

白内障超声乳化仪器的研究进展

张 丛, 朱思泉

基金项目: 中国国家“十一五”科技支撑计划课题资助项目(No. 2006BAI03A09)

作者单位: (100730) 中国北京市, 首都医科大学附属北京同仁医院眼科中心 北京市眼科学与视觉科学重点实验室

作者简介: 张丛, 女, 在读硕士研究生。

通讯作者: 朱思泉, 男, 博士生导师, 教授, 主任医师, 研究方向: 眼科学白内障。siquanzhu@sina.com

收稿日期: 2009-05-08 修回日期: 2009-05-15

Research progress of the phaco-emulsifier of cataract

Cong Zhang, Si-Quan Zhu

Foundation item: National Key Technology R&D Program in the 11th Five year Plan of China(No. 2006BAI03A09)

Eye Center, Beijing Tongren Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100730, China

Correspondence to: Si-Quan Zhu. Eye Center, Beijing Tongren Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100730, China. siquanzhu@sina.com

Received: 2009-05-08 Accepted: 2009-05-15

Abstract

• Phacoemulsification technology has been the first choice of surgeries for cataract treatment in the world, for its characteristics of less tissue injury, incision without suture, shorter surgical time, faster visual recovery and smaller corneal astigmatism. Phacoemulsification apparatus (phaco-emulsifier), born only 40 years and undergone several generations of updating and reform, becomes a high-density operating system with light, electricity, mechanism as well as biology, fluid mechanics and computer technology all set in one. While there are still some problems that need to be improved and perfected. This article mainly explains the principles, construction and development course of phaco-emulsifier and tries to discuss the prospects for its improvement.

• KEYWORDS: cataract; phacoemulsification; phaco-emulsifier

Zhang C, Zhu SQ. Research progress of the phaco-emulsifier of cataract. *Int J Ophthalmol (Guoji Yanke Zazhi)* 2009;9(6):1122-1124

摘要

白内障超声乳化手术具有组织损伤小、切口不用缝合、手术时间短、视力恢复快、角膜散光小等优点,已成为目前世界上治疗白内障首选的手术方式。白内障超声乳化仪器诞生仅40余年,经历了几代的更新和改革,发展为集光、电、机以及生物、流体力学、计算机技术于一体的高密度手术操作系统,但其仍然存在一些问题需要进一步改进和完善。文章主要对白内障超声乳化仪器的原理、构造和发展

历程进行阐述,并尝试对超声乳化仪器的发展前景做进一步探讨。

关键词: 白内障; 超声乳化; 超声乳化仪器

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2009.06.037

张丛, 朱思泉. 白内障超声乳化仪器的研究进展. *国际眼科杂志* 2009;9(6):1122-1124

0 引言

1967年, Kelman将第一台超声乳化仪器应用于白内障手术并取得成功。经过40余年的发展,超声乳化吸除术成为世界范围内治疗白内障的首选手术方式,白内障超声乳化仪器也具备灌注、超声乳化、注吸、前部玻璃体切除、电凝止血等多种功能,是集光、电、机以及生物、流体力学、计算机技术于一体的高密度手术操作系统。

1 白内障超声乳化仪器的基本原理

运用超声波的空穴效应和机械效应等破坏晶状体核的结构,并使之与眼内灌注溶液混合形成乳糜状,在密闭或半密闭系统中造成压力不等而使一端相对形成负压,利用此作用力来控制晶状体核的移动并吸除乳糜化物质。超声乳化仪器的基本运作原理是利用磁致或电致伸缩效应,将超声电信号转换为机械振动,再经过变幅器的放大和耦合作用,推动手术刀具工作,并向晶状体组织释放能量,从而进行白内障超声乳化吸除手术。

2 白内障超声乳化仪器的基本构造及进展

主要由超声系统(包括超声发生器、换能器、乳化探头等)、注吸系统、辅助装置和控制装置系统构成。

2.1 超声系统

2.1.1 超声发生器 由频率发生器和功率放大器组成。前者是以电信号的相位信息作为反馈量的反馈控制系统,将输出的频率信号分频,再与晶振输出信号鉴相,最后将输出频率锁定。后者将弱电信号放大,产生高电场激励。

