

# 1.06 微米脉冲激光对人体的损伤 与安全防护问题

关 崇 文

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 介绍利用电子显微镜观察波长 1.06 微米的脉冲激光在穿透软组织、骨板深部时所获得的人体红细胞受损的图象, 并讨论了激光研究以及激光医疗中的安全防护问题。

## 1.06 $\mu\text{m}$ pulsed laser damage to human body and some safety problems

Guan Chongwen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** The damaged pattern of the red blood cells of the human body were observed with an electronic microscope as the pulsed laser light at 1.06  $\mu\text{m}$  penetrated through the soft tissues and the deep part of the back bone. And the protection problems in connection with laser experiments and medical treatment by lasers are discussed.

为了探讨激光对人体安全的问题, 我们作了 142 次有关钕玻璃单脉冲激光安全防护的实验。实验所用的激光治疗仪器见图 1。激光器主要参数见表 1。实验分五个方面进行:

### 1. 激光剂量效应的比较实验

用输出 34 焦耳, 脉宽 0.5 毫秒, 焦斑  $\phi 0.5$  毫米, 能量密度为  $1.76 \times 10^4$  焦耳/厘米<sup>2</sup> 的激光辐照两种样品:

(1) 2 毫米厚的铝板。能被打穿, 穿过铝板的光束还能够灼伤黑纸(见图 2)。

(2) 2 毫米厚的肉皮。用肉眼观察, 仅在

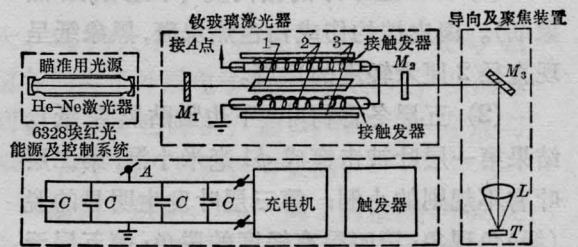


图 1 脉冲钕玻璃激光  
医疗装置示意图

1—钕玻璃激光棒  $\phi 20 \times 500$  (毫米); 2—脉冲氙灯  $\phi 23 \times 500$  (毫米); 3—聚光筒、双圆柱型、内包银皮; L—聚焦透镜,  $f \approx 8$  厘米; T—目标样品; (激光棒用水冷却);  $M_1$ —腔反射镜, 1.06 $\mu$  反射率  $r_1 > 99\%$ ;  $M_2$ —半透明腔反射镜, 1.06 $\mu$  反射率  $r \approx 20\%$ ;  $M_3$ —反射镜  $r_3 > 99\%$ ;

收稿日期: 1982 年 2 月 9 日。

表1 激光治疗仪主要参数表

灯的配置 方式	输入参数			输出参数		
	电容 (微法)	电压 (千伏)	能量 (焦耳)	能量 (焦耳)	脉宽 (毫秒)	平均功率 (瓦)
两灯串联	$C=8 \times 150$	2.7~4.7	$E=\frac{1}{2}CV^2$	约 22~65	~0.5	~10 <sup>5</sup>
两灯并联	$C_1=C_2=4 \times 150$ $C=C_1+C_2$	2.0~4.7	$E=E_1+E_2=\frac{1}{2}CV^2$	约 20~100	0.3~0.5	~3×10 <sup>5</sup>

肉皮上烧灼成白色的焦块斑，而不能把它打穿。

相同激光剂量会产生两个差别很大的效果，在微观上要从物质的分子结构，在宏观上要从能量守恒定律去深刻研究这些现象。初步的实验结果还表明激光被肉皮吸收的量比铝少得多，有可能透射到组织的深处。

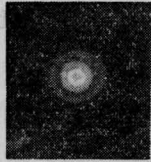


图2 激光穿透铝板后灼伤黑纸焦斑(实物)

