

## KTP/YAG 多波长医用激光系统研究

张方海 李正佳 朱长虹 秦 军 李亚华  
(华中科技大学激光医学研究中心, 武汉, 430074)

摘要: 提出了利用激光进行肿瘤治疗的方案, 并设计出多功能 KTP/YAG 1064nm, 532nm, 1319nm 和 660nm 多波长医用激光系统, 该系统可用于肿瘤的激光综合治疗。

关键词: KTP/YAG 激光 多波长 光动力学治疗

### A multi-wavelength medical KTP/YAG laser system

Zhang Fanghai, Li Zhengjia, Zhu Changhong, Qin Jun, Li Yahua  
(Research Center of Laser Medicine, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** The method of using laser to treat tumour is presented. A medical KTP/YAG laser system has been designed with wavelengths of 1064nm, 532nm, 1319nm and 660nm. It can be used to treat tumour.

**Key words:** KTP/YAG laser multi-wavelength photodynamic therapy

## 引 言

激光光动力学(photodynamic therapy 简称 PDT)是一项治疗肿瘤新技术,它具有选择性破坏肿瘤的特点,国内外一直把该项医疗技术列入重点科研项目。美国 FDA 已将 PDT 正式批准列入治疗食道癌的行列。多年的临床实践表明: PDT 在常见肿瘤如食道癌、肺癌、鼻咽癌、膀胱癌、宫颈癌、各种皮肤肿瘤、血管瘤、血管性鲜红斑痣等疾病的治疗中已得到应用。

激光治疗肿瘤是和激光技术的发展同步的,高功率激光可以对肿瘤组织进行直接破坏,达

## 6 讨 论

笔者提出的系统是针对牙颌模型的结构特点而设计的专用扫描系统。只有两根运动轴,与现有的双轴系统<sup>[1,3]</sup>相比,结构巧妙,有效地消除了扫描死角。与国外已有的三轴系统<sup>[2]</sup>相比,结构简单,减少了引起误差的运动环节,降低了成本。其缺点是通用性差,基本上只能用于牙颌模型的三维扫描。

### 参 考 文 献

- 1 柯 杰. 牙颌畸形辅助诊断及辅助矫治设计系统的建立与应用. 第四军医大学博士学位论文, 1995
- 2 Takayuki K, Nobuyoshi M, Reiji T *et al.* American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics October, 1996; 110(4): 365~ 369
- 3 姚 森, 李忠科. 牙颌模型激光三维扫描与计算机仿真排牙研究. 中国科协第三届青年学术年会论文集, 中国科协第三届青年学术年会, 北京人民大会堂, 1998, 北京: 科学出版社, 1998: 128~ 130

作者简介: 易亚星, 男, 1966 年 10 月出生。讲师, 博士研究生。研究方向为计算机测控、图形图像。

到清除肿瘤的目的。有选择性地利用特定波长的激光对肿瘤进行照射,可以增强人体自身免疫功能,从而达到抑制肿瘤的目的。利用激光方向性好、定位准确、可采用光导纤维传输的优点,可对肿瘤进行低功率激光加热治疗。采用光动力学的方法可以对肿瘤进行光动力学荧光诊断和治疗。概括起来,激光治疗肿瘤的方法有激光手术治疗、激光免疫治疗、激光加热治疗<sup>[1]</sup>和激光光动力学治疗<sup>[2]</sup>。这 4 种方法各有特点,又互有联系。目前,已开始从某种单一的激光治疗方式转入多种方式组合的治疗方式。

从国内外报道的有关 PDT 治疗肿瘤效应机制研究和临床资料来看,由于以往的 PDT 治疗都避免高温对光动力的影响,多数研究侧重于单纯的光动力效应,因此,其杀伤肿瘤病灶的深度受限,对较大的肿瘤往往不能达到彻底治愈之目的。在实际应用中发现,高温可增强光动力杀伤肿瘤细胞的程度和深度。在对肿瘤的激光治疗机理取得进一步认识的基础上,我们采用高性能多波长 KTP/YAG 激光器治疗肿瘤。高功率、波长为 532nm 的绿色激光可用于光动力学治疗肿瘤,输出波长为 1064nm 的红外激光可用于肿瘤的热疗和高温凝固,输出波长为 660nm 的红色激光可用于肿瘤的光动力学治疗<sup>[3]</sup>,输出波长为 1319nm 的红外激光可用于肿瘤的热凝固。临床治疗中配以各种规格的激光探头和自动控温装置,可任意选择光动力学治疗肿瘤,高温治疗肿瘤,以及高温加光动力学双重治疗肿瘤 3 种疗法。

