

弱CO₂激光、He-Ne激光复合照射创面的探讨

周川钊

谢树森

(福建师大光学仪器厂, 福州)

(福建师大激光研究所, 福州)

摘要: 本文从激光工程技术角度讨论CO₂激光、He-Ne激光复合照射治疗创面的几个问题。

**Some problems of irradiating lesion simultaneously
with low level CO₂ laser and He-Ne laser**

Zhou Chuanzhao

Xie Shusen

(Optical Instrument Factory,
Fujian Teachers University)(Institute of Laser, Fujian
Teachers University)

Abstract: From the point of view of laser technology and engineering, this paper puts emphasis in several problems of laser medicine of lesion irradiated with low level CO₂ laser and He-Ne laser beam, simultaneously.

一、引言

在激光医学应用领域中, CO₂激光以它优越的切割性能和止血效果几乎涉及到所有外科的临床学科; 低功率密度CO₂激光对生物组织的热作用和He-Ne激光对生物组织的刺激作用, 也普遍用于某些疾病的理疗照射并收到满意的疗效。目前, 我国以这两种激光在临床上获得最广泛的应用, 并已有过文献或专著予以论述。几年前, 笔者与同事们研制的“FYJ-4型CO₂激光-He-Ne激光联合治疗机”, 两种激光具有单独用于治疗的功能外, 还有配合使用提高疗效的作用(即CO₂激光术后创面用He-Ne激光扩束照射, 加速干燥结痂并缩短愈合时间)。不久前, 我们又研制成功“实用新型双激光联合治疗机”, CO₂激光输出功率可调, 利用低功率密度CO₂激光和He-Ne激光对同一病灶同时进行复合照射, 旨在促进创面愈合, 探索该两种弱激光复合照射对生物组织的作用机理。

二、两种弱激光复合照射的一种实用装置

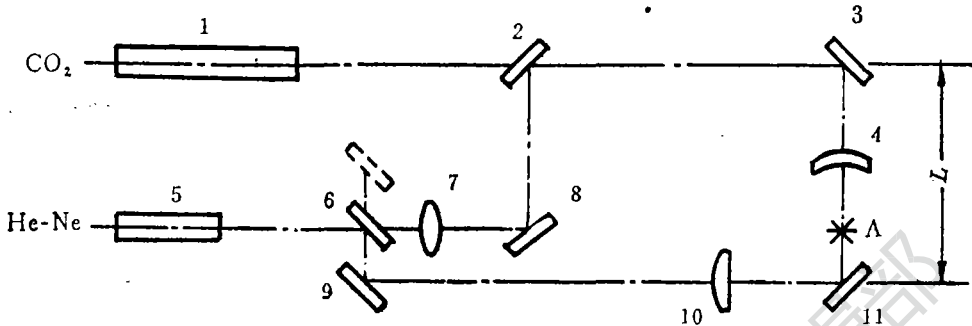
激光剂量是指激光束垂直照射到生物组织单位面积上的功率与照射时间的积。

$$D = \frac{P}{S} t \cos\theta \quad (1)$$

式中, P 是到达受照处的激光功率; S 是受照面积; t 是照射时间; θ 是入射激光束与受照面法线夹角。由上式得知, 当激光功率密度和照射时间不变时, 为使受照面获得最大且均匀的激光剂量, θ 应趋于0°。当采用两台独立的CO₂激光和He-Ne激光治疗机时, 虽然亦可调

整两激光束对准同一创面进行复合照射治疗之目的,但它们都有一定的外形尺寸,输出两激光束的间距 L 较大,因此激光束与受照面夹角 θ 值也较大,不可能同时获得两种激光最大且均匀的有效剂量。

我们设计的“实用新型双激光联合治疗机”,是在同一台机器上设置一台CO₂激光器和一台He-Ne激光器。该设备上输出的CO₂激光功率可调,适用于不同病种作切割、汽化、烧灼、凝固和照射治疗;输出的He-Ne激光可用于直接照射或扩束照射治疗。整机光学系统如附图。由CO₂激光器1输出的激光束通过锗片2经关节反射镜3投射到聚焦透镜4上,会聚后的激



附图 整机光学系统图

光束焦斑处作组织切割,离焦时依离焦量大小用作汽化、烧灼、凝固或照射治疗。全反射镜6移开光路时,He-Ne激光器5输出的激光束通过变换透镜7,经全反射镜8,锗片2的背向镜面及关节镜3的转向,最后也由聚焦镜4聚成一可见光斑与CO₂激光束焦斑重合借以精确模拟指示。当全反射镜6移到光路上时,He-Ne激光器输出的激光束经全反射镜6,9转向投射到扩束镜10上,经扩束由转向镜11输出作照射治疗。需要作原光束照射治疗时,将扩束镜10移开光路。

