

# 飞秒激光辅助的白内障手术研究现状

王晓明<sup>1</sup>, 毛国良<sup>1</sup>, 郑秀华<sup>1</sup>, 党光福<sup>2</sup>

作者单位:<sup>1</sup>(250200)中国山东省济南市明水眼科医院;  
<sup>2</sup>(250014)中国山东省济南市,山东省千佛山医院眼科  
作者简介:王晓明,女,毕业于山东大学医学院,硕士,主治医师,研究方向:白内障、晶状体病、眼外肌及弱视。  
通讯作者:党光福,男,教授,硕士研究生导师,主任医师,研究方向:白内障、晶状体病. dangguangfu@hotmail.com  
收稿日期:2014-02-07 修回日期:2014-03-31

## Recent status on femtosecond laser - assisted cataract surgery

Xiao-Ming Wang<sup>1</sup>, Guo-Liang Mao<sup>1</sup>, Xiu-Hua Zheng<sup>1</sup>, Guang-Fu Dang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mingshui Eye Hospital of Jinan, Jinan 250200, Shandong Province, China; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Shandong Qianfoshan Hospital, Jinan 250014, Shandong Province, China

Correspondence to: Guang-Fu Dang. Department of Ophthalmology, Shandong Qianfoshan Hospital, Jinan 250014, Shandong Province, China. dangguangfu@hotmail.com

Received: 2014-02-07 Accepted: 2014-03-31

## Abstract

• Femtosecond laser-assisted cataract surgery performs the anterior capsulotomy, lens fragmentation, corneal incisions making and astigmatic limbal relaxing incision with femtosecond laser, which effectively reduces the complications of conventional phacoemulsification surgery and improves the postoperative visual quality of patients. It further improves the technology and effect of cataract surgery and has broad clinical application prospects. This paper compares pros and cons as well as the clinical values of femtosecond laser-assisted cataract surgery with conventional phacoemulsification surgery based on the overview of published articles.

• KEYWORDS: femtosecond laser; cataract surgery; phacoemulsification; laser therapy

**Citation:** Wang XM, Mao GL, Zheng XH, et al. Recent status on femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2014;14(5):835-837

## 摘要

飞秒激光辅助的白内障手术利用飞秒激光进行晶状体前囊膜切开、核裂解、角膜切口制作及散光性角膜缘松解切开,有效地降低了传统超声乳化手术的并发症,提高了患者的术后视觉质量,是对白内障手术技术和效果的进一步提升,具有广阔的临床应用前景。本文通过对已发表文章的综述,就飞秒激光辅助的白内障手术的临床价值

及优缺点与传统的超声乳化手术进行对比。

**关键词:** 飞秒激光; 白内障手术; 超声乳化; 激光治疗

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2014.05.13

**引用:** 王晓明, 毛国良, 郑秀华, 等. 飞秒激光辅助的白内障手术研究现状. *国际眼科杂志* 2014;14(5):835-837

## 0 引言

飞秒激光(femtosecond laser, FSL)是周期为 $10^{-15}$ s的短脉冲激光,只需要很少的激光能量,就可在激光聚焦点产生高达百万亿瓦的瞬时功率,它通过汽化切割组织,密集聚焦的激光能量产生等离子体并使得空化气泡膨胀从而使组织分离,可最大程度的保护角膜、虹膜、睫状体、晶状体囊袋等眼内组织,从而最大程度的提高术后视力。飞秒激光辅助的白内障超声乳化手术(FSL-assisted cataract surgery, FLACS)是对白内障手术技术和效果的进一步提升,随着飞秒激光系统应用范围的逐渐扩大,其优良的临床效果已得到验证。

## 1 飞秒激光辅助的白内障手术步骤

目前可辅助进行白内障手术的飞秒激光仪主要有美国的三种手术系统: LenSx (Alcon, Fort Worth, TX), LensAR (Winter Park, FL), OptiMedica (Santa Clara, CA)。2009年 Nagy等<sup>[1]</sup>首次报告用 LenSx 飞秒激光系统(Alcon, 美国)辅助进行白内障手术,包括晶状体前囊膜切开、核裂解、角膜切口制作及散光性角膜缘松解切开(Limbal Relaxing Incisions, LRIs)等。

