

# 微创青光眼手术在儿童青光眼治疗中的应用现状和展望

周晓洁<sup>1,2</sup>, 吴仁毅<sup>1,2,3</sup>

引用:周晓洁,吴仁毅. 微创青光眼手术在儿童青光眼治疗中的应用现状和展望. 国际眼科杂志 2023;23(1):53-57

Hospital, Shanghai 200437, China. wubasel@hotmail.com

Received:2022-04-04 Accepted:2022-12-05

基金项目:国家自然科学基金项目(No.81170841);福建省自然科学基金项目(No.2011D001);福建省医学创新项目(No.2011-CXB-47);华夏转化医学青年基金项目(No.2017-A-00301)

作者单位:<sup>1</sup>(361001)中国福建省厦门市,厦门大学附属厦门眼科中心;<sup>2</sup>(361001)中国福建省厦门市,福建省眼表与角膜病重点实验室;<sup>3</sup>(200437)中国上海市,上海和平眼科医院

作者简介:周晓洁,厦门大学在读硕士研究生,住院医师,研究方向:青光眼。

通讯作者:吴仁毅,主任医师,教授,博士研究生导师,研究方向:青光眼、白内障。wubasel@hotmail.com

收稿日期:2022-04-04 修回日期:2022-12-05

## 摘要

儿童青光眼是一类难治性青光眼,微创青光眼手术(MIGS)为儿童青光眼提供了安全有效的治疗选择。多数已发表的研究倾向于支持应用全周内路小梁切开术,其治疗儿童青光眼的安全性和有效性与非MIGS的全周外路小梁切开术相似。关于KDB刀、小梁消融术和Xen凝胶支架的研究较为有限,但在某些特定的病例中可能有其各自的优势。每一种MIGS手术在考虑其优势之处的同时须特别权衡每种手术方法的长期效果。此外,还需要更多的前瞻性和比较性研究、更大的样本量和更长的随访时间来验证MIGS手术治疗儿童青光眼的安全性和有效性。

关键词:儿童;青光眼;手术;小梁切开术;微创青光眼手术;房水引流器

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.1.10

## Current situation and prospect of minimally invasive glaucoma surgery in childhood glaucoma

Xiao-Jie Zhou<sup>1,2</sup>, Ren-Yi Wu<sup>1,2,3</sup>

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (No.81170841); the Natural Science Foundation of Fujian Province (No.2011D001); the Medical Innovation Program of Fujian Province (No.2011-CXB-47); the Huaxia Translational Medicine Youth Foundation (No.2017-A-00301)

<sup>1</sup>Xiamen Eye Center of Xiamen University, Xiamen 361001, Fujian Province, China; <sup>2</sup>Fujian Provincial Key Laboratory of Corneal and Ocular Surface Diseases, Xiamen 361001, Fujian Province, China;

<sup>3</sup>Shanghai Heping Eye Hospital, Shanghai 200437, China

Correspondence to: Ren-Yi Wu. Xiamen Eye Center of Xiamen University, Xiamen 361001, Fujian Province, China; Fujian Provincial Key Laboratory of Corneal and Ocular Surface Diseases, Xiamen 361001, Fujian Province, China; Shanghai Heping Eye

## Abstract

• Childhood glaucoma is a kind of refractory glaucoma. Minimally invasive glaucoma surgery (MIGS) provides a safe and effective treatment option for childhood glaucoma. Most of the published studies tend to be with circumferential ab interno trabeculotomy, showing that its safety and effectiveness in the treatment of childhood glaucoma are comparable to non-MIGS circumferential ab externo trabeculotomy. Studies on KDB, trabectome and Xen-gel stent are relatively limited, but they may have advantages in some specific cases. While considering the advantages of each MIGS operation, it is also necessary to weigh the long-term effect of each operation method. In addition, more prospective and comparative researches, larger sample size and longer follow-up time are needed to verify the safety and effectiveness of MIGS in the treatment of childhood glaucoma.

