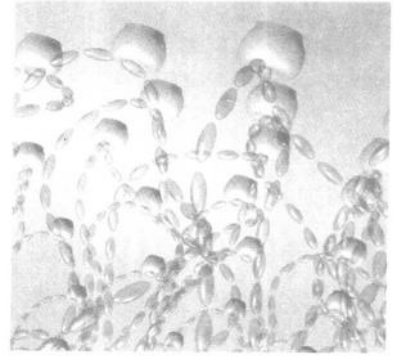




# 白内障超声乳化 手术学

BAINETZHANG CHAOSHENG  
RUHUA SHOUSHUXUE

主 编 / 丁克西

副主编 / 周国安 邹 玲

编 者 / 翁 宏 叶春彬

冯其高 杜 冰

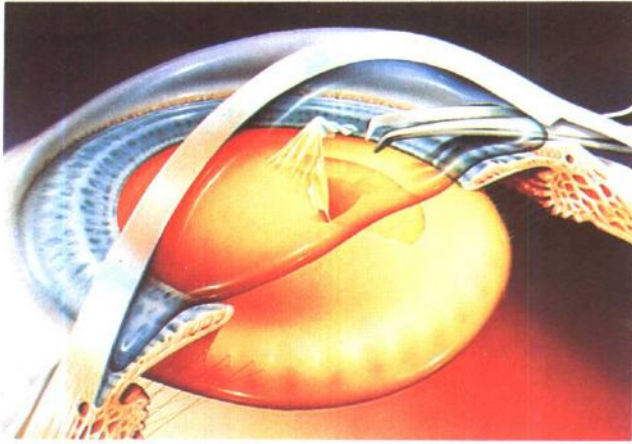
严宗辉 赖铭莹

审 阅 / 李绍珍 古洵清

湖南科学技术出版社

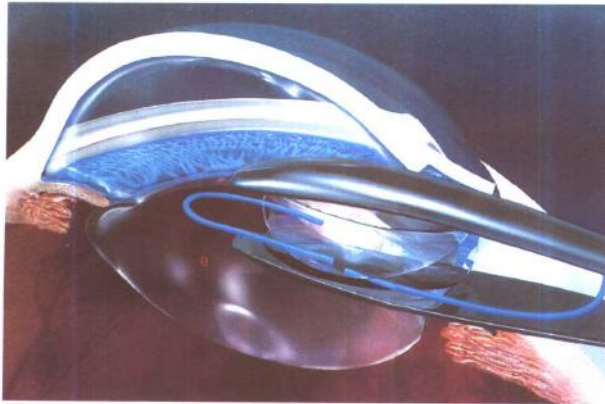
## 内容提要

白内障是眼科常见的主要致盲眼病。随着科学技术的飞速发展,现代先进的白内障超声乳化新技术,由于具有切口小、愈合快、无痛苦、即见光明、无需住院等优点,已在我国逐步普及推广。本书结合作者多年的临床经验,参阅了大量国内外文献,较为系统地介绍了各型超声乳化仪及其作用原理和操作规程、手术方式、麻醉、切口、撕囊、乳化抽吸、人工晶体植入、人工晶体度数选择、手术并发症与处理等,重点突出仪器的选择使用和手术方法的详细阐述。本书内容丰富、图文并茂,适合于各级中西医院眼科医师参考。



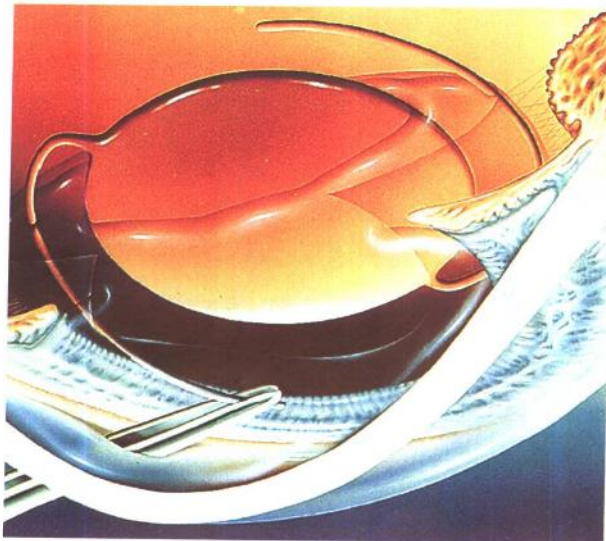
彩图 1 连续环形撕囊

〔方法〕在粘弹性物质 Healon GV 的保护下，使用弯针在前囊膜上距瞳孔中央 3mm 作穿刺口，挑起穿刺口处囊膜，用囊膜镊作环形撕开，撕囊口直径约 6mm。



彩图 2 折叠人工晶体植入方法(一)

〔方法〕软晶体采用水平/纵向方法折叠，将镊子旋转 90°，使晶体侧着通过切口，待光学部位于囊袋内，缓慢有控制地放松折叠镊，人工晶体会自动弹开。



彩图 3 折叠人工晶体植入方法(二)