### 2. 激光穿透生物组织发生深部损伤模拟实验

用1的激光剂量辐照下面的样品：

(1) 0.5厘米厚的猪肉皮(下边紧贴黑象纸)。肉皮被灼伤成白色焦块斑，黑象纸呈现直径2厘米轻度的焦斑。

(2) 五层冬青树叶(下边紧贴黑象纸)。结果第一层叶被击穿成φ1毫米小洞；第二层叶有不规则的小洞；第三层叶发生明显的脱(绿)色现象；第四层有轻度的脱色；第五层无明显变化。而在第五层后面的黑象纸上发现有较严重的热灼焦斑。这个实验表明，波长1.06微米的激光在辐射生物样品肉皮或树叶时，作用靶区的上层只吸收了一部分能量，其余向深部穿透。实验还揭示，激光损伤生物组织和枪弹穿透伤不一样。在激光透射组织的过程中，引起生物组织损伤大致可表现出两种情况：一种是用肉眼能够看得见的破坏

痕迹和脱色作用，另外一种肉眼无法看见的组织损伤。而当激光透射到组织深部遇到易于吸收激光的介质时，还可能发生较严重的损伤(见图3)。

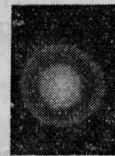


图3 第五层后面的黑纸上的焦斑(实物)

### 3. 激光对深部组织损伤性质的鉴别实验

由于对2中(1)的实验结果有争论，一种意见认为是肉皮升温烫伤了黑象纸；另一种意见认为是激光辐射直接产生的。为此在照射的样品下面8毫米处放置黑象纸。对肉皮、干豆腐、骨片和较湿的肉皮进行实验。结果在黑象纸上均产生了较大的灼伤斑(见图4)。这说明黑象纸上的灼斑是由透过组织的激光产生的。



图4 激光穿透肉皮又通过8毫米空间后的灼伤斑(实物)

### 4. 激光对生物组织透过率实验

用输出52焦耳，脉宽0.5毫秒，焦斑φ0.5毫米，能量密度为 $2.6 \times 10^4$ 焦耳/厘米<sup>2</sup>的激光辐照0.5厘米肉皮加0.5厘米厚的肋



图5 激光穿透肉皮0.5厘米和肋骨0.5厘米后在黑纸上灼伤的轻微的焦斑(实物)

骨。测得激光穿透后的能量为1.34焦耳(灼伤黑象纸呈 $\phi 4$ 毫米不规则的焦斑),见图5。波长1.06微米脉冲激光对生物组织(肉皮+骨板)的激光的透过率为2.6%。

#### 5. 激光穿透生物组织损伤深部组织细胞能力的模拟实验

仍选用4的实验条件,功率密度为 $5.2 \times 10^7$ 瓦/厘米<sup>2</sup>,辐照模拟人的头壳组织(肉皮0.5厘米+肋骨0.5厘米),下边放置人红细胞涂片(人红细胞未染色自然干燥三天)。用电子扫描显微镜观察透过组织的激光损伤人红细胞能力(见图6A、B、C、D、E)。

实验结果表明,波长1.06微米的强脉冲激光能够透到生物组织(肉皮、骨板)的深部,乃至破坏人的红细胞。

此外,还作了大功率钹玻璃激光辐照2厘米厚的皮肤,加1厘米厚的骨板的生物组织损伤实验。激光能量1焦耳,脉宽100微微秒,功率密度 $10^9$ 瓦/厘米<sup>2</sup>,光斑 $\phi 10$ 毫米,辐照组织后虽未见皮肤有明显损伤,但在组织后面测到透射过来的激光,近处有臭氧气味。

## 二、

当人们接触激光或使用激光诊疗时,需要考虑确保人体的安全和长远健康的问题。以钹玻璃激光器为例,当激光入射作用靶区时,它以反射、吸收、透射、散射以及穿透等形

式将能量耗尽。组织吸收系数小,穿透能力大。能量密度达到 $2.6 \times 10^4$ 焦耳/厘米<sup>2</sup>的脉冲激光,就有可能穿透体壁(脑壳),损伤深部细胞。是否有可能损伤或影响神经细胞,尚待探究。上述实验使用的人红血球尚不能代替实际活体上的红血球。但是激光对组织细胞膜,以及内部的微细结构的损伤,也必须考虑,以利于激光防护。

