

分类号：  
密 级：

单位代码：10019  
学 号：PB1604025

信  
鸽  
折  
叠  
型  
人  
工  
晶  
体  
研  
发  
及  
初  
步  
应  
用

# 中國農業大學

博士学位论文

## 信鸽折叠型人工晶体研发及初步应用

### Research and Development of Pigeon Foldable Intraocular Lens and Primary Application

研 究 生：\_\_\_\_\_夏楠\_\_\_\_\_

指 导 教 师：\_\_\_\_\_林德贵 教授\_\_\_\_\_

合 作 指 导 教 师：\_\_\_\_\_金艺鹏 教授\_\_\_\_\_

申请学位门类级别：\_\_\_\_\_兽医博士\_\_\_\_\_

专 业 名 称：\_\_\_\_\_临床兽医\_\_\_\_\_

研 究 方 向：\_\_\_\_\_

所 在 学 院：\_\_\_\_\_动物医学院\_\_\_\_\_

夏  
楠

二零二一年十月

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中已经注明引用和致谢的内容外，论文中不包含本人和其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国农业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：

时间：2021年10月26日

## 关于学位论文使用授权的说明

本人完全了解中国农业大学有关保留、使用学位论文的规定。本人同意中国农业大学有权保存及向国家有关部门和机构送交论文的纸质版和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人同意中国农业大学将本学位论文的全部或部分内容授权汇编录入《中国博士学位论文全文数据库》或《中国优秀硕士学位论文全文数据库》进行出版，并享受相关权益。

(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

学位论文作者签名：

时间：2021年10月26日

导师签名：

时间：2021年10月26日

## 摘 要

尽管赛鸽具有极高的商业价值,但因紫外线照射引发白内障无法参赛而造成严重的经济损失。手术摘除后植入人工晶体 (Intraocular Lens, IOL) 是治疗白内障恢复视力的手段。为解决缺乏 IOL 的需求,本研究以信鸽为研究对象,探究眼结构并采集数据,自主设计研发信鸽折叠型 IOL,并通过临床应用评价其安全性和有效性。

本研究对 100 只信鸽的 200 眼进行眼科检查,包括:眼睑反射、焦点光源、比色瞳孔对光反射、视觉反射、眼压、泪液分泌量、角膜荧光素钠染色、裂隙灯生物显微镜、眼底和眼超声检查。结果表明,常规眼科检查可用于评估信鸽视力;之后采集眼组织数据,包括:角膜直径、眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、前后极轴长、屈光力。结果表明,B 型超声可测量上述组织,依次为:  $7.80\pm 0.21\text{mm}$ 、 $11.68\pm 0.14\text{mm}$ 、 $1.25\pm 0.12\text{mm}$ 、 $6.40\pm 0.36\text{mm}$ 、 $4.60\pm 0.22\text{mm}$ 、 $5.89\pm 0.48\text{mm}$ 、 $2.79\pm 0.24\text{mm}$ , 检影镜可获得晶状体屈光力,为  $80.855\pm 3.69\text{D}$ ;根据上述结果自主设计研发信鸽折叠型 IOL。结果表明,根据眼科检查及眼组织采集数据可制备出信鸽折叠型 IOL 产品,结构为:总长 5.0 mm,双凸非球面单焦点光学部直径 2.5 mm,轴厚 0.5 mm,屈光力+80D,角度前倾  $1.5^\circ$  的双 L 形襟。

同时对另选 20 只信鸽的右眼实施超声乳化术并植入 IOL 产品,观察术中各因素。结果表明,使用改良器械与优化麻醉方式并设置合理仪器参数,可对信鸽进行超声乳化联合人工晶体植入术,其中 11 例植入 IOL,9 例未植入 IOL,手术操作引起的术中并发症可影响眼组织与手术效果,但可随技术水平的提高而减少或避免。

为进一步探究信鸽折叠型 IOL 的临床应用价值并评估其安全有效性,本研究通过观察术后视觉反射评价 IOL 的有效性;通过观察眼部表现、裂隙灯显微镜下角膜状态、前房炎症、IOL 表现、后囊混浊、眼底、眼压等术后各因素,评价 IOL 的安全性。结果表明,角膜水肿、高眼压与青光眼、葡萄膜炎、眼内炎、后囊混浊、IOL 偏心及脱位、视网膜脱落这些术后并发症,可影响 IOL 与眼部恢复,但可随术后护理方案的优化而改善。

本研究得出如下结论:(1)常规眼科检查可用于评估信鸽视力,获得的生理数据可用于设计研发信鸽折叠型 IOL。(2)通过器械改良、麻醉优化与参数设置,可对信鸽实施超声乳化联合人工晶体植入术。(3)植入 IOL 有助于信鸽恢复视力且无明显排异作用,术中和术后并发症可影响手术效果。最后本研究通过自主设计研发折叠型 IOL,为信鸽白内障的临床治疗提供了新的选择。

**关键词:** 鸽白内障, 鸽晶状体, 超声乳化术, 人工晶体植入术, 人工晶体研发



## Abstract

Due to cataract caused by ultraviolet radiation and thus unable to participate in games, the commercial value of racing pigeons is greatly affected. Although intraocular lens(IOL) implantation after surgical removal of affected eye is widely accepted in treating cataract, the short of supplies bring new challenges. To solve this, we developed a foldable IOL independently basing on investigation of the eye structure of pigeon. The safety and effectiveness of foldable IOL are also measured.

In this study, 200 eyes of 100 pigeons were examined ophthalmologically, including: eyelid reflex, focal light source, colorimetric pupil light reflex, visual reflex, intraocular pressure, tear test, corneal fluorescein sodium staining, slit lamp biomicroscopy, fundus and ultrasound examination of eyeballs. The results showed that routine eye examinations are sufficient in assessing the vision of pigeons. In addition, the ocular tissue data were also collected, which including: corneal diameter ( $7.80\pm 0.21\text{mm}$ ), eyeball axis length ( $11.68\pm 0.14\text{mm}$ ), anterior chamber depth ( $1.25\pm 0.12\text{mm}$ ), vitreous axis length ( $6.40\pm 0.36\text{mm}$ ), pecten height ( $4.60\pm 0.22\text{mm}$ ), lens equatorial diameter ( $5.89\pm 0.48\text{mm}$ ), anterior to posterior polar axis length ( $2.79\pm 0.24\text{mm}$ ), and diopter ( $80.855\pm 3.69\text{D}$ ). Basing the information, the foldable IOL was developed independently with following characteristics: total length = 5.0 mm, double-convex, aspherical single-focus optical diameter = 2.5 mm, axial thickness = 0.5 mm, diopter = +80D, double L-shaped loops with a forward tilt of  $1.5^\circ$ .

Next, phacoemulsification was performed on the right eyes of another 20 pigeons and IOL products were implanted subsequently, various factors were also observed during the operation. The results showed that: with the usage of improved equipment, optimized anesthesia methods and appropriate instrumental parameters, phacoemulsification and IOL implantation can be performed on pigeons. In total of 20 pigeons, 11 were implanted with IOLs, another 9 were not implanted and set as controls. It showed that although intraoperative complications can be caused by operational mistakes and will affect the eye tissues as well as the outcome of surgery, it can be reduced or prevented with the improvement of techniques.

To further explore the clinical value of folding IOL as well as its safety and effectiveness, the postoperative visual reflex was examined after surgery. In addition, the

safety of IOL was also evaluated basing on multiple postoperative factors such as ocular manifestations, corneal status with slit lamp microscope, anterior chamber inflammation, IOL manifestations, posterior capsular opacity, fundus, intraocular pressure, etc. The results showed that postoperative complications such as corneal edema, high intraocular pressure/glaucoma, uveitis, endophthalmitis, posterior capsule opacity, IOL decentration/luxation and retinal detachment can affect the safety of IOL as well as ocular recovery, while it can be improved with the optimization of postoperative caring plan.

The conclusions of this study are as follows: (1) Routine eye examinations can be used to assess the vision of pigeons. Besides, physiological data obtained during examinations can be used for the development of folding IOL. (2) Through the improvement of equipment, anesthesia methods and parameter optimization, phacoemulsification and IOL implantation can be implemented on pigeons simultaneously. (3) IOL implantation helps restoring the vision of pigeons without obvious rejection, although intraoperative and postoperative complications can affect the outcomes. Finally, this research provides new insights for the clinical treatment of pigeon cataract through the independent study of folding IOL.

**Key words:** pigeon cataract, pigeon lens, phacoemulsification, IOL implantation, research and development of IOL

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 摘 要.....                     | I   |
| Abstract.....                | III |
| 插图和附件清单.....                 | VII |
| 中英文缩写词表.....                 | IX  |
| 第一章 引 言.....                 | 1   |
| 1.1 研究背景.....                | 1   |
| 1.2 研究目的及意义.....             | 18  |
| 1.3 研究内容及方法.....             | 19  |
| 第二章 信鸽眼科学检查及眼组织数据采集.....     | 20  |
| 2.1 材料与方法.....               | 20  |
| 2.2 试验结果.....                | 33  |
| 2.3 讨论.....                  | 36  |
| 2.4 小结.....                  | 49  |
| 第三章 信鸽折叠型人工晶体的设计与研发.....     | 50  |
| 3.1 材料与方法.....               | 50  |
| 3.2 试验结果.....                | 52  |
| 3.3 讨论.....                  | 53  |
| 3.4 小结.....                  | 56  |
| 第四章 信鸽折叠型人工晶体的动物试验.....      | 57  |
| 4.1 材料与方法.....               | 57  |
| 4.2 试验结果.....                | 62  |
| 4.3 讨论.....                  | 63  |
| 4.4 小结.....                  | 69  |
| 第五章 信鸽折叠型人工晶体的安全性和有效性评价..... | 70  |
| 5.1 材料与方法.....               | 70  |
| 5.2 试验结果.....                | 73  |
| 5.3 讨论.....                  | 82  |
| 5.4 小结.....                  | 89  |
| 第六章 结论与创新点.....              | 90  |
| 6.1 结论.....                  | 90  |
| 6.2 创新点.....                 | 90  |

|           |     |
|-----------|-----|
| 参考文献..... | 91  |
| 致 谢.....  | 105 |
| 附录 A..... | 107 |
| 附录 B..... | 108 |
| 附录 C..... | 112 |
| 作者简介..... | 115 |

# 插图和附件清单

## 图目录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 图 1-1 正常鸽眼.....             | 1  |
| 图 1-2 白内障鸽眼.....            | 2  |
| 图 1-3 超声乳化术.....            | 3  |
| 图 1-4 360°连续方边.....         | 14 |
| 图 2-1 比色瞳孔对光反射.....         | 22 |
| 图 2-2 鸽的眼压测量.....           | 24 |
| 图 2-3 鸽眼的角膜荧光染色.....        | 25 |
| 图 2-4 鸽眼的裂隙灯显微镜检查.....      | 26 |
| 图 2-5 鸽眼的比色瞳孔对光反射检查.....    | 28 |
| 图 2-6 鸽眼的超声检查.....          | 30 |
| 图 2-7 鸽晶状体的超声测量.....        | 31 |
| 图 2-8 鸽晶状体的屈光力测量.....       | 32 |
| 图 2-9 比色瞳孔对光反射原理.....       | 39 |
| 图 3-1 人工晶体工艺流程图.....        | 51 |
| 图 3-2 人工晶体的冠状面、矢状面和横断面..... | 52 |
| 图 3-3 信鸽折叠型人工晶体实物图.....     | 53 |
| 图 4-1 信鸽诱导麻醉.....           | 59 |
| 图 4-2 鸽眼的超声乳化术.....         | 61 |
| 图 4-3 鸽眼的人工晶体植入术.....       | 61 |
| 图 5-1 第 4 周视觉反射检查结果分析.....  | 81 |
| 图 5-2 第 4 周眼部临床表现结果分析.....  | 81 |
| 图 5-3 第 4 周术后并发症结果分析.....   | 81 |

## 表目录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 表 2-1 Hackett-McDonald 评分标准..... | 27 |
| 表 2-2 眼底检查评分标准.....              | 29 |
| 表 2-3 眼部超声检查评分标准.....            | 30 |
| 表 2-4 鸽眼参数测量结果.....              | 35 |
| 表 2-5 比色瞳孔对光反射图解.....            | 37 |
| 表 2-6 犬、猫、人与鸽的晶状体数据比较.....       | 48 |
| 表 4-1 超声乳化联合人工晶体植入术及围手术期状况.....  | 63 |
| 表 5-1 术后视觉反射检查.....              | 73 |
| 表 5-2 术后裂隙灯显微镜检查.....            | 75 |
| 表 5-3 术后并发症.....                 | 78 |

## 中英文缩写词表

| 缩略词    | 英文名称  | 中文名称          |
|--------|---|---------------|
| AOD    | Angle opening distance                              | 房角开放距离        |
| cPLR   | colorimetric PLR                                    | 比色瞳孔对光反射      |
| CTCC   | Continuous tear curvilinear capsulorhexis           | 连续环形撕囊        |
| CTCPC  | Continuous tear curvilinear posterior capsulorhexis | 连续环形后部撕囊术     |
| ECCE   | Extracapsular cataract extraction                   | 囊外白内障摘除       |
| ERG    | Electroretinogram                                   | 视网膜电图         |
| EWN    | Edinger-Westphal Nucleus                            | 动眼神核          |
| I/A    | Inspiration/Aspiration                              | 灌注/抽吸         |
| ICA    | Iridocorneal angle                                  | 虹膜角膜角         |
| IOL    | Intraocular lens                                    | 人工晶体          |
| IOP    | Intraocular pressure                                | 眼内压           |
| LIU    | Lens induced uveitis                                | 晶状体介导性葡萄膜炎    |
| NSAIDs | Non-Steroidal Anti-inflammatory Drugs               | 非甾体抗炎药        |
| PCO    | Posterior capsular opacification                    | 后囊混浊          |
| PCTPC  | Planned continuous tear posterior capsule           | 计划连续撕脱后囊膜     |
| Phaco  | Phacoemulsification                                 | 超声乳化术         |
| PHPV   | Persistent hyperplastic primary vitreous            | 原始玻璃体持续增生症    |
| PHTVL  | Persistent hyperplastic tunica vasculosa lentis     | 晶状体血管膜持续增生症   |
| PLR    | Pupillary light reflex                              | 瞳孔对光反射        |
| PMMA   | Polymethyl methacrylate                             | 聚甲基丙烯酸甲酯      |
| POH    | Postoperative ocular hypertension                   | 术后高眼压         |
| PRA    | Progressive retinal atrophy                         | 进行性视网膜萎缩      |
| PRTT   | Phenol red Tear Test                                | 酚红线泪液量测试      |
| SARDs  | Sudden acquired retinal degeneration syndrome       | 急性获得性视网膜变性综合征 |
| STT    | Schirmer Tear Test                                  | 施默尔泪液量测试      |
| TASS   | Toxin anterior segment syndrome                     | 前节毒性综合征       |
| tPA    | tissue plasminogen activator                        | 组织纤溶酶原激活剂     |



## 第一章 引言

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 信鸽白内障发病概况

信鸽是最早经人类驯化的鸟类之一，古往今来的东西方文化中，信鸽象征着和平与友谊。建党 100 周年与建国 70 周年大庆，天安门广场放飞 10 万与 7 万只和平鸽的壮观场面，至今令人记忆犹新。在科研领域，信鸽导航的重要性被广泛用于军事通讯、航空航天、仿生飞行、地磁感应等重大国防项目，参与竞翔运动的赛鸽在商业方面也不断创造高昂价值<sup>[1-3]</sup>，相关组织全球林立，大型会议比比皆是，如：国际信鸽联合会、国际信鸽奥林匹克大会、国际信鸽医学研讨会等。随着我国人民生活水平与经济条件不断提高，日益增长的美好生活需求也逐渐多元。信鸽竞翔运动在我国颇受欢迎，民众尤为热衷。经过多年蓬勃发展，国内公棚规模日趋庞大，各级赛事经久不衰，中国信鸽协会应声成立。据中鸽协公布，2021 年全国信鸽足环发行总量近 2900 万个。赛鸽运动的火热程度逐年递增，赛事的奖金总额甚至高达 3000 万，成绩优秀且价值千万的赛鸽更是深受推崇，极具商业价值，为市场带来诸多经济效益<sup>[4]</sup>。纵观国内外的大型公开赛，里程远及数百甚至上千公里，而信鸽在远程赛事中出色的导航能力，主要依赖于双眼视力（见图 1-1）<sup>[5]</sup>，但易发的白内障可造成信鸽视力下降甚至失明，从而丧失上述价值。目前国内信鸽市场热点多在赛事竞翔和品种繁育方面，有关信鸽眼病的文献资料、论文专著，以及临床研究却相对少见。



图 1-1 正常鸽眼

Figure 1-1 Normal eye of pigeon

因常年户外竞翔受到高强度紫外线照射，以及高密度饲养引争斗发的咬啄性外伤，致使信鸽眼病频繁发生，患病率为 7.6%<sup>[5]</sup>，其眼病可分为外眼疾病和内眼疾病。外眼病相对简单，主要包括：眼睑病、瞬膜病、结膜炎、角膜炎等。由于这些病的症状表

现和病理特征位于眼表且显而易见，因此可以做到早发现、早诊断和早治疗。不同于眼外疾病的易于观察和治疗，信鸽的眼内疾病则十分广泛且极为复杂，诸如：白内障、虹膜缺损、瞳孔畸形、葡萄膜炎、青光眼等<sup>[6]</sup>；眼底疾病有：脉络膜炎及视网膜、视神经病变等<sup>[7]</sup>。其中白内障（见图 1-2）的患病率高达 53.7%<sup>[6-8]</sup>。信鸽眼球体积明显小于人和犬猫的，且白内障位于眼内更难发现，现今仍缺乏对鸽眼白内障行之有效的治疗手段，导致大量信鸽视力减退甚至失明，造成无法挽回的科研和经济损失。



图 1-2 白内障鸽眼

Figure 1-2 Cataract eye of pigeon

信鸽甚至可从数千公里的异地飞回自己的居所，这种归巢能力主要依靠双眼视力辨认方向<sup>[9]</sup>。专业人员可从眼内虹膜的色彩判断这羽信鸽是否可在晴天、阴天，还是全天飞行，以及擅于中程、远程还是超远程竞翔。有研究报道，鸽眼的视神经由百万根神经纤维组成，视网膜有 100 多万个神经元。将微电极插入神经纤维，用各种光学图形刺激鸽眼，发现其视网膜能检测图像的运动、强度和颜色等<sup>[10]</sup>。位于玻璃体腔的视神经背侧，有一个被称为梳状突的结构，其可借助自身体积的变化调节眼球压力，具有精确察觉物体移动的能力<sup>[11, 12]</sup>。鸽眼肌肉为横纹肌，这有利于快速飞行中敏捷地捕获物象并聚焦于视网膜。另外鸽眼可通过收缩睫状肌改变晶状体的形状及前房深度，称为“双重调节”。这种精密且迅速的调节机能可在瞬间将原本扁平的“远视眼”调节为“近视眼”，从而准确并及时判明自身位置与飞行方向<sup>[13, 14]</sup>。晶状体是眼部屈光系统的重要组成部分之一，是唯一具有调节能力的屈光介质，透明而富有弹性，不含血管或色素。白内障的定义即与晶状体直接相关，由各种原因引起的晶状体代谢紊乱，导致晶状体蛋白变性而发生混浊产生的视觉障碍性疾病，称为白内障<sup>[15]</sup>。

在人和犬、猫、马，以及野生动物的眼科临床，手术摘除白内障后同时植入人工晶体是目前有效治疗白内障并恢复视力的唯一方法<sup>[16]</sup>，手术的方式即超声乳化术（Phacoemulsification, Phaco）（见图 1-3），且市场已有或可订制上述物种的人工晶体产品。本人在兽医临床的最大兴趣及主要工作就是对患有白内障的犬、猫、兔等

伴侣动物，进行超声乳化联合人工晶体植入术的具体治疗与相关研究。在多年的手术病例中，体型最小有如麻雀，如 2016 年对单眼患有白内障的 1 只红喉歌鸪和 2 只蓝喉歌鸪（体重<25 g，体型小如麻雀）实施了超声乳化术，术后回访 2 只蓝喉歌鸪的视力明显改善。之后在临床也开展了信鸽白内障的超声乳化术治疗，并在麻醉条件、手术方式、器械规格、术后护理各环节进行了相应探索和改进。术后信鸽虽能完成饮水采食等基础行为，但因无人工晶体植入，仍未恢复自由飞翔的生理状态。



图 1-3 超声乳化术<sup>[16]</sup>

Figure 1-3 Phacoemulsification

经文献检索与信息查询，国内外目前仅有关于猫头鹰等猛禽白内障手术的文献报道<sup>[17-21]</sup>，对信鸽白内障手术及人工晶体研发的文章未见发表。面对信鸽白内障临床治疗缺乏人工晶体的现实窘境，其设计与研发工作可谓迫在眉睫。鉴于此，为提高信鸽白内障术后的视觉质量并减少因失明淘汰而带来的经济损失，本研究拟通过对鸽眼参数的测定与统计分析，设计并研发符合鸽眼解剖学与光学性能的折叠型人工晶体，以期应用于临床治疗。

### 1.1.2 信鸽白内障研究现状

信鸽已被驯养千年，现代赛鸽起源于 19 世纪中期的比利时。赛鸽是一项运动，参赛者都是经过特殊放飞训练的信鸽。无论把信鸽放在何处，它们总可以凭借归巢的天性和导航的本能尽快飞回。视觉是信鸽最重要的感官，良好的视力对于安全飞行至关重要。信鸽有许多适应能力，使其视觉灵敏度优于其他脊椎动物类群。与哺乳动物相比，信鸽的眼睛更类似于爬行动物，眼内睫状肌可以快速并更大程度改变晶状体的形状。相对于自身体型，鸽眼体积占比最大，眼内解剖结构与其他脊椎动物相似，但存在鸟类特有的一种结构——梳状突。一些鸟类根据生活方式对自身视觉系统进行了特定调整，信鸽有密度非常高的视觉感受器，以及其他能使视觉灵敏度最大化的适应

性。双眼的位置使其具有良好的立体视觉，可准确判断距离。鸽眼的主要结构与其他脊椎动物相似。眼睛的外层由角膜和巩膜组成，巩膜是一层坚硬的白色胶原纤维，支撑保护眼球作为一个整体。眼球内部被晶状体分为前节和后节。前节充满水状液体的房水，后节包含透明胶状物质的玻璃体。鸽眼的晶状体是一双凸的透明组织，可使光线聚焦在视网膜上。睫状肌通过悬韧带附着于晶状体囊，通过改变晶状体的形状，间接调整屈光力。虹膜位于晶状体前，围绕形成的瞳孔控制进入眼内的光量。视网膜是一个多层的精密结构，包括视杆细胞和视锥细胞以及相关神经元。光感受器的密度是决定最大视力的关键。人的视网膜每平方毫米约有 20 万个感受器，而家雀有 40 万个，信鸽有 100 万个<sup>[22]</sup>。在白天活动的鸟类中，80%的受体可能是锥细胞。视网膜中央凹的光感受器密度更高，是最清晰的视物区域。54%的鸟类都有第二个中央凹以增强侧视效果。视神经是束状神经纤维，将信息从视网膜传到大脑皮层<sup>[23]</sup>。梳状突是目前对其知之甚少的结构，由视网膜生长出来的折叠组织构成，血液供应充足，能够维持视网膜的营养供应，也可阻挡光线或辅助发现移动的物体。梳状突有大量黑色素，可吸收进入鸟类眼球的多余光线并减少眩光，且有助于增加营养物质向玻璃体的分泌，被无血管的视网膜吸收以改善营养<sup>[24]</sup>。

如前所述，由紫外线照射和外伤导致的晶状体混浊是信鸽白内障的病因，但鸟类的白内障尚未被广泛和深入研究，很多情况下除了停止饲养和淘汰外别无他法。兽医需要做完整的病史和身体检查，以确定是否为白内障，并检查患眼的视力。

#### 1.1.2.1 晶状体生理

晶状体呈透明无血管且结构精密，作用是将射入眼内的光线聚焦于视网膜。晶状体源于表皮外胚层叶，是视泡同表皮外胚叶相互诱导作用的结果。最初，同视泡接触的外胚叶组织增厚形成晶状体板。晶状体板细胞向后呈泡样突起形成晶状体凹陷；而后，泡样突起逐渐与外胚叶脱离，形成晶状体泡。其余外胚叶组织保持单层上皮组织特性，形成后来的角膜上皮；晶状体泡本身则随晶状体凹陷缘的融合而关闭。

随着晶状体核的产生，晶状体缝隙开始形成。晶状体纤维不断形成，由前向后极伸展，形成球形晶状体。生长过程的不断进行，晶状体新纤维拉长速度出现不等，终使前后极伸展方式被另一种方式所代替，即新的晶状体纤维分别终止于晶状体前后面的特定部位，形成 Y 型外观。前极起于缝隙顶点的纤维，将终止于后极 Y 型缝隙分叉处，反之亦然<sup>[25]</sup>。

Y 型缝隙的形成，使晶状体纤维达到最精确的接合，产生椭圆形晶状体。新纤维不断向心性附着于旧纤维外面，从而使旧纤维逐渐被挤向核心部，形成有规则的层次结构。晶状体为双凸面体，随着年龄的增长，前面渐趋扁平并借助悬韧带使其悬挂于

虹膜和玻璃体之间。晶状体正常生理位置，构成虹膜的可靠支撑，如因各种原因导致晶状体脱位，虹膜将因失去支撑而出现震颤。

#### 1.1.2.2 白内障的形成

晶状体的透明度由多种复杂因素决定，包括晶状体纤维细胞内细胞器胞浆稀疏以及纤维细胞高度有序化的网格状排列。当发生白内障时，晶状体蛋白、代谢泵、离子浓度和抗氧化的活性将发生不可逆的变化。晶状体蛋白内的大分子不溶性蛋白含量增加，可溶性蛋白含量降低。白内障也与晶状体上皮细胞的钠钾泵活性降低有关，代谢泵活性的降低可使得晶状体细胞内  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  含量增加， $\text{K}^+$  含量降低。氧气消耗和 ATP 酶活性降低，抗氧化作用消失，包括被氧化的谷胱苷肽、 $\text{V}_E$  和  $\text{V}_C$  的含量下降。随着白内障的成熟，这些病理变化也随之发生，水解酶和蛋白水解酶的活性增强，这些不可逆的变化将造成细胞膜的破裂，这使得晶状体细胞内小分子蛋白丢失，晶状体内水含量增加。晶状体内胶体渗透压的改变，将进一步改变晶状体内的离子浓度（ $\text{Na}^+$  含量升高， $\text{K}^+$  含量降低）。蛋白进一步降解为氨基酸和多肽，这些小蛋白分子会从晶状体内“逃出”。当发展为过熟期白内障时，水分和含氮物质丧失，造成晶状体皱缩。

#### 1.1.2.3 白内障的分类

白内障多见于老年动物，如同时不存在其它病因，一般称为老年性或年龄相关性白内障。年龄相关性白内障的临床表现和病程有所不同。一般表现为晶状体核的点状或线状不透明，并伴有晶状体核硬化，另外还会出现不同程度的皮质性白内障。年龄相关性白内障病程通常缓慢，造成明显视力缺失需数月至数年。其发病机制仍不明确，在人类医学，对老年性白内障发病机制的推测，主要集中于晶状体的光氧化降解理论<sup>[26]</sup>。该理论认为，老年性白内障与晶状体受太阳辐射和紫外线照射有关。晶状体的氧化损伤包括二硫化物、交联蛋白、液态过氧化物在晶状体纤维内积聚。这些物质的积聚会造成晶状体不可逆性的混浊。

白内障有许多分类方式，一些基于病因，一些基于病程，还有一些基于同时存在的其它眼部疾病。常见的分类方式包括基于病因（如糖尿病性白内障）、白内障的发病年龄（幼龄或老龄）、晶状体内白内障的发病部位（如皮质白内障、囊下白内障）和白内障的病程（初发期、未熟期、成熟期、过熟期）<sup>[26]</sup>。甚至也会同时使用几种分类方式，来共同描述某一特定的白内障。

在所有分类方式中，按照白内障的发展阶段进行分类，应用最为广泛<sup>[26]</sup>。初发期白内障指白内障早期的临床表现，病变体积约占晶状体体积的 10~15%。初发期白内障最常发生于皮质、囊下或 Y 型缝隙。未熟期白内障是白内障发展的下一个阶段，

突出特征是并没有形成浓厚的白内障，可以见到部分眼底反射，并且缺少过熟期白内障的特征。处于未熟期时，由于渗透压的作用，晶状体开始吸收水分并逐渐膨大。成熟期白内障通常会累及整个晶状体，这时，无法见到眼底反射。

白内障若继续发展，将进入过熟期。此时，变性的晶状体纤维释放降解酶，从而进一步降解晶状体蛋白，这种情况最常发生于皮质区域。这些溶解的晶状体蛋白和水分穿过完整的晶状体囊进入房水，晶状体逐渐变小，前囊逐渐皱缩，变得不规则。晶状体蛋白诱发的葡萄膜炎是最常见的并发症。白内障液化、吸收后，可能又会见到眼底反射，且前房深度也会增加。过熟期白内障继续发展，晶状体核由于重力作用，会沉降在囊袋腹侧<sup>[27]</sup>。

#### 1.1.2.4 白内障的临床特征

一般散瞳后，凭外界光源便可粗略发现初发期和未熟期白内障，且注意观察白内障对眼底反射光线的阻碍程度。初发期和未熟期白内障，由于仅阻碍了部分眼底光源的反射，因此瞳孔仍呈棕色或黑色。如果整个晶状体全部发生了白内障，那么就无法通过外界光源或检眼镜观察到眼底反射。过熟期白内障通常会造成前房深度增加以及严重的晶状体介导性葡萄膜炎。

#### 1.1.3 白内障的检查

术前应实施全面的眼科检查。这包括角膜前泪膜的评估、附属器解剖功能，以及眼球本身。应评估瞳孔瞬目反应、直接和间接瞳孔对光反射（Pupillary light reflex, PLR）以及眼内压（Intraocular pressure, IOP）。低 IOP 提示晶状体介导性葡萄膜炎（Lens induced uveitis, LIU），而高于正常的 IOP 提示早期原发性或继发性青光眼。如果 IOP 正常，可以通过散瞳剂扩张瞳孔，实施裂隙灯生物显微镜和间接检眼镜检查。检查角膜混浊度，以免妨碍术中眼内结构的可视化。此外，角膜水肿提示角膜内皮功能障碍，手术可能使其加重。虹膜色素沉着过多，粘连，或外翻的葡萄膜提示慢性 LIU。检查前房房水闪辉、角膜后沉着物或玻璃体条带的存在。晶状体混浊的特征与白内障的分期和位置有关，检查晶状体的再吸收迹象、囊袋纤维化或斑块、囊袋褶皱、或晶状体不稳定。过熟期白内障、老年性白内障、前房内玻璃体、晶状体震颤或无晶状体新月体，均提示潜在的晶状体不稳定性，术前必须注意并做计划。前囊褶皱、纤维化或斑块提示后囊可能存在同样的情况，可能需要计划连续撕脱后囊膜（Planned continuous tear posterior capsule, PCTPC）。前囊褶皱也会导致前囊撕囊术困难，可能需要囊膜切开剪来处理。眼底应行间接检眼镜检查，评估视网膜血管系统、毯部反射性和视神经，以及评估视网膜撕裂或脱离的可能性。房角镜检查基于医师的判断。

虽然没有文献证明术前存在虹膜角膜角 (Iridocorneal angle, ICA) 异常与术后即刻高眼压或长期青光眼之间的相关性, 但对异常角度的认知可能会改变一些术者的手术通路或预后评估。

#### 1.1.3.1 裂隙灯显微镜检查

分为直接照明和反光照明。经复方托吡卡胺点眼散瞳后, 用裂隙灯显微镜检查晶状体, 鉴别白内障与核硬化。直接照明 (弥散光和裂隙光): 直接以光线照射眼睛, 将待观察部分与焦点相合, 也称直接焦点照明。弥散光照明: 手持裂隙灯使用弥散光, 从颞侧直接照射晶状体, 仔细检查晶状体混浊区域。裂隙光照明: 手持裂隙灯使用裂隙光, 从耳侧直接照射晶状体, 根据 Purkinje-Sanson 氏映像原理, 可以立体式检查晶状体内的混浊部分<sup>[28]</sup>。裂隙灯检查采用窄光带 (0.1~0.2 mm), 但检查晶状体时可随机应变, 也要灵活利用宽光带 (0.8 mm)。晶状体是一个凸透镜, 可以出现光轴翻转。以裂隙光成 30~45° 角度照射, 可在眼中看到三个反射像, 最前方的是角膜、中间是晶状体前囊、后面是晶状体后囊; 反光照明: 将观察光线照射到视网膜或毯部, 利用其反射光 (间接光) 观察待检部分, 也称间接焦点照射。将裂隙光置于和检查者视轴成 0° 的位置, 可从平面仔细检查晶状体的混浊部分。固定焦点, 通过检查者的移动, 让反射光的焦点分别落在晶状体前囊、皮质、后囊上。

#### 1.1.3.2 超声检查

此外的检查应包括 B 超扫描和高分辨率超声 (HRUS, 20 MHz) 及超声生物显微镜 (UBM, 50~100 MHz) 扫描。当白内障无法检查眼底时, 可在点眼麻醉下直接扫查, 用超声确认眼球是否有解剖结构的异常。检查是否发生视网膜脱落、晶状体囊膜破裂等。还可测定成熟期膨胀性白内障的晶状体大小, 提高诊断的准确性<sup>[29]</sup>。具有 10 MHz 的 B 超探头用于评估玻璃体变性/星状玻璃体病变、视网膜脱落、后圆锥形晶状体、晶状体血管膜持续增生症 (Persistent hyperplastic tunica vsculosa lentis, PHTVL) /原始玻璃体持续增生症 (Persistent hyperplastic primary vitreous, PHPV), 晶状体和眼球轴长, 以及自发性晶状体囊破裂的存在。已表明玻璃体变性和视网膜脱落的发病率会随着白内障的进展而增加。眼前节的评估, 特别是 ICA 和房角开放距离 (Angle opening distance, AOD), 可用 HRUS 或 UBM 进行。已提出 ICA 和 AOD 可能与术后高眼压的发展有关。

如符合上述标准则应实施定量视网膜电图 (Electroretinogram, ERG) 以确定视网膜功能并评估进行性视网膜萎缩 (Progressive retinal atrophy, PRA) 的可能性<sup>[30]</sup>。明视觉和暗视觉的数值都应确定, 异常低的数值必须结合动物的年龄和品种来考虑。

虽然 PRA 患者并不是良好的手术候选者，但如让主人知晓术后视力的预期，那么有轻度老年性视网膜萎缩的动物是可以手术的。此外，一些糖尿病、LIU、以及成熟期白内障动物，术前 ERG 降低，但术后眼底检查和视力测试均正常。

是否进行白内障手术以及对单眼或双眼进行手术的决定，与术者的个人偏好有关，这反映了对预期视力的改善与术后大量并发症风险之间的平衡。手术技术的改进，对 IOL 植入和预期结果有重要影响，许多动物的初期白内障最终会发展为完全白内障的状态，现在已把重点转移到移除早期白内障，而非晚期。超声乳化术后结果的回顾性研究表明，与那些成熟期和过熟期白内障相比，未熟期白内障在统计学上有更高的成功率。长期存在的白内障伴有 LIU、囊膜斑块和悬韧带不稳定，所有这些都增加术中和术后的并发症和降低视功能。此外，一些报告已表明，过熟期白内障在术前和术后均有孔源性视网膜脱落并增加了过熟期白内障术后青光眼的可能性。当白内障是双侧出现时，在不使双眼处于相同术中风险因素的基本原理下（如细菌污染、眼内炎），有时是实施单侧手术。单侧手术相对价廉，且单眼视力通常可使动物留有基本的视功能。双侧白内障动物实施单侧手术的担忧在于，未手术眼仍有慢性 LIU、晶状体脱位、视网膜脱落、以及青光眼的风险，并且仍需药物或手术介入。相反，与两次单侧手术的那些相比，双侧手术具有在一次麻醉期和康复期恢复双眼视力的优点，与实施两次单侧手术的费用相比，整体成本更低。

#### 1.1.4 白内障的治疗

在人和犬、猫、马，以及野生动物的眼科临床，手术是目前能够有效治疗白内障并恢复视力的唯一方法<sup>[31]</sup>。近年来白内障手术发生了巨大的变化，包括在手术技术、眼科药理学、抗炎药的有效性、粘弹剂和超声乳化术等方面，以及关于动物人工晶体（Intraocular lens, IOL）植入的新进展。即使有这些显著变化，白内障手术仍然维持着一个基本程序，结果的成功取决于对细节的关注、术者的技术和经验、以及合适的患者选择。白内障术者的目标，应是依靠精细的组织处理并使用最低限度的药物，缩短手术时间，以及更小切口来提高成功率。为免发生手术并发症，做好术前准备仍是必要的。术前使用抗炎药、术前和术中散瞳、合适的患者体位、恰当使用放大设备，以及粘弹剂和非去极化神经肌肉阻断剂的使用都是减少并发症的步骤。

##### 1.1.4.1 术前并发症

白内障手术前，或许会发生与白内障相关的眼部变化，可能导致手术方式或术后结果的改变。这些改变通常由白内障的阶段与持续时间、动物年龄，以及 LIU 造成。常见的术前并发症包括：自发性晶状体囊破裂、高 IOP、LIU、糖尿病、前房内出现