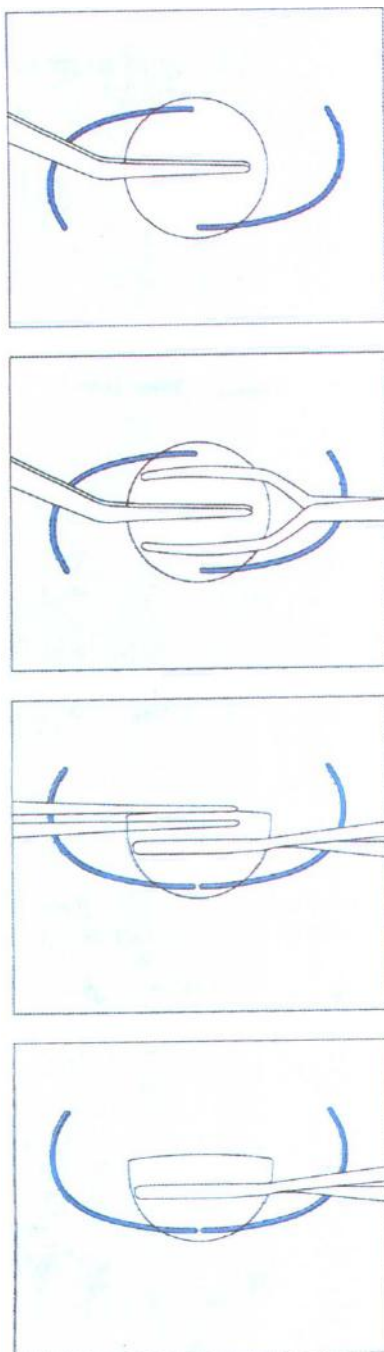
〔方法〕用镊子夹住人工晶体后襻，将晶体植入囊袋内，旋转人工晶体至水平位。

彩图 4 折叠型人工晶体的折叠方法

A 水平/纵向方法

〔优点〕 二步植入法,易于控制,较为安全。

〔适于〕 初学者。

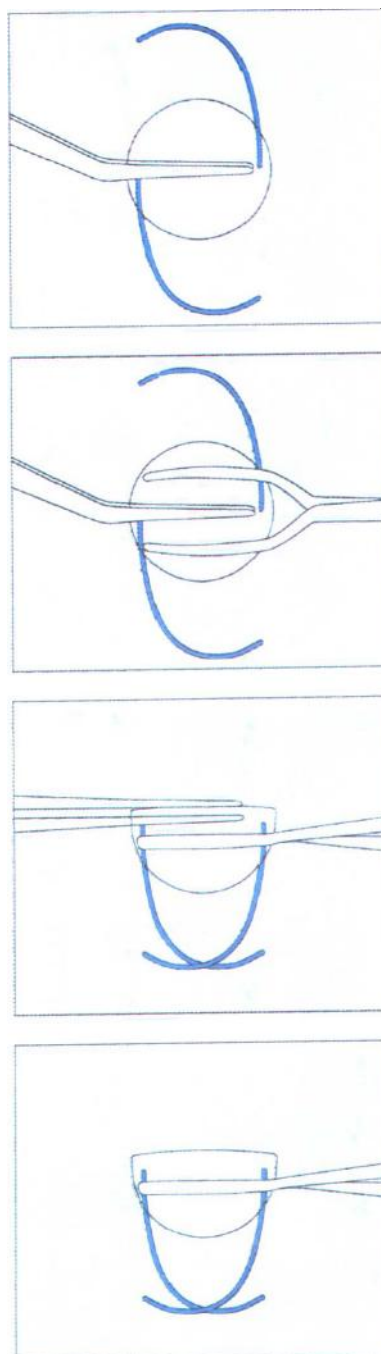


B 垂直/横向方法

〔优点〕 一步植入即可把人工晶体放进囊袋。

〔适于〕 ① 对折叠人工晶体植入术有经验的医师;

② 深前房、深囊袋。



白内障是我国最主要的致盲眼病，它严重地影响了人们的学习生活和工作，单纯的将白内障摘除虽然可以使盲眼重见光明，但是手术后要配戴隐形眼镜或“白内障”眼镜才能使患者视力提高，而众所周知这两种矫正方法有一定的缺点和局限性。当前能够简便有效地使患眼迅速恢复视力首推在白内障超声乳化吸出术后即时植入一个后房型人工晶体的手术方式。这种手术是随着科学技术迅猛发展，眼科医疗器械不断更新与完善，在现代白内障囊外摘除术的基础上通过一个小切口，利用超声波将晶体核乳化后抽吸出来，然后植入一个后房型人工晶体。此种手术由于切口小，除了愈合快，还有避免手术后散光的优点，因而手术后康复快合并症少，使病人在术后迅速恢复患白内障前的视力和日常生活的能力。但是要掌握好此种技术，除了要具备现代白内障显微手术的基础外，还应对超声乳化仪的作用原理有所了解，掌握好仪器的操作规程，并要认真学习手术操作方法。为此深圳市眼科医院丁克西副教授等在广泛阅读国内外有关文献，借鉴别人经验基础上结合个人丰富的临床工作经验编写这本《白内障超声乳化手术操作原理及应用》。此书内容包括有关手术演变和手术方法的详细阐述，给临床医师参考。

丁克西副教授从事眼科临床教学和科研工作二十多年，积累了丰富的临床经验，为此书的撰写费尽心血，除了收集大量的国内外有关资料以外，还不辞劳苦与香港的知名眼科医师周国安博士反复探讨不断修改数易其稿，以期深入浅出，介绍此种术式的原理及手术方法，供眼科同道阅读与参考，是一本有益于推动我国白内障手术技术发展的好书。特此为序以示祝贺。

