

激光等离子体冲击波在眼科手术中的作用和副作用

倪晓武 陆 建 贺安之

李永年

(南京理工大学应用物理系, 南京 210014) (解放军南京军区总医院眼科, 南京 210002)

摘要 本文根据对眼模型模拟激光手术过程的探测,研究了眼科激光手术中等离子体冲击波的产生和发展过程。根据模拟实验结果提出了等离子体冲击波在激光手术中对被治疗眼组织作用和手术中可能对周围眼组织影响的物理机理假设,可较好地解释激光眼科手术中的几种伴生现象,并在临床使用中得到了验证。

关键词 激光等离子体,冲击波,眼科手术,物理机理

Action and reaction of laser produced plasma and shock wave in the operation of ophthalmology

Ni Xiaowu, Lu Jian, He Anzhi

(Department of Applied Physics, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210014)

Li Yongnian

(Department of Ophthalmology, Nanjing General Hospital of P. L. A., Nanjing 210002)

Abstract Production and development of the plasma shock wave during the ophthalmic operation have been studied by exploring an eye model simulating the laser operation. According to the experimental results, physical mechanism hypothesis of action upon the curing eye tissues of the plasma shock wave and possible influence on the surrounding tissues during the operation have been put forward. The hypothesis may explain satisfactorily some phenomena and has been verified during the clinical applications.

Key words laser produced plasma, shock wave, ophthalmic operation, physical mechanism

1 引 言

高功率激光在眼科疾病的治疗中因可对无色素的半透明或白色组织进行切割而得到迅速发展。对于治疗中激光与眼组织相互作用过程和机制的研究,国内外学者进行了广泛讨论^[1~4]。但尚不能圆满地解释实际现象,因而留下了“这些机理还有待于进一步研究证实”的结

论。

本文根据对眼模型模拟激光手术过程的探测,研究了高功率激光眼科手术中等离子体冲击波产生和发展过程,并对等离子体冲击波可能对周围眼组织的影响进行了讨论,提出了国外文献报道的术后眼压升高现象和我们首先报道过的术中瞳孔回缩现象都是等离子体冲击波对非治疗组织的影响,并根据模拟实验结果对这种影响给出了定量结果。根据这一假设,可较好地解释激光眼科手术中的几种伴生现象,并在临床使用中得到了验证。

2 模拟实验研究和结果

2.1 眼模型

高功率激光与眼内组织相互作用时的眼模型是根据文献[4]:用平衡食盐水模拟房水,位于其间的纤维素薄膜作为眼睛中的被作用组织,该薄膜预先使其具有一定的张力,这种眼模型能较有效地模拟眼睛。但由于其被作用靶面为平面,因此缺乏真实眼睛中球面结构的预聚焦作用。

2.2 实验装置和结果

我们采用电光 Q 开关 YAG 振荡放大激光器作为探测和作用光源,激光脉宽 15 ns。实验装置如图 1 所示。YAG 激光器振荡级 1 输出的波长为 1.064 μm 激光束经过倍频晶体 2 后,成为两种波长的混合光束,其中波长为 0.532 μm 的激光由平面分束镜 3 反射、转折、扩束和延迟后作为由元件 11,12,13,14 组成的 Mach-Zehnder 干涉仪的光源,而由平面分束镜 3 透射的波长为 1.064 μm 激光经 YAG 放大级 4 放大后作用于置于 M-Z 干涉仪一臂中的眼模型 7 靶面上。改变光学延迟时间,可得到激光作用后不同时间的等离子体干涉图。若挡住 M-Z 干涉仪中的参考光束(即元件 12 所在光路),就能得到光学阴影图。