玻璃体、晶状体半脱位和后粘连等<sup>[32-34]</sup>。这些变化会影响白内障手术的通路和成功，但在大多情况下，已无需排除这些病患。LIU 最好通过晶状体摘除术治疗，可清除后粘连，填塞或移除前房内的玻璃体。虽然这些患眼需要长期的术后局部抗炎治疗，且更有可能在 IOL 上有炎症细胞沉积，但糖尿病引起的白内障与非糖尿病性白内障有相似的预后结果。自发性晶状体囊破裂也是糖尿病的一种并发症，且需紧急白内障手术。除了以上提到的那些并发症外，尽管会遇到障碍，我们必须准备好处理意外和潜在的毁灭性眼内并发症，以确保结果的成功。其他术前关注点可能包括：先天性眼内异常、晶状体半脱位/脱位、粘连、角膜混浊、不受控制的干性角膜结膜炎、玻璃体变性、部分视网膜脱落或其他可能妨碍术中或术后成功的异常。可能与白内障有关的先天性异常包括持续性瞳孔膜、持续性玻璃体动脉、PHTVL/PHPV、后圆锥形晶状体、小晶状体、晶状体缺损、小眼球，以及其他类似的异常。这种异常的存在可能需要手术技术的调整，额外的术中程序如 PCTPC，以及 IOL 尺寸和设计的变化。玻璃体变性的存在可能影响术者是否进行 PCTPC 的决定。最后，诸如高 IOP 或视网膜脱落这些影响对侧眼的异常，可能建议需要分别进行预防性环光消融或视网膜固定术。

为使手术结果的成功率更高，合适的患者选择是必要的。首先，进行完整的病史和全身检查，以评估是否存在与白内障（如糖尿病）、可能影响麻醉（肾脏、肝脏和心脏疾病）、可能改变术后结果（睑缘炎、高眼压）或预期寿命相关的全身性疾病。其次，需要完整的视力病史和眼科检查。当首次发现白内障和注意到视力改变时应确定视力病史。必须特别注意在白内障发病之前的视力丧失或者提示有夜盲症的病史。患者的性格也很重要，因为术后药物治疗和限制运动对于结果的成功是必需的。易怒和好斗的动物会出现术后药物治疗问题。

白内障手术是一种选择性手术，因为部分动物可能会适应失明。但须谨记，如果主人选择不做白内障手术，须对晶状体引起并发症的患者长期监控，诸如 LIU、继发性青光眼、视网膜脱落和晶状体脱位。未施手术的白内障年轻动物可能自行消融其白内障并恢复无晶状体的视力，已有一例糖尿病性白内障自发性再吸收的描述。但是主人必须明白，所有决策都有风险。在一项对犬白内障的研究中，比较了不治疗、局部药物治疗和超声乳化术治疗，发现未接受治疗眼的失败率分别是药物和手术治疗眼的 65 倍和 255 倍。此外，与那些手术治疗的对比，药物治疗眼的失败程度是其 4 倍。手术失败包括眼球疼痛、青光眼、晶状体脱位、摘除，以及术眼失明。与成熟期和过熟期白内障相比，未熟期白内障的手术结果更好。结论是，早期的手术介入与最高的成功性相关，那些没有经历超声乳化术的动物应使用局部抗炎药管理。此外，一项涉及犬的回顾性研究，评估了犬继发性青光眼的危险因素。继发性青光眼病例中，非手术性葡萄膜炎占 44.9%，白内障占 2.5%。虽然没有进行特别的评估，但认为这些葡

萄膜炎病例中的一部分是继发于 LIU<sup>[35]</sup>。

#### 1.1.4.2 手术设备与基本技术

白内障手术适用于与白内障相关的视力下降或即将丧失视力的进行性白内障。随着 IOL 的引入，也可为单侧白内障病例提供白内障手术以恢复双侧屈光正常。一般来说，轴性晶状体混浊会导致更严重的视觉干扰，且前部和赤道部皮质混浊更有可能呈渐进性。

白内障手术的成功取决于术者的技术和妥当的术前与术后治疗，但也严重依赖于恰当的设备使用。显微外科器械、手术显微镜、白内障超声乳化仪、自动灌注/抽吸（Inspiration/Aspiration, I/A）机和玻璃体切除功能是实施手术的必要条件。此外，许多术者选择在术中使用非去极化神经肌肉阻断剂麻醉动物；这需要使用呼吸机和额外的监测设备。未使用该设备且不了解使用这些设备的使用方法和技术，将导致手术成功率明显降低。

超声乳化术是兽医眼科学公认的白内障手术治疗方法<sup>[36]</sup>。对于大多数白内障术者，基本技术是单手操作，采用自动 I/A 进行同轴囊内超声乳化，然后植入聚甲基丙烯酸甲酯（Polymethyl methacrylate, PMMA）或折叠型丙烯酸 IOL。这方面的改进包括双手操作技术，第二器械为劈核刀或定位钩或真正的手超声乳化术，第二器械也是一个灌注器，超声乳化手柄只有超声和抽吸功能。

#### 1.1.4.3 单手超声乳化术

大多数白内障术者首先使用单手同轴技术来实施囊内超声乳化术。这允许非惯用手能够用镊子抓住并操控眼球，术者将所有注意力集中于眼内的一个器械上。这个过程与双手操作不同，不涉及水分离或碎核。在连续环形撕囊（Continuous tear curvilinear capsulorhexis, CTCC）之后，将超乳手柄引入前房。由于眼内只有一种器械，不进行水分离，而是当超声乳化针头吸引皮质与核时，依靠晶状体囊粘附以稳定晶状体来替代。单手技术有三个步骤，中心蚀刻、核的旋转，以及移除残余的中央与深部核。

经典的“分而治之”技术原本是一种双手技术，但也可改为单手技术，将晶状体部分呈扇形切开，旋转核，重复切开，以便可以一次移除几部分晶状体。一种称为 V 型超声乳化术的技术最近已有描述，并且无需水分离。在这种技术中，分别从 12 点钟位到 4 点和 8 点钟位制作两条深槽，以隔离中部碎片，在悬韧带上不形成过大压力，然后安全移除。

#### 1.1.4.4 双手超声乳化术

双手超声乳化术的标准概念是使用第二器械以操控、稳定、分割、切削或旋转晶

状体。第二器械是术者非惯用手的一侧穿过距离初始切口  $70^\circ$  制作 1 mm 切口。第二切口在手术开始时制作, 或者如果需要, 也可在碎化过程的任何时候将单手程序转换为双手方法。双手技术的优点是, 允许术者有更多的选择来破裂和分割晶状体。这依靠碎核技术, 将核细分为更小的碎块, 可在靠近瞳孔中央远离后囊处乳化。根据使用的技术, 碎核可采用混合型或单纯型。混合型碎核, 蚀刻深槽用超声乳化针头与劈核钩破裂晶状体并在每个象限重复该过程。单纯型碎核技术中使用劈核钩, 在过程开始时进行机械性碎核。这对老年动物的硬性白内障和不稳定晶状体尤为有效。

另外, 当超乳针头打碎并将碎片送入超声乳化针内时, 可用第二器械稳定晶状体, 以减少超声乳化的总时间和总能量。双手技术的难点是术者必须对眼内的两种器械负责。当不使用第二器械时, 必须将其回缩至前房, 以免无意间损伤晶状体后囊。用于操控晶状体的器械取决于术者的偏好和擅长技术。这些器械可以是直的或弯的, 针头形状各异, 从简单的旋转器到专门设计的切削装置。有各种各样的技术或演练, 术者应熟悉多种技术, 以最有效的方式应对每一台白内障手术。

近年小切口眼科手术的创新之一是双侧微切口超声乳化术(也常被称为双侧微切口超声乳化术或冷超乳)的发展。采用这种技术, 通过两个 1.0~1.5 mm 的切口进行手术, 灌注液从超声乳化手柄中转移, 并连接到第二器械上, 如劈核钩。采用 Whitestar 技术进行双侧微切口超声乳化术的主要优点是, 当在几乎完全封闭的前房手术时, 该技术增强了术中的控制和稳定性。从超声乳化术中转移灌注管路的能力依赖于 Whitestar 的微脉冲技术, 其具有高频脉冲和微爆破模式, 能够冷却超乳针头, 并允许术者在不用灌注袖套时进行双侧微切口超声乳化术。由于没有灌注袖套, 使得切口尺寸减小。对第二器械附加灌注, 可使灌注指向术者选择的方向进行注射, 并改善晶状体碎片到抽吸孔的移动。微脉冲超声乳化术虽然也被称为冷超声乳化术, 但其并不“冷”。这是由于 Whitestar 技术的快速开/关循环, 降低了能量消耗, 进一步减少了扩散力, 驱使核碎片远离超乳针头。虽然在其他技术中, 超声总是推动核碎片远离, 但 Whitestar 技术的超声脉冲较短, 吸力占优势。为使用微切口技术, 已设计一种新器械以通过 1 mm 切口操作。

总之, 在实施白内障超声乳化术的过程中, 手术时间、灌注量、超声功率和时间、湍流、前房弹性或塌陷, 都可造成眼部损伤, 并与术中及术后并发症有关。术者须尽快移除晶状体植入 IOL 并快速退出切口。新型的超声乳化仪、锋利的切割针头、Kelman 或喇叭形切割针头、双手技术和折叠型 IOL 都有助于实现这一目标。必须熟悉手术设备并知晓如何及何时调整设置以使效率最大化。此外, 一个装备良好的显微外科包和手术显微镜是成功的关键。术者必须使用这些仪器增加 CTCC、超声乳化术和囊膜抛光的放大倍率, 进一步优化手术结果。

目前在国内外兽医眼科临床, 经历过白内障手术的物种仍以犬、猫、兔等伴侣动物为主, 关于虎、豹、龟等野生动物以及猫头鹰等猛禽的白内障手术报道<sup>[36]</sup>, 国外也多于国内, 对鸽眼白内障手术的报道, 未见公开发表。

#### 1.1.4.5 鸟类的白内障手术

2016年本人对患有单眼白内障的1只红喉歌鸲和2只蓝喉歌鸲(体重<25 g, 体型小如麻雀)实施了超声乳化术治疗。术后回访, 主诉红喉歌鸲视力未恢复, 2只蓝喉歌鸲的视力明显改善。在手术前对器械规格、手术方式、麻醉条件、术后护理等多方面进行了相应探索和改进。现有的白内障手术器械, 规格尺寸均与该品种鸟类角膜外径(3 mm)不匹配。其前房空间过于狭小, 无法容纳现有器械或自由操作, 术后极有可能产生剧烈的葡萄膜炎, 直接影响手术效果。且目前尚缺乏专供小型鸟类白内障手术使用的人工晶体, 无法确切评估手术的预后视力。在麻醉方面, 因为鸟类独特的主动呼吸方式且自身代谢快, 手术过程中热量流失严重, 所以术后体况大多较差。这些都使得鸟类的全身麻醉难以实施, 也是全麻难度大于哺乳动物的主要因素。甚者, 如对麻醉给药量的精准度掌控不当, 极有可能发生麻醉意外甚至死亡。同时要作好术中保温, 动物体积越小相对表面积越大, 热量损失也相对越严重。3例患鸟均属小型雀鸟, 接触散热可在数分钟内导致动物核心体温下降造成死亡。遂在术中使用了恒温热枕提供持续的控温加热, 保证动物体温处于恒定范围内。术后护理采取笼中静养, 常规点眼, 当日自由饮水, 食用蜘蛛和虫料, 迅速补充体内蛋白。这是因为鸟类代谢率高, 可造成营养流失, 术前禁食会引发术中低血糖。对于此类雀鸟, 术前仅需禁食2~3 h即可。术后应立即补充电解质及营养物质以弥补手术引起的营养流失, 避免术后死亡。2例蓝喉歌鸲均于术前3 h提供高能量饲料并保证自由饮水, 维持了术中正常代谢。

随着经验积累, 在临床也开始接诊信鸽的眼科病例, 逐渐发现白内障在信鸽眼病中占据一定比例, 遂再次探索和改进了麻醉条件、手术方式、器械规格、术后护理等各环节。通过前期预实验, 在麻醉方面, 先用麻醉箱对信鸽进行诱导麻醉, 后用气管插管实施吸入麻醉。麻醉过程中装载终末二氧化碳报警器与心电监护仪并配有麻醉师, 手术全程可平稳维持。手术方面, 配备了适用于鸽眼尺寸的改良型手术器械, 探头外径为1.6mm的Bimanual超乳针头及手柄, 同时优化了现有设施与环境。

从哺乳动物(犬、猫、兔)到鸟类飞禽(雀鸟、信鸽), 不仅手术对象跨越了物种, 围手术期的要求也历经转换。术后信鸽虽能完成饮水采食等基础行为, 但因缺乏人工晶体, 无法调节远近视觉, 所以术后视力仍未及预期。鉴于此, 亟待开发一款符合鸽眼解剖学与光学性能的人工晶体, 改善信鸽白内障术后的视觉质量。

### 1.1.5 人工晶体

第一枚现代 IOL 是 1949 年由 Harold Ridley 医师植入于人。从那时起, 关于 IOL 的设计、构成材料和植入位置发生了很大变化。在人 IOL 的构成中最常使用的生物材料是 PMMA、丙烯酸(亲水和疏水)、硅胶和水凝胶<sup>[37]</sup>。

现在由各种生物相容性材料设计构成的多款 IOL, 可供兽医白内障术者使用。目前标准的犬 IOL 是植入于囊袋中, 由 PMMA 或丙烯酸材料制成。硅胶 IOL 的植入在犬也已有描述。已表明犬白内障术后无晶状体是 14 D 的远视。犬晶状体的平均直径约为 12 mm, 最常用于单片 PMMA 的犬 IOL 襻长度为 15~17 mm, 丙烯酸 IOL 是 12~14 mm, 实际长度取决于术者的个人偏好, 植入眼的尺寸, 以及襻的记忆程度。大多数犬 IOL 的光学直径为 7 mm, 屈光力为 41D。PMMA 型 IOL, 双凸面的光学部和襻向前的角度设计支持光学部接触后囊, 且有助于减少晶状体上皮细胞(Lens epithelial cell, LEC)移行的严重程度和后囊混浊(Posterior capsular opacification, PCO), 丙烯酸 IOL 是设计为单环或多环尖端或方形边缘至光学部, 以抑制 LEC 移行和视轴的 PCO。在光学部或襻上的拨动孔可用于一些设计中, 该设计便于插入和操控 IOL, 或在特定情况下连接缝线以固定。在美国的人医眼科, IOL 设计和制造是由 FDA 监管, 兽医眼科医师应以同样标准维持管控动物的 IOL, 以免制造低廉、表面抛光不足、襻与光学部连接缺陷、消毒不当, 或存在残余抛光化合物的 IOL 等有关问题。此外, 术者应记录 IOL 的制造商、批号、以及植入日期, 以便出现问题时允许追踪。

虽然构成人工晶体的材质有如上述, 但现阶段在欧美和日本等国外兽医眼科临床, 对于犬、猫、兔等伴侣动物的白内障手术, 仍以植入亲水性丙烯酸酯材质的 IOL 为主。关于老虎、雪豹等野生动物的人工晶体, 也已经可以根据物种术眼的实际情况、已有文献的研究数据并结合手术的具体需求进行订制<sup>[38, 39]</sup>。经文献检索与信息查询, 目前关于鸽眼人工晶体设计与研发的国内外文献, 未见公开发表。也未发现对鸽眼白内障手术的任何报道, 仅有猫头鹰等猛禽白内障手术的文章资料。由此可见, 鸽眼的白内障治疗及人工晶体设计研发仍属空白领域。

#### 1.1.5.1 人工晶体研究进展

人工晶体的设计是以(兽)医师和(动物)患者的需求为最终导向。二者追求的安全性、稳定性和有效性, 需从材料、结构和光学设计三方面入手, 最大程度和最满足临床核心需求。三要素中, 首要关键为构成人工晶体的材料, 材料的安全与稳定性是一切后续设计的基础。

材料: 人工晶体的材料发展经历了漫长过程, 最大进步就是从硬性 PMMA 材料

发展为软性的可折叠材料，此后进入了硅胶、疏水与亲水可折叠的共存时代，现应用广泛的材料是亲水性和疏水性丙烯酸酯。其中亲水材料的优势是易加工和表面润滑性好，无需冷冻切割，合格率高，生产门槛低。另因材料本身的柔润性，植入时与推注器的摩擦力小，可耐受较大变形，利于小切口，但材料本身弹性较大，容易损伤囊袋；疏水材料因需冷冻切割，加工难度大，生产门槛高。润滑性比亲水材料差，植入时会产生较大的推注阻力，但材料弹性较小，植入时不易损伤囊袋。且疏水材料的屈光指数可达 1.55 甚至更高，高于亲水材料的 1.46，因此可使人工晶体更薄<sup>[40]</sup>。

**结构：**机械结构方面的设计考量也是非常重要的因素，决定了人工晶体的支撑性，并对术后远期效果产生显著影响（如后发障的发生率）。

**襻形：**亲水性人工晶体一般采用四角襻和板型襻，疏水性人工晶体多采用 C 形襻和 L 形襻，这是基于材料自身特性决定的。亲水性丙烯酸酯相对较软，支撑力小，需要四角襻或板形襻提供足够的支撑力，而这种厚重的襻形在囊袋内的变形空间有限，囊袋适应性差，所以会在亲水晶体襻的表面做些镂空设计，以提高襻在囊袋内的适应性；疏水性丙烯酸酯相对较硬，支撑力好，做成板型襻会造成体积大、折叠张力强、囊袋适应性差，所以 C 形襻或 L 形襻这种简单结构设计即可满足人工晶体的支撑需求，且由于该襻形可因受力而变形，因此具有良好的囊袋适应性。

**边缘：**后发障是人工晶体术后的最常见问题。首先，大量文献证明锐利的方形边缘可以阻止晶状体上皮细胞移行，降低后发障几率。其次，方边必须呈 360° 连续性（见图 1-4），即使在襻根部的方边仍与主体方边是连续的。因为只有连续的方边才能全方位阻止残留的晶状体上皮细胞向人工晶体后方生长<sup>[41, 42]</sup>。

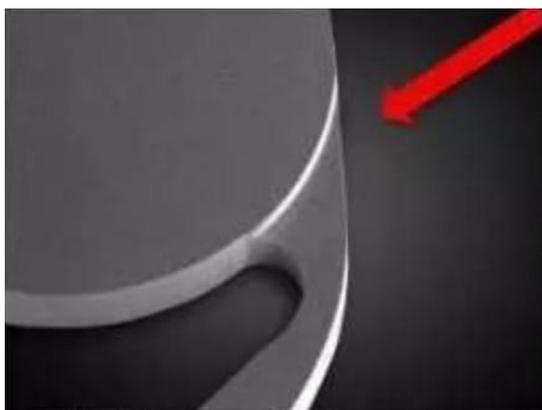


图 1-4 360° 连续方边<sup>[42]</sup>

Figure 1-4 Continuous side edge

**主体面形：**理论认为采用球面设计的人工晶体球差较小，后凸明显的设计更加符合鸽眼自然晶状体形态，可使后囊更迅速更紧密地向人工晶体贴附，从而降低后发障的几率，获得更优秀的光学质量。

光学设计：手术植入人工晶体时会面临各种情况，包括角度倾斜和偏心等，一般很难做到与视轴中心完全重合，从而产生非对称性像差，降低人工晶体眼的光学表现。由于传统的球面人工晶体中心较厚，手术切口较大，不利于伤口快速愈合，所以降低人工晶体的厚度也是本研究的设计工作之一，期望达到一种光学质量和工艺水准均为高品质，并能实现人工晶体平面化和轻薄化的理想方式。

总之，理想的人工晶体设计至少应包括：焦距明确，成像清晰，无炫光无光晕，为接近动物的自然晶状体形状而采用凸面设计，自身具有一定拮抗倾斜和偏心的能力，并在人工晶体表面进行肝素处理，以使植入环境的容差能力得到优化。

### 1.1.5.2 人工晶体设计

在确定设计方案的同时，人工晶体的研发还需获得构成其各部位的关键参数。这就需要正常鸽眼的解剖结构进行分析与数据采集。与犬猫等哺乳动物相似，鸽眼的屈光介质也由角膜、房水、晶状体、玻璃体组成。其中，晶状体数据是临床研发人工晶体的关键参数，即：正常晶状体的赤道部直径、前后极轴长，以及晶状体屈光力。在目前人类医学的眼科临床中，大多通过使用人工晶体生物测量仪来选择符合术眼解剖学与光学条件的人工晶体。在术前检查病人时即可确定人工晶体的型号和款式，技术成熟且应用多年。鉴于此，便对本研究产生了将该技术用于获得鸽眼生理参数的想法，但经预实验发现，由于信鸽眼球体积明显小于人眼体积，从而导致人工晶体生物测量仪无法识别鸽眼，因此未能使用该方法获得鸽眼数据。根据多年临床实践，超声可测量人和动物的眼组织，遂拟将该法用于鸽眼。且经文献检索发现，通过视网膜检影理论和检查技术有望客观获得鸽眼的晶状体屈光力。

超声测量：眼科超声诊断仪是用于眼内疾病诊断和眼部生物结构参数测量的专用设备，亦称眼科 AB 超。眼科 A 超在眼科超声诊断中是采用超声测距原理，通过测量眼球不同组织的界面反射波的时间间隔，计算其距离。眼科 B 超成像的基本原理与通用 B 型超声诊断设备相同。与 A 型超声相比，B 型超声是一种更为精确的生物测量工具。一项关于马眼摘除的报道中，物理测量和 B 型超声测量的结果无显著差异。在另一项犬、牛、羊的眼球生物特征评估报道中，A 型和 B 型超声测量的结果同样无显著差异，且后者在操作技术上更为简便<sup>[43, 44]</sup>。B 型超声是目前眼科最常用的超声检查测量方式，属于二维灰阶图像，可将不同声阻抗差的组织界面回声，并将不同层次的灰阶呈现于显示器，构成二维声学切面图像。一般采用扇形或线阵扫描，眼科专用 B 超探头一般为扇形扫描。在探头表面以白线、白点或者凸点来标志扫描波束上缘位置。依据预期对眼内和眼眶组织结构检查的需要，常使用 13~25 MHz 的高频探头，其几何尺寸及声窗结构更适于眼组织。0~13 MHz 的眼科 B 超探头用于眼内和

眼眶组织的成像，13~25 MHz 的眼科 B 超探头用于提升对视网膜扫查的分辩能力，探测深度在 25 mm 以内。在涂抹耦合剂后，探头直接接触眼睑皮肤或角膜，对眼球和眼眶进行成像。B 型超声扫查眼球具有操作便捷、成像客观、图像清晰的特点。可根据不同的眼球状况形成声像图，如出现眼内异物时，图像会呈现为无强烈回声区域，能根据异物位置及尺寸客观表现出不同形状，如条带、团块、光斑等；如出现房水闪烁、白内障、晶状体全脱位等病变，声像图则会显示低回声、强回声及玻璃体内椭圆形光环等情况。总之，根据这些特定呈现的声像图，可对眼进行有效的检查和诊断，并对后续治疗提供直接帮助，因此在眼科临床检查方面具有很高的实用性。随着近年我国宠物市场的蓬勃发展以及老年动物的增加，超声技术也越来越广泛用于动物眼科。

**视网膜检影理论：**1859 年发现了人眼瞳孔中的映光，视网膜检影法随即发明，从此可以客观评估晶状体的屈光状态，之后视网膜检影法一直作为临床眼科学应用最广泛的客观验光技术之一<sup>[45]</sup>。视网膜检影是一种他觉法测量眼屈光状态的方法，是将平行通过的正弦波光源，经 45°放置的平面镜反射到被检眼的瞳孔内，穿过晶状体抵达视网膜，呈现明显的眼底反光，再由视网膜反射回检影镜，穿过检影孔而被检查者观察到。检查者的视线穿过平面镜的检影孔，窥见被检眼瞳孔内的反射光，通过调整平面镜的角度，观察眼底视网膜红光反射的具体状态，包括亮度、形态、方向、速度等，从客观角度测量评估晶状体的屈光状态。这种视网膜反光即为眼底红光反射，是检影分析的主要依据，人类和脊椎动物均有眼底红光反射。被检眼的屈光状态不同，由红光反射形成的顺动、逆动也会不同。检查者通过分析不同影动，通过多次更换不同度数的镜片来消解影动，直至达到中和点，能够中和的一个或多个叠加的镜片与被检眼的屈光状态紧密相关。在人的眼视光学，检查结果无需依赖被检者的语言反馈，儿童或智障者均可采用该法获得较为满意的结果。当今，电脑验光仪虽已被广泛应用于眼科临床，但大量的实践反馈和文献报道证实，电脑验光仪的测量结果往往比实际数值偏高，个别情况的误差甚至较大<sup>[46]</sup>。因此在人的临床眼科学上，电脑验光的数据结果并不能直接作为处方，还必须以小瞳孔检影的实际结果为依据进行镜片调试，复核后才可开具处方。

**视网膜检影技术：**根据视网膜检影理论设计的检查仪器称为检影镜，即视网膜镜，是一种能诊断眼屈光性质和测定各种屈光不正程度的客观验光仪器。该法客观，准确性高，可通过瞳孔观察被检眼视网膜映光的改变，根据情况随时掌握亮度、速度、形状、动向的变化。在人类医学，从婴幼儿到老年人，智听障碍或无法沟通者，均可广泛使用。采用静态检影验光技术的带状检影法，即使在瞳孔直径<1 mm 的情况下，仍可获得晶状体的屈光力<sup>[47]</sup>，但目前未见国内外用于动物医学的报道。

拟通过上述方法,在获得鸽眼正常晶状体的赤道部直径、前后极轴长以及晶状体屈光力等批量数据后,再经统计分析,理论上应可实施鸽眼人工晶体的初步设计。

#### 1.1.5.3 人工晶体植入术

超声乳化术毕,对残留皮质的 I/A 和晶状体囊抛光后,用粘弹剂扩张囊袋和前房,为植入 IOL 提供空间。如要植入 PMMA 型 IOL,需将角膜切口扩大以便植入,需用角膜切开剪完成。PMMA 型 IOL 是用 IOL 镊或其他相似类型的镊子抓持。用 IOL 镊抓持光学部,襻以反时钟方位朝向 6 点和 12 点钟并沿 12 点钟方向移动。腹侧襻和光学部经角膜切口及前部撕囊进入晶状体囊袋。当进入囊袋时,术者必须看到腹侧襻并使插入角度平坦,以避免损伤晶状体后囊。光学部被推进到撕囊的中点。植入术可用 IOL 定位钩完成,以顺时针方向拨动 IOL,使背侧襻带入晶状体囊袋中。IOL 在视轴中心,襻应位于 3 点和 9 点钟。另一种是使用打结镊朝着光学部折叠背侧襻,使其卷入囊袋中。如要植入折叠型丙烯酸 IOL,可以使用注射筒或 IOL 折叠镊。折叠型 IOL 可通过一个更小的切口植入,如使用注射筒,切口会更小。用打结镊抓持 IOL 持握于非惯用手手中。IOL 折叠镊握于惯用手手中,用于抓持和折叠 IOL 以便植入。IOL 从其最终方向旋转 90° 并经角膜切口插入。然后将镊子向后旋转直立,将腹侧襻置于晶状体囊内,光学部轴向面对破裂上方。缓慢地打开镊子,向晶状体后囊轻微移动,使 IOL 展开并指向后方。这样缓慢放置是为避免在 IOL 展开时出现类似弹簧样的动作。可用晶状体定位钩在囊袋中定位上方的襻。低粘度的粘弹剂用于填充筒,然后将带有 IOL 的筒置于注射器中。筒的尖端通过角膜切口,进入晶状体囊,刚好经过前部撕囊,并指向腹侧囊的赤道。以缓慢稳定的方式注射 IOL,术者注视着腹侧襻,当进入囊袋并浮现光学部时轻微收回注射器,以免对赤道囊膜产生压力,用晶状体定位钩插入。使用折叠型 IOL 的优点是切口更小以及在囊膜撕裂、玻璃体扩张和悬韧带不稳定的情况下能够植入 IOL,且使用边界分明的丙烯酸 IOL 可降低 PCO 的发生率。

#### 1.1.5.4 手术并发症

随着超声乳化术、小切口、自动 I/A、粘弹剂、改进的抗炎药以及 IOL 植入术的应用,近几十年来动物白内障手术的短期和长期效果均发生了显著改善。此外,与过去几十年用间断的恫吓瞬目反应相比,衡量手术成功的方式已转变为对屈光正常和视轴清晰的期待。虽然动物白内障手术的结果已有改善(85~95%或更高),但仍有发生术中和术后并发症的几率。

术中并发症:最好避免,但如发生也有处理方法,这将有助于术中并发症的管理。一些术中并发症可基于术前检查来预测。主要包括前囊纤维化、前房出现玻璃体、晶

状体不稳定、粘连、PHPV/PHTVL，或其他一些先前存在的情况，如：术中缩瞳、虹膜脱垂、术中出血、CTCC 过小、前囊放射状撕裂、后囊撕裂、囊袋抛光混浊、悬韧带断裂、气穴泡沫、玻璃体扩张综合征、玻璃体碎片等<sup>[48]</sup>。

术后并发症：根据白内障的阶段，术后的长期监测至关重要。白内障手术后数月甚至数年，可能会发生视网膜脱落、继发性青光眼、PCO、葡萄膜炎，以及其他并发症。有报道称，波士顿梗在超声乳化手术后致盲的风险增加。在一项研究中，采用囊外白内障摘除（Extracapsular cataract extraction, ECCE）的单侧和双侧晶状体切割术，以及另一项研究中，糖尿病和非糖尿病犬的术后结果相似。术后并发症包括短期和长期，常见的短期并发症有：术后伤口裂开、手术引起的角膜散光、角膜溃疡、角膜水肿和內皮失代偿、术后高眼压、前房积血、纤维蛋白、葡萄膜炎、急性眼內炎等。常见的长期并发症有：眼內炎、后囊混浊、IOL 偏心/囊袋外脱位、青光眼、视网膜脱落、角膜基质脓肿、上皮包涵体囊肿等<sup>[49]</sup>。

### 1.1.6 人工晶体的安全有效性评价

人工晶体临床应用的评估，目的是评价该产品是否具有预期的安全性和有效性。在人眼的临床试验中，评价安全性的指标就是术后各种并发症是否存在以及具体表现；评价有效性的最重要指标就是视力，即需要通过视力表进行评估，涉及屈光力的检查常以受试者的主观验光值为准<sup>[50-52]</sup>。但动物无法使用视力表或语言来表达主观验光值，因此仅能以动物的视觉反射作为视力的具体参考。如动物的各种视觉反射（恫吓瞬目反应、迷宫试验、炫目反射）、术后眼部表现、裂隙灯显微镜检查、前房炎症、人工晶体表现、后发障、眼底状况，以及眼內压等。

## 1.2 研究目的及意义

面对前述损失，本研究以信鸽为研究对象，探究鸽眼结构并采集数据，自主设计研发信鸽折叠型 IOL 并评价其安全性和有效性，以期通过临床的方法解决实际问题。

### 1.2.1 研究目的

结合信鸽的科研价值与商业需求，本研究通过探究鸽眼结构与眼组织测量分析，自主设计研发一款符合鸽眼解剖学与光学性能的折叠型人工晶体产品，评估其安全性和有效性，为治疗信鸽白内障提供一种临床新方案。

## 1.2.2 研究意义

自主研发鸽眼专用折叠型人工晶体产品可用于临床实践，开展信鸽白内障手术，使失明信鸽恢复视力，从而保障科研价值，避免经济损失。

## 1.3 研究内容及方法

在内容方法与技术路线的制定前，本研究面临如下困难：

- (1) 鸽眼体积小，现有设备难以观察眼内组织结构，多数检查方法不适用；
- (2) IOL 关键参数未知，文献未有记载，现有仪器无法测量；
- (3) 未见国内外对鸽眼实施晶状体手术的报道；
- (4) 缺乏对信鸽视力评估的方法与指标；
- (5) 鸟类的麻醉条件需要探索；
- (6) 现有眼科器械规格与鸽眼极不匹配。

### 1.3.1 研究内容

- (1) 完成信鸽的眼科临床检查及眼组织的数据测量；
- (2) 自主设计研发符合鸽眼解剖学与光学性能的折叠型人工晶体；
- (3) 折叠型人工晶体在鸽眼的临床应用及对超声乳化手术的评价；
- (4) 折叠型人工晶体在鸽眼术后的临床安全性与有效性评价。

### 1.3.2 研究方法

- (1) 对信鸽进行体格与眼的初步筛查，进而实施系统的眼科学检查；
- (2) 使用游标卡尺测量鸽眼角膜直径，通过 B 型超声采集眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长数据，借助检影镜客观获得晶状体屈光力数据；
- (3) 结合数据，从材料、结构和光学三方面入手，自主设计信鸽折叠型人工晶体的具体制备方案，研发符合鸽眼解剖学与光学性能的折叠型人工晶体产品；
- (4) 通过临床试验，探索对鸽眼实施超声乳化联合人工晶体植入术的具体条件，并根据术中并发症进行评价；
- (5) 进行术后护理与观察，根据术后并发症与鸽眼视觉反射评价折叠型人工晶体在鸽眼的临床安全性与有效性。

## 第二章 信鸽眼科学检查及眼组织数据采集

信鸽象征和平与友谊，全球组织林立，赛事经久不衰，极具商业价值。信鸽出色的导航能力主要依赖于自身视力，但在赛程远及数百甚至上千公里的户外竞翔中，常年受紫外线照射或群居争斗引发咬啄性外伤，致使信鸽的眼病颇为多见，患病率为 7.6%<sup>[5]</sup>，其中白内障的患病率更高达 53.7%<sup>[6-8]</sup>。患有白内障的信鸽，因视力下降失明无法参赛，从而造成经济损失。手术是治疗人和动物白内障并恢复视力的有效手段，本人在临床也开展了对信鸽白内障病例的超声乳化术探索，并对麻醉条件、手术方式、器械规格、术后护理等各项环节进行了相应的探索和改进。术后信鸽虽能完成饮水采食等基础行为，但因无人工晶体，仍未恢复正常的生理状态。鉴于此，本试验旨在通过对鸽眼组织的具体检查与数据采集，获取自然状态下正常鸽眼的生理数据，并对筛选后的健康成年信鸽进行双眼泪液量、角膜荧光素钠染色、眼压测量、比色瞳孔对光反射、裂隙灯显微镜、超声影像、眼底结构等眼科检查，确定眼球及晶状体等眼组织均无明显异常，对眼组织进行数据测量，包括：角膜直径、眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长，以及晶状体屈光力在内的 8 组数据。整理分析，为后续研发信鸽折叠型人工晶体的试验提供理论支撑。

### 2.1 材料与方法

#### 2.1.1 试验动物

选取活体信鸽 100 只（北京壹号鸽舍），标准：品种 *Columbia livia*，年龄 1~5 岁。已进行年度免疫，无传染性疾病和外伤史，无眼病和全身性疾病。最终选取雄鸽 59 只（BW：400~600g），雌鸽 41 只（BW：300~500g）。

#### 2.1.2 主要仪器

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| MAGLITE M2A 医用笔灯  | 美国 MAGLITE 公司        |
| BPI50 比色瞳孔对光反射检查仪 | 美国 RetinoGraphics 公司 |
| Tonovet 回弹式眼压计    | 芬兰爱凯有限责任公司           |
| Kowa15 裂隙灯生物显微镜   | 日本兴和株式会社             |
| 卤素光源便携式直接检眼镜      | 日本纳宜兹株式会社            |
| M7 VetB 型超声诊断仪    | 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司     |
| DL92150 游标卡尺      | 得力工具（余姚）有限公司         |

|        |               |
|--------|---------------|
| 带状光检影镜 | 苏州六六视觉有限公司    |
| 验光试镜片  | 丹阳市华辉光学仪器有限公司 |

### 2.1.3 主要试剂

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| 泪液检测酚红棉线        | 天津晶明新技术开发有限公司 |
| 荧光素钠眼科检测试纸      | 天津晶明新技术开发有限公司 |
| 0.9%NaCl 溶液     | 山东华鲁制药有限公司    |
| 一次性 5mL 注射器     | 江苏治宇医疗器材有限公司  |
| 0.5%复方托吡卡胺滴眼液   | 参天制药（中国）有限公司  |
| 0.4%奥布卡因滴眼液     | 参天制药（中国）有限公司  |
| TM-100 型医用超声耦合剂 | 天津津亚科技发展有限公司  |
| 医用纱布绷带条         | 江西中赣医疗器械有限公司  |

### 2.1.4 信鸽的饲养管理

确保信鸽的饲养环境与笼具的清洁干燥，处于阳光充足的方位，定期打扫和消毒。采用投喂的方法，尽可能降低信鸽的应激与抗拒。期间，用 0.9%NaCl 生理盐水点眼与常规眼科检查等方式进行适应性训练，使动物尽快熟悉各试验环节的操作步骤。对信鸽进行日常性放飞活动以维持其正常运动量，确保身体健康，自身免疫力正常。

### 2.1.5 体格与眼部筛查

之后对信鸽进行体格与眼部筛查，标准：眼部屈光介质（角膜、房水、晶状体、玻璃体）均呈透明，未有任何角膜炎症、葡萄膜炎、白内障、青光眼、视网膜病变等眼部异常。体检包括：体温、呼吸、心率，以及饮食、精神。眼部筛查包括：是否存在明显可见的眼部异常、损伤及斜视、有无眼分泌物。信鸽的行走步态，也是评估其视力状况的重要信息。健康动物双眼呈左右对称，因此在室内光线下视诊，要评估眼及眼睑等附属结构的状态是否左右对称。例如，两侧瞳孔大小不同，称瞳孔不对称；眼球视轴偏移，即斜视；眼球大小不同，则提示牛眼或眼球癆等疾病。通过触诊眼球周围可获得多种信息。在眼睑上方按压检查眼球，如果发生眼球穿孔，会像泄气的皮球一样；如发生青光眼，则眼球硬度异常增强。触及眼睑会诱发眼睑反射，可据此检查面神经（CN VII）是否存在异常。

