

瓦级染料激光治癌系统

宋向宁 梅其初 金能文 刘焕然 王顺桥

(中国科学院电子学研究所)

目前,连续波染料激光的一个重要应用是激光-血卟啉衍生物光敏治疗恶性肿瘤患者^[1].光敏疗法是通过给患者注射无毒性的光敏药物血卟啉衍生物(以下简称HPD),利用癌细胞对其有一种特别滞留的特性,当使用630nm波长附近的激光照射癌部位时,HPD在光照作用下发生一系列光化学反应.反应过程中产生对癌细胞具有很强杀伤力的单态氧,从而杀死癌细胞,达到治疗癌症的目的^[1].光敏治疗方法的突出特点是仅对癌组织有杀伤作用,对正常组织基本上无损伤,这种选择性治疗效果是其它传统方法不能比拟的.

随着光敏治疗人体不同部位癌症范围的扩大,对激光功率的要求逐渐提高,希望染料激光系统具有提供瓦级功率的能力,而制造瓦级染料激光系统国内尚属空白.我们采用本所研制的中功率氩离子激光器^[2]作为泵浦源,在实验室条件下,在630nm波长附近,染料激光输出最大功率达到了3.2W,相应的最高转换效率为20.8%,同样的两套激光系统已交付医院临床使用,通过治疗体表癌和个别内脏器官癌,结果说明瓦级染料激光治癌系统能更好地满足医疗要求,并取得了较为理想的治疗效果.

一、实验结果

氩离子激光泵浦的染料激光系统方框图如图1所示,染料激光腔采用三镜腔结构.腔参数如下:折叠镜 M_R 、端镜 M_{R_1} 和泵浦镜 M_{R_P} 的曲率半径相等,为50mm,输出镜 M_{R_2} 为平面镜;腔长臂为400mm,短臂约为75mm(75mm $<L_1<76.7$ mm,即短臂稳定区为1.7mm);折叠角 θ 约为 3° ;染料流D处于束腰位置,其厚

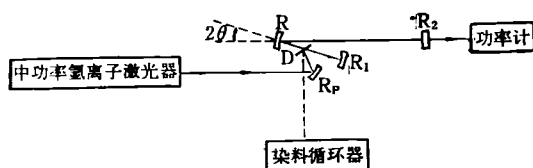


图1 染料激光系统方框图

度为0.2mm;束腰距离 M_{r_1} 约50mm,束腰 ω_0 约为 $13\mu\text{m}$.

两套染料激光系统的实验结果分别示于图2和图3.图中 $P_P(W)$ 是泵浦源全谱线激光输出功率, $P_D(W)$ 是染料激光在630nm波长附近的输出功率, $\eta(\%)$ 是染料激光功率与泵浦功率之间的转换效率($100 \times P_D/P_P$).

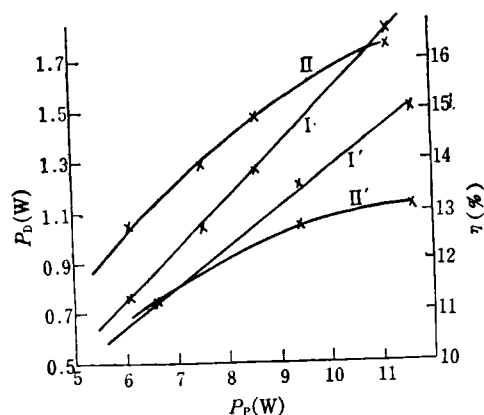


图2 1号激光系统实验结果

“×”为实验值;I为染料激光功率与泵浦功率关系曲线;II为转换效率曲线;I'和II'为系统工作100小时后的测量结果

1号与2号染料激光系统所用染料分别为R610和RB,所用溶剂为乙二醇,染料溶液浓度为 $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$,染料流压强分别为5.0kg/

1)这只是理论分析中的一种观点,关于光敏作用治疗癌症的机理,目前还在探讨之中.