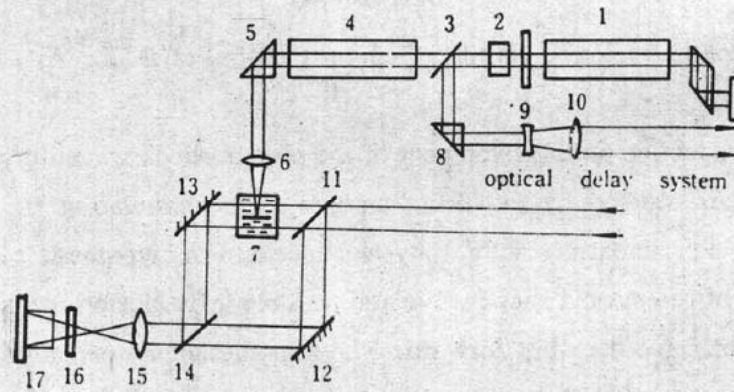


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental set-up

当与薄膜相互作用的激光能量为 5.0 mJ 时,摄取作用后 300 ns 以内的多幅 M-Z 干涉图(如图 2)和光学阴影图(如图 3)。

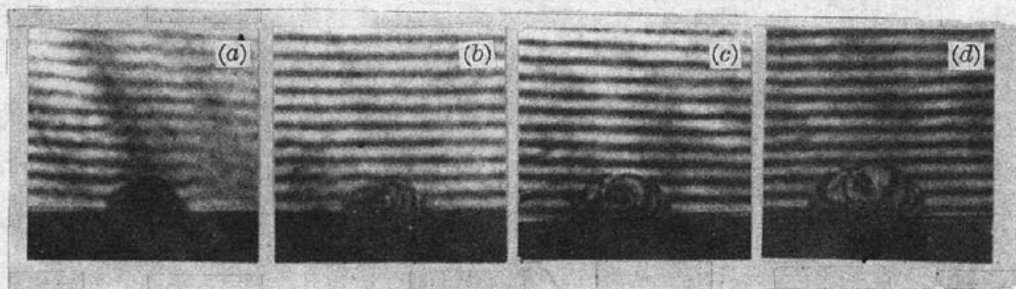


Fig. 2 Series of M-Z interferogram

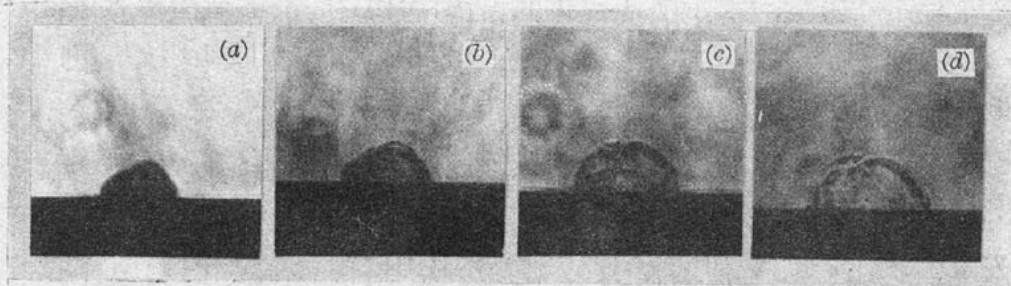


Fig. 3 Series of optical shadowgrams, delay time (ns) : (a) 38; (b) 64; (c) 90; (d) 120

对序列 M-Z 干涉图进行冲击波传播速度的测量, 得到距激光作用点距离与冲击波传播速度关系曲线, 如图 4 所示。

3 等离子体冲击波对眼组织的作用机理

根据对上述实验结果的分析 and 计算, 我们认为在高功率激光与眼组织相互作用时, 被作用眼组织中的原子或分子将吸收激光能量而被电离, 从而形成不透明的离子和自由电子的混合体。这种混合体对后继激光能量的吸收达到 85% 以上^[5]。因而后续的激光将使更多的原子电离, 最终导致局部物质的全部电离, 产生温度达 10^4 K 的高温高压物质, 即形成等离子体。等离子体区域内外存在 10^2 量级的压差, 因此等离子体将向外膨胀, 其膨胀波前就是冲击波的波面。根据对模拟眼的测量表明, 起始冲击波的传播速度达 10^3 m/s, 而且该冲击波是以作用点为原点的球状冲击波, 即冲击波的扩散是全方位的。所以说仅就冲击波对于被治疗的眼组织作用而言, 冲击波对该点的实际作用并无优先, 只要离激光击射点距离相同的各点, 冲击波的作用是完全相同的。但考虑到实际激光手术时激光击射点就在被治疗的眼组织上, 因而有较大立体角(近似 180°)内的等离子体冲击波对该区域作用。再加上同时存在的光压作用和高温等离子体的热辐射作用的综合效果, 所以被治疗区所受到总的激光作用还是较周围组织的强。