**李绍珍**

1999年于北京

白内障是眼科常见的主要致盲眼病，据不完全统计，我国待手术的患者多达 500 万，而且随着人民生活水平的提高，平均寿命的延长，此数字还在不断增加。白内障超声乳化术是现代先进的白内障手术，它具有切口小、愈合快、无痛苦、即见光明等优点，且无需住院，可使“近成熟”与“未成熟”白内障患者都能得到及时的治疗。自 Charles Kelman 教授 60 年代发明应用此项新技术以来，已经历了 30 年。随着科学技术的飞速进步，设备在不断改进，手术技术在不断完善，已获得了最安全、最有效的效果。目前，我国正在普及与提高此项新技术，为了使更多的眼科医师尽快地了解 and 掌握超声乳化仪器的原理和操作技术，本书对各期超声乳化仪、手术方式、麻醉、切口、撕囊、乳化抽吸、人工晶体植入、人工晶体度数选择、手术并发症及并发症的处理等进行了讨论，供眼科临床医师，尤其是初学者参考，并希望在不断的切磋之中，不断改进和提高，由于水平有限，其中存在不足之处，万望同道指正。

借此机会感谢美国 J.W.Greenhut 博士的指导，感谢 Alcon 公司、Storz 公司和 Pharmacia & Upjohn 公司对本书的支持（本书彩图由 Pharmacia & Upjohn 公司提供），感谢本院胡建荣、吴雪云、刘玉琦等所做的绘图、电脑打印等工作，尤其感谢湖南省新闻出版局和湖南科学技术出版社对本书出版所做的大量工作。

丁克西  
1999 年于美国

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第一章 超声乳化手术方式及仪器的演变</b> |    |
| 1.1 仪器的发展                 | 1  |
| 1.2 手术方式的演变               | 2  |
| 1.2.1 前房晶体乳化法             | 2  |
| 1.2.2 后房晶体乳化法             | 3  |
| 1.2.3 囊袋内晶体乳化法            | 3  |
| 1.2.4 囊膜上晶体乳化法            | 3  |
| <b>第二章 超声乳化仪的使用</b>       |    |
| 2.1 结构与原理                 | 5  |
| 2.1.1 眼科手术闭合系统的基本原理       | 5  |
| 2.1.2 超声振动的基本原理           | 8  |
| 2.2 超声乳化仪器的使用             | 9  |
| 2.2.1 液体控制                | 9  |
| 2.2.2 超声手柄                | 12 |
| <b>第三章 白内障手术的麻醉</b>       |    |
| 3.1 与白内障手术麻醉有关的眼生物学和病理生理学 | 17 |
| 3.1.1 决定眼内压的主要因素          | 17 |
| 3.1.2 药物与眼内压              | 18 |
| 3.1.3 青光眼                 | 19 |
| 3.1.4 合并青光眼的白内障摘除术        | 19 |
| 3.2 眼眶的解剖学及应用解剖学          | 19 |
| 3.2.1 眼眶骨骼学               | 19 |
| 3.2.2 眼眶的结缔组织             | 20 |
| 3.2.3 视神经眶内段              | 21 |
| 3.2.4 眼外肌的运动神经            | 21 |
| 3.2.5 睫状神经节               | 22 |
| 3.2.6 眼眶血管                | 22 |
| 3.3 局部麻醉及其用药              | 22 |
| 3.3.1 白内障摘除术常用的局部麻醉药      | 22 |
| 3.3.2 混合局部麻醉药剂的临床应用       | 23 |
| 3.3.3 辅助药物的临床应用           | 23 |
| 3.3.4 白内障手术的局部麻醉          | 24 |
| 3.3.5 眼科局部麻醉的最新进展         | 27 |
| 3.3.6 眼科局部麻醉的并发症          | 29 |
| <b>第四章 切口</b>             |    |
| 4.1 小切口的发展                | 35 |
| 4.2 巩膜隧道切口                | 36 |
| 4.3 透明角膜切口                | 38 |
| 4.4 切口与散光                 | 40 |
| 4.4.1 切口                  | 40 |
| 4.4.2 缝合技术                | 41 |
| 4.4.3 无创伤手术程度             | 42 |
| <b>第五章 环形撕囊</b>           |    |
| 5.1 连续环形撕囊法               | 43 |
| 5.1.1 环形撕囊的优点             | 43 |
| 5.1.2 环形撕囊的方法             | 44 |
| 5.1.3 复杂情况的处理             | 45 |
| 5.2 特殊操作介绍                | 45 |
| 5.3 截囊并发症与处理              | 45 |
| <b>第六章 水分离和水分层</b>        |    |
| 6.1 水分离                   | 48 |
| 6.2 水分层                   | 49 |
| <b>第七章 晶体核超声乳化方法</b>      |    |
| 7.1 碎核原则                  | 51 |
| 7.1.1 晶体的临床解剖             | 51 |
| 7.1.2 碎核的起源               | 51 |
| 7.2 碎核的基本技术及变更            | 52 |
| 7.2.1 分割乳化法（一分为二法）        | 52 |
| 7.2.2 原位碎核技术（一分为四法）       | 56 |
| 7.2.3 削薄和翻转技术（环形分离法）      | 57 |
| 7.2.4 停止后劈开法              | 57 |
| 7.2.5 讨论                  | 59 |

