

微创青光眼手术的新进展

白刚*, 张贵森*, 张晓光, 刘洋

引用:白刚,张贵森,张晓光,等. 微创青光眼手术的新进展.国际眼科杂志 2019;19(6):945-949

作者单位:(010050)中国内蒙古自治区呼和浩特市,内蒙古朝聚眼科医院

*:白刚和张贵森对本文贡献一致。

作者简介:白刚,学士,主治医师,研究方向:青光眼、白内障;张贵森,硕士,副主任医师,研究方向:眼底病、青光眼。

通讯作者:刘洋,博士,住院医师,研究方向:青光眼、眼底病. liumengme_ng@126.com

收稿日期:2018-10-08 修回日期:2019-05-05

摘要

微创青光眼手术(micro invasive glaucoma surgery, MIGS)是新兴的一类青光眼手术,与传统小梁切除术相比,手术并发症相对少。MIGS按降眼压原理分为三类:减少房水生成术(如内窥镜下激光睫状体光凝术,高强度聚焦超声睫状体成形术),外引流手术(如EX-PRESS微型引流钉植入术,Schlemm管成形术),内引流手术(如小梁网微分流支架 iStent 植入术,内路小梁消融术)。本文将对近年MIGS的优缺点及适应证进行简单综述。

关键词:青光眼手术;微创;小管成形术;高聚焦超声睫状体成形术;iStent

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2019.6.12

New progresses of micro invasive glaucoma surgery

Gang Bai*, Gui-Sen Zhang*, Xiao-Guang Zhang, Yang Liu

Inner Mongolia Chaoju Eye Hospital, Hohhot 010050, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Co-first authors: Gang Bai and Gui-Sen Zhang

Correspondence to: Yang Liu. Inner Mongolia Chaoju Eye Hospital, Hohhot 010050, Inner Mongolia Autonomous Region, China. liumengme_ng@126.com

Received:2018-10-08 Accepted:2019-08-08

Abstract

• The Micro-invasive glaucoma surgery (MIGS) group of operations has been developed in the recent years to reduce some of complications of most standard glaucoma procedures such as trabeculectomy. In order to increase the surgical effect, a new group of surgical manners has emerged that seeks to decrease IOP with lower associated rates of complications. The MIGS of the latest technique

and devices are presented by three manners of reducing IOP: aqueous reduction surgery (Endoscopic Cyclophotocoagulation, Ultrasound Cyclo-Plasty); external filtering surgery (Implantation of EX-PRESS miniature glaucoma device, CANALOPLASTY); internal filtering surgery (Trabecular microbypass stent, Ab Interno Trabeculectomy). The article will summarize clinically relevant information of the glaucoma treatment and to describe indications, advantages and disadvantages of the MIGS.

• KEYWORDS: glaucoma surgery; micro-invasive; canaloplasty; ultrasound cyclo-Plasty; iStent

Citation: Bai G, Zhang GS, Zhang XG, et al. New progresses of micro invasive glaucoma surgery. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2019;19(6):945-949

0 引言

根据世界青光眼协会(WGA)调查显示,全世界约有青光眼患者6000多万人,到2020年人数增加到7960万人^[1],预计2040年全球青光眼患者可达1亿1100万人^[2]。我国将有2100万的青光眼患者,致盲率约30%,给患者家庭及社会造成沉重的负担。

青光眼治疗主要包括药物、激光及手术三种方式。药物及激光治疗非常安全,但对降眼压(IOP)具有局限性和毒副作用。如药物不能控制IOP或视神经进行性损害,就需要手术治疗。目前小梁切除术和青光眼引流阀植入术仍是最经典的青光眼术式,这两类手术降IOP效果显著,但术中术后棘手并发症种类多,如浅前房、前房积血、持续性低眼压、角膜内皮失代偿、眼内炎^[3]以及滤过泡并发症的困扰,术后预后差。一项小梁切除术术后随访的研究中,由于并发症而再次手术的比例是1a为5%,3a为9%,5a随访时IOP不能控制在正常范围而需要再次手术的比例是18%^[4-6]。

面对棘手并发症,迫切促使专家们不断探索利于手术预后,更安全有效的手术方式,微创青光眼手术(micro invasive glaucoma surgery, MIGS)为治疗提供了更多的选择。当前MIGS是青光眼手术治疗的最新进展。相对于传统的青光眼手术,MIGS并发症相对少:微小切口、有效降IOP、安全性高、操作相对简单、恢复快^[7]、减少术后抗青光眼药物的使用的特点。根据青光眼手术降IOP原理,分为减少房水生成术、内引流、外引流手术三类,现分别介绍。

