

文章编号: 1001-3806(2003)05-0400-03

## 激光乳化白内障的新进展

余小敏 陈慧敏 李家泽  
(北京理工大学光电工程系, 北京, 100081)

**摘要:** 简要介绍了乳化在白内障手术中的原理, 重点介绍了激光乳化在白内障手术中的发展, 以及几种激光的比较和发展前景。

**关键词:** 白内障; 激光乳化; 冲击波; 激光

**中图分类号:** TN249; R776.1 **文献标识码:** A

### The new development of laser phacoemulsification

Yu Xiaomin, Chen Huimin, Li Jiaze

(Department of Optical & Electrical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081)

**Abstract** The principles of phacoemulsification on the cataract extraction surgery are presented briefly. Developments on laserphaco are introduced. A few kinds of lasers and their applications are compared.

**Key words:** cataract; laser phacoemulsification; shock wave; laser

### 引言

白内障作为最具有社会性的眼科多发病, 长期以来一直受到广泛的关注, 它是导致失明的主要因素。全世界失明的人群中, 有 42% 是由于白内障导致的。在美国, 65 岁以上的人群中有一半以上的人患有不同程度的白内障。白内障的发病与年龄有关, 一般病人在(40~50)岁开始, 但是这时并不影响视力。60 岁后, 症状才开始比较明显。另外, 其它一些原因, 诸如遗传、眼睛受过伤害、长期的糖尿病诱发, 以及使用类固醇药物或者受到强激光的照射等, 都可能引发白内障。因此, 白内障手术的发展和完善不仅可以减轻病人及其家庭的痛苦, 而且有利于整个社会的经济发展和稳定。

### 1 乳化在白内障手术中的发展

近几十年来, 白内障手术不断在改进。人们已逐渐意识到手术中保持晶体囊的完整性、恢复调节力的重要性和必要性。故经小切口除去白内障保持晶体囊的完整性(包括晶体悬韧带在内), 并在晶体囊内注入与机体相适应的和晶体形状类似的材料, 从而恢复视力和调节力已成为白内障手术的最终理

想目标。而乳化技术正好满足了这种手术的要求。

晶体核和皮质移出前, 有 3 种方法可以把晶体核软化击碎为小颗粒。一种使用外部能量, 如激光或超声波, 把能量集中在核上, 把硬核击成小颗粒, 最后通过一个小探针吸出或者组织自身吸收掉。早期使用的 Nd:YAG 倍频光经过聚焦在晶体核上后击碎核就是这种方法。第 2 种方法是把一些物质注入眼内, 软化晶体核。这些物质包括一些生物酶, 也可以是一个小磁球, 用一个外磁场源控制小球旋转、搅和晶体核。第 3 种方法是使用一个探针通过巩膜边缘的小切口插入眼内, 同时乳化并吸出晶体核。这种技术包括超声乳化和激光乳化。

### 2 超声乳化

60 年代中期, 美国人 Kelman 提出乳化的概念, 并于 1966 年发明了第 1 台白内障超声乳化仪。晶状体乳化后从一个 2.7mm 的小口吸出。近 10 年来超声乳化在一些发达国家得到广泛应用和发展。因其具有切口小, 手术时间短, 术后散光几率减小, 并能较好维持晶体囊的稳定性, 目前在国内已经迅速的得到了广泛的普及和提高。

超声乳化术的生物物理学基础是超声波作用于人体组织的一系列生物学效应, 包括破碎效应和空穴效应<sup>[1]</sup>。破碎指当一定频率的超声波由探头传至组织, 引起组织的弹性振动, 若振动频率达到相当

作者简介: 余小敏, 男, 1977 年 5 月出生。博士研究生。主要从事激光生物医学方面的研究工作。

收稿日期: 2002-12-18; 收到修改稿日期: 2003-03-25

高,以至于其振动加速度超过组织的破坏阈值时,辐射头即可辐射出相当大的能量,足以使组织破碎。超声乳化仪中的换能器产生的超声振动频率为(27~64)kHz,其最大振动幅度在液体中约为 $17\mu\text{m}$ 。组织内部含有大量液体,当超声辐射头释放能量时,液体产生大量气泡。气泡内外声压差可达数百兆帕,气泡的爆裂使周围组织乳化成乳糜状,这即空穴效应。