|                         |    |                           |    |
|-------------------------|----|---------------------------|----|
| 7.2.6 单手与双手操作的比较 .....  | 60 | 9.1.10 驱逐性脉络膜下出血 .....    | 71 |
| 7.3 学习曲线 .....          | 60 | 9.2 术后并发症及处理 .....        | 71 |
| <b>第八章 人工晶体植入方法与选择</b>  |    | 9.2.1 伤口渗漏 .....          | 71 |
| 8.1 后房型人工晶体植入方法 .....   | 62 | 9.2.2 角膜水肿 .....          | 71 |
| 8.2 软性晶体植入方法 .....      | 63 | 9.2.3 晶体异位 .....          | 71 |
| 8.3 人工晶体屈光度的计算和选择 ..... | 63 | 9.2.4 后发障 .....           | 72 |
| 8.3.1 估算法 .....         | 63 | 9.2.5 上皮植入前房 .....        | 72 |
| 8.3.2 公式计算法 .....       | 64 | 9.2.6 继发性青光眼 .....        | 72 |
| 8.3.3 图表法 .....         | 65 | 9.2.7 黄斑囊样水肿 .....        | 73 |
| 8.3.4 计算机法 .....        | 65 | 9.2.8 视网膜脱离 .....         | 73 |
| 8.3.5 人工晶体屈光度的选择 .....  | 65 | 9.2.9 眼内炎 .....           | 73 |
| <b>第九章 超声乳化术的并发症及处理</b> |    | <b>第十章 病例选择与术前准备</b>      |    |
| 9.1 术中并发症及处理 .....      | 67 | 10.1 白内障超声乳化及人工晶体植        |    |
| 9.1.1 球后出血 .....        | 67 | 入术的病例选择 .....             | 74 |
| 9.1.2 切口 .....          | 67 | 10.1.1 适应证 .....          | 74 |
| 9.1.3 虹膜脱出 .....        | 68 | 10.1.2 病例选择 .....         | 74 |
| 9.1.4 眼内出血 .....        | 68 | 10.1.3 禁忌证 .....          | 75 |
| 9.1.5 撕囊 .....          | 69 | 10.2 术前准备 .....           | 75 |
| 9.1.6 超声乳化 .....        | 69 | <b>附录 眼科粘弹性物质在白内障手术中的</b> |    |
| 9.1.7 虹膜损伤 .....        | 70 | <b>物理特性</b> .....         | 76 |
| 9.1.8 悬韧带断裂 .....       | 70 | <b>参考文献</b> .....         | 83 |
| 9.1.9 热灼伤 .....         | 70 |                           |    |

## 第一章

### 超声乳化手术方式及 仪器的演变

这是一张白内障手术 19mm 大切口与 2mm 小切口的对比图（图 1-1），美国医师 Charles Kelman 正是受到 2mm 小切口软性白内障抽吸术的启发，1963 年，他开始致力于转变成熟性白内障为溶液或乳剂，使之易于抽吸的工作。

早期的试验，尝试了各种方法，用酶使晶体脱位，之后用包膜包裹整个晶体，在膜内用显微剪切割晶体碎片，此手术创伤大，易导致玻璃体脱出。以后也用过旋转装置，如钻孔。不久发现用这些装置，晶体只旋转不乳化，虹膜根部易离断，并有剥脱角膜内皮的可能。也试用过低频振动，虹膜根部无离断，晶体仅随振动头振动，并不乳化，角膜内皮却有损害。对这些装置的每一种进行实验，都因为危险和无效而放弃。通过这些实验越来越清楚，为使晶体保持稳定，振动头的速度必须足够快，才能克服晶体的惰性，这只能使用超声频率。

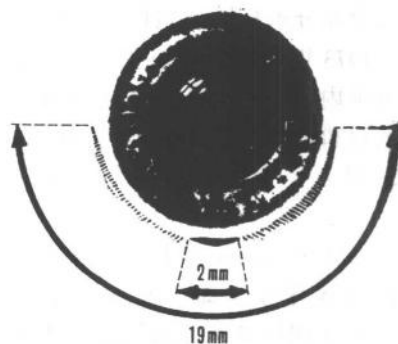


图 1-1 白内障手术大小切口的对比

#### 1.1 仪器的发展

1966 年 Kelman 经不断地探索和改进，终于研制成功第一个实用性超声乳化头。它使用的装置是牙科用去除牙垢的超声仪，此超声仪是一个小型磁石发电机的转换器，可将能量传递到振幅在 0.051 ~ 0.13mm (0.002 ~ 0.005 英寸) 的探头上，并配备辅助装置：冷却系统和液体流动系统。同年，Kelman 对 30 只狗眼、40 只猫眼、200 多个尸体眼和近 300 例患者眼中取出的白内障晶体进行了超声乳化术（Phaco）。1967 年 Kelman 首次将超声乳化吸出术应用于第一例病人，并于同年报告了初步结果。1969 年，此超声乳化仪经进一步改进后，基本定型。

目前的 Cavritron/Kelman 超声乳化仪是多年实践和发展的最终结果，仪器由超声波发生器（主机）、超声换能器（工作探头）和灌注抽吸系统组成，它的手柄前端装有直径 1mm 的钛针，钛针外覆盖软的硅胶袖套，针沿纵向振动每秒 4 万次，此机械振动使晶体转化成乳状，因此命名为超声乳化（图 1-2）。

同年 Kelman 继续报告了 12 例手术结果。他通过 3mm 切口进行白内障摘除术，减少了

许多与大切口相关的手术并发症，术后恢复期明显缩短，自此，拉开了白内障超声乳化术临床应用的帷幕。有人盛赞它是本世纪白内障手术最令人鼓舞的革命。

由于 Kelman 的仪器结构复杂，价格昂贵，三十多年来，许多医师对其进行了简化和改进。

1972 年，Shock 医师不用灌注抽吸系统，仅用超声乳化加冲洗为 11 例病人施行了白内障手术，效果良好。1974 年对仪器进行改进，加入冷冻分解摘除硬核性白内障。

1973 年我国医师王竞、方臻等自行设计研制出国内第一台超声乳化吸出仪，并应用于动物试验和临床，于 1981 年报道了 100 例手术病人的视力，术后裸眼视力达 0.6 以上的有 83 例。

1981 年 Baehr 等设计 NASA - McGan - non 白内障碎化仪，即一高速气轮机驱动的切割器，配备调压灌注系统和蠕动泵疏散系统，报道该仪器可切割兔及人类的各种白内障。

