

## 经宫腔镜观察通道的脉冲激光耦合方案的设计

王金瑞, 戈传辉, 邹观送, 王飞扬, 章小曼, 吴淑莲, 李晖

**Design of pulse laser coupling scheme for observing channels through hysteroscopy**

引用本文:

王金瑞, 戈传辉, 邹观送, 王飞扬, 章小曼, 吴淑莲, 李晖. 经宫腔镜观察通道的脉冲激光耦合方案的设计[J]. 激光技术, 2024, 48(5): 651–656.

WANG Jinrui, GE Chuanhui, ZOU Guansong, et al. Design of pulse laser coupling scheme for observing channels through hysteroscopy[J]. *Laser Technology*, 2024, 48(5): 651–656.

---

## 您可能感兴趣的其他文章

### 1. 外腔式双波长喇曼激光器的耦合波理论

引用本文: 王聪, 吕冬翔. 外腔式双波长喇曼激光器的耦合波理论[J]. 激光技术, 2023, 47(5): 579–586.

### 2. 水束导引高功率激光的热效应分析

引用本文: 赵臻, 龙芋宏, 黄宇星, 等. 水束导引高功率激光的热效应分析[J]. 激光技术, 2023, 47(5): 672–677.

### 3. 脉冲激光系统充电电源功率因数校正技术研究

引用本文: 徐健, 梁勣, 刘冬生, 等. 脉冲激光系统充电电源功率因数校正技术研究[J]. 激光技术, 2020, 44(6): 732–737.

### 4. 不同延时的组合脉冲激光致硅表面损伤研究

引用本文: 吕雪明, 李泽文, 张检民, 等. 不同延时的组合脉冲激光致硅表面损伤研究[J]. 激光技术, 2020, 44(6): 695–699.

### 5. 905nm InGaAs脉冲激光二极管驱动电流特性分析与测试

引用本文: 李勇军, 邹建, 甘泉露, 等. 905nm InGaAs脉冲激光二极管驱动电流特性分析与测试[J]. 激光技术, 2017, 41(6): 803–806.

文章编号: 1001-3806(2024)05-0651-06

## 经宫腔镜观察通道的脉冲激光耦合方案的设计

王金瑞<sup>1,2</sup>, 戈传辉<sup>1,2</sup>, 邹观送<sup>1,2</sup>, 王飞扬<sup>1,2</sup>, 章小曼<sup>1,2</sup>, 吴淑莲<sup>1,2</sup>, 李晖<sup>1,2\*</sup>

(1. 福建师范大学 光电与信息工程学院 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007, 中国; 2. 福建师范大学 光电与信息工程学院 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007, 中国)

**摘要:** 为了提高脉冲激光通过宫腔镜的能量, 采用相关软件设计了3种透镜耦合方案来提高耦合效率, 进行了理论分析和实验验证。结果表明, 耦合效率约提高了14%, 脉冲激光通过该耦合模块后能取得较好的光声成像效果。该方法可作为辅助工具应用于临床中子宫内膜等疾病的检测, 有望提高光声成像技术在子宫内膜的应用。

**关键词:** 医用光学与生物技术; 脉冲激光; 透镜耦合; 宫腔镜

**中图分类号:** R318.51      **文献标志码:** A      **doi:** 10.7510/jgjs. issn. 1001-3806. 2024. 05. 006

### Design of pulse laser coupling scheme for observing channels through hysteroscopy

WANG Jinrui<sup>1,2</sup>, GE Chuanhui<sup>1,2</sup>, ZOU Guansong<sup>1,2</sup>, WANG Feiyang<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Xiaoman<sup>1,2</sup>, WU Shulian<sup>1,2</sup>, LI Hui<sup>1,2\*</sup>

(1. Fujian Provincial Key Laboratory of Photonic Technology, College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education, College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** In order to improve the energy of the pulsed laser passing through the hysteroscope, three lens coupling scheme was adopted to improve the coupling efficiency. The theoretical analysis and experimental validation were carried out. The results show that the coupling efficiency is increased by about 14%. The experimental data, which indicates that the pulsed laser is more powerful than the pulsed laser, is more efficient than the pulsed laser. A better photoacoustic imaging effect is obtained after passing through our proposed coupling module. The study is expected to improve the effect of photoacoustic imaging technology in endometrial application, and will be able to be applied as an auxiliary tool for the detection of endometrial and other diseases in the clinic.

