

皮肤的激光漫反射比测量

高光煌 张桂素 陈宗礼 李维宁 王登龙

(军事医学科学院放射医学研究所)

提要: 用自制的激光漫反射率测量仪测量了猪皮肤和人皮肤 694.3 nm 波长激光的漫反射率, 为阈损伤试验提供了数据。通过测量, 得到 530、632.8、694.3、1060 nm 波长上人体不同部位皮肤的漫反射比。

Measurement of skin diffuse reflectance ratio of laser radiation

Gao Guanghuang, Zhang Guisu, Chen Zongli, Li Weiming, Wang Denglong

(Institute of Radiation Medicine, Academy of Military Medical Sciences)

Abstract: The laser diffuse reflectance at 694.3nm on the pig and human skin was measured by a self-made reflectometer. The data were given for the experiment of laser damage threshold. The diffuse reflectances ratio at 530 nm, 632.8 nm, 694.3 and 1060nm at different places of human skin were obtained.

一、引言

皮肤是人体易受激光损伤的器官之一, 在给定量激光辐照下, 损伤程度的差异主要取决于组织光谱吸收的多少。进行皮肤激光漫反射比测量, 可以定量地给出活组织对激光的吸收, 这对皮肤激光损伤阈值研究和安全防护有一定意义, 对临床上激光照射皮肤治疗研究也有参考价值。有关白人和黑人皮肤漫反射比测量国外已有报道^[1~3], 属于黄色人种的中国人皮肤激光反射特性至今未见有人研究, 为此, 我们在皮肤激光损伤阈值研究的同时, 对人皮肤光谱反射特性作了测试, 并用自制的激光漫反射率测量仪测得被

试猪皮肤和人皮肤反射比值。通过测量, 还比较了人皮肤对不同波长激光的反射比大小、不同部位皮肤对同一波长激光的反射比差异、日晒对反射比的影响。

二、测量装置、材料和方法

1. 激光漫反射率测量仪

测量所用的激光漫反射率测量仪, 是根据皮肤的光谱反射特性及积分球光辐射测量原理研制的。整机由光接收头和显示器两部分组成, 前者的主体为铜质空心球(图1), 化学方法制备, 内壁涂硫酸钡漫射体, 球体开有入射光孔、出射光孔(样品孔)和探测孔, 三个孔面积占球体总面积 4.8%, 符合积分球测光

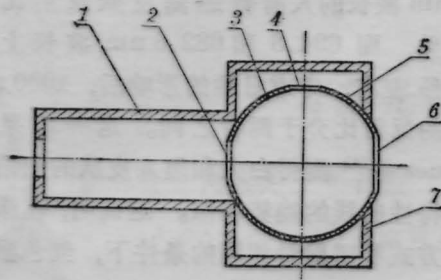


图1 光接收头结构示意图

1—遮光筒；2—入射光孔；3—漫射体；4—探测孔
5—积分球；6—出射光孔；7—固定盒

方法的理论要求。探测孔处装有PIN型硅光电二极管,用于接收被测样品的漫反射光,响应波长为400~1100 nm。显示器部分含光电流积分、读数保持、数码显示等电路,有“脉冲”和“连续”激光测量的双重功能。配有漫反射标准板一块,由中国计量科学研究院定标。测量仪的测量重复性3%左右,使用不受室内光线、温度、振动、气流等因素影响。

2. 激光器及辐照参数

依皮肤损伤阈值研究要求和实验室现有条件,为比较皮肤对不同波长激光的漫反射比大小,测量分别在Nd:YAG、红宝石、He-Ne及Nd:YAG倍频激光器上进行,相应辐照参数列于表1。表中选用的四种波长激光的辐照量和辐照度均在允许的安全值以内,不会引起皮肤损伤。

3. 被测部位

通常,激光皮肤损伤试验在5 kg左右白色猪背部两侧和人前臂屈侧皮肤上进行,反

表1 测量反射比用的激光器及辐照参数

激光器	波长 (nm)	照射时间 (s)	光束直 径(mm)	照射量
Nd:YAG	1060	1.0	5.0	$1.8 \times 10^{-2} \text{W/cm}^2$
		2.0×10^{-4}	6.0	$1.0 \times 10^{-2} \text{J/cm}^2$
		5.0×10^{-9}	6.0	$1.2 \times 10^{-2} \text{J/cm}^2$
红宝石	694.3	1.4×10^{-4}	5.0	$3.0 \times 10^{-2} \text{J/cm}^2$
He-Ne	632.8	3.0~5.0	2.0	$1.6 \times 10^{-1} \text{W/cm}^2$
Nd:YAG倍频	530	5×10^{-9}	8.0	$1.4 \times 10^{-2} \text{J/cm}^2$