### 2.1.6 信鸽眼科学检查

在同时符合上述两项标准的基础上，对 100 只（200 眼）信鸽进行系统眼科学检查，依次包括：眼睑反射、焦点光源检查、比色瞳孔对光反射、视觉反射检查（恫吓瞬目反应、迷宫试验、眩目反射）、眼压测量、泪液分泌量试验、眼表荧光素钠染色、裂隙灯生物显微镜活组织检查、眼底检查、眼部超声检查。

#### 2.1.6.1 眼睑反射

眼睑反射：触及眼睑可诱发眼睑反射，据此可检查面神经（CN VII）和眼睑功能是否存在异常。具体操作方法：在安静的暗室内，不使用镇静剂，常规手持保定信鸽，使其保持直立体位。检查者手指轻触信鸽眼睑，分别观察双侧眼睑有无任何反应，记录具体反射状况。

#### 2.1.6.2 焦点光源检查

旋转打开 MAGLITE M2A 医用笔灯的开关，调节适宜的光强度，利用焦点光源，照亮鸽眼内的阴影区域，辨别色素沉积、白色混浊、虹膜变色等眼部变化。另外，瞳孔对光反射检查，也在焦点光源下进行。分别照射信鸽双眼，仔细观察是否发生直接和间接瞳孔对光反射，记录两侧的瞳孔变化。

#### 2.1.6.3 比色瞳孔对光反射

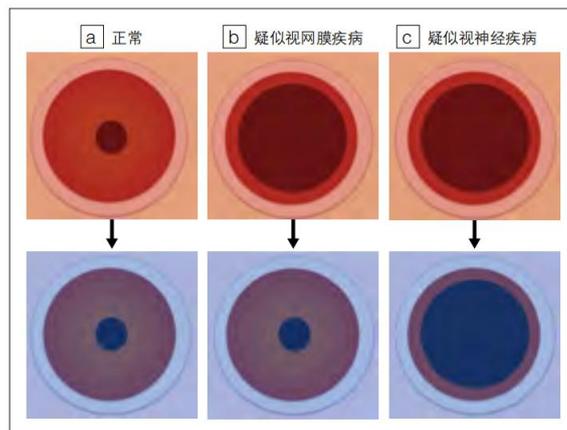


图 2-1 比色瞳孔对光反射<sup>[53]</sup>

Figure 2-1 Colorimetric of pupillary light reflex

比色瞳孔对光反射（colorimetric PLR, cPLR）检查（见图 2-1），分别采用红色（630 nm）和蓝色（480 nm）发光二极管照明，对视网膜和视神经疾病进行简易鉴别检查<sup>[53]</sup>。本试验使用的设备是 BPI50 比色瞳孔对光反射检查仪，具有红色和蓝色两种光源，每种光源分为高和低两个等级，分别是低强红光、高强

红光、低强蓝光、高强蓝光，高强红光和高强蓝光可用于比色瞳孔对光反射检查。先后用高强红光和高强蓝光分别照射信鸽双眼，观察并记录两侧瞳孔变化。

#### 2.1.6.4 视觉反射检查

**恫吓瞬目反应：**是一种检查动物有无视觉的方法<sup>[54]</sup>。遮住信鸽的对侧眼，用手快速接近被检眼，使用小型挡风板以免引起气流，仔细观察并记录鸽眼是否有瞬目反应。注意检查时不要触碰到羽毛，以免影响结果。

**迷宫试验：**使用纱布绷带条固定信鸽两翅以免随意飞翔，设置障碍迷路，使其在迷宫中步行，检查者在保持适当距离下驱赶。视力存在的情况下，不会撞上障碍物并顺利通过；视力减退或丧失的情况下，会撞上障碍物或边试探确认边小心步行。仔细观察并记录信鸽的行走状况。

**眩目反射：**突然被光线照射到，会诱发信鸽发生被动瞬目。该检查法为观察眼睑闭合的动作，但这是不经过大脑皮质介导的原始反射。因此大脑视觉皮质区损伤导致失明的动物仍有该反射残留。旋转打开 MAGLITE M2A 医用笔灯的开关，调至最大的光强度，利用其焦点光源，突然照射鸽眼，仔细观察并记录信鸽双眼是否发生被动瞬目。

#### 2.1.6.5 眼压测量

首先，使信鸽保持情绪稳定的状态。手握保定信鸽，勿对颈部和头部施加压力，以免眼压假性升高。每只信鸽都保持一种放松的姿势，翅膀轻轻压在身体上，在等待大约 5 min 后稳定下来后进行测量。检测者手持 Tonovet 回弹式眼压计，手腕套紧眼压计腕带固定，开机装载探针，将套管中的探针置于眼压计磁力轨道中；眼压计逐渐靠近待查眼，信鸽安静平视前方，不能抬头或低头。眼压计垂直朝向角膜中心靠近，探针尖端与眼角膜距离保持约 4~8 mm。在免局部麻醉状态下测量，轻按测量键执行，勿晃眼压计，探针尖端接触角膜中央（见图 2-2）。连续 6 次测量（前 5 次为测量值，第 6 次为前 5 次的平均值），如测量成功，会听到短促提示音。如测量有误，眼压计鸣响两次，提示错误，此时按测量键重新检测。完成 6 次测量后，会听到一声长音，显示屏将呈现眼压的最终平均值。按照上述方法，分别检测和记录信鸽双眼的眼压值。

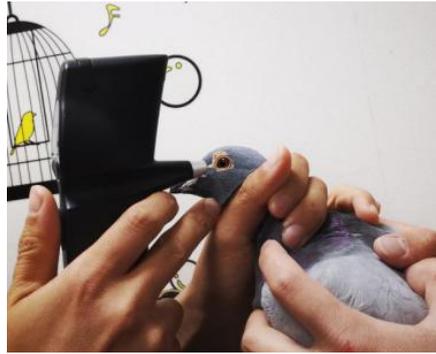


图 2-2 鸽的眼压测量

Figure 2-2 Measurement of intraocular pressure on pigeon

#### 2.1.6.6 泪液分泌量试验

将贮存于避光、室温干燥处的泪液检测酚红棉线包装袋撕开，取出内包装。将带有酚红颜色的一端折弯。撕开固定棉线的塑料膜，用镊子将酚红棉线取出。轻轻打开鸽眼下睑，将酚红棉线折端嵌入下眼睑结膜囊外侧 1/3 处，与角膜接触防止脱落，同时用电子秒表开始计时，测定泪液分泌量。测试时间为 15 s，每次测试一只眼。15 s 后轻轻取出酚红棉线。用包装袋背面的刻度尺测量从顶部到整个酚红棉线红色湿润部分，读取数值。

#### 2.1.6.7 角膜荧光素钠染色

先用 0.9%NaCl 生理盐水冲洗待检查的眼表，去除眼分泌物等杂质，以免影响结果判读。将贮存于室温、避光、阴凉干燥处的包装袋撕开，取出荧光素钠眼科检测试纸条。将其放入 5 mL 注射器内，抽吸无菌的 0.9%NaCl 生理盐水 5 mL，摇匀形成荧光素钠溶液。将注射器针头更换为留置针套管。用装有该溶液的注射器推注荧光素钠溶液 1 滴于信鸽的角膜表面。荧光素钠溶液点眼后，待信鸽自然瞬目，以使荧光素钠溶液均匀分布在眼球表面。之后用 0.9%NaCl 生理盐水冲洗眼表，去除荧光素钠溶液，以免判读为角膜溃疡假阳性。冲洗眼表后，染成荧光的黄绿色区域即为受损部分。暗室内用裂隙灯显微镜的钴蓝光照射染色眼，仔细观察并记录结果。判读参考：当疏水性的角膜上皮缺损时，水溶性的试剂会渗入角膜基质中；在钴蓝滤镜的蓝光下，溃疡部位发出绿色荧光，可显示出病变所在（见图 2-3）。角膜溃疡深及后弹力层时，因其疏水性而不着色。

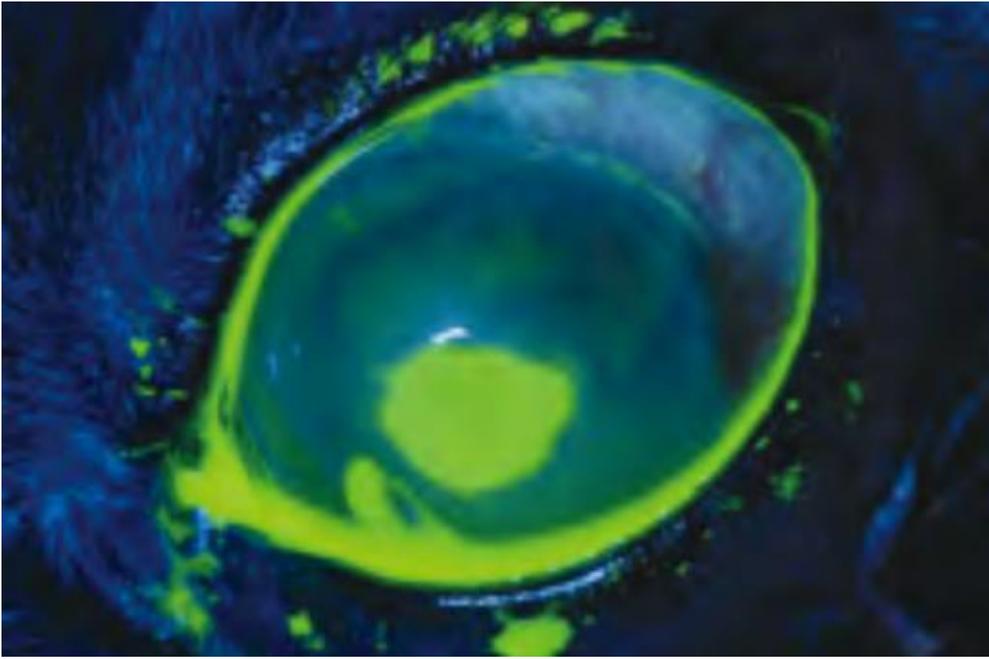


图 2-3 鸽眼的角膜荧光染色

Figure 2-3 Fluorescein staining of pigeon corneal

#### 2.1.6.8 裂隙灯生物显微镜活组织检查

使用 Kowa15 裂隙灯显微镜对信鸽分别检查：眼睑、瞬膜、结膜、角膜、巩膜、虹膜、前房、瞳孔、晶状体等眼组织。检查者手持裂隙灯显微镜，由于鸽眼体积较小，需将放大倍率调至 16 倍，同时打开裂隙光源进行检查（见图 2-4）。裂隙灯光源是宽 0.1~0.8 mm，长 5~12 mm 的狭长光束。将该光束照射信鸽眼表，可对眼球中的结构进行二维及三维检查。具体方法：裂隙灯的光源与检查者视轴呈 30~45°角，由信鸽头外侧照射眼部。检查者双目通过裂隙灯显微镜的目镜，首先在弥散光下观察眼睑、结膜、角膜、虹膜、晶状体，之后在裂隙光下观察角膜、眼前房、晶状体的三维结构。最后移动光源，与检查者的视轴呈 0°角照射，利用视网膜的逆向反射光，对中间屈光介质的混浊情况进行二维的评价，对结膜、角膜、虹膜、瞳孔、前房、晶状体等眼球结构进行具体评估，同时仔细观察鸽眼是否有房水闪辉、核硬化、白内障、晶状体脱位、虹膜肿胀/充血、角膜混浊程度/面积、结膜充血/水肿/分泌物、血管翳、荧光染色深度/面积等异常表现及表现的具体程度。参照 Hackett-McDonald 评分标准对检查结果进行分级评定，见表 2-1。



图 2-4 鸽眼的裂隙灯显微镜检查

Figure 2-4 Examination with slitlamp microscope of pigeon eye

表 2-1 Hackett-McDonald 评分标准<sup>[78]</sup>

Table 2-1 Evaluation standard of Hackett-McDonald

| Flare          | PLR                         | Lens         | Iritis   | Cornea                                 | Conjunctiva  |
|----------------|-----------------------------|--------------|--|--|--|
| 0 = Normal     | 0 = Normal                  | 0 = Normal   | 0 = Normal   | 0 = Normal                             | 0 = Normal   |
| 1 = Flare<lens | 1 = Sluggish                | 1 = Abnormal | 1 = Minimal secondary, no tertiary                                   | 1 = 1-25% area of stromal cloudiness   | 1 = Flushed reddish, no lid eversion, discharge present  |
| 2 = Flare=lens | 2 = Complete loss in reflex |              | 2 = Minimal-moderate secondary, minimal tertiary                     | 2 = 26-50% area of stromal cloudiness  | 2 = Bright red > 75%, lids misalign, upper > lower, discharge                                    |
| 3 = Flare>lens |                             |              | 3 = Moderate secondary, tertiary slight iris swelling                | 3 = 51-75% area of stromal cloudiness  | 3 = Petechial, hemorrhages, partial eversion, upper = lower, marked discharge on periocular skin |
|                |                             |              | 4 = Marked secondary, tertiary possible hyphema pronounced, swelling | 4 = 76-100% area of stromal cloudiness |  |

### 2.1.6.9 眼底检查

检查前准备：进行眼底检查前需要进行恫吓瞬目反应、瞳孔对光反射和比色瞳孔对光反射检查（见图 2-5），做出神经学的初步评价。具体方法：暗室内将 0.5%复方托吡卡胺滴眼液点入信鸽的结膜囊，进行散瞳，双眼各 1 滴，间隔 5 min 后第 2 次点眼。压迫泪囊部 2~3 min，以防经鼻粘膜吸收过多引发全身不良反应。5~10 min 后开始散瞳，15~20 min 瞳孔散得最大。此时使用直接检眼镜进行眼底检查。最大限度地打开防尘窗，直至其停止，然后打开光源。校准滤镜，观察眼底。检查信鸽的右眼时右手持检眼镜，检查者通过右眼来观察。同样检查左眼时用左手和左眼来观察。将食指扣住镜头盘的边缘，随时旋转镜头盘，另外四根手指握住手柄。将检眼镜头部放在鸽眼正面并能通过窥视孔清楚观察到检眼镜的摆放位置。看向远处的同时调整镜头盘，摆放到焦距合适的位置。减少调节影响并稳定动作，这点对眼底检查特别重要。检眼镜贴在检查者面部，与信鸽眼表保持 10 cm 的距离。将光照射至鸽眼瞳孔，此时可以看到信鸽眼底的红光反射。视野中保持这个红光反射的同时，检查者将面部和检眼镜一起慢慢靠近鸽眼，当距离瞳孔 1~2 cm 时，即可看清眼底结构。观察部位变化时，检眼镜和检查者面部一起移动，以鸽眼瞳孔为圆心，圆弧状地转动位置，不要让光源离开瞳孔。仔细观察并画出双眼的眼底图像。尽量减少照射到鸽眼底的光量，单眼照射时长不超过 10 min。参照表 2-2 评分标准对检查结果进行评定。



图 2-5 鸽眼的比色瞳孔对光反射检查

Figure 2-5 Examination with cPLR of pigeon eye

表 2-2 眼底检查评分标准

Table 2-2 Evaluation standard of fundus examination

| 分数 | 视网膜发育不良 | 视网膜变性 | 视网膜脱落 | 脉络膜出血 |
|----|---------|-------|-------|-------|
| 0  | 无明显异常   | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
| 1  | 轻度异常    | 轻度异常  | 轻度异常  | 轻度异常  |
| 2  | 中度异常    | 中度异常  | 中度异常  | 中度异常  |
| 3  | 重度异常    | 重度异常  | 重度异常  | 重度异常  |

### 2.1.6.10 眼部超声检查

眼部超声检查可用于观察评估眼球及眼眶内的结构状态。利用超声观察眼球内部，如：眼前部混浊等原因造成无法直接观察眼底的病例，具体可用于晶状体脱位、视网膜脱落、眼内肿瘤的诊断。另外也是眶内眼球突出的一种检查方法。人眼超声检查设备是眼科专用的超声检查装置，动物的眼科超声检查设备多属于通用型。

鸽眼超声检查采用的具体方法是（见图 2-6）：在安静的暗室内，不使用镇静剂，常规手持保定信鸽，使其保持直立体位。将 1 滴 0.4% 奥布卡因滴眼液点眼进行局部麻醉，在迈瑞 M7 Vet 动物专用 B 型超声的眼科探头（12 MHz）上涂抹少量低敏性超声检查用耦合剂，打开眼睑，探头直接接触眼球，对鸽眼分别进行冠状面和矢状面的扫查。探头上标识的位置，水平方向检查时放在外侧，垂直方向检查时朝向上方，以便把握影像中的位置关系。

扫查时探头分别以相对眼球水平和垂直的两种方向接触眼球，按照结构层次有序进行，先对眼内结构扫查，具体包括：角膜、巩膜；中层的虹膜、睫状体、脉络膜及内层的视网膜；还有眼球内容物，包括房水、晶状体、玻璃体以及球后视神经和血管等。后对眶外组织结构扫查，如：眼睑、眼外肌；眼球壁等。观察评价眼眶内时，需将探头抵在眶缘，稍向尾侧倾斜扫查眼眶内部。

检查后用洗眼液冲洗眼球，清理多余的耦合剂。根据图像综合评估，获得检查结果并做好记录。对侧眼的超声检查重复以上步骤。

扫查时如发现异常，需参照表 2-3 的评分标准对检查结果进行分级评定。



图 2-6 鸽眼的超声检查

Figure 2-6 Ultrasound examination of pigeon eye

表 2-3 眼部超声检查评分标准

Table 2-3 Evaluation standard of ophthalmology ultrasound examination

|   | 前房积血/脓 | 白内障   | 占位性病变 | 视神经肿胀 |
|---|--------|-------|-------|-------|
| 0 | 无明显异常  | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
| 1 | 轻度异常   | 轻度异常  | 轻度异常  | 轻度异常  |
| 2 | 中度异常   | 中度异常  | 中度异常  | 中度异常  |
| 3 | 重度异常   | 重度异常  | 重度异常  | 重度异常  |

### 2.1.7 鸽眼组织数据采集

#### 2.1.7.1 角膜直径的数据采集

测量前准备：用软布将量爪擦净并拢，查看游标和主尺身的零刻度线是否对齐。如对齐即可进行测量；如未对齐则要记取零误差：游标的零刻度线在尺身零刻度线右侧为正零误差，在尺身零刻度线左侧为负零误差（规定方法与数轴规定一致，原点以右为正，原点以左为负）。将 1 滴 0.4% 奥布卡因滴眼液点眼进行局部麻醉，不使用镇静剂，常规手持保定信鸽，保持仰卧体位。

具体方法：打开眼睑，使用游标卡尺测量直接鸽眼角膜外径。测量时，右手拿住尺身，先把卡尺的活动量爪张开，使量爪能自由卡进鸽眼角膜，左手打开上下眼睑。将角膜贴靠于一侧固定量爪上，使鸽眼角膜整体位于外测量爪之间。然后大拇指移动

游标尺框，用轻微的压力使活动量爪缓慢接近鸽眼，当角膜与另一侧量爪接触时，即可读数并做好记录。对侧眼的角膜测量重复上述步骤。

注意：测量鸽眼角膜的外径时，卡尺两测量面的连线应垂直于被测量表面，不能歪斜。测量时放正垂直位置，量爪若在错误位置将使测量结果比实际尺寸大。不可把卡尺的两个量爪调节到接近甚至小于所测尺寸，再强制卡到鸽眼角膜上，否则会划伤鸽眼，造成角膜溃疡。

#### 2.1.7.2 眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长的数据采集

测量前准备：在安静的暗室内，不使用镇静剂，常规手持保定信鸽，保持直立位。将 1 滴 0.4% 奥布卡因滴眼液点眼进行局部麻醉，在迈瑞 M7 Vet 动物专用 B 型超声的眼科探头（频率 12 MHz）上涂抹少量低敏性超声检查用耦合剂，打开眼睑，探头直接接触眼球，对鸽眼分别实施冠状面和矢状面扫查（见图 2-7）。依次进行眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长的数据采集。

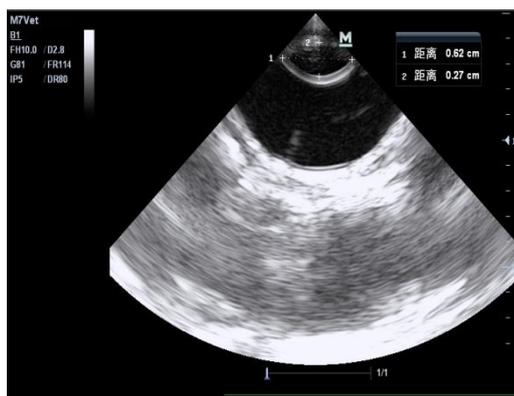


图 2-7 鸽晶状体的超声测量

Figure 2-7 Ultrasound measurement of pigeon lens

具体测量方法如下：

眼球轴长的数据采集：当超声探头与眼球中央视轴重合时，在眼球最大直径的冠状面和矢状面进行扫描。测量角膜上皮顶点与巩膜外层顶点之间的线段距离，即为眼球轴长。

前房深度的数据采集：当超声探头与眼球中央视轴重合时，在眼球最大直径的冠状面和矢状面进行扫描。测量角膜内皮顶点与虹膜圆心两点之间的线段距离，即为前房深度。

玻璃体轴长的数据采集：当超声探头与眼球中央视轴重合时，在眼球最大直径的冠状面和矢状面进行扫描。测量晶状体后极顶点与巩膜内层中心之间的线段距离，即

为玻璃体轴长。

梳状突高度的数据采集：当超声探头与眼球中央视轴重合时，在眼球最大直径的冠状面和矢状面进行扫描。在矢状面图像中，可观察到梳状突的全部范围。测量梳状突顶点与视网膜连接点之间的线段距离，即为梳状突高度。

晶状体赤道部直径的数据采集：当超声探头与眼球中央视轴重合时，在眼球最大直径的冠状面和矢状面进行扫描。测量晶状体赤道部最大直径两点之间的线段距离，即为晶状体赤道部直径和晶状体前后极轴长。

晶状体前后极轴长的数据采集：当超声探头与眼球中央视轴重合时，在眼球最大直径的冠状面和矢状面进行扫描。测量晶状体前后极顶点连线之间的线段距离，即为晶状体前后极轴长。

为使误差最小化，以上所有生物测量均由本人操作。仔细观察并做好记录，对侧眼的信息采集重复上述步骤。

### 2.1.7.3 晶状体屈光力的数据采集

根据视网膜检影法原理，使用检影镜对信鸽双眼的晶状体进行检影验光，客观获得晶状体屈光力。本试验采用静态检影验光技术的带状检影法，即在安静环境中，待检动物与验光师的工作距离处于相对静止状态的检影方式。

准备：将 0.5%复方托吡卡胺滴眼液点入信鸽的结膜囊，进行散瞳，双眼各 1 滴，间隔 5 min 后第 2 次点眼。压迫泪囊部 2~3 min，以防经鼻粘膜吸收过多引发全身不良反应。5~10 min 后散瞳，15~20 min 瞳孔散得最大。不使用镇静剂，常规手持保定信鸽，保持直立体位。此时使用带状光检影镜进行晶状体屈光力的数据采集。



图 2-8 鸽晶状体的屈光力测量

Figure 2-8 Dioptric measurement of pigeon lens

具体方法：右手握住检影镜，拇指贴在推板上，食指在旋转套筒上。镜柄垂直，肘自然下垂，寻找检影镜支撑点。右手持检影镜，右眼检查动物右眼；左手持检影镜，

左眼检查动物左眼。检眼镜与鸽眼间的工作距离为 67 cm，通过信鸽的瞳孔观察被检眼视网膜映光的变化，左手换取不同的验光试镜片中和，以确定晶状体的屈光状态（见图 2-8）。当观察影动成顺动时，即客观表明鸽眼的晶状体屈光力。此时做好记录，对侧眼的检影验光重复以上步骤。

## 2.2 试验结果

### 2.2.1 眼科学检查

#### 2.2.1.1 眼睑反射

当检查者用手指轻触信鸽眼睑时，100 只信鸽的 200 眼均发生瞬目动作，即全部存在眼睑反射，同时提示面神经（CN VII）和眼睑功能均无异常。

#### 2.2.1.2 瞳孔对光反射（PLR）

当检查者用笔灯照射信鸽双眼时，直接被光照射的鸽眼均发生缩瞳表现，即 100 只信鸽的 200 眼均存在直接瞳孔对光反射（+），未被光照射的对侧眼中，186 只无缩瞳表现即未发生间接瞳孔对光反射（-），14 只缩瞳表现不明确即间接瞳孔对光反射不确定（±）。

#### 2.2.1.3 比色瞳孔对光反射（cPLR）

当检查者用比色瞳孔对光反射仪的高强红光和高强蓝光分别照射 100 只信鸽的双眼时，200 眼均发生缩瞳表现，即 100 只信鸽的 200 眼均存在比色瞳孔对光反射，但对高强红光和高强蓝光照射的反应不同，即瞳缩的幅度不同，具体表现为：高强红光：+（轻度缩瞳），高强蓝光：++（中度缩瞳）。

#### 2.2.1.4 视觉反射检查

恫吓瞬目反应：遮住对侧眼并在小型挡风板后用手快速接近被检眼时，100 只信鸽的 200 眼中，37 只眼被恫吓瞬目反应的刺激引发瞬目动作（+），92 只眼未被引发瞬目动作（-），71 只眼的瞬目动作不明确（±）。

迷宫试验：经翅膀固定的 100 只信鸽分批逐一在设置的障碍迷路中步行。在检查者保持适当距离的驱赶下，100 只信鸽均顺利通过迷路障碍，未碰撞任何障碍物，未发现边试探确认边小心步行的表现。

眩目反射：将焦点光源调至最大光强度，突然照射鸽眼，100 只信鸽的 200 眼均被引发瞬目动作（+），即全部存在眩目反射（+）。

### 2.2.1.5 眼压测量

使用 Tonovet 回弹式眼压计，在 d 模式下测量的眼压结果平均值为  $10.4 \pm 2.1$  mmHg（100 鸽，200 眼）。

### 2.2.1.6 泪液分泌量试验

PRTT 均值为  $23.52 \pm 3.87$  mm/15s。

### 2.2.1.7 角膜荧光素钠染色

经荧光素钠溶液滴于鸽眼角膜并冲洗后，在暗室内使用裂隙灯显微镜的钴蓝光观察，100 只信鸽的 200 眼角膜均未发出绿色荧光，染色结果均为阴性（-）。可明显显示出病变所在。

### 2.2.1.8 裂隙灯生物显微镜活组织检查

使用裂隙灯生物显微镜对 100 只信鸽的 200 眼的结膜、角膜、虹膜、瞳孔、前房、晶状体等眼球结构进行具体评估，观察结果为：房水闪辉（-）、核硬化（-）、白内障（-）、晶状体半脱位（-）、晶状体全脱位（-）、虹膜肿胀/充血（-）、角膜混浊程度/面积（-）、结膜充血（-）、结膜水肿（-）、血管翳（-）、荧光染色深度/面积（-），仅出现结膜分泌物的异常表现，参照 Hackett/McDonald 评分标准对结果分级评定，结膜分泌物的程度为（+），193 眼 0 分，7 眼 1 分。

### 2.2.1.9 眼底检查

使用直接检眼镜对 100 只信鸽的 200 眼进行眼底检查，影像结果显示：可观察到玻璃体、视网膜、脉络膜，以及梳状突结构，均未发现视网膜发育不良、视网膜变性、视网膜脱落、脉络膜出血或其他异常表现。参照体指标与分级评定标准，对检查结果进行分级评定，具体结果为：视网膜发育不良（0）、视网膜变性（0）、视网膜脱落（0）、脉络膜出血（0）。

### 2.2.1.10 眼部超声检查

与超声检查相关的部分是眼球和眼眶。眼球位于眼眶内，眼眶是个塔型腔隙，向前开口，内含眼球和视神经。眼眶外有眶周纤维组织包围，纤维组织被脂肪垫包埋。对 100 只信鸽的 200 眼进行眼部超声检查，影像结果显示：超声可观察到完整的眼球壁和轮廓清晰的眼内容物，可扫查角膜、前房、虹膜、睫状体、晶状体、玻璃体，眼球后方的区域也可显示。角膜呈曲线状强回声，可与下方无回声的前房相区别。构成巩膜的骨环在眼球两侧呈高回声条纹，这些骨骼造成远端阴影，阻碍测量眼球水平直

径。前房内含有的房水呈无回声。前房之后的虹膜在晶状体附近，显示为 V 型回声结构。睫状体在晶状体的两侧是一个中等回声结构。虹膜为单体辐射状回声孔隙，在横切面上显示更清晰。在对眼前节的纵向扫描中，瞳孔呈一个被中等回声环包围的黑孔。晶状体前后囊呈两条弯曲的高回声曲线代表，在冠状面和矢状面显示为椭圆形结构，内部呈无回声。只有中间或垂直声束才能显示晶状体囊。晶状体声束通过晶状体可导致出现深部的伪影。由于远方回声增强效应，眼球的后壁可能在晶状体后突出。玻璃体含 99% 的水分，因此呈无回声。眼球后壁反射强烈，应用常规的超声设备不能将构成眼球后壁三层（巩膜、脉络膜、视网膜）单独区分，三者以高回声粗线的形式呈现，代表眼球后壁。梳状突呈中等回声结构，形状细长。在矢状面图像中可观察到梳状突的全部范围。眼周及球后组织有中度或轻度回声增强，但回声小。眼球后壁与球后组织的区别并不明显。高回声球后组织内的微小低回声结构为视神经。未发现前房积血/脓、白内障、占位性病变、视神经肿胀或其他异常表现。结合指标与分级评定标准，对检查结果进行分级评定，具体结果为：前房积血/脓（0）、白内障（0）、占位性病变（0）、视神经肿胀（0）。

### 2.2.2 鸽眼参数测量

使用游标卡尺测量 100 只信鸽 200 眼的角膜直径，通过 B 型超声分别对上述信鸽双眼的眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长进行数据采集，利用检影镜对上述信鸽双眼的晶状体进行检影验光，客观获得晶状体屈光力，左眼和右眼的测量值无显著差异（ $P>0.05$ ），结果见表 2-4。

表 2-4 鸽眼参数测量结果

Table 2-4 Measurement results of pigeon eye parameters

| 参数     | 平均值    | 方差   | 最小值   | 最大值   |
|--------|--------|------|-------|-------|
| 角膜直径   | 7.80   | 0.21 | 7.30  | 8.20  |
| 眼球轴长   | 11.68  | 0.14 | 11.30 | 11.90 |
| 前房深度   | 1.25   | 0.12 | 1.00  | 1.50  |
| 玻璃体轴长  | 6.40   | 0.36 | 5.10  | 7.30  |
| 梳状突高度  | 4.60   | 0.22 | 4.00  | 5.20  |
| 晶状体直径  | 5.89   | 0.48 | 4.35  | 7.36  |
| 晶状体轴长  | 2.79   | 0.24 | 2.30  | 3.64  |
| 晶状体屈光力 | 80.855 | 3.69 | 72    | 86    |

## 2.3 讨论

### 2.3.1 眼科学检查

检查鸽眼使用的仪器和诊断技术与哺乳动物相同，具体包括：明亮的聚焦光源、如：笔灯头戴式放大镜、直接检眼镜等。辅助诊断工具包括：荧光素钠眼科检测试纸条、泪液检测酚红棉线、以及回弹式眼压计。如具备条件，裂隙灯生物显微镜和眼部超声检查可提高诊断质量。信鸽眼科检查的完整评估应包括：病史、功能检查和形态学检查。病史还应包括对治疗技术、饲养方式、既往病史、当前眼部和全身体征的追溯。在评估眼部的功能性和形态学后，应对其进行复查、扩展或进一步研究。

#### 2.3.1.1 眼睑反射

结果显示，100 只信鸽 200 眼均存在眼睑反射。但发现该反射的具体表现与犬猫等哺乳动物不同。犬猫等哺乳动物眼睑反射的表现是上眼睑发生闭合并覆盖眼球。而信鸽眼睑反射的表现是：当检查者手指触及信鸽眼睑时，其下眼睑做出上抬动作，闭合并覆盖眼球。下眼睑比上眼睑运动灵活，覆盖眼球的面积也更广泛。由此可见，鸟类眼睑反射的表现是下眼脸上抬。这与本人在 2016 年实施白内障超声乳化术的 1 只红喉歌鸚和 2 只蓝喉歌鸚相同，均为下眼脸上抬闭合并覆盖眼球。

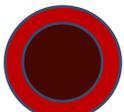
#### 2.3.1.2 瞳孔对光反射

光照单侧瞳孔，引起双侧瞳孔缩小的反应，称为瞳孔对光反射，是一种神经反射。瞳孔对光反射的特点是双侧效应，即光照一侧眼，被照眼出现瞳孔缩小外（直接瞳孔对光反射），同时未受光照的另一侧瞳孔也缩小（间接瞳孔对光反射）。其反射通路为：视神经（第二对脑神经，CN II）—传入→顶盖前核→动眼神经核（Edinger-Westphal Nucleus, EWN）—传出→动眼神经（CN III）。临床可见瞳孔对光反应消失、瞳孔左右不等、间接瞳孔反应消失等异常情况，是由于与参加反射的某部分反射弧受损<sup>[55]</sup>。本试验结果显示，100 只信鸽 200 眼的直接瞳孔对光反射的瞳孔缩小变化是确定的，而间接瞳孔对光反射的评估经常是不确定的。有研究认为，鸽眼只存在直接瞳孔对光反射，并不存在间接瞳孔对光反射。这可能与虹膜肌肉条纹部分的假设性随意控制和鸟的情绪状态有关。由于视神经纤维呈完全交叉，所以在鸟类身上不会出现间接瞳孔对光反射。但轻微间歇动态性瞳孔不等，在鸟类或是正常的。

2.3.1.3 比色瞳孔对光反射

表 2-5 比色瞳孔对光反射图解

Table 2-5 Diagrammatize of cPLR

| 暗适应眼  | 低强红光  | 高强红光  | 高强蓝光   | 提示/可能原因                     |
|---|---|---|--|-----------------------------|
|  | <br>瞳孔对光反射正常 | <br>瞳孔对光反射无         | <br>瞳孔对光反射延迟        | 继续检查对侧眼                     |
|   | <br>瞳孔对光反射无  | <br>瞳孔对光反射缺失/减弱     | <br>瞳孔对光反射缺失/减弱     | 急性获得性视网膜变性综合征<br>青光眼视神经炎脑膜炎 |
|   |   | <br>瞳孔部分收缩         | <br>瞳孔对光反射完全/延迟    | 免疫介导性视网膜炎                   |
|   |   | <br>瞳孔对光反射延迟/瞳孔逃逸 | <br>瞳孔对光反射延迟/瞳孔逃逸 | 脉络膜-视网膜炎视网膜脱落               |

反射通路同瞳孔对光反射,该检查分别采用 630 nm 红色和 480 nm 蓝色发光二极管照射,可对因视网膜及视神经异常导致失明的疾病做简易的鉴别检查,具有 4 档光强,每档光强与及其相关的功能依次为:低强红光用于暗室下的光点照射、高强红光用于瞳孔对光反射测试光感受器通路、低强蓝光用于眼部荧光素钠染色检测角膜表面的损伤和异常、高强蓝光用于通过瞳孔对光反射测试视黑素通路,其中只有高强红光和高强蓝光可用于瞳孔对光反射检查。该反射是以神经节细胞中的视黑素作为评价对象的检查方法,可诊断视网膜和视神经疾病。据报道,比色瞳孔对光反射对鉴别诊断视神经疾病和急性获得性视网膜变性综合征(Sudden acquired retinal degeneration syndrome, SARDs)的敏感性与特异性分别为 96.2%和 100%<sup>[56]</sup>。对白内障手术前鉴别有无视网膜疾病的敏感性和特异性也分别为 76.5%和 100%<sup>[57]</sup>,具体变化与提示原因详见表 2-5。

动物视网膜中包含 2 种感光物质,视紫红质和视黑素。视细胞中的感光物质,又分为在暗处发挥视物功能的视杆细胞和在明处发挥识别功能的视锥细胞,而动物的视杆细胞数量较多。视杆细胞中含有的感光物质为视紫红质,在光照下会经一系列化学反应,最终使视细胞进入超极化状态,使这些光信号经视神经传入脑。而这一系列光信号的传递路径异常,常与 PRA 有关。有报道称,在其光信号传递路径中,编码环磷酸二酯酶 $\beta$ 亚基的基因出现了变异。作为感光物质的不仅有视紫红质,神经节细胞中还含有一种叫做视黑素的感光物质。由于视黑素对 480 nm 左右波长的蓝光有特异性反应,所以与失明检查相关的 cPLR 即是这一原理的临床应用<sup>[58-60]</sup>。通过使用红光刺激视细胞,蓝光选择性刺激神经节细胞中的视黑素,从而引起瞳孔对光反射。视网膜发生疾病时,由于神经节细胞中的视黑素直到晚期仍有残存的反应能力,所以患眼在对红光失去反应后,对蓝光仍有残存的瞳孔对光反射。另一方面,当视神经发生疾病时,对两种色光的瞳孔对光反射均消失。cPLR 检查就是利用上述原理,简单鉴别视网膜疾病和视神经疾病。

试验结果显示,100 只信鸽的 200 眼对高强红光和蓝光照射,均产生比色瞳孔对光反射,说明所有样本双眼的视网膜及视神经均无明显异常。但对高强红光和蓝光照射的缩瞳幅度不同,具体表现为:高强红光照射的缩瞳幅度为轻度(+),高强蓝光照射的缩瞳幅度为中度(++)。理论上,由红蓝光源发出的光谱曲线与标准眼反应的光谱曲线部分重叠。任何一种都会刺激到视锥-视杆光感受器通路。而实际上,在视黑素通路吸收光谱内的强红光源,产生的瞳孔对光反射变化较小。因此,仅蓝色光源可引起较为明显的瞳孔对光反射(视黑素介导),反射原理如图(见图 2-9)。