**Key words:** medical optics and biotechnology; pulsed laser; lens coupling; hysteroscope

## 0 引言

肿瘤分为良性肿瘤和恶性肿瘤。在我国, 恶性肿瘤是导致患者死亡的主要原因之一, 其发病率不断上升, 成为非常严重的公众健康问题<sup>[1]</sup>。常见的妇科肿瘤有子宫肌瘤<sup>[2]</sup>、卵巢肿瘤<sup>[3]</sup>等, 对女性身心健康危害极大。子宫肿瘤包括子宫内膜癌<sup>[4]</sup>与子宫肌瘤等, 其中子宫内膜癌又称子宫体癌。在世界范围内, 子宫内膜癌的发病率仅次于卵巢癌、宫颈癌<sup>[5]</sup>。随着年龄增长, 子宫内膜癌的发病率呈明显上升趋势, 其中约90%的子宫内膜癌发生于45岁以上女性。临床研究表明, 子宫内膜癌的早期发现并及时治疗, 可以大大提

高患者的5年生存率<sup>[6]</sup>。子宫肌瘤则被称为“妇科第一瘤”<sup>[7]</sup>, 虽以良性为主, 但易并发输卵管、卵巢病变, 常与子宫内膜癌和宫颈癌并存。为加强妇女保健工作, 宜广泛开展防癌普查。

当前子宫筛查的常规手段主要有细胞学涂片<sup>[8]</sup>、子宫内膜活检<sup>[9]</sup>、超声、计算机断层扫描<sup>[10]</sup>、正电子发射计算机断层扫描等, 这些已有的检查方法存在着例如有创、有辐射危险、特异性不强、分辨率低等缺陷, 在子宫肿瘤的普及性筛查受到了限制。比较常见的子宫内膜癌初步筛查手段是诊断性刮宫和超声<sup>[11]</sup>。诊断性刮宫会对患者身心造成严重影响, 且刮宫的前提是患者已经出现临床症状, 这种情况存在一定的漏诊率<sup>[12]</sup>; 超声检查在妇科筛查中有一定的优势, 但是根据相关资料显示, 超声筛查难以探测到病变范围极小的组织以及宫角处的病变, 也存在一定的漏诊率<sup>[13]</sup>。光声成像是一种结合了光学成像的高对比度和超声成

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61675043)

\*通信作者: hli@fjnu.edu.cn

收稿日期: 2023-09-06; 修回日期: 2023-10-16

像的深穿透性<sup>[14]</sup>的无创成像技术,其原理是基于光声效应,材料吸收光能后,发生热弹性膨胀进而产生声波的一种现象。激光光束入射到组织表面后,生色团吸收的光能通过分子振动和热弹性膨胀转化为热能,导致局部初始压力增加,形成波源,于是被组织表面的超声传感器<sup>[15]</sup>探测到,转换为一系列时间序列的电信号,最终通过光声探测装置进行光声信号的探测。光声成像可以灵活地实现从亚细胞到人体器官水平的多尺度成像<sup>[16]</sup>,由于光声成像同时兼具光学成像和超声成像的优势,同时它是非电离的成像方式,成像结果更加安全可靠,因此光声成像的研究呈现持续不衰的发展态势,该方法在临床筛查和诊断中同样具有巨大的应用潜力<sup>[17]</sup>。

宫腔镜是一套能扩张宫腔、将光源引入宫腔以窥视宫腔内形态学变化、对宫腔内疾病作出直观的诊断、并可导入辅助器械对宫腔内疾病进行治疗的仪器<sup>[18]</sup>。宫腔镜对子宫内部所观察的部位具有放大作用,是一种无创操作,且分辨率高<sup>[19]</sup>。光声成像结合宫腔镜的工作过程是使激光耦合到宫腔镜的光源端经宫腔镜观察通道后进入宫腔,激发宫腔内肿瘤组织产生超声,由此检测到与正常组织不同的超声信号,进而做出诊断。对于早期子宫内膜癌,通过宫腔镜结合光声信号直接观察并且定位活检能够避免影像学检查和盲目诊断对子宫内膜病变诊断的局限性,同时对宫腔内病变的范围、形态及宫颈管受侵与否进行全面的观察与评估,为患者的术前分期、手术方式及预后评估提供了重要参考依据<sup>[20]</sup>。

处于中晚期的子宫内膜癌诊断后,经过治疗,5年内的成活率低于30%<sup>[21]</sup>。因此,想要更好地对子宫内膜癌进行诊断和治疗,必须在早期或者没有恶性病变之前诊断出并及时治疗<sup>[22]</sup>。在早期发现子宫内膜癌肿瘤组织,可以结合宫腔镜使用光声成像技术<sup>[23]</sup>。经对文献调研,尚未发现脉冲激光经过宫腔镜观察通道耦合检测早期子宫内膜癌的应用。

