

文章编号: 1001-3806(2002)02-0119-04

半导体激光贴肤照射手背皮下静脉血液疗法研究*

骆晓森¹ 倪晓武² 陆建² 贺安之² 窦忠新¹ 黎露刚¹ 严玉兰¹ 段平¹ 刘建刚¹

(¹第二军医大学南京军医学院基础部, 南京, 210099) (²南京理工大学应用物理系, 南京, 210094)

摘要: 提出一种将半导体激光器(LD)贴近皮肤照射皮下静脉进行激光血液辐照治疗的新方法。该方法以手背皮下静脉作为激光照射点,采用 650nm 波长激光。给出了新方法所依据的实验基础,论述了新方法的可行性,说明了与新方法相适应的激光照射装置的设计方案及其照射方式,目的是为改进激光血液照射疗法探索新途径。

关键词: 半导体激光器; 血疗; 皮下静脉

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A

Study on laser blood therapy with laser diode radiating the subcutaneous vein at the back of the hand

Luo Xiaosen¹, Ni Xiaowu², Lu Jian², He Anzhi², Dou Zhongxin¹,

Li Lugang¹, Yan Yulan¹, Duan Ping¹, Liu Jiangan¹

(¹ Nanjing Military Medical College, Second Military Medical University, Nanjing, 210099)

(² Department of Applied Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094)

Abstract: A new laser blood therapy with a laser diode(LD) put close to the skin and radiating the subcutaneous vein is introduced. The subcutaneous vein at the back of the hand is suggested as the target of laser irradiation. The experimental foundation is explained. A set of design program of the laser radiation instrument corresponding to the new method and the manner of irradiation for this instrument are presented. The aim of the study is to look for a new path for laser blood therapy.

Key words: laser diode(LD); blood therapy; subcutaneous vein

引言

近 10 年来,我国广泛地开展了激光血管内照射疗法的临床应用研究,该疗法使用的激光器主要为 He-Ne 激光器(632.8nm)和半导体激光器(650nm),照射功率通常为 1~5mW,典型值约 1.5mW。治疗方法一般为病人平卧位,取肘正中或贵要静脉,局部皮肤消毒,激光通过光导纤维,经静脉穿刺导入静脉,直接照射循环中的血液,每次照射约 60min,每日一次,7~10 次为一疗程。该疗法对机体的作用主要表现为:改善血液流变学性质,纠正微循环障碍;调节免疫系统,提高免疫功能;改善神经细胞代谢、传导状况,调整神经功能。临床治疗研究证实了

激光血管内照射疗法对某些疾病有较好的疗效^[1,2],其中对心脑血管疾病、感染性疾病和某些神经-精神疾病的疗效最为显著,是一种行之有效的非药物治疗方法。

然而,施行激光血管内照射疗法,需作静脉穿刺。穿刺成功后,则要求穿刺针及光导纤维停留在病人静脉中约 1h,直至一次照射过程结束。一个疗程需作 7~10 次照射,每次照射都要作静脉穿刺,若遇穿刺成功率不高的情况,还会增加穿刺的次数。采用静脉留滞针方法,虽可减少穿刺的次数,但要求留滞针保留在病人静脉中连续数日。这些都会给病人带来一定痛苦与不便,同时也存在感染机会,这在一定程度上制约了该疗法的推广应用。因此,研究和开展非创伤性激光血液照射治疗的方法受到一定重视,目前已有一些相关方法的研究报道,例如口腔粘膜照射方法等^[3]。

我们提出一种将半导体激光器贴近皮肤照射皮下静脉进行激光血液治疗的新方法,该方法以手背皮下静脉作为激光照射点,采用 650nm 半导体激光

* 国家“九五”科技攻关项目基金、国家教委“跨世纪人才培养计划”专项资金资助项目。

作者简介: 骆晓森,男,1959 年出生。副教授,博士。主要从事光生物医学研究。

收稿日期: 2001-11-13; 收到修改稿日期: 2001-06-11

器。给出了新方法所依据的实验基础,论述了新方法的可行性;说明了与新方法相适应的激光治疗仪的整机设计方案,描述了治疗仪的LD输出端头的结构设计和照射方式,对照射功率和光斑控制以及整机系统进行了讨论。