当激光透射到组织的深部后仍具有一定数量的能量,此时又遇到对激光吸收系数高的组织,就有可能损伤甚至使组织细胞发生“微爆”。这是否可以用来破坏组织深部的某种肿瘤,是值得研究的。

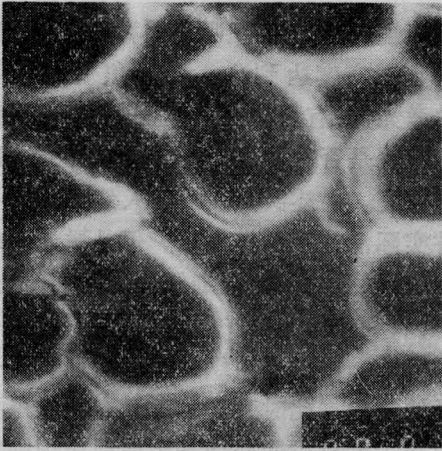
在激光防护工作的范畴中,激光医学中的安全防护工作要更引深一步。不只是预防意外损伤,从功能到器质,从显性到隐性,从宏观到微观,从渐变到突变,从近期到远期以至对下一代的影响,都需要做全面的、有计划的深入研究。

## 三、

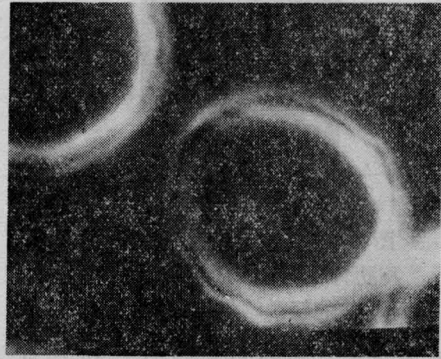
深入研究激光生物效应,精确测定激光剂量,制定中国安全使用激光器的国家标准。建议对在激光科研和应用中发生的激光事故,包括任何医疗上的事故和教训都要上报,以便研究防范。要对每一台特别是新研制的激光仪器,要作安全估计和安全说明。就钹玻璃激光治疗仪来说,建议采取以下一些安全防护措施:

(1) 用激光作手术时,可运用激光聚焦光束的“焦前光斑”、“焦点”和“焦后光斑”的不同位置对作用靶区投射不同的“激光剂量”。这对治疗和防护均有意义。例如,当需要用大光斑时,应采用焦后光斑以保护内脏,见图7。

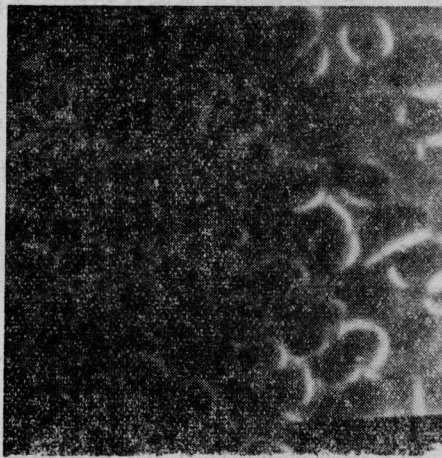
(2) 对体壁下有重要脏器的部位应避免垂直辐照。如有可能可将病灶置于辅助的方位使激光束以切向方式投射。



A 正常人红细胞 3000 倍图像(对比用)

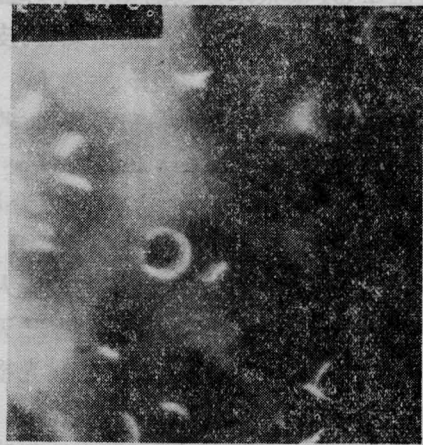


B 正常人红细胞 5000 倍图像(对比用)



