

成都中医药大学 学士学位论文选题情况表

题目					
姓 名		性 别		职 称	
学 历		所属学科			
工作单位					
主要内容： 简要概述综述的研究内容、研究方法、研究结论等，不少于300字。					

成 都 中 医 药 大 学

学士学位论文开题报告表

学 号 _____

学 生 姓 名 _____

指导导师姓名 _____

年 级 _____

学科专业方向 _____

所 属 学 院 _____

成都中医药大学 教务处制

年 月 日填

学位论文开题报告内容

1. 国内外研究动态：

阐述国内外研究现状和发展趋势，国内外研究现状部分说明本课题目前在国内外研究状况，介绍各种观点，比较各种观点的异同，着重说明本课题目前存在的争论焦点，同时说明自己的观点。

2. 研究目的和意义：

研究目的是指开展研究所要达成的具体目标和期望实现的结果。研究意义是指对研究主题的价值和重要性的评估，通常包括对理论和实践的贡献，以及对个人和社会的影响。

3. 主要研究内容、实施方案、技术路线：

相对于选题的意义而言，研究的基本内容与拟解决的主要问题是比较具体的。选题不同，研究方法则往往不同。研究方法是否正确，会影响到毕业设计（论文）的水平，甚至成败。在开题报告中，学生要说明自己准备采用什么样的研究方法。

4. 研究的创新性：

研究的创新性是指研究的内容、方法或观点相较于已有研究是否具有独特性和新颖性，能够为相关领域带来新的思考和发现。

5. 工作计划：

研究过程中各时间段内的工作所要完成的任务以及方案与途径。

6. 预期结果：

毕业设计（论文）选题想说明什么主要问题，结论是什么，在开题报告中要作为研究的基本内容给予粗略的，但必须是清楚的介绍。

7. 参考文献：

主要参考文献。在开题报告中，同样需列出参考文献，这实际上是介绍了自己的准备情况，表明自己已了解所选课题相关的资料源，证明选题是有理论依据的。

指导老师对开题报告的评价

签名：

年 月 日

学科组对开题报告提出可行性意见和建议

学科组组长签名：

年 月 日

学院审批意见

学院负责人签名：

年 月 日

本表一式二份，分别存学院和学生本人。

成 都 中 医 药 大 学

学士学位论文开题报告表

学 号 _____

学 生 姓 名 _____

指导导师姓名 _____

年 级 _____ 2021

学科专业方向 _____ 眼视光学

所 属 学 院 _____ 眼科学院

成都中医药大学 教务处制

2023年9月6日填

学位论文开题报告内容

1. 国内外研究动态:

近视（myopia）是一种最常见的屈光不正。根据2019年WHO《世界视力报告》，全世界至少有22亿人患有视力损伤，2030年将增加至33亿。相比之下我国的视觉健康尤为严重，WHO称屈光不正造成的儿童视力损伤中有46%发生在中国，如近视、弱视等^[1]。2018年我国儿童青少年总体近视率为53.6%，在高三学生中高度近视比例达21.9%。近视已成为我国乃至全球严重的公共卫生问题，严重威胁患者健康和生活质量，世界卫生组织（WHO）已将近视的防治列入全球防盲计划。因此，预防近视发生和控制近视进展是目前最为热门的研究领域和难点之一。但是，近视形成的原因复杂，与遗传、环境等多种因素均相关。在影响近视发生发展的环境因素中，持续近距离用眼、光照异常、长时间看电子屏幕、户外活动少、睡眠时间不合理等同样是近视发生发展的重要诱因。饮食结构不合理、微量元素摄入不均衡也可能与近视发生发展有关。研究发现，增加户外活动时间、减少持续近距离用眼可以有效预防或延缓近视的发生，但对于不同个体而言，导致近视发生发展的具体原因不尽相同。在控制近视进展方面，已被研究所证实控制效果较好的干预方式包括基于视网膜周边离焦理论设计的光学矫正（角膜塑形镜、多焦点角膜接触镜、离焦设计的框架镜）和局部低浓度低浓度阿托品等。角膜塑形镜控制近视进展的临床疗效虽然被大量临床研究所证实，但由于夜戴、硬性材质的特点，以及价格较昂贵等因素，使其广泛应用仍然受诸多限制，且近视控制效果存在较大的个体差异。低浓度阿托品也可显著减少近视进展，但长期使用中潜在的不良反应尚不明确，限制了其使用价值。目前，尚无预防近视发生的有效方法，而控制近视进展的干预方式仍有待研究。

从视觉发育的生理过程来看，新生儿的视力只有0.02左右，在3个月时达到0.1左右，3岁时约0.6，6岁时视力发育基本完成，约为0.8。此外，人眼屈光系统也是逐渐由远视到正视的发育过程，如3周岁时存在+1.25D~1.75D的远视，6岁降为+0.75D~1.25D，8岁时为+0.5D~+1.00D，随后逐渐达到正视化，这也与视力的发育相吻合。屈光系统的发育过程主要反映为角膜屈光力的变化，如足

月新生儿的角膜屈光力较成人高8-12D，在1岁以内角膜屈光力发育最快，尤以6个月内更显著，可由出生时的48.5D降至6月时的43D。King等提到角膜屈光力在3岁前发育已接近成人水平，以后的变化非常小，10岁以后青少年角膜形态大多数已进入相对稳定期。在屈光系统与屈光状态的关系中，眼轴长度是决定屈光状态的最重要因素。如成年前，眼轴随着年龄增长和眼球的发育而逐渐延长，1岁以内眼球增长最为明显（16 mm），1-3岁次之(22 mm)，3岁以后发育缓慢渐趋于稳定，通常在13-15岁时达到成人水平（23~24mm）。我们通常所说的近视，就是指散瞳验光后的等效球镜度 $\geq -0.50D$ ，同时也表现为眼轴长度与角膜屈光力不匹配。

从视觉系统的发育完善过程来看，大部分人群在成年后的屈光系统已趋于稳定（不能用于近视和病理性眼病的治疗），这正是开展角膜屈光矫正手术的前提条件，即通过改变角膜屈光力达到人眼屈光状态的矫正。目前，角膜屈光手术是开展近视屈光矫正的常用方法，主要有表层和基质层术式，准分子激光角膜切削术（Trans-PRK）、lasek、tprk和smart都属于表层手术，准分子激光原位角膜磨镶术（LASIK）、飞秒制瓣LASIK以及全飞秒激光基质透镜取出术（SMILE）等属于基质层手术。它们各有优缺点，选择哪种术式需要根据病人的屈光状态、眼生物学参数及自身的需求来决定，从而制定个性化的角膜屈光矫正手术方案，让患者获得良好的视觉质量。

角膜屈光矫正的原理为人眼光学，而人眼并非完善，除近视、远视、散光外，还存在各种复杂的高阶像差，如彗差、三叶草、球差等，高阶像差占人眼总像差的10%，会造成5~10%的视觉质量下降。由于高阶像差的复杂性和动态性，现有屈光矫正方式都很少考虑针对高阶像差的优化。但是，在一些不明原因的视觉质量问题中，如夜间视力下降、眩光、光晕、视觉模糊、星爆、复视等，它们或许与手术前后人眼高阶像差的变化有关。那么，在众多手术方式中，它们是否会带来高阶像差的变化，以及高阶像差各像差成分与术后的视觉质量有无相关性，对于这些问题的回答将有利于优化角膜屈光矫正手术，从而为术后患者获得完美视觉质量提供个性化方案。鉴于此，本课题将对角膜屈光矫正手术中人眼高阶像差对视觉质量的影响开展综述，以期阐明手术前后人眼高阶像差的变化及其对视觉质量的影响。

角膜屈光矫正手术通过角膜切削在矫正低阶像差的同时，往往还伴随着高阶像差的变化^[2]。高阶像差可产生一系列的光学干扰，如夜间视力下降和眩光、光晕、视觉模糊、星爆、复视等^[3]。ZHAO^[4]等人分析了3315例近视患者的6629只行过LASIK手术的眼睛术后高阶像差（HOA）的变化情况，并统计分析高阶像差与术后视觉质量的相关性，结果表明LASIK术后主要是三阶彗差、三叶形像差和四阶球面像差的变化具有统计意义差异，其余像差无统计意义差异，其中三阶彗差是影响CS（对比敏感度）下降的主要因素，会降低视觉质量，但同时也发现并非所有的HOA都会降低人眼的CS，HOA大并不一定意味着CS会低，说明不能简单的认为消除像差就能提高视觉质量，相反，应该选择减少能降低CS的像差成分。Ruoyan Wei^[5]等人通过对57名患者103只行SMILE手术的眼睛研究发现，术后彗差、三叶草差和球差均明显增加，同时通过使用视觉质量问卷对主观视觉质量进项评分，发现视力模糊、夜视障碍等症状与高阶像差的变化有微弱相关性。AL-Zenaida、FM^[6]等人分析了LASIK术式后15例近视患者的高阶像差变化情况，文献中并没有分析高阶像差与视觉质量的相关性，但文献中得出认为角膜高阶像差是视觉质量的重要评价指标，同时对研究中15名中至高度散光患者的23只眼睛结果统计发现，在大多数接受屈光手术的眼睛中，会导致球面像差，增加高阶像差RMS，并且高阶像差的增加是与术前近视程度和术后角膜中央厚度呈线性关系。

董玉丽^[7]等人通过对15例近视患者共30只眼进行分析，比较了Trans-PRK术前术后的高阶像差变化，文献并没有分析高阶像差与视觉质量的相关性，但文献中15例患者在术后1周及1月时的视觉质量调查表中表现出夜间远距离视物模糊、白天远距离视物模糊、眩光以及眼干涩疲劳症状等视觉问题，从高阶像差的变化可以得出发现在术后1周和1月时角膜彗差、球差和总高阶像差均较术前有所增加，因此，这些视觉问题可能与这些高阶像差成分有关；张丽^[8]等人分析了LASIK术后130例近视患者130只眼术后高阶像差的变化，并统计分析高阶像差与视觉质量的相关性，结果表明术后会引入总高阶像差、三阶像差以及四阶球差，在视觉质量方面，通过测量对比敏感度（CS）来进行比较，与术前相比，术后对比敏感度在低空间频率无明显变化，在高空间频率则有一定的提高，说明CS的变化可能与这些高阶像差成分有关。王力翔^[9]分析了SMILE、FS

—LASIK和T—PRK术式后55例近视患者（接受SMILE手术35人、接受FS—LASIK手术9人、接受T—PRK手术11人）的高阶像差变化情况，并统计分析高阶像差与术后视觉质量的相关性，结果表明手术引入了更多的高阶像差，包括彗差（z7和z8）、球差（z12）和二级散光（z11及z13），具有统计意义差异，其余像差无显著性差异，同时术后的眩光评分与彗差、闪光评分与彗差及球差、晕环评分与彗差及二级散光、虚影评分与二级散光、精细操作评分与二级散光以及阅读困难评分与球差及二级散光之间明显存在显著的负相关关系，说明术后高阶像差的引入会对患者主观视觉质量产生明显的负面影响。

一项Menta分析^[10]显示同样是FS-LASIK手术，但角膜地形图引导的与波前像差优化的手术比较。前者会有更低的术后总高阶像差、球差、彗差和三叶草差；同时冯雨^[11]等人还发现在进行Trans-PRK术式时采取6.3mm切削光区，高阶像差明显增加，扩大光区，能明显减少高阶像差增加值；在SMILE手术中陈敬旺^[12]等人发现以角膜顶点为切削中心比以视轴角膜反光点为切削中心可以减少术后高阶像差，获得更好的视觉质量。

综上所述，在角膜屈光矫正手术中都会引起高阶像差的变化，特别是会引入角膜高阶像差、球差和彗差^[11,13-14]，它们也是像差金字塔的主导成分，高阶像差^[15]是评估人眼视觉质量的重要指标，角膜高阶像差是人眼高阶像差的主要成分^[16]，占人眼总像差的80%，同时，也是影响视网膜成像清晰度的重要原因，其对视觉质量具有明显的影响。但高阶像差各成分对视觉质量的影响存在个体差异，大多数的研究认为高阶像差越大会导致视觉质量更差^[17]，然而，部分研究发现并非所有全眼高阶像差都会降低视觉质量，甚至部分高阶像差，如垂直彗差，可能对视觉质量有益，因此在个性化屈光手术设计时不应该一概而论。此外，从一些文献中也可以发现，屈光矫正手术中需要考虑异常的高阶像差成分。如圆锥角膜患者，2017年Yoon^[17]发现消除高阶像差后开展视知觉学习训练可使患者的视力和对比灵敏度均得到提升，说明残余高阶像差会影响视觉功能提升^[18-19]，因此，在针对圆锥角膜患者的屈光矫正中，需要考虑高阶像差成分对视觉质量的影响。本课题通过对角膜屈光矫正手术中人眼高阶像差对视觉质量的影响开展综述，阐明了手术前后人眼高阶像差的变化及其对视觉质量的影响，将有利于优化角膜屈光矫正手术，从而为术后患者获得完美视觉质量提

供个性化方案。

2. 研究目的和意义:

(1) 研究目的:

角膜屈光矫正的原理为人眼光学，而人眼并非完善，除近视、远视、散光外，还存在各种复杂的高阶像差，如彗差、三叶草、球差等，高阶像差占人眼总像差的10%，会造成5~10%的视觉质量下降。由于高阶像差的复杂性和动态性，现有屈光矫正方式都很少考虑针对高阶像差的优化。但是，在一些不明原因的视觉质量问题中，如夜间视力下降、眩光、光晕、视觉模糊、星爆、复视^[3]等，它们或许与手术前后人眼高阶像差的变化有关。那么，在众多手术方式中，它们是否会带来高阶像差的变化，以及高阶像差各像差成分与术后的视觉质量有无相关性，对于这些问题的回答将有利于优化角膜屈光矫正手术，从而为术后患者获得完美视觉质量提供个性化方案。鉴于此，本课题将对角膜屈光矫正手术中人眼高阶像差对视觉质量的影响开展综述，以期阐明手术前后人眼高阶像差的变化及其对视觉质量的影响。

(2) 研究意义:

① 人眼并非完善，现有的角膜屈光矫正手术主要矫正了低阶像差即近视、远视、散光，其实人眼还存在各种复杂高阶像差，它们同样会降低人眼视觉质量。本课题通过对角膜屈光矫正手术中诱发的高阶像差变化进行调研，可为近视患者选择角膜屈光矫正术式提供高阶像差的个性化依据。

