

文章编号: 0258-7025(2002)11-1054-03

红外激光心肌打孔规律的实验研究

罗乐, 宗仁鹤, 陈兴, 刘成岳

(合肥工业大学理学院, 安徽 合肥 230009)

提要 报告了 CO₂ 激光和 Er:YAG 激光在心肌组织上进行打孔的实验结果。给出了三条实验曲线: 输出功率为 100 W 时, CO₂ 激光心肌打孔的孔深和打孔时间的关系曲线; 打孔时间为 0.3 s 时, CO₂ 激光心肌打孔的孔深和输出功率的关系曲线; 脉冲能量为 500 mJ 时, Er:YAG 激光心肌打孔的孔深和脉冲数的关系曲线。并对实验结果进行了分析研究, 为激光心肌血管重建术的临床应用提供了一个参考。

关键词 红外激光, 规律, 心肌组织, 热效应

中图分类号 R 318.51 **文献标识码** A

Research of the Regularity of Infrared Laser's Making Holes in Myocardium

LUO Le, ZONG Ren-he, CHEN Xing, LIU Cheng-yue

(The Science College, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009)

Abstract The paper reports the experimental results of CO₂ laser and Er:YAG laser making holes in myocardium. It gives three experimental curves: $h-t$ curve of CO₂ laser's making hole in myocardium when power is 100 W, $h-W$ curve of CO₂ laser's making hole in myocardium when irradiating time is 0.3 s, $h-n$ curve of Er:YAG laser's making holes in myocardium when pulse energy is 500 mJ. It analyses the experimental results and provides a reference for clinical application of laser transmyocardial revascularization.

Key words infrared laser, regularity, myocardium, thermal effect

1 引言

激光心肌血管重建术(laser transmyocardial revascularization, TMR)是利用高强度激光束在缺血的心肌区域内打数个微孔,通过这些微孔把心腔中的血液引向缺血的心肌组织,改善心肌的缺血情况,达到治疗的目的。激光心肌血管重建的方式有两种:一种是外科手术使心脏暴露,用激光从心外膜向心内膜打孔,所打的孔道必须穿透整个心室壁,以把心腔中的血液引向缺血的心肌组织。另一种微创方式是利用光纤经过动脉穿刺进入心室,从心内膜向心外膜打孔,所打的孔道不能穿透心室壁,但必须有足够的深度以保证心室中的血液能够到达缺血

的心肌组织^[1,2]。由此可见,不论采用哪种方式进行激光心肌血管重建都必须了解和掌握激光心肌打孔的规律。对激光和心肌组织的作用机理进行分析研究的结果表明红外激光是心肌打孔的理想工具^[3],因此本文对两种常用的红外激光:CO₂ 激光和 Er:YAG 激光的心肌打孔规律进行了实验研究。

2 实验装置

连续输出的 CO₂ 激光,波长 10600 nm,电子定时器控制打孔时间,七节光关节臂把激光引向心外膜,用焦距 $f = 96.4$ mm 的锗透镜聚焦,焦点上光斑直径为 0.3 mm。

收稿日期:2001-07-25;收到修改稿日期:2001-11-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:39170725)资助项目。

作者简介:罗乐(1963—),男,安徽淮南人,合肥工业大学理学院副教授,硕士,主要从事激光技术及其在生物医学中的应用研究和计算机多媒体技术的应用研究。E-mail:luolehut@sohu.com

脉冲输出的 Er:YAG 激光, 波长 2940 nm, 用焦距 $f = 45.0 \text{ mm}$ 的氟化钡透镜聚焦, 焦点上光斑直径为 0.4 mm。