本文作者对经宫腔镜观察通道的脉冲激光出射耦合方案进行了优化设计,克服了传统的子宫内膜癌筛查手段存在的有创、有辐射危险、特异性不强等缺陷,有望在基于宫腔镜的针对子宫内膜癌检测的光声成像技术<sup>[24]</sup>中得到应用,为普及子宫内膜癌筛查做出贡献。

## 1 耦合方案验证

### 1.1 耦合方案参数

本研究中采用EKSPLA生产的使用在光声成像领域的PhotoSonus型号YAG激光器<sup>[25]</sup>,该激光器的脉冲激光波长为660 nm~2300 nm,固定波长为52 nm,

脉冲频率为20 Hz,脉冲持续时间为3.5 ns。本实验中使用的是660 nm波长的脉冲激光,其它参数固定。宫腔镜使用的是TSCS公司生产的直管宫腔镜,直径为6.5 mm。凸透镜和凹透镜分别由THORLABS公司提供,其中凸透镜为焦距和直径分别是20 mm和12.7 mm镀膜透镜,凹透镜为焦距和直径是-15 mm和12.7 mm的镀膜透镜。

因为宫腔镜的光源端接口宽度约为4 mm,激光直接耦合进宫腔镜的光源端也会有不同程度的损耗,通过宫腔镜的衰减也较为严重。为使脉冲激光更好、更高效率地通过宫腔镜,首先测量了脉冲激光的发散角,测量光路图如图1所示。耦合系统参数如表1所示。测量实验分为10组,每间隔50 mm测量1组数据,每组测量3次取其平均值。最终结果显示,激光输出端的发散角围绕11.5°上下浮动,如图2所示。因此选用11.5°为激光输出端的发散角来进行方案设计。

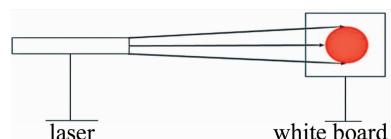


图1 激光发散角测量光路图

Fig. 1 Laser divergence angle measurement optical path diagram

表1 耦合系统参数

Table 1 Coupling system parameter

coupling system	parameter indicators
laser model	PhotoSonus model YAG laser
pulse laser wavelength	660 nm
laser divergence angle	11.5°
hysteroscopy model	direct tube hysteroscopy produced by TSCS
hysteroscopy diameter	6.5 mm
lens 1	$f_1 = 20 \text{ mm, coated}$
lens 2	$f_2 = -15 \text{ mm, coated}$

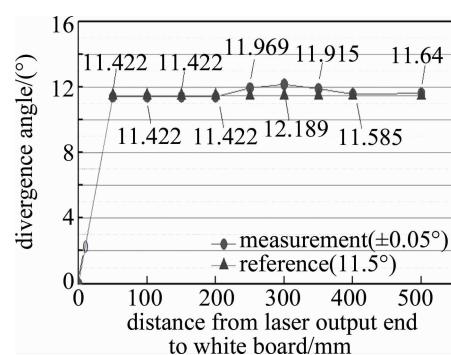


图2 发散角测量结果图

Fig. 2 Divergence angle measurement result diagram

### 1.2 耦合方案设计

通常情况下,脉冲激光直接接到宫腔镜的冷光源端并通过观察通道到达子宫内部时,脉冲激光经过发散和衰减,子宫内组织最终只能接收到的微弱的激光

能量,从而产生的光声信号也比较微弱。宫腔镜的衰减率固定不变的情况下,为了提高进入激光能量,提高耦合效率,更好地达到耦合效果,减少激光的发散,在上述实验条件下,从脉冲激光到达宫腔镜的冷光源端进行改进。图3为3个方案的仿真光路图。首先模拟出激光通过透镜后可以达到要求的组合及光路图,再进行实验验证。