以后十多年，经过许多医师的不懈努力，超声乳化仪日臻完善，逐渐形成由电子计算机控制的，集乳化、灌注、吸引于一体的全新眼用超声乳化系统，标志着白内障手术进入一个崭新的阶段。

目前使用的超声乳化仪是非常精密而有效的。在高能量状态，针头向前运动的最大速率是  $20\text{m/s}$ ，最大加速度是 50 万 G（动单位）。液体进入一个标准尺寸，未阻塞的超声针头的速度是  $0.65\text{m/s}$ ，排空率是  $25\text{mL/min}$ 。

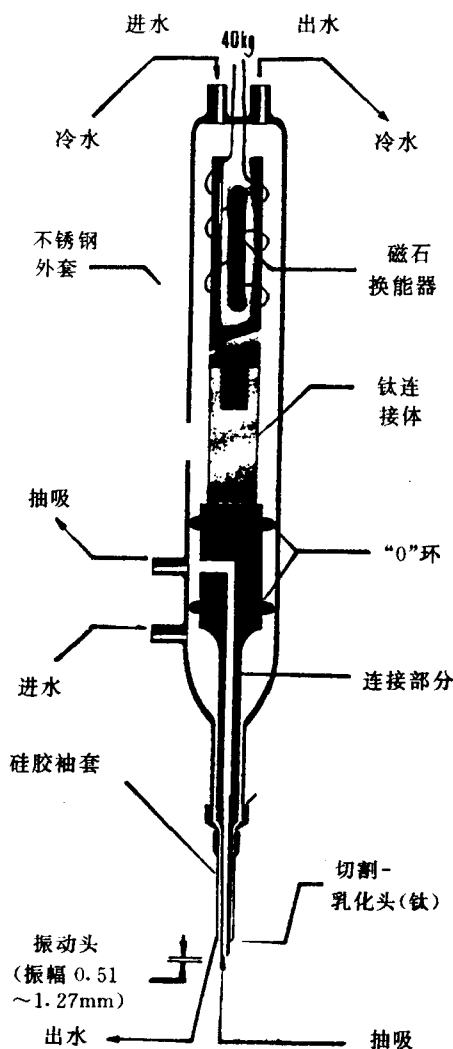


图 1-2 Kelman 超声乳化手柄示意图

## 1.2 手术方式的演变

### 1.2.1 前房晶体乳化法(1967 ~ 1977)

早期的 Kelman 超声乳化手术为单手操作的前房型晶体乳化术。方法为在角、巩膜缘作 3mm 切口，截囊刀或超声振动头刺开前囊膜，并将晶体核脱位或半脱位于前房进行乳化，这就需要有好的散瞳状态和较大的截囊口，且术中易造成囊膜缘的撕裂，对角膜内皮细胞的损伤严重，许多医师于 70 年代末、80 年代初放弃了此种手术。另一些医师则不断探索新的超声乳化方法。

Little 和 Kratz 使用分离铲进行双手法核乳化。Little 将分离铲从 12 点位原切口插入前房,并用 45°角超声头雕刻前中央核,然后倾斜并娩除残余核出囊袋以便进一步行核乳化。Kratz 在 3 点位作一副切口插入分离铲,协助超声头转动,分割核及保护剩下的前囊膜和虹膜,确保超声乳化术的顺利进行。

### 1.2.2 后房晶体乳化法 (1977 ~ 1987)

70 年代, Sinskey 使用 15°角的超声头进行后房晶体中央核的雕刻及乳化。因此大大地减少了角膜内皮的损伤。

Shock(1974)经角膜缘切口行后房型冷冻分解结合超声乳化摘出成熟的硬核性白内障。

1977 年 Benson 等经睫状体平坦部切口进行后房型晶体超声乳化术。

### 1.2.3 囊袋内晶体乳化法 (1987 ~ 1997)

80 年代现代囊袋内超声乳化术为 Koch 所推崇。

1985 年 Gimbel 和 Neuhann 同时发明了连续环形撕囊术,即“CCC(continal circular capsulorhexis)”。该技术将晶体前囊膜撕成一个圆滑的环形缺损,边缘坚韧而富有弹性,从而保证囊袋内粉碎晶体核操作的安全。并可将人工晶体稳固植入囊袋内,避免囊膜撕裂造成晶体偏中心。

1986 年 Gimbel 最先提出分割后乳化粉碎晶体核技术(divide and conquer nucleofractis), (即“一分为二法”)。该技术首次以录像形式于 1987 年在 Jerusalem 举行的欧洲人工晶体会议上介绍,并于 1988 年在加拿大举行的加拿大落矶山“白内障屈光手术研讨会”上进行了手术表演。该技术可分为四个步骤:①向下雕刻晶体核直到后极部;②将晶体核在雕刻处劈成两块;③将劈开的晶体核再依次劈成楔形小块;④将劈开的晶体核拖到晶体前囊中部逐步超声乳化吸除。根据晶体核的不同硬度,又可分为火山口劈开法(crater divide and conquer)、沟槽状劈开法(trench divide and conquer)及槽状劈开联合倾斜向下雕刻法(down slop sculpting)。

1988 年 Shepherd 将 Gimbel 的 divide and conquer 改良成原位碎核(in situ fracture),将晶体核作“十字”雕刻,并劈开为四块进行乳化,即“一分为四法”。

