Standard for the Safe Use of Lasers Z 136. 1~1976, New York, 1976.

首届全国基础光学学术报告会在北戴河召开

中国光学学会于1982年6月24日至29日在北戴河召开了首届全国基础光学学术报告会和基础光学专业委员会工作会议。一共有131人出席了这次会议。

报告会收到论文180篇,由组织委员会评选出其中的80篇作为本届报告会的论文报告。这些报告按内容分成七个专题,它们是: (1) 光学的基本理论问题; (2) 经典光学; (3) 激光物理; (4) 强光光学与非线性光学; (5) 光谱学与激光光谱; (6) 光学

信息处理与全息术; (7) 导波光学与大气光学。

报告会期间还组织了五个专题讨论,它们是: 光学信息处理; 激光光谱; 非线性光学; 激光物理; 经典光学。与会者就这些项目目前国内外研究的状况,本单位今后打算重点研究的内容等进行了交流;对今后如何加强中国科学院与高等院校之间基础光学研究的交流合作,今后如何组织这些方面的学术交流活动等,进行了热烈的讨论。

(纪钟)