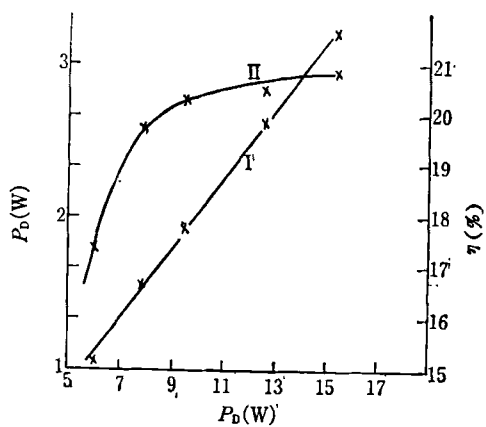


图3 2号激光系统实验结果

“x”为实验值；I为染料激光功率与泵浦功率关系曲线；II为转换效率曲线

cm²和4.5kg/cm²，输出镜透过率在波长630nm处分别为6.5%和7.0%。

除了对全谱线氩离子激光进行泵浦染料实验外，对于在全谱线激光功率中占主要成分的514.5nm和488.0nm谱线，也分别做了单谱线激光泵浦实验。将2号系统中的氩离子激光器改成单谱线激光振荡，实验结果如图4所示。

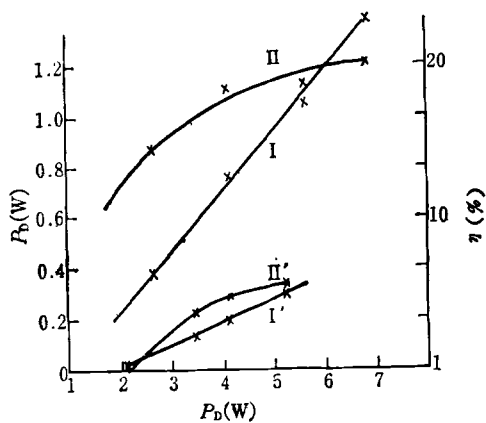


图4 单谱线激光泵浦染料的实验结果

“x”为实验值；I为染料激光功率与单谱线514.5nm泵浦功率之间关系曲线；II为转换效率；I'和II'为488.0nm激光泵浦染料的实验结果

二、讨 论

从图2图3可知，染料激光最大输出功率达到3.2W，最高的转换效率为20.8%。在一

物理

般的工作环境与条件下，为了兼顾染料激光系统的使用寿命，我们建议激光系统最好在染料激光功率低于1.5W的工作状态下长时间运转。鉴于实际治疗癌症过程中，医生要求激光系统使用方便，并要求激光易于导入体内。采用光导纤维传输激光，问题就迎刃而解了。我们在染料激光腔壳体上，设计了使用简便的插件式光纤耦合器，光纤耦合效率一般可在90%左右。这种耦合器不但调整精度较高，而且稳定性和重复性也较好，即当其一次调整完毕，多次拔下、插上重复使用，基本上不需再次调整。此外，染料激光腔内备有调谐元件——双折射滤光片，以供特殊需要。上述指标和性能使染料激光系统的实用价值更为提高，因而它的应用范围势必会扩大。

由图4可知，全谱线泵浦激光中对染料激光主要作贡献的是514.5nm激光成分。如果要提高染料激光转换效率和功率，则要求全谱线激光中的514.5nm谱线激光功率的比例尽量大，最佳值可以通过调整氩离子激光管中的气压来达到。

如果要求激光系统总在最高输出功率状态下工作，即要求泵浦与染料激光功率分别高于10W和1W，则现在的染料激光腔结构需要改进。为了与较高的泵浦功率匹配，改变染料激光腔参数的实质是加大束腰。束腰大，则增益介质体积加大，从而能够充分利用泵浦功率，并减小由于泵浦功率增加而引起的热效应。热效应不仅破坏染料流表面的光学质量，使得腔内损耗加大，而且加快染料分子分解，缩短染料寿命，通过对折叠镜、端镜和输出镜的镜腔参数的分析与计算得知，加大束腰可以有两种途径：其一是增大折叠镜与端镜的曲率半径($R = R_1$)；其二是缩短腔长臂的长度。前者束腰调整范围大，后者调整束腰方便，不用加工新镜片，只是调整范围有限。计算表明，只要泵浦功率小于25W都可以通过缩短长臂来找到束腰的最佳值，所以说我们采用的染料激光腔伸缩性较大。

