

## 皮肤对光的反射、透射和吸收规律的初步实验研究

唐建民 傅昌余

(第三军医大学物理教研室)

**提要:** 实验研究表明: (1) 人体皮肤对光的反射不仅仅发生在皮肤表面, 还发生在皮肤以下的组织层; (2) 在 400~800 nm 之间, 人体对光的反射比曲线吸收峰与人血对光的透射比曲线的吸收峰相同; (3) 在 400~800 nm 之间, 皮肤或皮加皮下组织的反射比和透射比曲线具有基本相似的变化趋势。

### Preliminary experimental research on skin reflection, transmission and absorption of light rays

Tang Jianming, Fu Changyu

(Department of physics, Third Military Medical College, Chongqing)

**Abstract:** The experimental results show that (1) light reflection occurs not only from the skin surface, but also from tissue layers below the the skin; (2) between 400-800 nm, the absorption peak of reflectance curve of the human body is at the same wavelength as that of the transmittance curve of the blood; (3) between 400~800 nm, the reflectance and transmittance curve of the skin or that of the skin plus subcutaneous tissues have essentially the same changing tendency.

### 一、前 言

皮肤是人的大门, 它复盖人体表面, 光和激光的治疗必须首先通过皮肤而达到皮下组织和器官。对激光的防护(除眼外)首当其冲的是皮肤的防护。显而易见, 研究皮肤对光的反射、透射和吸收规律, 是一项重要的基础研究, 它将为研究光的生物效应, 研究光的治疗剂量和防护阈值提供重要参数。

我们是用普通光来进行实验的, 激光方面只用到 2.7 mW 的 He-Ne 激光, 并将它和

波长为 632.8 nm 的普通光进行对照。

众所周知, 生物效应和生物体所吸收的光能有关, 即和吸收比有关。一般而言:

$$\text{吸收比} = 1 - \text{反射比} - \text{透射比}$$

因此本实验的关键是如何测准反射比和透射比, 从而算出吸收比。我们知道, 光线照射在皮肤上的反射光是漫反射, 只有充分收集和记录全部漫反射的能量, 才能测准皮肤的反射比。因此我们是用“积分球”进行这项测定的。

收稿日期: 1985年12月7日; 修改稿收到日期: 1986年10月13日。

## 二、实验装置

我们是在带“积分球”的 UV-210 A 型双光束扫描分光光度计上进行实验的。所用光源是 50 W 的钨卤素灯。实验装置如图 1 所示。其中  $R$  为参考光束，它经全反镜  $M_3$  和窗口  $I$  进入积分球(四周涂有均匀的白色氧化镁剂)，照在贴紧积分球窗口  $II$  的氧化镁白板上，其漫反射光经多次反射均匀照亮积分球内壁。在积分球底部有一个孔隙( $\phi 60$  mm)，光电倍增管  $P$  紧贴孔隙。另一束样品光束  $S$  经全反镜  $M_1$ 、 $M_2$  和窗口  $III$  进入积分球，照在窗口  $IV$  的地方。如果窗口  $IV$  是紧贴氧化镁“标准白板”，其漫反射光的一部分经积分球底部的孔隙进入光电倍增管，这时仪器读出标准白板的反射比为 100%；如果窗口  $IV$  放的是一块黑体(特制的粗糙黑绒面)，仪器读出此黑体的反射比为 0；如果窗口  $IV$  换上任一被测物(如皮肤)，就可测出其反射比。测透射比的方法是：窗口  $I$  敞开，窗口  $II$ 、 $IV$  用氧化镁白板封住，皮肤内表面平整地紧贴窗口  $III$ 。仪器扫描范围为 400~800 nm，波长精度  $\pm 2$  nm。