射比测量部位选择与此一致。

4. 测量方法

测量采用“置换法”,即交替将漫反射标准板及被测皮肤放在积分球出射光孔处,使光束与表面垂直。由于连续激光器输出波动可控制在5%以内,测量时直接记下激光照射皮肤和漫反射标准板的测量仪示值A和B,由公式

$$\rho = \frac{A}{B} \cdot \rho_p$$

求出漫反射比。式中 ρ_p 为相应波长上漫反射标准板的反射率。而脉冲激光器输出波动一般5%以上,测量时应有监测措施,以减小误差,图2为脉冲激光下皮肤反射比测量光路。测量分两步:先测出激光照射皮肤时测量仪和监测仪示值之比 K_b ,然后测出激光照射漫反射标准板时测量仪和监测仪示值比 K_p ,最后再由公式

$$\rho = \frac{K_b}{K_p} \cdot \rho_p$$

求出皮肤的漫反射率。

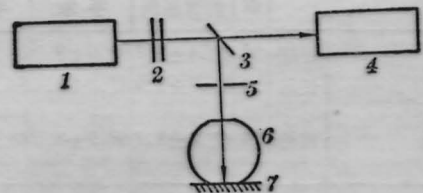


图2 脉冲激光皮肤漫反射比测量光路

1—激光器；2—衰减片；3—分束监测装置；4—监测器
5—光阑；6—积分球；7—样品

四、测量结果

1. 猪皮肤漫反射率

694.3 nm 波长红宝石激光皮肤损伤阈值研究用八头白色猪,测得漫反射比值列于表2。表中每头猪皮肤的反射比值为背侧10个测试点反射比的平均值。这一结果说明,白色猪皮肤的红宝石激光漫反射比一般在35.1~51.6%之间,平均值为45.8%;猪

表2 猪皮肤红宝石激光漫反射比测量结果

编号	体重(kg)	反射比(%)
4	8.8	51.6±5.0
5	6.7	51.4±5.0
6	7.1	51.6±5.2
8	6.4	40.7±5.6
9	5.3	46.6±3.6
10	5.7	35.1±2.8
11	5.6	43.1±2.7
12	5.6	46.0±2.0
平均值	—	45.8±5.9

的肥瘦与反射比大小有一定关系, 肥猪反射比高。

2. 人皮肤漫反射比

人皮肤的激光漫反射比分别于1983年8月前后和1984年5月测得, 为分析比较不同波长激光的反射比大小和日晒对反射比的影响, 测量共分七组, 各组10~23人, 结果列于表3。

表3 人皮肤激光漫反射比测量结果

激光种类	测量人数	反射比平均值(%)			
		前臂屈侧	手掌	手背	
*Nd:YAG	连续	20	34.4±1.7	28.0±3.9	28.9±3.5
	长脉冲	14	40.6±1.9	37.3±3.4	36.3±4.5
	巨脉冲	14	43.2±1.8	38.9±3.6	38.9±2.5
红宝石	长脉冲	23	38.8±3.3	42.3±3.6	33.0±4.1
He-Ne	连续	13	39.0±3.1	47.5±3.0	32.7±2.0
		10*	47.1±4.0	—	—
Nd:YAG 倍频	巨脉冲	16	21.7±4.1	22.5±5.1	16.2±3.7

* 1984年5月测量, 其余为1983年7~9月测量

五、讨 论

1. 由于肤色深浅不同、表面粗糙程度不一、组织中脂肪多少、含水量、血流状况、血红蛋白含量等生物学方面的差异, 表现皮肤对不同波长激光的反射不等。八月份测得

530 nm 波长的人前臂屈侧皮肤反射比为21.7%, 而694.3和632.8 nm 波长上为39.0%左右, 考虑日晒的影响后, 1060 nm 波长的反射比介于两者之间。这一结果与Jacquez等^[4]测得白人和黑人皮肤的光谱反射比特性曲线的趋势相似。这说明, 在激光发射方式和照射量相同的条件下, 红色激光引起皮肤的损伤可能最轻。

2. 皮肤对激光漫反射比大小实际是组织吸收激光量多少的反应, 因而与激光对皮肤损伤程度密切相关。对于一定的激光辐照量或辐照度, 损伤程度应随反射比的降低而加重。比较694.3 nm 波长激光人皮肤阈损伤试验结果和相应部位皮肤的漫反射比测量值(表4), 可以看出反射率低的皮肤更易受损伤这一规律。