② 高阶像差成分与视觉质量之间存在相关性，通过本课题的调研，可确定哪些高阶像差是影响视觉质量的主要成分，从而为高阶像差相关的视觉问题的解决提供临床依据。

3. 主要研究内容、实施方案、技术路线:

(1) 主要研究内容:

① 不同屈光矫正手术中人眼高阶像差的变化。主要包括经上皮准分子激光屈光性角膜切削术(Trans-PRK)、准分子激光原位角膜磨镶术(LASIK)、飞秒制瓣LASIK以及全飞秒激光基质透镜取出术(SMILE)，还有一些个性化的手术，包括角膜地形图引导的Trans-PRK、波前像差引导的FS-LASIK、角膜地形图引导的TG-LASIK。

② 人眼高阶像差的改变对视觉质量的影响。探讨术后高阶像差的改变与视觉质量的相关性。

③ 讨论个性化术式的选择以及不同光区大小等方法可减少高阶像差的增加。

(2) 实施方案及技术路线：

本课题为综述性研究，实施方案和技术路线可概括为，根据研究背景和研究意义确定课题方向，通过文献调研、概括总结、数据分析等，整理国内外研究现状，得出结论，并为今后的研究提供参考。

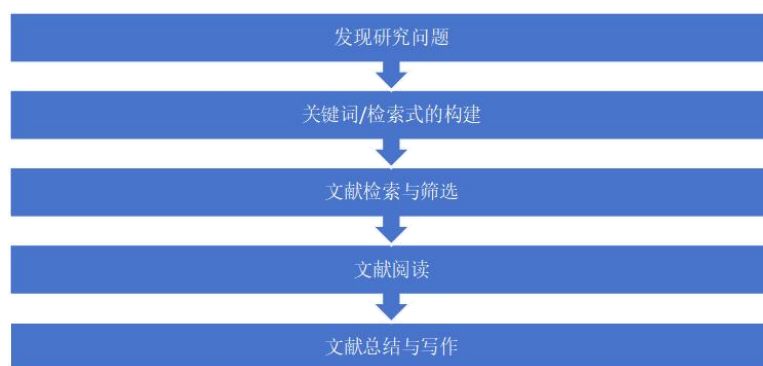


图1 技术路线

(3) 可行性分析：目前本主题在角膜屈光矫正手术中已经存在相应的研究，具备参考价值，此外学校图书馆等数据库的支持，可以全面检索研究此问题，系统的学习了文献检索的课程，具备文献检索和阅读的能力。

4. 研究的创新性：

本课题为综述性报告，研究的创新型和价值体现在：

(1) 结合诸多临床研究文献，针对不同术式中诱发的高阶像差变化进行综述，从而为不同屈光矫正术式的选择提供高阶像差的依据；

(2) 对角膜屈光矫正手术后高阶像差成分与视觉质量的问题进行综述，从而为高阶像差相关的视觉问题解决提供方案和建议。

5. 工作计划：

10月7日前：确定选题，并撰写开题报告；

10月7日-3月1日：完成文献综述初稿并上传系统；

3月1日-4月30日：提交文献综述修订稿并交叉评阅，同时完成文献综述答辩前查重；

5月26日-5月28日：完成文献综述第一轮和第二轮答辩；

5月29-5月31日：完成文献综述答辩后查重。

6月1日-6月12日：上传文献综述、文献翻译最终版至图书馆；按照学院要求整理电子版、纸质版材料提交至学院教学部。

6. 预期结果：

本课题为综述性报告，预期结果为形成报告一份，并为相关领域的研究提供展望，具有一定的科研价值。

7. 参考文献：

- [1] Xiaohan Zhang, Rui Li, Yue Wang, Xiaoyan Zhao, Qingfeng Hao, Haohai Tong, Ping Chen, Yingqing Yu, Hu Liu. Prevalence, causes and risk factors of reduced VA and persistent reduced VA among preschool children in Eastern China[J]. Ophthalmic and Physiological Optics, 2020, 40(1): 452-462.
- [2] Aslanides M I ,Kymionis D G .Trans advanced surface laser ablation (TransPRK) outcomes using SmartPulseTechnology[J].Contact Lens and Anterior Eye,2017,40(1):42-46.
- [3] 黄子彦,段国平.高阶像差对白内障人工晶状体植入术后视觉质量的影响
- [4] Zhao PF,Li SM,Lu J,et al. Effects of higher-order aberrations on contrast sensitivity in normal eyes of a large myopic population. Int J Ophthalmol 2017; 10(9) : 1407-1411.
- [5] Ruoyan W ,Meiyan L ,Huihui Z , et al.Comparison of objective and subjective visual quality early after implantable collamer lens V4c (ICL V4c) and small incision lenticule extraction (SMILE) for high myopia correction.[J].Acta ophthalmologica,2020,98(8):e943-e950.
- [6] MFA,LUO .Induced Higher-order aberrations after Laser In Situ Keratomileusis (LASIK) Performed with Wavefront-Guided IntraLase Femtosecond Laser in moderate to high Astigmatism.[J].BMC ophthalmology,2016,16(1):29.
- [7] 董玉丽.角膜地形图引导的Trans-PRK与SBK术后高阶像差变化及视觉质量分析[D].济宁医学院,2023.DOI:10.27856/d.cnki.gjnyx.2023.000008.
- [8] 张丽,周跃华,翟长斌等.波前像差引导与角膜地形图引导的LASIK术后视觉质量的比较[J].眼科,2022,31(01):57-62.DOI:10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2022.01.010
- [9] 王力翔.SMILE、Fs-LASIK及T-PRK后患者主观视觉质量与共聚焦显微镜、波前像差仪结果的相关性研究[D].北京协和医学院,2018.
- [10] 范浩博,宋唯琦,唐秀平等.角膜地形图引导与波前像差优化的FS-LASIK术后高阶像差比较的Meta分析[J].国际眼科杂志,2021,21(10):1757-1763.
- [11] 冯雨,赵庆新,贾新萍.有效切削光学区的差异对经上皮准分子激光屈光性角膜切削术后高阶像差的影响[J].实用医学杂志,2021,37(17):2247-2251.
- [12] 陈敬旺,凌玲,柯慧敏等.不同切削中心SMILE术后光学区偏心及视觉质量的比较[J].国际

- 眼科杂志,2021,21(07):1170-1174.
- [13] 譚慧,张明旭,朱思泉.小切口基质透镜取出术后角膜高阶像差与视觉质量的相关性研究[J].四川医学
- [14] 任雁琳,史春生,姜波.FS-LASIK矫正不同程度近视术后角膜高阶像差的早期变化[J].国际眼科杂志,2021,21(05):796-799.
- [15] 王雁, 赵堪兴. 波前像差与临床视觉矫正[M]. 北京:人民卫生 出版社, 2011.
- [16] 阳雪,龙琴.近视眼角膜高阶像差和屈光度及角膜曲率的相关性分析[J].国际眼科杂志,2016,16(06):1043-1047.
- [17] Sabesan R., Barbot A., Yoon G. Enhanced neural function in highly aberrated eyes following perceptual learning with adaptive optics[J]. Vision Research, 2017, 132:78-84.
- [18] Liao, Meng & Zhao, Haoxing & Liu, Longqian & Li, Qian & Dai, Yun & Zhang, Yudong & Zhou, Yifeng. Training to improve contrast sensitivity in amblyopia: Correction of high-order aberrations[J]. Scientific Reports. 6, 2016, 35702.
- [19] Yun Dai, Lina Zhao, Fei Xiao, Haoxin Zhao, Hua Bao, Hong Zhou, Yifeng Zhou, &Yudong Zhang. Adaptive optics vision simulation and perceptual learning system based on a 35-element bimorph deformable mirror[J]. Applied Optics, 2015, 54(5):979-85.
- [20] Lin F, Liu S, Fu D, Zhang L, Wei R, Li M, Zhou X. Comparison of Visual Outcomes and Higher-order Aberrations Between FS-LASIK and SMI-LIKE for Moderate to High Hyperopia: A 2-Year Result. Cornea. 2023 Dec 1;42(12):1506-1512. doi: 10.1097/ICO.00000000000003283. Epub 2023 Apr 26. PMID: 37099670; PMCID: PMC10627543.
- [21] Siedlecki J, Schmelter V, Schworm B, Mayer WJ, Priglinger SG, Dirisamer M, Luft N. Corneal wavefront aberrations and subjective quality of vision after small incision lenticule extraction. Acta Ophthalmol. 2020 Nov;98(7):e907-e913. doi: 10.1111/aos.14420. Epub 2020 Mar 25. PMID: 32212414.

指导教师对开题报告的评价 签名: 年 月 日
学科组对开题报告提出可行性意见和改进建议 学科组组长签名: 年 月 日
学院审批意见 学院负责人签名 年 月 日

本表一式二份，分别存学院和学生本人。

成都中医药大学

学士学位论文实施过程指导记录表

论文（设计）题目：				
论文（设计）方向：				
学生信息	姓名		学号	
	班级		实习类型	
指导教师 信息	姓名		职称（职务）	
	单位			
指导 内容				
存在 问题 与 解决 办法				
指导 教师 意见	指导教师： 年 月 日			
学院 意见	负责人签字（签章） 年 月 日			

成都中医药大学

学士学位论文中期检查情况表

检查对象		专业年级		学号	
检查时间					
论文题目					
指导教师					
目前存在的 问题					
解决办法					
学院督导组 组长 意见	督导组组长签字 年 月 日				
学院意见	负责人签字 年 月 日				

成都中医药大学

学士学位论文答辩情况表

题 目：_____

指导老师：_____

姓 名：_____

学 号：_____

专 业：_____

年 级：_____

年 月 日

答辩委员会 成员	姓名	学历(学位)	职称	工作单位

答辩情况记录：

答辩秘书签名：

20 年 月 日

答辩委员会 成员(二辩)	姓名	学历(学位)	职称	工作单位	
答辩情况记录：					
答辩秘书签名：20 年 月 日					
答辩委员会意见：					
答辩委员会主席签名：20 年 月 日					
	指导教师 评分	评阅教师 评 分	答辩论文 评分	答辩过程 评分	总 分
得分					

成都中医药大学

(眼科学院)

二〇二五届学士学位论文

微创青光眼手术的研究进展及临床应用

学生姓名：李昊霖

学 号：202141601002

专业名称：眼视光学

年 级：2021 级

指导教师姓名和职称：代炳灵 主治医师

二〇二五年五月

学位论文

微创青光眼手术的研究进展及临床应用

李昊霖

申请学位级别：学 士

论文提交时间：2025 年 6 月 论文答辩时间：2025 年 5 月

学位授予日期：2025 年 6 月

学位授予单位：成都中医药大学

二〇二五年五月

微创青光眼手术的研究进展及临床应用

摘要：青光眼是全球第二大致盲性眼病，具有不可逆性致盲特征，2020 年全球患者达 7960 万，中国患者约 2100 万。传统青光眼手术因创伤大、疗效不稳定等缺陷正在逐渐被微创青光眼手术（minimally invasive glaucoma surgery, MIGS）替代。MIGS 通过腔内微切口增强房水引流或抑制房水分泌，显著降低眼压，兼具微创、安全性高、恢复快、并发症少、可联合白内障手术进一步优化疗效等优势。本文系统综述 MIGS 各术式的分类、机制、适应症、并发症及临床应用进展，并对不同术式进行横向对比，以优化术式选择。临床研究表明，MIGS 也存在一定的局限性，例如虽对轻中度青光眼疗效显著，但其对晚期青光眼的治疗效果有限，需联合治疗干预。MIGS 的未来发展还存在较大的突破空间，如优化植入材料设计、加强长期随访、推动个性化治疗，并通过技术融合（如人工智能辅助）提升疗效。随着研究的深入与技术的迭代，MIGS 有望成为青光眼全程管理的核心手段，为患者提供更高效、安全的治疗方案。

关键词：微创青光眼手术；青光眼；微创青光眼手术机制原理；微创青光眼手术临床疗效

Research Advances and Clinical Applications of Minimally Invasive Glaucoma Surgery

Abstract:Glaucoma, the second leading cause of irreversible blindness worldwide, affected 79.6 million individuals globally in 2020, including approximately 21 million cases in China. Traditional glaucoma surgeries, limited by significant trauma and unstable efficacy, are gradually being supplanted by minimally invasive glaucoma surgery (MIGS). MIGS enhances aqueous humor outflow or suppresses its production through micro-incisions within the anterior chamber, offering advantages such as minimal invasiveness, high safety profile, rapid recovery, fewer complications, and the potential to optimize outcomes when combined with cataract surgery. This article systematically reviews the classification, mechanisms, indications, complications, and clinical advancements of various MIGS techniques, providing a horizontal comparison to guide optimal surgical selection. Clinical studies indicate that while MIGS demonstrates significant efficacy in mild-to-moderate glaucoma, its therapeutic effects on advanced-stage glaucoma remain limited, necessitating combined therapeutic interventions. Future developments in MIGS may focus on optimizing implant material design, strengthening long-term follow-up, promoting personalized treatment approaches, and enhancing efficacy through technology integration (e.g., AI-assisted interventions). With ongoing research and technological advancements, MIGS is poised to become a cornerstone in the comprehensive management of glaucoma, offering patients more efficient and safer therapeutic solutions.