### 3 激光乳化

尽管超声乳化技术已经比较完善,但它并不是一个理想的手术。首先超声乳化技术复杂,学习操作困难,需要专业的手术技巧,切口大,导致手术常伴有一些并发症,如晶体核整个或部分碎块坠入玻璃体腔,后囊膜破裂,虹膜损伤等,手术产生的热效应对角膜内皮组织会造成非再生性损伤。因此,需要研究一种更好的技术和仪器应用于白内障手术。

激光乳化仪从1988年开始研制,90年代至今处于临床试验阶段,目前尚未见国内有相关研究报告。激光乳化与超声乳化相比,其优点在于:安全,操作简单方便;切口小,恢复快,并发症少;基本上无热损伤。激光乳化的角膜切口可到 $1\text{mm}$ 。由于激光为脉冲输出,基本不会使激光探头温度升高,因此减少了眼组织热损伤的几率。而且激光的组织穿透力有限,对后囊膜有最大的安全性。目前激光乳化的不足是对于硬核性白内障的治疗效果不好,限制了其进一步推广。在激光乳化技术中,国外研究较多的能源有准分子激光、近红外的Nd:YAG激光、还有中红外Er:YAG激光。图1代表一般的激光

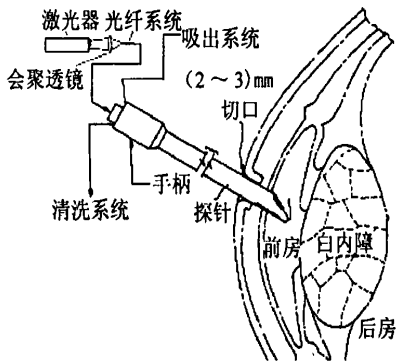


图1 激光乳化系统示意图

乳化系统。清洗系统提供清洗液保持眼前房的压强和颗粒的流动性,激光系统产生的能量经光纤和探针后作用于组织,吸出系统通过探针内的吸出管道吸出晶体核颗粒、皮质和液体。

#### 3.1 准分子激光

最初用于激光乳化的光源是准分子激光。从80年代末至今,Bath<sup>[2]</sup>等人就一直研究用波长为(193~351)nm的激光作为能源进行白内障吸出术。实验发现308nm波段的激光效果最好。激光能量经石英透镜会聚,光纤传输直接作用于组织上,把晶体核击碎成直径小于 $0.1\text{mm}$ 的小颗粒,通过注吸口吸出小颗粒和皮质,作用于组织的探针直径不超过 $1\text{mm}$ 。Bath等人对牛和人的完整的水晶体做了离体实验,激光使用308nm波段的XeCl准分子激光,最大输出能量为 $250\text{mJ}$ ,脉宽 $17\text{ns}$ ,重频最大为 $100\text{Hz}$ 。不过准分子激光的实验时间较长,汽化速度慢,308nm激光诱发的荧光对视网膜会产生明显伤害。而且准分子波段对人体有潜在危害,可能导致基因突变,因此其前景并不被大家看好。

#### 3.2 Er:YAG激光

目前,中红外波长是一致比较看好的晶体乳化的理想光源。特别是波长为 $2.94\mu\text{m}$ 的Er:YAG激光,水对这个波段有最大吸收系数( $17000/\text{cm}$ )。因此十分适合于对含水量较高的晶状体等组织的操作。Er:YAG激光组织的穿透深度不到 $5\mu\text{m}$ ,可以很好地控制手术精度。探针头几乎不产生热效应,对角膜组织安全。汽化后颗粒小,故探针的直径可以做得更小,切口最小可以到 $1\text{mm}$ 。