在本机器设计时,由聚焦镜输出的CO₂激光束与转向镜输出的He-Ne激光束的间距 L 可以尽量地缩短,使两激光束均能以接近垂直方向到达创面位置。为此,创面可得到两激光束最大的激光剂量且均匀照射。根据创面的大小,为得到所需的低功率密度CO₂激光照射可由下面一组表达式^[2]求得:

$$W = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (2)$$

$$D = 2\omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda l}{\pi \omega_0^2}\right)^2} \quad (3)$$

式中, l 是离焦的工作距离; D 是随 l 变化的CO₂激光光斑直径; ω_0 是高斯光束焦斑半径; P 是CO₂激光输出功率; W 是相对应的功率密度。由(2),(3)式求得CO₂激光光斑面积并调节功率 P ,获得所需的低功率密度CO₂激光进行照射治疗。

三、CO₂激光对生物组织热作用与生化反应速度的关系

人体皮肤的表皮辐射光谱亮度最大值的波长为9.5 μ m。根据普朗克辐射定律和基尔霍夫定律^[3]得知,人体表皮对10.6 μ m波长的吸收比为峰值的97%。因此,CO₂激光大部分能量被表皮所吸收。根据布洽-朗伯吸收定律^[1]:

$$D = D_0 \exp[-\nu x] \quad (4)$$

式中, D_0 是空气与角质层分界处进入皮肤的功率密度; ν 为CO₂激光的消光系数($\nu = 200$

cm^{-1})；当光束到达0.23mm深处，其功率密度 D 仅为入射时功率密度 D_0 的1%，仅剩下微量透射到真皮层并被吸收。由(4)式导出人体皮肤组织在单位时间、单位体积内吸收 CO_2 激光能量 J 与 x 的关系式

$$J = -\frac{\Delta D}{\Delta x} = -\nu D_0 \exp[-\nu x] \quad (5)$$

由于投射在皮肤表面上的 CO_2 激光功率密度 $D(R)$ 呈高斯函数分布，其表达式：

$$D(R) = D_0 \exp[-2R^2/w_z^2] \quad (6)$$

式中， R 为与皮肤表面最大功率密度的距离； w_z 是功率密度降至峰值功率密度 $1/e^2$ 的半径。因此， CO_2 激光散焦照射对人体皮肤组织的热作用可以近似用平面半无界的一维有源热扩散方程表述。假定 CO_2 激光对皮肤组织照射时间有足够长并加热是缓慢的，温升就可以由下式^[4]算出：

$$\frac{dT}{dt} = \frac{J}{\rho c_p} + \frac{K}{\rho c_p} \cdot \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (7)$$

式中， K 是皮肤组织热传导系数（ K 与含水量、密度等因素有关）； ρ 是皮肤组织的密度； c_p 为皮肤组织的比热。当表皮温度峰值稳定为 T_0 ，且在一定深度内呈稳定状态分布（即 $dT_0/dt \approx 0$ ）时，由(5)，(6)，(7)式得出 T_0 与人体核心温度 T_{37} 的最大温差 ΔT_0 ：

$$\Delta T_0 = D_0 / \nu K \quad (8)$$

当皮肤表面加热时，温度上升至 $38^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 而不再上升时，无论照射多长时间不会引起致损伤^[1]。因此，表皮温度峰值在 40°C 时为阈损伤范围内。由(8)式可以算出，临床上 CO_2 激光照射治疗所允许的最大功率密度 $D_0 = 0.07 \text{ W/cm}^2$ 。（假定照射治疗手掌，其热传导系数 $K = 1.2 \times 10^{-3} \text{ Cal/cm}^2 \text{ s}^\circ\text{C}$ ）。

弱 CO_2 激光照射皮肤组织热作用所产生温升效应，其明显作用是改变各种生化反应的速率。这些生化反应速率可以用单击过程描述一个事件，使一个蛋白质或一个酶变性。Wood描述的单击细胞失活过程^[4]：

$$f = f_0 e^{-K' t} \quad (9)$$

式中， f 是表示原始物质还有百分之几没发生化学变化； K' 是化学反应速率常数，它是温度变化的函数。生化反应中 K' 用下式表示

$$K' = \frac{kT}{h} \exp\left(\frac{-\Delta H + \Delta S}{RT}\right) \quad (10)$$