• KEYWORDS: childhood; glaucoma; surgery; trabeculotomy; minimally invasive glaucoma surgery; glaucoma drainage device

Citation: Zhou XQ, Wu RY. Current situation and prospect of minimally invasive glaucoma surgery in childhood glaucoma. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2023;23(1):53-57

## 0 引言

儿童青光眼是一组异质性疾病,其临床特征是高眼压(intraocular pressure, IOP)对眼部结构造成损害,且发病年龄小于18岁。儿童青光眼的诊断标准强调眼压升高对眼球结构的影响,如视盘凹陷、角膜Haab纹、眼球增大和进行性发展的近视<sup>[1]</sup>。目前的国际儿童青光眼分类系统(源自儿童青光眼研究网络和2013年世界青光眼协会共识)将儿童青光眼分为原发性青光眼和继发性青光眼。原发性青光眼包括原发性先天性青光眼(primary congenital glaucoma, PCG)和青少年开角型青光眼(juvenile open angle glaucoma, JOAG),继发性青光眼则进一步分类为合并非获得性眼部异常、合并非获得性全身性疾病或综合征、青光眼合并获得性疾病,以及白内障术后继发性青光眼(glaucoma following cataract surgery, GFCS)<sup>[1]</sup>。全球范围内各个国家和地区及各种类型的儿童青光眼发病率不尽相同。在美国,每10万年龄小于20岁的常住人口中有儿童青光眼患儿2.29人,其中继发性青光眼(1.46/10万)多于PCG(0.38/10万)和原发性青光眼合并先天异常者(0.45/10万)<sup>[2]</sup>。在英国,每10万出生婴儿中有PCG患儿5.41人。继发性儿童青光眼发病原

因中,晶状体因素占31%,母斑病占23%,葡萄膜炎占19%,眼前节发育异常占10%<sup>[3]</sup>。在致盲性儿童眼病中,儿童青光眼平均占比约为5%,在英国占比为1.2%,在印度南部可高达7%<sup>[4-5]</sup>。虽然儿童青光眼较为少见,但因为儿童疾病的特殊性,儿童期青光眼的治疗面临许多挑战,包括疾病异质性、诊断和随访困难<sup>[1,6]</sup>,以及患儿一生中可能需要多次手术的漫长病程,所以很多患儿难以发育和维持良好的视力和视功能。

儿童青光眼的治疗中,药物治疗仅起辅助作用,主要用于PCG围手术期暂时性控制眼压,或用于因全身性疾病不允许手术的患儿,以及作为继发性儿童青光眼的一线治疗<sup>[7]</sup>。儿童青光眼的治疗措施主要依靠手术,经典的手术方式包括房角切开术、小梁切开术、小梁切除术、青光眼引流装置(glaucoma drainage device, GDD)植入术、睫状体破坏术和深层巩膜切除术<sup>[8-9]</sup>等。随着微创青光眼手术(minimally invasive glaucoma surgery, MIGS)在成人青光眼治疗中的逐渐开展和应用,研究表明MIGS手术在部分儿童青光眼的治疗中发挥了较好的作用<sup>[9]</sup>。MIGS手术种类繁多,因其微创的手术特点,大部分手术不伤及结膜或不依赖结膜滤过泡,与传统的抗青光眼手术尤其是滤过性手术相比具有良好的安全性,术后迅速恢复,且能够实现稳定可靠的眼压下降,但眼压下降幅度可能比传统的滤过手术稍低。MIGS手术为临床医生提供了更广泛的治疗选择,实现以患者为中心的医疗决策<sup>[10]</sup>。本文就近年来国内外开展的MIGS手术治疗儿童青光眼作一综述,主要包括房角镜辅助的内路小梁切开术(gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy, GATT)、Trab360/OMNI手术系统、Kahook双刃刀(KDB刀)、小梁消融术(trabectome)及Xen凝胶支架植入术等。