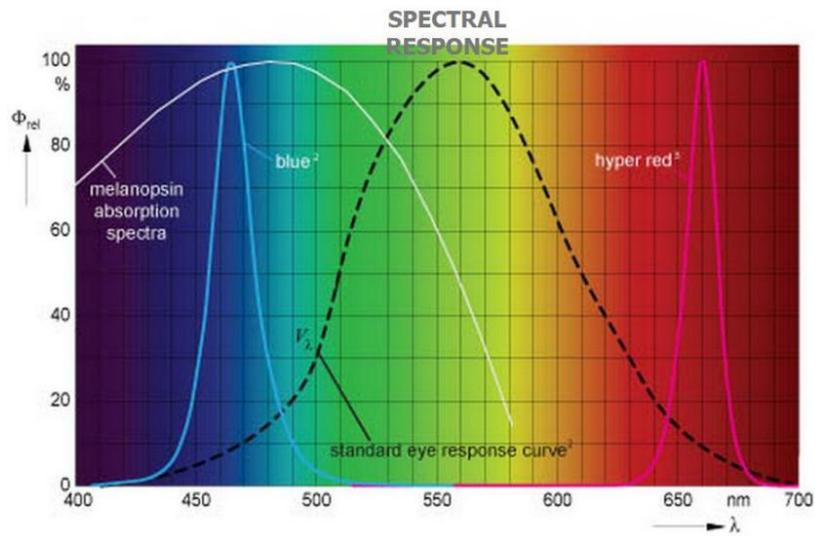


图 2-9 比色瞳孔对光反射原理<sup>[60]</sup>

Figure 2-9 Theory of cPLR

比色瞳孔对光反射仍是兽医眼科临床一种较为新颖且简单实用的检查方法,对视网膜和视神经疾病的筛查与初步诊断具有较高的敏感性与特异性。临床工作中,在常规脑神经检查法与神经眼科检查基础上,比色瞳孔对光反射检查可与 ERG 相互配合使用。当然,必要时仍须综合评价眼部/头部影像,从而有益于对某些复杂原因导致失明的眼科疾病进行更为全面而详细的评估。

### 2.3.1.4 视觉反射检查

恫吓瞬目反应的反射通路为:视神经(CN II)一传入→小脑一传出→面神经(CN VII)。人和犬的恫吓瞬目反应具体表现是被检查眼产生瞬目动作。试验结果显示,100只信鸽的200眼中,37只眼被恫吓瞬目反应的刺激引发瞬目动作,92只眼未被引发瞬目动作,71只眼瞬目动作不明确。这与人和犬的表现不同但与猫类似。研究认为,即使视力正常的鸟类,恫吓瞬目反应也不一致<sup>[61, 62]</sup>。而迷宫试验的回避行为是一种比恫吓瞬目反应更可靠的视觉指标,表现为瞬目、瞬膜移动和回避行为,这恰是信鸽视觉检查完成迷宫试验的必要条件。

迷宫试验的反射通路为:视神经(CN II)一传入→大脑皮质一传出→前肢等多个部位。试验结果显示,在检查者保持适当距离的驱赶下,经翅膀固定的100只信鸽均可顺利通过迷路障碍,未碰撞任何障碍物,同时未发现边试探确认边小心步行的表现,全部发生回避行为,完成迷宫试验。试验结果表明100只信鸽200眼的视力与相关神经反射通路无异常。

眩目反射的反射通路:视神经(CN II)一传入/传出→面神经(CN VII),该检查法为观察眼睑闭合的动作,但这是不经过大脑皮质介导的原始反射,因此大脑视觉

皮质区损伤导致失明的动物仍有该反射残留<sup>[63]</sup>。试验结果显示,当焦点光源调至最大光强度时突然照射鸽眼,100只信鸽的200眼均被引发瞬目动作(+),全部存在眩目反射(+),表明100只信鸽200眼的相关神经反射通路无异常。

#### 2.3.1.5 眼压测量

鸟类的眼压测量有一定困难。大多数鸟类的眼球体积和角膜面积都很小,传统的眼压计还没有被证实能像对犬猫那样用于鸟类。与哺乳动物的眼球相比,较高的角膜和巩膜硬度无疑会影响鸟类测量结果的可靠性和准确性。使用Tonopen眼压计测量大型猛禽的平压眼压值介于11~16 mmHg。同样用Tonopen眼压计对多种正常鸟类进行的一系列眼压测量,测量值介于9.2~16.3 mmHg。报道测量角膜直径 $\leq 5$  mm动物眼压的文献较少。在一项对猛禽的眼压测量研究中,Tonopen眼压计测量鹰、雕和秃鹰的眼压平均值为20.6~21.5 mmHg,高于猫头鹰。据报道,用传统方法测量的鹰眼压值为15~17 mmHg,鸡为20 mmHg<sup>[64]</sup>。

眼压计的工作原理是用带有圆形末端的金属探针,在距离角膜约5 mm处,以电磁方式快速推进,在回弹到仪器之前接触角膜,通过磁感应获得数值。已建立正常眼压参考标准的物种有:犬、猫、马、牛、羊、猴以及兔和大鼠等实验动物,也有报道一些鸟类眼压的文献。兽医领域最常用的是Tonovet回弹式眼压计和Tonopen压平式眼压计<sup>[65]</sup>。有研究表明,这两种眼压计测量的鸟类眼压存在差异。此外,Tonovet的基本设置只适用于特定的物种,如犬、猫和马<sup>[65]</sup>。因此,为获得信鸽的实际眼压,需要重新评估。本试验未选择Tonopen眼压计测量信鸽眼压,这是由于该仪器会对眼球产生额外的压力,从而导致测量的眼压数值升高,且测量时会导致反射性瞬目和泪溢等异常表现,为此还需进行局部点眼麻醉,从而延长测量时间,增加操作步骤,因此不宜使用Tonopen眼压计。另有Tonolab眼压计是专为测量小角膜动物而开发设计,但基于两个原因,本试验未选择:首先其针对的是啮齿类动物,如小鼠和大鼠。其次,Tonovet和Tonopen已用于各种宠物和野生动物的研究,在临床实践中也比Tonolab使用更广泛。而Tonovet眼压计即使在非常小的眼球上也可使用,因此适用于鸽眼的小角膜,且无需表面麻醉。基于上述原因,本试验选择并使用了Tonovet回弹式眼压计测量信鸽的眼压。当探针接触角膜时,Tonovet不会引起刺激反应和反射性瞬目且无需额外压力固定眼球,从而迅速完成测量过程。操作熟练时,每只信鸽眼压的整体测量时间甚至可少于10 s。该仪器有3种不同的测量模式:即d、h、p模式。d模式适用于狗和猫,h模式适用于马,p模式适用于未指定的动物。有文献报道,Tonovet眼压计的d和p模式测量结果表现为线性相关,其p模式值与实际眼压值的差异大于d模式值与实际眼压值的差异。d模式的测量值约为实际眼压的50%,而p模式的测

量值仅约为实际眼压的 30%<sup>[66]</sup>。另有文献报道, 由于 d 模式测量值约为实际眼压的 50%<sup>[67]</sup>, 遂在尸体眼上用侵入性方法直接测量眼压以对非侵入性方法的测量值进行校准。由于摘除眼球后眼眶边界缺失, 此时测量可能会因为眼眶周围结构改变而影响眼压数值, 所以只进行侧眦切开术, 以免影响测量结果。鉴于目前没有信鸽眼压的校准表且由于 p 模式的上述局限性, 本试验选择使用 d 模式来获得活体信鸽的眼压。

结果显示, d 模式的眼压测量结果平均值为  $10.4 \pm 2.1$  mmHg。有研究显示, d 模式的信鸽平均眼压为  $11.7 \pm 1.6$  mmHg (10 鸽, 20 眼)<sup>[68]</sup>, 在另一项研究中, d 模式测量的信鸽眼压平均值为  $10.6 \pm 1.9$  mmHg (24 鸽, 48 眼), 均与本试验的眼压测量值接近<sup>[69]</sup>, 而在一项采用 p 模式的研究中, 平均眼压为  $6.1 \pm 0.9$  mmHg (100 鸽, 200 眼)<sup>[70]</sup>。本试验仅测量了正常信鸽的眼压, 结合临床判读参考, 试验结果表明, 100 鸽 200 眼的眼压数值均在 5~15 mmHg 之间, 未出现低于 5 mmHg 或高于 15 mmHg 的结果, 排除葡萄膜炎或青光眼, 并认为 Tonovet 回弹式眼压计是一种适用于鸽眼且耐受良好的测量仪器, 其 d 模式适于测量正常信鸽的眼压。不过, 如考虑到角膜曲率和角膜厚度的差异可能导致个体和种间的眼压值变化, 就需要进一步研究来评估 Tonovet 在鸽眼的精确度, 并建立信鸽眼压的校准表。测量时还应注意: 动物的正常眼压范围多处于 15~25 mmHg, 具体为: 15~18 mmHg (犬)、17~19 mmHg (猫)、15~20 mmHg (兔)、17~28 mmHg (马)。双侧眼压差值应小于 5 mmHg, 若非如此, 应对双眼进行多次检查以确定原因。

#### 2.3.1.6 泪液分泌量试验

该试验用于量化泪膜水样成分的生成量。在眼球无表面麻醉的情况下, 测量基础泪液量和反射泪液量。测量动物泪液生成量的正常值, 可确定泪腺和瞬膜腺水样成分的泪液生成量, 并评估特征、环境和药物等不同因素对泪液生成量的影响。须在所有局部点眼前首先进行, 以减少眼睑操作引起反射性流泪的影响。兽医眼科临床常用的泪液量检测试验主要有 2 种方法, 施默尔泪液量测试 (Schirmer Tear Test, STT) 和酚红线泪液量测试 (Phenol Red Tear Test, PRTT)。在本人以犬猫为主的眼科临床中, 常用泪液检测试纸条来检查泪液的分泌量, 但由于试纸条的悬挂端宽度为 5 mm 且折弯处较为宽大, 使得鸽眼本就有限的结膜囊空间无法容纳, 因此选择使用泪液检测酚红棉线检查泪液的分泌量。目前尚缺乏健康信鸽泪液分泌量的生理参考值, 酚红线法是一种可用于评估健康信鸽泪液分泌量的检测方法。使用时应避免接触试纸条或酚红线的嵌入端, 因皮肤脂质可干扰水样泪液的生成量。本试验使用的酚红棉线产品已经环氧乙烷灭菌, 限一次性使用。每包仅供一个受试者使用, 2 根棉线分别测量左右眼。检测时无需点眼麻醉, 主要结构是采用经酚红浸润处理的棉线, 长 75 mm。在酸性溶

液中 ( $\text{pH}<6.8$ ) 呈黄色, 在碱性溶液中 ( $\text{pH}>7.2$ ) 呈红色。与泪液检测试纸条的功能相同, 泪液检测酚红棉线也可用于检测泪液分泌量, 且比试纸条的刺激性小, 操作简便、检测快速、无明显不适感, 更适于鸽眼的泪液分泌量检测。如检测前用过滴眼液, 应在 5 min 后再检测, 以免影响结果判读。由于泪液分泌量可能是变化的, 重复检测的结果更准确。眼部患有严重病变时慎用。该试验也可用于排查动物的干眼症。干眼症是指因泪液的质或量异常引起泪膜不稳定和眼表损害, 导致眼部不适的疾病, 是目前宠物眼科临床较为常见的眼病。干眼症的诊断性检查包括泪膜破裂时间、泪液分泌量试验、角膜荧光素钠染色、泪腺功能测试等。PRTT 是一种不同于传统 STT 的试验方法, 也是在兽医眼科临床中广泛用于检测干眼症的方法。目前已有犬、猫和马的正常泪液分泌量参考范围<sup>[71-73]</sup>, 如: 正常成年犬的 STT I 值在  $18.64 \pm 4.47 \text{ mm/min}$  至  $23.90 \pm 5.12 \text{ mm/min}$  之间, 数值低于  $5 \text{ mm/min}$  可诊断为干性角膜结膜炎, 低于  $10 \text{ mm/min}$  且符合特征性临床症状, 怀疑干性角膜结膜炎; 正常成年猫的 STT I 值从  $14.3 \pm 4.7 \text{ mm/min}$  到  $16.92 \pm 5.73 \text{ mm/min}$  之间, 猫的 STT I 值降低须结合临床症状解读; 马的 STT I 高于犬和猫, STT I 值小于  $10 \text{ mm/min}$ , 诊断为干性角膜结膜炎。使用  $5 \times 35 \text{ mm}$  试纸条, 测量正常成年马的 STT I, 数值从  $20.6 \pm 6.5 \text{ mm/min}$  到  $24.8 \pm 4.8 \text{ mm/min}$  不等。也有文献报道了 42 种鸟类中测定的 STT 值<sup>[74, 75]</sup>。鸚鵡类的 STT I 和 STT II 的标准偏差 ( $\pm \text{SD}$ ) 分别为  $3 \sim 7 \pm 2 \text{ mm/min}$  和  $1.7 \sim 4.5 \pm 2 \text{ mm/min}$ 。隼形目动物 STT I 和 STT II 的值分别为  $4 \sim 14 \pm 7 \text{ mm/min}$  和  $2 \sim 4 \pm 3 \text{ mm/min}$ 。测定 2 组大型鸚鵡的 PRTT 正常值, 平均 PRTT 值约为  $20 \sim 25 \text{ mm/15s}$ , 但重复性较低。另有研究对鸚鵡进行表面麻醉前后分别测定 STT 和 PRTT 值<sup>[76, 77]</sup>, 结果表明表面麻醉对 PRTT 值无显著影响, 但对 STT 值有影响, 麻醉前平均值为  $7.9 \text{ mm/min}$  和麻醉后平均值为  $5.1 \text{ mm/min}$ 。本试验结果显示, 信鸽的 PRTT 均值为  $23.52 \pm 3.87 \text{ mm/15s}$ 。结合临床判读参考, 结果表明, 100 鸽 200 眼的 PRTT 值均在  $15 \sim 30 \text{ mm/15s}$  之间, 未出现低于  $5 \text{ mm/15s}$  或高于  $30 \text{ mm/15s}$  的结果, 排除干性角膜结膜炎和泪溢性疾病。

### 2.3.1.7 角膜荧光素钠染色

荧光素钠在兽医眼科临床主要作为诊断试剂, 用于确诊结膜和角膜的上皮缺损, 以及眼底血管破裂等病变的检查。荧光素钠无毒无防腐性, 不参与体内代谢, 也不与组织紧密结合, 主要由肾排出, 基本在 24 h 内从体内排净。荧光素钠具有高度亲水性和疏脂性, 其不溶于含脂质的上皮细胞 (结膜和角膜), 角膜荧光素钠染色是将该溶液用于角膜, 粘附于暴露的角膜基质并被染色。常用品荧光素钠试纸条。该检查用于评估鸽眼角膜等眼表结构细微的损伤程度。使用的荧光素钠眼科检测试纸为环氧乙烷灭菌的无菌产品, 限一次性使用。试纸条应清洁整齐、边无毛刺, 荧光素钠的部分

为深橙红色。试纸前端为圆弧形，由荧光素钠溶液经试纸浸润制成，试纸条长 57.0 mm，宽 7.0 mm，含荧光素钠部分长 17.0 mm，宽 5.0 mm，每个试纸条含荧光素钠 1.0 ~ 1.5 mg。使用时勿让荧光素钠进入前房，以免接触到眼内晶状体继发白内障。对荧光素钠过敏者慎用。本试验结果显示：经荧光素钠溶液滴于鸽眼角膜并冲洗后，在暗室内使用裂隙灯显微镜的钴蓝光观察，100 只信鸽的 200 眼角膜均未发出绿色荧光，染色结果均为阴性（-），说明所有样本信鸽的眼角膜具有良好的完整性，不存在任何程度的缺损、溃疡、后弹力层膨出以及角膜穿孔。

### 2.3.1.8 裂隙灯生物显微镜活组织检查

裂隙灯生物显微镜是兽医眼科医师最常用且重要的诊断分析仪器，可对眼附属器、角膜、前房、晶状体和玻璃体进行放大和三维检查<sup>[78]</sup>。在专用聚光透镜的辅助下，甚至可用来检查眼底。裂隙灯生物显微镜是双目显微镜与可调角度光源的组合装置。显微镜和光源为同轴、共焦、等心。通过系列膜片和滤光片调整光的形状（弥散或聚焦光束）、强度、宽度、长度、方向和颜色（中性密度、钴蓝色或无红色），通过双目显微镜的物镜聚焦观察。裂隙灯生物显微镜的检查目的是在尽可能多的放大照明形式下对眼结构的连续性检查，以发现任何细微的病理现象。在裂隙灯生物显微镜检查中使用的光束可以是弥散也可以是聚焦的。弥散式照明有助于大面积检查眼表异常，并获得眼附属器、角膜、前房和虹膜的初步概览。然而，为获得更详细的信息和突出的细微病变，需要更多聚焦形式的照明。用聚焦光进行裂隙灯生物显微镜检查的目的是观察眼部透明组织（角膜、前房和晶状体）的光学切面，通过在眼部投射一条明亮狭窄并高度聚焦的光线而实现。检查者通过相邻组织结构观察到的光学切面类似于组织切片。使用 0.5 mm 宽度的光束，可观察到角膜等透明结构为平行弯曲的管道组织。这种宽度的裂隙光仅可看清一部分混浊，但比使用 0.1 或 0.2 mm 宽度创建光学切面的效果差，因为会在角膜前后表面间产生重叠。相比之下，用细光束观察的角膜切面中，泪膜、上皮、基质和内皮均分别可见，可提供检查组织的微观形态及结构间的彼此关系<sup>[79]</sup>。常用照明方式包括：弥散照明法、直接照明法、间接照明法、镜面反射法、后部照明法。

在本试验的裂隙灯生物显微镜检查中，使用了弥散照明法、直接照明法、间接照明法、镜面反射法。直接照明是由光源本身照射检查结构，间接照明是检查结构由邻近组织的反射光照明。即角膜的变化大多通过虹膜的反光照明来检查，而虹膜和晶状体的变化则通过眼底的反射光进行检查。通过小瞳孔照射眼底以实现虹膜透照，从而突出虹膜色素沉着或组织缺陷。当瞳孔已散开，可通过眼底的反射光检查角膜。为获得最佳反射光效果，裂隙灯生物显微镜光源和物镜间的角度应尽可能收窄。虹膜的逆

光可以是直接也可以是间接。在直接逆光下，角膜异常被后面的虹膜反射光所突出。需在虹膜上以足够宽的角度投射裂隙光束，以免直接照射待检查的角膜区域。间接逆光是由于光线散射到邻近虹膜直接逆光的角膜区域而产生的。因此，在暗的、无光照的虹膜背景下观察角膜区域。间接照明是用于突出角膜内部的细微变化，以达最佳的反向照明，裂隙光束与观察轴垂直放置。使用间接照明，可确定 3 种基本类型的病变：阻塞性、屈光性和弥散性。阻塞性病变阻挡反射光，在明亮的背景下突出黑暗区域，如：角膜血管、色素沉着、前房积血、致密白内障和组织块等。屈光性病变允许一些光线通过，如：角膜水肿、角膜沉淀、角膜瘢痕、虹膜囊肿、纤维蛋白、早期白内障。弥散性病变允许光线通过并呈现其背景颜色，可折射光线，可以详细检查更多的后方结构，如：晶状体空泡，晶状体囊皱褶，泪膜扭曲，上皮和角膜大泡中断。镜面反射也用于裂隙灯生物显微镜检查，特别用于评估角膜内外表面完整性方面。镜面反射是光源本身产生的一种影像，只有当入射角等于反射角时，才能从正确的位置看到。为观察到角膜的镜面反射，检查者须将光源和显微镜置于与中线约 25~30°的角度，并将光线投射于角膜表面。镜面反射的清晰度和锐度取决于角膜表面的平滑度和反射率。镜面反射在正常的角膜表面将直接形成镜像光源的图像。如角膜前泪膜缺失或上皮不规则，可对角膜表面的镜面反射产生负面影响，导致光源图像扭曲。镜面反射现象也可用于检查角膜内皮的完整性。健康角膜内皮细胞表面光滑，反射性强但边缘不规则，高倍镜下正常角膜内皮呈蜂窝状，内皮细胞病变可导致镜面反射消失。镜面反射也可用于检查晶状体前囊内上皮细胞的不规则结构<sup>[80]</sup>。

按照上述方法，结合本试验对 100 只信鸽的 200 眼的裂隙灯生物显微镜观察结果，具体评估结膜、角膜、虹膜、瞳孔、前房、晶状体结构，结果显示：房水闪辉（-）、核硬化（-）、白内障（-）、晶状体半脱位（-）、晶状体全脱位（-）、虹膜肿胀/充血（-）、角膜混浊程度/面积（-）、结膜充血（-）、结膜水肿（-）、血管翳（-）、荧光染色深度/面积（-），仅出现结膜分泌物的异常表现，193 眼 0 分，7 眼 1 分。结果表明，100 只鸽 200 眼的临床表现无明显异常，对后续检查与数据采集等试验无任何影响。

### 2.3.1.9 眼底检查

在信鸽眼底检查前的准备工作中：比色瞳孔对光反射是以神经节细胞中的视黑素作为评价对象的这一新理论的新检查方法，由于在临床简便易行，故为诊断视网膜和视神经疾病的有效工具。由于鸽眼体积明显小于犬猫等哺乳动物的眼球体积，因此不能使用常规的小动物眼底照相机进行摄影检查，只能选择更换为人医眼科临床使用的直接检眼镜，该仪器是国际信鸽医学研讨会建议的鸽眼底检查专用设备，也是鸽友爱

好者们鉴别“眼砂”、“眼痣”的必备工具。

结合本试验对 100 只信鸽的 200 眼进行眼底检查的结果：视网膜发育不良（0）、视网膜变性（0）、视网膜脱落（0）、脉络膜出血（0）结果表明：使用直接检眼镜可以清晰观察到鸽眼的玻璃体、视网膜、脉络膜，以及梳状突结构，未发现视网膜发育不良、视网膜变性、视网膜脱落、脉络膜出血等异常表现。结果还表明：与犬猫等哺乳动物眼球的相同之处是，鸽眼也具有玻璃体、视网膜和脉络膜组织。其中一个不同之处在于，在犬猫等哺乳动物的眼底，可观察到视网膜有粗细不同的动脉和静脉，位于血管交汇处有一接近圆形的视盘，视盘背侧和腹侧有颜色明显差异的毯部和非毯部以及二者的交界线。而在信鸽的眼底，除在脉络膜可观察到血管外，未观察到视网膜有任何血管或颜色鲜明的毯部和非毯部区域。另一个不同之处在于，鸽眼具有犬猫等哺乳动物不具备的眼底结构——梳状突，且由于梳状突的阻挡，在检眼镜下也无法直接观察到视盘

由于信鸽眼球的小体积，兽医师必须靠近检查鸽眼，直接检眼镜检查是最常用的方法。鸽眼的玻璃体也呈透明状态，视网膜与哺乳动物的有明显不同，其视网膜本身并无血管或毯部，主要由脉络膜的血管化和色素沉着决定了眼底的顏色，通常是灰色或淡红色，检眼镜可观察到脉络膜血管，直接为视网膜光受体提供氧气和营养。梳状突是一种血管高度发达的突出物，呈黑色梳齿状，从脉络膜向玻璃体凸出的组织，位于视盘上方，几乎在所有鸟类中都有报道，参与视网膜的营养，并在眼内酸碱平衡中发挥作用<sup>[81-83]</sup>。眼球运动时产生的眼内液体和机械震动影响玻璃体液，促进眼球内液体的运动。眼球的持续扭转导致梳状突在玻璃体中上下移动，氧气和营养从梳状突血管扩散到玻璃体后部从而为视网膜供给营养。有人利用血管多普勒超声检查确定了鸭的梳状突血流参数，结果表明梳状突具有较高的代谢活性，提示其可能存在营养视网膜、调节眼压的功能<sup>[84, 85]</sup>。梳状突在不同的鸟类，形态各异，但目前关于该结构的具体功能与作用仍尚未明确或深入阐述，相关文献较少，需要未来进一步的探索和研究。大多数鸟类的眼底都有明显的中央凹，其中增加的光感受器密度会增加视觉分辨率。在一些鸟类中，有一个中央凹，即一个视网膜凹陷区域，此处视网膜变薄且有大量视锥细胞密集排列，使得该区域可获得更高程度的光刺激。检查时须对双侧眼底进行比较，特别是怀疑出现异常时，可使用间接检眼镜，在一臂工作距离探查范围更广的眼底。所需透镜取决于鸟类及其眼球体积的大小，从检查大型鸟眼使用的 20~30D 透镜到检查小型鸟眼的 90D 透镜。

#### 2.3.1.10 眼部超声检查

B 型超声主要用于检查眼科常规项目,比如眼部的整体结构。眼是最早使用超声检查的器官之一,包括眼球外的软组织,如:眼睑、眼外肌;眼球壁,有角膜、巩膜;中层的虹膜、睫状体、脉络膜及内层的视网膜;还有眼内容物,包括房水、晶状体、玻璃体以及球后视神经和血管等。这些眼组织中任何一个部位或结构出现异常,均可表现出眼部疼痛、视物不清、泪溢等,因此出现眼科症状可以采取超声检查。超声扫描是兽医眼科影像的有效检查方法,可用于如信鸽这样的鸟类眼科检查。通过超声显像及生物测量,客观呈现鸽眼内的组织结构,如:前房、虹膜、睫状肌、晶状体、玻璃体和视网膜的生理和病理变化,从而进行临床评价。使用超声设备评估信鸽眼内组织有助于评估眼内结构并检查眼眶疾病,甚至还可通过超声发现球后脓肿、眼内肿瘤和视网膜脱落等病变。当眼球的前部结构(角膜、前房、晶状体)发生混浊阻碍到观察内部结构(玻璃体和视网膜)时,可用这种非侵入性的技术检查眼内并进行生物测量。同样,超声检查可提供关于眼眶疾病(肿瘤、异物、脓肿)的信息,可用高频(7.5~12 MHz)线性传感器的眼科专用设备进行。已证明 B 超在鸟类眼科中是一种有用的诊断工具。一项对鸽眼的超声研究显示,鸽眼呈圆盘形,尽管眼球紧贴于眼眶中,但背颞区不受骨骼保护。鸽眼的巩膜由 10~18 块巩膜小骨组成,形成一个硬化环,产生的远端阴影对测量眼球直径存在影响<sup>[86, 87]</sup>。

结合本试验对 100 只信鸽的 200 眼进行的超声检查,结果表明:使用 B 型超声扫查可以获得鸽眼的整体影像,包括:角膜、前房、虹膜、睫状体、晶状体、玻璃体,梳状突、眼球后壁、视神经及眼眶区域。未发现前房积血/脓、白内障、占位性病变、视神经肿胀等异常表现。结果还表明:与犬猫等哺乳动物眼球的相同之处是,鸽眼也具有完整的眼球壁和轮廓清晰的眼内容物。一个不同之处在于,鸽的眼球是非对称型球体,其外形轮廓呈圆盘形,即水平的赤道部直径大于垂直的前后极轴长,而犬猫等哺乳动物的眼球呈外形基本对称的球体。另一个不同之处在于,通过超声扫查鸽眼影像可探查犬猫等哺乳动物不具备的特殊结构——梳状突,其形状在不同的鸟类物种中有所不同,鸽眼的梳状突是细长的<sup>[88]</sup>,猫头鹰的梳状突则短而紧凑。通过彩色的多普勒功能,可以进一步显示和评估梳状突的血流变化。

本试验的超声扫查是在信鸽有意识的状态下进行,以降低操作对信鸽的应激性,但如使用镇静剂或麻醉剂可能更有助于获得清晰的超声影像,以便进行更长时间的眼部扫查。然而,在超声扫查程序中使用镇静剂或麻醉剂之前,有必要评估其对眼前节的影响。总之,超声扫查可用于鸽眼前节和后节的定性与定量评估,而非必要实施镇静或全身麻醉。现在,具有 40~100 MHz 的 UBM 超声系统已研发成功,有助于进一步观察和研究角膜分层、房角结构(虹膜角膜角度数)、晶状体内部、虹膜和睫状体(睫状裂的长宽与面积)等组织细节。

### 2.3.2 鸽眼参数测量

#### 2.3.2.1 角膜直径的数据采集

一项在角膜接触镜中的研究发现,接触镜直径每增加 0.5 mm 其曲率半径即增加 0.2 mm<sup>[89]</sup>。在另一项角膜接触镜的临床研究,也验证了角膜曲率半径与角膜直径的关系<sup>[90]</sup>,总结角膜曲率半径的计算公式,即通过测量角膜直径推算角膜曲率半径,再根据《角膜屈光力/曲率半径换算表》查出角膜屈光力。建议使用游标卡尺测量角膜直径时以角巩膜缘前界为基线,测量 3 次后取平均值以减少误差,误差应控制在±0.25 mm 内。结合本试验角膜直径为 7.80±0.21 mm 的结果,在其误差控制范围内,表明该测量方法操作恰当且结果准确。还有使用其他影像设备或其他方法测量角膜直径的报道<sup>[91]</sup>,但仅限于人、犬、猫等眼球体积较大的物种,不适用于小体积的鸽眼。

#### 2.3.2.2 眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长的数据采集

B 型超声是一种精确的生物测量工具。一项关于马眼球摘除的报道中,物理测量 and B 型超声测量的结果无显著差异。在另一项犬、牛、羊的眼球生物特征评估报道中,A 型和 B 型超声测量的结果同样无显著差异<sup>[43,44]</sup>,且后者在操作技术上更为简便。本研究采用了 B 型超声扫查测量的方法,通过超声探头直接接触鸽眼角膜,可观察到角膜、巩膜、虹膜、瞳孔、前房、晶状体、玻璃体、梳状突在内的整体眼球结构和球后间隙,客观获得了鸽眼的晶状体赤道部直径与晶状体前后极轴长。结果表明,眼前房深度、晶状体和玻璃体轴长、眼球轴长和梳状突高度有较好的相关性。需要注意,眼球的超声测量须在眼轴上精确进行,不能使角膜在压力产生形变。评估前房深度时切勿压迫眼球,因为探头放置于角膜上就已缩短了角膜到晶状体前囊的距离。当前节发生混浊而妨碍眼科检查时,超声检查会有很大帮助。超过 14% 的野生鸟类患有外伤造成的眼部损伤,因此对野生鸟类的每次临床检查均应包括眼科检查。在本试验中,允许探头充分接触以显示整个眼球,包括角膜。虽然巩膜骨环造成了一些伪影,但眼球的所有部分和球后间隙都能显示出来,即使是眼前节的混浊也不会影响检查效果,仍然能发现位置、形状、大小、畸形或梳状突、视网膜脱落、玻璃体钙化。建议使用超声技术检查鸽眼的后节眼病。严重的晶状体脱位与视网膜脱落可以通过超声检查区分,而轻度晶状体脱位或半脱位的诊断需要更丰富的临床经验。评估轻度晶状体脱位时,必须获得矢状面或冠状面的准确图像,以了解晶状体位置的不对称性。夜翔鸟类的晶状体覆盖了眼球轴长的 1/3,而昼翔鸟类的晶状体不到眼球轴长的 1/4。据报道,CT 扫描也可观察到猛禽和信鸽等鸟类的角膜、眼前房、晶状体、巩膜、眼球后

壁、球后间隙,视神经, 以及整个头骨, 但对位于眼底的梳状突无法清晰成像。晶状体的位置、形状、大小和内容物均能区分, 玻璃体呈现均匀性。但在眼前房内及玻璃体的病变表现上, 超声显像比 CT 更明显。CT 可以评估晶状体的位置<sup>[92]</sup>。一项研究中, 8 只 (8/76) 猛禽患有白内障或晶状体脱位。轻度晶状体混浊主要发生在眼科检查中, 超声和 CT 均未见<sup>[93]</sup>。对于鉴别眼球后壁的各层超声或 CT 均无法区分。因此, 在犬猫等哺乳动物的超声检查中可区别的脉络膜视网膜炎或非常轻微的视网膜脱落, 在鸽眼的超声或 CT 中均不能区分。由于巩膜小骨造成远端阴影和伪影, 超声在评估眼眶、视神经和纤维束膜方面有其局限性, 这一缺陷可通过 CT 扫描来弥补。梳状突在 CT 或 MRI 中均无法显示, 这表明超声是唯一能在眼前节混浊的情况下诊断梳状突异常的影像手段。总之, 推荐 B 型超声作为禽类眼科检查的工具。

### 2.3.2.3 晶状体屈光力的数据采集

检影镜又称视网膜镜, 是一种能诊断眼屈光性质和测定各种屈光不正程度的客观验光仪器<sup>[94, 95]</sup>。在人类医学, 从婴幼儿到老年人, 智听障碍或无法沟通者, 均被广泛使用, 但目前未见国内外有应用于动物医学的文献报道。本研究采用静态检影验光技术的带状检影法, 即使在瞳孔直径<1 mm 的情况下 (如: 鸽和小鼠等异宠动物的瞳孔)<sup>[96]</sup>, 仍可使用。通过动物瞳孔, 观察被检眼视网膜映光的改变随时掌握亮度、速度、形状、动向的变化。因方法客观, 准确性高且经济实用, 故本研究将其用于获得信鸽的晶状体屈光力。

结合本试验对 100 只信鸽 200 眼的测量结果: 使用游标卡尺可以获得鸽眼的角膜直径数据, 使用 B 型超声扫查可以获得鸽眼的角膜直径、眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长数据, 使用检影镜可以获得晶状体屈光力数据。结果表明: 鸽眼的体积小于犬猫等哺乳动物的眼球体积, 鸽眼的角膜直径、眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长均小于犬猫等哺乳动物眼内同结构的数据, 晶状体屈光力高于犬猫, 见表 2-6。

表 2-6 犬、猫、人与鸽的晶状体数据比较  
Table 2-6 Comparison of lens data on dog, cat, human and pigeon

| 参数    | 鸽           | 犬         | 猫         | 人        |
|-------|-------------|-----------|-----------|----------|
| 晶状体直径 | 5.89±0.48   | 12.0±0.89 | 10.4±0.95 | 9.0±0.20 |
| 晶状体轴长 | 2.79±0.24   | 7.6±0.47  | 7.8±0.11  | 4.5±0.12 |
| 屈光力   | 80.855±3.69 | 41±1.42   | 53±1.55   | 20±1.15  |

晶状体是一精细调节的屈光结构,其可将清晰的图像聚焦在视网膜以获得敏锐的视觉。在犬、猫、人和鸽中,晶状体均为双凸形,其凸出程度可在调节过程中发生变化。犬、猫、人的晶状体屈光力分别为+41D、+53D、+20D,而鸽的晶状体屈光力为+80D,高于前三者。这是由于鸽的晶状体在很大程度上比哺乳动物的晶状体更柔软灵活,适应能力更强,在睫状体和周边虹膜等肌肉组织收缩时更易变形,使得晶状体向前移动,通过睫状体横纹肌的收缩,提高晶状体放大倍率,后侧和前侧的肌肉也可轴向移动睫状体,凭借对环状垫加压进一步压缩晶状体,根据天气状况和地标等变化随时调节晶状体屈光力,满足自身远近视物和长途飞行的导航需求<sup>[97-99]</sup>。

## 2.4 小结

(1) 本试验针对信鸽设计了 10 项临床眼科检查以对鸽眼进行系统性评估。发现:信鸽的眼睑反射表现为下睑瞬目,不存在间接瞳孔对光反射。回避行为和眩目反射可作为视觉反射的评估指标, Tonovet 眼压计可测定信鸽眼压,均值为  $10.4 \pm 2.1$  mmHg,酚红棉线可测定鸽眼泪液分泌量,均值为  $23.52 \pm 3.87$  mm/15 s,裂隙灯生物显微镜需在 16 倍率下对信鸽进行眼前节的活组织检查,直接检眼镜检查信鸽眼底发现其特有的梳状突结构,眼部超声检查显示鸽眼外观呈圆盘型,梳状突为血管组织。

(2) 使用游标卡尺可对鸽眼角膜直径进行准确的物理测量, B 型超声可对鸽眼及内部组织(眼球轴长、前房深度、玻璃体轴长、梳状突高度、晶状体赤道部直径、晶状体前后极轴长)扫查显像并精确测量,使用检影镜可客观获得鸽眼晶状体屈光力。

## 第三章 信鸽折叠型人工晶体的设计与研发

常年户外竞翔受到的高强度紫外线照射以及高密度群居饲养引发的相互啄咬,导致信鸽白内障颇为多见。不同于眼外疾病易于治疗,信鸽的白内障位于眼内而难于治疗,更因缺乏行之有效的治疗手段导致大量信鸽失明而丧失竞翔能力,无法参赛以致过早淘汰,造成无法挽回的经济损失。这正是国内外广大信鸽饲养者们亟待解决的实际问题。结合试验一对鸽眼组织的数据采集与分析,为设计和研发一款符合鸽眼解剖学与光学性能的折叠型人工晶体提供理论支撑,从而为信鸽白内障的临床治疗提出解决方案。本试验仅涉及信鸽折叠型人工晶体的自主设计与研发工作,具体制备环节委托爱博诺德(北京)医疗科技股份有限公司。

### 3.1 材料与方法

#### 3.1.1 主要试剂

疏水性丙烯酸酯  
micro90 清洗剂

爱博诺德(北京)医疗科技股份有限公司  
上海拜普实业发展有限公司

#### 3.1.2 主要仪器

人工晶体生产模具  
数控车床  
数控铣床  
光学测量仪  
测量投影仪(IM-8000)  
数码显微系统(VHX-7000)