LenSx系统已于2013年进入我国并应用于临床,我们对于FLACS的操作流程有了直观的认识,传统的超声乳化手术步骤依次为:制作角膜切口,前囊连续环形撕囊(CCC),超声乳化碎核吸出,而FLACS操作步骤为:晶状体前囊口切开-晶状体核裂解-角膜切口制作。激光治疗前根据患者术前资料包括瞳孔散大情况、角膜曲率、晶状体核硬度等进行参数的设置,包括切口位置、深度、宽度、构型,前囊口切开大小,晶状体核预劈核直径、能量、形状等等。借助负压吸引环完成仪器与眼部的衔接后,光学相干断层扫描仪(OCT)进行从角膜到晶状体的实时扫描成像,术者根据图像结果对角膜切口位置、隧道长度、前囊口切开位置、晶状体核预劈核深度等参数进行必要的调整,设置完成后即可进行激光的治疗。治疗时间小于1min,其中前囊膜切开的时间取决于设置的操作参数,约2~15s,晶状体核裂解的时间约30s,角膜切口包括角膜缘松解切口制作约5s。

## 2 撕囊

前囊撕囊是关系白内障手术效果的关键步骤,撕囊过大会引起IOL的倾斜、偏中心或前移,造成术后近视或散光,并增加发生后囊膜混浊的几率<sup>[2]</sup>;而撕囊过小,则会引起IOL后移造成远视的发生。

撕囊的形态、大小对于评估人工晶状体的有效位置 (effective lens position, ELP) 也十分重要,而 ELP 的预测不准确会直接导致 IOL 度数计算的误差,从而对术后视觉质量产生重要影响。对于散光型、多焦点等高端 IOL, 分毫的倾斜、偏心或旋转即可带来明显的屈光误差,给患者带来眩光、光晕等难以适应的视觉紊乱。

飞秒激光前囊切开给白内障手术带来一场革命性的改变,可使撕囊更加居中、稳定、规则,抗撕裂能力更强,尤其对于复杂病例如:晶状体脱位、悬韧带松弛、外伤性白内障、皮质液化型白内障<sup>[3]</sup>等独具优势。2009年 Nagy 等<sup>[1]</sup>首次在猪眼应用飞秒激光 LenSx 系统进行前囊切开,目标撕囊直径为 5mm,结果显示,应用飞秒激光撕囊直径平均值为  $5.02 \pm 0.04$ mm,而手工 CCC 撕囊直径为  $5.88 \pm 0.73$ mm,电镜扫描显示两种方式囊膜边缘均较平滑,同时囊膜抗拉伸力测试结果:飞秒激光组为  $2.13 \pm 0.03$ ,高于手工 CCC 组的  $1.98 \pm 0.08$ 。Friedman 等<sup>[4]</sup>的研究发现飞秒激光制作的前囊膜切口抗拉伸力为  $152 \pm 21$ mN,显著高于手工撕囊组的  $66 \pm 22$ mN,这些数据均显示飞秒激光能完成更加精确、稳定的环形撕囊。2011年 Nagy 小组<sup>[5]</sup>又通过对应用飞秒激光撕囊的 54 眼和手工 CCC 的 57 眼的研究发现,术后 1wk 飞秒激光组囊袋与 IOL 不完全重叠率为 11%,小于手工环形撕囊组的 28%,飞秒激光组 IOL 的居中性更好。Kránitz 等<sup>[6]</sup>通过对应用飞秒激光进行前囊切开和手工环形撕囊的患者进行比较,随访 1a 飞秒激光组囊袋与 IOL 重叠率更高,手工撕囊组发生 IOL 偏中心的比例更高,是飞秒激光组的 6 倍。

另外,在传统超声乳化手术中,撕囊大小通常会受到患者散大的瞳孔直径、角膜大小及角膜曲率的影响,飞秒激光可以排除以上因素的干扰,撕囊直径设定值与实际大小差别甚微。Friedman 等<sup>[4]</sup>的比较发现,飞秒激光环形撕囊口直径与术前设定值的偏差平均为  $29 \pm 26$ μm,手工撕囊组这一数值为  $337 \pm 258$ μm。Tackman 等<sup>[7]</sup>也对应用 LensAR 系统的患者进行了类似的研究,结果显示飞秒激光环形撕囊口直径与术前设定值的偏差平均为  $0.16 \pm 0.17$ mm,手工撕囊组为  $0.42 \pm 0.54$ mm。