1990 年 Fine 提出削凿和翻转技术(chip and flip)。1992 年他又提出劈裂和翻转技术(crack and flip),即“环形分离法”。

1993 年 Nagahara 提出超声劈开(phaco chop)技术,使用一改良的晶体钩。将核在囊袋内砍劈成小碎块,加快了手术进程。

1994 年 Koch 将其改良成停止后劈开(stop and chop)技术,即先“一分为二”、再用晶体钩劈开乳化。

总之,后房型超声乳化术不仅减少了将晶体核脱位于前房所引起的虹膜损伤,而且减少瞳孔缩小和术后眼内炎症及角膜失代偿的机会,进而使超声乳化术有了新的转机。

### 1.2.4 囊膜上晶体乳化法 (1997)

- (1) 做 5 ~ 6mm 环形撕囊;
- (2) 做水分离;
- (3) 注入粘弹剂后使晶体核倾斜;

- (4) 将晶体翻跟头；
- (5) 压下前囊膜，使前后囊膜汇合；
- (6) 在囊膜上，后房虹膜后乳化晶体。

现在的手术技术使得医师可以无创伤地去除白内障，不打麻药(仅滴表面麻醉药)，不缝线，不出血(三不)。在术后几分钟视力可以达到 0.66(6/9)以上。

1993 年，美国白内障和屈光手术协会的成员对手术意愿的调查表明，应答者中 83% 的人喜欢用超声乳化手术(而与 1985 年相比只占 12%)，在许多国家超声乳化手术的应用日趋广泛。正如 Anton Banko 所说：“超声乳化白内障抽吸系统的发明、发展、设计最终将打开眼内手术的新纪元。”

[邹 玲]

## 第二章

### 超声乳化仪的使用

“工欲善其事，必先利其器”。做白内障晶体超声乳化术前，必须知道机器的大概工作原理，必须了解你使用的超声乳化仪的共同特点。

#### 2.1 结构与原理

超声乳化仪主要结构由超声波发生器、超声换能器和灌注抽吸系统三大部分组成。超声乳化手柄前端装有直径约 1mm 钛针。外附有软硅胶袖套，钛针沿纵轴作纵向振动。乳化手柄的工作原理是乳化针以非常高的速度振动，这种快速振动切入晶体核，把硬的晶体核变成小的碎片，进而粉碎成乳糜状，再由乳化手柄中空的管道将乳糜状物吸出，因而命名为超声乳化。

尽管对于超声乳化的手术技术讨论得很多，却不可以忽略这种手术最基本的方面：外科手术闭合系统的物理学，以及怎样转化为临床操作。物理学原理和复杂的工程学的基本知识，不仅有助于理性的决定使用哪一种设备，而且能使手术操作轻柔又精细，预防和避免并发症的发生。

##### 2.1.1 眼科手术闭合系统的基本原理

###### 2.1.1.1 进出水平衡

在电学中，欧姆定律解释了电流、电压和电阻之间的关系。这一定律可以用于液体在一个闭合系统中的流动。电流相当于水流，即液体每单位时间流动的量（每分钟多少毫升）。电压相当水压（用毫米汞柱测量），正压为灌注（流体静压），负压为抽吸（吸出）。阻力与管道和口径有关。这三个因素在数学上是相等的（图 2-1）。

$$U = I \times R$$

式中： $R$  = 阻力； $U$  = 压力； $I$  = 水流。

在闭合的眼手术，水流转运物质到吸孔，取决于物质的随流性。真空是引起水流抵抗阻力的力。在吸孔堵塞时，将物质压进吸孔，称为结合力。水流和真空是互相联系的，但在不同的泵有不同的联系方式。

现在分析闭合系统手术的情况，目的是维持眼内容量（深前房）和眼内压，用以维持眼内生理性的和谐。当液体从眼内吸出，必须不断地有灌注液替代，且不能延迟，出水率必须与

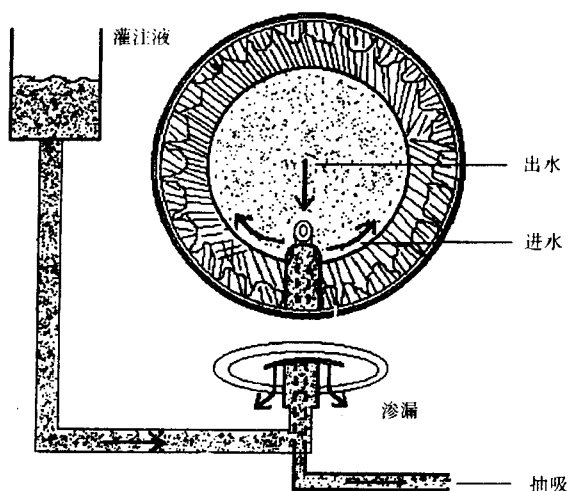


图 2-1 眼科手术闭合系统的基本原理

进水率相等。

#### 2.1.1.2 决定进水平衡的因素

##### 1. 进水灌注

压力梯度(驱动入水流的力)是灌注压、流体静压或泵,减去眼内压。阻力即压力对水流的克服力,阻力决定于水流通过的管道的横截面,管道的长度,和液体的粘滞性。这种进水的阻力可以看作是一个固定的常数。

##### 2. 出水抽吸

压力梯度等于泵产生的负压加上眼内压。阻力是一个常数,如没有其他因素干扰,眼内容量和眼内压都能保持常数,根据阻力设置灌注压和抽吸压,将产生相等的水流。然而,在眼内手术,出水方面的阻力是变化的,因为被抽吸的物质堵塞吸孔的程度是变化的。事情变得更复杂。为了在变化的情况下保持入水和出水相等,可以根据瞬间的出水阻力不断的调节进水的参数,也可以据此改变出水的真空,或两者兼有。在操作中是用一个水流计在出水管道测量一个参数,根据反馈回路而调节。这个测量和调节结果需要时间才起效,如果延迟则这个系统就不平衡,因而还要用一个缓冲器使之再平衡。