中红外激光对晶状体的乳化作用主要是通过光声效应来实现,其作用原理与超声振动的生物效应相似,以空穴效应和直接破碎效应为主。为了小于组织的热释放时间,所选激光的脉宽在(200~500)ns之间。Er:YAG激光系统对(0~3)级的硬核效果较好。维吉尼亚医学院的Stevens医师<sup>[3]</sup>用Er:YAG系统进行了至少19例白内障吸出术,使用的激光能量为 $45\text{mJ/pulse}$ ,重频(5~30)Hz,硅光纤直径 $600\mu\text{m}$ 。手术结果证明钕激光的治疗效果是安全有效的。德国耶那Aesculap Meditec中心研制的钕激光乳化系统,在欧洲3个地方分别对30个病人进行手术,结果也证明钕激光在激光乳化手术中是安全的。亚利桑那大学用钕激光能量对硬度为2+到4+晶体核病人实行乳化吸出手术,使用的激光能量为(6~8)mJ/pulse,重频为 $200\text{Hz}$ ,光纤直径为 $365\mu\text{m}$ 。手术后病人视力恢复比较理想。在2001年9月荷兰举办的白内障手术会议<sup>[4]</sup>上,有人报道了对于不同硬度的晶体核的治疗,0级晶体核使用能量平均为 $24.7\text{J}$ ,用时 $56.1\text{s}$ ,而对3级硬核分别为 $99.1\text{J}$ 和 $222.5\text{s}$ 。与超声乳化相比,虽然治疗时

间偏长,但治疗能量只消耗了约 1/100。

但对于 Er:YAG 短脉冲激光来说,缺点是缺乏一种理想的耦合光纤传输系统。尽管锆氟化物光纤对于这个波段有很好的传输质量,但是这种光纤易脆、吸湿,传输能量过大时容易损害。目前可以在光纤外加一层或多层保护层,保护层可选择热塑性聚酰亚胺材料,抗张强度 19000psi,热传导率为  $1.46538 \times 10^{-1} \text{W/cm} \cdot \text{K}$ ,折射率为 1.7。这样避免激光在光纤的内核产生热聚焦打坏光纤,提高锆氟化物光纤的功率承受密度。

Ho:YAG<sup>[5]</sup> 波段 (2.1 $\mu\text{m}$ ) 水的吸收系数 (85/cm) 较 Er:YAG 波段的小几个数量级,其组织穿透深度不超过 400 $\mu\text{m}$ ,因此汽化更快,但可能造成的损害要大。国外也有使用 Ho:YAG 激光进行白内障手术的相关研究报道<sup>[6,7]</sup>。

### 3.3 Nd:YAG 激光

短脉冲 Nd:YAG 激光也是目前激光乳化研究中比较热门的一种能源。用 Nd:YAG 激光作为乳化的能量来源,其作用原理同中红外激光有所不同。Nd:YAG 激光是把短脉冲能量,作用在一个金属靶上,产生光学击穿,这是一种非线性效应<sup>[8]</sup>,形成等离子体。等离子体的迅速膨胀爆破产生冲击波,冲击波的压强可以达到  $2.4 \times 10^8 \text{N/m}^2$ <sup>[9]</sup>,作用于晶体组织,击碎晶体核(见图2)。探针的设计要求激光脉冲能量转化为冲击波能的效率高,探头几乎不产生热效应。

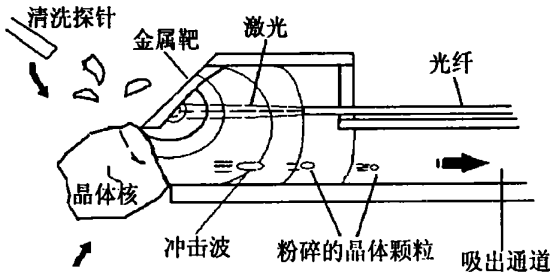


图2 Nd:YAG 激光乳化白内障示意图

Dodick<sup>[10]</sup> 医师最先应用 Nd:YAG 激光进行白内障手术的研究。他设计的 Nd:YAG 激光乳化系统目前是经过美国 FDA 认证可用于白内障吸出手术(见图3)。系统使用的能量是 8mJ/pulse,重频为 (1~20) Hz,脉宽 8ns,石英光纤直径 300 $\mu\text{m}$ ,使用金属钛作为靶。由于系统的探头基本不产生热,不需要外加冷却管套,因此探针直径很小。最初设计的探针直径为 2mm,经过改进后,探针可以通过直径为 1.25mm 的切口。这样大大减小了术后散光和并发症的产生。而且晶体核的破碎是由激光能量作用