1 减少房水生成术

1.1 内窥镜下激光睫状体光凝术 内窥镜下激光睫状体光凝术(endoscopic cyclophotocoagulation, ECP)是治疗难治性青光眼安全有效的新方法,具有可重复性、定位准确、创

伤小、并发症少等特点,已成为治疗难治性青光眼的新方法^[8]。

ECP在内窥镜直视下观察到睫状突,通过微小切口使激光探头伸入眼内,针对睫状体精确控制激光能量实施治疗,因此理论上ECP可以使治疗操作更精准,通过减少房水分泌而降低眼压。ECP对睫状体的破坏较小,又可避免邻近组织的损伤和眼球萎缩,减轻了术后炎症反应,也降低了低眼压的风险^[9]。

ECP适用于患有中等程度青光眼合并白内障的患者^[10]。且相较于MIGS的其他术式,ECP可应用于早中期、进展期和难治性青光眼的临床治疗。Francis等^[11]对ECP疗效和安全性进行了前瞻性研究。难治性青光眼患者25例,12mo内成功率为88%,眼压由术前平均 24.02 ± 7.77 mmHg降至 15.36 ± 7.77 mmHg。随访2a没有严重并发症。余敏斌等^[12]对47例51眼难治性青光眼患者进行ECP治疗,51眼术前用药情况下眼压平均为 35.3 ± 13.0 mmHg,术后1wk眼压平均为 19.9 ± 3.2 mmHg,术后6mo眼压平均为 17.0 ± 10.4 mmHg。51眼中,有4眼术后出现少量前房积血;有23眼术后瞳孔区出现纤维素样渗出。证明ECP对难治性青光眼患者可以安全有效地降低眼压,无明显严重并发症。ECP手术治疗后可有部分睫状体恢复房水分泌的功能,眼压再次升高,患者可能需要重新使用抗青光眼药物或再次施行ECP手术。

1.2 高强度聚焦超声睫状体成形术 高强度聚焦超声睫状体成形术(ultrasound cyclo-plasty,UCP)是法国EYE TECH CARE公司开发的非侵入性青光眼治疗新技术,2017-12该技术引入我国,开启了可以不用刀做青光眼手术的新时代。UCP使用的是高强度聚焦超声(HIFU)技术,通过EyeOP1设备电脑控制。

UCP对开角型青光眼和闭角型青光眼均可适用,在疾病的早期或晚期阶段均可施行,尤其适用于药物或手术不能控制的难治性青光眼。同时该手术可以与其他手术联合,且可重复应用。

HIFU治疗青光眼对巩膜和睫状体产生热效应:使能量聚集在睫状体上,使部分睫状体萎缩,减少房水生成,使眼压下降;动物试验证明,经波束作用的区域,24h后在光学显微镜下可见:巩膜结构改变并变薄,巩膜外房水引流增多,从而减少房水产生;巩膜瘢痕愈合使其与睫状体分离,增加了脉络膜上腔引流,使眼压下降,这两点可能是降低IOP的主要途径。HIFU可用于治疗不同深度或位置的组织,减少相邻组织的损伤,聚焦更加准确的声波能量,得到预期治疗效果^[13]。

术前需要提供OCT,UBM和IOL Master对“白到白”及眼轴长的测量,测量睫状环的宽度,以便选用合适大小的负压环(三个直径11、12或13mm),使得超声能量能够准确到达睫状体。采用球周麻醉的方式,将一个含有探头的小塑料吸盘用负压吸引联接锥与眼睛中心保持接触,在联接锥的上部插入一个直径为30、15mm高的环,沿着圆周分布6个柱状传导器,产生6个环状排列的聚焦区。所有参数包括频率、能量和激活的传感器数目都是预先设定的,术者只需选择每次换能器发射的持续时间(第一代4s&6s,第二代8s)。治疗在水浴中进行,超声探头产生0.4mm,长3mm的聚焦波速,能量为 $10\text{kW}/\text{cm}^2$,作用部位

在角膜缘后2~3mm,换能器的共振频率为7MHz,工作时在21MHz。治疗时间仅需3~5min,可达到精确治疗。超声治疗在4~6wk完全发挥功效,术后仍然在医生指导下继续使用青光眼药物数周。