Keywords:Minimally invasive glaucoma surgery;Glaucoma;Mechanisms of minimally invasive glaucoma surgery;Clinical efficacy of minimally invasive glaucoma surgery

目 录

引 言	1
1 青光眼的病理生理机制与临床分类	2
2 青光眼的治疗方法与 MIGS 的创新优势	3
3 微创青光眼手术（MIGS）的分类	4
4 各 MIGS 方式的临床应用与评价	5
4.1 Trabectome 小梁消融术	5
4.2 iStent 眼内支架	6
4.3 房角镜辅助下内路小梁切开术	7
4.4 准分子激光小梁切开术	8
4.5 Hydrus 支架	9
4.6 双刃小梁切除术	10
4.7 Supra 支架	11
4.8 睫状体光凝术	12
4.9 XEN 凝胶支架	12
4.10 Micro Shunt 引流支架	14
5 各 MIGS 术式的横向比较	15
结 论	18
参考文献	19
致 谢	22
申明及授权书	23
成都中医药大学学士学位论文外文文献翻译	24
成都中医药大学学士学位论文外文文献翻译原文	29

引言

根据相关数据，青光眼（Glaucoma）是全球第二致盲性眼病、首位不可逆性致盲眼病，到 2020 年全球开角型青光眼（Open-Angle Glaucoma, OAG）患者人数将增至 5860 万，闭角型青光眼（Angle-Closure Glaucoma, ACG）患病人数将增至 2100 万，共 7960 万人^[1]。而中国青光眼患病人数也会在同年增至 2100 万^[2]。2020 年因青光眼导致双侧失明人数将增加至 1111 万，其中 586 万人因 OAG 失明，525 万人因 ACG 失明^[1]，使患者丧失劳动能力、加重家庭负担，对公共卫生体系和社会发展带来深远挑战。治疗青光眼或延缓青光眼的发展极具重要性及紧迫性，不仅是对患者及其家庭生活上的改善，也是减轻社会卫生事业负担的重要一步。

传统青光眼手术存在创伤大、治疗效果不稳定等问题。而微创青光眼手术（minimally invasive glaucoma surgery, MIGS）有着腔内微切口、安全性高、恢复更快、降眼压幅度更持久稳定等优点，并发症的风险也较低。如今 MIGS 正在逐步取代传统青光眼手术成为更易被青光眼患者接受的治疗方法。

既往文献虽对 MIGS 展开了较多论述，但存在无法在一篇文献中尽可能地涵盖较多 MIGS 术式，并涉及术式机制、原理、适应症、并发症、临床疗效等多方面内容的问题^[3-6]。鉴于此，本综述将会从该角度出发，尽可能总结更多更全面的常用 MIGS 术式，聚焦于不同术式的机制、原理、适应症及并发症、在临床实践中的治疗情况等总结与评价，评估未来研究和实践的潜在影响，为相关领域的发展提供可行的探索路径。

1 青光眼的病理生理机制与临床分类

青光眼是眼科常见的一种严重的不可逆性致盲性眼病，其中一项诊断标准及其主要危险因素为病理性眼压升高。眼压（intraocular pressure, IOP）是眼球内容物作用于眼球壁的压力，正常生理范围为 10-21mmHg，双眼差异小于 5mmHg，昼夜波动范围小于 8mmHg。而眼球内容物中房水的生成与排出对眼压有着直接影响^[7]。

房水由睫状突无色素上皮细胞分泌，生成量约为 2-2.5 μ l/min。排出途径分为小梁网途径、葡萄膜巩膜途径和虹膜隐窝吸收。房水生成后位于后房，经瞳孔流入前房抵达前房角，通过小梁网、Schlemm 管、巩膜内、外集合管后与上巩膜静脉汇合回到体循环，绝大部分房水通过该通道排出。剩余 5-14%房水经葡萄膜与睫状肌间隙流入睫状体脉络膜上腔，经巩膜和涡状静脉旁的间隙流出。另外 5%经虹膜表面隐窝吸收^[8]。青光眼的发病原因大多与房水流出受阻有关，如前房角黏连闭合、虹膜晶状体黏连、小梁细胞结构异常等，故青光眼手术主要围绕导引房水排出或减少房水分泌而展开。

当房水流出受阻时，眼压升高超过正常范围，会导致眼球壁承受的机械压力增大。过高的眼内压会超过视神经组织的承受范围，造成视盘凹陷性萎缩、视神经节细胞凋亡和不可逆的视野缺损^[9]。若青光眼未及时干预，视神经损伤造成的视野缺损会从周边向中心蔓延，最终完全失明。

青光眼在临床上根据病因和发病机制分为三大类，最主要类型为原发性青光眼，其又分为原发性闭角性青光眼（primary angle closure glaucoma, PACG）与原发性开角型青光眼（primary angle open glaucoma, POAG）。其中 PACG 又分为原发性急性闭角型青光眼与原发性慢性闭角型青光眼。同时青光眼导致的高眼压要与高眼压症做鉴别。另两大类为继发性青光眼，如假性剥脱性青光眼（pseudoexfoliative glaucoma, PEX）、激素性青光眼、色素性青光眼；先天性青光眼，如青少年型开角型青光眼（juvenile open-angle glaucoma, JOAG）。

2 青光眼的治疗方法与 MIGS 的创新优势

不同类型与临床分期的青光眼具有不同的主观症状与临床体征。如原发性急性闭角型青光眼发作期一般伴有视力急剧下降，眼压急剧升高（一般可达 50mmHg 以上）导致的剧烈眼痛、头痛。伴有角膜及球结膜水肿、前房变浅、瞳孔散大、晶状体前囊下青光眼斑等^[10]。不同类型的青光眼在不同的临床分期的治疗方法有所不同，相关青光眼手术的开展要匹配其适应症与手术标准。

青光眼的治疗要点为降低高眼压，以保护眼球内组织，特别是视神经。基于青光眼治疗要点为降低眼压的机制，治疗方向可分为增加房水排出与减少房水生成两个方面。方法主要分为药物治疗、激光治疗与手术治疗。药物如毛果芸香碱等拟胆碱能药、卡替洛尔等 β 肾上腺素能受体拮抗剂、溴莫尼定等 α_2 受体激动剂、前列腺素衍生物、碳酸酐酶抑制剂等药物可以根据不同的降压机制来治疗青光眼^[11, 12]。激光治疗如激光小梁成形术、睫状体光凝术、激光周边虹膜切除术等。手术治疗如小梁切除术、周边虹膜切除术等^[13-15]。这些传统手术存在创伤大、治疗效果不稳定等问题，而 MIGS 有着腔内微切口（通常小于等于 2mm）、安全性高、恢复更快、降眼压幅度更持久稳定等优点，适应症更广泛，并发症的风险也较低^[16]。

MIGS 适用于 OAG 和 ACG 等多种类型的青光眼。不同的 MIGS 方法根据个体情况进行评估、选择与调整，以确保达到最佳的治疗效果。MIGS 既可作为单独的治疗方法，也可与白内障手术进行联合^[17]，为青光眼合并白内障的患者提供治疗方案，进一步提高优化治疗效果，扩大 MIGS 的适应症。如果受术者房角狭窄或闭合，必要时也可以通过联合白内障手术打开房角为 MIGS 创造手术条件。

3 微创青光眼手术（MIGS）的分类

MIGS 手术目前主要的分类有 4 种。第一种为通过小梁网-Schlemm 管流出途径的手术，其原理为通过修复或重建经小梁网-Schlemm 管的房水自然引流通路，恢复生理性的房水循环，代表有 NeoMedix 的 Trabectome^[4]，Glaukos 的 iStent^[16]，Sight Sciences 的房角镜辅助下内路小梁切开术（gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy, GATT）^[4]、准分子激光小梁切开术（excimer laser trabeculotomy, ELT）^[3]，Ivantis 的 Hydrus^[4]，双刃小梁切除术（Kahook dual blade, KDB）^[6]。第二种为脉络膜上腔流出途径的手术，原理为将房水引流至脉络膜上腔，利用脉络膜-巩膜间隙压力差促进吸收，代表有 Glaukos 的 Supra 支架^[4]。第三种为减少房水生成的手术，原理为通过破坏睫状体无色素上皮细胞，从而减少房水分泌量，代表有睫状体光凝术（cyclophotocoagulation）^[6]。第四种为球结膜下滤过手术，原理为建立房水从前房至结膜下的外引流通道，形成滤过泡，代表有 Aquesys 的 XEN 凝胶支架^[16]，Innfocus 的 Micro Shunt^[6]。

4 各 MIGS 方式的临床应用与评价

4.1 Trabectome 小梁消融术

NeoMedix 的 Trabectome 通过高频双极电极（550kHz）选择性消融小梁网及 Schlemm 管内壁，通过扩大房水流出通道，恢复生理性引流途径，有效降低眼压，仪器组成见图 4.1。电消融器采用独特的足状结构设计，其尖端经过适度锐化处理，器械表面覆盖着低摩擦系数的绝热材质涂层，有效避免 Schlemm 管外壁及邻近解剖结构在手术过程中遭受热损伤或机械性创伤^[3, 4, 6]，具体结构见图 4.2。术中在鼻侧角膜作 1.6-1.8mm 切口，借助房角镜，引导电极切除 30°-60°范围的小梁网组织^[4]，同时保留 Schlemm 管外壁及集液管结构，使房水直接流入集液管系统，以此来构建房水流出通路。



图 4.1 Trabectome 仪器结构^[16]

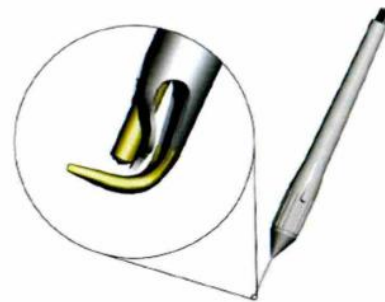
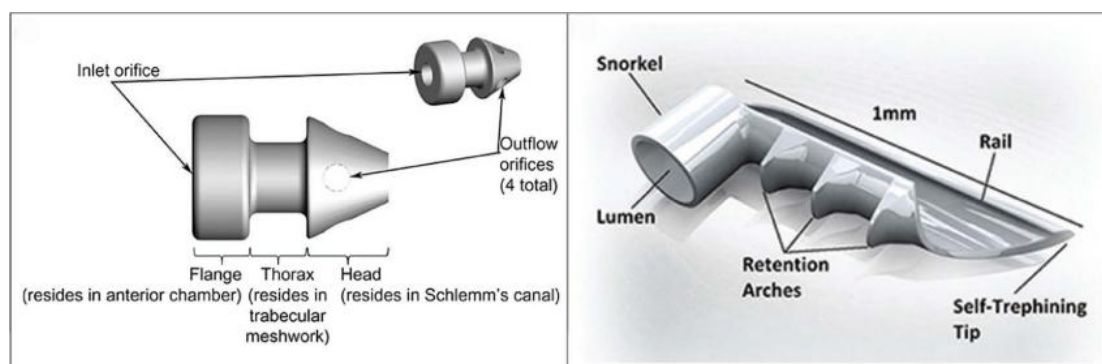


图 4.2 手柄尖端结构^[18]

Trabectome 适用于轻中度 POAG、继发性青光眼、ACG、小梁切除术失败后再次手术、先天性青光眼^[4, 6, 18, 19]、新生血管性青光眼（需保证房角开放）^[20]，其联合白内障手术应用^[21]可适用于青光眼合并白内障患者。王怀洲^[18]等、李雪^[22]等、Kazuyoshi Kitamura^[20]等的临床研究与潘妹^[19]等的 Meta 分析发现了 Trabectome 在长短期随访中展现出相对于传统手术良好的安全性和有效性，有效降低眼压与减少药物使用。术中并发症主要为前房积血（发生率较高但多为暂时性，对疗效无影响，多因 Schlemm 管开放后血液逆流），术后并发症包括消融区局部房角粘连、一过性高眼压、脉络膜积液渗出、浅前房、低眼压等。但降压幅度有限，可能不适用于晚期患者。

4.2 iStent 眼内支架

Glaukos 的 iStent 是当前体积最小的眼内引流支架，其迭代产品（一代 iStent 与二代 iStent Inject，图 4.3）通过微创植入技术，将支架经小梁网精准置入 Schlemm 管内，建立房水引流通道。一代 iStent 全长 1.0 毫米，高度 0.33 毫米，单腔体设计，引流孔径 120 微米，通过支架实现房水向 Schlemm 管的定向引流^[3, 4, 6]。二代 iStent Inject，长度 360 微米，采用三腔体模块化设计，尖端配置 4 个均质分布微孔，提升房水转运效率（房水引流见图 4.4），搭载自动注射系统，单次操作可同时植入多枚支架，减少器械进出眼内次数，降低角膜内皮损伤及术中并发症风险^[16, 23]，房角镜观察下植入后的 iStent Inject 见图 4.5。



a) iStent Inject 结构

b) iStent 结构

图 4.3 两代 iStent 支架结构^[16]

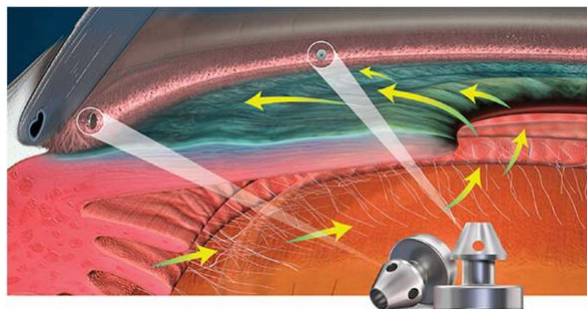


图 4.4 iStent Inject 房水引流途径^[16]

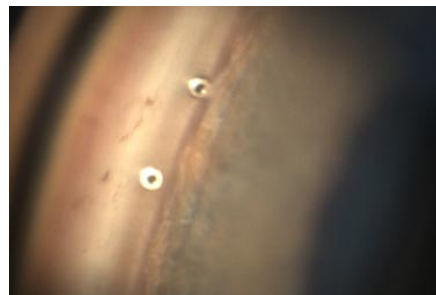


图 4.5 房角镜观察下的 iStent Inject^[24]

iStent 眼内支架适用于轻中度 OAG、继发性青光眼、高眼压症，联合白内障手术的疗效得到了不同随访时间的多个前瞻性和回顾性研究的支持^[25]。Jeremy C. K. Tan^[26]等、Kevin Gillmann^[27]等的 Meta 分析与 Cedric Weich^[24]等、Fritz H. Hengerer^[28]等的研究发现 iStent 与 iStent Inject 具有良好的降眼压、减用药潜力和良好的安全性，长期疗效稳定，有利于稳定青光眼进展，植入的 iStent 数量越多，眼压降低效果越显著。术中并发症主要为前房积血，术后可能出现一过性高眼压、虹膜炎、白内障进展、最佳矫正视力下降、支架堵塞或定位偏移等并发症。支架

堵塞多因炎症细胞、周边黏连导致，定位偏移可能需要二次手术调整位置或重新植入。术中前房出现积血导致影响房角镜的观察，从而可能影响手术成功率^[23]。

4.3 房角镜辅助下内路小梁切开术

Sight Sciences 的房角镜辅助下内路小梁切开术（gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy, GATT），手术时在房角镜的辅助下，在小梁网上制作 1-2mm 水平切口（图 4.6），通过切口将照明导管或热钝化的 5.0 聚丙烯线平行于虹膜面推进 Schlemm 管内（图 4.7），照明导管于 Schlemm 管内前进一周后从原切口穿出，牵引导管两端形成闭环（图 4.8），切开小梁网全周。环形切开的小梁网形成连续引流通道，促进房水经生理途径排出^[4, 6, 16, 29]。