3 材料和方法

选取 12 个刚刚离体的新鲜猪心, 生理盐水冲洗后立即进行激光心肌打孔。打孔时把猪心随机地分为三组, 每一组 4 个。第一组: 保持 CO₂ 激光的输出功率为 100 W, 分别用 0.2 s, 0.3 s, 0.4 s, 0.6 s 和 0.8 s 的时间进行打孔, 用 JCD III 型读数显微镜测量激光孔深 h , 实验结果如图 1 所示。第二组: 保持 CO₂ 激光的打孔时间为 0.3 s 不变, 分别用 75 W, 80 W, 85 W, 90 W 和 100 W 的输出功率进行心肌打孔, 用 JCD III 型读数显微镜测量孔深 h , 实验结果如图 2 所示。第三组: 保持 Er:YAG 激光脉冲能量为 500 mJ, 分别用 3, 6, 9, 12, 15 和 18 个脉冲进行心肌打孔, 用 JCD III 型读数显微镜测量孔深 h , 实验结果如图 3 所示。

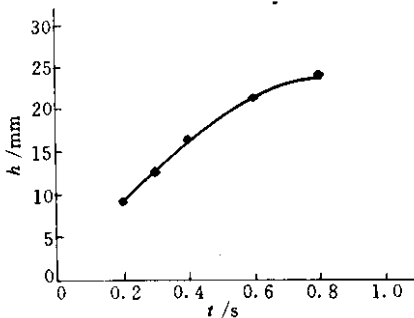


图 1 输出功率为 100 W 时, CO₂ 激光心肌打孔的 $h-t$ (时间) 曲线

Fig. 1 $h-t$ curve of CO₂ laser's making hole in myocardium when power is 100 W

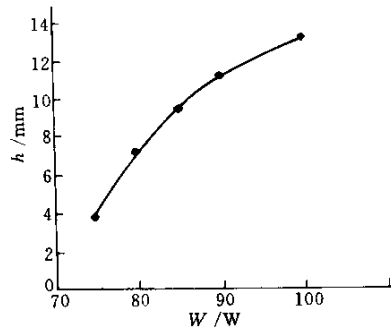


图 2 照射时间为 0.3 s 时, CO₂ 激光心肌打孔的 $h-W$ (功率) 曲线

Fig. 2 $h-W$ curve of CO₂ laser's making hole in myocardium when irradiating time is 0.3 s

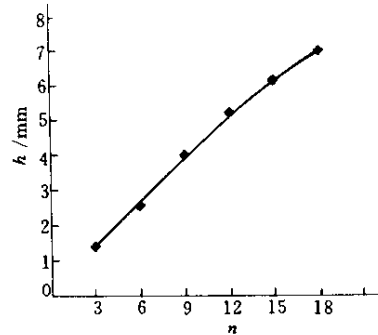


图 3 脉冲能量为 500 mJ 时, Er:YAG 激光心肌打孔的 $h-n$ (脉冲数) 曲线

Fig. 3 $h-n$ curve of Er:YAG laser's making hole in myocardium when pulse energy is 500 mJ

4 实验结果分析

由于心肌组织中水的含量很大, 所以水对激光的吸收起主要作用, CO₂ 激光的输出波长为 10600 nm, 是远红外激光, 能被心肌组织中的水分强烈吸收产生强而非穿透的表面热。Er:YAG 激光的输出波长为 2940 nm, 正好处在水的吸收峰上, 也能被心肌组织中的水强烈地吸收产生强而非穿透的表面热。所以 CO₂ 激光和 Er:YAG 激光照射心肌组织所产生的效应是相同的, 都是热效应。激光照射心肌组织所产生的热效应的性质主要取决于激光的功率密度、作用时间、波长以及生物组织的光学和热学特

性。随着这些参数的改变, 将依次出现热致红斑、蛋白变性、组织和血液凝固、气化和炭化等。实验中 CO₂ 激光和 Er:YAG 激光经过透镜聚焦后, 焦点上的功率密度可以分别高达 10^6 W/cm^2 和 10^8 W/cm^2 , 这足以在照射瞬间导致吸收激光的心肌组织产生气化, 形成激光孔道。