### 1 全周内路小梁切开术(GATT和Trab360/OMNI手术系统)

目前较多研究显示GATT在PCG和JOAG的治疗中取得了令人鼓舞的结果。GATT是一种全周小梁切开的内路手术技术,其利用一个发光的微导管或缝线,通过前房内的小梁网切口插入Schlemm管,将小梁网和Schlemm管切开<sup>[11]</sup>。Shi等<sup>[12]</sup>回顾性连续病例系列研究报道,PCG患者89例115眼分别接受微导管辅助的GATT(GATT组,58眼)或外路微导管辅助的小梁切开手术(microcatheter-assisted trabeculotomy, MAT)(MAT组,57眼),术后12mo,GATT组81%的患者和MAT组73%的患者达到了手术完全成功标准(未用药的情况下眼压 $\leq 21$ mmHg或比术前眼压下降至少30%),两组患者眼压下降幅度均约为54%。MAT组有更多的双眼患病、女性和 $<180^\circ$ 小管切开患者,该组患者手术成功率相对较低可能是因为具有更严重的上述青光眼表现型。术后1wk内,GATT组和MAT组各有2眼前房出血需进行前房冲洗治疗。与MAT组相比,更多的GATT组患者术后短期内有眼压升高的情况,分析认为是由于GATT组黏弹性物质残留和/或MAT组巩膜切口轻度渗漏所致。上述研究是目前为止国内外唯一一项病例较多的比较GATT和外路MAT手术的研究。Grover等<sup>[13]</sup>进行的回顾性病例系列研究将GATT作为PCG和JOAG患者10例14眼的初始手术治疗,发现在减少了平均抗青光眼药物使用的同时,平均随访20mo后纳入患者平均眼压从27.3mmHg降至14.8mmHg。除前房积血外,无其他术中或术后并发症,且

前房积血的5眼在术后1mo全部治愈。该研究包括儿童PCG患者2例3眼,随访期间(12~21mo)在青光眼药物辅助治疗下均获得了良好的眼压控制。此外,另有研究将GATT作为婴儿(2例2眼)的首次手术及1例有多次双眼房角切开手术史的2岁儿童的双眼手术方案<sup>[14]</sup>,随访30~48mo,所有患儿在未用药情况下均达到眼压 $<20$ mmHg,疾病没有进展的迹象。GATT还被报道用于治疗1例8岁男性右眼类固醇激素诱发的青光眼患者,随访2a,在未用抗青光眼药物的情况下眼压得到良好控制<sup>[15]</sup>。此外,一项病例系列研究报道了JOAG患者48例59眼行GATT的治疗效果,纳入患者中包括部分病情严重且曾接受过手术的患者,结果显示,纳入患者术前应用平均3.7种药物降至术后12mo应用平均0.7种药物,平均眼压从26.5mmHg下降至14.7mmHg;术后18mo应用平均0.4种药物,平均眼压为14.1mmHg。术后12、18mo时治疗完全成功率分别为70.8%、58.6%。在术后眼压、青光眼药物使用数量和成功率方面,既往行青光眼手术和未行青光眼手术的患眼无显著差异<sup>[16]</sup>。

Trab360设备是一种手持式设备,术中将尼龙丝插入Schlemm管并撕开 $180^\circ$ 的小梁网,然后相反方向重复操作,就可以完成 $360^\circ$ 的小梁切开术。联合使用OMNI手术系统的手术更容易成功,此设备能让手术医生在小梁切开前先行黏弹剂小管成形(viscocanaloplasty)。一项多中心回顾性病例系列研究评估了Trab360治疗儿童青光眼患者41例46眼的情况,结果显示该手术与标准的房角手术方法具有相似的成功率<sup>[17]</sup>。在平均16mo的随访中,64%的患眼、70%既往从未接受过治疗的患眼和81%的PCG患眼获得了手术成功,但对于非获得性全身综合征和非获得性眼部异常相关的继发性青光眼的成功率则很低。此外,该手术方式存在术中睫状体脱离的风险,有2眼继发性青光眼患者发生睫状体脱离并伴有周边虹膜前黏连,需要进行后续治疗;前房积血的发生率也较高,但术后1mo无需手术治疗均可自愈。另有研究报道1例4月龄患有Sturge-Weber综合征的青光眼患者使用OMNI手术系统治疗后,在随后10mo的随访中其眼球增大控制良好,角膜水肿消退<sup>[18]</sup>。