1 皮肤及静脉血管透射率检测

1.1 材料及方法

离体冷冻成年男性黄种人皮肤(全皮),分别取自手背、脚背、肘正中和小腿外侧部位,面积皆为 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$;手背皮下静脉,长 15mm ;半导体激光器,波长 650nm ,功率 10mW ;硅光电池。将皮肤样品清水洗净,滤纸吸干,用千分尺测量其厚度,然后分别将其贴放在硅光电池表面,测量上述 650nm 波长激光对它们的透射率;将静脉样品沿纵向切开,洗净吸干,测量厚度,再按同法测量其透射率。

1.2 检测结果

手背、脚背、肘正中和小腿外侧皮肤的厚度分别约为 1.0mm , 1.0mm , 1.4mm 和 2.2mm , 650nm 激光对它们的透射率分别为 20% , 20% , 12% 和 6% ;手背皮下静脉的厚度约 0.2mm ,同样波长激光对它的透射率为 90% 。

2 激光皮肤外照射静脉方法的可行性

实施激光皮肤外照射静脉的治疗方法,需要考虑激光对皮肤和静脉的透射率。人体表面不同部位皮肤厚度不同,而激光对于不同厚度皮肤的透射率也不同^[4],皮肤越薄,透射率越大。例如,波长为 632.8nm 的He-Ne激光对于厚度为 2.02mm 的黄种人下肢皮肤的透射率为 9.1% ,对厚度为 1.65mm 的人背部皮肤的透射率为 13.8% ^[4]。

我们的实验表明,成年人手背部位的皮肤厚度约 1mm ,手背皮下静脉壁厚约 0.2mm 。波长为 650nm 的激光对于手背皮肤的透射率为 20% ,对静脉壁的透射率为 90% 。因此,若采用功率为 10mW 的上述半导体激光从皮外直接照射手背皮下静脉,则进入静脉的激光功率可达 1.8mW ,通过调节激光器的工作电流,可以使进入静脉的激光功率在 $0\sim 1.8\text{mW}$ 间可调。

实施激光皮肤外照射静脉血液治疗,除需考虑皮肤厚度的影响,还需考虑激光波长的影响。实验表明,激光对皮肤的透射率,与波长有关。波长越长,透射率越大^[5]。这个结论表明,从提高透射率从而增加射入血管的激光能量方面看,采用波长值

大的激光有利。然而另一方面,在一定的照射功率和照射时间范围内,相对而言,短波长(如 532nm , 632.8nm , 650nm)激光血管内照射效果好,波长越长,效果越差^[6]。因此,综合起来考虑,进行激光皮肤外照射静脉血液治疗,采用红光波段的激光较为有利,建议采用 650nm 波长激光。

霍晓丽等报道,采用 1.5mW 的 650nm 波长激光进行血管内照射治疗脑梗塞疾病,具有显著疗效^[7]。这表明, 650nm 波长与 1.5mW 的功率属于进行激光血管内照射治疗的有效参数设置。按照所设计的照射方法,用 10mW 的半导体激光器,在手背上设置一个照射点,可以使射入静脉的激光功率在 $0\sim 1.8\text{mW}$ 之间可调;设置两个照射点,则可以使进入静脉的激光功率在 $0\sim 3.6\text{mW}$ 之间可调。因此,采用我们提出的激光照射方法,可以达到激光血液治疗所需要的波长和能量条件。

研究表明,激光血管内照射疗法的治疗机理在于弱激光对循环中血液的作用,只要直接照射血液的激光能量达到最佳值,即可产生治疗效果^[8]。因此,以血管外照射代替血管内照射,以半导体激光代替He-Ne激光,对于此疗法都是值得探索的方法。

半导体激光器(LD)体积小、重量轻、所需电源简单,且工作电压低(小于 5V),对人身安全不会造成危害,因此,可以考虑将半导体激光器贴近皮肤,直接照射皮下静脉血管,使激光穿透皮肤和血管壁后到达血液,进行激光血液照射治疗,操作既安全又简便。我们提出以手背静脉作为激光照射点,是考虑到手背部位的皮肤比较薄,且皮下静脉比较贴近皮肤,有利于激光穿透并抵达血液;手背皮下静脉相对清晰可见,便于激光器对准照射目标;在手背上固定激光照射装置,比较容易实施和操作。