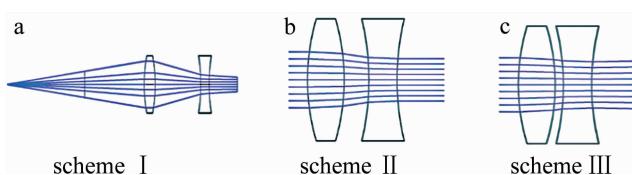


图3 仿真光路图

Fig. 3 Optical path diagram of simulation

图3a中的方案I为点光源耦合方案:以点光源发射经孔径光阑后先后经过凸透镜和凹透镜,两透镜之间的光心距为19.644 mm,入瞳直径10 mm,出瞳直径4.62122 mm。图3b中的方案II为面光源大光心距耦合方案:以激光出射端光纤口径直径为光源大小,先后经过凸透镜和凹透镜,两光心间距为6.09 mm,入瞳直径为5.5 mm,出瞳直径为4.16102 mm。图3c中的方案III为面光源小光心距耦合方案:以激光出射端光纤口径直径为光源大小,先后经过凸透镜和凹透镜,两光心间距为4.31 mm,入瞳直径为5.5 mm,出瞳直径为4.4994 mm。这3种方案均存在一定程度的球差,方案II的出瞳直径最接近宫腔镜冷光源端直径值。

经过仿真后,方案I得到了近似准直光,方案II和方案III为面光源经透镜汇聚后的准直光。图4为对应的仿真点列图。方案I的经过仿真分析后得到了仿真点列图,艾里斑半径为0.1742 μm,经像差分析得到球差为31.0791;方案II的艾里斑半径为0.08915 μm,球差为7.6261;方案III的艾里斑半径为0.0824 μm,球差为17.9428。通过上述仿真分析可以看出,方案II和方案III的准直性较好,有望得到较好的实验数据。

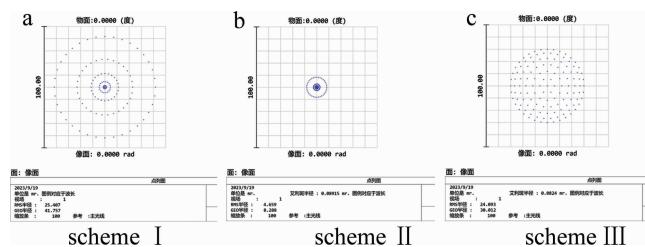


图4 仿真点列图

Fig. 4 Simulation point column diagram

为了实验方便,使得激光光纤端及宫腔镜冷光源端与透镜组能方便组装和拆卸,使用3-D打印支架,中

间按照方案设计的位置放入透镜组,两端分别接脉冲激光端和宫腔镜冷光源端,满足等高共轴条件。透镜组有多个反射面,理论上可以达到消相差的效果,达到更好的耦合效果。但是,脉冲激光经过透镜时会有损耗,透镜越多损耗越大,虽然可以通过镀膜改善损耗,但是多个透镜还是会造成长耗,影响耦合效果。所以本文中采取镀膜透镜组耦合的方案并对其进行优化,3种方案中两个透镜光心相距分别为19.644 mm、6.09 mm、4.31 mm,经过透镜的激光耦合入宫腔镜冷光源端。3种方案的具体参数如表2所示。

表2 3种耦合方案具体参数

Table 2 Specific parameters of three coupling schemes

	pulsed laser avelength/nm	lens focal length/mm	optical center distance/mm
scheme I			19.644
scheme II	660	$f_1 = 20, f_2 = -15$	6.09
scheme III			4.31

## 2 耦合方案验证

### 2.1 宫腔镜直接耦合和透镜耦合效率对比实验

经过透镜进行光耦合叫做透镜耦合,未经过透镜的光耦合叫做直接耦合,耦合效率是指出光端与入光端的功率比值,简单说就是在耦合过程中损耗了多少光能量,一般都是以实测为主。

$$\eta = P_1/P_2 \quad (1)$$

式中: $P_1$ 是脉冲激光经宫腔镜观察通道后的光功率; $P_2$ 是脉冲激光的光纤出光端的光功率; $\eta$ 为耦合效率。

脉冲激光与宫腔镜观察通道的出射耦合中,光耦合效率的入光端为脉冲激光的输出端,出光端为宫腔镜的输出端。因此,需要测量激光输出端的光功率和耦合后宫腔镜输出端的光功率,计算在耦合过程中损耗了多少光能量。实验设备连接如图5所示。共6组参数,每组测量3次,取其平均值。