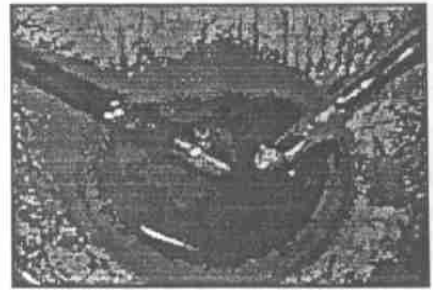


图3 双手操纵 Dodick 系统进行乳化手术(左为激光乳化探针,右为清洗探针)

于探针内的钛靶产生的冲击波完成,眼睛并不直接受到激光的照射,因此减小了对眼睛的伤害。

观察 Dodick 激光探针头和超声探针头在离体的人眼前房的温度升高变化实验<sup>[11]</sup>,超声探针末端的温度平均升高 (7.08  $\pm$  2.51)  $^{\circ}\text{C}$ ,而激光探针末端的温度平均升高 (0.41  $\pm$  0.41)  $^{\circ}\text{C}$ ,温度几乎没有变化,不损坏周围组织。使用 Dodick 激光乳化仪进行的白内障手术中,每例平均能量为 5.65J<sup>[12]</sup>,大概是超声乳化能量的 1/1000。因此用 Nd:YAG 激光作为一种能源用于白内障激光乳化手术,是非常有发展前途的。不过目前该系统对硬核手术效果差,手术时间偏长。

## 4 结 语

尽管目前超声乳化占据主导,但是白内障手术的发展方向是切口小、并发症少、手术中产生的热量小、手术操纵简单方便。因此,可以预见随着技术的发展,激光乳化将是未来发展的重要方向。激光乳化系统中,准分子激光乳化仪由于其不可克服的缺陷,发展受到限制。Er:YAG 和 Nd:YAG 激光乳化是经美国 FDA 批准用于临床应用的两种乳化系统。Er:YAG 激光乳化仪虽然手术效果安全有效,但是激光系统和传输系统的成本较高,市场竞争力会受到影响。Nd:YAG 激光乳化仪治疗效果好,使用方便安全,激光系统和传输光纤都有成熟的商品,因此将是未来激光乳化仪的一个主要发展潜力。

目前的激光乳化技术还有一些地方需要改进。如 Nd:YAG 激光乳化探针前端,金属靶材料的选择、设计和安装技术的改善,不仅可以延长探针的使用寿命,而且能提高激光脉冲能量转化为冲击波的效率,以及冲击波对晶体组织的作用效果。激光探头的设计应尽可能减少偏离或杂散光向外辐射,这些光能量大时也可能造成眼内组织的热损伤。至于清洗、吸注和激光能量传输系统的结构设计和布局

(下转第 406 页)