图 4.6 第一步——在房角镜的辅助观察下在鼻侧房角制作 1-2mm 切口^[30]

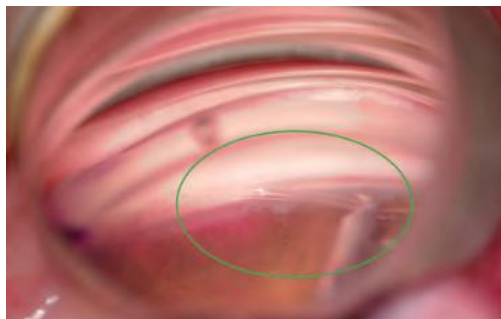


图 4.7 第二步——导管通过切口进入 Schlemm 管并推进^[30]



图 4.8 第三步——导管推进一周后从原切口穿出，牵拉两端收紧成闭环切开小梁网全周^[30]

GATT 的适用于 POAG、JOAG、继发性青光眼、婴幼儿型青光眼，对于慢性 ACG（房角不可闭合，且能观察到房角情况）^[30, 31]亦适用，合并白内障患者可联合白内障手术。王晨^[32]、郑汇聪^[31]等的研究发现术后 12 个月随访均未发现严重并发症，显著降低了眼压、减少了药物使用，有着较高的成功率。但其长期疗效有待进一步观察。其术后并发症中以前房积血（若术后 1 周左右仍观察到明显的积血需进行前房冲洗）最常见，其他包括眼压骤升、早期一过性低眼压等。一些罕见并发症包括人工晶体后囊袋内血肿、后弹力层脱离、角膜水肿、虹膜根部离断、全巩膜炎等。但抗青光眼术后失败后再行 GATT 的疗效有限，认为是既往青光眼手术引起的集液管结构异常导致的^[30]。

4.4 准分子激光小梁切开术

准分子激光小梁切开术（excimer laser trabeculotomy, ELT）是基于激光技术的 MIGS 术式。术中在房角镜的观察下，利用准分子激光在小梁网和 Schlemm 管内壁精确造孔（孔径约 200 微米）（见图 4.9、4.10），重建房水生理引流通道^[3, 6, 16]。传统屈光手术使用的 193nm 准分子激光因穿透性强，易损伤邻近组织（如角膜内皮）。故 ExTra 激光系统采用 308nm 氯化氙（XeCl）准分子激光进行精确消融，氯化氙准分子激光可以将激光能力集中，减少热扩散。且波长优化后穿透深度降低，显著减少周围组织损伤风险^[33]。

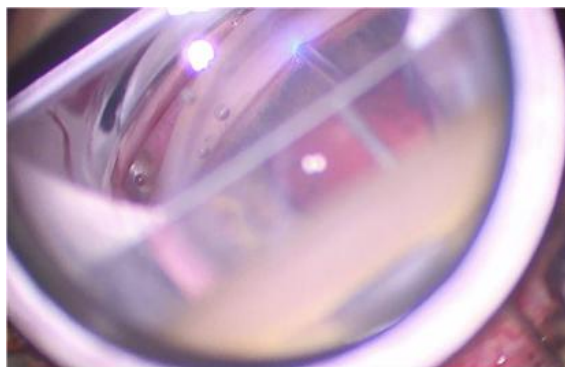


图 4.9 房角镜观察下探头接触小梁网^[33]

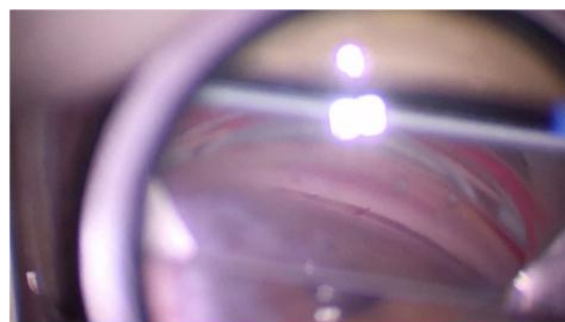


图 4.10 激光进行小梁造孔^[33]

ELT 主要适用于 POAG、继发性青光眼、高眼压症，与白内障手术联合效果好。Georges M. Durr^[33]等、C.Deubel^[34]等的研究发现单独采用 ELT 术式或与白内障手术联合使用可以有效降低眼压，长期随访绝大多数患者眼压得到降低且效果稳定，具有良好的安全性，术中或术后风险小。术后并发症有前房积血（一般为少量且吸收较快）、前房炎症反应、虹膜损伤、周边虹膜前粘连等。研究发现长期减少降眼压药的种类与数量似乎无法实现^[34]。

4.5 Hydrus 支架

Ivantis 的 Hydrus 微支架是一种镍钛合金的弹性植入装置，全长 8mm，预弯曲形态适配 Schlemm 管解剖结构（图 4.11）。镍钛合金赋予其超弹性特性，可对抗管腔塌陷，同时避免植入后移位或断裂。术中在房角镜的观察下，将支架置入 Schlemm 管。支架展开后，将 Schlemm 管直径扩大至自然状态的 4-5 倍（平均扩幅约 150-200 μm ）^[4, 6, 16]（植入后支架见图 4.12、4.13），显著降低房水流出阻力，降低眼内压。

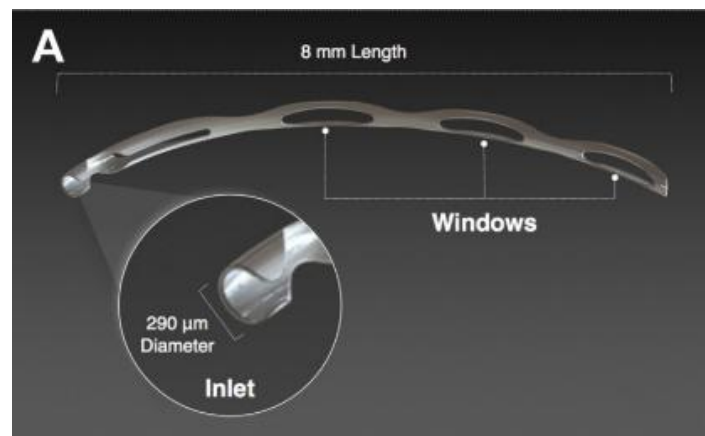


图 4.11 Hydrus 支架结构^[35]

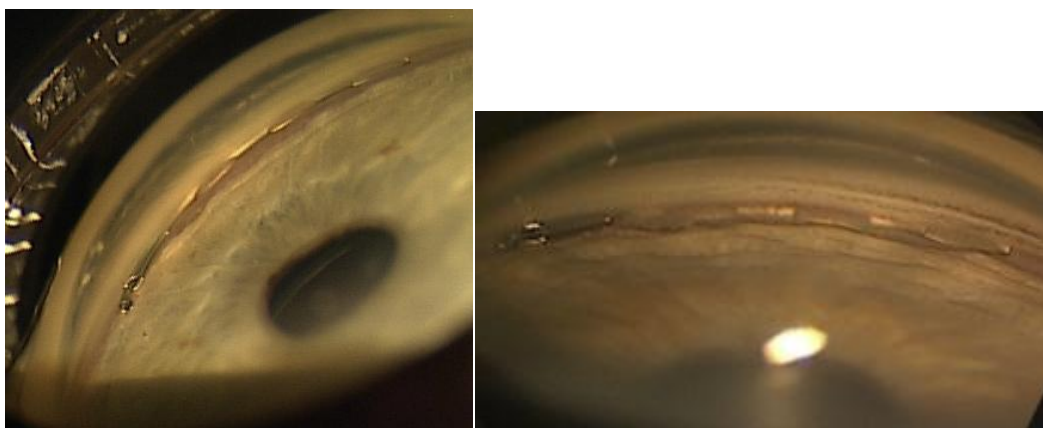
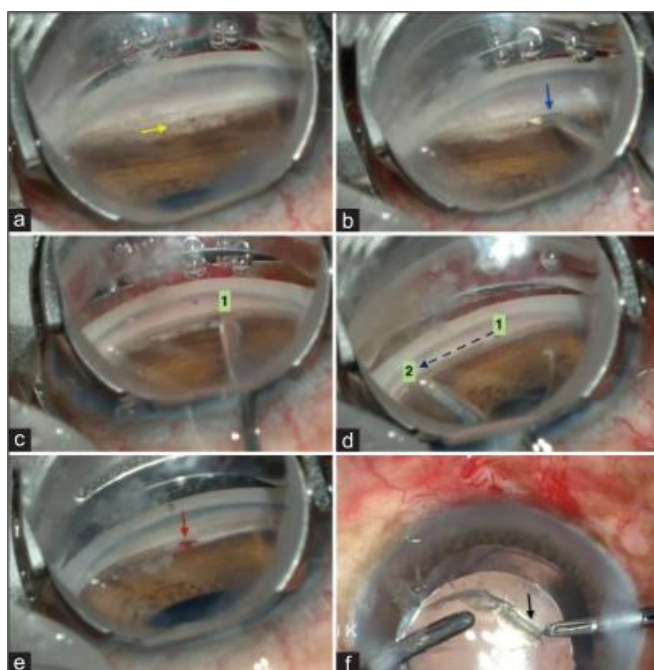


图 4.12、4.13 Hydrus 支架植入后状态^[35, 36]

Hydrus 支架主要适用于 POAG、PEX, 多项研究都将其白内障手术进行联合。Norbert Pfeiffer^[36]等、Thomas W. Samuelson^[35]等的研究发现接受 Hydrus 支架联合白内障手术的患眼眼压和药物使用明显降低与减少, 且具有较高安全性。Cedric Weich^[24]等人的 iStent Inject 与 Hydrus 眼压降低效果比较中, 发现与 iStent Inject 组相比, Hydrus 组实现了更大的相对眼压降低, 药物使用量也显著减少。临床治疗中 Hydrus 表现出优秀的眼压降低效果, 患者术后抗青光眼药物的需求也显著减少。术后并发症主要是虹膜周边前粘连、前房积血、眼压骤升、支架堵塞或移位, 罕见并发症包括视盘出血、黄斑损伤、黄斑玻璃体牵拉等^[6]。但其对于中晚期青光眼疗效不足, 可能需要联合其他治疗。且虹膜周边前粘连相对其他术式发生率更高。

4.6 双刃小梁切除术

双刃小梁切除术 (Kahook dual blade, KDB) 运用的是双刃房角切开刀片 (图 4.15)。术中在房角镜的辅助下, 使刀片结构接合小梁网, 刀片附属结构抬起并绷紧小梁网。随后刀片向前推进从而进行小梁网的切除^[16] (图 4.14)。KDB 可以更彻底地去除小梁网组织, 切口平整, 残留组织更少^[6] (切除后状态见图 4.16), 术后小梁组织纤维化程度更小^[4], 维持更好的房水引流效果。



注 1) (a) 在房角镜下观察小梁网并寻找手术位置 (b) 通过角膜切口将双刃刀片接合小梁网 (c) 切除起点位于图上“1”处 (d) 切除终点位于图上“2”处, 从“1”切割至“2” (e) 红色箭头处为来自 Schlemm 管的血液回流 (f) 用镊子去除切除下的小梁网组织

图 4.14 KDB 手术过程^[37]

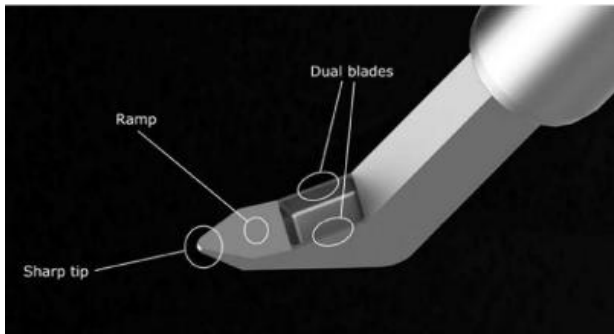


图 4.15 双刃刀片结构^[16]

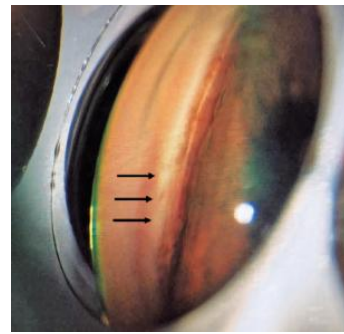


图 4.16 KDB 切开部位^[38]

KDB 主要适用于 POAG（晚期 OAG 也有一定效果）、继发性青光眼（如 PEX）、房角粘连分离术后 ACG、难治性青光眼、葡萄膜炎性青光眼^[4]等，与白内障手术联合效果佳。Larissa Fouad Ibrahim^[38]等、Rashmi Krishnamurthy^[37]等人的研究发现 KDB 眼压控制效果好，手术成功率较高。Anna Barkander^[39]等的 iStent Inject 与 KDB 疗效比较研究发现 KDB 相比 iStent Inject 减少了更多的药物用量。术后并发症主要有暂时性前房积血（多自行消除，相对严重、吸收慢者需前房冲洗）、眼压骤升等，罕见并发症有局部虹膜根部离断、角膜水肿、复发性虹膜炎、睫状体脱离等。但术后小梁网区域瘢痕形成，可能导致效果减退，长期疗效不稳定。

4.7 Supra 支架

Glaukos 的 Supra 支架（图 4.17）为 iStent 系列第三代支架产品，采用聚醚砜（PES）聚合物与钛合金套筒复合材质。总长度为 4 毫米，内径为 165 微米，外径为 300 微米（含钛套筒）^[4]。其植入系统配置有预装式一次性注射器系统，经睫状体平坦部穿刺进入脉络膜上腔完成支架植入，建立前房-脉络膜上腔房水引流通道^[6]。



图 4.17 Supra 支架^[16]

Jonathan S. Myers^[40]等运用两个 iStent 支架、一个 Supra 支架和前列腺素治疗难治性青光眼的研究中发现该方法安全地实现了眼压控制，为难治性青光眼引入了一种可能的治疗选择。2022 年的一篇综述中提到 Supra 支架正在美国进行

临床试验^[6]。在 2023 年的一篇文献中提到 Junemann、Katz 等人也围绕 Supra 支架进行过相关的临床试验,但该文献中也提出了 iStent Supra 已被 Glaukos 放弃^[16],因此,该支架及其相关设备在未来是否可用、是否有进一步进展尚不确定。