下面以北京同仁医院应用1号激光系统为

表 1

癌症部位和人数	治疗所用激光功率 (W)	激光照射时间 (min) 与照射点数
膀胱癌 3 人	1	0.80
	2	0.70
	3	0.60
五官科癌 3 人	1	0.56
	2	0.50
	3	0.50
眼科癌 3 人	1	0.46
	2	0.40
	3	0.30

例, 讨论其应用于临床治疗的情况。表 1 列出部分已经出院病人的治疗情况。经过光敏治疗, 这些患者的癌症都消失了, 是否痊愈则有待观察 (医学上所说的治愈是指五年内不再复发), 总之医疗效果是显著的。从使用的功率范围和治疗结果来看, 此瓦级染料激光治癌系统不仅能够起到以往小功率 (约 0.5W) 染料激光系统的作用, 而且能够满足医疗上更高功率的需求。到目前为止, 它的激光功率潜力还较大, 这为今后要求更高激光功率的临床治疗提供了方便。半年内, 该染料激光治癌系统工作了 100 个小时, 从图 2 可见, 染料激光转换效率仍达 13%, 输出功率达 1.5W, 证明系统是稳定可靠的。

我们准备在泵浦源输出端再设计一个光纤耦合器, 用氩离子激光作为恶性肿瘤的诊断与

定位光。激光诊断癌症, 同样是利用光敏药物 HPD 在人体中的特性, 即给患者注射 HPD 后, 正常机体排泄 HPD 快, 而 HPD 在癌部位滞留时间长, 当用适当波长的激光照射时, 滞留在癌部位的 HPD 会发出红色荧光, 正常组织却无荧光, 从而达到诊断与定位的目的。适当波长的激光是指能够激发 HPD 发射荧光的激光。HPD 的荧光主吸收峰位于 405.0 nm^[3] 附近 (这与氩离子激光 406.4nm 和 413.1nm 谱线相近), 氩离子激光波长范围内有一吸收次峰。虽然选择荧光主吸收峰波长附近的激光诊断效果较好, 但医院要购置新的激光器。使用氩离子激光进行荧光诊断方法可行, 避免了更高的医疗费用。此外, 若用瓦级功率的氩离子激光还可以对诸如血管瘤等其它疾病进行治疗。一机多用, 能够取得更高的经济效益。

致谢: 对陈振庭、成毓秀、周群弟、张悦珊、吴章瑜、江一夫和同仁医院的齐敏霜等同志给与的支持和协助表示衷心的感谢。

天津市染料工业研究所尹秀玉等同志为我们提供了 RB 激光染料, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] T. J. Dougherty et al., *Cancer Res.*, 38(1978), 2628.
 [2] 陈振庭等, 电子学通讯, 2(1980), 187.
 [3] Springer-Verlag Berlin, *Laser in Photomedicine and Photobiology*, New York, (1980), 92.

(上接第249页)

格变化为宜。不足之处是寻找必需的参考面比较麻烦, 其精度水平在一定程度上依赖于操作者的经验, 而且无永久性的记录。因此它有一定实用意义, 但也有一定局限性。

本文得到郭常霖、杨传铮同志指正, 与高余铭、杭寅同志进行了有益讨论, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] S. Popovic, *J. Appl. Cryst.*, 6 (1973), 123.

- [2] 郭常霖等, 物理, 10(1981), 683.
 [3] 郭常霖等, 科学通报, 25-8(1983), 467.
 [4] 张月明等, 晶体 X 射线衍射角与面网间距换算表, 科学出版社, (1966).
 [5] 刘来保, 物理, 5(1982), 301.
 [6] 梁敬魁, 物理, 5(1981), 295.
 [7] 王爱华等, 激光与红外, 7(1979), 11.
 [8] M. A. G. Halliwill, *J. Appl. Cryst.*, 5 (1972), 240.