2.1.2 换能器 将电能转换成机械能,是整个仪器的核心部件,主要有两种基本工作方式:(1)励磁换能器:是由若干小金属薄片构成,通过控制电流大小改变磁场强度,使金属片按一定频率做伸缩运动,传至乳化探头产生纵向线性振动。由于存在体积大、声电转换效率低(仅20%左右)、径向耦合振动大、制作工艺复杂、成本高等缺点,除一些早期超声乳化仪器外,已较少使用。(2)压电换能器:是由特殊压电材料,如高精度陶瓷、石英晶状体等构成,压电材料经极化处理后,沿极化方向施加外界电场,压电材料就会沿外电场方向,与所施加电压成比例地发生几何变形,即逆电压效应,传至乳化探头产生纵向线性振动。该换能器体积小、声电转换效率高(可达80%~90%)、制造工艺简单,被目前大多数超声乳化仪器采用。

2.1.3 手柄和超声乳化探头 超声乳化手柄多由金属或高强度陶瓷制成。超声乳化探头通过螺旋固定于手柄前端,在术中与晶状体接触并通过机械作用或超声能量将晶状体分割、粉碎。1966年, Kelman从牙科 Cavitron 高频超

声探头上得到启发,制造出第一个超声乳化探头^[1]。第一代探头只能释放超声能量,容易造成虹膜撕裂和离断。第二代探头可做经线运动,减少虹膜损伤的同时降低了超声能量的释放。而后以钛合金为材料,产生了新一代超声乳化探头,增加了负压吸引功能,而且灌注和吸引不在一个通路,有利于两个功能的分开进行。Alcon 公司生产的 NeosoniX 手柄,在探头纵向运动基础上融入正负 4° 摆动碎核模式,可以减少热能产生和角膜内皮细胞的丢失^[2],并明显提高了乳化效率。

2.2 注吸系统 注吸系统主要由泵、管道和手柄组成。泵系统产生负压吸引作用,通过管道和手柄传递到眼内,将需要清除的组织吸除。注吸手柄头端是一个带有侧孔的盲端,灌注液和需清除的组织通过侧孔进出。另有灌注和抽吸分离式注-吸器,可分别从切口进入前房。注-吸头有直头、45°弯头、90°弯头等不同规格。ALCON 公司推出一款可操控注-吸(I/A)头,其头端可做 0°~180°弯曲,满足不同手术阶段的需要。应用于超声乳化仪器的抽吸泵主要有以下 4 种类型:(1)蠕动泵:抽吸管上压着一个带滚珠的轮子,当轮子旋转时,滚珠挤压抽吸管,引起管道内液体的定向流动,从眼内带走一定量的液体,当吸引管被完全或接近完全堵塞,管腔内形成一个密闭的空腔时,才能产生一定的负压,称之为被动负压。蠕动泵的优点是比较容易形成稳定的前房,缺点是建立峰值负压速度较慢,即从超声乳化针头接触晶状体核碎块形成全堵状态到开始超声乳化需短暂的过渡期。新一代 Legacy 蠕动泵超声乳化仪采用 TurboStaltic 泵系统,应用微步进泵原理,通过微反馈系统对负压进行快速提升。(2)文丘里泵:压缩空气从入口进入管腔,当液体流动时,由于物理学上特有的文丘里效应产生负压差,在集液盒内形成负压,吸引管中的液体被吸入集液盒。文丘里泵有较快的负压差,不需要完全堵塞吸引管就可以产生负压,称之为主动负压。文丘里泵的突出特点是实现峰值负压快速,且呈稳定线性模式;缺点是当控制不当时,容易产生前房涌动。新一代的 Millennium 文丘里泵超声乳化仪,通过脚踏开关上下及左右移动,实现了负压及能量水平的双线性实时控制。(3)膜片泵:其原理与吸尘器相似,在一个空腔的两端装有两个朝不同方向开启的阀门,在空腔另一侧装有一个弹性膜片,通过瓣膜交替的开闭,使液体不断地被吸入负压室中,为主动负压。这种泵目前已较少应用。(4)涡流泵:通过一个硬性的涡轮箱的内部作圆周运动产生以高流量和高负压。而硬性的管道不具有顺应性,不会在物体被完全吸入管道的瞬间引起前房涌动。通过界面的模式切换选择功能,可以单独使用流量泵或真空泵的一种。新一代的 Millennium 超声乳化仪有采用 Concentrix 涡流泵系统。另外,AMO 公司新近开发的白星 Signature 系统装备有双重泵,可供术者在手术过程中根据术眼具体反应情况掌控文丘里泵的能量,同时增加对蠕动泵的控制,由于在手术过程中使用同一个积液盒,可以简单地转换泵系统。当负压水平升高到预设阈值时,Signature 系统液流系统会在 20ms 内转换泵,在阻塞间歇之前及时逐步降低负压水平,维持前房的稳定。