3 LD输出端头设计

用半导体激光从皮肤外照射手背静脉,需要考虑其光场分布情况。已知从LD端部出射的激光光柱是发散的,其断面为椭圆形。工作波长为 λ 的半导体激光器,如果其结的横截面尺寸为 \bar{x} , \bar{y} ,则它的横基模($m = s = 0$)的电场分布可以近似表示为^[9]:

在平行于结的方向(椭圆形光斑的短轴方向)

$$E(\theta_{\parallel}) = C \cos \theta_{\parallel} \exp \left[-\frac{1}{4} \left(\frac{-x}{\lambda} \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta_{\parallel} \right)^2 \right]$$

在垂直于结的方向(椭圆形光斑的长轴方向)

$$E(\theta_{\perp}) = C \cos \theta_{\perp} \exp \left[-\frac{1}{4} \left(\frac{-y}{\lambda} \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta_{\perp} \right)^2 \right]$$

式中, θ_{\parallel} , θ_{\perp} 为与传播方向(z 轴)的夹角, C 为常数, 见图 1。

实际的激光横模通常可通过测量其光场分布获得。检测表明, 本治疗仪所用 LD 的横模发散平行角 $\theta_{\parallel} = 11^{\circ}$,

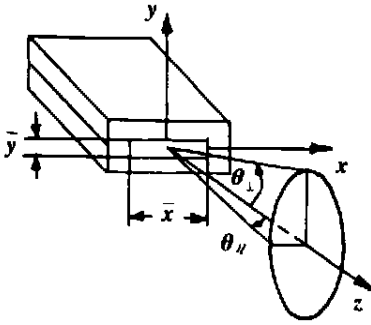


Fig. 1 The optical field distribution of LD

垂直角 $\theta_{\perp} = 41^{\circ}$ 。在距 LD 出射端 2mm, 且与激光传播方向垂直的平面上, 椭圆形光斑的长轴尺寸约为 3.5mm, 短轴尺寸约为 0.8mm。当距离 LD 出射端 10mm 时, 椭圆形光斑的长轴已达 17.5mm, 短轴尺寸约为 4mm。

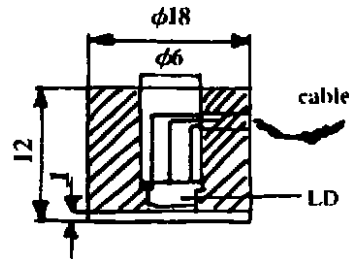


Fig. 2 The structure of LD terminal

为使 LD 前端出射的激光束尽可能多地透射进入皮下静脉内, 有两种方法可供选择: 一是在 LD 前端加装会聚透镜, 这种方法的缺点是会增加 LD 端头整体结构的复杂性, 并使照射端头尺寸增大, 重量增加; 另一种方法是直接将 LD 前端贴近皮肤, 使激光束垂直对准手背静脉照射, 保持 LD 前端与皮肤距离小于 2mm, 并使光斑长轴方向与静脉血流方向平行。这种方法可使激光束在尚未充分扩散开时即进入皮肤, 从而可增加进入血管的激光能量, 同时又可以缩小 LD 的照射端头尺寸, 简化结构, 减轻重量, 还便于将照射端头固定于皮肤表面, 并对准照射点, 获得较好的照射效果。本治疗仪的 LD 输出端头设计适用于后一种方法, 将 LD 安装于一个小巧且便于固定在人手背上的装置内, 该装置的结构示图见图 2, 其前端可贴近皮肤, 对准静脉进行激光照射治疗。

4 整机组成设计

治疗仪整机组成示图如图 3 所示。整机由 LD 端头和机箱两部分组成, 其间通过一条多芯电缆相连接。机箱内装有 LD 电源、信号放大电路、控制和功率显示电路、定时和时间显示电路、LD 电流调节电路等。

所采用的 LD 波长为 650nm, 功率为 10mW, 配置带有过流保护及功率稳定的小型直流稳压电源。

LD 的管壳内同时封装有一只光敏二极管 PD, 其电学符号如图 4 所示。

LD 阳极与 PD 阴极连接成一公共电极, 故这种半导体激光器有 3 只管脚。由 LD 发出的光, 有一部分为 PD 所接收, 这使得 PD 的光电流能反映 LD 出射光功率的大小。