上述研究报道了GATT和Trab360治疗儿童青光眼的降压效果和安全性,总体而言与非MIGS的外路全周小梁切开术相当<sup>[10-18]</sup>。GATT和Trab360手术在很多病例中具有优势,因为这两种手术无需切开结膜,对于眼球明显增大的患眼也无需切开巩膜。此外,这些MIGS手术技术只需要进入小梁网的一个小切口进行后续操作,对透明角膜窗口的要求更低,因此它们可能比传统的房角切开术适应证更广,也更容易完成手术操作。然而,与外路手术相比,在低龄患者、手术解剖标志不清、前房角解剖结构改变、角膜混浊、巩膜硬度较低、前房浅和/或易发生前房塌陷的患眼中进行手术的难度相对会更高<sup>[19]</sup>。

### 2 部分内路小梁切开术(KDB刀和小梁消融术)

关于KDB刀在儿童青光眼中应用的研究很少,且多数研究存在病例数少、治疗设定复杂多样和随访时间短的缺陷。KDB刀前端为一个尖头,向后延伸为一个斜面,斜面两边分别连接两个切割刀刃,其通过内路的方法切除一条小梁网而降低房水外流的阻力<sup>[20]</sup>。这与传统的房角切开术不同,传统的房角切开术是在小梁网上作一个切口,然后使用25号针头、房角切开刀或显微玻璃体视网膜膜刀

进行小梁网和 Schlemm 管的切开<sup>[21]</sup>。关于 KDB 刀作为 PCG 的初始手术的相关研究较少,治疗效果也有差异。研究显示,KDB 刀切除 1 眼 PCG 患眼 4 个钟点的小梁网后,术后 4mo 眼压下降令人满意(从 36mmHg 降至 14mmHg)。1 例婴儿双眼接受了 4 个钟点的 KDB 刀小梁网切除,但由于眼压控制不佳,在术后第 6mo 进行了双眼房角切开术<sup>[22]</sup>。研究报道 1 例接受双眼 KDB 手术的 13 月龄男性 PCG 患儿,在单次 4 个钟点小梁网切除后其左眼在 7wk 的随访中达到了满意的眼压下降结果(从 43mmHg 降至 21mmHg),但患儿右眼对 KDB 手术反应不佳,在 6wk 内先后进行了 3 次 KDB 手术,最终还是进行了 GDD 植入术<sup>[23]</sup>。另有一些关于 KDB 刀用于其他类型的儿童青光眼的个案报道。1 例患有 GFCS 的婴儿双眼接受了 KDB 治疗,切除约 100°范围的小梁网,在术后 7~10wk 的短期随访中,眼压得到了良好的控制(从 52mmHg 降至 18mmHg),而无明显手术并发症<sup>[24]</sup>。1 例 14 岁 JOAG 患者初次手术中,术者用 KDB 刀切除了约 200°的鼻侧和颞侧小梁网,在 18mo 的随访中眼压从 28mmHg 降至 15mmHg,且一直无需使用抗青光眼药物<sup>[25]</sup>。

Trabectome 是一种手持设备,在手柄的头端有一个电消融装置,在房角镜下通过内路选择性消融小梁网和 Schlemm 管内壁。一项前瞻性队列研究评估了小梁消融术在儿童青光眼中应用的疗效和安全性<sup>[26]</sup>,该研究纳入年龄 12~40 岁的 JOAG 患者 60 例 60 眼,均接受 60°~120°的小梁消融术治疗,术后 12mo 时平均眼压下降了 10mmHg,而青光眼药物用量减少并不显著,15% 的患者需要进一步接受青光眼手术(小梁切除术或 GDD 植入术)。该研究认为小梁消融术可被视为 JOAG 的一种替代治疗方法,但不会显著减少青光眼药物的使用。上述研究存在随访期较短(12mo)和完成随访率(41 眼退出)低的缺陷。另一项研究评估了 JOAG 患者 8 例 11 眼的小梁消融术疗效,患者平均年龄 26.8 岁,术前平均眼压 30.5mmHg,术中消融 90°~120°范围的小梁网。术后 12mo 时平均眼压 18.1mmHg,平均青光眼药物积分(1 种药物为 1 分)由 5.2 降为 4.8。术后 72mo 仅有 4 眼纳入统计分析,平均眼压 16.8mmHg。术后最常见的并发症为前房积血(54.5%)和一过性高眼压(27.3%),但均在 1mo 内得以控制。另有 5 眼(45.4%)因为眼压控制不佳接受了其他抗青光眼手术<sup>[27]</sup>。