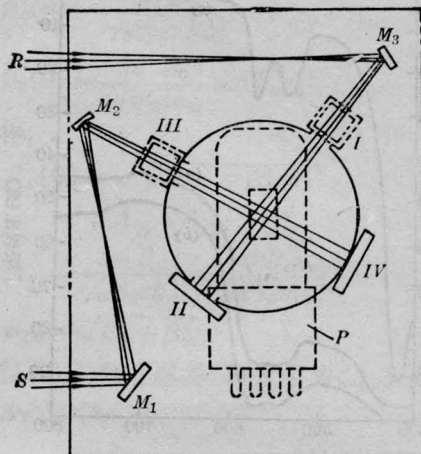


图 1 积分球

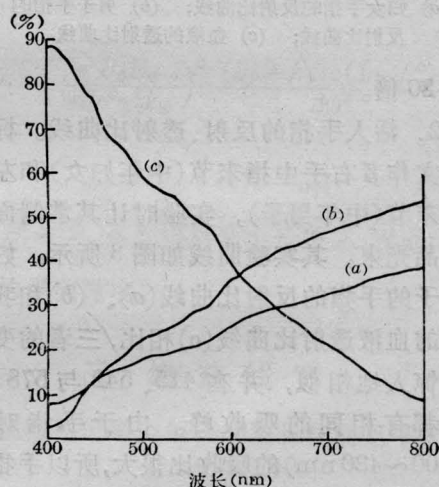


图 2 皮肤的反射比、透射比和吸收比曲线

(a) 反射比曲线；(b) 透射比曲线；  
(c) 吸收比曲线

## 三、实验结果

1. 游离人皮的反射比和透射比曲线。标本为人右上肢三头肌上的皮肤，4°C 保存，手术后 17 小时去皮下脂肪实验。实验结果如图 2 所示。反射比和透射比都随波长的增加而增加。故其吸收比随波长的增大而减小。人们感兴趣的是求皮肤的吸收系数  $\mu$ ，一般用公式  $I = I_0(1-R)e^{-\mu x}$  来求  $\mu$ ，所以

$$\mu = \frac{-1}{x} \ln \frac{I}{I_0(1-R)},$$

式中  $x$  为皮肤的厚度，此处  $x = 1.14$  mm， $I/I_0$  为透射比， $R$  为反射比。其计算结果如表 1 所示：从 400~800 nm， $\mu$  值递减，首尾相

表 1 皮肤对光的吸收系数

波长 (nm)	对应的激光器	反射比 (%)	透射比 (%)	$\mu$ (mm <sup>-1</sup> )
400		8.0	4.0	2.750
441.6	He-Cd	12.0	11.0	1.824
488	Ar <sup>+</sup>	17.0	20.0	1.248
514.5	Ar <sup>+</sup>	19.0	24.0	1.067
632.8	He-Ne	28.5	40.5	0.499
694.3	红宝石	32.0	46.0	0.343
800		38.0	53.0	0.138

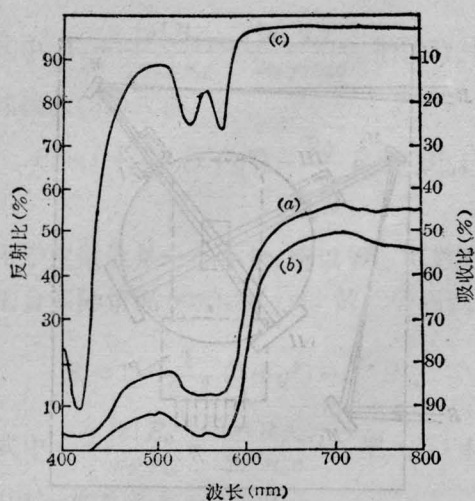


图 3

(a) 妇女手指的反射比曲线; (b) 男子手指的反射比曲线; (c) 血液的透射比曲线

差约 20 倍。

2. 活人手指的反射、透射比曲线。标本是本文作者右手中指末节(中年妇女)和左手食指末节(中年男子), 实验时让其掌侧面迎着样品光束。其实验曲线如图 3 所示。妇女和男子的手指反射比曲线(a)、(b)和我们所做的血液透射比曲线(c)相比, 三者的变化趋势惊人地相似, 并在 415、542 与 578 nm 三处都有相同的吸收峰。由于手指对紫光(400~430 nm)的吸收比很大, 所以手指在 415 nm 处的吸收峰仅隐约可见, 而只在 542

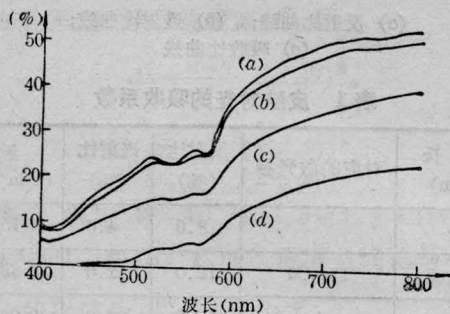


图 4 四头肌外侧下皮加皮下组织的反射比和透射比曲线

(a) 厚度为 7.12 mm 的反射比曲线;  
(b) 厚度为 4.62 mm 的反射比曲线;  
(c) 厚度为 2.34 mm 的反射比曲线;  
(d) 厚度为 2.07 mm 的透射比曲线