关于换能器发射持续时间,Denis等^[14]认为第一代探头4s&6s能有效控制眼压。Giannaccare等^[15]认为第二代(8s)比第一代(4s&6s)控制眼压效果更好。现在第二代探头8s在欧洲更广泛使用。Dejboardar等^[16]对73例73眼开角型青光眼患者进行UCP治疗,换能器发射时间分别为8s和10s,研究中没有发现两次曝光时间内IOP减少存在显著差异,但10s组比8s组前房反应和巩膜斑点(灰色环线斑斑点)发生率较高。

Giannaccare等^[15]在3所意大利青光眼中心进行多中心的临床研究,47例患者49眼进行UCP治疗,随访1a,眼压从术前 27.7 ± 9.2 mmHg下降到 19.8 ± 6.9 mmHg,用药种类从 3.2 ± 0.5 种下降到 2.3 ± 0.2 种。手术合格成功率为51.1%;完全成功率为42.9%。术后没有严重并发症,早期并发症主要包括结膜水肿71.4%,结膜充血42.9%,浅层点状角膜炎38.8%,结膜下出血24.5%,暂时性眼前房葡萄膜反应18.4%,部分巩膜变薄8.2%。试验证明UCP是一种安全、无创的治疗方法,能显著降低患者的眼压。

Dejboardar等^[16]对73例73眼开角型青光眼患者进行UCP治疗,换能器发射时间分别为8s和10s。术后1a所有患者的平均眼压从治疗前的 23.5 ± 3.0 mmHg降至 15.7 ± 5.4 mmHg,单次手术后成功率分别为79%(8s)和78%(10s),整体患者平均眼压降低为41%。术中所有患者均未有疼痛反应,结膜出血占7%。术后没有严重并发症,早期并发症包括结膜充血93%,最小前房反应92%,浅层点状角膜炎6.8%,角膜上皮缺损5.4%。报道证实了UCP治疗的安全及有效性。

UCP术后部分患者在1~2wk感到视物模糊,但很快恢复。该技术适应证广泛、精准、安全无切口、操作简便、手术时间短、恢复迅速、无眼内感染的风险,患者术后疼痛反应轻。如患者第一次治疗后仍然高眼压,或随时间治疗效果逐渐减弱,如有必要可重复超声治疗。

2 外引流手术

外引流手术是建立新的外引流通道的滤过手术,包括传统的小梁切除术和青光眼房水引流装置植入术。传统小梁切除术手术成功率低,而且破坏性手术后严重并发症较多,如早期低眼压、脉络膜脱离、眼内炎等,很多青光眼患者并没有严重到值得去冒传统手术的风险。新型手术方式着眼于减少并发症,更为简单,更为安全高效。

2.1 EX-PRESS微型引流钉植入术 EX-PRESS青光眼引流器是一种生物相容性好的小型不锈钢材料,长仅3mm,无分流青光眼引流阀,可以安全进行MRI检查,是一种新型抗青光眼滤过手术方式。

手术简要流程如下:以穹窿为基底的结膜瓣或角膜缘为基底的结膜瓣,做一 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$,50%厚度的巩膜瓣^[17],引流钉嵌入巩膜瓣下方,把房水引流到结膜下间隙,促进房水排出以降低眼压,不需要虹膜周边切除和巩膜切除,明显降低了眼组织的创伤,手术时间更短,前房稳定,眼球及视功能稳定,因体积小,前房可多次植入。

朱玄生等^[17]2017年收集44例50眼患者与小梁切除

术进行了对比研究,两者治疗开角型青光眼疗效相似,降眼压作用无明显差异,EX-PRESS 手术成功率为 90%,小梁切除术成功率为 73%,EX-PRESS 术后并发症发生率为 15%,小梁切除术术后并发症发生率为 43%,且前者对角膜内皮细胞计数影响较小。文献报道表明 EX-PRESS 比小梁切除术更加安全,且手术相对简单,降眼压效果无明显差异,术后眼压长期稳定,术后无严重并发症,这与手术对眼内扰动少有关。但是 EX-PRESS 手术仍然属于有滤过泡的滤过性手术,因此与小梁切除术面对同样问题:滤过泡瘢痕化,此外该手术目前仅限开角型青光眼,具有一定的局限性。