### 3 超声乳化预劈核

白内障超声乳化碎核是整个手术的难点之一,尤其是对于硬核白内障,术中手法操作不当可引起前房不稳定、角膜内皮损伤、后囊破裂等并发症,超声乳化时间过长、能量应用过高,会对眼内组织尤其是角膜内皮细胞产生损害,Shin 等<sup>[8]</sup>的研究证实,超声时间和能量与细胞的损伤有直接关系。

飞秒激光辅助碎核是在计算机程序控制下预设劈核参数,对晶状体核进行十字型、米字型、格栅样或联合同心圆柱状的几何切割,从而简化超声乳化劈核步骤,缩短超声乳化的时间,减少能量的释放,降低术中及术后并发症的发生率。由于飞秒激光无法穿透不透明的介质,因此飞秒激光辅助碎核主要适用于Ⅲ级及以下的中等硬度核,对于Ⅳ级以上的硬核,仍需借助超声乳化进行核块的移除,但进行预劈核后,可明显减少超乳能量。

Nagy 等<sup>[1]</sup>通过对猪眼的研究发现,飞秒激光辅助的白内障手术可以减少 43% 超乳能量和 51% 的手术时间。Palanker 等<sup>[9]</sup>的研究也证实,应用飞秒激光预劈核后,可使核硬度的预计值由Ⅳ级降低到Ⅱ级,超乳能量平均可降低 39%。Conrad-Hengerer 等<sup>[10]</sup>对应用 OptiMedica 系

统行飞秒激光白内障手术的患者与行传统超乳手术的患者术中有效超声乳化时间 (effective phacoemulsification time, EPT) 进行对比,两组患者核硬度分级 (LOCS Ⅲ 分级法) 分别为  $3.4 \pm 0.9$  和  $3.1 \pm 0.9$ ,飞秒激光组 EPT 为  $0.16 \pm 0.21$ s,传统超乳组 EPT 为  $4.07 \pm 3.14$ s。该小组<sup>[11]</sup>的研究也发现,在  $350$ μm 分核参数下 EPT 为  $0.03 \pm 0.05$ s,  $500$ μm 分核参数下 EPT 为  $0.21 \pm 0.26$ s,前者平均超声乳化能量为  $1.6\% \pm 3.1\%$ ,低于后者  $2.5\% \pm 2.3\%$ ,甚至对于Ⅳ级硬核也可不用超声乳化能量。

### 4 透明角膜切口和角膜缘松解切口

自闭式透明角膜切口是目前国内外白内障超声乳化医生最常采用的切口方式,而其带来的逐渐增长的术后眼内炎发生率是制约其应用主要因素<sup>[12]</sup>。Xia 等<sup>[13]</sup>应用前节 OCT 对采用隧道刀进行切口制作的白内障术后患者的角膜进行扫描发现,大多数患者存在切口处内口裂开、后弹力层脱离和角膜厚度增加的现象。Maxwell 等<sup>[14]</sup>和 Montan 等<sup>[15]</sup>的研究也证实了这一结论,而这一现象很可能是术后眼内炎发生的高危因素。

飞秒激光首先制作出单平面或多平面的切口隧道,在由飞秒激光仪转到超声乳化手术台的过程中,始终保持眼内的密闭状态,降低了眼内感染的几率。同时飞秒激光制作的角膜切口更加规整,立体性更强,从而使得切口渗漏的情况大大减少。Masket 等<sup>[16]</sup>对尸体眼应用飞秒激光进行角膜切口的制作后发现,在模拟各种眼压和眼球变形的情况下,飞秒激光制作的多层次立体切口均可以减少眼内液体渗漏、增加稳定性和可重复性。Palanker 等<sup>[9]</sup>也报道,其通过飞秒激光制作出单平面角膜切口,在正常眼压下自闭性、水密性均较好。

飞秒激光系统还可通过角膜或角膜缘松解切开来矫正散光,最大矫正量可达  $3.5D$ <sup>[17]</sup>。术前可根据患者的角膜曲率、陡峭轴的位置、术源性散光大小等数据进行 LRIs 的设定,包括切口的轴位、深度、弧长和光学区等,相较于手法切开,LRIs 更加准确、稳定,矫正效果更加明显。