爱博诺德(北京)医疗科技股份有限公司  
爱博诺德(北京)医疗科技股份有限公司  
爱博诺德(北京)医疗科技股份有限公司  
东莞市高天试验设备有限公司  
基恩士(中国)有限公司  
基恩士(中国)有限公司

#### 3.1.3 人工晶体设计与研发

人工晶体的研发过程主要包括以下环节:根据检测出的屈光力理论值,设计制定所要研发生产的人工晶体屈光力。根据材料、结构和光学设计,加工制造出产品,抛光后在室温下保存,灭菌完成后按照标准规程经历2周解析,再对产品进行临床前的检测(见图3-1)<sup>[100]</sup>。要设计符合鸽眼解剖学与光学性能的人工晶体,需考虑其未来应用于临床的安全性、稳定性和有效性,因此将从材料、结构和光学三方面入手。

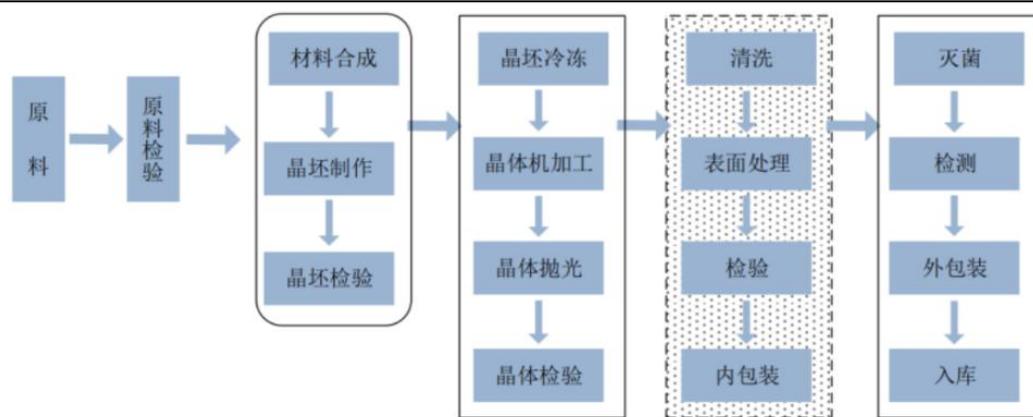


图 3-1 人工晶体工艺流程图

Figure 3-1 Process flow diagram of IOL

### 3.1.3.1 材料选择

人工晶体的材料发展经历了漫长过程。最大进步就是从硬性的 PMMA 材料发展为软性的可折叠材料。此后进入硅胶、疏水、亲水和疏水可折叠晶体共存的时代，现今应用最广泛的是疏水性丙烯酸酯，为苯乙基丙烯酸酯和苯乙基苯烯酸甲酯的聚合物，属 PMMA 系列，质软，PCO 几率低。其折光指数为 1.44~1.55，高于亲水材料，可使人工晶体更薄且生物相容性好，对葡萄膜炎、青光眼、糖尿病患眼更安全<sup>[101]</sup>。因此，本试验选用疏水性丙烯酸酯作为生产信鸽折叠型人工晶体的材料。

### 3.1.3.2 结构设计

机械结构方面的设计考量是非常重要的因素，这决定了人工晶体的支撑性，并对术后后发障的发生几率和手术效果产生长期影响。**襟形**：基于材料自身特性，本试验研发的疏水性人工晶体拟采用双 L 形襟设计；**边缘**：锐利的方形边缘可阻止晶状体上皮细胞移行，降低后发障的发生率，且只有连续的方边才能全方位阻止残留的晶状体上皮细胞向人工晶体后方生长<sup>[102]</sup>。因此，本试验设计的人工晶体为 360°连续性方边，且襟根部方边与主体方边仍为连续；**面形**：本试验的人工晶体拟采用非球面设计，这种设计的人工晶体球差较小，在一定程度上具有拮抗自身倾斜和偏心的能力。表面预进行肝素处理，可防止炎性细胞附着，以使植入环境的容差能力得到优化。

### 3.1.3.3 光学设计

拟设计为单焦点，故无炫光和光晕现象<sup>[103]</sup>。

### 3.1.3.4 设计预案

本试验设计的人工晶体特征在于：包括圆形设置的光学部和 2 个支撑襟，2 个襟

彼此等距环绕设置于光学部的圆周边缘，光学部为等双凸面设计，包括彼此一体成型的前光学面、中间部和后光学面，前光学面和后光学面均为零球差非球面。支撑襻为L型襻，包括彼此一体成型的第一襻和第二襻，第一襻远离第二襻的一端设置有波浪纹，第二襻远离第一襻的一端设置有连接部，通过该连接部与光学部的圆周连接。连接部设置有倒圆弧角。光学部直径预设为5 mm，支撑襻远离光学部的端部至光学部的中心距离预设为4~6 mm。光学部中心和支撑襻的厚度均预设为0.45~0.55 mm。前光学面和后光学面的曲率半径预设为0.3~0.4 mm。支撑襻与中间部倾斜连接，支撑襻与中间部所在平面形成的角度预设为1.2~1.8°。数字标记依次代表：1-光学部，2-支撑襻，3-第一襻，4-第二襻，5-连接部，6-倒圆弧角，7-波浪纹，8-前光学面，9-中间部，10-后光学面（见图3-2）。

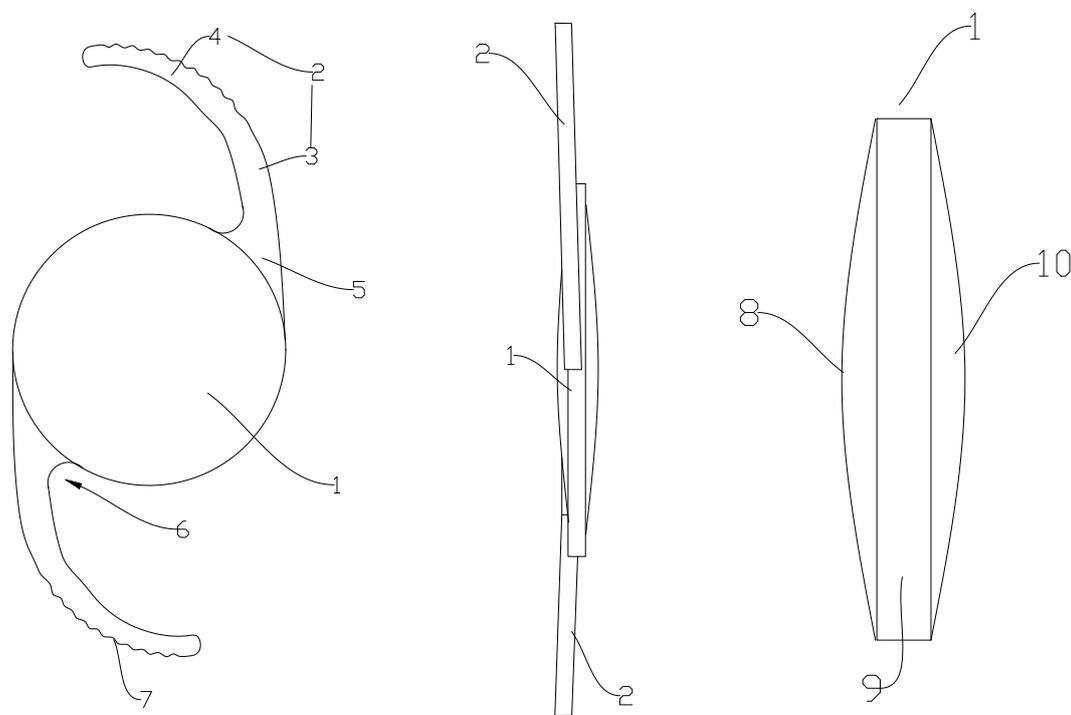


图 3-2 人工晶体的冠状面、矢状面和横断面

Figure 3-2 Coronal plane, sagittal plane and cross section of IOL

### 3.2 试验结果

根据试验一的数据结果，结合现有生产条件与上述设计预案，本试验设计的信鸽折叠型人工晶体最终方案为：以疏水性丙烯酸酯为构成材料，人工晶体总长5.0 mm，光学部直径2.5 mm，厚度0.5 mm，屈光力+80D，光学部后凸、非球面单焦点，角度前倾1.5°的双L形襻，具体实物如下图（见图3-3）。



图 3-3 信鸽折叠型人工晶体实物图

Figure 3-3 Image of pigeon foldable IOL

### 3.3 讨论

手术是目前白内障最有效的治疗方式。早期白内障手术只摘除混浊的晶状体而不植入人工晶体，患病动物术后视力虽有明显改善，但因晶状体缺乏所导致的屈光不足使患病动物处于远视状态。随着科技发展，晶状体摘除联合人工晶体植入术以优异的视力改善效果受到临床兽医师的青睐，成为当今主流的白内障手术方式。

#### 3.3.1 材料选择

前述三要素中，首要关键即构成人工晶体的材料，材料的安全与稳定是后续一切设计的基础<sup>[104]</sup>。人工晶体的材料发展经历了漫长的过程，最大进步就是从硬性的 PMMA 材料发展为软性的可折叠材料，此后进入了硅胶、疏水、亲水可折叠晶体的共存时代。亲水性丙烯酸酯相对较软，支撑力小，需四角襻或板形襻提供足够支撑力。这种厚重襻形在空间本就狭小的鸽眼囊袋内变形空间就更为有限，而且在术中植入眼内后，由于材质的固有弹性会使人工晶体快速打开，从而撑破晶状体囊袋，造成囊膜破裂而无法植入人工晶体<sup>[105]</sup>。而本试验设计研发的人工晶体，包括光学部和支撑襻的整体，均为软性的疏水性丙烯酸酯材质，特点包括：无毒性、去三致（致癌、致畸、致突变）；具有良好的生物相容性<sup>[106]</sup>；经环氧乙烷气体灭菌保存后，产品有效期可维持 2 年。由于其软性材质的特征，可实现支撑襻的折叠，从而实现更小的手术切口，短时间内完成该人工晶体植入于鸽眼内的手术操作，缩短术后恢复期。

### 3.3.2 结构设计

本试验设计的信鸽专用折叠型人工晶体,包括1个光学部和2个支撑襻,但在其他物种的人工晶体预案中,只要能够实现对光学部的稳定支撑;也可设计为多个支撑襻,如采用3个或4个支撑襻。本试验设计的信鸽专用折叠型人工晶体,2个支撑襻彼此等距环绕设置于光学部的圆周边缘,相互呈 $180^\circ$ 连接于光学部;在本试验设计的人工晶体预案中,上述支撑襻为L型,因此具有良好的囊袋内支撑力和适应性,便于形变和折叠。在其他物种的人工晶体设计预案中,也可采用其他类型的支撑襻,如C型襻或板型襻等<sup>[107]</sup>,这里只是举例其中一种具体实施情况,并非是对支撑襻的形状限制。上述支撑襻包括彼此一体成型的第一襻和第二襻,第二襻远离第一襻的一端设置有连接部,第二襻通过连接部与光学部的圆周连接,本试验研发人工晶体的连接部与光学部连接处为前宽后窄的设计,增加支撑襻与光学部相连接的接触面积,提高连接的稳定性。上述连接部设置有倒圆弧角,通过设置的倒圆弧角,便于在囊内手术时插入器械以操控人工晶体,以便将人工晶体调整到最佳位置,使人工晶体光学部中心与视轴中央重合,从而获得更好的视觉效果。上述第一襻远离第二襻的一端设置有波浪纹,通过在支撑襻上设置波浪纹,可有效防止人工晶体在手术时不必要的移动和旋转,增加了IOL与囊膜间的摩擦力,提高在鸽眼中的稳定性<sup>[106]</sup>。在本试验设计研发的人工晶体中,上述支撑襻与中间部倾斜连接,支撑襻与中间部所在平面形成的角度为 $1.5^\circ$ 。做成双L形襻这种简单结构设计即可满足人工晶体的支撑需求,且双L形襻角度前倾 $1.5^\circ$ ,可使襻形成稳固的3点式结构<sup>[108]</sup>,支撑襻进行略微角度倾斜设置。由于该襻形可随受力而变形,因此具有良好的囊袋适应性。手术时可实现支撑襻和光学部在信鸽眼内较为稳定的贴合和支撑,提高其与晶状体囊袋结合的稳定性和稳定性。

### 3.3.3 光学设计

本试验设计的信鸽折叠型人工晶体采用圆形的光学部和2个支撑襻,支撑襻彼此等距环绕设置于光学部的圆周边缘,光学部呈等双凸面设置,光学部包括彼此一体成型的前光学面、中间部和后光学面,前光学面和后光学面的表面均为零球差非球面的技术预案。理论上,当将该人工晶体植入于信鸽眼内时,通过晶状体囊袋和人工晶体的结合,调整光线的折射,鸽眼的额外球差为零,从而提高信鸽的视力水平<sup>[109]</sup>。采用光学部为等双凸面的零球差非球面,具有均一的屈光力,同时角膜形状以及瞳孔大小对于其影响小,有利于提高视力成像效果。通过设置在光学部两端的2个支撑襻,可以稳定支撑人工晶体的整体结构<sup>[108]</sup>。本试验研发人工晶体的光学部直径为2.5 mm,远离光学部的2个支撑襻端距离为5 mm,光学部中央和支撑襻的厚度均为0.5 mm。

屈光力为+80D 的光学部，由于度数较高，采用了双面零球差非球形设计，以提高曲率半径。在本试验研发人工晶体中，上述前光学面和后光学面的曲率半径为 3.5 mm，在满足光学部屈光力的度数同时，在一定程度上降低了制作成本，并可用于实际生产和制备环节。本试验研发设计的信鸽折叠型人工晶体，2 个襻均具有 1.5° 的前倾角度，可以和光学部在晶状体囊袋内形成稳固的三点式结构，提高晶体在囊袋中的位置稳定性和光学稳定性。犬猫和人的人工晶体样，也具有 1.5° 的前倾角度，这也是一个普遍规律或共识，但也有其他厂家采取不同的倾角设计<sup>[110]</sup>。波浪纹是防止 IOL 旋转，强化位置稳定性。L 型襻、1.5° 夹角、零球差非球面的光学部设计，是为避免人工晶体植入而增加眼本身的球差，即除了眼自身球差外，不再引入额外的球差。人工晶体表面进行肝素处理的目的在于提高其在动物体内的生物相容性<sup>[111]</sup>。本试验设计的信鸽折叠型人工晶体，屈光力为 80D，度数高、曲率半径小，光学部采用的等双凸设计厚度为 0.5 mm，如用双平凸方式，实现凸面的曲率半径会更小，目前实际生产中也难以实现。

后发障是人工晶体的最常见问题。诸多文献证明锐利的方形边缘可以阻止晶状体上皮细胞移行，降低后发障几率<sup>[112-116]</sup>。本研究制备的人工晶体，后凸明显的设计符合鸽眼晶状体的自然形态，光学部紧密贴附后囊有助于减少术后晶状体上皮细胞移行的严重程度及后囊混浊，理论上可使鸽眼获得优秀的光学质量。在光学部前后表面进行的肝素修饰可防止炎性细胞附着，提高生物相容性并减少手术后遗症，对鸽眼组织恢复有辅助作用。

### 3.3.4 关于研发本品植入器的思考

关于研发本试验人工晶体配套使用的植入系统存在实际生产困难。人工晶体植入系统由导入头和金属推注器两部分组成，因信鸽晶状体的体积非常小，如研发专门针对鸽眼人工晶体的植入系统，需重新设计研发导入头及配套的金属推注器<sup>[117-120]</sup>，具体难点如下：

(1) 针对鸽眼人工晶体的植入切口尺寸仅为 1.6~2.0 mm，导入头推注管口的外径尺寸初步考虑为  $\Phi 1.5\text{mm}$ ，内径尺寸为  $\Phi 1.1\text{mm}$ ，这样导入头模具内腔道成型镶件前端将为  $\Phi 1.1\text{mm}$  的细长插穿结构，镶件加工难度非常大，对于模具的加工及装配精度要求也非常高。即使可以加工出来，在模具注塑过程中镶件撞模及注塑压力导致镶针变形的可能性也非常高。

(2) 如导入头内腔道仅为  $\Phi 1.1\text{mm}$ ，这样推注器推针前端设计尺寸最大为  $\Phi 0.9\text{mm}$ ，同时头部还需设计一个凹槽结构特征用于推注过程中抓持鸽眼人工晶体光学部

的后边缘，这使该推针的加工难度也非常大。

(3) 上述针对鸽眼人工晶体的导入头及推注器仅可用于植入此特定 IOL 产品，无法推注其它 IOL 产品，所以即使研发出该款人工晶体推注器，也仅能用于鸽眼的白内障手术。

(4) 上述导入头的开模费用，推注器的加工费用很高，初步预计导入头的开模费用约为 16~20 万人民币。

此外，本试验设计研发的信鸽专用折叠型人工晶体无需设计为衍射型。菲涅尔透镜的主要作用是减薄厚度和减轻重量，原理为光的折射而非衍射。由于信鸽人工晶体的光学区直径要求在 2.0~2.5 mm 范围，做成菲涅尔透镜设计很可能会严重影响成像质量，再有就是因为这款 IOL 的光学区直径小，需要的中心厚度为 0.50 mm，不使用植入器也可植入，因此最终未采用菲涅尔透镜设计。

### 3.4 小结

根据试验一对鸽眼组织的数据采集与测量结果并结合解剖结构与生理特点进行自主设计研发，本试验制备出以疏水性丙烯酸酯为构成材料供鸽眼专用的折叠型人工晶体产品，结构为：总长 5.0 mm，双凸非球面单焦点光学部直径 2.5 mm，轴厚 0.5 mm，屈光力+80D，角度前倾 1.5° 的双 L 形襻屈光力。为治疗信鸽白内障提供了一种改善视力的新方案，以期进一步应用于临床实践。

## 第四章 信鸽折叠型人工晶体的动物试验

本试验选取健康成年活体信鸽 20 例, 选定 20 只右眼为手术试验组实施超声乳化术, 拟植入本研究设计研发的疏水性丙烯酸酯人工晶体, 20 只左眼为空白对照组。手术临床试验的目的是通过具体实践以探索鸽超声乳化联合人工晶体植入术的手术通路和各环节技术, 并在实际操作中验证本研究设计人工晶体的使用效果, 总结手术恢复情况, 以及在手术过程中发现缺陷或不足, 为日后在信鸽白内障临床的未来应用提供重要的参考依据。

### 4.1 材料与方 法

#### 4.1.1 试验动物

另选活体信鸽 20 只 (北京壹号鸽舍), 标准: 品种 *Columbia livia*, 年龄 1~5 岁。已进行年度免疫, 无传染性疾病和外伤史, 无眼病和全身性疾病。最终选取雄鸽 13 只 (BW: 400~600g), 雌鸽 7 只 (BW: 300~500g)。

#### 4.1.2 主要仪器

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| MAGLITE M2A 医用笔灯  | 美国 MAGLITE 公司        |
| BPI50 比色瞳孔对光反射检查仪 | 美国 RetinoGraphics 公司 |
| Tonovet 回弹式眼压计    | 芬兰爱凯有限责任公司           |
| Kowa15 裂隙灯生物显微镜   | 日本兴和株式会社             |
| 卤素光源便携式直接检眼镜      | 日本纳宜兹株式会社            |
| M7 VetB 型超声诊断仪    | 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司     |
| 小动物专用吸入麻醉机        | 美国 MATRX 公司          |
| 动物用超声乳化仪          | 瑞士傲帝公司               |
| 眼科手术显微镜           | 上海轶德医疗设备有限公司         |
| 开睑器               | 爱博诺德 (苏州) 医疗器械有限公司   |
| 结膜镊               | 爱博诺德 (苏州) 医疗器械有限公司   |
| 撕囊镊               | 爱博诺德 (苏州) 医疗器械有限公司   |
| 超乳手柄              | 瑞士傲帝公司               |
| 注吸手柄              | 瑞士傲帝公司               |
| 人工晶体植入镊           | 爱博诺德 (苏州) 医疗器械有限公司   |
| 持针器               | 爱博诺德 (苏州) 医疗器械有限公司   |

### 4.1.3 主要耗材

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| 泪液检测酚红棉线        | 天津晶明新技术开发有限公司     |
| 荧光素钠眼科检测试纸      | 天津晶明新技术开发有限公司     |
| 0.9%NaCl 溶液     | 山东华鲁制药有限公司        |
| 一次性 5 mL 注射器    | 江苏治宇医疗器材有限公司      |
| 0.5%复方托吡卡胺滴眼液   | 参天制药（中国）有限公司      |
| 0.4%奥布卡因滴眼液     | 参天制药（中国）有限公司      |
| 0.1%氟米龙滴眼液      | 参天制药（中国）有限公司      |
| 0.5%头孢甲肟滴眼液     | 参天制药（中国）有限公司      |
| TM-100 型医用超声耦合剂 | 天津津亚科技发展有限公司      |
| 医用纱布绷带条         | 江西中赣医疗器械有限公司      |
| 爱克琳术野消毒液        | 深圳市安多福消毒高科技股份有限公司 |
| 异氟烷             | 华中海威（北京）基因科技有限公司  |
| 医用氧气            | 北京太平永顺科贸有限公司      |
| 气管插管            | 北京爱诺康科技发展有限公司     |
| 15° 眼科穿刺刀       | 美国 sharpoint 公司   |
| 信鸽折叠型人工晶体       | 爱博诺德（苏州）医疗器械有限公司  |
| 眼科手术用粘弹剂        | 爱博诺德（苏州）医疗器械有限公司  |
| 10-0 眼科吸收缝线     | 美国 focus 公司       |

### 4.1.4 信鸽的饲养管理

确保信鸽的饲养环境与笼具的清洁干燥，处于阳光充足的方位，定期打扫和消毒。采用投喂的方法，尽可能降低信鸽的应激与抗拒。用 0.9%NaCl 生理盐水点眼与常规眼科检查等方式进行适应性训练，使动物尽快熟悉各试验环节的操作步骤，保证信鸽的日常性散步。

### 4.1.5 术前检查

体格与眼部筛查，对信鸽进行体格与眼部筛查，无传染性疾病和外伤史，体温、呼吸、心率，以及饮食、精神、体重。无眼病和全身性疾病，眼部屈光介质（角膜、房水、晶状体、玻璃体）均呈透明，不存在明显可见的眼部异常、损伤及斜视、眼分泌物，未有任何角膜炎症、葡萄膜炎、白内障、青光眼、视网膜病变等眼部异常。

眼科学检查包括：眼睑反射、焦点光源检查、比色瞳孔对光反射、视觉反射检查（恫吓瞬目反应、迷宫试验、眩目反射）、眼压测量、泪液分泌量试验、眼表荧光素

钠染色、裂隙灯生物显微镜活组织检查、眼底检查、眼部超声检查。

#### 4.1.6 术前准备

场所的准备：术前 1 d 清理手术室并进行紫外线消毒。

人员的准备：术者与助手更换刷手服，在消毒池洗手后穿戴无菌手术衣帽，进入手术室。

器械的准备：在前期预试验的逐步探索下，为本试验筛选并改良为适用于在鸽眼内操作的显微手术器械，如改良型开睑器、Bimanual 超乳手柄和注吸手柄等，高温高压消毒。

耗材的准备：15° 眼科穿刺刀、信鸽折叠型人工晶体、眼科手术用粘弹剂、10-0 可吸收眼科缝线，上述物料均为已消毒的一次性包装产品。

仪器的准备：连接超声乳化仪的管路与手柄，调节灌注液高度，设置乳化仪功率与档位。术前开机进行自检测试，模拟超声乳化与注吸全过程，检测管路密闭性及双手柄的灌注、抽吸及乳化功能，确保系统正常运行，设置功率参数。调节眼科手术显微镜焦距至术野清晰。

麻醉的准备：采用全身麻醉方式。将待手术的信鸽放入麻醉箱中，调节麻醉机挥发罐至刻度 4，进行诱导麻醉（见图 4-1）。稳定后抱出信鸽，用无气囊的 2 号插管进行气管插管，调节麻醉机的挥发罐至刻度 2，氧流量维持在 1~1.5，进行全身麻醉，准备手术。



图 4-1 信鸽诱导麻醉

Figure 4-1 Induced anesthesia of pigeon

动物的准备：术前 3 日至手术当日，用 0.1% 氟米龙滴眼液和 0.5% 头孢甲肟滴眼

液对信鸽右眼进行点眼，频率为 3 次/d。手术当日，术前 6~8 h 禁食，术前 2 h 禁水。术前 2 h 用 0.5% 复方托吡卡胺滴眼液点眼散瞳，每次间隔 30 min（共 4 次）。术前 1 h 在散瞳之外追加 0.1% 氟米龙滴眼液点眼，每次间隔 30 min（共 2 次）。同时使用 0.4% 奥布卡因滴眼液，进行局部点眼麻醉，每次间隔 15 min（共 4 次）。将麻醉后的信鸽仰卧保定，喙部朝左，右眼朝上。实施保温措施后，右眼周围皮肤剃毛消毒，眼球表面用生理盐水冲洗后，用爱克琳术野消毒液对术眼的球结膜、结膜囊和角膜进行消毒，铺盖手术洞巾。

#### 4.1.7 手术过程

显露术野：改良型开睑器充分开睑，设置牵引线。

切口制作，顺序：侧切口→粘弹剂→主切口。先做侧切口，无严格位置或隧道形态要求。左手持 15° 眼科穿刺刀，刀锋朝上，在 2 点钟位置，右手持结膜镊并齿抵住巩膜，起点位于角膜缘穿刺进入眼前房，切口宽度约 1.5 mm，可刺破一点角膜缘毛细血管，形成切口的位置标记。

填充粘弹剂：在侧切口插入粘弹剂注射器针头，针头沿着最大径线插入过中点，推注粘弹剂，重建前房，将房水或者气泡从侧切口赶出来。注意针头不要随意游走。粘弹剂填充要足量，覆盖瞳孔。

透明角膜切口：左手持结膜镊固定眼球，在眼球 10 点钟方位，距角巩膜缘前方 0.5 mm 处，右手持 15° 眼科穿刺刀，刀锋朝上，穿刺进入眼前房，切口宽度约 1.5 mm。如出现前房塌陷，可再补充适量粘弹剂。

连续环形撕囊：调节手术显微镜的焦距，以能看到信鸽眼底的红光反射为准。在向前房内注入足量的粘弹剂后，使用改良型撕囊镊对鸽眼的晶状体前囊进行连续实施撕囊术。通过主切口进入前房至下方瞳孔域内，并齿在 10 点钟方位向下刺入，朝 12 点方向划开，翘起一个囊瓣，使囊瓣向前囊表面折叠。使用改良型撕囊镊夹持囊瓣游离部顶端，并以此为着力点，沿顺时针轨迹牵引进行连续环形撕囊，囊孔直径约为 2.5~3.0 mm。

水分离：完成连续环形撕囊术后，将连有注射器的粘弹剂针头伸入撕囊的囊孔边缘下方，分别在 3 点钟和 9 点钟位置注入生理盐水，使晶状体与周围囊膜钝性分离，直至晶状体核在囊袋内自由旋转。

囊袋内双手超声乳化术：四象限碎核术，双手使用 Bimanual 超乳手柄和注吸手柄进行晶状体超声乳化吸除术（见图 4-2）。设置乳化仪为高能量低负压模式，补充适量粘弹剂后，在灌注状态下，将 Bimanual 注吸手柄插入侧切口，撑起前房。同时

将 Bimanual 超乳手柄插入主切口，2 个手柄经过囊孔边缘相互朝向，同时伸入晶状体核底部，乳化手柄的针头挤压核左侧，注吸手柄的针头挤压核右侧，即完成 1 个象限的碎核。之后将晶状体顺时针旋转 90°，重复此操作，完成剩余 3 个象限的碎核。



图 4-2 鸽眼的超声乳化术

Figure 4-2 Phacoemulsification of pigeon eye

抽吸皮质：设置乳化仪为低能量高负压模式，双手继续使用 Bimanual 超乳手柄和注吸手柄进行晶状体的皮质抽吸过程。使皮质堵塞于抽吸孔并持续吸引，注吸手柄针头移向囊袋中央牵引皮质，使其附着在后囊上的部位脱离赤道部；重复以上操作直至皮质完全清除。

植入折叠型人工晶体：横向折叠植入术。向囊袋内和眼前房补充适量粘弹剂，术者双手各持一把植入镊将人工晶体沿其横轴对称性折叠，并递于右手的植入镊夹持固定，以待植入（见图 4-3）。



图 4-3 鸽眼的人工晶体植入术

Figure 4-3 IOL implantation of pigeon eye

左手换持角膜镊提起主切口上缘，右手持植入镊先将人工晶状体的 1 个支撑襻及光学部前端沿与切口垂直的方向送入鸽眼前房，然后逆时针转动手腕使植入镊直立，

与眼平面呈  $90^\circ$ ，顺势将人工晶体送入囊袋内。缓慢松开植入镊，确保人工晶体的 2 个支撑襻均位于囊袋内，同时调整人工晶体位置，使其光学部中央与视轴中心重合。

关闭切口：闭合切口前，双手继续使用 Bimanual 超乳手柄和注吸手柄清除粘弹剂，同时灌注生理盐水维持鸽眼前房稳定。使用 10-0 眼科吸收线缝合主切口及侧切口。充分冲洗术眼，分别使用 0.1% 氟米龙滴眼液和 0.5% 头孢甲肟滴眼液点眼。

#### 4.1.8 术后护理

手术平稳苏醒后转入笼中单独静养，无需包扎术眼但需佩戴自制的护具。术后前 3 d，每 2 h 监测 1 次双眼眼压，每日监测 6 次。术后 6~8 h 开放饮食，给与高蛋白含量的鸽粮，补充术中热量损失<sup>[121]</sup>。术后当天至第 14 d，每日用 0.9% NaCl 生理盐水冲洗术眼，之后分别用 0.1% 氟米龙滴眼液、0.5% 头孢甲肟滴眼液、0.3% 透明质酸钠滴眼液对信鸽术眼进行点眼，频率为 6 次/d，若有炎症加重的情况，可追加双氯芬酸钠滴眼液，频率为 6 次/d，眼压低于 5 mmHg 的情况下，可追加 0.5% 复方托吡卡胺滴眼液，频率为 3 次/d。术后每日观察术鸽的饮食状况、精神状态，以及术眼的临床恢复情况，具体包括：是否存在明显的眼部异常、损伤、斜视或眼分泌物，术眼能否正常睁开、角膜透明性、眼球的随意运动性、触诊有无明显痛感等，并在术后第 1、2、3、4 周，总结记录。期间保证术鸽的日常性散步，维持基础活动量。

#### 4.1.9 术后评估标准

将术眼临床恢复状况分别按照：4（优）、3（良）、2（中）、1（差），4 个等级评分，具体评估标准为：

- 4（优）：术眼睁开、角膜清澈透明、眼球运动自如、触诊无明显痛感；
- 3（良）：术眼睁开、角膜轻度水肿、眼球运动自如、触诊无明显痛感；
- 2（中）：术眼羞明、角膜中度水肿、眼球运动自如、触诊有明显痛感；
- 1（差）：术眼紧闭、角膜重度水肿、眼球运动失常、触诊有明显痛感。

## 4.2 试验结果

本试验对 20 只鸽的右眼实施了超声乳化术，手术平均用时为 58.7 min，术后恢复平均用时为 15.7 d，恢复平均状况为 2.55。其中 11 例植入了 IOL，9 例因术中并发症未植入 IOL，出现的术中并发症有：虹膜脱垂 1 例、术中缩瞳 3 例、术中出血 2 例、后囊破裂 3 例、前囊破裂 2 例、前房变浅 2 例、气穴泡沫 1 例、玻璃体溢出 1 例、悬韧带断裂 1 例、皮质残留 1 例，无明显并发症的有 3 例，详见表 4-1。

表 4-1 超声乳化联合人工晶体植入术及围手术期状况  
Table 4-1 Phacoemulsification and IOL implantation and perioperative status

| 编号 | 手术时间 (min) | 术中并发症 | 是否植入 IOL | 恢复时间 (d) | 恢复状况 |
|----|------------|-------|----------|----------|------|
| 1  | 93         | 虹膜脱垂  | 否        | 27       | 1    |
| 2  | 87         | 术中缩瞳  | 否        | 26       | 1    |
| 3  | 96         | 术中出血  | 否        | 28       | 1    |
| 4  | 72         | 后囊破裂  | 否        | 25       | 1    |
| 5  | 84         | 术中缩瞳  | 否        | 20       | 2    |
| 6  | 82         | 术中缩瞳  | 是        | 18       | 2    |
| 7  | 73         | 术中出血  | 是        | 16       | 3    |
| 8  | 60         | 前囊破裂  | 否        | 19       | 3    |
| 9  | 64         | 后囊破裂  | 否        | 16       | 3    |
| 10 | 59         | 前房变浅  | 是        | 19       | 4    |
| 11 | 51         | 前囊破裂  | 是        | 17       | 3    |
| 12 | 45         | 前房变浅  | 是        | 14       | 4    |
| 13 | 36         | 后囊破裂  | 是        | 10       | 3    |
| 14 | 33         | 气穴泡沫  | 是        | 7        | 4    |
| 15 | 35         | 无     | 是        | 8        | 3    |
| 16 | 48         | 玻璃体溢出 | 否        | 10       | 2    |
| 17 | 45         | 悬韧带断裂 | 否        | 9        | 2    |
| 18 | 34         | 无     | 是        | 7        | 4    |
| 19 | 36         | 无     | 是        | 6        | 3    |
| 20 | 41         | 皮质残留  | 是        | 12       | 2    |

### 4.3 讨论

第 1 例发生了术中虹膜脱垂,首先这与鸽眼的眼内操作空间过小及切口过大有关,其次还与角巩膜缘切口位置不正确、术中虹膜损伤、灌注液流速过快、虹膜后方粘弹剂过度充盈、玻璃体扩张有关。术中发生脱垂时,本人通过快速闭合伤口及重建前房解决了该问题。此外,切口闭合后,可插入 30 g 的注射器针头,轻轻冲洗虹膜并向角膜伤口内机械性移动,同时用粘弹剂使脱垂的虹膜复位。倘若效果仍不理想,还可尝试使用强效缩瞳剂,如卡巴胆碱。在人的白内障手术中提倡使用诸如乙酰胆碱或卡巴胆碱的缩瞳剂<sup>[122]</sup>,以防止虹膜嵌顿于角巩膜缘切口内,验证 IOL 植入的合适位置,

并防止术后高眼压（Postoperative ocular hypertension, POH）。两种缩瞳剂在作用起始时相似，但卡巴胆碱的作用时间更长。在兽医眼科学中，提倡用卡巴胆碱以降低术后即刻高眼压的发生率<sup>[123]</sup>。术中使用缩瞳剂可能与术后闪辉、纤维蛋白、缩瞳和疼痛增加有关，使用这些药物可能需要在术后首个 24 h 内进行术后散瞳。在后续手术中，通过使切口位置更靠前些、降低输液速度、正确放置粘弹剂，以及轻柔对待组织，均未再次发生虹膜脱垂现象。当然，也正是由于术中发生了虹膜脱垂，严重干扰了手术操作并延长了手术时间，脱垂的虹膜很难复位，因此术中并未植入 IOL，而且持续存在的眼内炎症也影响了此例手术效果和术后恢复时间。

几乎每只术眼都发生了术中缩瞳现象，其中第 2、5、6 例的缩瞳表现更为明显，这可能与本人不熟悉鸽眼的白内障手术操作、术前散瞳未起作用、术中器械反复进出，以及器械触碰眼内组织有关。在用目前方法实施的术前准备和白内障摘除术中，术中缩瞳是较为罕见的。在一项人的回顾性研究中，白内障手术遇到小瞳孔的几率是 1.6%。在后续的手术中，通过术中给予腔内 1:10000 肾上腺素、腔内 1~2%利多卡因、粘弹剂等，以及随着手术熟练程度的逐渐提高，改善了缩瞳现象。也有资料记载用肾上腺素来实现和维持手术期间的散瞳，其可在手术开始时直接注入前房，也可将肾上腺素以较低浓度放入灌注液中持续滴注。使用 1:1000 的心内肾上腺素，用 BSS 稀释至 1:10000 以直接滴注，或 0.4 mL 置于 500mL 灌注液中以连续滴注。腔内肾上腺素有助于达到最大化散瞳，作为血管收缩的结果，临床效果是在前房内有较少的术后炎性产物。已表明腔内 1%或 2%的利多卡因可导致持续 74~142 min 的明显散瞳，而无明显不利的眼部或全身性副作用。散瞳开始的时间与使用利多卡因的浓度和剂量有关<sup>[124]</sup>。除药物性散瞳，也可使用粘弹剂和维持前房灌注以达到机械性散瞳。由于第 2 和 5 例产生了强烈的缩瞳效应，因此术中并未植入 IOL。第 6 例通过腔内注射粘弹剂以及使用虹膜拉钩，勉强植入了 IOL。

第 3、7 例均发生了明显的术中出血，术中紧急使用了 1:10000 的肾上腺素。后续手术均注意轻柔对待组织并使用粘弹剂，减少了出血的发生。如果出血，在出血部位放置少量的肾上腺素并用内聚性粘弹剂填塞，可以起到效果。此外，出血时使用超声乳化的 I/A 技术也可将其清除，使其对术中能见度的影响不明显。术后可考虑使用组织纤溶酶原激活剂（tissue plasminogen activator, tPA）。如果担心出血和前房纤维蛋白，可将 tPA 置于腔内<sup>[125]</sup>。由于第 3 例在术中出血较多，因此为避免术后炎症未植入 IOL，第 7 例术中出血相对较少，根据术中评估植入了 IOL。