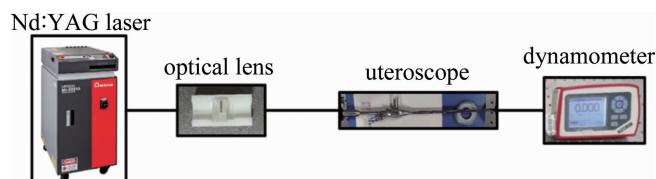


图5 耦合效率测量实验图

Fig. 5 Experimental diagram of coupling efficiency measurement

### 2.2 耦合系统光声信号检测实验

在3种耦合方案的基础上进行光声信号检测,光声信号检测是指在激光照射到体内生物组织的情况下,染色团吸收脉冲激光能量后迅速升温并发生膨胀

产生超声信号,再经过超声换能装置进行信号处理,最终得到了组织的光声信号。使用带有粗铅笔芯(直径为1.8 mm)、细铅笔芯(直径为0.7 mm)、头发(直径为60 μm)的琼脂样品进行最小光声信号检测。实验设备链接如图6所示。脉冲激光经过透镜组、宫腔镜后照射在样品上,在距离样品约60 mm处放置5 MHz超声换能器接收信号,信号经过超声换能器接信号发生器OlympusNDT 5800PR,最后在示波器上显示出光声信号。实验数据测量分为9组,每组测量3次取其平均值,观察不同方案针对不同样品产生的光声信号的数据。

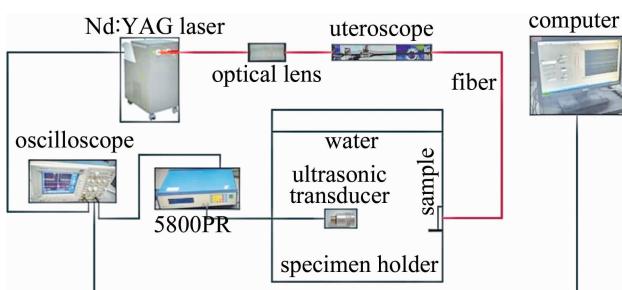


图6 光声信号检测方案

Fig. 6 Photoacoustic signal detection plan

### 2.3 阵列探头透镜耦合与直接耦合光声图像对比

在光声信号的基础上找到最佳方案进行图像处理。实验分为两组,脉冲激光波长为660 nm,脉冲激光能量为10%,分别用透镜耦合方案和直接耦合方案接宫腔镜照射带有直径为1.8 mm铅笔芯的琼脂样品(如图7所示),使用阵列探头采集数据,并进行数据分析,得到样品的光声信号图像。



图7 光声信号检测琼脂样品

Fig. 7 Photoacoustic signal detection agar sample

## 3 结果与分析

### 3.1 透镜耦合和直接耦合的耦合效率对比分析

图8为测得透镜耦合和直接耦合的耦合效率和误

差对比图。从图中实验结果可知,3种方案的透镜耦合效率都较高;方案Ⅱ的透镜耦合效率高于方案Ⅰ和方案Ⅲ的透镜耦合效率。方案Ⅰ耦合效率最小,误差较小;方案Ⅱ与方案Ⅲ耦合效率较高;与方案Ⅲ相比,方案Ⅱ的误差较小,数值比较稳定。

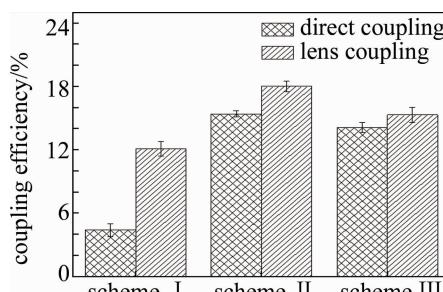


图8 直接耦合与透镜耦合效率对比图

Fig. 8 Comparison of efficiency between direct coupling and lens coupling

方案Ⅰ按照点光源准直的方法进行设计,因为脉冲激光经过透镜组到达宫腔镜的距离较长,过程中的衰减较为严重,对比直接耦合和透镜耦合效率后发现,透镜耦合效率有大幅度提升,但是相比于方案Ⅱ和方案Ⅲ耦合后的激光能量值偏低,相比之下耦合效率较低。因此,该方案还有较大的改进空间。方案Ⅱ和方案Ⅲ按照面光源准直的方法进行设计,由于脉冲激光经过透镜组的距离较短,耦合后的能量值较方案Ⅰ有明显提高,耦合效率也是较高的。

### 3.2 耦合系统光声信号检测对比分析

随后进行光声信号检测,如图9所示。方案Ⅰ对带有头发丝的样品检测到的信号极其微弱,噪声会大于样品信号,影响对样品信号的判断,在粗铅笔芯样品上有较明显的光声信号。方案Ⅱ的耦合效率最优,此后在方案Ⅱ、Ⅲ的基础上进行光声信号检测,头发丝样品检测到的光声信号较弱,相比于方案Ⅰ有所提高,细铅笔芯和粗铅笔芯的信号较好。实验过程中不可避免的因素导致了3种方案都存在一定程度的误差,但是可以看出,方案Ⅱ在3种样品上测到的信号最强。