## 1 KTP/YAG 多波长医用激光系统设计方案

### 1.1 设计的医用激光系统采用多波长小型 YAG 激光器

Nd: YAG 波长为 1064nm 的红外激光输出功率可达 100W,采用外插式国际标准光纤耦合接口,将激光用光纤引导到病灶治疗部位;KTP/Nd: YAG 波长为 532nm 的可见绿光

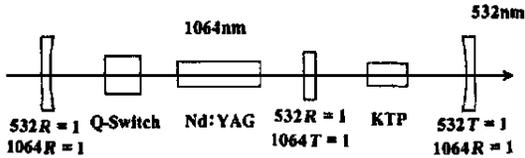


Fig. 2 The light path of KTP/Nd YAG 532nm green laser

设计的 KTP/Nd: YAG 波长为 532nm 的可见绿光激光器采用直型腔, KTP/Nd: YAG 波长为 660nm 的可见红光激光器采用 L 型腔。其光路分别见图 2、图 3。

### 1.2 自动控制系统设计

激光治疗肿瘤要能自动控制激光热疗和光动力学治疗的照射时间。如果还采用医用 Nd: YAG 固体激光器光源的那种仅用开环式

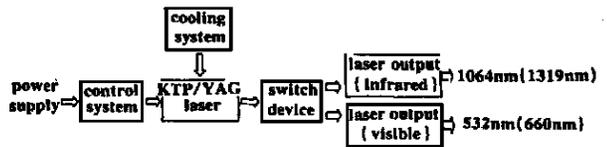


Fig. 1 Multi-wavelength KTP/YAG laser system

平均功率可达 5~ 10W,光导纤维传输,标准耦合接口光纤可互换耦合;Nd: YAG 波长为 1319nm 的红外激光输出功率可达 20W,光导纤维传输;KTP/Nd: YAG 波长为 660nm 的可见红光平均功率可达 3W,光导纤维传输。激光系统见图 1。

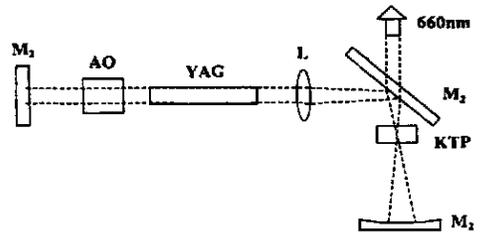


Fig. 3 The light path of KTP/Nd YAG 660nm red laser

“脚踏开关”控制的输出控制系统(图 1),其系统输出的激光功率将随外部网络电压的波动而

变化,稳定性差,将影响激光临床治疗效果。只有在控制系统中引入闭环反馈环节,提高激光

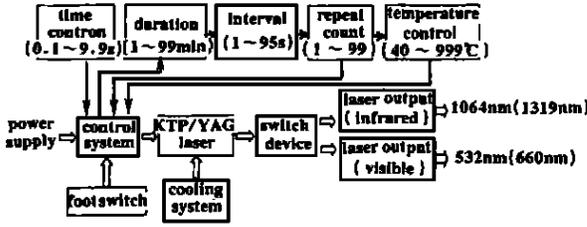


Fig. 4 The control system of multi-wavelength KTP/YAG laser

源输出的稳定度,才能满足现代医学的要求。因此,我们对医用 KTP/YAG 固体激光器光源控制系统作了进一步的研究,设计出一种带反馈装置的激光器光源自动控制系统<sup>[4]</sup>(图4)。我们设计的时间控制参数为:激光照射时间为 5min, 10min, 20min, 25min, 30min, ……最高到 99min, 照射时间间隔为 10s, 20s, 40s, ……依次到 99s, 照射次数定为 1, 2, 3, 4, ……到 99 次。当根据临床需要设定好照射时间、照射间隔和照射次数后,设备自动完成治疗过程。

### 1.3 激光光纤恒温热探头设计

光纤探头配置有 f 4mm, f 6mm, f 8mm, f 10mm, f 12mm 5 种规格的探头,便于临床治疗中依肿瘤的病灶大小供医生选用。探头的自动控温装置依激光热疗、热凝固设置温度,温度设置范围从体温到 999℃。

恒温热探头主要用于激光腔内介入疗法,用于食道癌、喷门癌、胃癌、直肠癌、子宫癌、宫颈癌、气管肿瘤等的激光热疗和光动力学治疗。恒温热探头结构见图 5。

## 2 系统性能测试与分析

### 2.1 激光器系统性能测试

KTP/YAG 多波长医用激光系统采用开关电源激励氙灯 Nd: YAG 系统。我们重点对采用非线性 KTP 倍频晶体、腔内倍频的 532nm 激光系统进行了测试,其功率随时间的稳定性见图 6。