#### 2.1.1.3 进出水的调节

##### 1. 灌注

假设进出水率在任何时间相等,即出水不超越最大进水量,前房不会塌陷,是由于眼内压在缓冲。眼压不能低于维持眼内容的必需值,一般是  $1.33\text{kPa}(10\text{mmHg})$ 。但它可以升高到灌注液的高度,这是一个缓冲机制。因为进水的阻力是不变的,进水的能力就受到限制(由于灌注瓶的高度固定)。最大进水能力可以测试,用一个可塌陷的测试管,放入超声针头。用最大高度的灌注(或高度相当于最大眼内压),抽吸启动,逐渐增加水流直到管内压力达到最高。这一抽吸率表示了最大出水,而这种最大灌注可与之相匹配,在闭合系统就不造成前房塌陷。

##### 2. 抽吸

下面分析抽吸。首先出水率必须低于已限制的进水率。在这个范围内要选择最小的出水

率,而又能将物质带进针头内。在晶体和玻璃体手术,需提供负压抽吸,在克服阻力之后,产生一个瞬间的出水(超越进水能力),称之为堵塞后的冲击浪它是被抑制的抽吸能量和抽吸液柱,当堵塞产生负压时,潜在的能量储存;堵塞解除,液体释放潜在的能量,眼内多余的容量被迅速吸出。是否出现冲击浪导致的前房塌陷,要视缓冲能力(如增加眼内压)和反应系统(如感觉冲击浪并中和它)。

### 3. 渗漏系统

在进出水平衡中,渗漏不可避免的发生在任何切口——超声针头通过的主切口,第二器械通过的副切口:这些渗漏中和了眼压是好的,但减低了灌注的缓冲能力是不好的。切口的渗漏要减至最小,在设置水流和真空时要予以考虑。

#### 2.1.1.4 流体学基本术语

**抽吸** 液体将晶体核自眼前房经过超声乳化头或抽吸灌注头排出。

**抽吸流量** 液体离开眼睛穿过抽吸手柄的抽吸口,再经过抽吸管进入集液盒的过程中的流量,以毫升每分( $\text{mL}/\text{min}$ )测量。

**大气压力** 是指大气中任何方向上每一点的压力,以海平面为基准,当海拔高度增加时,大气压减少,海平面上的大气压力约为  $101\text{kPa}$  ( $760\text{mmHg}$ )。

**顺应性** 是指抽吸套管的弹性,高顺应性意味着当真空压增加时抽吸套管更容易收缩。蠕动泵系统需要一定数量的顺应性的套管,以使泵的滚筒可以把液体从套管中挤出去。

**不连续的液体量** 存在于蠕动泵两个滚筒间的液体量。

**流动** 液体的移动。

**流量** 在此书中,流量指液体流过任一指定点的速率,以毫升每分( $\text{mL}/\text{min}$ )测量。

**流体** 通过液体的流动来完成一个功能的技术,可以帮助人们理解驱动液体流动的力。

**随流性** 超声乳化系统通过流体将物质吸到超声乳化头的能力,影响随流性的因素是抽吸流量,真空压,瓶高度,和超声乳化头产生的其他力量。

**瓶压力** 由于 BSS 瓶和眼睛中间的高度差所产生的对眼前房的压力。

**灌注流量** BSS 液体自瓶中流出,穿过点滴器,然后穿过抽吸灌注套管的灌注管路,然后通过手柄,进入眼内的流量,任何手术设备都无法测量灌注流量。

**伤口渗漏** 在超声乳化中,液体从主切口或副切口渗漏。

**堵塞** 物质堵塞超声乳化头或抽吸灌注手柄的开口的状态,将使 BSS 液体的流动停止。在蠕动泵系统中这使超声乳化头产生真空压,而在真空压控制的系统中,堵塞将使真空压从硬式集液盒传递到堵塞点。

**蠕动** 机械的,像波状收缩的结构,使液体排出,蠕动泵系统使用类似的结构产生液体流动。

**堵塞后冲击浪** 当堵塞清除后,超声乳化头上的压力会出现瞬间的负压,会引起前房的塌陷。

**压力** 每单位面积上的受力,在眼科中用  $\text{kPa}(\text{mmHg})$  表示。

**压差** 两个不同点之间的压力差。

**脉动压** 由于泵的作用在眼前房出现的小颤动,在蠕动泵系统中,脉动是由于滚筒重复挤压管路形成的结果。

**泵速度** 泵的运转速度,在蠕动泵中,指泵头的旋转速度,在膜片泵中,指活塞往返的速度,在旋转泵中,指页片转动速度。

**上升时间** 达到最大真空压设定所需的时间,蠕动泵产生真空压的时间明显地慢,因为蠕动泵的真空压产生依靠泵的旋转速度,堵塞,和导管的顺应性。

## 2.1.2 超声振动的基本原理

### 2.1.2.1 机械性的破坏机制

通过小切口吸除白内障的先决条件,是把硬核粉碎成足以吸出的碎片的技术。Kelman使用牙科金属针头去除牙垢的技术,用极高的超声频率,极小的振幅进行纵向振动,选择的材料是能抵抗碎裂的钛。

#### 1. 直接撞击

撞击作用就像千斤顶,超声头穿入晶体并破坏它。有两个主要条件:超声头和核之间的紧密接触,称为力偶联,即超声头压向晶体核或核压向超声头;超声头的高速向前运动。

#### 2. 空穴作用

固体以高速度向液体运动产生空穴现象,它发生在超声针头周围。针头纵向振动,当它后退时,前方液体内产生真空小气泡,仅维持几微秒,就被周围液体填充而“爆炸”。空穴及其产生的水流喷射对所接触的每一物质都有极强的破坏性。