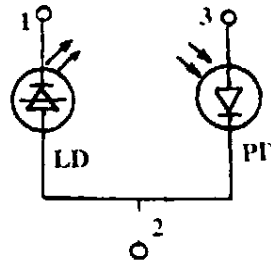


Fig. 4 The electric sign of LD

LD 是正向接法, PD 是反向接法, 管脚 2 接正电位。与 LD 串联的限流电阻 R_1 控制 LD 的工作电流, 也就是控制管子的发光功率。PD 受光照后转换出的光电流在其串联电阻 R_2 上产生的电压信号可反映 LD 出射光功率的大小, 因此, 通过反馈控制电路即可达到调节并稳定输出光功率的目的。

5 讨论

激光照射血液疗法中, 目前应用最多的照射方式是血管内照射。这种照射方式是将激光通过光纤传导, 经静脉穿刺, 直接照射循环中的血液进行治疗。基础和临床研究表明, 激光血管内照射疗法, 可改善血液流变学性质, 改善血液循环, 特别是微循环; 可调整体内免疫状态; 能提高酶的活性, 增强脂质过氧化作用, 可改善体内中毒状态。其临床适应症主要有血管系统、免疫系统和神经系统 3 个方面, 其中对缺血性心脑血管疾病、感染和自身免疫性疾病、肿瘤、糖尿病、老年性痴呆等治疗具有较为重要的意义。其显著的临床治疗效果, 已使得弱激光从理疗、针灸等辅助治疗手段变成成为直接的治疗手段, 并使激光治疗进入了内科这一临床上的重要领域。

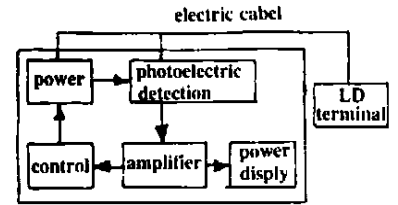


Fig. 3 The compose of the whole device

通过放大电路和显示系统, 可将经功率计定标后的出射光功率值显示出来。通过反馈控制电路, 可以对 LD 的出射光功率进行调节和控制。

图 5 是 LD 工作时的电原理图。图中显示

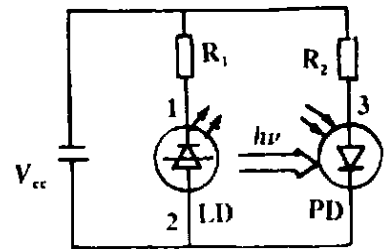


Fig. 5 The electric principle diagram for LD to work

作为一种非药物治疗方法,激光血管内照射疗法没有药物治疗所存在的副作用和毒性问题,所需设备的价格不高,对安装设备和进行治疗所需要的环境要求也不高。其确切的疗效,使得人们在选择对某些疾病进行治疗的方法时,有可能少用或者不用药物。然而,激光血管内照射仍然是一种有创伤的治疗方法,它需要作静脉穿刺,而且需要穿刺针较长时间停留在静脉中,这给病人带来一定痛苦,并且存在交叉感染机会,这是这种疗法的不足之处。

由于激光对人体组织具有一定的穿透性,因此,改进激光血液照射疗法,用血管外照射代替血管内照射,不仅有必要,而且有可能。目前,已有一些报道涉及这方面的研究^[3,10,11]。

我们提出一种以手背皮下静脉作为照射目标,施行激光经皮肤照射血液的治疗方法。在对该方法的研究中,实际测量了离体成年人手背皮肤和皮下静脉标本的厚度,测试了 650nm 波长激光对上述标本的透射率。检测结果表明,激光经手背皮肤照射静脉的方法,能够达到激光血液治疗所需要的波长和能量条件。根据半导体激光的光场分布特点,本

研究还设计了与我们所提出的照射方法相适应的激光照射装置。这种方法不需要静脉穿刺,治疗无损伤;设计中所采用的半导体激光器工作电压很低,对人体安全;是一种值得尝试的新方法,目的是为改进激光血液照射疗法探索新途径。