### 5 术后效果及并发症

飞秒激光辅助的白内障手术由于激光定位的精确性,明显地提高了白内障手术的安全性和术后效果,并且使得传统超声乳化手术的常见并发症的发生率明显降低。

Palanker 等<sup>[9]</sup>对应用 OptiMedica 飞秒激光进行手术的 50 例的研究发现,术后 1wk 飞秒激光手术组有 38% 患者发生角膜水肿,而传统超声乳化组这一比例为 70%;飞秒激光组术后最佳矫正视力平均提高  $4.3 \pm 3.8$  行,传统超声乳化组平均提高  $3.5 \pm 2.1$  行。作者同时对应用飞秒激光手术的 12 只兔眼的视网膜进行了研究,术中将激光能量设定至最大值  $6\mu J$  和  $100kHz$ ,分别在术后 1h 和 3d 进行荧光造影和眼底检查,均未发现视网膜或其他组织的损伤,证实了激光本身及照明光的相对安全性。

同时应用飞秒激光预劈核后,超声乳化时间和能量的降低有效地减少了术中和术后角膜、视网膜及其他眼内组织的损伤。Takács 等<sup>[18]</sup>和 Conrad-Hengerer 等<sup>[19]</sup>的研究均发现,应用飞秒激光辅助白内障手术后,中央角膜厚度、内皮细胞丢失率均低于传统超声乳化白内障手术,提示飞秒激光辅助手术能减轻角膜水肿,减少对角膜内皮的损伤。Nagy 等<sup>[20]</sup>和 Conrad 等应用 OCT 研究应用飞秒激光辅助白内障手术及传统超乳手术后黄斑水肿的情

况,结果显示两组患者均可检测到黄斑水肿,激光组较轻<sup>[21]</sup>。

并发症方面,由于样本量小、随访时间短,目前关于并发症方面的报道多为病例报告。Roberts 等<sup>[22]</sup>报道在其研究中心完成的前 50 例飞秒激光辅助的白内障手术中,有 2 例发生术中囊袋阻滞综合征(capsular block syndrome, CBS),在水分离时发生后囊膜破裂,原因为飞秒激光劈核后产生的气体积存在囊袋内以及激光引起的皮质松软和膨胀所致,使得术中水分离时囊袋压力过大,诱发后囊膜爆裂,基于上述经验,在以后超过 600 例手术中未再发生 CBS。其后,该研究中心对比了前 200 例手术与之后的 1 300 例手术的并发症情况,两组患者前囊膜撕裂的比例分别为 4% 和 0.31%,后囊膜破裂的比例分别为 3.5% 和 0.31%,晶状体核块掉入玻璃体腔的比例分别为 2% 和 0;每例手术激光仪与眼部尝试衔接固定的次数分别为 1.5 次和 1.05 次,飞秒激光治疗完成后瞳孔缩小的发生率分别为 9.5% 和 1.23%<sup>[23]</sup>。以上研究提示,随着医生手术经验的增加、操作熟练程度的提高以及设备的优化升级,手术的并发症可以得到较好的控制。

## 6 总结

随着临床应用的逐步推广,飞秒激光辅助的白内障手术已应用到先天性白内障<sup>[24]</sup>、小瞳孔下白内障<sup>[25]</sup>、青光眼白内障<sup>[26]</sup>以及白内障联合玻璃体切割手术<sup>[27]</sup>中,在未来可能将应用到更多高风险的眼科手术中。

飞秒激光辅助的白内障超声乳化手术较传统的超声乳化手术预测性和重复性更强,安全性明显提高,术后屈光度和人工晶状体的有效位置更加稳定。但是由于该手术技术应用于临床实践时间尚短,对于手术的远期效果仍需要多中心、大样本量的临床研究进行进一步的探讨。相信随着科学技术的不断进步,飞秒激光系统将更加经济、便捷、安全,屈光手术有望步入一个全程飞秒激光的新时代,为更多的患者塑造更加完美的视觉质量。