和 578 nm 出现明显的双峰。而男、女手指在波长 400~800 nm 范围内的透射比为 0。

3. 皮加皮下组织的反射、透射比曲线。标本为青年妇女四头肌外侧下的皮加皮下组织, 4°C 保存, 截肢后 15 小时实验, 其实验曲线如图 4 所示。其反射比曲线随厚度的增加而增高, 厚度为 7.12 mm 时, 其透射比为 0, 故所对应的反射比曲线(a)为最高反射比曲线, 即不再随厚度的增加而增高。

4. 皮加皮下组织的反射比和透射比曲线。标本为右手大鱼际, 4°C 保存, 术后 14 小时实验, 其实验曲线如图 5 所示。

5. 水洗手指的反射比与透射比曲线。标本为拇指末节, 4°C 保存, 截肢 14 小时后经水冲洗挤压将血排出再进行实验(掌侧面迎着样品光束), 其实验曲线如图 6 所示。在 400~800 nm 范围内, 其透射比为 0。

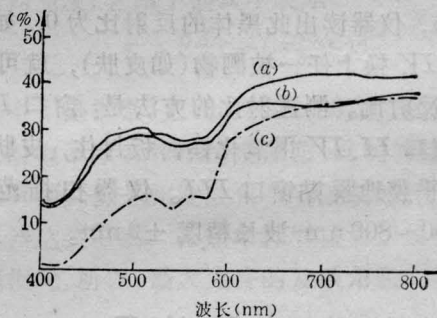


图 5 大鱼际的皮加皮下组织的反射比和透射比曲线

(a) 厚度为 4 mm 的反射比曲线;  
(b) 厚度为 2.15 mm 的反射比曲线;  
(c) 厚度为 2.15 mm 的透射比曲线

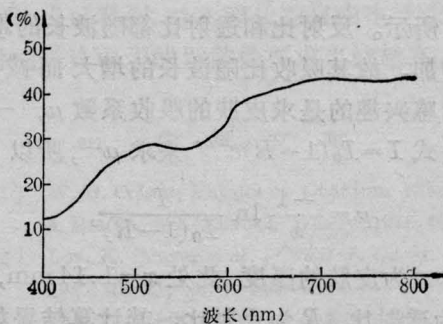


图 6 水洗手指的反射比曲线

表 2

光源	标本	厚度 (mm)	反射比 (%)	透射比 (%)
He-Ne 激光	皮+皮下组织	2.32	32.2	12.8
普通光 (632.8 nm)	同上	同上	30.3	12.8
He-Ne 激光	肌肉	2.42	28.1	5.5
普通光 (632.8 nm)	同上	同上	26.9	6.0

6. 2.7 mW He-Ne 激光与波长为 632.8 nm 普通光(光源为 50 W 的钨卤素灯)的反射比和透射比的对照实验结果列于表 2。

#### 四、实验分析

从以上实验可得出四点重要结论。

1. 光照射到人体时将发生反射,但反射不仅仅发生在皮肤表面,而且还发生在皮肤内层和皮下各组织层。如图 2 中单层皮肤(表皮+真皮)的反射比曲线和图 3 至图 6 中的皮+皮下组织的反射比曲线就全然不同,说明了反射不只发生在皮肤的外表面,还和皮下组织有关。在图 4 和图 5 中,皮+皮下组织的厚度愈大,其反射比曲线愈高,说明了组织愈厚、层次愈多,反射次数愈多,因而总反射比也愈大。

2. 光从皮肤进入皮下各组织层时,如碰到血液,则其反射比和透射比曲线出现与血液相同的吸收峰;如碰不到血液则不出现血液吸收峰。如图 3 中活人手指末节部位,皮下含有血管且供血良好,所以在 415、542 与 578 nm 三处,其反射比曲线出现与血液相同的吸收峰。又如图 4 和图 5 中的皮下组织中均含有血,因此它们的反射比和透射比曲线也都出现与血液相同的吸收峰。再如在图 6 中,一旦将皮下组织的血冲洗干净或失血,其反射比曲线就不再出现与血液相同的吸收

峰。

3. 光照射皮肤或人体时,其反射比和透射比曲线的变化趋势都分别相同。如图 2 中单层皮肤的反射比和透射比都随波长的增加而增加。而在图 3、图 4 和图 5 中,它们虽然是属于不同的人体中不同部位的皮+皮下组织,但它们的反射比和透射比的变化趋势都大体相似。

4. 过去有关光与激光对生物组织的反射、透射和吸收规律的研究都强调求某一组织层的反射、透射、吸收比及吸收系数,无疑这是重要的。但我们的实验表明,反射比随组织的厚度而异。因此上述研究方法隐含着—个错误观点,认为生物组织对光的反射只决定于表面。