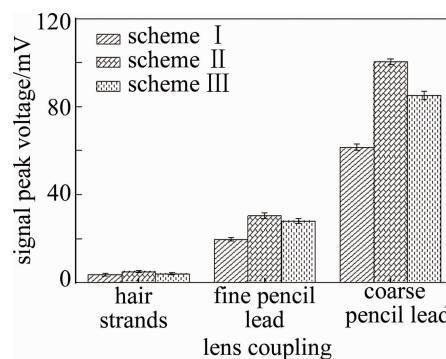


图9 光声信号测量值

Fig. 9 Photoacoustic signal measurement value

### 3.3 阵列探头透镜耦合与直接耦合光声图像对比实验分析

3种方案中方案Ⅱ的透镜耦合效率较高,且用其进行光声信号检测,得到的峰值最大,效果最为显著。本文中首选带透镜组的方案Ⅱ作为最佳耦合方案,但是对头发丝的样品检测光声信号时,峰值较小,会出现噪声,此处还有改进的空间。

在毫米级的组织检测中,方案Ⅱ有着明显的信号,因此采用方案Ⅱ耦合到宫腔镜,照射到带有粗铅笔芯的两个样品中,经过数据处理和图像重建,得到琼脂样品的光声信号图像,与直接耦合方案照射样品得到的光声信号图像进行对比,如图10所示。

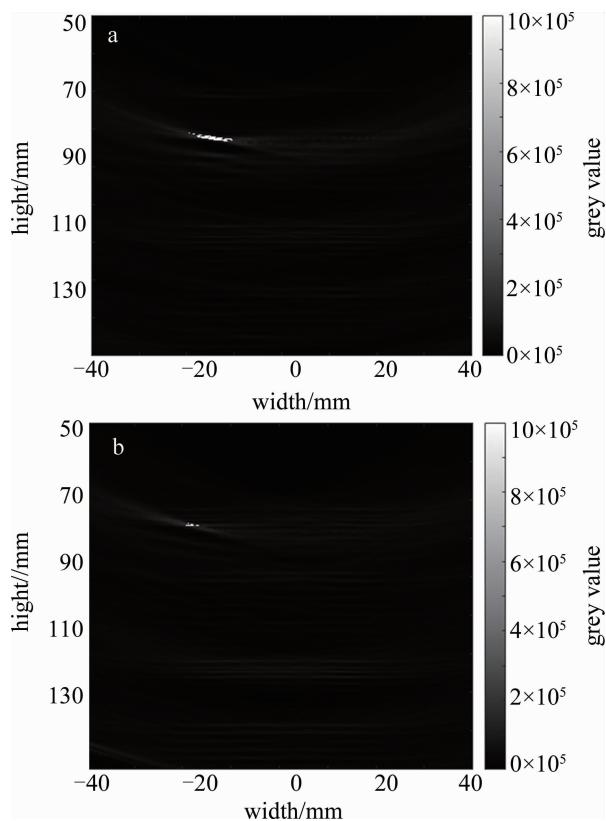


图10 a—透镜耦合光声信号图 b—直接耦合光声信号图

Fig.10 a—lens coupled photoacoustic signal diagram b—direct coupled photoacoustic signal diagram

由此可知,面光源准直的方案Ⅱ,仿真情况较符合实际光束传播情况,且经过不同的实验验证后,该方案的耦合效果明显高于其它方案,在检测耦合信号强度时,该方案不管在微米级别还是毫米级别上都表现出了明显的优势。除此之外,为了验证该方案经过宫腔镜的耦合情况,进行了阵列光声信号测量及图像反演实验,实验结果显示,在此基础上的光声信号明显高于直接耦合的光声信号。

## 4 结 论

子宫疾病的早期检测可以大大提高患者的成活率,普通的检测手段不能很好地检测到早期肿瘤组织,光声成像技术存在独特的优势,为检测子宫疾病需要光声技术与宫腔镜的结合。为使光声技术更好地应用,提出了3种耦合方案,这3种方案在一定程度上都提高了激光耦合的效率,增强了光声成像的深度,为光声成像及宫腔镜在子宫疾病检测方面提供了更好的应用效果,而光源大光心距耦合方案耦合效果最佳,选择其作为后续实验的耦合方案。