脉络膜上腔流出途径的手术中曾存在 Cypass 支架植入术(图 4.18、4.19),但因长期随访显示角膜内皮丢失风险,并发症率较高,于 2018 年 8 月退出临床应用^[4],同为该途径的 Supra 支架如若后期出现新突破,需要吸取 Cypass 支架的历史经验教训。



图 4.18 Cypass 支架^[16]

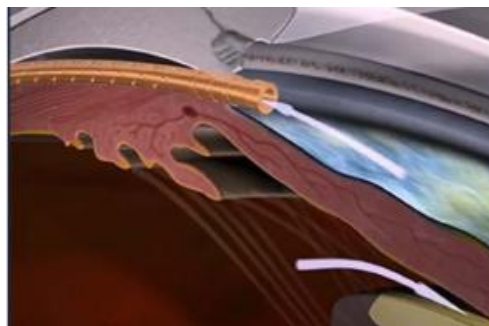


图 4.19 Cypass 支架引流途径^[16]

4.8 睫状体光凝术

内窥镜下睫状体光凝术(endoscopic cyclophotocoagulation, ECP),是在内窥镜的辅助下通过激光热凝固效应烧灼破坏睫状体表层色素上皮和非色素上皮细胞,从而减少房水的生成,达到降低眼压的作用。与冷凝术相比其术后炎症反应更轻,不良反应更少。大多选择与白内障超声乳化摘除术联合进行,具有良好的安全性和有效性^[6]。根据激光到达睫状体上皮细胞的方式不同,可分为经巩膜睫状体光凝术、经瞳孔睫状体光凝术、经玻璃体内睫状体光凝术和眼内镜下睫状体光凝术。

ECP 主要适应症为急性 PACG,也适用于药物或常规手术难以控制的终末期或难治性青光眼,包括新生血管性、先天性、外伤性及术后持续高眼压等类型,合并白内障患者可联合白内障手术。赖钟祺^[41]等、陈京霞^[42]等、王业玮^[43]等的研究发现行 ECP 术后短期及长期随访眼压控制效果稳定,安全性高。临床治疗中控制眼压效果好、稳定、安全性高。术后并发症包括前房炎性渗出、渗出性脉络膜脱离、眼内炎、前房少量出血、反应性高眼压等。激光非选择性破坏可能过度损伤睫状体上皮细胞,不适用于早期干预选择。

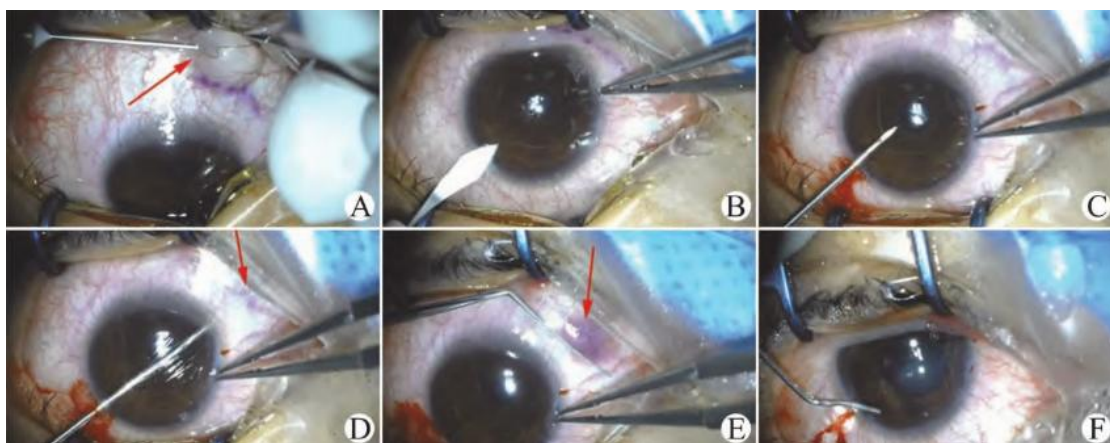
4.9 XEN 凝胶支架

Aquesys 的 XEN 是一根长 6mm、外径 150 μ m、内径 45 μ m 的凝胶支架,由胶原蛋白衍生的明胶(I型胶原蛋白提取物)与戊二醛交联(交联度大于等于 85%)

制成，具有亲水性（接触角小于 15° ）与良好的组织相容性^[4]。手术入路经角膜缘小梁网穿透，跨巩膜将 XEN 植入结膜下间隙（图 4.20、4.21），形成低张力滤过泡进行房水引流^[6]。XEN 具有显著且持续降低眼压、微创入路（创口 $\leq 1.8\text{mm}$ ）、生物相容性（支架在 6-8 周内逐步内皮化）良好等特点^[44, 45]。



图 4.20 XEN 凝胶支架的结构形状与植入位置^[16]



注 1) (A) 球结膜下注射丝裂霉素 (B) 作角膜切口 (C) XEN 注射器进入眼内并向鼻上象限推进 (D) 距角膜缘 3mm 处穿出巩膜到达球结膜下 (E) 检查引流管植入位置与状态 (F) 平衡盐溶液置换前房中透明质酸钠

图 4.21 XEN 的手术植入过程^[45]

XEN 适用于继发性青光眼、POAG、葡萄膜炎性青光眼等，也适用于多次抗青光眼手术或激光治疗失败的难治性青光眼，可联合白内障手术。范薇^[46]、许珂^[47]等、胡甜^[45]等的研究发现术后眼压得到了显著降低与良好控制，用药量得到了减少，手术成功率高，大多数患者术后眼压达标。具有很好的有效性及安全性，可以作为的有效微创术式选择。短期并发症包括支架错位、前房积血、切口渗漏、一过性低眼压、结膜下出血、脉络膜脱离等。长期并发症包括支架脱位、支架虹膜接触、内皮细胞丢失、滤过泡相关并发症、脉络膜上腔出血、眼内炎^[4]等。虽

短期疗效显著，但长期有效性、安全性需更大样本及更久随访验证，术后需重视滤过泡管理，尤其年轻患者需警惕瘢痕化风险。

4.10 Micro Shunt 引流支架

Innfocus 的 Micro Shunt 是一种聚合物植入物引流支架，总长度 8.5mm，外径 350 μm ，内径 70 μm （图 4.22 为一已移除的引流支架，图 4.23 为植入状态的支架），由聚苯乙烯-异丁烯-苯乙烯（SIBS）制作而成，具有生物惰性，抗钙化，预弯曲设计（适配睫状沟解剖）^[6, 48]。引流支架经透明角膜切口植入（切口尺寸 $\leq 2.2\text{mm}$ ），构建由前房-结膜下的引流通路。

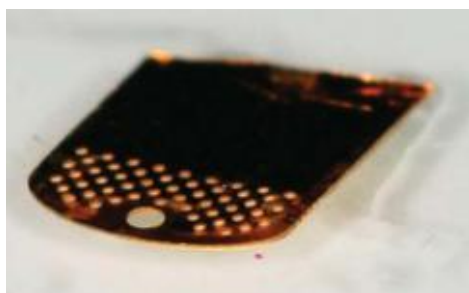


图 4.22 已移除的 Micro Shunt 引流支架^[49]



图 4.23 房角镜下植入状态的 Micro Shunt 引流支架^[48]

Micro Shunt 主要适应症为 POAG、PEX 等继发性青光眼，可与白内障手术联合进行，术后降眼压效果良好^[4, 6]。Michele Figus^[50]等回顾分析 Micro Shunt 治疗难治性青光眼的远期疗效中发现难治性青光眼中 Micro Shunt 的长期存活率非常低，即使重新引入药物干预，大多数患者也没有达到成功标准。而 Antonio Maria Fea^[51]等的研究中发现对于 POAG、PEX 来说有效降低了眼压，并减少了对降眼压药物的需求。术后并发症有前房积血、脉络膜渗出、结膜下出血或水肿、引流管位置异常、滤过泡瘢痕化（长期并发症，可能影响降压效果）等。其长期有效性、安全性需更大样本及更久随访验证，依赖术后的滤过泡瘢痕管理，且对难治性青光眼等中晚期青光眼治疗效果不足。

5 各 MIGS 术式的横向比较

为更直观地体现各 MIGS 术式之间主要适应症、临床疗效、主要并发症与缺点的异同，供临床工作者或科研工作者参考，将总结如下表 5.1、5.2、5.3。

表 5.1 各 MIGS 术式所属类别、主要适应症横向比较

MIGS 术式	所属类别	主要适应症
Trabectome	小梁网-Schlemm 管途径	轻中度 POAG、继发性青光眼、ACG、小梁切除术后再次手术、先天性青光眼、新生血管型青光眼（需保证房角开放）、合并白内障
iStent	小梁网-Schlemm 管途径	轻中度 OAG、继发性青光眼、高眼压症、合并白内障
GATT	小梁网-Schlemm 管途径	POAG、JOAG、继发性青光眼、婴幼儿型青光眼、慢性 ACG（房角不可闭合、且能观察到房角情况）、合并白内障
ELT	小梁网-Schlemm 管途径	POAG、继发性青光眼、高眼压症、合并白内障
Hydrus	小梁网-Schlemm 管途径	POAG、PEX、合并白内障
KDB	小梁网-Schlemm 管途径	POAG（晚期 OAG 也有一定效果）、继发性青光眼（如 PEX）、房角粘连分离术后 ACG、难治性青光眼、葡萄膜炎性青光眼、合并白内障
Supra	脉络膜上腔途径	/
睫状体光凝术	减少房水生成	急性 PACG、药物或常规手术难以控制的终末期青光眼或难治性青光眼（包括新生血管性、先天性、外伤性、术后持续高眼压等类型）、合并白内障
XEN	球结膜下滤过	继发性青光眼、POAG、葡萄膜炎性青光眼、多次抗青光眼手术或激光治疗失败的难治性青光眼、合并白内障
Micro Shunt	球结膜下滤过	POAG、PEX 等继发性青光眼、合并白内障

表 5.2 各 MIGS 术式临床疗效横向比较

临床疗效（眼压平均降低% / 平均减药量%）					备注
MIGS 术式 / 术后时间	3 月	6 月	1 年	2 年及以上	
Trabectome ^[18, 20, 22]	20.5 / 38.7	29.4 / 49.4	32.6 / 67.0	25.3 / 48.7	/
iStent ^[24, 26, 28, 52]	×	26.7 / 38.5	21.4 / 34.4	27.8 / 26.0	降压效果与 iStent 植入数成正相关
GATT ^[30-32, 52]	38.8 / 78.9	37.8 / 76.2	38.5 / 69.1	43.5 / 52.0	长期疗效有待进一步观察
ELT ^[33, 34]	×	×	单行为 32.5 / × 联合白内障为 28.5 / 45.5	单行为 28.4 / 23.1 联合白内障为 35.2 / 15.9	/
Hydrus ^[35, 36]	×	×	联合白内障 36.9 / ×	联合白内障 33.1 / 78.7	相关研究发现比 iStent Inject 实现了更大的眼压降低与药物减量
KDB ^[16, 37-39]	×	联合白内障 25.7 / 59.3	31.0 / 59.5	联合白内障 26.9 / 34.8	相关研究发现相比 iStent Inject 减少了更多的药物用量
Supra	该支架及其相关设备在未来是否可用、是否有进一步进展尚不确定				
睫状体光凝术 ^[41-43]	65.5 / ×	59.2 / ×	×	×	数据针对急性 ACG 或难治性青光眼
XEN ^[16, 45-47]	46.5 / 78.4	46.8 / 81.0 (随访 8 月)	42.1 / 86.2	32.9 / 55.3	/
Micro Shunt ^[16, 51]	×	×	41.4 / 63.4	47.8 / 46.4	/

表 5.3 各 MIGS 术式主要并发症与缺点横向比较

MIGS 术式	主要并发症	缺点
Trabectome	术中：前房积血（发生率较高，多为暂时性，对疗效无影响） 术后：消融区局部房角粘连、一过性高眼压、脉络膜积液渗出、浅前房、低眼压	降压幅度有限，可能不适用于晚期患者
iStent	术中：前房积血 术后：一过性高眼压、虹膜炎、白内障进展、最佳矫正视力下降、支架堵塞、支架定位偏移	术中前房出现积血导致影响房角镜的观察，可能影响手术成功率
GATT	术后：前房积血（超过 1 周需前房冲洗）、眼压骤升、一过性低眼压 罕见：人工晶体后囊袋内血肿、后弹力层脱离、角膜水肿、虹膜根部离断、全巩膜炎	抗青光眼术后失败后再行 GATT 的疗效有限（认为是既往手术引起集液管结构异常导致的）
ELT	术后：前房积血（一般较少且吸收较快）、前房炎症反应 虹膜损伤、周边虹膜前粘连	长期减少降眼压药的种类与数量似乎无法实现
Hydrus	术后：虹膜周边前粘连、前房积血、眼压骤升、支架堵塞或移位 罕见：视盘出血、黄斑损伤、黄斑玻璃体牵拉	对于中晚期青光眼疗效不足，可能需要联合治疗；虹膜周边前粘连对其他术式发生率更高
KDB	术后：暂时性前房积血（吸收慢者需前房冲洗）、眼压骤升 罕见：局部虹膜根部离断、角膜水肿、复发性虹膜炎、睫状体脱离	术后小梁网区域瘢痕形成，可能导致长期疗效减退
Supra	/	
睫状体光凝术	术后：前房炎性渗出、渗出性脉络膜脱离、眼内炎、前房少量出血、反应性高眼压	激光非选择性破坏可能过度损伤睫状体上皮细胞，不适用于早期干预选择
XEN	术后：支架错位、前房积血、切口渗漏、一过性低眼压、结膜下出血、脉络膜脱离（前为短期，后为长期）、支架脱位、支架虹膜接触、内皮细胞丢失、滤过泡相关并发症、脉络膜上腔出血、眼内炎	术后需重视滤过泡管理，尤其年轻患者需警惕瘢痕化风险
Micro Shunt	术后：前房积血、脉络膜渗出、结膜下出血或水肿、引流管未位置异常、滤过泡瘢痕化（长期并发症，可能影响降压效果）	依赖术后滤过泡瘢痕管理；对难治性青光眼等中晚期青光眼治疗效果不足

结 论

本综述收集、筛选、整理相关的文献，例如临床试验、回顾性研究、随机对照试验、Meta 分析等，梳理了 MIGS 研究中不同术式的机制、原理、适应症、并发症，总结目前主要的 MIGS 在临床实践中的治疗情况。以期为解决青光眼这一全球范围内日益严峻的致盲性眼病问题提供更加精准和个性化的治疗策略选择，同时为相关医务临床工作者、科研人员提供 MIGS 最新进展的参考，评估未来研究和实践的潜在影响，为 MIGS 领域的发展提供可行的探索路径。