随着远离光阑平面, 差异越大。

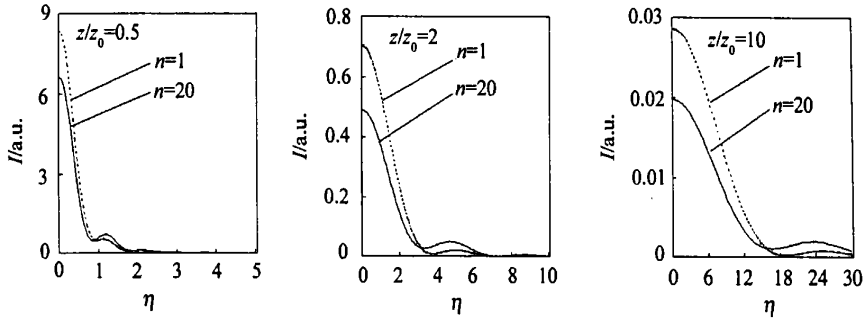


Fig. 4 Intensity distributions for different values of  $n = 1, 20$

a— $z/z_0 = 0.5$  b— $z/z_0 = 2$  c— $z/z_0 = 10$

## 4 结论

利用相干偏振(BCP)矩阵和光束传输理论, 讨论了NUP光通过光阑后的变化。研究表明, 出射光束近场仍然为NUP光束, 出射光束的偏振度和光强分布由入射NUP光的光束参数、光阑和相对传输距离 $z/z_0$ 决定。与入射光相比较, 出射光束的偏振特性和光强分布都发生了很大变化。对一非均匀偏振、光强为均匀分布的NUP光束, 经光阑后在靠近光阑的平面上, 偏振度出现了振荡, 但在远离光阑的面上, 偏振度振荡减缓直至消失, 远场为均匀

偏振; NUP光通过光阑后截面上的光强分布不再是均匀分布, 出现了旁瓣, 光强主要集中在中心瓣内。

## 参考文献

- [1] Lu Q, Dong S, Weber H. *Opt & Quantum Electron*, 1995, 27: 777~ 783.
- [2] Movilla J M, Piquero G, Martinez Herreno R *et al.* *Opt Commun*, 1998, 149: 230~ 234.
- [3] Piquero G, Movilla J M, Mejias P M *et al.* *J O S A*, 1999, A16 (11): 2666~ 2668.
- [4] Pu J, Lü B D. *J O S A*, 2001, A18(11): 2760~ 2766.
- [5] Gori F. *Opt Lett*, 1998, 23(4): 241~ 243.
- [6] Agrawal G P, Wolf E. *J O S A*, 2000, A17(11): 2019~ 2023.
- [7] Mandel L, Wolf E. *Optical coherence and quantum optics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 340~ 355.

(上接第402页)

应科学合理, 保证前房中的压强平衡, 避免手术中前房塌陷。另外, 激光乳化对于白内障硬核目前的治疗效果不理想, 纯粹以激光的能量破坏硬核而不损伤其它组织有一定难度, 可以考虑借助超声乳化中机械应力配合能量乳化达到治疗效果。不过目前人工晶体的植入往往需要扩大切口宽度, 这样就发挥不了激光乳化切口小的优点。因此, 人工晶体技术的改善提高是激光乳化技术推广普及的基础。

## 参考文献

- [1] 何守志. 乳化白内障手术学. 北京: 中国医药科技出版社, 2000: 51~ 70.
- [2] Bath P E. Method and apparatus for ablating and removing

cataract lenses. US Patent: 5843071, 1998 10.

- [3] Snyder R W, Jani M, Yarborough M *et al.* *SPIE*, 1998, 3246: 172~ 184.
- [4] Fine H, Packer M, Hoffman R S. *J Cataract Refract Surg*, 2002, 28: 1054~ 1060.
- [5] Kasprzak J, Kecik D. *SPIE*, 1997, 3188: 85~ 93.
- [6] Kecik D, Kecik T, Pratinicki A *et al.* *SPIE*, 1997, 3188: 94~ 98.
- [7] Kecik T, Kecik D, Kasprzak J *et al.* *SPIE*, 1996, 2781: 34~ 39.
- [8] Steinert R F, Puliafito C A. *The Nd:YAG laser in ophthalmology*. Philadelphia: WB Saunders, 1985: 22~ 35.
- [9] Dodick J M, Christiansen J. *J Cataract Refract Surg*, 1991, 17: 794~ 797.
- [10] Dodick J M, Lally J M, Sperber L T D *et al.* *Curr Opin Ophthalmol*, 1993, 4(1): 107~ 109.
- [11] Alzner E, Grabner G. *J Cataract Refract Surg*, 1999, 25: 800~ 803.
- [12] Kanellopoulos A J. *Ophthalmology*, 2001, 108: 649~ 655.