参 考 文 献

- [1] 董为人,肖应庆,程洁奎. 激光杂志,1997,18(1): 56~ 58.
- [2] 韦兴昌,刘开祥,俸军林 *et al.* 中华理疗杂志,1995,18(1): 45~ 48.
- [3] 杨熙承,杨福寿. 应用激光,1997,17(6): 289~ 290.
- [4] 郑金启,湛垦华,张镇西 *et al.* 激光与红外,1989,19(3): 26~ 30.
- [5] 唐建民,傅昌余,陈祖林 *et al.* 激光杂志,1989,10(3): 113~ 115.
- [6] 颜晨钟,樊大平,赵晓宁 *et al.* 应用激光,1998,18(2): 86~ 88.
- [7] 霍晓丽,张颖冬,狄 晴 *et al.* 光电子·激光,1999,10(增刊): 231.
- [8] 刘筑闻. 光电子·激光,1999,10(增刊): 67~ 69.
- [9] Kressel H, Butter J K. Semiconductor Laser and Heterojunction LEDs. New York: Academic Press, 1977.
- [10] 孟继武,任新光. 中国激光医学杂志,1998,7(3): 178~ 179.
- [11] 王 宇,罗其中,朱 箫 *et al.* 激光生物学报,1999,8(2): 145~ 151.

(上接第 118 页)

即使失调角高达 21° , 光场分布仍能保持平顶高斯光束的模式。

2.3 传输特性测量

用移动狭缝法对距离激光输出窗口分别为 0.25m, 1.25m, 2.25m, 3.25m 和 4.25m 处的激光光场分布进行反复测量,均得到一致结果。其结果如图 5 所示。实验结果表明,平顶高斯激光束在自由空间传输过程中将发生畸变。随着离输出镜的距离增加,光束中的能量逐渐向光轴方向集中,由于受能量计灵敏度的限制,对 4m 以外的光场分布就难以测准了。

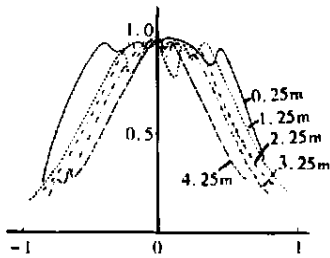


Fig. 5 Laser beam field distribution in the course of propagation

3 结 论

通常,准分子激光器的谐振腔采用平行平面腔结构,输出矩形激光光斑。光斑内的光强分布,无论是水平方向或是垂直方向皆类似高斯分布。在自由

空间传输,遵照高斯光束传输特性,向远场发散。我们从理论与实验上证明,定向棱镜谐振腔准分子激光器,其近场是一个平顶分布,远场能量高度集中,是一种实用中接近于理想的光束。从传输因子 M^2 的光束质量评价标准来看,这种光束属于相干平顶高斯光束,它可依有限个拉盖尔-高斯模的相干迭加来表示^[6],数值计算可得 M^2 接近于 1,有利于激光器在激光通信,激光雷达,激光传输加工和生物医学等方面的应用。

参 考 文 献

- [1] 吕百达. 强激光的传输与控制. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [2] Qori F. Opt Commun, 1994, 107(5, 6): 335~ 341.
- [3] Sheppard C J R, Saghafi S. Opt Commun, 1996, 132(1, 2): 144~ 152.
- [4] Bagini V, Borghi R, Gori F *et al.* J O S A, 1996, A 13(7): 1385~ 1397.
- [5] Santarsiero M, Aiello D, Borghi R *et al.* Proc SPIE, 1996, 2870: 288~ 296.
- [6] 罗时荣,吕百达,张 彬. 光学学报, 2000, 20(9): 1213~ 1217.
- [7] 王绍民,赵道木. 矩阵光学原理. 浙江: 杭州大学出版社, 1993.
- [8] Giordmaine J A, Kaiser W. J A P, 1964, 35(12): 3446~ 3451.
- [9] 周炳琨,高以智,陈家焯 *et al.* 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1983.
- [10] ISO/TC 172/SC 9/WG 1, 1991-02-19
- [11] 程勇,毛少卿,王志怀 *et al.* 激光技术, 1999, 23(2): 68~ 70.