式中，自由能变量 ΔH 和熵的变量 ΔS 都是数值较大的； h 是普朗克常数； R 为气体常数。由公式(10)不难看出， K' 的值是随着温度 T 的增加而变大。此时，生化反应速度也加快，酶被激活，酶的浓度随之增加，致使酶促反应^[5]的速度加快。

四、两种弱激光复合照射对创面愈合的促进作用

弱 CO_2 激光照射创面主要是温热作用。在皮肤组织阈损伤范围内，由于温度升高促使生体中各种酶的增加，生化反应速度加快，并增进血管活性胺和激肽形成酶的作用。据此，导致小血管扩张，加快血管中的液体和细胞成分透过血管壁组织，实现炎性细胞浸润，并由于血管扩张，血流量增加带走受热区的能量，改善了供血和营养，有助于消除水肿。炎症反应的控制和水肿的吸收，起到了镇痛作用。酶促反应的加强另一个作用是提高氨基酸的活化，加速蛋白质合成，使创伤组织内产生许多成纤维细胞和新生的毛细血管内皮细胞，并沿着凝块内

纤维蛋白网生长。温热作用还加快结缔组织的修复以及由于细胞核代谢旺盛,加速肉芽组织的生长和上皮再生,促进开放性创伤的愈合。

He-Ne激光的波长正好在氧化酶的最大吸收波长附近^[6]。因此,它透过皮肤组织时,一部分光被散射;一部分光被酶吸收并实现光化学反应和酶促反应而到达皮下组织的光强已被减弱。在创伤组织炎症浸润阶段,由于酶被光激活,提高了真皮组织和皮下组织白细胞和巨噬细胞的吞噬能力,使炎症控制在生理范围内,提高杀菌能力,防止创伤组织的感染。在组织增生、修复和愈合阶段,由于酶的光激活,真皮和皮下组织的光致氧化和光致聚合过程,增强高能体ATP的形成,提高DNA-RNA蛋白系统的活性细胞有丝分裂并活化增殖过程,从而刺激细胞的内外生殖和修复。同时,酶的光激活加速了组织代谢过程,改善血液循环并促使成纤维细胞成熟,肉芽组织增生,从而加速创伤组织的愈合。

显而易见,两种弱激光复合照射人体皮肤组织时,CO₂激光大部分能量被表皮吸收,而少部分能量被真皮组织乳头层所吸收。因此,它只是对浅部创伤组织的炎症控制,组织修复并促进其愈合起作用。He-Ne激光穿透较深,从表皮经真皮直至皮下组织。因此它对表皮组织的修复和真皮组织、皮下组织炎症控制,水肿消除和组织增生都起作用。由于两种弱激光的热作用和生物刺激作用同时进行,对皮肤浅部感染和炎症的控制,促进肉芽组织生长和上皮再生,结缔组织的修复,不单是相加的效果,而是CO₂激光温热作用引起酶促反应加快及He-Ne激光的激活酶,实现变构控制酶的相互作用引起一连串酶的激活,其结果是进一步加速酶促反应。实际上,由于酶促反应显著增加和He-Ne激光对皮肤组织深部的刺激作用,使创面一期愈合时间缩短,并对二期愈合也起促进作用。

我们研制的“实用新型双激光联合治疗机”曾在福州总医院妇产科作会阴侧切术创口的两种弱激光复合照射的临床研究。尽管实验是初步的,但收到了满意的结果。

参 考 文 献

- [1] 徐国祥, 章 萍, 刘润梅 *et al.* 激光医学。广州: 广东高等教育出版社, 1987: 134~137, 184~185
- [2] 谢树森, 周川钊, 黄俊民 *et al.* 激光杂志, 1986: 7 (3): 125
- [3] 李景镇 *et al.* 光学手册。西安: 陕西科学技术出版社, 1986: 17~22.
- [4] 沃尔巴特 M L 著, 刘普和 *et al.* 译。激光在医学和生物学中的应用。北京: 科学出版社, 1983: 1~15.
- [5] 张昌颖 *et al.* 生物化学。北京: 人民卫生出版社, 1978: 68~75, 473~478
- [6] 曲治华, 王朝清。激光对人的有害作用及防治措施。北京: 人民卫生出版社, 1985: 44~48

*

*

*

作者简介: 周川钊, 男, 1939年12月出生。高级工程师。从事光学和激光工程技术、医用激光研究。

谢树森, 男, 1940年10月出生。教授。现从事组织光学、激光剂量学以及激光和电光学的生物医学应用等教学和科研工作。

收稿日期: 1991年2月9日。

收到修改稿日期: 1991年8月2日。