## 参考文献

- Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, et al. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg* 2009; 25(12):1053-1060
- Hollick EJ, Spalton DJ, Meacock WR. The effect of capsulorhexis size on posterior capsular opacification: One - year results of a randomized prospective trial. *Am J Ophthalmol* 1999;128(3):271-279
- Nagy ZZ, Kránitz K, Takacs A, et al. Intraocular femtosecond laser use in traumatic cataracts following penetrating and blunt trauma. *J Refract Surg* 2012;28(2):151-153
- Friedman NJ, Palanker DV, Schuele G, et al. Femtosecond laser capsulotomy. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(7):1189-1198
- Nagy ZZ, Kránitz K, Takacs AI, et al. Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies. *J Refract Surg* 2011;27(8):564-569
- Kránitz K, Takacs A, Mihaltz K, et al. Femtosecond laser capsulotomy and manual continuous curvilinear capsulorhexis parameters and their effects on intraocular lens centration. *J Refract Surg* 2011;27(8):558-563
- Tackman RN, Kuri JV, Nichamin LD, et al. Anterior capsulotomy with an ultrashort-pulse laser. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(5):819-824
- Shin YJ, Nishi Y, Engler C, et al. The effect of phacoemulsification energy on the redox state of cultured human corneal endothelial cells.

*Arch Ophthalmol* 2009;127(4):435-441

- Palanker DV, Blumenkranz MS, Andersen D, et al. Femtosecond laser - assisted cataract surgery with integrated optical coherence tomography. *Sci Transl Med* 2010;2(58):58-85
- Conrad - Hengerer I, Hengerer FH, Schultz T, et al. Effect of femtosecond laser fragmentation on effective phacoemulsification time in cataract surgery. *J Refract Surg* 2012;28(12):879-883
- Conrad - Hengerer I, Hengerer FH, Schultz T, et al. Effect of femtosecond laser fragmentation of the nucleus with different softening grid sizes on effective phaco time in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(11):1888-1894
- Taban M, Behrens A, Newcomb RL, et al. Acute endophthalmitis following cataract surgery: A systematic review of the literature. *Arch Ophthalmol* 2005;123(5):613-620
- Xia Y, Liu X, Luo L, et al. Early changes in clear cornea incision after phacoemulsification: An anterior segment optical coherence tomography study. *Acta Ophthalmol* 2009;87(7):764-768
- Maxwell DP Jr, Diamond JG, May DR. Surgical wound defects associated with endophthalmitis. *Ophthalmic Surg* 1994;25(3):157-161
- Montan PG, Koranyi G, Setterquist HE, et al. Endophthalmitis after cataract surgery: Risk factors relating to technique and events of the operation and patient history: A retrospective case-control study. *Ophthalmology* 1998;105(12):2171-2177
- Masket S, Sarayba M, Ignacio T, et al. Femtosecond laser-assisted cataract incisions: Architectural stability and reproducibility. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(6):1048-1049
- Nichamin LD. Astigmatism control. *Ophthalmol Clin North Am* 2006;19(4):485-493
- Takács AI, Kovács I, Miháltz K, et al. Central corneal volume and endothelial cell count following femtosecond laser - assisted refractive cataract surgery compared to conventional phacoemulsification. *J Refract Surg* 2012;28(6):387-391
- Conrad - Hengerer I, Al Juburi M, Schultz T, et al. Corneal endothelial cell loss and corneal thickness in conventional compared with femtosecond laser-assisted cataract surgery: three-month follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2013;39(9):1307-1313
- Nagy ZZ, Ecsedy M, Kovács I, et al. Macular morphology assessed by optical coherence tomography image segmentation after femtosecond laser-assisted and standard cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(6):941-946
- Ecsedy M, Miháltz K, Kovács I, et al. Effect of femtosecond laser cataract surgery on the macula. *J Refract Surg* 2011;27(10):717-722
- Roberts TV, Sutton G, Lawless MA, et al. Capsular block syndrome associated with femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(11):2068-2070
- Roberts TV, Lawless M, Bali SJ, et al. Surgical outcomes and safety of femtosecond laser cataract surgery: a prospective study of 1500 consecutive cases. *Ophthalmology* 2013;120(2):227-233
- Dick HB, Schultz T. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in infants. *J Cataract Refract Surg* 2013;39(5):665-668
- Conrad - Hengerer I, Hengerer FH, Schultz T, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in eyes with a small pupil. *J Cataract Refract Surg* 2013;39(9):1314-1320
- He L, Sheehy K, Culbertson W. Femtosecond laser - assisted cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2011;22(1):43-52
- Bali SJ, Hodge C, Chen S, et al. Femtosecond laser assisted cataract surgery in phacovitrectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2012;250(10):1549-1551