#### 3. 振动波

振动波是通过振动面进入周围介质而产生的,在液体内以声速传播。它的内在机械力量决定了破坏的潜能,通常以球形方式辐射,能量快速消散。振动波的破坏能量与振幅的表面积成正比。直管的超声头向前振动的表面积小,振幅也小,因此振动波效应也小。

### 2.1.2.2 技术原理

#### 1. 换能器的类型

(1) 磁石换能器:这些换能器是一包磁片,由电线圈包绕,通过线圈的高频电流产生的磁场激发振荡。磁石换能器的优点包括不接触激发,因此避免了电流和换能器连接处的损坏。这些换能器连接原件和整个手柄是凹凸不平的,能抵挡机械性损失,而且寿命较长;它们的主要缺点是相对低效,只有一小部分输入能量能转换成机械作用,大部分变成了热量,热量不仅有致组织燃烧的危险,而且温度升高,也使换能器失效。在原始设计中,磁片筒前必须引出中央抽吸管,它必然使频繁阻塞后出现两个大的减压。避免有阻塞倾向的减压,提供了一个通过振动系统所有成分的不断流动的双冷却水流,因此振动需要一个独立的冷却系统。

(2) 压电换能器:此换能器揭示了压电现象,对某些结晶体加压,能产生电流,相反电流引起结晶体收缩,给结晶体高频电流将引起结晶体以那个频率振荡。

压电结晶体的优点包括高效,因此很少内热产生,不需要额外冷却。缺点是结晶和电流的连接点及多层结晶间的连接需要提供适当的敲击振幅,结晶本身结构易脆裂。这些特点限制了此种换能器的寿命,它们也被偶然的机械损伤和它们产生的振荡两者损坏。

#### 2. 共振

每一件物质都有一内在的自然振动频率,它被称为共振频率。如果在此频率激发振荡,转换成振动的振幅将是最理想的,转换成其他能量形式,所有的换能器,连接原件必须用来与超声头相联,并把产生的振动传递给它。因此所有的现代超声系统有一建立的反馈回路,不断的调节振动频率至最理想的反应。

#### 3. 超声作用的大小

当谈论超声仪器的“能量”。人们必须想描述它破坏晶体核的能力,然而“能量”的感觉

有三个主要的变量组成：①振幅(振动的长度)；②频率；③偶联(力)。

振幅决定超声头随每次振动穿透入核块的距离；频率决定多少振幅将产生穿透，多少将只产生核的移位，这依赖核块且涉及核块破裂方面是关键的；超声头和核间的偶联能通过超声头压向核来获得，压悬韧带能提供相反的力偶联，通过抽吸核或核入超声头来获得偶联，它可导致阻塞突然解除后冲击浪的危险和前房塌陷，增加偶联的第三种方法是通过用第二种器械帮助，推核片向超声头。

#### 4. 副作用(原因和处理)

随灌注液入前房的空气泡能影响手术视野(清晰度)，这些气泡有两个来源。有些气泡来自灌注瓶和超声头间的管道系统。尽管完全清除很难，但最好通过彻底排空管道系统来清除气泡，然而空气泡的主要来源是由于超声振荡溶解在灌注液中的空气，不能完全避免这些空气泡的产生，手柄的设计能减少此种倾向，那些空气泡与空穴气泡绝对不同。后者是微小的且持续仅几微秒，通过在输液袖套内，在橡皮“帽”下，这两种来源中捕捉气泡，能产生几乎无气泡的手术环境。

当能量的一种形式转换成另一种时，总是产生热效应，效应是测量有多少输入能量转换成不希望的热量和有多少转变成希望的能量形式，有些热是通过电转换成机械能而产生的，不希望的热量的另一个来源是超声针头周围的空腔和直接与它接触的东西，由于此机制，一个紧的切口能挤压变形的输液袖套并因此产生摩擦，热能通过直接接触传递给周围组织，特别是由于在那些接触区，冷却灌注液的流动受阻。现代超声仪能减少热量，通过精细的换能器技术和不断的自动调频以达最好的共振频率，且换能器的空气冷却单位是充足的。单个或双硬输液袖套能隔离周围组织，防止超声针头传导热或产热及防止摩擦热的产生，维持针头全周冷却灌注液的不断流动。

## 2.2 超声乳化仪器的使用

手柄、电和液体连接管道组成超声乳化装置，以下解释仪器的基本特征。

### 2.2.1 液体控制

以上讨论的液体理论在这里得到应用。

#### 2.2.1.1 灌注

灌注是受重力驱使的。灌注速率取决于眼压，当眼内压等于灌注瓶高度的水压时，则没有灌注液进入前房，当眼内液被抽出，眼压降低，则灌注液流入前房至两边压力相等。改变瓶高可以改变灌注压，然而灌注瓶的高度基本是固定的，靠重力进水来迅速调节是不可能的。一些制造商已尝试了泵的灌注，期望更好的调节眼内压。

#### 2.2.1.2 抽吸

过去简单的仪器提供了一个负压装置在抽吸口，根据实际的出水阻力产生不同的出水率，引起前房的起伏波动。现代的仪器提供了对出水流的双重控制，水流控制盘设置了每单位时间抽吸液体的量，测量每分钟多少毫升抽吸率。这种设置可以决定没有堵塞时所需的负压，及堵塞时所需的最大负压。因而第二种装置为抽吸提供了限制。可以这样说，手术医师对机器发出指令：“按所需的负压抽吸 X 毫升液体，如果在 Y kPa(mmHg)不能达到该水流，