相对于传统的小梁切除术,KDB 刀和小梁消融术的优势在于这些 MIGS 手术可以更加精准地去除小梁网组织,而不会对邻近组织造成损害<sup>[22]</sup>。但术后前房角镜检查发现 KDB 和小梁消融术也只能造成局部的小梁网裂口<sup>[25]</sup>。目前关于 KDB 刀和小梁消融术在儿童青光眼中的应用的研究非常有限,研究结果并未显示其在降低眼压方面比传统的房角手术更好。越来越多的证据表明,对于儿童青光眼,全周房角切开治疗可能比外路部分切开治疗更有效<sup>[28-29]</sup>,因此 KDB 刀和小梁消融术等部分内路小梁/房角切开手术在眼压控制方面与完整房角切开相比可能并无优势。

### 3 Xen 凝胶支架植入术

Xen 凝胶支架是一种 6mm 的明胶管,可以通过内路或外路的方式经角巩膜缘植入前房,将房水从前房分流至结膜滤过泡下,术中结膜下注射或不注射丝裂霉素 C (MMC)。一项病例系列研究评估了难治性儿童青光眼患

者 3 例 3 眼接受 Xen 凝胶支架植入术治疗的短期安全性和有效性,其中 1 例 21 月龄 GFCS 患者在外路小梁切开术失败 14mo 后右眼接受了内路 Xen 凝胶支架植入联合应用 MMC 和瞳孔膜去除手术,在此后 2a 的随访中,滤过泡维持弥漫性,眼压控制良好;1 例难治性 PCG 儿童接受了 Xen 凝胶支架植入术联合应用 MMC,术后 5wk 眼压下降不理想,随后紧邻第一个支架通过外路植入第二个 Xen 凝胶支架,在 6mo 的随访中获得了良好的眼压控制,分析发现第一个 Xen 凝胶支架的远端位于结膜 Tenon 囊内,而不是位于预期的结膜下,这可能是其手术失败的原因;1 例患有严重继发性闭角型青光眼的 10 岁女性患者接受了 Xen 凝胶支架植入术联合超声乳化术、人工晶状体植入术和周边虹膜切除术,在此后 2a 的随访中成功地将眼压降低到了 13~14mmHg<sup>[30]</sup>。上述病例的滤过泡均不需要做针刺分离。此外,Sousa 等<sup>[31]</sup>报告了 1 例 14 岁患有类固醇激素继发青光眼的患者,双眼先后行内路 Xen 凝胶支架植入术,在术后 6mo 的随访中,无需应用抗青光眼药物的情况下双眼眼压均控制在 14~16mmHg。Ruparelia 等<sup>[32]</sup>报道了 1 例 10 岁无晶状体眼青光眼患儿,在多次手术失败后先后植入 2 个 Xen 凝胶支架,术后 6mo 眼压为 8mmHg。

上述研究显示,Xen 凝胶支架植入术可作为儿童青光眼治疗的可行替代方案。相对于滤过手术,Xen 凝胶支架植入手术简单、组织损伤小,并可多次植入。在支架植入同时结膜下注射 MMC 有利于维持滤过泡的形态和功能,但在儿童身上使用抗代谢药物也存在引发滤过泡相关并发症的风险<sup>[33]</sup>。Xen 凝胶支架远端在结膜下空间的最终位置似乎对手术的成功至关重要。与成人相比,由于儿童的 Tenon 囊更厚,外路植入可能是确保结膜下正确放置支架的首选方法。然而,这种情况下仍然需要做一定程度的结膜切开和分离而带来手术创伤,尽管范围不像传统的小梁切除术或 GDD 植入术那样广泛。此外,也有报道称成人 Xen 凝胶支架植入术后数月至数年内可能发生支架降解、腔内阻塞和支架移位<sup>[34-35]</sup>等并发症,在考虑使用该支架治疗儿童青光眼时也需要考虑这些潜在的长期并发症的可能。