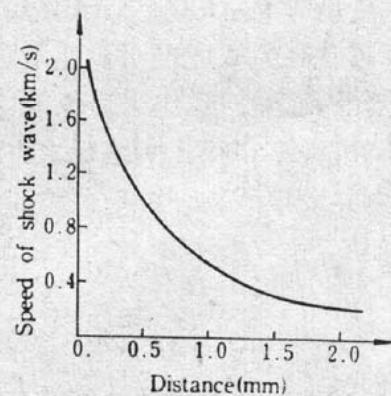


Fig. 4

4 激光眼科手术中副作用的产生机理

事实上, 球状扩展的等离子体冲击波也将对激光击射点附近的眼组织以及背离激光传播方向的其它眼组织产生作用。例如, 在作激光后囊膜切除术时, 冲击波对后囊膜附近的睫状体和虹膜等组织也有作用。这种作用是手术中不希望存在的, 因而是一种副作用。这种副作用的大小是与作用时冲击波的速度成比例的, 我们对眼模型的实际测量结果(即图 4)表明: 在距击射点 1.5 mm 处, 冲击波波速为 300 m/s; 在距击射点 1.0 mm 处, 波速为 520 m/s, 且随着距激光击射点距离的缩小, 冲击波波速呈非线性急剧增加。因而可推知: 在进行激光手术时, 冲击波对邻近击射点的睫状体、虹膜和眼睛中的血—房水屏障等组织均有作用, 这一作用的结果是使睫状体或虹膜释放前列腺素, 同时将导致血—房水屏障的击穿, 从而促使瞳孔回缩或眼压升高。采用以上假设可以解释激光眼科手术中并发症的产生机理。对文献中提到的“人工晶体植入后可抑制激光后囊膜切开术后的眼压升高, 其原因不明”^[6]。我们认为, 这也是从一个侧面证实了等离子体冲击波是使眼压升高的关键因素。因为对植入人工晶体后的患眼进行激

光后囊膜切开时,必须考虑激光对人工晶体的损伤,因而使用的激光能量通常较未植入人工晶体的病例小,这时产生的等离子体冲击波传播速度就小,对周围眼组织的影响就小,从而眼压升高症状得以改善。

5 副作用产生机理的临床验证

根据在进行激光手术时,冲击波对邻近击射点的眼组织产生作用,因而产生并发症的假设,我们进行了临床验证。对 60 例将行眼前节激光手术的患者分为两组,其中 30 例使用前列腺素抑制剂——消炎痛(局部滴眼辅以口服),另外 30 例不使用该药。术中注意观察瞳孔回缩现象,术后定时测量眼压。临床实践结果表明:服用消炎痛的一组患者术中瞳孔回缩现象得到控制,眼压升高的幅度也明显低于对比组。另外,我们又对一组患者采用文献中报道的激光能量进行治疗,而对对比组采用仅能使眼组织产生光学击穿的阈值附近的激光能量进行手术,对比组中眼压升高和瞳孔回缩现象得到明显的控制。这些事实都有力地证明了本文对激光眼科手术产生并发症的物理机理假设。

参 考 文 献

- 1 W. J. Stark *et al.*, *Ophthalmology*, **92**, 209(1985)
- 2 W. G. Unger, *Br. J. Ophthalmology*, **64**, 148(1977)
- 3 T. Yamamoto *et al.*, *Jpn. J. Ophthalmology*, **26**, 387(1982)
- 4 W. F. March, *Ophthalmic laser: A second generation*, Thotofare, SLACK Incorporated, 120(1990)
- 5 An-Zhi HE, Jian LU, Xiao-Wu NI, Yong-Nian LI, *Proc. SPIE*, **1423**, 117(1991)
- 6 夏小平,陆道炎,国外医学眼科分册, 16, 28(1992)