实验结果证实,使用本文中设计的耦合模块进行功率测量,效果明显高于直接耦合;在避免超出其它元件的损伤阈值、不提高激光能量的情况下,使用透镜耦合方案可以有效提高耦合效率,所设计的3种方案在一定程度上都提高了耦合效率和光声信号,在多次实验下,而光源大光心距的方案Ⅱ在3种方案中有更高的耦合效率和更强的光声信号。综上所述,选择面光源大光心距的方案Ⅱ作为进行经宫腔镜观察通道的脉冲激光耦合的最优方案,有望用于脉冲激光与宫腔镜耦合的早期癌组织的检测光声成像技术中。

由于实际操作中不可抗拒的因素,导致与仿真效果有误差,在微米级的样品上检测到的信号较弱,因此在后续的实验中,要努力克服实验中的变量,最终找到最理想的耦合状态,以更高的耦合效率进入宫腔镜,提高微米级的光声检测效果,更好地应用于早期子宫内膜癌组织的检测。光声成像技术与宫腔镜的耦合技术发展缺乏临床方面应用及相关数据,仍需进一步研发和完善。

## 参 考 文 献

- [1] WEI J L, ZHANG T, ZHANG P X. Therapeutic tumor vaccines: Past, present and future [J]. Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2023, 39(10):1-14 (in Chinese).  
魏建磊,张涛,张鹏霞.治疗性肿瘤疫苗:过去、现在和未来[J].中国生物化学与分子生物学报,2023,39(10):1-14.
- [2] MARKAROV A E, APRESYAN S V, DIMITROVA V I, et al. The choice of the X-ray endovascular method for the treatment of uterine fibroids and the possibility of prolonging the remission of the disease [J]. Meditsinskiy Sovet, 2021(13):51-56.
- [3] LIU J Y, CHANG C, ZHANG H X. Grayscale ultrasound feature typing of metastatic ovarian tumors, particularly signet-ring cell carcinoma [J]. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery, 2023, 13(1): 49-57.
- [4] TURASHVILI G, HANLEY K. Practical updates and diagnostic challenges in endometrial carcinoma [J]. Archives of Pathology & Laboratory Medicine, 2023, 148(1): 78-98.
- [5] YANG Y X. Research and application of pathogenesis and treatment of gynecologic tumors [EB/OL]. (2020-11-16) [2023-10-16]. <https://ir.lzu.edu.cn/handle/262010/562735> (in Chinese).