微创青光眼手术（MIGS）作为青光眼治疗领域的重要革新，凭借其微创性、高安全性、术后恢复快及并发症风险低等优势，正在逐步替代传统手术成为临床主流选择。大量临床研究证实，MIGS 可显著降低轻中度青光眼患者的眼压，并减少抗青光眼药物依赖。此外，MIGS 可联合白内障手术进一步优化疗效，为合并白内障的青光眼患者提供了一体化解决方案。

然而，MIGS 的临床应用仍存在一定局限性。首先，其对晚期青光眼的治疗效果有限，部分病例需联合其他干预手段。其次，部分术式的长期疗效与安全性仍需长期随访进行验证，例如 XEN 凝胶支架的远期滤过泡瘢痕化风险等。术后并发症虽较传统手术显著减少，但前房积血、支架堵塞、一过性高眼压等仍需关注，个别罕见严重并发症亦仍需寻找其发生原因。

未来 MIGS 的发展还存在较大的突破空间。优化现有术式设计，开发更具生物相容性和稳定性的植入材料（如改进支架结构、抗瘢痕涂层），并探索联合治疗策略以提升晚期患者的疗效。加强长期随访研究，系统评估不同术式的远期安全性及成本效益。推动个性化治疗，结合患者房角结构、眼压水平及病程阶段，制定精准的术式选择标准。降低技术门槛与费用，通过标准化培训、器械国产化等方式提升可及性。此外，人工智能的发展日新月异，其辅助手术规划或与前沿技术的融合，有望进一步突破 MIGS 的疗效边界。随着研究的深入与技术的迭代，MIGS 或将成为青光眼全程管理的核心手段，为全球数千万患者提供更安全的视力保障。

参考文献

- [1] Quigley H A, Broman A T. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020[J]. Br J Ophthalmol, 2006, 90(3): 262-267.
- [2] 李春华, 张海莲. 社会支持对中老年青光眼患者生活质量的影响[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(24): 5322-5325.
- [3] 辛晨, 汪军, 刘广峰, 等. 青光眼微创手术进展[J]. 眼科新进展, 2015, 35(01): 92-97.
- [4] Mathew D J, Buys Y M. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: A Critical Appraisal of the Literature[J]. Annu Rev Vis Sci, 2020, 6: 47-89.
- [5] 白刚, 张贵森, 张晓光, 等. 微创青光眼手术的新进展[J]. 国际眼科杂志, 2019, 19(06): 945-949.
- [6] 李艾家, 李鸿. 微创青光眼手术的研究进展[J]. 重庆医学, 2022, 51(14): 2515-2520.
- [7] Gabelt B T, Kaufman P L. Changes in aqueous humor dynamics with age and glaucoma[J]. Prog Retin Eye Res, 2005, 24(5): 612-637.
- [8] Roy Chowdhury U, Hann C R, Stamer W D, et al. Aqueous humor outflow: dynamics and disease[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2015, 56(5): 2993-3003.
- [9] Weinreb R N, Aung T, Medeiros F A. The pathophysiology and treatment of glaucoma: a review[J]. Jama, 2014, 311(18): 1901-1911.
- [10] Khaw P T, Shah P, Elkington A R. Glaucoma--1: diagnosis[J]. Bmj, 2004, 328(7431): 97-99.
- [11] 蒋幼芹. 青光眼的药物治疗[J]. 中华眼科杂志, 2006, (02): 190-192.
- [12] 秦瑜琳, 魏海英. 青光眼治疗药物的研究进展[J]. 现代药物与临床, 2022, 37(06): 1403-1408.
- [13] 覃涛, 潘可生. 青光眼手术治疗进展[J]. 华夏医学, 2018, 31(01): 175-178.
- [14] Razeghinejad M R, Spaeth G L. A history of the surgical management of glaucoma[J]. Optom Vis Sci, 2011, 88(1): E39-47.
- [15] 葛坚, 白玉婧. 青光眼手术治疗进展[J]. 实用医院临床杂志, 2010, 7(06): 8-12.
- [16] Chan P P M, Larson M D, Dickerson J E, Jr., et al. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: Latest Developments and Future Challenges[J]. Asia Pac J Ophthalmol (Phila), 2023, 12(6): 537-564.
- [17] 张秀兰. 现阶段对青光眼白内障联合手术的认识[J]. 眼科, 2012, 21(01): 3-6.
- [18] 王怀洲, 石砚, 洪洁, 等. 小梁消融术治疗开角型青光眼的初步结果[J]. 眼科, 2014, 23(01): 13-18.
- [19] 潘妹, 黄苏敏, 王佳君, 等. 小梁消融术治疗原发性开角型青光眼的 Meta 分析[J]. 牡丹江医学院学报, 2021, 42(01): 32-37+49.
- [20] Kitamura K, Fukuda Y, Hasebe Y, et al. Mid-Term Results of Ab Interno Trabeculectomy among Japanese Glaucoma Patients[J]. J Clin Med, 2023, 12(6).
- [21] Polat J K, Loewen N A. Combined phacoemulsification and trabectome for treatment of glaucoma[J]. Surv Ophthalmol, 2017, 62(5): 698-705.
- [22] 李雪, 惠玲, 刘霞. 外路小梁切开术与小梁消融术治疗开角型青光眼的临床效果[J]. 临床医学研究与实践, 2019, 4(15): 84-85.
- [23] 林仲静, 徐硕, 钟一声. 小梁微型旁路支架 iStent 的研究进展[J]. 眼科新进展, 2016, 36(09): 894-897.

- [24] Weich C, Zimmermann J A, Storp J J, et al. Comparison of the Intraocular Pressure-Lowering Effect of Minimally Invasive Glaucoma Surgery (MIGS) iStent Inject W and Hydrus-The 12-Month Real-Life Data[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2025, 15(4).
- [25] Shalaby W S, Jia J, Katz L J, et al. iStent inject: comprehensive review[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47(3): 385-399.
- [26] Tan J C K, Agar A, Rao H L, et al. Meta-Analysis of MINInject vs. Two iStents as Standalone Treatment for Glaucoma with 24 Months of Follow-Up[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(24).
- [27] Gillmann K, Hornbeak D M. Rates of visual field change and functional progression in glaucoma following trabecular microbypass implantation of iStent technologies: a meta-analysis[J]. *BMJ Open Ophthalmol*, 2024, 9(1).
- [28] Hengerer F H, Auffarth G U, Conrad-Hengerer I. 7-Year Efficacy and Safety of iStent inject Trabecular Micro-Bypass in Combined and Standalone Usage[J]. *Adv Ther*, 2024, 41(4): 1481-1495.
- [29] Quan A V, Yannuzzi N A, Chen J, et al. Gonioscopy-assisted Transluminal Trabeculotomy (GATT) in Patients With Secondary Open-Angle Glaucoma Following Vitreoretinal Surgery[J]. *J Glaucoma*, 2020, 29(4): e23-e25.
- [30] 王彩霞, 何宇. 房角镜辅助的内路 360°小梁切开术治疗青光眼研究进展[J]. *眼科学报*, 2023, 38(06): 478-488.
- [31] 郑汇聪, 杨天予, 张健, 等. 房角镜辅助的内路小梁切开术治疗青少年型开角型青光眼与原发开角型青光眼 12 个月疗效对比[J]. *眼科*, 2024, 33(04): 275-279.
- [32] 王晨. 房角镜辅助内路小梁切开术治疗开角型青光眼的疗效和安全性研究[D], 2023.
- [33] Durr G M, Töteberg-Harms M, Lewis R, et al. Current review of Excimer laser Trabeculostomy[J]. *Eye Vis (Lond)*, 2020, 7: 24.
- [34] Deubel C, Böhringer D, Anton A, et al. Long-term follow-up of intraocular pressure and pressure-lowering medication in patients following Excimer laser trabeculotomy[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2021, 259(4): 957-962.
- [35] Samuelson T W, Chang D F, Marquis R, et al. A Schlemm Canal Microstent for Intraocular Pressure Reduction in Primary Open-Angle Glaucoma and Cataract: The HORIZON Study[J]. *Ophthalmology*, 2019, 126(1): 29-37.
- [36] Pfeiffer N, Garcia-Feijoo J, Martinez-De-La-Casa J M, et al. A Randomized Trial of a Schlemm's Canal Microstent with Phacoemulsification for Reducing Intraocular Pressure in Open-Angle Glaucoma[J]. *Ophthalmology*, 2015, 122(7): 1283-1293.
- [37] Krishnamurthy R, Senthil S, Choudhari N. Initial experience with phacoemulsification and goniotomy using the Kahook dual blade in advanced open-angle glaucoma: Six-month outcomes in Indian eyes[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2021, 69(9): 2484-2487.
- [38] Ibrahim L F, Pereira A F R, Terenzi L a O, et al. Phacoemulsification with Kahook Dual Blade goniotomy in eyes with medically treated glaucoma: analysis of surgical outcomes and success predictors[J]. *Arq Bras Oftalmol*, 2021, 85(4): 359-363.
- [39] Barkander A, Economou M A, Jóhannesson G. Outcomes of iStent Inject Versus Kahook Dual Blade Surgery in Glaucoma Patients Undergoing Cataract Surgery[J]. *J Glaucoma*, 2023, 32(10): e121-e128.
- [40] Myers J S, Masood I, Hornbeak D M, et al. Prospective Evaluation of Two iStent(®) Trabecular Stents, One iStent Supra(®) Suprachoroidal Stent, and Postoperative Prostaglandin in Refractory Glaucoma: 4-year Outcomes[J]. *Adv Ther*, 2018, 35(3): 395-407.

- [41] 赖钟祺, 李维娜. 低剂量睫状体光凝术治疗急性闭角型青光眼持续高眼压状态的安全性分析[J]. 临床眼科杂志, 2024, 32(06): 522-525.
- [42] 陈京霞, 邹秀兰, 陈轩阁, 等. 内窥镜下睫状体冷凝术与睫状体光凝术对难治性青光眼患者的治疗效果对比[J]. 眼科新进展, 2020, 40(10): 942-945.
- [43] 王业玮, 武晓丽, 高科. 内窥镜下睫状体光凝联合超声乳化手术治疗白内障合并难治性青光眼的效果[J]. 临床医学, 2022, 42(02): 30-31.
- [44] 秦佳音, 刘妍, 贾红艳, 等. XEN 引流管植入术治疗青光眼[J]. 眼科, 2023, 32(01): 58-63.
- [45] 胡甜, 张虹, 王军明, 等. XEN 凝胶引流管植入治疗原发性开角型青光眼的初步疗效观察[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2023, 52(03): 351-355.
- [46] 范薇. XEN 青光眼引流管植入术治疗原发性开角型青光眼[D]. 2022.
- [47] 许珂, 吕泽平, 张纯. XEN 凝胶引流管植入术治疗难治性青光眼的安全性和有效性[J]. 国际眼科杂志, 2023, 23(09): 1461-1465.
- [48] Hueber A, Roters S, Jordan J F, et al. Retrospective analysis of the success and safety of Gold Micro Shunt Implantation in glaucoma[J]. BMC Ophthalmol, 2013, 13: 35.
- [49] Rekas M, Pawlik B, Grala B, et al. Clinical and morphological evaluation of gold micro shunt after unsuccessful surgical treatment of patients with primary open-angle glaucoma[J]. Eye (Lond), 2013, 27(10): 1214-1217.
- [50] Figus M, Loiudice P, Passani A, et al. Long-term outcome of supraciliary gold micro shunt in refractory glaucoma[J]. Acta Ophthalmol, 2022, 100(3): e753-e759.
- [51] Fea A M, Laffi G L, Martini E, et al. Effectiveness of MicroShunt in Patients with Primary Open-Angle and Pseudoexfoliative Glaucoma: A Retrospective European Multicenter Study[J]. Ophthalmol Glaucoma, 2022, 5(2): 210-218.
- [52] Sharkawi E, Artes P H, Lindegger D J, et al. Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy in primary angle-closure glaucoma[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2021, 259(10): 3019-3026.

致 谢

当我敲下最后一个句点时，窗外的晨昏已悄然流转了四度春秋，2021年金秋踏进成都中医药大学的我，也在这2025年盛夏即将离开。回顾四年本科生涯，所想所念皆为感恩。

首先，我要向我的论文指导老师代炳灵老师致以最真诚的谢意。从论文选题到构思框架、收集查阅文献，再到撰写开题报告、初稿、修订稿，最后形成终稿，每一步都离不开代老师的悉心指导。写作感到迷茫时，代老师总能以关键问题的提点，为我廓清方向；论文推进陷入瓶颈时，代老师的建议总能引导我寻到新的突破口；那些潜藏在文中逻辑链条的错误与断裂，代老师也总能准确地指出并提出宝贵的修改意见。如此幸运，遇到代老师，作为我在本科阶段的引路人；也如此愧疚，本人尚有很多需提升与精进之处。代老师渊博的学术造诣与亲切的教学态度，让我受益匪浅、终身难忘，在此我要向代炳灵老师表达深深的感激！

感谢所有专业课老师们，传授我理论知识、指导我技能实操，引导我构建起眼视光学专业知识框架，让我在眼视光学专业领域中收获累累硕果。感谢实习医院的所有带教老师们，引导我将理论知识运用到临床实践，进一步巩固了我的理论知识，让我熟练掌握准确的临床操作，更加自信。感谢我的辅导员老师，在写作论文的过程中为我提供的支持与帮助。感谢母校成都中医药大学提供的学习与进步的宽广平台。

感谢身边的同学、挚友，在论文写作过程中彼此激励前行、共同进步。感谢我的家人，永远是最坚实的后盾，支持我追逐梦想，无私奉献着、默默付出着。

感谢所有关心着我的人，我将不辜负大家的期待，努力向前。

愿将所学化为社会进步的一砖一瓦。此去长路，愿以诸位赐予的星光为火石，在更苍茫的旷野里击出属于自己的光痕。惟愿所有予我星光者，皆能见证星辰大海的征途！

愿各位工作顺遂，生活皆安，相信未来我们会在更高峰上再度相遇！

谨以赤诚，敬岁月峥嵘。

作者简介：

姓 名：李昊霖

性别：男

出生年月：2003年7月

民族：汉族

E-mail:13672167990@163.com

申明及授权书

独创性声明

本人郑重申明：所呈交的学位论文是本人在成都中医药大学攻读学士学位期间在导师指导下独立进行研究工作所取得的成果，无抄袭及编造行为。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，本论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。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。