正常红细胞区      移行区      激光破坏红细胞区

C 正常人红细胞及激光破坏红细胞交界处 1000 倍图像



D 被激光辐射破坏的人红细胞 1000 倍的图像

图示: 被激光辐射损伤区的红细胞可能发生“微爆”的现象; 从图中可见没有一个完整的红细胞



E 被激光破坏的人红细胞 3000 倍的图像

图 6

(下转第 748 页)

病例疗效统计表

动物	病种	病例	治疗	治疗次数		治疗日数		疗效	
				平均	范围	平均	范围	治愈	无效
奶牛	乳房炎	20	穴位照射	2.2	1~7	2.15	1~7	19	1
马	化脓感染创	4	局部照射	1.1	5~19	8.0	5~13	4	
马	扭伤	2	穴位照射	3.5	3~4	3.5	3~4	2	
马	屈腱炎	2	穴位+局部	7	4~10	5	4~6	1	1
马	全身性风湿	1	穴位照射	7		7			1
军犬	关节炎	2	穴位+局部	8.5	8~9	7	6~8	2	
军犬	纤维肿瘤	1	局部照射	8		8		1	
猴	瘫痪	1	穴位照射	21		21		1	
小牛	白痢	1	穴位照射	4		4		1	
小牛	腹泻	1	穴位照射	4		4		1	
合计		35						32	3

从上表看出：激光治疗奶牛乳房炎 20 例、治愈 19 例，治愈率 95%，平均每头仅治疗 2.2 次(1~7)或 2.15 天(1~7)。治疗的次数少、时间短、病愈快、效果好。其次是扭挫伤。激光对于感染创、关节炎、屈腱炎、肿瘤及小牛白痢病等均有一定疗效，但治疗的时间、次数较多，疗程较长，特别是瘫痪性疾病，治一例需 21 天共三个疗程才治愈。对于全身性风湿病马一例无效。

三、几点体会

1. 小功率 He-Ne 激光照射畜体穴位或患病部位，具有消炎、镇痛、止痒和促进创口肉芽与上皮生长、加速创面愈合作用，同时还具有无痛感和无副作用等特点。对奶牛急性乳房炎及家畜扭伤等病疗效高、收效快、安全简便。

2. 据介绍小剂量激光照射，对各种生物系统有刺激作用，且有累积效应，几次小剂量照射可等于一次大剂量照射，大剂量照射反而引起抑制作用。因此我们认为激光照射首次的时间适当长些，以后可逐渐减少为宜。关于照射的距离，似以 10~20 厘米较佳。

3. 激光照射部位，应剪毛剃光、涂上深色染液，有利于光的穿透与吸收而提高疗效。

本文曾得到广西大学物理系激光室何淑文、彭铭祖等老师及南宁市红星奶牛场、柳州市兽医联合诊所的技术人员大力支持，在此表示感谢。

(广西兽医研究所 韦自林、覃健飞  
李修平 1982 年 2 月 15 日收稿)

(上接第 742 页)

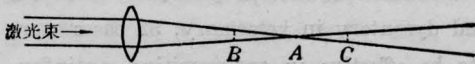


图 7 作用到靶区的光斑位置不同可用来调节激光投射的“剂量”(功率密度)并进行激光防护  
A—焦点; B—焦前光斑; C—焦后光斑

(3) 可在病灶下面注射普鲁卡因或生理盐水用以阻挡激光深入。

(4) 在病灶上涂紫药水增加激光吸收，或使用较小“剂量”激光并不断地清除已熔解的病灶，进行多次小“剂量”照射。

据报导，有被角膜反射的激光经过显微

镜打伤作手术医生眼底事故，为此需要发展使用安全的激光治疗仪器，作激光手术者需要凝视激光靶点光斑的，必须佩带有效的(经过测定)护目镜。上海光机所研制的 TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 涂膜护目镜，对 1.06 微米激光，R(反射率) > 99.5% 可改进使用。对激光汽化病灶而产生的伴有奇臭的有害气体需要处理，比如用活性炭处理等。另外在激光手术室里要严防易燃、易爆以及触电事故的发生。

本文实验得到李安民、林文青、黄德群等同志及华山医院激光协作组的帮助和指导，邓锡铭研究员、王德昭副教授的审阅，谨此致谢。