- 杨永秀. 妇科肿瘤发病机制及治疗的研究与应用 [EB/OL]. (2020-11-16) [2023-10-16]. <https://ir.lzu.edu.cn/handle/262010/562735>.
- [6] YANG M M. Correlation analysis of hysteroscopy with cytology and prognosis of abdominal lavage fluid in early endometrial cancer [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020;14-17 (in Chinese).
- 杨苗苗. 宫腔镜检查与早期子宫内膜癌腹腔冲洗液细胞学及预后的相关性分析 [D]. 郑州:郑州大学,2020;14-17.
- [7] OYAMA S, TANAKA K, MORIYAMA M, et al. Laparoscopic resection of an intra-abdominal esophageal duplication cyst in the ileum: A case report [J]. Surgical Case Reports, 2022, 8(1): 219.
- [8] MEENAKSHI G, AASMA N, PRATIBHA S, et al. Role of cervical cancer biomarkers p16 and Ki67 in abnormal cervical cytological smear [J]. The Journal of Obstetrics and Gynecology of India, 2021, 71(1):72-77.
- [9] NGUYEN D B, GERBER V E M, SUEN M W H, et al. Outpatient hysteroscopy is effective for uterine cavity evaluation following failed office-based endometrial biopsy [J]. The Journal of Obstetrics and Gynaecology Research, 2022, 48(9):1.
- [10] FENG X Y, TAO X W, ZENG L K, et al. Application of pulmonary ultrasound in the diagnosis of COVID-19 pneumonia in neonates [J]. Chinese Journal of Pediatrics, 2020, 58(5):347-350.  
冯肖媛,陶旭炜,曾凌空,等. 肺部超声在新生儿新型冠状病毒肺炎诊断中的应用 [J]. 中华儿科杂志,2020, 58(5):347-350 (in Chinese).
- [11] LIAO T, GONG J L, FU Ch X. Clinical value of transvaginal ultrasonography in diagnosing early endometrial cancer [J]. Armed Police Medicine, 2022, 33(9): 751-754 (in Chinese).  
廖涛,龚金玲,付赤学. 经阴道超声造影诊断早期子宫内膜癌的临床价值 [J]. 武警医学, 2022, 33(9): 751-754.
- [12] YUE W. Correlation analysis of multi-model diffusion-weighted imaging for the diagnosis of endometrial cancer and its prognostic factors [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2022;72-78 (in Chinese).  
岳巍. 多模型扩散加权成像对子宫内膜癌的诊断及其预后因素的相关性分析 [D]. 郑州:郑州大学, 2022; 72-78.
- [13] SHAO Y H, YANG X M, LIU Y, et al. Comparative study of endometriosis diagnosis by hysteroscopy and ultrasound [J]. China Medical Equipment, 2022, 19(7):103-106 (in Chinese).  
邵迎华,杨秀梅,刘洋,等. 宫腔镜与超声对子宫内膜病变诊断的对比研究 [J]. 中国医学设备, 2022, 19(7):103-106.
- [14] MU G, ZHANG Zh H, SHI Y J. Photoacoustic imaging in biomedical imaging [J]. Chinese Journal of Lasers, 2022, 49(20): 2007208 (in Chinese).  
穆根,张振辉,石玉娇. 生物医学影像中的光声成像技术 [J]. 中国激光, 2022, 49(20): 2007208.
- [15] YANG L, LI Y P, FANG F, et al. Highly sensitive and miniature microfiber-based ultrasound sensor for photoacoustic tomography [J]. Opto-Electronic Advances, 2022, 5(6): 200076.
- [16] LI Ch H. Creating the sound of life by light: A discussion about photoacoustic imaging [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2022, 59(6): 0617005 (in Chinese).  
李长辉. 用光奏响生命之歌:光声成像技术漫谈 [J]. 激光与光电子学进展, 2022, 59(6): 0617005.
- [17] CHU B B, CHEN Zh M, SHI H L, et al. Fluorescence, ultrasonic and photoacoustic imaging for analysis and diagnosis of diseases [J]. Chemical Communications, 2023, 59(17): 2399-2412.
- [18] XU D B, FENG L M. Hysteroscopic surgical techniques and prevention of complications [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2019;15-18 (in Chinese).  
徐大宝,冯力民. 宫腔镜手术技巧及并发症防治 [M]. 北京:人民卫生出版社,2019;15-18.
- [19] SMIT J G, OVERDIJKINK S, MOL B W, et al. The impact of diagnostic criteria on the reproducibility of the hysteroscopic diagnosis of the septate uterus: A randomized controlled trial [J]. Human Reproduction, 2015, 30(6): 1320-1330.
- [20] DUAN H. China's gynecologic endoscopy diagnosis and treatment technology from weak to strong and run the international road [J]. China Family Planning and Obstetrics and Gynecology, 2019, 11(10):3-6 (in Chinese).  
段华. 中国妇科内镜诊疗技术从弱到强并跑国际之路 [J]. 中国计划生育和妇产科, 2019, 11(10):3-6.
- [21] ZHENG R S, SUN K X, ZHANG S W, et al. Analysis of the prevalence of malignant tumors in China in 2015 [J]. Chinese Journal of Oncology, 2019, 41(1): 19-28 (in Chinese).  
郑荣寿,孙可欣,张思维,等. 2015年中国恶性肿瘤流行情况分析 [J]. 中华肿瘤杂志, 2019, 41(1): 19-28.
- [22] MA L F, JIA L, LI Q. Significance of laboratory and imaging indicators for the detection of endometrial cancer—a review of 100 questions on endometrial cancer [J]. Chinese Journal of Experimental Formulary, 2022, 28(24): 34 (in Chinese).  
马立芳,贾岚,李强. 子宫内膜癌的实验室及影像学指标的检测意义——评《子宫内膜癌 100 问》[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(24): 34.
- [23] TIAN Y. Diagnostic value of transvaginal ultrasound combined with hysteroscopy in endometrial cancer [J]. China Contemporary Medicine, 2022, 29(15):101-103 (in Chinese).  
田源. 经阴道超声联合宫腔镜检查对子宫内膜癌的诊断价值 [J]. 中国当代医药, 2022, 29(15): 101-103.
- [24] LIN Y P. Principles and techniques of photoacoustic and ultrasound dual-mode imaging for early uterine tumor diagnosis [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2019;32-48 (in Chinese).  
林永平. 面向早期子宫肿瘤诊断的光声与超声双模成像原理与技术 [D]. 福州:福建师范大学, 2019;32-48.
- [25] TANG H, SHEN Y, LONG L Y. Analysis and prospect of the development of laser science and technology in china from the perspective of national natural science foundation of China [J]. Chinese Journal of Lasers, 2023, 50(2): 0200001 (in Chinese).  
唐华,沈咏,龙丽媛. 国家自然科学基金视角下我国激光科学技术发展的分析和展望 [J]. 中国激光, 2023, 50(2): 0200001.