PreserFlo MicroShunt 是一种外路经角巩膜缘植入前房的支架,由与冠状动脉支架相同的材料制成。与 Xen 凝胶支架一样,PreserFlo MicroShunt 也可以将房水引流到结膜滤过泡下,但这种材料不太容易降解<sup>[36]</sup>。研究表明,PreserFlo MicroShunt 在原发性开角型青光眼的治疗中其疗效和安全性均与 Xen 凝胶支架相当<sup>[37]</sup>,也有望在将来作为 MIGS 手术治疗方式应用于儿童青光眼。

### 4 其他 MIGS 手术

有学者认为内窥镜下睫状体光凝术(ECP)也是一种 MIGS 手术<sup>[38]</sup>。这种内路睫状体破坏手术利用 19G 或 20G 的显微内窥镜在直视下将激光能量作用于 ≤360°的睫状体,减少房水的产生而降低眼压。ECP 可以在前房或房角结构显示不清、GDD 植入空间不足的复杂情况下发挥较好的治疗作用。有研究认为无晶状体眼或人工晶状体眼植入 GDD 后,如果需要额外的眼压下降时,可应用 ECP 进行治疗<sup>[39]</sup>。Glaser 等<sup>[40]</sup>进行的一项长达 17a 的单中心回顾性病例研究报道了 107 例儿童青光眼患者接受 ECP 手术治疗的效果,其中 60% 的患者为 GFCS,91% 的患者为无晶状体眼或人工晶状体眼,84% 的患者曾行其他手

术治疗,术后第1、3、5a的成功率分别为64%(95% CI 54~76)、36%(95% CI 26~50)、16%(95% CI 7~37),相关性分析显示术前眼压<32mmHg与手术成功率高显著相关。ECP可能会导致一些严重的并发症,如视网膜脱离、视力丧失和顽固性低眼压(尤其后续又进行了滤过手术者)<sup>[41]</sup>。尽管这项技术具有微创的性质,但手术医生对高危眼仍应小心谨慎。

目前尚无关于儿童青光眼应用iStent小梁网显微旁路支架或Hydrus Microstent等进行治疗的报道。一般不建议儿童使用这些方法进行治疗,因为在患有轻中度青光眼的成年人中,采用这些措施治疗后眼压下降不甚理想<sup>[42]</sup>,且在儿童的一生中,可能会面对长期眼内植入金属装置的潜在风险。CyPass Microstent是一种植入前房和睫状体上间隙之间的聚酰亚胺引流器,由于该引流器会导致角膜内皮细胞丢失增加,于2018年退出市场<sup>[43]</sup>。其他针对增加脉络膜上流出的引流器也似乎有希望用于儿童青光眼的治疗,但其长期疗效和安全性尚待进一步确定<sup>[43]</sup>。

## 5 小结与展望

现有的关于儿童青光眼MIGS的数据仅来源于少数病例系列、队列研究和病例报告。多数已发表的研究倾向于应用全周内路小梁切开术(GATT和Trab360),其治疗儿童青光眼的安全性和有效性与非MIGS的全周外路小梁切开术相似。关于KDB刀、小梁消融术和Xen凝胶支架的数据更为有限,但在某些特定的病例中可能有作用,并具有相应的优势。未来的研究可能会支持在某些儿童青光眼病例中使用新的MIGS,如PreserFlo和/或类似CyPass的装置。但每一种MIGS手术在考虑其优势之处(如不损伤结膜和降低术后并发症风险等)的同时,还须特别权衡每种手术方法的长期效果和安全性。此外,还应比较MIGS与传统手术技术的学习曲线时长、设备可用性和相对成本等。MIGS手术增加了治疗这类极具挑战性疾病的可用工具,然而还需要更多的前瞻性和比较性研究、更大的样本量和更长的随访时间来验证其安全性和有效性。