2.2 Schlemm 管成形术 (CANALOPLASTY 粘小管成形术) Schlemm 管成形术是一种新型非穿透性技术,广泛应用于开角型青光眼,也适用于色素性青光眼,剥脱性青光眼,青少年型青光眼,小梁网手术失败但 Schlemm 管未破坏的患者。它是粘小管切开术的改良手术方式。但它的手术禁忌证也较多:闭角型青光眼、窄角型青光眼、新生血管性青光眼、外伤性青光眼、Schlemm 管损坏、小梁网切除术伴外周粘连、巩膜外静脉压使眼压增高等。

手术与非穿透小梁手术相似,以穹窿为基底作结膜瓣,分离 Schlemm 管切开其外壁,做一 4mm×4mm 的深层巩膜瓣,将微导管置入 Schlemm 管内,360 度向前推进,并连接一个闪烁红色光源,以便透过巩膜识别远端直到管远端从另一开口穿出。用 10-0 聚丙烯缝线系在微导管远端,微导管反向撤出,每 2~3 个钟点注入少量黏弹剂。当微导管完整退出后,缝线留在 Schlemm 管内。将缝线在张力下打结,以便向内扩张小梁网。用 10-0 缝合线紧密缝合巩膜瓣,以保密闭,防止任何滤泡。再缝合结膜瓣。可以用 80MHz 高分辨率 UBM 用于检验缝合管位置。通过黏弹剂的扩张及缝线的牵拉作用,扩张 Schlemm 管,重建自然房水外流通道从而使房水流出阻力减少到达降眼压的作用。Schlemm 管被黏弹剂扩张的同时,小梁网会形成微裂孔,减少了小梁网对房水的阻力。

Paolo^[18]对 224 例患者 256 眼实施 Schlemm 管成形术,其中 189 例 POAG,53 例剥脱性青光眼,10 例青少年型青光眼,4 例色素性青光眼,术后 2~3a 眼压(无药物治疗下)≤21mmHg,≤18mmHg,≤16mmHg 者分别为 88.7%,73.7%,46.2% (2a) 和 86.2%,58.6%,37.9% (3a)。其中 15.6% 患眼不能完全 360 度贯穿 Schlemm 管;6.5% 小梁网发生微穿孔,但手术仍然成功;7.9% 在术后 3~58mo 中 IOP 控制不理想。

相比于单独行 Schlemm 管成形术,联合白内障手术降眼压效果更好,术后用药更少。Tetz 等^[19]进行了一项前瞻性多中心的回顾性研究,对 133 例 133 眼开角型青光眼进行评估,分为三组,第一组只行 Schlemm 管成形术($n=82$),第二组患者为白内障术后行 Schlemm 管成形术($n=21$),第三组为联合手术($n=30$)。术后分别进行 3a 随访,三组结果分别为由术前 23.4 ± 4.3 mmHg 降到 15.5 ± 3.5 mmHg, 23.9 ± 5.2 mmHg 降到 15.6 ± 3.5 mmHg, 23.5 ± 5.2 mmHg 降到 13.6 ± 3.6 mmHg,抗青光眼药物均至少减少一种。术后并发症如视网膜脱离、一过性眼压增高、低眼压症、角膜后弹力层脱离、角膜水肿,但这几类并发症发生率极低。术后最常见的并发症是前房积血^[20],多数在

术后 1wk 左右即可完全吸收,也有文献报道^[21]认为术后少量前房积血是证明手术成功的重要指标,推测血液从集液管逆行流入 Schlemm 管,表明房水通道是开放的。这种手术也避免了小梁网切除术术后并发症如黄斑病变(发生率 4%),脉络膜外渗(发生率 17%)^[22]。角膜水肿多发生于鼻下象限,可造成角膜基质瘢痕从而影响视力,可行 YAG 激光加速血肿吸收,伴发角膜后弹力层脱离多由黏弹剂导致^[23]。极少数患者术后 3~4wk 眼压仍高,可以考虑 YAG 激光治疗,如果 YAG 激光和药物治疗均失败,再合理考虑小梁网切除术。

另外对术者的培训是需要一个慢而陡峭的外科学习曲线,还需要特殊仪器,对操作技术,术前房角功能和 Schlemm 管的状态要求较高,比如后期并发缝线脱垂等,并且 10%~15% 患者不适用此手术。

Schlemm 管成形术与传统小梁网切除术比较,减少了术后并发症,术后无需抗代谢药物,并且无结膜下滤泡的形成,与滤过泡相关的并发症发生率极低,可快速恢复视力,术后 IOP 趋于稳定。