第 4、8、9、11、13 例均发生了囊膜破裂，不同的是，第 4、9、13 例发生了后囊破裂，第 8 和第 11 例发生了前囊破裂。前囊破裂一般指晶状体前囊的放射状撕裂，CTCC 可能是白内障手术中最重要的操作之一，特别是在计划植入 IOL 的情况下。造

成撕囊困难的因素包括：与成熟期白内障有关的反光不足、放大倍率不够、撕囊纤维化/褶皱，以及未使用粘弹剂。第 8 例的前囊破裂是由于术中在植入人工晶体时，IOL 襻划伤前囊膜造成，这种操作性的意外是可以随着手术技术熟练程度的提升而避免。放射状撕裂与 IOL 襻在囊袋外的不当位置及 IOL 偏心有关。IOL 偏心的最常见原因即是存在放射状撕裂。撕囊术最好在超声乳化术之前进行，因为这样可降低造成放射状撕裂的可能性。某些情况下，必须在撕囊术完成之前进行部分或完全的超声乳化术。这种情况必须尽量减少超声乳化针头的侧向运动，以防止放射状撕裂。术者必须既能以顺时针又能以逆时针方向撕裂囊膜。随着撕裂的发展，撕裂的两端均可见，避免向内螺旋并导致 Q 形撕裂，这与预期的 O 形相反。与开罐式、线性囊切开术和截囊技术相比，已证明 CTCC 是最不可能发生放射状撕裂的。在使用开罐式技术的眼中，术眼放射状撕裂的发生率范围为 86%，许多都有不止一条的放射状撕裂。此外，已证明在发生放射状撕裂之前，CTCC 将被拉伸超过其原有直径的 62%，以便植入 IOL<sup>[126]</sup>。如发现放射状撕裂，最好尝试将该撕裂带回至中心环形撕囊中，完成环形撕囊，防止撕裂向赤道部扩大及可能被牵连的晶状体后囊。一旦观察到撕裂即应进行该步骤，以免放射状延伸。如需进行水分离，更是如此，因为这将扩张囊膜并延长撕裂。如果产生放射状撕裂不大，通常仍有可能成功插入 IOL。

第 8 例由于前囊破裂程度较大，因此未植入 IOL。第 11 例的前囊破裂程度并未影响植入 IOL。这种情况，襻应指向尽可能远离放射状撕裂的方向。另一种方法是植入 IOL，增加襻与囊膜的接触，从而增加了 IOL 的稳定性，且降低了襻从囊膜到睫状沟移位的可能性。而后囊破裂比前部破裂更为严重，最好避免而非处理。如果发生，必须尝试在远离囊膜撕裂处完成超声乳化术以免扩大。第 4、9、13 例的鸽眼在术中发生了后囊破裂，处理时在撕裂处放置了内聚性粘弹剂以堵塞玻璃体。此时勿使粘弹剂过度膨胀，因为这将扩展撕裂。应降低灌注率（降低灌注瓶），控制灌注液远离后囊撕裂。在前房内放置一个单独的灌注口，引导灌注远离囊膜撕裂/玻璃体面，从而使撕裂的进一步发展最小化。最后，用囊膜镊通过有计划的后部环形撕囊术，最好将一个小的线性或三角形后囊撕裂转变为一个圆形撕裂。已表明这将使囊膜撕裂的发展最小化且有助于 IOL 插入<sup>[127]</sup>。最好在内聚性粘弹剂和 12~20 的放大倍率的显微镜下进行。对于发生后囊撕裂的最常见时间有争论，但包括在核摘除期间（41%），在后囊抛光期间（28%），以及 I/A 期间。在水分离过程中，如果使用的压力过大或前囊放射状撕裂持续扩大，也可能发生后囊破裂。在核碎裂过程中，深度的蚀刻与锋利的核边缘会牵连到后囊撕裂的产生。在人，没有超声乳化经验的术者，后囊撕裂发生率约为 5%，但有经验者会降至  $\leq 1\%$ <sup>[128]</sup>。在兽医白内障手术中，计划或意外后囊撕裂的病例发生率为 14%~16%<sup>[129]</sup>。如需进行前极玻璃体切除术，最好采用干式玻璃体

切除技术, 依靠粘弹剂维持房室, 或采用低流量的双手技术, 将灌注液直接注入前房。使玻璃体水化及随后膨胀最小化是必不可少的。如在囊膜抛光过程中发生囊膜撕裂, 继续抛光可能是欠妥当的。如果选择进一步抛光, 管理朝向撕裂的所有动作, 以免扩大。一旦移除所有的晶状体物质, 就必须解决 IOL 的放置问题了。如果出现小的后囊撕裂, 但剩余囊袋完好且稳定, 首选囊内 IOL, 可减少后方玻璃体的前移。但由于第 4、9 例的后囊破裂过大, 未免植入 IOL 后坠入玻璃体腔, 2 例均未植入 IOL。第 13 例的后囊破裂较小, 不影响植入 IOL。有文献记载, 如果囊膜破裂严重, 可用 ab 内部通路或改良的 ab 外部通路, 在睫状沟缝合后房型 IOL。一项研究报道, 放置 IOL 的眼 76% 没有后囊撕裂, 但只有 31% 的眼发生了后囊撕裂<sup>[130]</sup>。当后囊意外撕裂时, 只有 15% 的眼放置了 IOL。与后囊撕裂有关的是玻璃体脱垂、术后 IOP 上升、术后瞳孔变形、玻璃体内残留晶状体物质、视网膜撕裂和脱离。当处理得当时, 后囊撕裂仍可获得良好的术后效果。上述方法在人和犬猫等眼球体积较大时是可以实施的, 但在鸽眼内却难以实现, 因此并未采用。

第 10 和 12 例均发生了术中前房变浅, 经分析, 可能的主要原因就是在某一时间段内, 灌注的进水量少于出水量, 分为三方面因素: 进水少了、出水多了、眼内压力增加<sup>[131]</sup>。第 10 例是因为术中发生了浪涌导致前房变浅, 诸如: 管道老化、参数设置有误、瓶高过低等因素都是浪涌的常见原因, 前房忽深忽浅。浪涌在第 10 例的 Phaco 过程中有体现, 术中发现前房不稳定但未及时调整, 此时应降低负压和流量, 升高灌注瓶, 以及检查其他导致前房不稳定的原因。特别吸除最后一个核块时发生的浪涌最危险, 即后囊前涌将没有核块阻隔而直面针头。所以吸除最后一块核时, 应注意点踩, 赢得反应时间。第 12 例是由于术中发生了灌注瓶亏水导致前房变浅, 灌注瓶里的水流空了, 前房会瞬间消失。此时如超乳针头处于 II 档以上正在负压吸引, 还会发生角膜皱缩, 非常危险。通常观察灌注瓶水位应该是护士的工作, 但难免有疏忽之时。应养成每台手术开始前自己观察灌注水位的习惯, 尤其是手术比较慢, 用水量比较大的阶段, 对于水量应做到心里有数。灌注瓶完全流空之前, 有一个阶段输血管内还有点水, 此时水压已经很低了, 这时术者已能感受到前房有些不稳定了, 会忽深忽浅, 注意这是非常重要的预警信号。一些立式的超乳机, 会带有缺水报警, 灌注瓶放空时负压和超声会全部暂停工作, 有效保护后囊。如果使用台式小超乳机, 如小白星、傲帝等超乳机, 就没有该功能, 需要术者和护士多加注意。虽然这 2 例均发生了不同程度的前房变浅, 但经处理后, 并未影响植入 IOL。

第 14 例在术中出现了大量气泡。几乎每一台使用超声乳化仪的白内障手术中, 都会产生气穴和泡沫。气穴产生于超声乳化术的过程, 这一过程导致产生泡沫, 其降低了能见度并干扰探头-晶状体接触, 降低了切削功率。此外, 气穴泡沫储有能量,

当泡沫破裂释放高压、高温冲击波，以及诱导自由基，所有这些都可能导致角膜内皮细胞死亡<sup>[132]</sup>。泡沫形成的阈值因超声乳化仪手柄而异，且随着探头表面积的增加，气穴的功率阈值降低。气穴泡沫形成于探头尖端和探头肩部，此处连接手柄。后一种气泡会沿着硅胶袖套被灌注液带入眼内。这个位置的泡沫阈值比探针尖端处要低得多。新针肩部的流线型降低了气穴效应。经用 IA 手柄吸除后，本例植入 IOL。

在完整或破裂的晶状体后囊眼内可能会发生玻璃体扩张综合征，俗称玻璃体溢出，即第 16 例出现的术中并发症。术中可见完整的晶状体后囊将向前移位，通过前囊开口突出进入前房。如果后囊同时破裂，玻璃体将通过后囊撕裂扩展，扩大撕裂，并与自身和晶状体物质及超声乳化针头抽吸孔缠绕。第 16 例的玻璃体溢出属于后囊完整的玻璃体扩张综合症，可通过使用阿曲库铵等非去极化神经肌肉阻断剂<sup>[133]</sup>、使用外眦切开术以使其最小化，以确保不会由开睑器、洞巾、牵引线的张力，或术者曾经进入前房所引起的外力作用于眼球。此外，术中观察到了晶状体后囊向前移动，此时使用高粘度的粘弹性材料，以努力使囊向后移动。如果前部撕囊过大，不能防止或控制玻璃体扩张，可能导致无法插入 IOL 或植入后 IOL 被挤出。虽然一些术者选择使用碳酸酐酶抑制剂或渗透性利尿剂于术前给药，以防止玻璃体扩张<sup>[134]</sup>。在后囊破裂和前玻璃体面破裂、悬韧带松弛（断裂）、晶状体半脱位以及玻璃体变性的一些眼中，将会遇到玻璃体溢出。虽然超声乳化术具有维持前房及前房压力的优点，但也有 I/A 嵌顿玻璃体的缺点。第 16 例的术中玻璃体溢出发生了过度水化并嵌顿于超声乳化针头内，导致玻璃体的进一步干扰和损耗，影响晶状体物质的移除，继而发生后囊破裂，必须首先采取的步骤是防止撕裂扩大和玻璃体面干扰。一般来说，如果玻璃体出现于前房内，建议部分玻璃体切除术。现今许多超声乳化仪带有该性能，可扩展为包含一个振荡式和/或一个切割式的玻璃体切除器。然后更换手柄，可以很容易地进行前极玻璃体切除术，同时继续使用相同的管路，灌注液，以及脚踏板。本试验采用的超声乳化仪具备前极玻切功能，可快速转换。一般情况下，最好使用干式或低流量双手玻璃体切除术，使用单一灌注孔，而非同轴灌注。这将使晶状体后囊和玻璃体的进一步干扰最小化。不应使用单孔 I/A 袖套的玻璃体切除器，因为这将直接注入玻璃体，使问题恶化。鉴于玻璃体溢出的程度，第 16 例未能植入人工晶体，且预后不良，不排除发生视网膜脱落或眼球痨等术后并发症。

第 17 例在术中发生了晶状体悬韧带断裂，这很可能是因为囊膜严重不稳定，但通过目前的检查手段并未在术前排查，所以在撕囊术和超声乳化术时受到影响。然而对于这种情况，即便有更大的松弛甚至完全脱位，但倘若玻璃体稳定，一些术者仍会进行超声乳化术<sup>[135]</sup>。对于悬韧带断裂，应尽量减少侧向运动完成超声乳化术。必须小心以免断裂发展。建议使用双手技术，使用第二器械稳定晶状体并辅助碎化。悬韧

带断裂比后囊破裂少见。如果存在悬韧带松弛也可放置一枚囊内 IOL，理想的 IOL 是有一个大的光学部和增加的襻-囊接触面（C 型襻或 360°襻）。应通过压迫外襻插入 IOL 而非拨动。使用注射器通过切口，放置一枚折叠型丙烯酸 IOL，将改善晶状体的放置。在人和犬猫等哺乳动物的超声乳化术之前或之后放置囊袋张力环，有助于晶状体囊的稳定性。小于 180°的悬韧带断裂需要囊袋张力环。另一种方法是可在睫状沟放置后房型 IOL 并缝合，可用 ab 内部通路或改良的 ab 外部通路。如已移除晶状体，改良的 ab 外部通路效果良好。但上述两种方法均限于体积较大的眼球，同样不适用于鸽眼的操作。而且悬韧带的断裂，意味着晶状体囊整体失去了结构的稳定性，因此，第 17 例最终也未能植入 IOL。

第 20 例发生了皮质残留的术中并发症，残留的物质还包括核碎片。与残余晶状体物质相关的并发症包括 IOP 升高、角膜水肿、炎症、视网膜撕裂和脱离。术后全身性非甾体抗炎药（Non-Steroidal Anti-inflammatory Drugs, NSAIDs）或皮质类固醇以及抗生素可用于这些患者。关于玻璃体中晶状体物质的量以及玻璃体的稠度，有一些争论，但少量残余晶状体核物质可以最小的反应留在玻璃体中<sup>[136]</sup>。然而保留的皮质物质反应性更强，必须清除。清除残余晶状体碎片最合适的方法是通过平坦部的玻璃体切除技术。

在兽医学中为免玻璃体进一步扰乱或如果必被玻璃体干扰时，晶状体碎片的清除可经角巩膜缘切口实施，应使用合适的器械操作而非超声乳化手柄。可用粘弹性材料填塞玻璃体，以帮助防止进一步干扰<sup>[137]</sup>。术中一旦注意到后囊撕裂和晶状体碎片的位移，应立即停止灌注/抽吸。然后在角巩膜缘作灌注进入的第二切口，且灌注指向前房内，与虹膜平行并远离玻璃体。如果可能的话，碎片被运送到前房内虹膜的水平面，在此处将其碎化。如果玻璃体液化，或有更多固态玻璃体的情况，在用玻璃体切除器移除覆盖上方的玻璃体后，可用粘弹性材料使晶状体碎片漂浮到晶状体囊中。另一种方法是，可在玻璃体内用玻璃体切除手柄抽吸和切削小块的晶状体物质。这对皮质物质尤其有效，而切割式玻璃体切除器作用最好。当进行玻璃体切除术时，使用低流量的双手技术，或使用粘弹性材料撑起房室，并执行干式玻璃体切除术。一旦移除所有的晶状体物质，即可解决 IOL 的放置问题。如出现小的后囊撕裂，但其余囊袋完好且稳定，首选囊内 IOL。

第 15、18、19 例的手术过程较为顺利，未发生术中并发症，均植入了人工晶体。但由于对医源性囊膜撕裂的关注，囊膜抛光是一项必要但常被忽视的操作。术中晶状体前、后囊均应进行抛光。对后囊设置为低真空（40~50 mmHg），对前囊用较高的真空设置是可能的（50~100 mmHg）。执行该程序时，抽吸-回吐的脚踏控制是设备的一个必备功能。囊膜抛光应使用 12~14 的放大倍率。当被吸入 I/A 孔内，将观察

到后囊褶皱。前后囊的混浊最常见于过熟期白内障患眼，不论有无 LIU。如果可能，应通过彻底的囊膜真空处理和抛光清除这些混浊。如不能清除，但不在视轴上，或大小不重要，则可能将其留下<sup>[138]</sup>。较大的混浊，特别是位于视轴的那些混浊，可能需要通过计划的后囊撕囊术，使用内聚性粘弹剂、Vannas 剪和 Utrata 镊，或使用切割式玻璃体切除器。后部撕囊术可在插入 IOL 之前或之后进行，使用粘弹性材料防止玻璃体通过囊的开口出现。计划的 CTCPC 还可用于处理与白内障有关的持续性玻璃样膜。用内聚性粘弹剂加深前房和晶状体囊，以实施连续环形后部撕囊术 (Continuous tear curvilinear posterior capsulorhexis, CTCPC)。手术显微镜的放大倍率增加到 12~14 倍。用 Vannas 剪切开晶状体后囊轴部，用粘弹剂从玻璃体面提升囊膜。如果出现持续性玻璃样膜动脉，评估玻璃样膜动脉的开放性。多数是非开放性的，且可切断，并无出血风险。使用囊膜剪或 Utrata 囊膜镊，移除晶状体后囊轴部混浊以完成 CTCPC<sup>[139]</sup>。如晶状体后囊开口，暴露玻璃体面，术后 10~14 d 需全身使用抗生素。

综上所述，对于眼科手术特别是操作要求较高的白内障手术，最好是避免术中并发症。如果发生需用各种方法来解决，这会有助于术中并发症的管理。尽可能在术前检查时预测术中并发症的各种可能并有所准备。

#### 4.4 小结

通过对信鸽折叠型人工晶体植入的临床应用，本试验探索了鸽的诱导与吸入麻醉，优化了超声乳化仪功率的参数设置，改良了部分眼科器械与耗材，并对鸽眼实施超声乳化联合人工晶体植入术。设计研发的折叠型人工晶体可以用于植入鸽眼，手术操作引起的术中并发症可影响眼组织与手术效果，但可随技术水平的提高而减少或避免。

## 第五章 信鸽折叠型人工晶体的安全性和有效性评价

人工晶体临床应用评估的目的是评价该产品是否具有预期的安全性和有效性。在人眼的临床试验中，评价安全性的指标为是否存在各种术后并发症以及具体表现程度；评价有效性的最重要指标就是术后视力，即需要通过视力表进行评估，涉及屈光力的检查常以受试者的主觉验光值为准。但动物无法使用视力表或语言来表达主觉验光值，因此仅能以动物的视觉反射作为视力的具体参考。在本试验中，涉及评价人工晶体临床有效性的指标为：术眼的各种视觉反射检查结果；评价人工晶体临床安全性的指标包括：眼部表现、裂隙灯下的角膜表现、前后节炎症反应、人工晶状体表现、后发障、眼底状况，以及眼内压。

### 5.1 材料与方法

#### 5.1.1 试验动物

同试验四中右眼实施超声乳化术的活体信鸽 20 只。

#### 5.1.2 主要仪器

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| MAGLITE M2A 医用笔灯 | 美国 MAGLITE 公司    |
| Tonovet 回弹式眼压计   | 芬兰爱凯有限责任公司       |
| Kowa15 裂隙灯生物显微镜  | 日本兴和株式会社         |
| 卤素光源便携式直接检眼镜     | 日本纳宜兹株式会社        |
| M7 VetB 型超声诊断仪   | 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司 |

#### 5.1.3 主要仪器设备

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| 泪液检测酚红棉线        | 天津晶明新技术开发有限公司 |
| 荧光素钠眼科检测试纸      | 天津晶明新技术开发有限公司 |
| 0.9%NaCl 溶液     | 山东华鲁制药有限公司    |
| 一次性 5mL 注射器     | 江苏治宇医疗器材有限公司  |
| 0.5%复方托吡卡胺滴眼液   | 参天制药（中国）有限公司  |
| 0.4%奥布卡因滴眼液     | 参天制药（中国）有限公司  |
| 0.1%氟米龙滴眼液      | 参天制药（中国）有限公司  |
| 0.5%头孢甲肟滴眼液     | 参天制药（中国）有限公司  |
| TM-100 型医用超声耦合剂 | 天津津亚科技发展有限公司  |
| 医用纱布绷带条         | 江西中赣医疗器械有限公司  |

### 5.1.4 信鸽折叠型人工晶体的有效性评价

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，通过恫吓瞬目反应、迷宫试验、眩目反射这三种视觉反射检查，客观反映 20 只术眼的视力水平，进而评价鸽眼人工晶体的临床有效性。

#### 5.1.4.1 恫吓瞬目反应

遮住信鸽的术眼，用手快速接近被检眼，使用小型挡风板以免引起气流，仔细观察并记录术眼是否有瞬目反应。注意检查时不要触碰到毛发，以免影响结果。“+”表示有明显反应，“-”表示无明显反应。

#### 5.1.4.2 迷宫试验

迷宫试验中的回避行为是一种比恫吓瞬目反应更可靠的视觉指标，表现为瞬目、瞬膜移动和回避行为，这恰是信鸽视觉检查完成迷宫试验的必要条件。使用纱布绷带条固定术鸽两翅以免随意飞翔，设置障碍迷路，使其在迷宫中步行<sup>[140-141]</sup>，检查者在保持适当距离下驱赶。视力若正常，不会撞上障碍物并顺利通过；视力减退或丧失的情况下，会撞上障碍物，或边试探确认边小心步行。“+”表示碰撞通过，“++”表示顺利通过。仔细观察并记录术鸽的行走状况。

#### 5.1.4.3 眩目反射

旋转打开 MAGLITE M2A 医用笔灯开关，调至最大的光强度，利用其焦点光源，突然照射术眼，仔细观察并记录术眼是否发生瞬目。“+”表示有明显反应，“-”表示无明显反应。

### 5.1.5 信鸽折叠型人工晶体的安全性评价

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，通过眼科检查获得 20 只眼的各种临床表现和术后并发症，以评价鸽眼人工晶体的临床安全性，具体包括：泪液分泌量、眼内压变化、裂隙灯显微镜下的角膜状态、眼前房炎症反应、人工晶体表现、后发障程度、眼后节和眼底状况。

#### 5.1.5.1 泪液分泌量试验

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，对 20 只术眼进行泪液分泌量的检测。将酚红棉线嵌入术眼下睑结膜囊，测定泪液分泌量，15s 后取出酚红棉线读数。

#### 5.1.5.2 眼压测量

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，对 20 只术眼进行眼压测量。信鸽安静平视前方，眼压计探针尖端与术眼角膜距离保持 4~8 mm，连续测量 6 次（前 5 次为测量值，第 6 次为前 5 次的平均值），读取最终数值。

#### 5.1.5.3 裂隙灯生物显微镜检查

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，使用 Kowa15 裂隙灯显微镜检查术眼的角膜状态、眼前房炎症反应、人工晶体表现、后发障程度。具体方法：裂隙灯的光源与检查者视轴呈 30~45°角，由信鸽头外侧照射眼部。检查者双目通过裂隙灯显微镜的目镜，首先在弥散光下观察眼部整体外观，之后在裂隙光下观察角膜、眼前房、人工晶体的三维结构。最后移动光源，与检查者的视轴呈 0°角照射，利用视网膜的逆向反射光，对中间屈光介质的混浊情况进行二维的评价，对结膜、角膜、虹膜、瞳孔、前房、人工晶体等眼球结构进行具体评估，同时仔细观察术眼是否有角膜混浊程度/面积、结膜充血/水肿/分泌物、血管翳、荧光染色深度/面积、眼前房炎症反应（房水闪辉、前房浮游细胞、前房积脓及眼内炎表现，以及虹膜和瞳孔形态）、人工晶体表现（偏位、倾斜、脱位及混浊等）、后发障程度（后囊混浊状况）等表现。

后发障程度（后囊混浊状况）评分标准如下：PCO 等级分数（0~4+）的临床举例<sup>[142]</sup>，（a）晶状体后囊一层微弱的薄雾或最低程度的混浊，可对视网膜全面评估，级别为 1/2+PCO。（b）晶状体后囊上局灶性斑块、或弥漫性薄雾，或轻度混浊，对视网膜评估轻度受损，级别为 1+PCO。（c）晶状体后囊多于一个斑块，或致密的薄雾，或中度混浊，眼底检查轻度受损，级别为 2+PCO。（d）晶状体后囊大量致密斑块或重度混浊，眼底检查中度受损，级别为 3+PCO。（e）完全阻挡视网膜视野的 PCO 级别为 4+。

#### 5.1.5.4 眼底检查

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，使用检眼镜对术眼进行散瞳后的眼底检查，评估术后的眼底状况（有无视网膜脱落等病变）。

#### 5.1.5.5 眼 B 超检查

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，使用检眼镜对术眼进行散瞳后的眼底检查，评估眼内形态结构是否异常。将 1 滴 0.4%奥布卡因滴眼液点眼进行局部麻醉，在 M7 Vet 动物专用 B 型超声的眼科探头（频率 12 MHz）涂抹少量低敏性超声检查耦合剂，打开眼睑，探头直接接触眼球，对术眼分别进行冠状面和矢状面的扫查。

扫查时探头分别以相对水平和垂直的方向接触眼球，按照结构层次有序进行，先对眼内结构进行扫查，具体包括：括角膜、巩膜；中层的虹膜、睫状体、脉络膜及内

层的视网膜；还有眼内容物，包括房水、人工晶体、玻璃体以及球后视神经和血管等<sup>[143]</sup>。仔细扫查后，根据图像综合评估，获得检查结果并做好记录。

## 5.2 试验结果

### 5.2.1 信鸽折叠型人工晶体的有效性评价

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，通过恫吓瞬目反应、迷宫试验、眩目反射这三种视觉反射检查，客观反映 20 只术眼的视力水平，进而评价鸽眼人工晶体的临床有效性。

表 5-1 术后视觉反射检查

Table 5-1 Examination of postoperative visual reflex

| 序号 | 检查   | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 恫吓反应 | —     | —     | —     | —     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | +     |
|    | 眩目反射 | —     | —     | —     | —     |
| 2  | 恫吓反应 | —     | —     | —     | —     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | +     |
|    | 眩目反射 | —     | —     | —     | —     |
| 3  | 恫吓反应 | —     | —     | —     | —     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | +     |
|    | 眩目反射 | —     | —     | —     | —     |
| 4  | 恫吓反应 | —     | —     | —     | —     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | +     |
|    | 眩目反射 | —     | —     | —     | —     |
| 5  | 恫吓反应 | —     | —     | —     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | ++    |
|    | 眩目反射 | —     | —     | —     | +     |
| 6  | 恫吓反应 | —     | —     | —     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | ++    |
|    | 眩目反射 | —     | —     | —     | +     |
| 7  | 恫吓反应 | —     | —     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | ++    | ++    |
|    | 眩目反射 | —     | —     | +     | +     |
| 8  | 恫吓反应 | —     | —     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | ++    | ++    |
|    | 眩目反射 | —     | —     | +     | +     |

| 序号 | 检查   | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|------|-------|-------|-------|-------|
| 9  | 恫吓反应 | —     | —     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | +     | +     |
| 10 | 恫吓反应 | —     | +     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | ++    | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | +     | +     | +     |
| 11 | 恫吓反应 | —     | —     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | +     | +     |
| 12 | 恫吓反应 | —     | +     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | ++    | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | +     | +     | +     |
| 13 | 恫吓反应 | —     | —     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | +     | +     |
| 14 | 恫吓反应 | —     | +     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | ++    | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | +     | +     | +     |
| 15 | 恫吓反应 | —     | —     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | +     | +     |
| 16 | 恫吓反应 | —     | —     | —     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | —     | +     |
| 17 | 恫吓反应 | —     | —     | —     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | —     | +     |
| 18 | 恫吓反应 | —     | +     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | ++    | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | +     | +     | +     |
| 19 | 恫吓反应 | —     | —     | +     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | ++    | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | +     | +     |
| 20 | 恫吓反应 | —     | —     | —     | +     |
|    | 迷宫试验 | +     | +     | +     | ++    |
|    | 炫目反射 | —     | —     | —     | +     |

### 5.2.2 信鸽折叠型人工晶体的安全性评价

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，通过眼科检查获得 20 只眼的各种临床表现评价鸽眼人工晶体的临床安全性，具体包括：裂隙灯显微镜下的角膜状态、眼前房炎症反应、人工晶体表现、后发障程度。

表 5-2 术后裂隙灯显微镜检查

Table 5-2 Postoperative examination of slit lamp microscope

| 序号 | 检查     | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 角膜状态   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | 前房炎症   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
|    | 后发障程度  | 2     | 3     | 4     | 4     |
| 2  | 角膜状态   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | 前房炎症   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
|    | 后发障程度  | 2     | 3     | 4     | 4     |
| 3  | 角膜状态   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | 前房炎症   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
|    | 后发障程度  | 3     | 3     | 3     | 4     |
| 4  | 角膜状态   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | 前房炎症   | 4     | 4     | 4     | 4     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
|    | 后发障程度  | 3     | 3     | 4     | 4     |
| 5  | 角膜状态   | 4     | 4     | 3     | 3     |
|    | 前房炎症   | 4     | 4     | 3     | 3     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
|    | 后发障程度  | 2     | 2     | 3     | 3     |
| 6  | 角膜状态   | 4     | 4     | 3     | 3     |
|    | 前房炎症   | 4     | 4     | 3     | 3     |
|    | IOL 表现 | 2     | 3     | 4     | 4     |
|    | 后发障程度  | 2     | 2     | 3     | 3     |

| 序号 | 检查     | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 7  | 角膜状态   | 4     | 3     | 3     | 2     |
|    | 前房炎症   | 4     | 3     | 3     | 2     |
|    | IOL 表现 | 2     | 2     | 3     | 4     |
|    | 后发障程度  | 2     | 2     | 3     | 4     |
| 8  | 角膜状态   | 3     | 3     | 2     | 2     |
|    | 前房炎症   | 3     | 3     | 2     | 2     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
|    | 后发障程度  | 2     | 3     | 3     | 3     |
| 9  | 角膜状态   | 3     | 3     | 2     | 2     |
|    | 前房炎症   | 3     | 3     | 2     | 2     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
|    | 后发障程度  | 2     | 2     | 3     | 3     |
| 10 | 角膜状态   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | 前房炎症   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | IOL 表现 | 0     | 1     | 1     | 1     |
|    | 后发障程度  | 0     | 1     | 1     | 1     |
| 11 | 角膜状态   | 3     | 3     | 2     | 2     |
|    | 前房炎症   | 3     | 3     | 2     | 2     |
|    | IOL 表现 | 0     | 1     | 2     | 2     |
|    | 后发障程度  | 2     | 2     | 3     | 3     |
| 12 | 角膜状态   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | 前房炎症   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | IOL 表现 | 0     | 0     | 0     | 1     |
|    | 后发障程度  | 0     | 0     | 0     | 1     |
| 13 | 角膜状态   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | 前房炎症   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | IOL 表现 | 0     | 1     | 2     | 2     |
|    | 后发障程度  | 2     | 2     | 2     | 2     |
| 14 | 角膜状态   | 2     | 1     | 1     | 0     |
|    | 前房炎症   | 2     | 1     | 1     | 0     |
|    | IOL 表现 | 0     | 0     | 0     | 1     |

| 序号 | 检查     | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 15 | 后发障程度  | 0     | 0     | 0     | 1     |
|    | 角膜状态   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | 前房炎症   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | IOL 表现 | 0     | 1     | 1     | 2     |
| 16 | 后发障程度  | 1     | 1     | 1     | 2     |
|    | 角膜状态   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | 前房炎症   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
| 17 | 后发障程度  | 1     | 1     | 2     | 3     |
|    | 角膜状态   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | 前房炎症   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | IOL 表现 | —     | —     | —     | —     |
| 18 | 后发障程度  | 1     | 1     | 2     | 3     |
|    | 角膜状态   | 1     | 1     | 0     | 0     |
|    | 前房炎症   | 1     | 1     | 0     | 0     |
|    | IOL 表现 | 0     | 0     | 0     | 1     |
| 19 | 后发障程度  | 0     | 0     | 0     | 1     |
|    | 角膜状态   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | 前房炎症   | 3     | 2     | 2     | 2     |
|    | IOL 表现 | 0     | 1     | 2     | 2     |
| 20 | 后发障程度  | 0     | 0     | 1     | 2     |
|    | 角膜状态   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | 前房炎症   | 2     | 2     | 1     | 1     |
|    | IOL 表现 | 0     | 0     | 1     | 1     |
|    | 后发障程度  | 0     | 1     | 2     | 4     |

分别在术后 1 周、2 周、3 周、4 周，通过眼科检查记录 20 只眼的术后并发症评价信鸽眼人工晶体的临床安全性，具体包括：泪液分泌量、眼内压变化、眼底状况。

表 5-3 术后并发症

Table 5-3 Postoperative complication

| 序号 | 检查    | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 泪液量   | 33    | 31    | 28    | 26    |
|    | 眼压    | 19    | 17    | 19    | 18    |
|    | 眼底    | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 |
|    | 眼 B 超 | 虹膜膨隆  | 虹膜膨隆  | 虹膜膨隆  | 虹膜膨隆  |
| 2  | 泪液量   | 36    | 32    | 34    | 30    |
|    | 眼压    | 2     | 4     | 3     | 4     |
|    | 眼底    | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 |
|    | 眼 B 超 | 眼内强回声 | 眼内强回声 | 眼内强回声 | 眼内弱回声 |
| 3  | 泪液量   | 32    | 30    | 27    | 29    |
|    | 眼压    | 20    | 18    | 19    | 17    |
|    | 眼底    | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 |
|    | 眼 B 超 | 眼内强回声 | 眼内强回声 | 眼内强回声 | 眼内强回声 |
| 4  | 泪液量   | 34    | 30    | 27    | 27    |
|    | 眼压    | 3     | 3     | 4     | 3     |
|    | 眼底    | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 |
|    | 眼 B 超 | 眼内强回声 | 眼内强回声 | 眼内弱回声 | 眼内弱回声 |
| 5  | 泪液量   | 35    | 31    | 27    | 25    |
|    | 眼压    | 3     | 4     | 4     | 6     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
| 6  | 泪液量   | 32    | 29    | 26    | 24    |
|    | 眼压    | 4     | 5     | 6     | 7     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
| 7  | 泪液量   | 28    | 25    | 23    | 22    |
|    | 眼压    | 4     | 5     | 7     | 8     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 前房强回声 | 前房弱回声 | 结构正常  | 结构正常  |
| 8  | 泪液量   | 28    | 26    | 25    | 23    |

| 序号 | 检查    | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | 眼压    | 3     | 6     | 6     | 7     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
|    | 泪液量   | 29    | 25    | 24    | 22    |
| 9  | 眼压    | 5     | 5     | 7     | 8     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
|    | 泪液量   | 27    | 26    | 23    | 21    |
| 10 | 眼压    | 4     | 8     | 10    | 10    |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
|    | 泪液量   | 27    | 28    | 23    | 22    |
| 11 | 眼压    | 3     | 6     | 9     | 11    |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
|    | 泪液量   | 23    | 20    | 21    | 19    |
| 12 | 眼压    | 5     | 7     | 10    | 13    |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
|    | 泪液量   | 26    | 24    | 20    | 21    |
| 13 | 眼压    | 6     | 7     | 9     | 9     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
|    | 泪液量   | 25    | 22    | 23    | 20    |
| 14 | 眼压    | 5     | 9     | 8     | 10    |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
|    | 泪液量   | 23    | 22    | 21    | 22    |
| 15 | 眼压    | 6     | 7     | 8     | 10    |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |

| 序号 | 检查    | 第 1 周 | 第 2 周 | 第 3 周 | 第 4 周 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 16 | 泪液量   | 35    | 32    | 27    | 28    |
|    | 眼压    | 7     | 12    | 15    | 18    |
|    | 眼底    | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 | 视网膜脱落 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 眼球扩张  | 眼球扩张  |
| 17 | 泪液量   | 36    | 34    | 29    | 26    |
|    | 眼压    | 13    | 14    | 17    | 16    |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
| 18 | 泪液量   | 23    | 22    | 21    | 22    |
|    | 眼压    | 6     | 8     | 10    | 11    |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
| 19 | 泪液量   | 23    | 24    | 26    | 25    |
|    | 眼压    | 6     | 7     | 7     | 8     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  | 结构正常  |
| 20 | 泪液量   | 27    | 25    | 23    | 24    |
|    | 眼压    | 5     | 6     | 8     | 9     |
|    | 眼底    | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 | 无明显异常 |
|    | 眼 B 超 | 结构正常  | 结构正常  | 囊袋强回声 | 囊袋强回声 |

### 5.2.3 结果分析

对上述结果进行统计学分析。表 5-1 的第 4 周结果显示 4 例信鸽视觉反射异常，16 例良好，合格率 80%。视觉反射良好的 16 例中，有 11 例植入 IOL，5 例未植入，植入率 68.75%。与未植入组相比，植入组的恫吓瞬目反应、迷宫试验及炫目反射结果更理想，说明植入 IOL 对信鸽视力恢复更有效（见图 5-1）；表 5-2 的第 4 周结果显示 7 例信鸽眼部表现异常，13 例无明显异常，合格率 65%。无明显异常的 13 例中，9 例植入 IOL，4 例未植入，植入率 69.23%。与未植入组相比，植入组在裂隙灯下角膜状态、眼前房炎症反应、IOL 表现及 PCO 程度的检查结果更为理想，说明植入 IOL 对信鸽眼部恢复更安全（见图 5-2）；表 5-3 的第 4 周结果显示 5 例信鸽有剧烈术后并发症，15 例信鸽无剧烈术后并发症，合格率 75%。无剧烈术后并发症的 15 例中，

11 例植入 IOL，4 例未植入，植入率 73.33%。与未植入组相比，植入组的泪液分泌量、眼压、眼底及眼 B 超检查结果更理想，说明植入 IOL 术后并发症轻微，对信鸽眼部无明显影响（见图 5-3）。

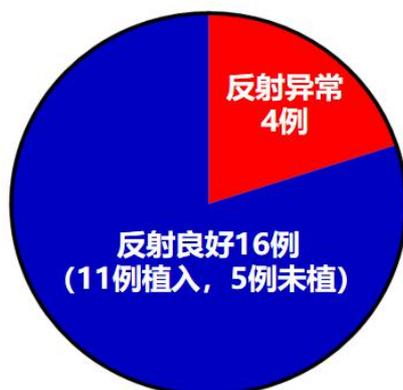


图 5-1 第 4 周视觉反射检查结果分析

Figure 5-1 Analysis of visual reflex examination results on 4<sup>th</sup> week

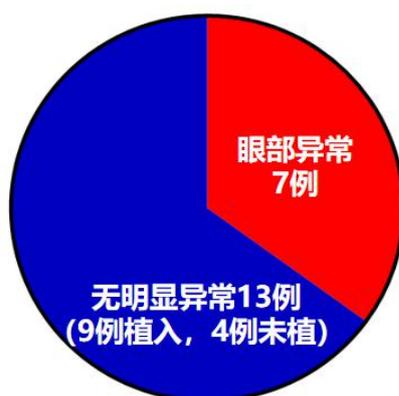


图 5-2 第 4 周眼部临床表现结果分析

Figure 5-2 Analysis of ophthalmic clinical manifestation results on 4<sup>th</sup> week