## 参考文献

- 1 Beck AD, Chang TCP, Freedman SF. Definition, classification, differential diagnosis. The 9th Consensus Report of the World Glaucoma Association. Amsterdam: Kugler Publications 2013; 3-10
- 2 Aponte EP, Diehl N, Mohney BC. Incidence and clinical characteristics of childhood glaucoma: a population-based study. *Arch Ophthalmol* 2010; 128(4): 478-482
- 3 Papadopoulos M, Cable N, Rahi J, et al. The British infantile and childhood glaucoma (BIG) eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007; 48(9): 4100-4106
- 4 Stügel JV, Hoffmann EM. Childhood glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd* 2022; 239(7): 929-943
- 5 Fung DS, Roensch MA, Kooner KS, et al. Epidemiology and characteristics of childhood glaucoma: results from the Dallas Glaucoma Registry. *Clin Ophthalmol* 2013; 7: 1739-1746
- 6 Thau A, Lloyd M, Freedman S, et al. New classification system for pediatric glaucoma: implications for clinical care and a research registry. *Curr Opin Ophthalmol* 2018; 29(5): 385-394
- 7 Chen HY, Lehmann OJ, Swaroop A. Genetics and therapy for pediatric eye diseases. *EBioMedicine* 2021; 67: 103360
- 8 Giangiacomo A, Beck A. Pediatric glaucoma: review of recent literature. *Curr Opin Ophthalmol* 2017; 28(2): 199-203
- 9 Mocan MC, Mehta AA, Aref AA. Update in genetics and surgical

- management of primary congenital glaucoma. *Turk J Ophthalmol* 2019; 49(6): 347-355
- 10 Gillmann K, Mansouri K. Minimally invasive glaucoma surgery: where is the evidence? *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2020; 9(3): 203-214
- 11 Grover DS, Godfrey DG, Smith O, et al. Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy, ab interno trabeculotomy: technique report and preliminary results. *Ophthalmology* 2014; 121(4): 855-861
- 12 Shi Y, Wang H, Oatts J, et al. Ab interno vs ab externo microcatheter-assisted trabeculotomy for primary congenital glaucoma with clear cornea. *Clin Exp Ophthalmol* 2020; 48(9): 1201-1209
- 13 Grover DS, Smith O, Fellman RL, et al. Gonioscopy assisted transluminal trabeculotomy: an ab interno circumferential trabeculotomy for the treatment of primary congenital glaucoma and juvenile open angle glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2015; 99(8): 1092-1096
- 14 Lehmann-Clarke L, et al. Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy using an illuminated catheter for infantile primary congenital glaucoma. Case series. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2020; 19: 100733
- 15 Hopen ML, Gallardo MJ, Grover D. Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy in a pediatric patient with steroid-induced glaucoma. *J Glaucoma* 2019; 28(10): e156-e158
- 16 Wang YW, Wang HZ, Han Y, et al. Outcomes of gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy in juvenile-onset primary open-angle glaucoma. *Eye* 2021; 35(10): 2848-2854
- 17 Areaux RG, Jr, Grajewski AL, Balasubramaniam S, et al. Trabeculotomy ab interno with the Trab360 device for childhood glaucomas. *Am J Ophthalmol* 2020; 209: 178-186
- 18 Porsia L, Nicoletti M. Combined viscodilation of Schlemm's canal and collector channels and 360° ab-interno trabeculotomy for congenital glaucoma associated with Sturge-Weber syndrome. *Int Med Case Rep J* 2020; 13: 217-220
- 19 Go MS, Freedman SF. Minimally invasive glaucoma surgery in childhood glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol* 2022; 33(2): 91-96
- 20 Barry M, Alahmadi MW, Alahmadi M, et al. The safety of the Kahook Dual Blade in the surgical treatment of glaucoma. *Cureus* 2020; 12(1): e6682
- 21 Girkin CA, Rhodes L, McGwin G, et al. Goniotomy versus circumferential trabeculotomy with an illuminated microcatheter in congenital glaucoma. *J AAPOS* 2012; 16(5): 424-427
- 22 Ibrahim LF, Silva SAR, Prata TS, et al. Short-term results of ab-interno trabeculotomy using Kahook Dual Blade in patients with primary congenital glaucoma. *Arq Bras Oftalmol* 2021; 84(4): 380-382
- 23 Harvey MM, Schmitz JW. Use of ab interno Kahook Dual Blade trabeculotomy for treatment of primary congenital glaucoma. *Eur J Ophthalmol* 2020; 30(1): NP16-NP20
- 24 Khouri AS, Wong SH. Ab interno trabeculotomy with a dual blade: surgical technique for childhood glaucoma. *J Glaucoma* 2017; 26(8): 749-751
- 25 Khouri AS, Zhu Y, Sadek H. Ab interno trabeculotomy with the dual blade in juvenile open-angle glaucoma. *Eur J Ophthalmol* 2021; 31(2): NP43-NP45
- 26 Arora S, Maeda M, Francis B, et al. Efficacy and safety of ab interno trabeculotomy in juvenile open-angle glaucoma. *Can J Ophthalmol* 2018; 53(5): 482-486
- 27 Kono Y, Kasahara M, Hirasawa K, et al. Long-term clinical results of trabectome surgery in patients with open-angle glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2020; 258(11): 2467-2476
- 28 Ling L, Ji KB, Li P, et al. Microcatheter-assisted circumferential trabeculotomy versus conventional trabeculotomy for the treatment of childhood glaucoma: a Meta-analysis. *Biomed Res Int* 2020; 2020: 3716859
- 29 El Sayed YM, Cawdat GI. Microcatheter-assisted trabeculotomy