3 内引流手术

3.1 小梁网微分流支架 iStent 植入术 iStent (Glaukos Corp. US) 微支架是小梁网分流微支架,由肝素处理的钛金属材料制成,这一 L 型微支架长仅 1mm,也是目前最小的眼内植入装置。2012 年获得 FDA 批准,是目前全美最普遍的 MIGS 术式。手术时需要用黏弹剂维持前房深度,手术需要一个经颞侧 1mm 的角膜切口,将 iStent 一端植入 Schlemm 管内,连通前房和 Schlemm 管形成短路,使房水经此通道直接从前房进入 Schlemm 管,从而增加房水流出达到持续稳定降眼压的目的。

经巩膜的青光眼滤过手术,有潜在严重并发症,包括低眼压、脉络膜上腔出血、眼内炎的长期风险。相比之下,iStent 植入术能最大限度地减少这些风险的存在。此外,它可以保留完整的结膜,不影响之后的滤过手术。

Jay 等^[24]对 119 例 iStent 植入术的原发性开角型青光眼患者进行为期 18mo 的前瞻性研究,分别接受植入 1 枚支架($n=38$),2 枚支架($n=41$),3 枚支架($n=40$),术后随访至 18mo,三组眼压在没有应用抗青光眼药物作用下分别下降为 15.9 ± 0.9 , 14.1 ± 1.0 , 12.2 ± 1.1 mmHg。结果显示术后没有抗青光眼药物情况下,术中使用 iStent 支架数目越多,术后眼压下降越明显^[24]。

多篇临床报道表明,iStent 植入术应用于开角型青光眼合并白内障的患者来说,iStent 植入能有效控制眼压,这一作用至少可持续至术后 18mo,为避免更复杂的手术风险,同时免除了继续用降眼压药的麻烦,iStent 不失为一种有效的手术选择^[25]。

目前最常见的 iStent 植入术术后并发症是前房出血(0~70%),因炎症造成连接管支架错位或周边粘连使支架阻塞(4%~30%)影响房水排出,造成一过性眼压升高,但通常为自限性^[26]。

第二代 iStent 同样由 Glaukos 公司研发,第二代 iStent 经推注器植入,故亦被称为 iStent inject,由钛金属材料制成,其长度为 360 μ m,最大宽度为 230 μ m,与第一代相比降低了手术难度。Klamann 等^[27]回顾性研究了为期 6mo 对 35 例青光眼患者,其中 POAG($n=17$),PEX($n=15$)和 PG

($n=3$) 行 iStent inject, POAG 术后 6mo 平均眼压为 14.19 ± 1.38 mmHg (平均下降 33%), PEX 眼压平均下降 15.33 ± 1.07 mmHg (平均下降 35%), PG 眼压由术前 28.31 ± 3.21 mmHg 下降到 12.33 ± 4.93 mmHg。支架阻塞发生率仅为 1%~3%, 阻塞区域可以用 YAG 激光治疗。

3.2 内路小梁消融术 内路小梁消融术 (ab interno trabeculectomy) 由加州大学 George Baerveldt 成功研发出 Trabectome 小梁消融仪并申请专利, 该设备 2004 年获得 FDA 的批准, 并在全世界范围内取得广泛应用。欧美国家已把该术式作为治疗开角型青光眼的优选手术治疗方式。与其他青光眼手术相比: 该手术创伤小、恢复快、并发症少、无滤过泡形成、无球结膜或巩膜操作、无异物植入, 且与常规的滤过手术不冲突^[28-29]。该术式用于治疗开角型青光眼, 剥脱性青光眼, 色素性青光眼。

该术式用高频电凝头, 550kHz 双电极, 产生等离子体介导消融部分小梁网和 Schlemm 管内壁从而降低房水的外流阻力, 以达到降低眼压的目的。手术的简要流程如下: 患者头部与探头形成 30° 角, 以提供良好手术视野。于透明角膜缘做 1.6~1.8mm 切口, 通过牵拉切口降低 IOP, 使房水静脉回流到 Schlemm 管, 利用 Swan-Jacobs 房角镜观察小梁网位置, 手柄深入前房, 并紧贴轻压小梁网, 针头经小梁网褶皱处以 45° 角进入 Schlemm 管。该手术核心要点为正确选择消融位置, 高频消融并吸出部分小梁网组织和 Schlemm 管内壁, 顺时针或逆时针消融去除 90°~120° 左右, 保留相对完整的房水外流系统 (Schlemm 管外壁, 集液管和房水静脉), 使得房水直接流入集液管。可见因 Schlemm 管返流造成前房积血, 清除前房积血, 水密切口。该术式同时联合白内障手术, 手术顺序存在争议, 国外先进行小梁消融术以保证白内障术中视野的开阔及前房的稳定。我国先行白内障手术, 以保证较大房角, 方便进行小梁消融术。该手术同样可以联合玻璃体切除术^[28]。