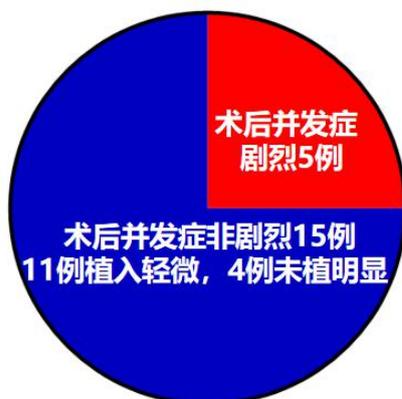


图 5-3 第 4 周术后并发症结果分析

Figure 5-3 Analysis of postoperative complications results on 4<sup>th</sup> week

## 5.3 讨论

本试验通过恫吓瞬目反应、迷宫试验、眩目反射这三种视觉反射检查，客观反映术后视力水平以评价 IOL 植入的有效性；通过裂隙灯显微镜下的角膜状态、眼前房炎症反应、人工晶体表现、后发障程度、泪液分泌量、眼内压变化、眼底状况的检查，客观反映术后眼部表现和并发症以评价 IOL 植入的安全性。其中术后并发症是临床评估植入 IOL 后，影响有效性和安全性的相对重要因素。因超声乳化联合 IOL 植入的各类及各阶段并发症均可造成视力恢复障碍，并给手术动物、术者和主人带来短期和长期的多种不便。所以，在以后的试验与临床实践中，应尽可能避免或减少术后并发症的出现，从而提高 IOL 植入后复明的成功率，具体讨论如下。

### 5.3.1 角膜水肿

角膜水肿是白内障术后的短期和长期并发症，本试验中所有术眼均在术后观察期出现了不同程度的角膜水肿现象，1~7 例较为明显，认为与前期操作不熟练及各项条件不成熟有关。白内障手术后即刻明显的角膜水肿是由于使用过量或不当的灌注液导致损伤内皮细胞、超声乳化针头的热效应、或由于葡萄膜炎或升高的 IOP。较长灌注时间、较高流速和较大容量可能会对角膜内皮造成损伤。对内皮功能理想的灌注液流应包含足够的碳酸氢盐作为缓冲，以维持合适的 pH 和渗透压，以及维持内皮运输系统，诸如钙和谷胱甘肽等基质以维持联接稳定和血液房水屏障。即使在最常规的白内障手术中，也会发生内皮细胞损伤。研究发现，在超声乳化术后平均有 22% 的中心内皮细胞损伤和 13% 的外周内皮细胞损伤。动物眼的内皮细胞对手术创伤的反应与人相似<sup>[144]</sup>。因此，来自人的研究结果可能与发生在犬的情况类似。另一项研究比较了常规 ECCE、小切口手术和超声乳化手术后的内皮细胞损伤。ECCE 导致 4.72% 的损伤，小切口手术导致 4.21% 的损伤，超声乳化术导致 5.41% 的内皮细胞损伤<sup>[145]</sup>。评估超声乳化术后犬中央角膜厚度发现，中央角膜厚度有显著的暂时性增加。这种角膜厚度的增加在糖尿病患者中更为显著，接受折叠型丙烯酸 IOL 的动物，其恢复正常的时间也比无晶状体眼和 PMMA 人工晶体眼要长。

此外，自由基的产生与高强度能量的超声乳化术有关，可导致内皮细胞凋亡和潜在的暂时性或永久性水肿。抗坏血酸加入到灌注液中，可减少 70% 的内皮细胞损伤，这可能是由于其清除自由基的净化特性。另一项比较 BSS、BSS Plus 以及 BSS 与谷胱甘肽或与抗坏血酸的研究发现，加入的抗氧化剂显著保护了角膜内皮细胞。与加入了 BSS (19.3%) 和 BSS Plus (10.6%) 的损伤相比，抗坏血酸对内皮细胞损伤最低 (0.9%)，谷胱甘肽的损失为 5.2%<sup>[146, 147]</sup>。在囊外晶状体摘除术后的犬房水中可测定

抗坏血酸；直到术后 15d 抗坏血酸减少。这提示在超声乳化术中，使用抗氧化剂可以保护内皮细胞。当然，也可使用粘弹性材料的物理性保护角膜内皮，特别是透明质酸的自由基净化效果。医源性损伤包括手术器械或 IOL 与内皮的意外接触，或在手术过程中晶状体碎片接触内皮，导致局灶性水肿。当内皮细胞扩张并恢复泵功能时，这些病例中的大多数会消退。作为一种适应机制，慢性病变的角膜内皮细胞可增加每个细胞的泵点数量，也可能是一些严重病例恢复角膜透明度的原因。角膜内皮失代偿是一种罕见的白内障手术后并发症，在人的发生率低于 1%<sup>[148]</sup>。在白内障患动物还没有评估。对于内皮细胞较少的老年动物，角膜水肿的风险更高，继而发展为慢性葡萄膜炎或青光眼。糖尿病患者会有内皮异常，导致角膜上皮病，在动物未见描述。内皮细胞的损伤可能会随着时间消退，如无法消退需穿透性角膜移植恢复视力。

### 5.3.2 术后高眼压与青光眼

术后高眼压（POH）是发生于白内障手术后 72 h 内的 IOP 短暂升高，发生率为 22.9~50%<sup>[149]</sup>。这种 IOP 的暂时升高会压垮角膜内皮泵系统，导致角膜水肿，可能比 IOP 缓慢升高对视神经更有害。POH 是由各种因素引起的多方面问题，包括残余的粘弹性材料、炎症、睫状沟内细胞，以及 ICA 改变。其他原因还包括小梁网肿胀、残留的晶状体颗粒、色素，以及粘性等离子体水等。POH 与超声乳化术持续较长时间有关，在老年动物更有可能发生。残余的粘弹性材料可导致或加剧这个瞬时现象，以及 IOP 有时显著升高<sup>[150]</sup>。本人推测，晶状体悬韧带的张力释放和阿托品造成的睫状肌麻痹，可能导致睫状体的外周运动和小梁网的压迫。IOP 的残余升高会进一步压缩睫状体并加重睫状沟塌陷。已有建议减少部分房水生成有助于 IOP 正常化，且使用增加睫状体强化的药物可进一步控制 IOP。使用 UBM 的一项近期研究评估了犬患白内障之前，术前药物散瞳后，以及超声乳化白内障摘除术后 1 h 和 3 h 的 ICA 和 AOD。发现术前 ICA 和 AOD 可能与术后发生高眼压有关<sup>[151]</sup>。完全清除粘弹性材料，POH 的发病率可能会降低。控制 POH 的其他方法包括腔内注射卡巴胆碱或 tPA 或术前使用碳酸酐酶抑制剂。一项研究评估了腔内注射卡巴胆碱在术后 3 h 和 6 h 以及次日早上对 IOP 的影响。接受腔内注射 0.01% 卡巴胆碱的病患没有一例发生 POH，而未接受卡巴胆碱的对照组有 75% 发生了 POH<sup>[122]</sup>。在人的术前使用拉坦前列腺素并没有降低术后 3 h 或 24 h 的平均 IOP。使用拉坦前列腺素产生的强力缩瞳现象可防止手术摘除白内障，但可能加剧术后的葡萄膜炎。

本试验的第 1、3、16、17 例均在术后观察期内发生了不同程度的眼压升高。建议在术后 2 h 开始多次评估 IOP。如果术后 4 h 眼压开始升高，应立即给予药物治疗。

如果动物清醒，通常会给一滴局部的碳酸酐酶抑制剂。1 h 后再重新评估 IOP 以确保下降或至少不上升。如果 IOP 高于 25 mmHg，则应给予甘露醇迅速降低 IOP。一些术者也会选择局部 2%毛果芸香碱或 0.005%拉坦前列腺素来处理。一般只要 IOP 保持在 15 mmHg 以下至出院，就无需使用额外的抗青光眼药物。但如果 IOP 增加到或保持在 15 mmHg 以上，则使用局部和/或口服碳酸酐酶抑制剂，直至 1~2 周重新评估。白内障术后发生的青光眼是定期重新评估的重要原因。继发性青光眼的药物治疗应积极并提早。口服或局部碳酸酐酶抑制剂是包括治疗青光眼在内的首选药物。如这些无效，那么可以使用局部前列腺素类药物，但应监控其促炎影响。超声乳化术和 IOL 植入术后立即进行内窥镜激光睫状体光凝术是一种正在评估的新方法，用来确定这是否会延迟或不明确延缓继发性青光眼的发生。对于远期成功，给与如下选择，包括 IOP 的管理、减少抗青光眼药物的数量，以及二次激光手术的需求<sup>[152]</sup>。传统的经巩膜二极管环消融技术是中期成功，并且直到近年，都是可用手术处理该并发症的方法之一，其他方法包括放置引流阀或经巩膜环光切除术。

### 5.3.3 葡萄膜炎

本试验的第 5、6、8 例均在术后观察期内出现了不同程度的眼压降低，这与术中发生缩瞳、出血，以及囊膜破裂有关。眼内出血是术后葡萄膜炎的一种短期表现，发生于术后不久的前房或玻璃体积血相对少见。原因包括 IOP 降低或突然改变，以及不明显或新近发生的视网膜脱落。手术过程中睫状突的张力或由于 IOL 尺寸过大也能导致出血。切口部位常被作为观察出血的位置，但透明角膜切口使其可能性更小。严重的葡萄膜炎或医源性虹膜损伤可导致前房积血。先前存在的出血倾向也可能促成前房积血或玻璃体出血。不明的眼内团块也可作为白内障术后眼内出血的起因。没有进一步并发症的小出血将会消退，但更多的大出血能导致许多长期并发症，包括继发性溶血性青光眼。由于血红蛋白聚集或溶血性红细胞（幽灵细胞）阻塞流出通道。幽灵细胞和新鲜红细胞都不能从玻璃体进入房水，玻璃体出血不太可能导致溶血性青光眼<sup>[153]</sup>。缓慢且严重的前房积血可导致纤维性瞳孔膜，能穿过 IOL 削弱视力，引起瞳孔变形或损伤角膜内皮。为避免这些并发症，一旦纤维凝块稳定且不再进一步出血，腔内 tPA 对出血 2 周内的凝块消退有效。在有些病例中，tPA 已解决了存在超过 2 周的凝块。用浓度 25  $\mu\text{g}/100\mu\text{L}$  和 0.1~0.2 mL 腔内注射 tPA，腔内 tPA 的潜在副作用可能包括角膜水肿、IOP 增加，以及再出血。无论围手术期是否使用抗炎药，晶状体介导性葡萄膜炎存在于从初期到过熟期白内障的所有阶段并通过手术本身进一步加重，但在临床上不总是明显可见的。葡萄膜炎的常见临床症状包括是否有房水闪辉、角膜水

肿、纤维蛋白和缩瞳。葡萄膜炎可暂时降低内皮细胞的泵功能。一项对混血犬正常眼的研究表明，超声乳化术后 24 h 的前房蛋白增加了 72 倍。在术后 15 d，房水蛋白的这种增加仍然显著<sup>[154]</sup>。此外，超声乳化术的术后 7~15 d，降低了房水的总抗氧化能力和抗坏血酸的浓度。一些术后葡萄膜炎是可以预料的，应在先前使用局部抗炎药。一项近期的回顾性研究发现，超声乳化术后葡萄膜炎的发生率为 16.2%<sup>[155]</sup>。根据葡萄膜炎的严重程度，也可能需要口服类固醇或非甾体类抗炎药。葡萄膜炎应立即积极处理，因为慢性葡萄膜炎可导致虹膜前纤维血管膜形成、PCO、永久性角膜水肿、继发性青光眼，以及视网膜脱落<sup>[156]</sup>。葡萄膜炎改善后，角膜通常可恢复透明性。

### 5.3.4 眼内炎

本试验的第 2 例在术后观察期内出现了眼内炎，具体临床表现为前房积脓。这可能是由于器械、设备消毒不当，或作为一种对 IOL 上毒性物质的反应，也可能是由于内毒素水平升高引起的前节毒性综合征 (Toxin anterior segment syndrome, TASS)。TASS 是一种急性、非感染性的前葡萄膜炎，通常见于术后 24 h 内<sup>[157]</sup>。认为 TASS 确实会发生，但在兽医患者的白内障手术后可能会误诊或漏诊。TASS 的发病比感染性眼内炎更严重，可能需要数日才发生。必须进行积极的抗炎治疗，一旦出现前房积脓需采取处理。应使用添加抗生素的灌注液充分冲洗前房并清除前房积脓。如怀疑 IOL 污染，可使用不同批号代替。植入前，术者应使用无菌的 BSS 冲洗 IOL。应检查细胞学抹片，并对前房内容物进行培养及敏感性，以确保使用的抗生素适用于任何潜在的感染。如果前房内容物明显无菌，假设微生物存在但不能培养，仍应使用积极的抗生素治疗。应避免将皮质类固醇作为抗炎药口服，NSAIDs 更适合<sup>[158]</sup>。

本试验的第 4 例在术后观察期内出现了感染性眼内炎，这是最具破坏性的并发症之一，可致严重或完全的失明。据估计，多达 0.10% 的人类白内障患者会因术后眼内炎而失明。一项评估犬白内障术后并发症的研究发现，1.4% 在术后 3 个月发生眼内炎。另一项研究包括了由于白内障手术并发症而摘除或取出的眼球，27% 在组织学上被诊断为眼内炎，白内障术后摘除平均时间少于 1 个月。这两项研究的眼内炎发病率差别较大，但都比人的发病率高<sup>[159, 160]</sup>。与在人上进行的大规模研究相比，这可能是由于在两项研究中样本量相对较少，应进一步评估包括因该并发症而未摘除或取出的眼。这种潜在并发症的来源包括患者的内源性菌群、受污染的灌注液或设备、细菌粘附于 IOL、空气传播的细菌、血源性细菌，以及手术室人员的菌群。必须注意，有些眼内炎病例是无菌的。老年病例在其睑板腺中有致病菌，认为这是发生眼内炎的另一个潜在来源，但这种影响在动物尚未明确。在犬的一项研究发现，24% 的房水细菌培养呈

阳性。另一项在犬的研究评估了白内障手术后前房的微生物污染；发现 22.7% 的眼至少生长一种细菌或真菌生物，这与术前培养的结膜菌群一致。生长于结膜和睑缘的最常见菌群是芽孢杆菌、葡萄球菌和梭状芽孢杆菌。3 只眼房水中生长的微生物；第 1 只眼生长芽孢杆菌，第 2 只眼生长葡萄球菌，第 3 只眼生长泛球菌<sup>[161]</sup>。此外，接种量和微生物的毒力是眼内炎发展的重要决定因素。用聚维酮碘溶液对眼周及眼球区域进行术前准备，是减少术后眼内炎的唯一预防措施。大多数兽医眼科医师在手术前 24h 开始局部抗生素给药。发生眼内炎的高危患者也应接受术后口服抗生素。

### 5.3.5 后囊混浊

超声乳化白内障手术最常见的长期术后并发症是 PCO。PCO 是一种普遍的并发症，所有人类手术患者在术后 5 年内有 20~60% 会发生，取决于年龄、地理位置，以及 IOL 类型。在一项犬的研究中，PCO 的发病率为 100%，在另一项研究中，发病率为 62%。这两项研究虽然在 PCO 的发生率有所不同，但都指出了这种术后并发症的重要性<sup>[162, 163]</sup>。在临床上，PCO 是通过直接阻断视轴导致损伤视力敏锐度。此外，晶状体后囊上的褶皱和斑块形成会进一步恶化视力损伤。本试验的所有术眼在术后观察期内均出现了不同程度的 PCO，其中第 7 和 20 例最明显。影响 PCO 形成的术中因素可能包括撕囊术、水分离、灌注液成分、使用的粘弹性材料、囊膜抛光，以及 IOL 的构型和材料。

残余 LECs 的主要反应是经历上皮-间质转化 (EMT)；即 LEC 从固着的正常立方形上皮细胞变形为过度表达  $\alpha$ -平滑肌肌动蛋白的纺锤状肌样成纤维细胞。其他形态学改变包括细胞伸长、细胞器丢失、核仁染色质凝聚和紧贴基底膜的合成。这导致了 LEC 的后向迁移和增殖。EMT 的特征包括环氧化酶-2 (COX-2) 和  $\alpha$ -平滑肌肌动蛋白的表达。与正常的 LEC 相比，评估显示了在白内障和体外 PCO 模型中，COX-2 的表达均有增加。 $\alpha$ -平滑肌肌动蛋白的表达增加导致 LEC 收缩，从而导致囊膜皱缩和可能的 IOL 偏心。术后 4 d，在兔和人的前部 LECs 初期经历了增生，且变形为纺锤形肌样成纤维细胞，即在赤道部晶状体弓连同 LEC 一起，向后方迁移并异常占据后囊<sup>[164]</sup>。这导致在临床上围绕前囊切开术并沿着晶状体后囊的混浊有明显的纤维形成。术后初期的眼内纤维蛋白，更可能与术中创伤以及特殊患者有关。如果明显的纤维蛋白位于晶状体囊袋，可能造成光学部的混浊或导致更严重的 PCO，导致视力下降。如果纤维蛋白明显，应给与浓度为 25  $\mu\text{g}/100\mu\text{L}$  且容量为 0.1~0.2 mL 的腔内 tPA，使用 30 g 针注入前房。

Nd:YAG 激光后囊切开术是处理人类 PCO 最常用的治疗方式。执行该过程自身

潜在的并发症包括, IOL 损伤、IOP 升高、囊样黄斑水肿、视网膜脱落、IOL 脱位或眼内炎。一项研究发现与手术相关的三个因素以及与 IOL 相关的三个因素, 这对预防 PCO 很重要<sup>[164]</sup>。与手术相关的三个因素是在 IOL 表面边缘的小而连续的环形撕囊术、水分离和囊内固定术。在白内障手术中, 采用的标准是制造一个比光学部略小的撕囊。这样做可实现与前囊的紧密贴合, 并有助于在囊袋内隔离光学部远离周围房水及其大分子和炎性介质。水分离是一项重要技术。传统水分离术的改良, 皮质劈裂水分离术, 允许从后囊膜分裂皮质, 从而在超声乳化术中更有效和彻底地清除大部分或全部皮质以及 LEC。精细水分离的一个长期优势是 PCO 的减少。水分离的困难在于使用单手方法进行晶状体超声乳化, 因为晶状体物质可自由逸出晶状体囊。最终的手术相关因素是 IOL 的囊内固定术。该因素的主要作用是当 IOL 直接接触晶状体后囊时, 使 IOL 光学部的屏障效应最大化增强。IOL 植入术的目的显然是将 IOL 植入晶状体囊内。在折叠型 IOL 出现之前, 囊内固定术比率仅为 60%。自从折叠型 IOL 的使用成为主流, 该比率已增加至 90%。

减少 PCO 的 IOL 相关因素包括, 生物相容性、IOL 光学部与后囊的最大接触, 以及 IOL 光学部的机械屏障效应。认为晶状体材料的生物相容性常具有抑制术后 LEC 增殖刺激的能力。这当然也考虑了其他因素, 包括手术因素、IOL 在眼内的时间, 以及生物材料因素。人的文献中有大量关于多种 IOL 生物相容性的报道<sup>[165]</sup>, 但在兽医文献中很少。第二个因素, IOL 光学部后囊接触的程度, 利用 IOL 襻的后向角度和光学部的后凸面, 造成一个 IOL 光学部和后囊的紧密贴合。已表明光学部生物材料也可造成囊膜到 IOL 光学部的粘附, 称为生物粘附。最后, IOL 光学部屏障效应是 PCO 的第二道防线。有研究在兔上表明该效应, 通过创建一个物理屏障以阻止 LEC 在 IOL 下和后囊膜上的迁移<sup>[166]</sup>。这在方形或锋利边缘的光学部尤为正确。一项关于 IOL 设计和 PCO 的研究表明, 术后早期, 方边的折叠型丙烯酸 IOL 比圆边的 PMMA 型 IOL 有 PCO 减少的趋势<sup>[167]</sup>。

已试验许多药物抑制 PCO 的形成。这些药物可在手术时直接投放于前房中, 置于手术过程中使用的灌注液, 或通过 IOL 或囊袋张力环装置注入<sup>[168]</sup>。任何药物投放系统的难点在于对其他组织的毒性, 特别是角膜内皮。包括甲氨蝶呤、丝裂霉素 C、道诺霉素、5-氟尿嘧啶, 以及秋水仙碱的大量抗代谢药物, 已表明在体外通过分解的 LEC 对抑制 PCO 有效<sup>[169]</sup>。不幸的是, 体内浓度高到足以抑制 LEC 增殖, 导致了角膜内皮细胞、虹膜、睫状体上皮细胞, 以及视网膜的毒性作用。此外, 在离体犬 LEC 模型中, COX-2 抑制剂阻止了 EMT, 因此可减少 PCO, 未来或许可用于兽医临床。

### 5.3.6 IOL 偏心及脱位

第 1、2、3、4、5、8、9、16、17 例因发生了明显的术中并发症，均未达到植入人工晶体的条件。经分析认为，主要原因有三方面：第一，与犬猫和人的前房深度相比，鸽眼前房深度仅为  $1.25 \pm 0.12$  mm，活动空间过于狭小，这是手术操作受到明显限制的最重要原因，器械在前房运动极易误碰眼内其他组织，造成非必要的炎性刺激产生缩瞳、出血、囊膜破裂等并发症，无法植入 IOL；第二，试验前期对信鸽进行超声乳化术及麻醉的整体过程不熟悉，对改良后的手术器械使用不熟练，术中多余动作较多，技术水平与手指的肌肉记忆仍维持在犬猫眼科手术的程度；第三，术前准备不充分，对术中可能发生的情况预估不足，并缺乏相应或有效的应对措施。后续改进主要在于从大量病例的积累过程中，提高手术熟练程度与操作技能水平，熟悉手术及麻醉的各环节，减少不必要的操作刺激，并在术前就准备好术中可能面对的突发情况及对应解决的计划方案。

第 6、7、10、11、12、13、14、15、18、19、20 例植入了人工晶体，但其中 6、7、11、13、15、19、20 例在术后观察期内出现了不同程度的 IOL 偏心及脱位现象，10、12、14、18 例在术后观察期内未见明显异常。传统的 PMMA 型 IOL 由于各种原因偶尔会下沉，包括在糖尿病病例中过大的晶状体囊，或者对于晶状体囊，如要植入的 IOL 直径过小。倘若前部撕囊术过大，PMMA 型 IOL 可以脱出晶状体囊，并允许房水通过囊和 IOL 下方继续流过，如果存在过大的放射状撕裂，并且在一段较长时期过后，由于 PCO 引起收缩，会迫使 IOL 出到晶状体囊外。新型的丙烯酸折叠型 IOL，不会像 PMMA 型 IOL 那样经常下沉或脱位<sup>[170]</sup>。本试验中出现的 IOL 偏心及脱位可能与囊膜收缩综合征有关，其作为连续环形撕囊术的并发症尤应注意。囊膜收缩综合征是在囊外白内障手术后，前部撕囊术和囊袋直径的过度减小。该综合征不仅减少并使囊切开术开口错位，还可导致 IOL 偏心、倾斜或位移。严重的病例会引起悬韧带牵引，导致 IOL 脱位，且倾向于视网膜脱落。囊膜收缩综合征是由经历 EMT 的前部 LEC 引起，导致  $\alpha$ -平滑肌肌肉肌动蛋白的表达和收缩以及前囊褶皱<sup>[171]</sup>。通过抽吸清除前囊下的 LECs 可以明显地预防囊膜收缩综合征。在人类中，虽然会出现屈光不正的预期问题，但因其不会引起严重的临床并发症，所以通常保持 IOL 的脱位<sup>[172]</sup>。然而在动物，对虹膜或睫状突的任何刺激都会导致低程度的葡萄膜炎和可能的纤维形成，这需要经常的药物治疗，并增加了永久性角膜水肿、PIFM 形成、继发性青光眼，以及视网膜脱落的风险。在临床出现这种情况应移除 IOL 或重新植入一个更合适的 IOL 并更好的固定。与人相比，由于动物的增强型葡萄膜炎性反应，术前控制前葡萄膜炎是十分必要的。

### 5.3.7 视网膜脱落

第 1、3、16 例在术后观察期内出现了不同程度的视网膜脱落，认为与分别发生的虹膜脱垂、术中出血、玻璃体溢出的手术并发症有关。有回顾性研究发现，视网膜脱落是超声乳化术后的罕见并发症，在所有评估的时间段（最长 4 年）发病率为 1% 和 2%<sup>[173]</sup>。这一发病率低于先前报道的 4.7%、4.8% 或 8.4%<sup>[174-176]</sup>。人类超声乳化手术的视网膜脱落比率与该研究相似，范围在 0.75% 到 1.65% 之间。目前未见有关信鸽视网膜脱落的文献，但有建议白内障患犬进行预防性视网膜固定术的报道<sup>[177]</sup>。该研究表明，预防性视网膜固定术明显降低了该品种视网膜脱落的风险。视网膜脱落的因素还包括过熟期白内障和玻璃体变性。根据视网膜和眼球的健康状况，发生视网膜脱落的动物应该接受激光视网膜固定术。小的孔源性视网膜脱落可在间接检眼镜辅助下，用经瞳孔的视网膜固定术处理。更广泛的视网膜脱落可以通过充气性视网膜固定术解决，严重的孔源性脱离可能需要分界和屏障性视网膜固定术<sup>[178-180]</sup>。

### 5.3.8 并发症原因及预防措施

结果显示，经过 1 个月的观察恢复期，随着眼部炎症消退，并发症影响逐渐降低。分析认为，造成并发症的最主要因素即鸽眼体积过小，前房空间极为有限，难于容纳相对较大的器械在眼内。操作时间越长，并发症越明显。但并非无法操作，避免的预防措施为：针对每例不同的并发症，制定符合其个体眼部状况的术后护理方案。进一步改良和精细化现有的器材，如将所有眼科器械的尖端宽度缩小至 1.0mm 以内。并通过大量练习熟练手术步骤，提升操作技能。

## 5.4 小结

本试验建立了信鸽折叠型人工晶体植入有效性的评估方法与指标，具体为：恫吓瞬目反应、迷宫试验、眩目反射三种视觉反射；建立了信鸽折叠型人工晶体植入安全性的评估方法与指标，具体为：泪液分泌量、眼内压变化、裂隙灯显微镜下角膜状态、前房炎症反应、人工晶体表现、后发障程度、眼底形态；植入折叠型人工晶体有助于鸽眼恢复视力且无明显排异作用；角膜水肿、高眼压与青光眼、葡萄膜炎、眼内炎、后囊混浊、IOL 偏心及脱位、视网膜脱落这些术后并发症，可影响人工晶体与眼部恢复，但可随术后护理方案的优化而改善。

## 第六章 结论与创新点

### 6.1 结论

(1) 常规眼科检查法可用于信鸽眼检查与视力评估, 获得的生理数据可用于自主设计研发信鸽折叠型人工晶体;

(2) 通过器械改良、麻醉优化与参数设置, 可对信鸽实施超声乳化联合人工晶体植入术屈光力;

(3) 植入人工晶体有助于信鸽恢复视力且无明显排异作用, 术中和术后并发症可影响手术效果。

### 6.2 创新点

(1) 自主设计研发信鸽折叠型人工晶体产品并用于动物试验;

(2) 建立了信鸽眼科检查体系及其眼组织的测量方法。

## 参考文献

- [1] Vanderveldt A, Oliveira L, Green L. Delay discounting: pigeon, rat, human--does it matter?[J]. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 2016,42(2):141-162.
- [2] McDevitt M A, Diller J W, Pietrzykowski M O. Human and pigeon suboptimal choice[J]. *Learning & Behavior*, 2019,47(4):334-343.
- [3] Hedrick P W. Passenger pigeon genomic diversity and extinction[J]. *Heredity*, 2018,120(5):383-385.
- [4] Yf Tan, Hatty L. With big money invading pigeon-racing, hobbyists wonde rabout the future of their time-honored sport [J]. *The World of Chinese*. 2021,3(03):44-48.
- [5] Caspermeyer J. Using whole-genome analysis to home in on racing pigeon performance[J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2018,35(5):1296-1237.
- [6] Peschel A, Moser K, Korbel R. Three-dimensional ultrasonographic examination of the avian eye: technique and physiological findings[J]. *Tierärztliche Praxis Kleintiere*, 2018,46(4):236-245.
- [7] Sapp S, Alhabshan R N, Bishop H S, Fox M, *et al.* Ocular trematodiasis caused by the avian eye fluke philophthalmus in southern Texas[J]. *Open Forum Infectious Diseases*, 2019,6(7):265-270.
- [8] Cherix A, Brodier L, Poitry-Yamate C, Matter J M, *et al.* The appearance of the warburg effect in the developing avian eye characterized in ovo: how neurogenesis can remodel neuroenergetics[J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2020,61(5):3-9.
- [9] McGuire R S, Ourfalian R, Ezell K, Lee A H. Development of limb bone laminarity in the homing pigeon[J]. *PeerJ*, 2020,8:9878-9878.
- [10] Cui J, Halbrook R S, Zang S, Han S, *et al.* Metal concentrations in homing pigeon lung tissue as a biomonitor of atmospheric pollution[J]. *Ecotoxicology*, 2018,27(2):169-174.
- [11] Alan A, Onuk B, Alan E, Kabak M. Light and electron microscopic studies on the pecten oculi showing blood-retina barrier properties in Turkey's native gerze chicken[J]. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 2020,49(4):478-485.
- [12] Wahab A, Jan S A, Rauf A, Rehman Z U, *et al.* Phytochemical composition, biological potential and enzyme inhibition activity of scandix pecten-veneris L[J]. *Journal of Zhejiang University - Science Biomedicine & Biotechnology*, 2018,19(2):120-129.
- [13] Drozd D, Wolf H, Stemme T. Structure of the pecten neuropil pathway and its innervation by bimodal peg afferents in two scorpion species[J]. *Public Library of Science Journals*, 2020,15(12):243753-243753.

- [14] Wolburg H, Liebner S, Reichenbach A, Gerhardt H. The pecten oculi of the chicken: a model system for vascular differentiation and barrier maturation[J]. *International Review of Cell and Molecular Biology*, 1999,187:111-159.
- [15] Singh G, Grzybowski A. Evolution of and developments in simultaneous bilateral cataract surgery. Update 2020[J]. *Annals of Translational Medicine*, 2020,8(22):1554.
- [16] Fortane M, Bensaïd P, Resnikoff S, Seini K, *et al.* Outcomes of cataract surgery performed by non-physician cataract surgeons in remote north cameroon[J]. *British Journal of Ophthalmology*, 2019,103(8):1042-1047.
- [17] Raue R, Schmidt V, Freick M, Reinhardt B, *et al.* A disease complex associated with pigeon circovirus infection, young pigeon disease syndrome[J]. *Avian Pathology*, 2005,34(5):418-425.
- [18] Herbranson W T. A method for investigating change blindness in pigeons[J]. *Journal of Visualized Experiments*, 2018(139):43-56.
- [19] Si N, Song Z, Meng X, Li X, *et al.* A novel MAF missense mutation leads to congenital nuclear cataract by impacting the transactivation of crystallin and noncrystallin genes[J]. *Gene*, 2019,692:113-118.
- [20] Herbranson W T, Jeffers J S. Pigeons (*Columba livia*) show change blindness in a color-change detection task[J]. *Animal Cognition*, 2017,20(4):725-737.
- [21] Herbranson W T, Davis E T. The effect of display timing on change blindness in pigeons[J]. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 2016,105(1):85-99.
- [22] Belekova M G, Chudinova T V, Rio J P, Tostivint H, *et al.* Distribution of calcium-binding proteins in the pigeon visual thalamic centers and related pretectal and mesencephalic nuclei. Phylogenetic and functional determinants[J]. *Brain Research*, 2016,1631:165-193.
- [23] Wright A A, Elmore L C. Pigeon visual short-term memory directly compared to primates[J]. *Behavioural Processes*, 2016,123:84-89.
- [24] Dayan M O, Ozaydin T. A comparative morphometrical study of the pecten oculi in different avian species[J]. *The Scientific World Journal*, 2013,2013:968652-968663.
- [25] Okuno T, Kojima M, Yamaguchi-Sekino S, Ishiba Y, *et al.* Cataract formation by near-infrared radiation in rabbits[J]. *Photochemistry and Photobiology*, 2021,97(2):372-376.
- [26] 陈文静, 刘平. miRNA 在白内障形成中的作用[J]. *眼科新进展*. 2020,40(05):497-500.
- [27] Sella R, Afshari N A. Nutritional effect on age-related cataract formation and progression[J]. *Current Opinion in Ophthalmology*, 2019,30(1):63-69.
- [28] Hu S, Wu H, Luan X, Wang Z, *et al.* Portable handheld slit lamp based on a smartphone camera for cataract screening[J]. *Journal of Ophthalmology*, 2020(2020):1037689-1037701.

- [29] Alexander J L, Wei L, Palmer J, Darras A, *et al.* A systematic review of ultrasound biomicroscopy use in pediatric ophthalmology[J]. *Eye*, 2021,35(1):265-276.
- [30] Tu S, Jin Y, Wei J, Pan S, *et al.* Electroretinography (ERG) in the wild giant panda[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2021,24(2):216-222.
- [31] 吴柏青, 胥辉豪, 郑小波. 老龄貉冷超声乳化白内障摘除手术[J]. *中国兽医杂志*. 2017,53(8):16-17.
- [32] Rossi T, Panozzo G, Della M G, Giannarelli D, *et al.* Diabetes and diabetic retinopathy in patients undergoing cataract surgery: a prevalence study-DiCat study report #2[J]. *Acta Diabetologica*, 2020,57(6):645-650.
- [33] 张奇, 马天驹, 黄杨, 李朝辉. 血红素氧合酶 1 对高糖诱导人晶状体上皮细胞的氧化应激和凋亡的影响[J]. *解放军医学院学报*. 2021,42(4):413-417.
- [34] Samuelson T W. Consultation section: glaucoma. cataract, glaucoma, possible marfan syndrome, and conception aspirations[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2020,46(1):154-162.
- [35] Dowler K K, Middleton J R, Dufour S, Hood M A, *et al.* Characterization of postoperative "fibrin web" formation after canine cataract surgery[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2021,24(1):37-47.
- [36] Westermeyer H D, Cook A G, Harms C, Boylan S. Phacoemulsification cataract surgery in the loggerhead turtle (*Caretta caretta*): surgical technique and outcomes in 10 cases[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2019,22(5):644-650.
- [37] Rocha-de-Lossada C, Rachwani A R, Soler F F, Navarro P. Brown IOL discoloration resembling a "pseudo-cataract" in a hydrophobic IOL[J]. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 2021,44(2):296-297.
- [38] Sanchez R F, Becker R, Dawson C, Escanilla N, *et al.* Calculation of posterior chamber intraocular lens (IOL) size and dioptric power for use in pet rabbits undergoing phacoemulsification[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2017,20(3):242-249.
- [39] 胥辉豪, 金艺鹏, 张迪, 林德贵, 等. 冷超声乳化术治疗猫营养性白内障病例[J]. *中国兽医杂志*. 2018,54(04):71-73.
- [40] D'Agostino I, Parrulli S, De Angelis S, Invernizzi A, *et al.* Sutureless scleral fixation: comparison between 3-piece IOL and new single-piece foldable IOL[J]. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2021,259(5):1365-1373.
- [41] Hillenmayer A, Wertheimer C M, Kassumeh S, von Studnitz A, *et al.* Evaluation of posterior capsule opacification of the alcon clareon IOL vs the alcon acrysof IOL using a human capsular bag model[J]. *BMC Ophthalmology*, 2020,20(1):77-89.

- [42] Krall E M, Arlt E M, Jell G, Strohmaier C, *et al.* Prospective randomized intraindividual comparison of posterior capsule opacification after implantation of an IOL with and without heparin surface modification[J]. *Journal of Refractive Surgery*, 2015,31(7):466-472.
- [43] Hoehn A L, Thomasy S M, Kass P H, Horikawa T, *et al.* Comparison of ultrasonic pachymetry and Fourier-domain optical coherence tomography for measurement of corneal thickness in dogs with and without corneal disease[J]. *The Veterinary Journal*. 2018,242 (10):59-66.
- [44] 邹海东, 孙丰源, 林松. 我国眼科超声检查操作规范(2019年)[J]. *中国超声医学杂志*. 2020,36(04):289-295.
- [45] Mulhaupt M, Michel F, Schiefer U, Ungewiss J. Introduction of a novel video retinoscope: Application of a conventional retinoscope and video retinoscope in teaching-A comparative pilot study[J]. *Ophthalmology*, 2021,118(8):854-858.
- [46] Yi Q Y, Cai B, Huang J, Chen L S, *et al.* Cyclophotocoagulation with an illuminated laser probe under a noncontact wide-angle retinoscope: A modified technique of ciliary body photocoagulation[J]. *Indian Journal Ophthalmology*, 2019,67(4):515-519.
- [47] Cordero I. Understanding and looking after a retinoscope and trial lens set[J]. *Community Eye Healthy*, 2017,30(98):40-41.
- [48] Rosen A K, Vanneman M E, O'Brien W J, Pershing S, *et al.* Comparing cataract surgery complication rates in veterans receiving VA and community care[J]. *Healthy Service Research*, 2020,55(5):690-700.
- [49] Weinstock R J, Diakonis V F, Schwartz A J, Weinstock A J. Heads-up cataract surgery: Complication rates, surgical duration, and comparison with traditional microscopes[J]. *Journal of Refractive Surgery*, 2019,35(5):318-322.
- [50] 李继英, 潘旭方, 崔宏宇, 张志宏, 等. 白内障超声乳化联合 IOL 植入术治疗 PACG 的有效性及其影响因素分析[J]. *国际眼科杂志*. 2021,21(04):680-683.
- [51] Auffarth G U, Gerl M, Tsai L, Janakiraman D P, *et al.* Clinical evaluation of a new monofocal IOL with enhanced intermediate function in patients with cataract[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2021,47(2):184-191.
- [52] Singh B, Sharma S, Bharti N, Singh A, *et al.* Visual outcomes after refractive laser corneal surgery and phakic IOL in amblyopic eyes[J]. *International Ophthalmology*, 2020,40(11):2827-2834.
- [53] Guerci Philippe, Jay Guillaume, Arnout Chloé, Herbain Delphine, *et al.* Effects of pupillary reflex dilation-guided opioid administration on remifentanyl and morphine consumption during laparoscopic surgery: A randomised controlled trial[J]. *European Journal of Anaesthesiology*, 2021,38(9):975-984.