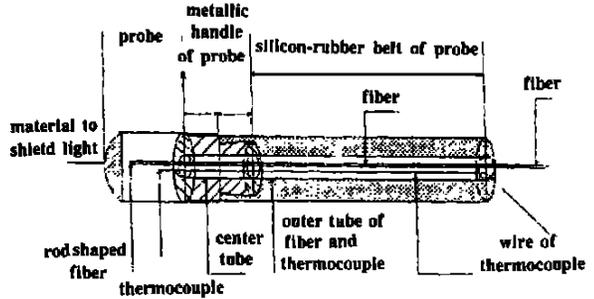


Fig. 5 The configuration of thermal probe with constant temperature

当调 Q 频率为 6kHz 时, 532nm 激光随氙灯电流增加的输出功率变化见表 1。

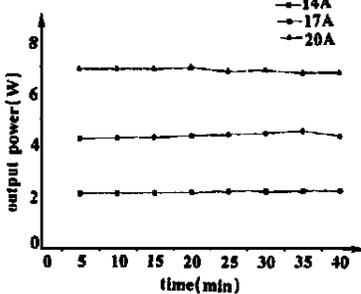


Fig. 6 The curve of KTP laser output power

Table 1 The input-output characteristic of KTP laser(532nm)

current (A)	voltage (V)	input power (kW)	output power (W)
10	106.7	1.067	0.3
12	109.7	1.316	0.9
14	113.6	1.590	2.0
15	115.9	1.738	2.9
16	118.7	1.899	3.3
17	119.9	2.038	4.1
18	121.8	2.192	4.9
19	124.0	2.356	5.8
20	125.6	2.512	6.4

当泵浦氙灯电流为 20A 时, 532nm 激光输出平均功率随调 Q 频率变化的输出特性曲线见图 7。

从以上测试结果分析, 532nm 激光从平均输出功率到激光输出稳定性均可达到激光光动力学治疗肿瘤

的指标。KTP/YAG 多波长医用激光系统采用时间、温度自动控制系统后, 控制性能更为完善。表 2 为控制性能对照。

恒温控制温度设定在 40℃~ 999℃之间, 调整范围宽, 操作方便, 温度稳定度也高(表 3)。最大的误差值为 ±3.34%。这完全能够满足肿瘤临床治疗中对医用 KTP/YAG 固体激光器的要求。

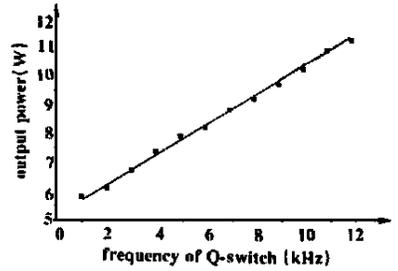


Fig. 7 The relation of output power and modulating frequency

Table 2 The contrast of open loop and close loop

control style	duration	interval	repeat count	temperature control
open loop	0.1~ 9.9 (s)	no	no	no
close loop	1~ 99 (min)	1~ 99(s)	1~ 99	40~ 999 (℃)

Table 3 The test value of close loop system (the temperature is set respectively at 60℃, 100℃ and 300℃)

wave-length (μm)	power (W)	time (min)											average (℃)	error (±℃)	stability (±%)
			0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5			
0.532	1		59	60	60	61	59	59	60	61	61	59	59.9	1	3.34
	3		101	99	101	100	99	98	99	101	99	100	99.7	1.5	3.01
	5		299	298	300	301	300	299	299	302	301	300	299.9	2	1.33

以上功能的实现, 拓宽了医用 KTP/YAG 固体激光器自动输出激光的时控范围, 同时, 激光器输出激光的时间准确, 光能转换成热能所对应的温度恒定。这些数据的监控及显示在激光临床治疗过程中是必不可少的。

### 3 结 论

KTP/YAG 多波长医用激光系统具备手术、激光加热和激光光动力学治疗肿瘤等功能。智能化控制系统为肿瘤治疗提供了准确有效的参数。临床上将会有很好的使用价值。

#### 参 考 文 献

- 1 之 己. 光电子技术与信息, 1996; 9(1): 7~ 9
- 2 楼祺洪, 徐剑秋, 罗 山. 激光与光电子学进展, 1997; (3): 35~ 39
- 3 方 瑛, 许德余. 中国激光医学杂志, 1999; 8(4): 235~ 238
- 4 秦 军, 李正佳, 朱长虹. 光电子技术与信息, 1998; 11(3): 7~ 10

\* \* \*

作者简介: 张方海, 男, 1974 年出生。在读硕士。从事激光生物医学方面的研究。