Kaplowitz 等^[30] 分析了所有 PubMed 关于小梁消融术后眼压和用药情况的相关文献, 分析后得出术后 1a 单眼手术眼压下降 10.5 ± 1.9 mmHg, 用药种类减少 0.99 ± 0.54 种; 2a 后总平均成功率为 $46\% \pm 34\%$ 。在此基础上联合白内障的手术效果, 眼压平均降低 6.24 ± 1.98 mmHg, 减少了 0.76 ± 0.35 种药物。2a 内总平均成功率为 $85\% \pm 7\%$ 。平均而言, 术后接近目标眼压 15mmHg, 术后用药种类至少减少一种。为了研究并发症, Kaplowitz 等收集了来自多个美国眼科协会的所有摘要, 发现视觉威胁并发症发生率 <1%, 鲜有严重并发症报道。

Akagi 等^[31] 发现部分患者小梁消融术后短期眼压迅速降低是因短暂的睫状体脉络膜脱离 (CCD)。33 例受检者中, 术后 3d 内 CCD 的发生率为 42%, 发生 CCD 组患者眼压在术后 3mo 内明显低于未发生 CCD 组。但随着 CCD 的恢复, 眼压也会逐渐回升并达到稳定。

4 小结

MIGS 和传统滤过性手术相比, 更为简单高效, 减轻患者用药负担, 并发症相对减少而避免了复杂手术的风险, 成为青光眼手术未来发展方向。由于新技术在我国临床应用尚处于初级阶段, 未来还需要做大样本, 随机对照试验等进行临床探索, 探索每种手术成败的因素, 比较不同

手术方式的优缺点, 更好地服务青光眼患者。多数新型术式针对开角型青光眼患者, 未来期待出现新的术式适合闭角型青光眼患者。

参考文献

- 1 Glaucoma Week-11 to 17 March 2018. WORLD BLIND UNION; www.WorldBlind-union.org/
- 2 Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global Prevalence of Glaucoma and Projections of Glaucoma Burden through 2040 A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ophthalmology* 2014; 121(11):2081-2090
- 3 Budenz DL, Barton K, Ms WJF, et al. Treatment outcomes in the Ahmed Baerveldt Comparison Study after 1 year of follow-up. *Ophthalmology* 2011; 118(3):443-452
- 4 Gedde SJ, Herndon LW, Brandt JD, et al. Surgical complications in the Tube Versus Trabeculectomy Study during the first year of follow-up. *Am J Ophthalmol* 2007; 143(1):23-31
- 5 Gedde SJ, Schiffman JC, Feuer WJ, et al. Three-year follow-up of the Tube Versus Trabeculectomy Study. *Am J Ophthalmol* 2009; 148(5):670-684
- 6 Gedde SJ, Herndon LW, Brandt JD, et al. Postoperative complications in the Tube Versus Trabeculectomy (TVT) Study during five years of follow-up. *Am J Ophthalmol* 2012; 153(5):804-814
- 7 Saheb H, Ahmed II. Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol* 2012; 23(2):96-104
- 8 Kraus CL, Tychsen L, Lueder GT, et al. Comparison of the Effectiveness and Safety of Transscleral Cyclophotocoagulation and Endoscopic Cyclophotocoagulation in Pediatric Glaucoma. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2014; 51(2):120-127
- 9 左国进, 方家华. 青光眼手术技术的进展. 国际眼科杂志 2013; 13(8):1572-1574
- 10 Francis BA, Berke SJ, Dustin L, et al. Endoscopic cyclophotocoagulation combined with phacoemulsification versus phacoemulsification alone in medically controlled glaucoma. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40(8):1313-1321
- 11 Francis BA, Kawji AS, Vo NT, et al. Endoscopic Cyclophotocoagulation (ECP) in the Management of Uncontrolled Glaucoma With Prior Aqueous Tube Shunt. *J Glaucoma* 2010; 20(8):523-527
- 12 余敏斌, 黄圣松, 葛坚, 等. 眼内窥镜下激光睫状体光凝术治疗难治性青光眼的疗效评价. 中华眼科杂志 2006; 42(1):27-29
- 13 Florent A, Thomas C, Cyril L, et al. Miniaturized High-Intensity Focused Ultrasound Device in Patients with Glaucoma: A Clinical Pilot Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52(12):8747-8753
- 14 Denis P, Aptel F, Jean FR, et al. Cyclocoagulation of the Ciliary Bodies by High-Intensity Focused Ultrasound: A 12-Month Multicenter Study Glaucoma Treatment With HIFU. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015; 56(2):1089-1096
- 15 Giannaccare G, Vagge A, Sebastiani S, et al. Ultrasound Cyclo-Plasty in Patients with Glaucoma: 1-Year Results from a Multicentre Prospective Study. *Ophthalmic Res* 2018; 61(3):137-142
- 16 Dehjoardar N, Reddy KP. Application of high intensity focused ultrasound for treatment of open-angle glaucoma in Indian patients. *Indian J Ophthalmol* 2018; 66(4):517-523
- 17 朱玄生, 陶黎明, 蒋正轩, 等. Ex-press 青光眼引流器与小梁切除术治疗开角型青光眼的比较. 国际眼科杂志 2017; 17(5):917-920
- 18 Paolo B. Canaloplasty in Open-Angle Glaucoma Surgery: A Four-Year Follow-Up. *Scientific World Journal* 2014; 2014:469609