versus 2-site trabeculotomy with the rigid probe trabeculotome in primary congenital glaucoma. *J Glaucoma* 2018; 27(4): 371-376

30 Smith OU, Grover DS, Emanuel ME, et al. XEN gel stent in pediatric glaucoma. *J Glaucoma* 2020; 29(4): e19-e22

31 Sousa DC, Leal I, Abegão Pinto L. Steroid-induced protracted severe ocular hypertension in a 14-year-old girl. *BMJ Case Rep* 2018; 2018; ber2018225244

32 Ruparelia S, Berco E, Lichtinger A, et al. Multiple XEN gel stents for refractory pediatric glaucoma. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2022; 59(1): e11-e14

33 Sidoti PA, Belmonte SJ, Liebmann JM, et al. Trabeculectomy with mitomycin-C in the treatment of pediatric glaucomas. *Ophthalmology* 2000; 107(3): 422-429

34 Gillmann K, Mansouri K, Bravetti GE, et al. Chronic intraocular inflammation as a risk factor for XEN gel stent occlusion; a case of microscopic examination of a fibrin-obstructed XEN stent. *J Glaucoma* 2018; 27(8): 739-741

35 Widder RA, Kühnrich P, Hild M, et al. Intraocular degradation of XEN45 gel stent 3 years after its implantation. *J Glaucoma* 2019; 28(12): e171-e173

36 Battle JF, Corona A, Albuquerque R. Long-term results of the PRESERFLO MicroShunt in patients with primary open-angle glaucoma

from a single-center nonrandomized study. *J Glaucoma* 2021; 30(3): 281-286

37 Scheres LMJ, Kujovic-Aleksov S, Ramdas WD, et al. XEN® Gel Stent compared to PRESERFLO™ MicroShunt implantation for primary open-angle glaucoma; two-year results. *Acta Ophthalmol* 2021; 99(3): e433-e440

38 Richter GM, Coleman AL. Minimally invasive glaucoma surgery: current status and future prospects. *Clin Ophthalmol* 2016; 10: 189-206

39 Neely DE, Plager DA. Endocyclophotocoagulation for management of difficult pediatric glaucomas. *J AAPOS* 2001; 5(4): 221-229

40 Glaser TS, Mulvihill MS, Freedman SF. Endoscopic cyclophotocoagulation (ECP) for childhood glaucoma; a large single-center cohort experience. *J AAPOS* 2019; 23(2): 84.e1-e7

41 Anand N, Klug E, Nirappal A, et al. A review of cyclodestructive procedures for the treatment of glaucoma. *Semin Ophthalmol* 2020; 35(5-6): 261-275

42 Ahmed IIK, Fea A, Au L, et al. A prospective randomized trial comparing Hydrus and iStent microinvasive glaucoma surgery implants for standalone treatment of open-angle glaucoma; The COMPARE Study. *Ophthalmology* 2020; 127(1): 52-61

43 Garcia-Feijoo J. CyPass stent withdrawal; the end of suprachoroidal MIGS? *Arch Soc Esp Oftalmol (Engl Ed)* 2019; 94(1): 1-3