从图 1 可以看出, 在输出功率一定的条件下, 孔深 h 随打孔时间的增加而增加, 但是增加单位时间所导致的孔深的增加量 dh/dt 却随打孔时间的增加、孔深 h 的增大而逐渐减少。这是因为 CO₂ 激光穿透心肌组织的能力很弱, 它只能被心肌表面很薄的一层心肌组织吸收, 所以 CO₂ 激光对心肌组织的气化是一层一层地进行的, 因此在功率密度(气化心肌组织的能力)一定的条件下, 单位时间内 CO₂ 激光气化的孔深是相同的, 但是随着孔深的增加, 吸收激光的心肌层离开焦点的距离增大, 从而导致照射在心肌组织上的功率密度减少, 所以单位时间内气化的孔深减少。

从图 2 可以看出,在打孔时间一定的条件下,孔深 h 随激光输出功率的增大而增大,这表明随着 CO_2 激光输出功率的增大,照射到心肌组织上的功率密度变大, CO_2 激光气化心肌组织的能力增强,气化一层心肌组织所需的时间减少,因此在相同的时间内气化心肌组织的层数增加,导致孔深加大。从图 2 还可以看出,在时间一定的条件下,随着激光输出功率的增大,增加单位功率所导致的孔深增加量 dh/dW 却在减少,这是因为 CO_2 激光被心肌组织吸收产生的是强而非穿透的表面热,它对心肌组织的气化只能是一层一层地进行,功率密度的增加导致气化一层心肌组织所需时间的减少是有限的。其次,随着孔深的增加,激光束的发散也将导致激光气化心肌组织的能力减弱,所以 dh/dW 随功率 W 的增大而减少。

从图 3 可以看出,在脉冲能量保持一定的条件下,孔深 h 随着打孔激光脉冲数的增加近似呈线性增大。这是因为激光孔深范围在 8 mm 以内变化时,每个脉冲的激光束作用在心肌组织上的光斑半径基本保持不变,这样在脉冲能量和脉冲宽度保持不变的条件下,激光作用在心肌组织上的功率密度基本保持不变。因此,每个脉冲气化掉的心肌组织基本相同,造成的孔深也就相同。

实验结果表明, CO_2 激光和 Er:YAG 激光都能很好地层层气化心肌组织产生细直的激光孔道,并且能够通过控制激光参数来有效地控制激光的打孔深度,所以 CO_2 激光和 Er:YAG 激光都可以用于激光心肌血管重建术。目前 CO_2 激光已被用于临床治

疗并获得了较好的效果^[4]。但是在研究过程中也出现 CO_2 激光孔道术后一段时间发生闭塞的情况,主要原因可能是激光对孔道周围的心肌组织造成的热损伤^[5]。由于水对 Er:YAG 激光的吸收是 CO_2 激光的 60 多倍,而生物细胞中 70% 以上是水,所以心肌组织对 Er:YAG 激光的吸收远远大于 CO_2 激光,Er:YAG 激光精确气化心肌组织的能力比 CO_2 激光更强(这也是图 3 中曲线变化更接近直线的原因之一),Er:YAG 激光对心肌组织造成的热损伤也比 CO_2 激光小,因此,对激光心肌血管重建术(尤其是微创方式)来说,Er:YAG 激光可能是更加理想的打孔工具。

参 考 文 献

- 1 M. Mirhoseini, M. M. Cayton, S. Shelgikar *et al.*. Laser myocardial revascularization [J]. *Laser Surg. Med.*, 1986, (5) 459 ~ 461
- 2 P. K. Sen, T. E. Udawadia, S. G. Kinare *et al.*. Transmyocardial acupuncture: a new approach to myocardial revascularization [J]. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 1965, 50:181 ~ 189
- 3 Luo Le, He Yujiang, Zong Renghe. Laser myocardial revascularization [J]. *Applied Laser (应用激光)*, 1999, 19(3):143 ~ 144 (in Chinese)
- 4 M. Mirhoseini, S. Shelgikar, M. M. Cayton. Clinical and histological evaluation of laser myocardial revascularization [J]. *J. Clinical. Laser Med. Surg.*, 1990, 8:73 ~ 78
- 5 P. Whittaker. Success of transmyocardial laser revascularization is determined by the amount and organization of scar tissue produced in response to initial injury: results of ultraviolet laser treatment [J]. *Lasers Surg. Med.*, 1999, 24(4) 253 ~ 260