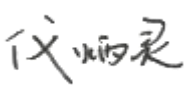
学位论文作者签名（亲笔）： 2025 年 5 月 30 日

学位论文使用授权书

根据国家相关规定，已通过的学位论文应当公开发表。本人同意：成都中医药大学有权通过影印、复印等手段汇编学位论文予以保存，并提供查阅和借阅；有权向国家有关部门、其他相关机构送交论文及电子版，公布（或刊登）论文内容。

保密论文在解密后应遵守此规定。

学位论文作者签名（亲笔）： 2025 年 5 月 30 日

指导教师签名（亲笔）： 2025 年 5 月 30 日

成都中医药大学学士学位论文外文文献翻译

3.2. iStent（第一代）

第一代 iStent（Glaukos, Laguna Hills, CA）是一种 L 形肝素涂层钛合金植入物，于 2012 年获美国食品药品监督管理局（FDA）批准与白内障手术联合使用。这种一体式支架长约 1.0mm，高 0.33mm，通气管孔径为 120 μ m（Ahmed et al.2020, Francis & Winarko2012, Wellik & Dale2015）。手术时术者位于颞侧，通过眼内入路将支架植入鼻侧小梁网。支架进入 Schlemm 管，形成旁路使房水进入传统流出通道（Craven et al.2012, Myers et al.2018）。多个 iStent 可间隔 1–3 个钟点位植入（Ahmed et al.2014, Arriola-Villalobos et al.2012, Katz et al. 2015, Myers et al.2018）。

该植入物的优势在于可与白内障手术联合用于轻中度青光眼患者，实现眼压的适度降低和药物减量（Arriola-Villalobos et al.2012,2016; Craven et al.2012; Malvankar-Mehta et al.2015）。植入的 iStent 数量越多，眼压降低效果越显著。一项评估多枚 iStent 疗效的随机试验显示，术前平均使用 1.51 种药物的患者中，接受三枚 iStent 植入后，92.1%在术后 12 个月完全停用药物（Katz et al.2015,2018）。

最常见的并发症包括支架移位，以及虹膜、血液或玻璃体阻塞（发生率 3–20%）（Resende et al.2016;Spiegel et al.2008,2009）。由于采用医用级钛合金材料，过敏、超敏反应及毒性风险极低。但需注意，钛合金植入物在牙科领域偶见超敏反应报道（Kim et al.2019）。近期报告显示，部分病例鼻侧虹膜表面存在金属颗粒残留，可能源于植入器或支架本身（Tassel et al.2019）。

3.3. iStent Inject

第二代 iStent，即 GTS-400 iStent Inject（Glaukos,Laguna Hills,CA），体积较第一代更小，学习曲线更短。无通气管的设计使其结构不同于第一代 iStent。G2-M-IS 注射器系统可容纳两个植入物，允许术者通过单次眼内入路植入两枚设备（Ahmed et al.2020,Fea et al. 2014, Katz et al.2015）。Bahler 等（2012）报道，植入第一枚 iStent inject 后，房水流出易度从 $0.16\pm0.05\mu\text{L}/\text{min}/\text{mmHg}$ 增加至 $0.38\pm0.23\mu\text{L}/\text{min}/\text{mmHg}$ ，第二枚进一步升至 $0.78\pm0.66\mu\text{L}/\text{min}/\text{mmHg}$ 。该设备于 2016 年获 FDA 批准。

iStent Inject 相关并发症与第一代 iStent 相似（Arriola-Villalobos et al.2016,Fea et al. 2014, Gonnermann et al.2017,Voskanyanetal.2014）。

3.4. Hydrus

Hydrus 微支架（Ivantis,Inc,Irvine,CA）是一种 8 mm 长的弧形房水引流装置，通过交替分布的支撑棘提供结构稳定性。它由镍钛合金制成，具有超弹性，可在变形后恢复原状。Hydrus 微支架在 Schlemm 管内起支架作用，将管腔扩张至

自然宽度的约四到五倍。植入后覆盖 90° 范围（一个象限），并连通多个集液管。2018 年，FDA 批准其与白内障手术联合用于成年原发性开角型青光眼患者（Ahmed et al. 2020, Cent.Devices Radiol. Health2019, Samuelson et al. 2019a）。

通过 1.5 mm 透明角膜切口将预装的注射器引入前房，在房角镜引导下将支架植入小梁网。确认远端尖端在 Schlemm 管内的位置后，可通过注射器上的跟踪轮推进支架。1 mm 的入口段位于小梁网外的前房内（Ahmed et al. 2020 , Samuelson et al.2019a）。

术中并发症罕见，包括支架移位和短暂前房积血。术后第一天 2 mm 以上的层状前房积血报道发生率为 0.5-1.4%（Jones et al.2019,Samuelson et al.2019a）。高达 18.7%的病例在入口段形成周边前粘连或虹膜粘连，其中 3.4%为完全阻塞性粘连。报告需使用类固醇超过 3 个月的持续性虹膜炎（Jones et al.2019）。

3.5. 房角镜辅助下内路小梁切开术（GATT）

房角镜辅助下内路小梁切开术（GATT）通过眼内入路进行 360° 小梁切开，手术使用 iTrack 微导管（Ellex,Fremont,CA）完成（Grover et al.2014）或经热灼处理的 5-0 或 6-0 聚丙烯/尼龙缝线（Aktas et al.2019b,Grover & Fellman2016）。术者先制作 1-2 个钟点的房角切口，用显微镊将微导管或缝线引入 Schlemm 管。导管尖端的光源可辅助追踪其路径。微导管或缝线穿过 Schlemm 管全周后从房角切口的另一端穿出。将前端拉至前房中央并固定，同时对切口外的后端施加轻柔牵引力，形成收缩环切开小梁网（Grover et al.2014,2017b）。小梁切开范围可限制为 90°、180°或 270°（Nazarali et al.2019）。

GATT 已用于治疗原发性和继发性开角型青光眼，包括激素性青光眼（Boese & Shah 2019），以及儿童和青少年青光眼（Grover et al.2015）。

最常见的并发症是术后第一周内前房积血，发生率 23-38%（Grover et al. 2014, Rahmatnejad et al. 2017）。也有囊内血肿报道（Yalinbas et al.2018）。其他罕见并发症包括后弹力层脱离、角膜水肿、虹膜根部离断、低眼压及全巩膜炎（Aktas et al.2019a,Baykara et al.2019, Grover et al. 2014,Rahmatnejad et al.2017）。

3.6. 双刃小梁切除术（KDB）

KDB（New World Medical,Rancho Cucamonga,CA）是一种改良的房角切开刀，用于切除小梁网条带。其他小梁切开术如 GATT 和 Trabectome 可能残留小梁网小叶，随时间导致纤维化（Seibold et al.2013）。理论上，KDB 因彻底切除小梁网，长期效果更优。其锐利尖端可切入小梁网，刀跟部嵌入 Schlemm 管，推进时在小梁网上形成平行切口，从而切除条带状组织。术者可选择顺时针或逆时针方向推进，覆盖 3-5 个钟点范围（Seibold et al.2013）。KDB 于 2015 年获 FDA 注册。

KDB 已用于成人和儿童青光眼（Khoury & Wong 2017）、葡萄膜炎性青光眼（Miller et al.2019）、房角粘连分离术后闭角型青光眼（Dorairaj & Tam 2019）以及严重和难治性青光眼（Salinas et al. 2018a）。它可与其他 MIGS 术式如 iStent 和 GATT 联合使用（ElMallah et al. 2019,Widder & Schmitz2019）。并发症包括前房积血、6%的病例眼压骤升、角膜水肿、复发性虹膜炎、睫状体脱离和 4%病例的后弹力层撕裂（Dorairaj & Tam 2019,Dorairaj et al.2018a,ElMallah et al. 2019,Greenwood et al.2017）。

3.7 Cypass

Cypass 微支架（Alcon,Fort Worth,TX）长 6.35mm，外径 510 μ m，内径 300 μ m。该聚酰亚胺管全长有孔，近端有三个突出的固定环。植入时，导丝进入前房并轻柔分离睫状体与巩膜突，形成可控性微小睫状体分离。然后沿导丝将支架插入脉络膜上腔，最终位置应仅可见一个固定环在外部，随后撤出导丝（Hoeh et al.2013,2016;Reiss et al.2019;Vold et al.2016）。Cypass 于 2016 年获 FDA 批准。

Cypass 已用于原发性开角型青光眼（Reiss et al.2019,Vold et al.2016），及玻璃体切除术后慢性闭角型青光眼（Hopen et al.2018），也可与 iStent 植入联合使用（Chen & Kim2018）。并发症包括眼压升高超过 30mmHg、低眼压、短暂前房积血和白内障进展（Hoeh et al. 2016, Reiss et al.2019,Sii et al.2019）。COMPASS 试验五年结果显示，Cypass 组内皮细胞年丢失率为 2.84%，对照组为 0.36%。若支架外露大于等于 2 个固定环，内皮细胞丢失率是对照组的 5.8 倍，外露 0、1、2、3 个固定环的病例，年丢失率分别为 1.39%、2.74%、6.02%和 9.96%（Lass et al. 2019, Reiss et al. 2019）。基于此，Cypass 微支架于 2018 年 8 月自愿退市（U.S.Food Drug Admin.2018）。

3.8. iStent Supra

iStent 脉络膜上腔旁路系统（iStent Supra,Model G3）（Glaukos,Laguna Hills,CA）由聚醚砜和钛合金套管组成，长 4mm，内径 165 μ m，目前在美国进行临床试验。

植入步骤与 Cypass 微支架相似，使用预装的一次性植入器。该植入物已在中晚期开角型青光眼患者中研究（Junemann 2013,Myers & Katz 2013），并与 iStent 联合使用（Myers et al.2018）。25 只眼中 2 只出现低眼压，1 个月内缓解；1 只眼发生脉络膜渗出，术后 3 个月缓解。最佳矫正视力无显著变化（Junemann 2013,Myers & Katz2013）。

3.9 Xen

Xen 凝胶支架（Allergan,Irvine,CA）是一种 6 mm 长的管，由戊二醛交联的胶原衍生明胶制成，具有亲水性，遇水变柔软以适应周围组织（Chatzara et

al.2019,Green et al.2018)。现有三种内径规格(45、63、140 微米)，目前仅 Xen45 上市。Xen 凝胶支架于 2016 年获 FDA 批准。

最常见的植入部位是鼻上象限。通常在鼻上象限结膜下注射丝裂霉素 C，并在计划的支架出口处揉擦。从对侧颞下透明角膜切口将带支架的注射器引入前房，辅助器械通过侧切口提供反向牵引。在房角镜引导下，注射器针头指向 Schlemm 管前方，穿过巩膜隧道，在角膜缘 3 mm 处结膜下穿出。支架释放后撤出针头。理想情况下，支架远端 2mm 位于结膜下，3mm 在巩膜隧道内，1mm 在前房 (Chatzara et al.2019,Green et al.2018)。变体术式包括外路入路 (Lee et al.2019)、Tenon 囊上注射空气和粘弹剂用于 Tenon 囊上支架放置 (Ahmed et al.2019)。Xen 凝胶支架是一种滤过泡形成装置，其相较于传统小梁切除术的优势包括微创性、手术及恢复时间短、低眼压风险低。该支架已用于开角型青光眼 (Schlenker et al.2017)、葡萄膜炎性青光眼 (Sng et al.2018)、虹膜角膜内皮综合征 (Lin et al.2019) 和儿童青光眼 (Arad et al.2019)。43% 的病例需要术后滤过泡针刺，针刺时可能意外截断结膜下段 (Bustros et al.2020,Schlenker et al.2017)。术后第一天高眼压是需针刺的最重要预测因素 (Midha et al.2019)。

短期并发症包括支架错位、出血、切口渗漏、低眼压和阻塞导致的失败 (Chatzara et al. 2019, Gillmann et al.2019b,Green et al.2018)。长期并发症包括支架迁移 (Ali et al.2019) 导致前房内脱位、支架-虹膜接触 (Atalay et al.2018,Chatzara et al.2019,Dervenis et al.2017,Gillmann et al.2018)、内皮细胞丢失 (Gillmann et al.2019a)、侵蚀或暴露 (Arnould et al.2019)、滤过泡相关并发症 (Salinas et al.2018b)、持续性低眼压 (Sng et al.2018)、脉络膜上腔出血 (Prokosch-Willing et al.2017)、眼内炎 (Karri et al.2018,Lapira et al.2018) 和晚期伤口渗漏 (Olate-Pérez et al.2018,Salinas et al.2018b)。

3.10 PreserFlo (原 InnFocus)

PreserFlo 微型分流器 (Santen Pharmaceutical Company,Ltd.,Osaka,Japan) 聚苯乙烯-异丁烯-苯乙烯三嵌段共聚物 (SIBS) 管。其设计经多次改良，包括 MIDI-Tube、MIDI-Ray 和最新的 MIDI-Arrow (又名 PreserFlo)，长 8.5mm，管腔 70 μ m。距前端 4.5mm 处有一个 1.1mm 宽的鳍状结构以固定位置 (Arrieta et al.2011,Green et al.2018,Pinchuk et al.2016)。

PreserFlo 微分流器采用外路植入。术中使用海绵或结膜下注射丝裂霉素 C 后，以斜面刀制作 1 毫米浅层巩膜袋。通过 25G 针道将分流器引入前房，确认房水引流通畅后关闭结膜切口。该设备已用于有晶状体眼及人工晶体眼 (Green et al.2018)。

并发症包括低眼压 (8–13%) 和脉络膜渗出 (3.4–8.7%)，通常无需手术干预即可缓解。其他罕见并发症包括前房积血、玻璃体积血、包裹性滤过泡和早期

滤过泡渗漏（Batlle et al.2016,Beckers et al.2017,Green et al.2018,Pinchuk et al.2016,Riss et al.2015）。

成都中医药大学学士学位论文外文文献翻译原文

3.2. iStent (First Generation)

The first-generation iStent (Glaukos, Laguna Hills, CA) was an L-shaped heparin-coated titanium implant. It was approved by the FDA in 2012 for use in combination with cataract surgery. This single-piece stent measures approximately 1.0 mm in length and 0.33 mm in height. The bore diameter of the snorkel is 120 μm (Ahmed et al. 2020, Francis & Winarko 2012, Wellik & Dale 2015). This implant is inserted via an ab interno approach, usually into the nasal trabecular meshwork, when the surgeon is seated temporally. The stent enters the Schlemm's canal, forming a bypass that gives aqueous humor access to the conventional outflow (Craven et al. 2012, Myers et al. 2018). More than one iStent may be inserted 1–3 clock hours apart (Ahmed et al. 2014, Arriola-Villalobos et al. 2012, Katz et al. 2015, Myers et al. 2018).