#### 五、应用

当用 400~800 nm 的光照射人体进行治疗时,由于人体绝大部分对光是非透明体,所以人体对光的吸收比=1-反射比。此处的反射比应为最大反射比,而不是单层皮肤的反射比。由于最大反射比因人因部位不同而异,情况较复杂,表面看来似乎无规律可循。但如前所述,在图 3、图 4 和图 5 中,它们虽然是不同的人体和不同部位的皮加皮下组织,但它们的反射比和透射比的变化趋势都大体相似。所以我们认为当光照射到人体时,大约具有下列的规律性:(1)在 400~800 nm 之间,其最大反射比曲线的变化趋势基本相似;(2)因人体皮下都含有血管,所以在 400~800 nm 之间,其最大反射比曲线具有和血液相同的吸收峰;(3)人体对紫光(400~430 nm)的反射比最低,吸收比最高;对红光(630~750 nm)与近红外光(750~800 nm)的反射比最高,吸收比最低;前者的吸收比为后者的二倍半或十倍不等。

与国外学者所做的实验<sup>[2,3]</sup>相比,在 400~800 nm 之间,黄种人的最大反射比,一般 (下转第 435 页)

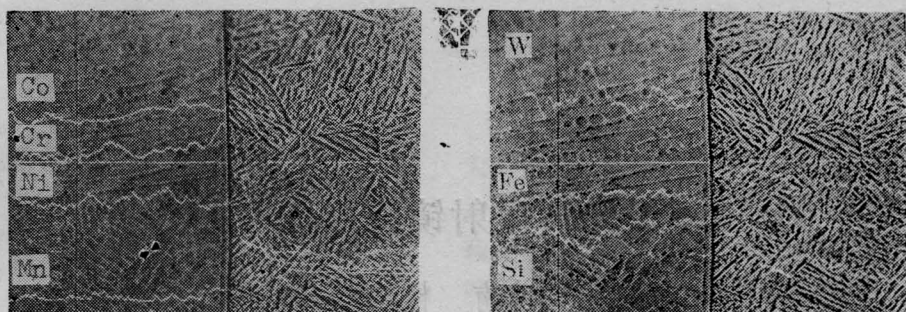


图5 结合带附近区域显微结构和元素分布曲线

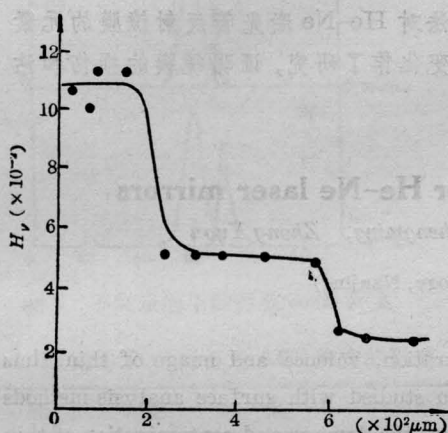


图6 试样横截面上的显微硬度分布

材交接处的显微结构观察表明,经激光处理后在钴基涂层与基材之间存在一个宽度为5~10 μm的结合带。此结合带与基材和钴基熔覆层之间呈良好的冶金结合。

由结合带区域的元素分布情况表明,在进行激光熔覆处理过程中,钴基涂层元素基本上不被基材所“稀释”。所以,可以确定在20号钢表面的钴基涂层经激光熔化处理后形成“激光涂覆”而不是“激光合金化”。显微硬度的三阶梯分布形式也说明了这一点。

#### 四、结 论

从扫描电镜和透射电镜对钴基涂层与基

#### 参 考 文 献

- [1] Edward M. Breinan et al.; *Phys. Today*, 1976, 29, No. 11, 44~51.
- [2] 《机械と工具》, 1979, 23, No. 2, 101~107.
- [3] *Iron Age Metallurgical International*, 1977, 16, No. 11, 31~33.

(上接第443页)

是低于白人而高于黑人。

有些学者<sup>[2,3]</sup>认为激光和普通光对生物体的反射比与透射比是等效的,这种说法未得到实验证明。本实验的表2说明,对几mW的激光而言,考虑到它的“非线性效应”可忽略,它的反射、透射比和普通光可看作大致等效。因此本实验为光和几mW的激光的治疗、防护与生物效应的研究提供了某些

参数。

#### 参 考 文 献

- [1] 刘德傅等;《上海第二医学院学报》, 1982, No. 4, 115.
- [2] 刘普和等;“医学物理学”,人民卫生出版社, 1980, 764—765.
- [3] J. R. Cameron, J. G. Skofronick; “Medical Physics”, 1981, pp. 168~170.