2.3 辅助装置 辅助装置包括电凝手柄和眼前部玻璃体切除手柄等,用于术中止血、前部玻璃体切除等操作。

2.4 控制装置系统

2.4.1 脚踏控制板 超声乳化功能状态时,脚踏控制开关包括三档一位三功能,即灌注档、注吸档、零位档,具有控

制注吸和超声释放的作用。注吸功能状态下有两档,1 档为灌注档,2 档为注吸档。最新一代的 Millennium 文丘里泵超声乳化仪,设计了双线性控制系统。脚踏开关不仅可上下移动,还可左右移动,实现了负压及能量水平的双线性实时控制,术者可根据手术需要,随时调整能量和负压的参数组合。

2.4.2 控制面板 控制面板显示内容包括仪器状态、功能切换、各项参数设定及超声调谐状态等,是仪器的“总控室”,负责人机对话。现今生产的超声乳化仪器更注重自主性和个体化设计,并通过配备多个回路的自动控制软件,保证了频率、功率、流量、压力和运行过程的自适应控制。

2.4.3 管道及导线联接 包括注吸系统的联接、超声乳化手柄的联接、双极电凝导线的联接,以及前部玻璃体切除系统的联接等。

3 超声乳化仪器能量释放模式的进展

3.1 连续型能量释放模式 传统型乳化模式是完全利用超声能量将晶状体粉碎并乳化,称为连续型乳化模式。其最主要的缺点是大量超声能量持续播散,仅少部分超声能量真正用于粉碎晶状体,大部分能量为无效释放,引起热效应等副作用,其中以角膜内皮损伤导致术后角膜水肿最为常见。有研究证实,手术过程中角膜内皮细胞的损伤与超声能量和时间呈正相关^[3]。

3.2 脉冲和微脉冲型能量释放模式 即能量以脉冲方式释放来实现超声乳化。脉宽一般为 50~150ms,脉冲频率可以根据需要在每秒数次到每秒数十次之间进行调整。这样一方面明显减少了进入眼内的超声能量,一定程度上提高了超声乳化的效率,减少了组织损伤;另一方面减小了超声能量对晶状体核质的斥力,更利于手术进行。微脉冲释放模式中能量以高频脉冲方式输出,其开/关转换非常迅速,在大约 1ms 范围内,脉宽更为短暂,为约 0.3~0.5ms,脉冲频率达千次/秒左右,使超声能量造成的热效应减至更小。其代表为美国眼力健公司于 2001 年开发的应用于 Sovereign 系统的白星技术。普通的脉冲模式,乳化时间和间歇时间交替进行各占 50%,白星技术降低了脉冲和间歇时间的比例,脉冲时间最少可只占 14%,产热低、切割能力好、效率高^[4]。

3.3 爆破和微爆破型能量释放模式——冷超声 Fine^[5]提出运用爆破模式和劈裂翻转技术进行白内障超声乳化。爆破模式是指瞬间(<100ms)释放出最大设定能量的操作模式。Badoza 等^[6]研究发现在乳化晶状体核碎片时,使用爆破模式所需要的能量是脉冲模式的一半。Dillman^[7]提出其突出特点在于通过减少超声作用时间和超声能量积累减轻对眼内组织的损伤。有研究表明爆破超声模式在处理硬核白内障时更能显示出其优越性^[8]。微爆破模式将爆破幅度缩短至 30~50ms。Jirásková 等^[9]研究发现与连续型能量释放模式相比,微爆破模式可显著降低术中的能量释放,提高有效超声功率。美国 Alcon 公司生产的 Legacy 20000 型超声乳化仪、我国清华大学博达公司生产的 BiSH™(必视)系列超声白内障乳化仪等将爆破或微爆破乳化方式预置于仪器内,可供术者选择。