表4 激光对人皮肤损伤与漫反射比间关系*

编号	漫反射率(%)	照射能量(J)				
		2.8	1.4	1.1	0.8	0.5
19	43.8	++	-+	+—	—	—
22	42.7	++	++	—	—	—
1	42.1	++	++	++	—	—
4	41.8	++	—	—	—	—
2	40.5	++	++	+—	—	—
3	40.1	++	-+	—	++	—
14	39.6	++	++	++	—	—
7	38.5	++	++	++	++	—
5	38.4	++	++	+—	—	—
11	35.5	++	++	++	—	—
20	35.4	++	++	-+	-+	—
15	35.3	++	++	++	++	—
21	34.1	++	++	-+	—	—
6	33.8	++	++	++	++	—
8	32.5	++	++	++	++	++

* “+”—出现红斑; “—”—未出现红斑

3. 日晒可使皮肤反射比降低, 如: 同一组被测者前臂屈侧皮肤, 经日晒后, 对632.8 nm 波长激光的反射比降低了8.0%(表3)。因此, 夏天人体暴露部位皮肤更容易受激光损伤。

(下转第741页)

伤发生率的回归线见图4。

三、损伤的病理组织学观察

23只兔眼的病理组织学观察表明,在此照射剂量范围内,基本病变为角膜上皮凝固、水肿及坏死,典型病灶可划分为三个区带:

1. 中央坏死区:角膜灼伤中央,细胞发生凝固坏死,脱落而形成局部上皮缺损。缺损的大小、部位不定,多位于病灶中央,但也有偏于一侧,这可能与CO₂激光“热点”分布并非恒定有关。坏死较重者,全上皮层脱落形成平底或锥形凹陷,轻者仅表层上皮细胞剥脱形成蚕食状或残留上皮如岛状。基质层都无明显改变。

2. 周围凝固带:随着光束周围部分光强的减弱,损伤逐渐减轻。坏死区周围病变以细胞凝固为主,出现核固缩、浓染或核破碎。

3. 边缘水肿、凝固带:病灶边缘角膜上皮浅层扁平或翼状细胞发生肿胀或凝固,出现核皱缩。

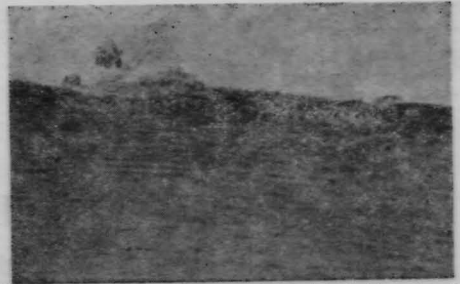


图4 CO₂激光照射角膜上皮细胞核固缩,表层剥脱

以上为典型病灶表现,随着照射剂量的不同,损伤程度亦有差别。稍重病灶,损伤面积大、坏死组织脱落多。轻型病灶,都无坏死病变,而仅发生上皮层凝固如图5所示。极轻病灶,损伤小而浅,仅波及浅层细胞发生肿胀凝固,有的病灶形似一小浅盘,径长200~300 μ m。阈值附近照射剂量的损伤多表现为轻型或极轻型。

本文数据的计算机统计处理由汤仲明同志协助,特此致谢。

参考文献(略)

(上接第731页)

第四,基模激发效率对轴向偏差的分布并不对称。在 d 偏小时,基模耦合效率随 d 的减小急剧下降。尤其是在 $d=0$ 时,激发效率特别低,比最佳耦合条件下的激发效率下降了50倍之多。因此在实用中,我们宁愿把 d 调整得比 d_0 大,也不愿让它比 d_0 小。

第五,图3给出,横向偏差存在时基模激发效率随波导芯半径 a 的变化有两个明显的

(上接第734页)

激光类型不同时,皮肤的漫反射比不一样,其原因有待进一步分析研究,可能与能量转换速率有关,即激光照射时间短,因光能不能充分地转换成组织的热能,使皮肤对激光的反射量相对增加,所以,测得1060nm波长巨脉冲的反射比最高,连续光最小,长脉冲居中。

以上分析讨论看出,本文所测数据基本

特点:一个是随着横向偏差量 Δ 增大,其激发效率下降,并且使曲线变得较为平坦;另一个特点是最佳激发效率所对应的 a 值,随着 Δ 增大,有一个朝着 a 减小的方向的小移动。

参 考 文 献

- [1] 张志鹏,石守勇;《中国激光》,1984,11, No. 10, 602.
- [2] D. Marcuse; *Bell Syst. Tech. J.*, 1977, 56, 703.

可靠,可为皮肤激光损伤阈值研究和安全防护标准的制订提供参考。

参 考 文 献

- [1] J. P. G. Williams; 1971, AD-735794.
- [2] L. Goldman *et al*; "Laser in Medicine", New York, 1971, p. 163~172.
- [3] R. J. Reckwell *et al*; 1974, AD-A012703.
- [4] J. Jacquez *et al*; *J. Appl. Physiol.*, 1955, No. 8, 212~214.