- [54] Quitt P R, Reese S, Fischer A, Bertram S, *et al.* Assessment of menace response in neurologically and ophthalmologically healthy cats[J]. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 2019,21(6):537-543.
- [55] May P J, Sun W, Wright N F, Erichsen J T. Pupillary light reflex circuits in the macaque monkey: the preganglionic Edinger-Westphal nucleus[J]. *Brain Structure and Function*, 2020,225(1):403-425.
- [56] Grozdanic S D, Lazic T, Kecova H, Mohan K, *et al.* Presumed cancer-associated retinopathy (CAR) mimicking sudden acquired retinal degeneration syndrome (SARDS) in canines[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2021,24(2):125-155.
- [57] Auten C R, Thomasy S M, Kass P H, Good K L, *et al.* Cofactors associated with sudden acquired retinal degeneration syndrome: 151 dogs within a reference population[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2018,21(3):264-272.
- [58] Hussain M, Bashir M M, Tipu H N, Dawood M, *et al.* Frequency of panel reactive antibodies (PRA) among renal transplant recipients and its effect modifiers[J]. *Journal of the College of Physicians and Surgeons*, 2020,30(9):966-969.
- [59] 陈浙一, 卓佐跑, 张斌, 苏彬彬, 等. 正常人瞳孔对光反射的生物力学性能与年龄的相关性[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*. 2021,23(01):41-48.
- [60] Das B B, Pruitt E, Molina K, Ravekes W, *et al.* The impact of flow PRA on outcome in pediatric heart recipients in modern era: an analysis of the pediatric heart transplant study database[J]. *Pediatric Transplantation*, 2018,22(1):8-17.
- [61] Pradeep Kumar. Beggary: A growing menace to social set up[J]. *IAHRW International Journal of Social Sciences Review*, 2014,2(2):195-197.
- [62] Speciale J. Menace response in muzzled dogs[J]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2013,242(7):914-917.
- [63] Plainis S, Murray I J, Carden D. The dazzle reflex: electrophysiological signals from ocular muscles reveal strong binocular summation effects[J]. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2006,26(3):318-325.
- [64] Yang V Y, Seth E J, Hetzel S J, Miller P E. Evaluation of the effect of disposable tonometer cover brand on performance of tonopen vet in canine eyes[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2021,24(1):194-198.
- [65] Helbig S, Eule J C. Evaluation of the applanation tonometer tonopen avia(R) vet for the measurement of the canine and feline intraocular pressure[J]. *Tierärztliche Praxis Kleintiere*, 2021,49(2):86-92.

- [66] Wrzesniewska K, Madany J, Winiarczyk D. Comparison of intraocular pressure measurement with schiötz tonometer and tonopen vet tonometer in healthy dogs[J]. *Journal of Veterinary Research*, 2018,62(2):243-247.
- [67] Lewin A C, Miller P E. Calibration of the tonovet and tonopen vet tonometers in the porcine eye[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2017,20(6):571-573.
- [68] Von Spiessen L, Karck J, Rohn K, Meyer-Lindenberg A. Clinical comparison of the tonovet(R) rebound tonometer and the tonopen vet(R) applanation tonometer in dogs and cats with ocular disease: glaucoma or corneal pathology[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2015,18(1):20-27.
- [69] Ben-Shlomo G, Muirhead S F. Estimation of intraocular pressure in normal canine eyes utilizing the newly introduced tonovet plus and tonopen avia, and their comparison to the established tonovet[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2021,24(1):171-174.
- [70] Tu S, Li K, Ding X, Zuo C, *et al.* Tonovet versus tonopen in a high intraocular pressure monkey model[J]. *Molecular Vision*, 2019,25:391-399.
- [71] Yoon A, Liu C C, Carter R T, Lewin A C. Environmental relative humidity affects Schirmer tear test results in normal dogs[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2020,23(5):923-926.
- [72] Rajaei S M, Faghihi H, Williams D L, Aftab G. Evaluation of tear production using the Schirmer tear test I in healthy cats; effect of age, life stage, sex, breed and neuter status[J]. *Veterinary Record*, 2019,184(26):799.
- [73] Kelly E. Knickelbein, Nicole M. Scherrer, Mary Lassaline. Corneal sensitivity and tear production in 108 horses with ocular disease[J]. *Veterinary Ophthalmology*,2018,21(1):76-81.
- [74] Smith S P, Barbon A R, Forbes N A. Evaluation of the phenol red thread tear test in falconiformes[J]. *Journal of Avian Medicine and Surgery*, 2015,29(1):25-29.
- [75] Trost K, Skalicky M, Nell B. Schirmer tear test, phenol red thread tear test, eye blink frequency and corneal sensitivity in the guinea pig[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2007,10(3):143-146.
- [76] Storey E S, Carboni D A, Kearney M T, Tully T N. Use of phenol red thread tests to evaluate tear production in clinically normal Amazon parrots and comparison with Schirmer tear test findings[J]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2009,235(10):1181-1187.
- [77] Barsotti G, Briganti A, Spratte J R, Ceccherelli R, *et al.* Schirmer tear test type I readings and intraocular pressure values assessed by applanation tonometry (tonopen) in normal eyes of four european species of birds of prey[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2013,16(5):365-369.
- [78] Hu S, Wu H, Luan X, Wang Z, *et al.* Portable handheld slit lamp based on a smartphone camera for cataract screening[J]. *Journal of Ophthalmology*, 2020(2020):1037689.

- [79] Peyman Alireza, Pourazizi Mohsen. Corneal cross-linking at the slit lamp: concern about risk of corneal ulcer[J]. *Journal of Refractive Surgery*, 2021,37(8):572-572.
- [80] Martin R. Cornea and anterior eye assessment with slit lamp biomicroscopy, specular microscopy, confocal microscopy, and ultrasound biomicroscopy[J]. *Indian Journal of Ophthalmology*, 2018,66(2):195-201.
- [81] Dayan M O, Ozaydin T. A comparative morphometrical study of the pecten oculi in different avian species[J]. *The Scientific World Journal*, 2013(2013):968652- 968658.
- [82] Dom Miceli, Jacques Repérant, Roger Ward. Fine structure of the visual dorsolateral anterior thalamic nucleus of the pigeon ( *Columba livia* ): A hodological and GABA - immunocytochemical study[J]. *Journal of Comparative Neurology* 2008,507(3):1351-1378.
- [83] Parducci F, Micali A, La Fauci M A, Puzzolo D. Comparative embryogenesis of the pecten oculi in chickens and pigeons[J]. *Italian Journal of Anatomy and Embryology*, 1987,92(3):145-158.
- [84] Moselhy A, El-Hady E. Gross, histochemical and electron microscopical characterization of the pecten oculi of Baladi ducks[J]. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2019,6(4):456-462.
- [85] Deniz Korkmaz. Histomorphological Structure of Pecten Oculi in Pigeons[J]. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2017,12(1):90-94.
- [86] Park S, Kang S, Lim J, Park E, *et al.* Ultrasound biomicroscopy and tonometry in ophthalmologically normal pigeon eyes[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2017,20(5):468-471.
- [87] Nakabayashi M. Anatomical and physiological studies on the aqueous sinus artery of the pigeon eye[J]. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 1999,43(4):262-271.
- [88] Fitzgerald M E, Gamlin P D, Zagvazdin Y, Reiner A. Central neural circuits for the light-mediated reflexive control of choroidal blood flow in the pigeon eye: a laser doppler study[J]. *Visual Neuroscience*, 1996,13(4):655-669.
- [89] Wolffsohn J, Hall L, Young G. Clinical comparison of optimum and large diameter soft contact lenses[J]. *Contact Lens and Anterior Eye*, 2018,41(5):405-411.
- [90] Suh S Y, Ahn J H. Relationship between visual acuity and corneal curvature change in children after epiblepharon surgery[J]. *Journal of Craniofacial Surgery*, 2020,31(5):459-461.
- [91] 陈果, 李霄, 郑广瑛. 三种仪器测量白内障术前角膜生物学参数的比较[J]. *国际眼科杂志*. 2021,21(07):1261-1265.
- [92] Sharma A, Kumar N, Bandello F. HAWK and HARRIER: phase 3, multicenter, randomized, double-masked trials of brodalumab for neovascular age-related macular degeneration[J]. *Ophthalmology*, 2019,126(12):95-96.

- [93] Rauscher F G, Azmanis P, Korber N, Koch C, *et al.* Optical coherence tomography as a diagnostic tool for retinal pathologies in avian ophthalmology[J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2013,54(13):8259-8269.
- [94] Mirzajani A, Amini V R, Khalilian M. Introducing a new method of retinoscopy for refraction of infants and young children: The "Mirza" tele lens retinoscopy[J]. *Journal of Optometry*, 2021,14(3):254-262.
- [95] Doherty S E, Doyle L A, McCullough S J, Saunders K J. Comparison of retinoscopy results with and without 1% cyclopentolate in school-aged children[J]. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2019,39(4):272-281.
- [96] 曾官鹏, 严丽英, 徐双, 邹云春. MFN1 在透镜诱导豚鼠近视模型视网膜上的表达及其意义[J]. *眼科新进展*. 2016,36(01):1-3.
- [97] Bonadonna Francesco, Gagliardo Anna. Not only pigeons: avian olfactory navigation studied by satellite telemetry[J]. *Ethology Ecology & Evolution*, 2021,33(3):273-289.
- [98] Jorge P E, Pinto B V, Bingman V P, Phillips J B. Involvement of the avian dorsal thalamic nuclei in homing pigeon navigation[J]. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2017,11(1):213-217.
- [99] Gagliardo A, Pollonara E, Wikelski M. Pigeon navigation: exposure to environmental odours prior to release is sufficient for homeward orientation, but not for homing[J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2016,219(16):2475-2480.
- [100] Schartmuller D, Roggla V, Schwarzenbacher L, Leydolt C, *et al.* Rotational stability of a new hydrophobic acrylic IOL with modified C-loop haptics[J]. *Journal of Refractive Surgery*, 2021,37(2):112-118.
- [101] Werner L, Thatthamla I, Ong M, Schatz H, *et al.* Evaluation of clarity characteristics in a new hydrophobic acrylic IOL in comparison to commercially available IOL[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2019,45(10):1490-1497.
- [102] Oshika T, Fujita Y, Inamura M, Miyata K. Mid-term and long-term clinical assessments of a new 1-piece hydrophobic acrylic IOL with hydroxyethyl methacrylate[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2020,46(5):682-687.
- [103] Cabeza-Gil I, Ariza-Gracia M Á, Remón L, Calvo B. Systematic study on the biomechanical stability of c-loop intraocular lenses: approach to an optimal design of the haptics[J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2020,48(4):1127-1136.
- [104] Qureshi M A, Robbie S J, Hengerer F H, Auffarth G U, *et al.* Consecutive case series of 244 age-related macular degeneration patients undergoing implantation with an extended macular vision IOL[J]. *European Journal of Ophthalmology*, 2018,28(2):198-203.

- [105] Dvali M, Tsertsvadze O, Skhirtladze S. Incidence of CME after hydrophilic and acrylic IOL umplantation-OCT results[J]. Georgian Medical News, 2019(291):42-45.
- [106] Petri Aaltonen, Pertti Oskala, Ilkka Immonen. Outcomes of intraocular lens scleral fixation with the friction knot technique[J]. Acta Ophthalmologica, 2019,97(4):112-118.
- [107] Langenbucher A, Eppig T, Seitz B, Janunts E. Customized aspheric IOL design by raytracing through the eye containing quadric surfaces[J]. Current Eye Research, 2011,36(7):506-513.
- [108] Labuz G, Varadi D, Khoramnia R, Auffarth G U. Progressive-toric IOL design reduces residual astigmatism with increasing pupil size: a ray-tracing simulation based on corneal topography data[J]. Biomedical Optics Express, 2021,12(3):1568-1576.
- [109] Kohnen T. Multifocal IOL optics and aniridia therapy[J]. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, 2013,230(8):785-785.
- [110] Werner L, Olson R J, Mamalis N. New technology IOL optics[J]. Ophthalmology Clinics of North America, 2006,19(4):469-483.
- [111] Krall E M, Arlt E M, Jell G, Strohmaier C, *et al.* Prospective randomized intraindividual comparison of posterior capsule opacification after implantation of an IOL with and without heparin surface modification[J]. Journal of Refractive Surgery, 2015,31(7):466-472.
- [112] Ursell P G, Dhariwal M, O'Boyle D, Khan J, *et al.* 5 years incidence of YAG capsulotomy and PCO after cataract surgery with single-piece monofocal intraocular lenses: a real-world evidence study of 20,763 eyes[J]. Eye, 2020,34(5):960-968.
- [113] 于童, 王静, 张劲松. 上皮间充质转化在后囊膜下混浊中的研究进展[J]. 国际眼科杂志. 2019,19(08):1309-1312.
- [114] Qin C, Liu S, Wen S, Han Y, *et al.* Enhanced PCO prevention of drug eluting IOL via endocytosis and autophagy effects of a PAMAM dendrimer[J]. Journal of Materials Chemistry B, 2021,9(3):793-800.
- [115] Tang J, Liu S, Han Y, Wang R, *et al.* Surface modification of intraocular lenses via photodynamic coating for safe and effective PCO prevention[J]. Journal of Materials Chemistry B, 2021,9(6):1546-1556.
- [116] Xu X, Tang J M, Han Y M, Wang W, *et al.* Surface PEGylation of intraocular lens for PCO prevention: An in vivo evaluation[J]. Journal of Biomaterials Applications, 2016,31(1):68-76.
- [117] Kohnen T. Challenges of pediatric IOL implantation[J]. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2019,45(10):1365-1366.

- [118] Chen J, Chen Y, Zhong Y, Li J. Comparison of visual acuity and complications between primary IOL implantation and aphakia in patients with congenital cataract younger than 2 years: a meta-analysis[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2020,46(3):465-473.
- [119] Haldipurkar S S, Shetty V, Haldipurkar T, Dhamankar R, *et al.* Incision size changes after cataract surgery with intraocular lens implantation: comparison of 2 preloaded IOL implantation injectors[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2020,46(2):222-227.
- [120] Wolf A, Shajari M. Slip-and-slide technique for combined small-incision artificial iris and IOL implantation[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2020,46(10):1433-1435.
- [121] Harlin R W. Pigeon therapeutics[J]. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 2000,3(1):19-34.
- [122] Demir M, Oba E, Dirim B, Can E, *et al.* Effect of intracameral carbachol given during cataract surgery on macular thickness[J]. *International Ophthalmology*, 2012,32(5):413-416.
- [123] Minkus Caroline L, Pistilli Maxwell, Dreger Kurt A. Risk of Cataract in Intermediate Uveitis [J]. *American Journal of Ophthalmology*, 2021,229(10):200-209.
- [124] Bayley K D, Read R A. Sub-Tenon's anesthesia for canine cataract surgery[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2018,21(6):601-611.
- [125] Shi K, Zou M, Jia D M, Shi S, *et al.* TPA mobilizes immune cells that exacerbate hemorrhagic transformation in stroke[J]. *Circulation Research*, 2021,128(1):62-75.
- [126] Shaikh N, Kumar V, Beniwal A. Cataract with posterior capsule rupture following intravitreal injection[J]. *Indian Journal of Ophthalmology*, 2019,67(10):1729-1243.
- [127] Bai H, Yao L, Wang H. Clinical investigation into posterior capsule rupture in phacoemulsification operations performed by surgery trainees[J]. *Journal of Ophthalmology*, 2020(2020):1317249-1317262.
- [128] Park J, Lee S, Kim J. Clinical outcomes of management of posterior capsule rupture with air bubble techniques[J]. *International Journal of Ophthalmology*, 2020,13(12):2007-2011.
- [129] Nanavaty M A, Ashena Z. 'Face down' anterior vitrectomy for unexpected posterior capsule rupture as an alternative to pars plana vitrectomy[J]. *Eye*, 2021,35(5):1515-1517.
- [130] Miller D C, Christopher K L, Patnaik J L, Lynch A M, *et al.* Posterior capsule rupture during cataract surgery in eyes receiving intravitreal anti-VEGF injections[J]. *Current Eye Research*, 2021,46(2):179-184.
- [131] Ryburn C, Patnaik J L, Miller D C, Alexander J, *et al.* What is the cost of a posterior capsule rupture complication?[J]. *Ophthalmic Surgery, Lasers and Imaging Retina*, 2020,51(8):444-447.

- [132] Aravena C, Dyk D W, Thorne A, Fanney D, *et al.* Aqueous volume loss associated with occlusion break surge in phacoemulsifiers from 4 different manufacturers[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2018,44(7):884-888.
- [133] Schumacher J. Fatal anaphylaxis to atracurium: a case report[J]. *A & A Practice*, 2019,12(5):145-146.
- [134] Sharma V K, Trehan H S, Raji K, Dhar S K. New use of a pupillary expansion ring to avoid intraoperative positive vitreous pressure during triple procedures[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2019,45(5):544-546.
- [135] Yusef Y N, Voronin G V, Yusef S N, Vvedenskiy A S, *et al.* Comparative evaluation of positional stability of the capsular bag intraocular lens complex in patients with lens subluxation[J]. *Western Ophthalmology*, 2020,136(4):105-109.
- [136] Agarwal T, Jhanji V, Gopalakrishnan K, Khokhar S K, *et al.* Hybrid bimanual technique for aspiration of residual cortex[J]. *Acta Ophthalmologica*, 2012,90(3):236-237.
- [137] Tsagakataki M, Bampouras T M, Choudhary A. Outcomes of viscocanalostomy and phaco-viscocanalostomy in patients with advanced glaucoma[J]. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2018,256(8):1481-1487.
- [138] Liu Y J, Zhang W W, Chen F F, He Z F, *et al.* Re-opening the severely contracted lens capsular bag post phaco-vitreotomy by injecting viscoelastic agent and removing the fibro-proliferative membranous material[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2021,12(3):984-991
- [139] Findl O, Amon M. Anterior capsulotomy created by radiofrequency endodiathermy and continuous curvilinear posterior capsulorhexis in a patient with intumescent cataract and primary capsular fibrosis[J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1998,24(6):870-871.
- [140] Hiromitsu Miyata, Kazuo Fujita. Further tests of pigeons' (*Columba livia*) planning behavior using a computerized plus-shaped maze task[J]. *Perceptual and Motor Skills*, 2012,115(1):27-42.
- [141] Aravand Puya, Ramachandran Pavitra S, Schpylchak Ivan, Phelps Nicholas T, *et al.* Protocols for visually guided navigation assessment of efficacy of retina-directed cell or gene therapy in canines[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2017,11(2):215-218.
- [142] Yu S, Lu C, Tang X, Yuan X, *et al.* Application of spectral domain optical coherence tomography to objectively evaluate posterior capsular opacity in vivo[J]. *Journal of Ophthalmology*, 2018(2018):5461784-5461796.
- [143] Karolczak-Kulesza M, Rudyk M, Nistrata-Ortiz M. Recommendations for ultrasound examination in ophthalmology[J]. *Journal of Ultrasound*, 2018,18(75):349-354.

- [144] Kumar M, Shetty R, Khamar P, Vincent S J. Scleral lens-induced corneal edema after penetrating keratoplasty[J]. *Optometry and Vision Science*, 2020,97(9):697-702.
- [145] De Silva S R, Riaz Y, Evans J R. Phacoemulsification with posterior chamber intraocular lens versus extracapsular cataract extraction (ECCE) with posterior chamber intraocular lens for age-related cataract[J]. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2014(1):8812-8821.
- [146] Han D P, O'Brien W J, Higgins B. Biocompatibility of pooled human immunoglobulin (Gamunex 10%) with ocular infusion solutions (BSS and BSS Plus): an *in vitro* evaluation of a potential antitoxin treatment for infectious endophthalmitis[J]. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*, 2011,27(4):343-346.
- [147] Kokavec J, Horo S, Chan W O, Min S H, *et al.* BSS plus compared to the vitreous of non-diabetics and diabetics[J]. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 2017,45(6):656-657.
- [148] Gupta K, Deng S X. Corneal endothelial decompensation[J]. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 2020,237(6):745-753.
- [149] Gupta A, Vernon S A. Is the 1-day postoperative IOP check needed post uncomplicated phacoemulsification in patients with glaucoma and ocular hypertension?[J]. *Eye*, 2015,29(10):1299-1307.
- [150] Sharkawi E, Artes P H, Oleszczuk J D, Bela C, *et al.* Systematic occlusion of shunts: control of early postoperative IOP and hypotony-related complications following glaucoma shunt surgery[J]. *Journal of Glaucoma*, 2016,25(1):54-61.
- [151] 王慧娴, 李文静, 孙秋萍. 植入前免黏弹剂单切口中心孔型植入式透镜 (ICL) 植入术以及不同拱高对患者术后早期高眼压的影响[J]. *眼科新进展*. 2020,40(07):659-662.
- [152] Swan R J, Ferguson T J, Shah M, Muir K W, *et al.* Evaluation of the IOP-lowering effect of a multi-pressure dial at different negative pressure settings[J]. *Translational Vision Science & Technology*, 2020,9(12):19.
- [153] Brennan L A, McGreal-Estrada R, Logan C M, Cvekl A, *et al.* BNIP3L/NIX is required for elimination of mitochondria, endoplasmic reticulum and Golgi apparatus during eye lens organelle-free zone formation[J]. *Experimental Eye Research*, 2018,174(9):173-184.
- [154] Nimsuphan B, Prasroedsang S, Kengradomkij C, Thayananuphat A, *et al.* Characterization of serum protein fractions of dogs naturally infected with Ehrlichia canis or Anaplasma platys associated with uveitis[J]. *Tropical Biomedicine*, 2020,37(3):551-559.
- [155] Nell B, Csokai J, Fuchs-Baumgartinger A, Maass G. Encephalitozoon cuniculi causes focal anterior cataract and uveitis in dogs[J]. *Tierärztliche Praxis Kleintiere*, 2015,43(5):337-344.

- [156] Townsend W M, Huey J A, McCool E, King A, *et al.* Golden retriever pigmentary uveitis: Challenges of diagnosis and treatment[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2020,23(5):774-784.
- [157] Violette N P, Ledbetter E C. Lipemic uveitis and its etiologies in dogs: 75 cases[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2019,22(5):577-583.
- [158] Linn-Pearl R N, Powell R M, Newman H A, Gould D J. Validity of aqueocentesis as a component of anterior uveitis investigation in dogs and cats[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2015,18(4):326-334.
- [159] Woodfield A S, Gower E W, Cassard S D, Ramanathan S. Intraoperative phacoemulsification complication rates of second- and third-year ophthalmology residents a 5-year comparison[J]. *Ophthalmology*, 2011,118(5):954-958.
- [160] Li W, Zhao Y, Zheng Q, Wu R, *et al.* Phacoemulsification complication[J]. *Ophthalmology*, 2010,117(6):1271-1275.
- [161] Shaw A D, Ang G S, Eke T. Phacoemulsification complication rates[J]. *Ophthalmology*, 2007,114(11):2101-2102.
- [162] Shihan M H, Novo S G, Duncan M K. Cataract surgeon viewpoints on the need for novel preventative anti-inflammatory and anti-posterior capsular opacification therapies[J]. *Current Medical Research and Opinion*, 2019,35(11):1971-1981.
- [163] Bras I D, Colitz C M, Saville W J, Gemensky-Metzler A J, *et al.* Posterior capsular opacification in diabetic and nondiabetic canine patients following cataract surgery[J]. *Veterinary Ophthalmology*, 2006,9(5):317-327.
- [164] Chandler H L, Barden C A, Lu P, Kusewitt D F, *et al.* Prevention of posterior capsular opacification through cyclooxygenase-2 inhibition[J]. *Molecular Vision*, 2007,13(3):677-691.
- [165] Grzybowski A, Kanclerz P. Does Nd:YAG capsulotomy increase the risk of retinal detachment?[J]. *Asia - Pacific Journal of Ophthalmology*, 2018,7(5):339-344.
- [166] Chen S, Li J, Zhou S, Zhao H, *et al.* Generation of vector polarization in a Nd: YAG laser[J]. *Optics Express*, 2019,27(11):15136-15141.
- [167] Gotoh N, Perdue N R, Matsushima H, Sage E H, *et al.* An in vitro model of posterior capsular opacity: SPARC and TGF-beta2 minimize epithelial-to-mesenchymal transition in lens epithelium[J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2007,48(10):4679-4687.
- [168] Garcia-Medina J J. Effect of posterior capsulotomy with a neodymium: YAG laser. Assessment of safety in foveal thickness, intraocular pressure and endothelial cell counts in pseudophakic patients with posterior capsular opacity[J]. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 2014,89(9):387-388.

- [169] Kim J H, Kim H, Joo C K. The effect of capsular tension ring on posterior capsular opacity in cataract surgery[J]. Korean Journal of Ophthalmology, 2005,19(1):23-28.
- [170] Gabriel D F C, Bordin D F G, De Figueiredo J. Aspiration of anterior lens epithelium cells to prevent capsule contraction syndrome in pseudoexfoliation syndrome[J]. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2019,45(4):523-524.
- [171] Clemente-Tomas R, Gargallo-Benedicto A, Arciniegas-Perasso C A. Capsule contraction syndrome in retinitis pigmentosa: Study using anterior segment optical coherence tomography[J]. Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología, 2020,95(1):2-10.
- [172] Elmohamady M N, Elhabbak A, Gad E A. Circular YAG laser anterior capsulotomy for anterior capsule contraction syndrome[J]. International Ophthalmology, 2019,39(11):2497-2503.
- [173] Parvareh M M. Electroretinography and rhegmatogenous retinal detachment[J]. Journal of Ophthalmic & Vision Research, 2018,13(3):217-218.
- [174] Yorston D. Emergency management: retinal detachment[J]. Community Eye Health, 2018,31(103):63-67.
- [175] Amer R, Nalci H, Yalcindag N. Exudative retinal detachment[J]. Survey of Ophthalmology, 2017,62(6):723-769.
- [176] Wubben T J, Besirli C G, Zacks D N. Pharmacotherapies for retinal detachment[J]. Ophthalmology, 2016,123(7):1553-1562.
- [177] 刘桂阳, 田蕊, 张璐, 田敏. 玻璃体切割联合内界膜剥离术治疗高度近视黄斑裂孔性视网膜脱离[J]. 眼科新进展. 2021,41(07):655-659.
- [178] 杨琼魏, 文斌. 巩膜扣带术治疗合并视网膜下增生的孔源性视网膜脱离的疗效观察[J]. 国际眼科杂志. 2021,21(08):1479-1481.
- [179] Mansour A M, Chhablani J, Arevalo J F, Wu L, *et al.* Retinal detachment in albinism[J]. Clinical Ophthalmology, 2018(12):651-656.
- [180] Chan W O, Brennan N, Webster A R, Michaelides M, *et al.* Retinal detachment in retinitis pigmentosa[J]. BMJ Open Ophthalmology, 2020,5(1):454-461.

## 致 谢

博士论文撰写历经数年，终于付梓。犹记 2015 和 2016 年备考笔试和复试的场景，仍为自己成为中国农业大学的博士研究生感到自豪。回顾五年时光，感谢中国农业大学动物医学院各位老师的厚爱，让我再次步入校园，留下一段拼搏而美好的回忆。

本论文是在林德贵教授和金艺鹏教授的共同指导下完成。首先感谢我的导师林德贵教授，林老师学识渊博，虚怀若谷，言语中总让人倍感亲切，如沐春风。同时感谢金艺鹏教授，金老师视野广阔、思维创新，严谨不失风趣。论文从选题定题、试验设计、中期检查至撰写阶段，无不倾注了两位老师的大量心血，而今得以完成。作为一名在职攻读的博士研究生，虽不能与导师朝夕相处，但家庭氛围般的实验室活动，已让我内心十分温暖，仿佛漂荡的船只停靠在宁静的港湾，久违的校园归属感油然而生。能同时获得两位老师的指导，深感荣幸，在此向二位老师表示衷心的感谢！

还要感谢北京农学院陈武教授，自从事宠物临床工作以来，正是在陈老师的指引与帮助下，我才能进步成长。受益于多年的潜移默化，老师谦虚谨慎的品格、精益求精的态度、事必躬亲的作风，让我耳濡目染、日受熏陶。点点滴滴，历历在目。同时向动物医学院的专家和所有帮助过我的老师们表示由衷的谢意！唯有更加努力，砥砺前行，才能不负众人对我的期待！

最后，感谢家人多年的陪伴与付出，感谢女儿给我的爱，每当爸爸想起你，无穷的力量就会从心底涌现！

夏楠

2021 年 10 月



## 附录 A

### 1. 本研究的探索过程

探索过程：在人的眼科学，实施 PEA+IOL 前借助 IOL Master 即可获得患者眼组织数据及 IOL 屈光力，因此本研究拟用同样方法采集鸽眼相关数据，但先后使用两款 IOL Master 均未能获得鸽眼组织数据与晶状体屈光力。分析原因为：IOL Master 是检查人眼的仪器，其参数范围是依据人眼的数据区间设计，测量阈值不适用于体积过小的鸽眼，因此无法用其测量鸽眼的各项参数。这样本研究拟尝试更换其他方法，即：超声测量活体眼和物理测量离体眼，同时使用视网膜检影镜验光法获得活体鸽眼与离体鸽眼的晶状体屈光力。最终，通过更换后的方法获得了鸽眼各项数据。

研究过程：本研究在确定 IOL 的材料时，基于如下考虑：拟采用的疏水性丙烯酸酯是目前最新一代，更是我国医学科研人员突破国外垄断自主研发的成熟技术，已在国际上广泛用于人的眼科临床，并于近年用于国内小动物眼科临床，而国外兽医眼科现今使用的主流 IOL，仍为上一代的亲水性材质。因此，在材料构成方面，本研究具备一定先进性。

制作过程：经与 IOL 科研人员和生产人员反复沟通，最终遵照本研究设计方案执行，自主研发制备信鸽折叠型人工晶体，所有生产线与后续加工每个环节均按人 IOL 的产品标准严格执行。

适应症：本品适用于信鸽初始期、未熟期、成熟期、过熟期白内障手术植入。

### 2. 本研究的改进之处

改良后的鸽眼白内障手术器械，主要包括：自制型开睑器、穿刺刀、以及 Bimanual 超乳和注吸手柄，具有小巧精细、操作灵活等使用特点。自制型开睑器可良好地开张信鸽上下眼睑，对其余眼组织不产生额外压力；穿刺刀能精准地制作透明角膜切口，不损伤虹膜，15°角使切口密闭性良好，不产生前房塌陷；Bimanual 超乳和注吸手柄的尖端为 1.2mm，便于在鸽眼内反复乳化和抽吸。

### 3. 信鸽用途与价值

除观赏和比赛，信鸽还可用于国防科研和军事通讯。军鸽可作为通讯工具，保障情报与通信安全。卫星破坏或信号干扰时，军鸽通信是最佳选择。我国的军鸽基地在云南，编制为军鸽部队，供陆海空三军和边防海防使用。科研方面，信鸽的导航功能、地磁感应与空间定位均有待研究，如穿越核爆、飞翔互控自控、排爆扫雷与海上救生等侦察能力，以及根据鸽视网膜研制用于国境线和机场警戒的电子鸽眼。如能在上述领域深入广泛研究，必将为社会和市场带来长期的影响和效益。

## 附录 B

### 1. 操作流程与分析

术前检查：包括体格与眼科检查；术前准备：包括场所、人员、器械、耗材、设备、麻醉、动物的准备。

术中流程：显露术野→切口制作→填充粘弹剂→连续环形撕囊→水分离→囊袋内双手超声乳化术→抽吸皮质→植入折叠型人工晶体→关闭切口。

术后护理：佩戴护具、监测眼压、局部点眼、提供营养。

并发症预防：首先，可通过大量练习熟练手术步骤，提升操作水平，熟练的外科技能可以预防甚至避免多数并发症，这是最重要的；其次，进一步改良和精细化现有器材，如将所有眼科器械的尖端宽度缩小至 1.0mm 以内，会更有利于眼内操作；最后，针对不同的并发症，预先制定好符合具体情况的处置计划和术后护理方案。

经归纳梳理，有关整体操作流程的分析和注意事项如下：

术前：需注意营养流失。信鸽代谢率高，如果按照犬猫等小动物术前禁食 6~8h 会引发术中低血糖，因此术前禁食 2~3h 即可达到要求。

术中：需做好保温。动物体积越小，相对表面积越大，热量损失相对越严重。信鸽手术过程中，接触散热可在数分钟内导致核心体温下降并死亡。术中使用恒温加热枕提供持续的控温加热，保证信鸽体温处于恒定范围内。

麻醉：信鸽具有独特的主动呼吸方式，自身代谢快，术中热量流失严重，因此术后大多体况较差，这些都使信鸽全身麻醉难以实施，如对麻醉给药量掌控不当，极有可能发生意外死亡。作为肋骨与脊椎骨高度愈合的动物，信鸽靠腹部肌肉收缩来控制体腔体积，带动气囊来实现呼吸动作，在呼气与吸气过程中通过支气管进行两次气体交换。多数麻醉药都有肌肉松弛作用，会严重影响信鸽正常呼吸。因此，本研究采用气管插管配合人工辅助呼吸实施信鸽全身麻醉。

术后：立即补充电解质与营养物质，弥补术中营养流失，避免死亡。为确保信鸽正常代谢，术后当日即可自由饮水并食用高蛋白饲料，迅速补充体内营养。术后至少连续 2 周使用抗生素和抗炎药进行局部点眼护理并佩戴护具。

综上所述，围手术期必须仔细做好各项准备工作，防患于未然，希望本研究能为日后的临床实践做出一些启示。

## 2. 本研究的图片补充



图 B-1 鸽眼测量 (IOL Master I)  
FigureB-1 Measurement of pigeon eye



图 B-2 鸽眼测量 (IOL Master II)  
FigureB-2 Measurement of pigeon eye

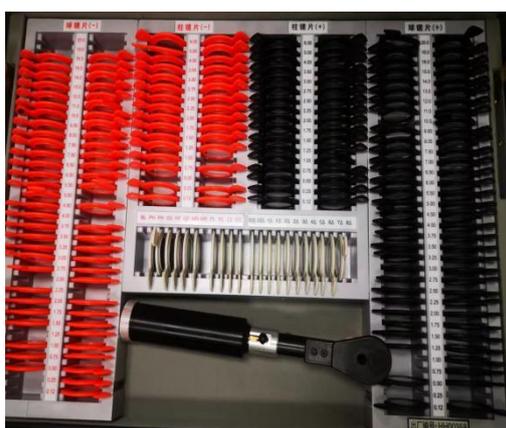


图 B-3 检影镜与验光镜  
FigureB-3 Skiascope and trial lens



图 B-4 信鸽的离体眼  
FigureB-4 Vitro eye of pigeon



图 B-5 鸽眼直径测量  
FigureB-5 Diameter measurement of pigeon eye



图 B-6 鸽眼轴长测量  
FigureB-6 Axis measurement of pigeon eye



图 B-7 信鸽晶状体直径测量

FigureB-7 Diameter measurement of pigeon lens



图 B-8 信鸽晶状体轴长测量

FigureB-8 Axis measurement of pigeon lens



图 B-9 信鸽眼压测量

FigureB-9 IOP measurement of pigeon



图 B-10 鸽眼成像

FigureB-10 Image of pigeon eye



图 B-11 鸽眼超声乳化联合人工晶体植入术

FigureB-11 PEA + IOL on pigeon eye



图 B-12 手术显微镜下的鸽眼

FigureB-12 Pigeon eye of surgical microscope



图 B-13 鸽开睑器（自制）

FigureB-13 Pigeon speculum(self-regulating)



图 B-14 手术切口

FigureB-14 Surgical incision



图 B-15 电撕囊

FigureB-15 Electric CCC



图 B-16 术后 4 周

FigureB-16 4weeks of postoperation



图 B-17 改良型超乳针头

FigureB-17 Modified phaco needle



图 B-18 改良型注吸针头

FigureB-18 Modified I/A needle

## 附录 C

证书号第 14418152 号



### 实用新型专利证书

实用新型名称：一种信鸽用人工晶体

发 明 人：夏楠;金艺鹏;宋壮举

专 利 号：ZL 2020 2 3168448.4

专利申请日：2020 年 12 月 24 日

专 利 权 人：夏楠

地 址：300051 天津市和平区沙市道福林里 1 门 801 号

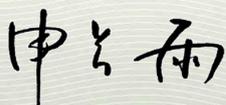
授权公告日：2021 年 10 月 22 日      授权公告号：CN 214434670 U

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法经过初步审查，决定授予专利权，颁发实用新型专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长  
申长雨



2021 年 10 月 22 日

第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

证书号第 14418152 号



专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 12 月 24 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

夏楠

发明人：

夏楠; 金艺鹏; 宋壮举