3.4 射流脉冲模式 又称水乳化,利用温热的盐水脉冲对晶状体进行乳化吸除,不会引起眼内组织的灼伤^[10]。该系统具有近距离和远距离的双重作用,前者是在尖端抽吸管道内部产生足够的能量乳化晶状体核物质;后者位于尖端较远处,可对晶状体核进行水分层。水乳化的射流脉冲

在眼内的流体环境中被快速缓冲,并在眼前段其他地方衰减,在非目标组织上的作用力迅速消失,无类似超声乳化的损伤作用^[11,12]。美国 Alcon 公司将射流脉冲乳化模式、NeoSoniX 摆动模式和传统超声乳化模式三者集于一体,推出了 Infinity 机型。

4 白内障超声乳化仪器智能化研究

仪器智能化也是研究的重要方向之一。控制面板可以配备各软件提供手术过程中异常情况报警、病例统计、语音提示、参数存储等功能。另外,由首都医科大学附属北京同仁医院、北京科技大学、清华大学博达公司等联合初步研制出高效智能化微创白内障治疗系统,目前处于动物试验和初步临床试验阶段,该仪器采用先进的模式识别技术分析白内障核的硬度级别,并据此控制超声乳化仪智能释放能量,对晶状体核进行乳化。这种方法可以替代医师在术中长时间通过显微镜对核硬度进行判定,明显降低医师的工作强度。

5 展望

自超声乳化仪器问世以来,在全世界得到了广泛的应用和推广。白内障超声乳化手术的进一步发展需要更小但不影响操作的手术切口,更稳定的可控能量释放模式以减少正常组织损伤,更加有效的智能识别和控制系统,以及相关人工晶状体材料的进展(如能通过微切口的折叠式人工晶状体、注入式人工晶状体等)。超声乳化仪器的研究前景主要集中于超声乳化探头、能量释放模式、泵系统、智能控制系统等的改革更新。

参考文献

1 Kelman CD. Phaco-emulsification and aspiration; a new technique of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 1967;64(1):23-35

2 Vargas LG, Holzer MP, Solomon KD, *et al*. Endothelial cell integrity after phacoemulsification with 2 different handpieces. *J Cataract Refract Surg* 2004;30(2):478-482

3 Powe NR, Schein OD, Gieser SC, *et al*. Synthesis of the literature on visual acuity and complications following cataract extraction with intraocular lens implantation. Cataract Patient Outcome Research Team. *Arch Ophthalmol* 1994;112(2):239-252

4 Soscia W, Howard JC, Olson RJ. Microphacoemulsification with WhiteStar. A wound-temperature study. *J Cataract Refract Surg* 2002;28(6):1044-1046

5 Fine IH. Understanding the new high-tech phaco machines. *Rev Ophthalmol* 1999;4:225-229

6 Badonza D, Fernandez MJ, Ganly M. Phacoemulsification using the burstmode. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(6):1101-1105

7 Dillman D. Phaco quick chop avoids hazards of traditional chop, improves efficiency. *Ocul Surg News* 1998;9(8):11-12

8 Chen YQ, Li WH, Guan SY, *et al*. Application of burst mode in phacoemulsification of hard nucleus cataract. *Int J Ophthalmol (Guoji Yanke Zazhi)* 2006;6(3):632-634

9 Jirásková N, Rozsival P. Phacoemulsification parameters; series 20000 Legacy versus Legacy with AdvanTec software and NeoSoniX handpiece. *J Cataract Refract Surg* 2004;30(1):144-148

10 Sippel KC, Pineda R Jr. Phacoemulsification and thermal wound injury. *Semin Ophthalmol* 2002;17(3-4):102-109

11 Hughes EH, Mellington FE, Whitefield LA. Aqualase for cataract extraction. *Eye* 2007;21(2):191-194

12 Mackool RJ, Brint SF. Aqualase; a new technology for cataract extraction. *Curr Opin Ophthalmol* 2004;15(1):40-43