The advantage of this implant is that it can be combined with cataract surgery in mild to moderate glaucoma eyes to achieve a modest reduction in IOP and a reduction in medication (Arriola-Villalobos et al. 2012, 2016; Craven et al. 2012; Malvankar-Mehta et al. 2015). IOP reduction is greater with increasing numbers of iStent implants. In a randomized trial investigating the efficacy of multiple iStents, 92.1% of patients who were on an average of 1.51 medications preoperatively became medication-free at 12 months postoperatively after receiving three iStent implants (Katz et al. 2015, 2018).

The most common complications include malposition, and obstruction by iris, blood, or vitreous humor occurs in 3–20% of cases (Resende et al. 2016; Spiegel et al. 2008, 2009). The risks of allergy, hypersensitivity, and toxicity are minimal, as the implant is made of surgical grade titanium. However, titanium implants in dentistry have caused hypersensitivity on rare occasions (Kim et al. 2019). A recent report showed evidence of metallic intraocular particles resting on the nasal iris, the source of which might have been the injector or the implant itself (Tassel et al. 2019).

3.3. iStent Inject

The second-generation iStent, the GTS-400 iStent inject (Glaukos, Laguna Hills, CA), is smaller than the first-generation iStent. This device was proposed to have a shorter learning curve than its predecessor. Absence of a snorkel makes the device structurally different from the first-generation iStent. The G2-M-IS injector system has the capacity to house two implants, thus enabling the surgeon to implant two devices with a single intraocular entry (Ahmed et al. 2020, Fea et al. 2014, Katz et al. 2015). Bahler et al. (2012) reported that the first iStent inject implant increased the outflow facility from 0.16 ± 0.05 to $0.38 \pm 0.23 \mu\text{L}/\text{min}/\text{mm Hg}$, and the second iStent inject further increased the outflow facility to $0.78 \pm 0.66 \mu\text{L}/\text{min}/\text{mm Hg}$. FDA approval for this device was obtained in 2016.

Complications associated with the iStent inject are similar to those associated with the first-generation iStent (Arriola-Villalobos et al. 2016, Fea et al. 2014, Gonnermann et al. 2017, Voskanyan et al. 2014).

3.4. Hydrus

The Hydrus (Ivantis, Inc, Irvine, CA) is an 8-mm-long curved aqueous drainage device. Structural support is provided by alternating spines. It is made of nitinol, a nickel and titanium alloy, and is superelastic, returning to its original shape after deformation. The Hydrus microstent acts as a scaffold within the Schlemm's canal, dilating the canal to approximately four to five times its natural width. Once within the Schlemm's canal, it spans 90° (one quadrant) and provides access to multiple collector channels. It was approved by the FDA in 2018 for use in conjunction with cataract surgery in adult patients with primary open-angle glaucoma (Ahmed et al. 2020, Cent. Devices Radiol. Health 2019, Samuelson et al. 2019a).

A preloaded injector is introduced into the anterior chamber through a 1.5-mm clear corneal incision. The stent is introduced into the trabecular meshwork under gonioscopic guidance. After the position of the distal tip within the Schlemm's canal has been confirmed, the stent can be advanced using the tracking wheel on the injector. A 1-mm inlet segment is situated external to the trabecular meshwork, in the anterior chamber (Ahmed et al. 2020, Samuelson et al. 2019a).

Intraoperative complications are infrequent and include malposition and transient hyphema. Layered hyphema of more than 2 mm on the first postoperative day has been reported in 0.5–1.4% of cases (Jones et al. 2019, Samuelson et al. 2019a). Peripheral anterior synechiae or iris adhesions form at the inlet segment in up to 18.7% of cases, and 3.4% of such adhesions are completely obstructive. Persistent iritis requiring steroids for more than 3 months was reported in 0.5% of cases (Jones et al. 2019).

3.5. Gonioscopy-Assisted Transluminal Trabeculotomy

Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy (GATT) involves a 360° trabeculotomy using an ab interno approach. An iTrack microcatheter (Ellex, Fremont, CA) is used to perform the trabeculotomy (Grover et al. 2014). Alternatively, a suture, such as 5-0 or 6-0 Prolene or Nylon with one tip blunted using heat cautery, may be used (Aktas et al. 2019b, Grover & Fellman 2016). A 1–2-clock-hour goniotomy is created and the microcatheter or suture introduced using microsurgical forceps. The iTrack microcatheter may be visualized in lieu of its lighted tip as it courses through the Schlemm's canal. The microcatheter or suture emerges from the other end of the goniotomy incision after it has coursed through the entire circumference of the Schlemm's canal. The leading tip is then brought to the center of the anterior chamber and held securely while gentle traction is applied to the trailing end outside the incision, creating a constricting loop that cuts through the trabecular meshwork (Grover et al. 2014, 2017b). Trabeculotomy may be limited to 90°, 180°, or 270° (Nazarali et al. 2019).

GATT has been used in the treatment of primary and secondary open-angle glaucoma, including steroid-induced glaucoma (Boese & Shah 2019). It has also been used in pediatric and juvenile glaucoma (Grover et al. 2015).

The most common complication is hyphema in the first postoperative week, seen in 23–38% of cases (Grover et al. 2014, Rahmatnejad et al. 2017). Intracapsular hematoma has also been reported (Yalinbas et al. 2018). Other rare complications include Descemet's membrane detachment, corneal edema, iridodialysis, hypotony, and panscleritis (Aktas et al. 2019a, Baykara et al. 2019, Grover et al. 2014, Rahmatnejad et al. 2017).

3.6. Kahook Dual Blade

The KDB (New World Medical, Rancho Cucamonga, CA) is a modified goniotomy blade used to excise a strip of trabecular meshwork. Other trabeculotomy procedures, such as GATT and Trabectome, can leave residual trabecular meshwork leaflets, which can lead to fibrosis over time (Seibold et al. 2013). Thus, KDB has a theoretical advantage over other trabeculotomy procedures of better long-term outcomes. The sharp tip allows the blade to enter the trabecular meshwork. The heel of the instrument fits into the Schlemm's canal, and when the knife is advanced, it creates parallel incisions in the trabecular meshwork, resulting in the removal of a strip of trabecular meshwork tissue. The knife may be advanced in clockwise or counter-clockwise directions over 3–5 clock hours, depending on the surgeon's preference (Seibold et al. 2013). KDB was registered by the FDA in 2015.

KDB has been used in adult and childhood glaucoma (Khoury & Wong 2017), uveitic glaucoma (Miller et al. 2019), angle-closure glaucoma following goniosynechialysis (Dorairaj & Tam 2019),

and severe and refractory glaucoma (Salinas et al. 2018a). It may be combined with other MIGS procedures, such as iStent and GATT (ElMallah et al. 2019, Widder & Schmitz 2019). Complications include hyphema, IOP spikes in 6% of cases, corneal edema, rebound iritis, cyclodialysis cleft, and Descemet's membrane tears in 4% of cases (Dorairaj & Tam 2019, Dorairaj et al. 2018a, ElMallah et al. 2019, Greenwood et al. 2017).

3.7. Cypass

The Cypass microstent (Alcon, Fort Worth, TX) is 6.35 mm long, with an outer diameter of 510 μm and an inner diameter of 300 μm . This polyimide tube has fenestrations along its entire length and three protruding retention rings at the proximal end. The guidewire used to implant this stent is introduced into the anterior chamber and is used to create a controlled small cyclodialysis by gently dissecting the ciliary body from the scleral spur. The stent is then inserted into the suprachoroidal space along the guidewire. At its final position, only one retention ring should be visible externally. This is followed by withdrawal of the guidewire (Hoeh et al. 2013, 2016; Reiss et al. 2019; Vold et al. 2016). Cypass was approved by the FDA in 2016.

Cypass has been used in primary open-angle glaucoma (Reiss et al. 2019, Vold et al. 2016) and even chronic angle-closure glaucoma postvitrectomy (Hopen et al. 2018). It has been used in conjunction with iStent implantation (Chen & Kim 2018). Complications include IOP elevations above 30 mm Hg, hypotony, transient hyphema, and progression of cataracts (Hoeh et al. 2016, Reiss et al. 2019, Sii et al. 2019). The five-year results of the COMPASS trial showed that the annualized endothelial cell loss was 2.84% in the Cypass group and 0.36% in the control group. Compared to the control group, the endothelial cell loss was 5.8 times higher in the group with two or more retention rings visible. The annualized endothelial cell loss rates for stents with zero, one, two, and three rings visible were 1.39%, 2.74%, 6.02%, and 9.96%, respectively (Lass et al. 2019, Reiss et al. 2019). Based on these results, the Cypass microstent was voluntarily withdrawn from the market in August 2018 (U.S. Food Drug Admin. 2018).

3.8. iStent Supra

The iStent suprachoroidal bypass system (iStent Supra, Model G3) (Glaukos, Laguna Hills, CA) is made up of polyethersulfone and a titanium sleeve. It is 4 mm in length and has an internal diameter of 165 μm . It is currently undergoing clinical trials in the United States.

Insertion steps are similar to those of the Cypass microstent, using a preloaded disposable injector. This implant has been studied in moderate and advanced open-angle glaucoma (Junemann 2013, Myers & Katz 2013). It has also been used in conjunction with iStent implants (Myers et al. 2018). Hypotony that resolved in 1 month was reported in 2 out of 25 eyes. One eye had a choroidal effusion that resolved by the third postoperative month. Best corrected visual acuity did not show any significant change (Junemann 2013, Myers & Katz 2013).

3.9. Xen

The Xen gel stent (Allergan, Irvine, CA) is a 6-mm-long tube made of collagen-derived gelatin cross-linked with glutaraldehyde. It is hydrophilic and is hydrated on contact with water, becoming flexible and conforming to the surrounding tissue (Chatzara et al. 2019, Green et al. 2018). Three Xen models have been manufactured with varying lumen diameters: 45, 63, and 140 μm . Of these, only the Xen45 is currently available. The Xen gel stent was approved by the FDA in 2016.

The most common site of implantation is the superonasal quadrant. Mitomycin C is usually injected subconjunctivally in the superonasal quadrant and massaged over the planned site of stent

exit. The injector with the stent is introduced into the anterior chamber from a diametrically opposite inferotemporal clear corneal incision. A second instrument is used to provide counter-traction at a side port. Under gonioscopic guidance, the injector needle is directed anterior to the Schlemm's canal, tunneled through the sclera, and brought out subconjunctivally at a marked point 3 mm from the limbus. The stent is deployed and the needle withdrawn. Ideally, the stent is placed such that 2 mm of the distal end are in the subconjunctival space, 3 mm are in the scleral tunnel, and 1 mm is in the anterior chamber (Chatzara et al. 2019, Green et al. 2018). Variations include an ab externo approach (Lee et al. 2019) and supra-Tenon air and viscoelastic injection for a supra-Tenon Xen placement (Ahmed et al. 2019). The Xen gel stent is a bleb-forming device, and its advantages over conventional trabeculectomy are its minimally invasive nature, shorter surgical and recovery times, and decreased risk of hypotony. This stent has been used in open-angle glaucoma (Schlenker et al. 2017), uveitic glaucoma (Sng et al. 2018), iridocorneal endothelial syndrome (Lin et al. 2019), and pediatric glaucoma (Arad et al. 2019). Postoperative needling is required in 43% of cases, and the subconjunctival segment may be accidentally amputated during needling (Bustros et al. 2020, Schlenker et al. 2017). High IOP on postoperative day one is the most important predictor for needling (Midha et al. 2019).

Immediate complications include misplacement, bleeding, wound leak, hypotony, and failure due to obstruction (Chatzara et al. 2019, Gillmann et al. 2019b, Green et al. 2018). Late complications include implant migration (Ali et al. 2019) resulting in dislocation into the anterior chamber and stent-iris touch (Atalay et al. 2018, Chatzara et al. 2019, Derveniz et al. 2017, Gillmann et al. 2018), endothelial cell loss (Gillmann et al. 2019a), erosion or exposure (Arnould et al. 2019), bleb-related complications (Salinas et al. 2018b), persistent hypotony (Sng et al. 2018), suprachoroidal bleeding (Prokosch-Willing et al. 2017), endophthalmitis (Karri et al. 2018, Lapira et al. 2018), and late wound leak (Olate-Pérez et al. 2018, Salinas et al. 2018b).

3.10. PreserFlo, Formerly Known as InnFocus

The PreserFlo microshunt (Santen Pharmaceutical Company, Ltd., Osaka, Japan) is a microtube made of poly(styrene-block-isobutylene-block-styrene). The microshunt has undergone design modifications, including MIDI-Tube and MIDI-Ray and the latest MIDI-Arrow or PreserFlo microshunt. It is 8.5 mm long with a 70- μ m lumen. A 1.1-mm-wide fin located 4.5 mm from the anterior tip secures the implant at the desired location (Arrieta et al. 2011, Green et al. 2018, Pinchuk et al. 2016).

The PreserFlo microshunt is implanted ab externo. Mitomycin C is applied using sponges or via a subconjunctival injection prior to creation of a shallow 1-mm-wide scleral pocket with an angled knife. The shunt is introduced into the anterior chamber through a 25G needle track. Aqueous outflow is confirmed before the peritomy is closed. The microshunt has been used in phakic and pseudophakic eyes (Green et al. 2018).

Complications include hypotony in 8–13% of cases and choroidal effusions in 3.4–8.7% of cases, which usually resolve without any surgical intervention. Other rare complications include hyphema, vitreous hemorrhage, encapsulated bleb, and early bleb leak (Batlle et al. 2016, Beckers et al. 2017, Green et al. 2018, Pinchuk et al. 2016, Riss et al. 2015).

4. CRITICAL APPRAISAL OF MINIMALLY INVASIVE GLAUCOMA SURGERY LITERATURE

4.1. Quality of Studies

More than one million scientific publications are produced worldwide every year (Fontelo & Liu 2018). In the field of ophthalmology alone, there was a 51% increase in the number of