19 Tetz M, Koerber N, Shingleton BJ, *et al.* Phacoemulsification and Intraocular Lens Implantation Before, During, or After Canaloplasty in Eyes with Open-Angle Glaucoma; 3-Year Results. *J Glaucoma* 2015; 24(3):187-194

20 Lewis RA, Von WK, Tetz M, *et al.* Canaloplasty: Circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm canal using a flexible microcatheter for the treatment of open-angle glaucoma in adults Two-year interim clinical study results. *J Cataract Refract Surg* 2007;35(5):814-824

21 Grieshaber MC, Pienaar A, Jan O, *et al.* Clinical Evaluation of the Aqueous Outflow System in Primary Open - Angle Glaucoma for Canaloplasty. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(3):1498-1504

22 Ayyala RS, Chaudhry AL, Okogbaa CB, *et al.* Comparison of surgical outcomes between canaloplasty and trabeculectomy at 12 months' follow-up. *Ophthalmology* 2011;118(12):2427-2433

23 Jaramillo A, Foreman J, Ayyala RS. Descemet Membrane Detachment After Canaloplasty. *J Glaucoma* 2014;23(6):351-354

24 Jay Katz L, Erb C, Guillaumet AC, *et al.* Prospective, randomized study of one, two, or three trabecular bypass stents in open - angle glaucoma subjects on topical hypotensive medication. *Clin Ophthalmol* 2015;12(9):2313-2310

25 Malvankar-Mehta MS, Chen YN, Iordanous Y, *et al.* iStent as a Solo Procedure for Glaucoma Patients: A Systematic Review and Meta - Analysis. *PLoS One* 2015;10(5):e0128146

26 Yook E, Vinod K, Panarelli JF. Complications of micro - invasive glaucoma surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2018;29(2):147-154

27 Klamann MK, Gonnermann J, Pahlitzsch M, *et al.* iStent inject in phakic open angle glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015;253(6):941-947

28 Pahlitzsch M, Davids AM, Zorn M, *et al.* Three-year results of ab interno trabeculectomy (Trabectome); Berlin study group. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018;256(3):611-619

29 Toussaint B, Petersen M, Sisk RA, *et al.* Long - term results of combined ab interno trabeculectomy (trabectome) and small-gaugepars plana vitrectomy. *Retina* 2016;36(6):1076-1080

30 Kaplowitz K, Bussel II, Honkanen R, *et al.* Review and meta - analysis of ab-interno trabeculectomy outcomes. *Br J Ophthalmol* 2016; 100(5):594-600

31 Akagi T, Nakano E, Nakanishi H, *et al.* Transient Ciliochoroidal Detachment After Ab Interno Trabeculectomy for Open-Angle Glaucoma: A Prospective Anterior-Segment Optical Coherence Tomography Study. *JAMA Ophthalmol* 2016;134(3):304-311