

超声睫状体成形术治疗青光眼的临床应用新进展

苗 壮,徐正东,杨 月

引用:苗壮,徐正东,杨月. 超声睫状体成形术治疗青光眼的临床应用新进展. 国际眼科杂志 2022;22(6):960-963

基金项目:2021年爱尔眼科四川省区青年科研基金项目(No. 202101)

作者单位:(610056)中国四川省成都市,成都东区爱尔眼科医院
作者简介:苗壮,毕业于成都中医药大学,硕士研究生,主治医师,研究方向:青光眼、白内障。

通讯作者:苗壮. 459082193@qq.com

收稿日期:2021-07-29 修回日期:2022-04-25

摘要

超声睫状体成形术(UCP)是在高强度聚焦超声(HIFU)的基础上逐渐发展起来的非侵入性的新型青光眼治疗技术。现有研究表明其具有良好的降眼压效果,适用于治疗各种类型青光眼,且可进行重复治疗,手术并发症发生率低,在青光眼治疗中展现出广泛的应用前景。本文收集近年来超声睫状体成形术治疗青光眼的相关文献,重点从UCP的发展、设备组成及操作、作用机制、适应证、有效性及安全性等方面对文献进行归纳综述,从而为青光眼的临床治疗及研究提供相关依据。

关键词:超声睫状体成形术;高强度超声聚焦;青光眼

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.6.15

New progress in the clinical application of ultrasound cycloplasty in the treatment of glaucoma

Zhuang Miao, Zheng-Dong Xu, Yue Yang

Foundation item: Youth Research Fund Project of Aier Eye Hospital in Sichuan Province (No.202101)

Aier Eye Hospital (East of Chengdu), Chengdu 610056, Sichuan Province, China

Correspondence to: Zhuang Miao. Aier Eye Hospital (East of Chengdu), Chengdu 610056, Sichuan Province, China. 459082193@qq.com

Received: 2021-07-29 Accepted: 2022-04-25

Abstract

• Ultrasound cycloplasty (UCP) procedure using high intensity focused ultrasound (HIFU) is a new non-invasive glaucoma treatment based on miniaturized transducers. In recent years, the safety and efficacy of UCP on various types of glaucoma have been well verified, and it has shown broad application prospects in the treatment of glaucoma. This article collects and reviews the relevant literature on glaucoma treatment by UCP, and summarizes the information on the

development of equipment, composition and operation, treatment mechanisms, indications, efficacy and safety, with the purpose to provide relevant basis for clinical applications and future research.

• KEYWORDS: ultrasound cycloplasty; high intensity ultrasound focusing; glaucoma

Citation: Miao Z, Xu ZD, Yang Y. New progress in the clinical application of ultrasound cycloplasty in the treatment of glaucoma. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(6):960-963

0 引言

青光眼是一组与眼压升高有关的以视网膜神经纤维萎缩、视盘凹陷和视野缺损为主要特征的眼病,是全球首位不可逆性致盲眼病。根据世界青光眼协会(WGA)调查显示,预计2040年全球青光眼患者将达到1亿1100万人^[1]。《中国青光眼指南(2020年)》指出中国青光眼患者约占全球总量的1/4,是世界范围内青光眼相关视觉损伤最为严重的国家^[2]。而青光眼的治疗主要有药物、激光和手术治疗。药物和激光治疗安全有效但有一定的局限性,手术治疗可以进一步突破药物和激光的局限性,但临床尚有很多并发症。超声睫状体成形术(ultrasound cycloplasty,UCP)作为一种非侵入性的手术方式在近年来进入眼科专家的视野,因其相关设备2017年才在我国获得上市许可,目前国内相关研究报道相对较少。本文旨在归纳分析近年来国内外相关研究文献,探讨高强度聚焦超声睫状体成形术治疗青光眼的有效性及其安全性,为该技术在青光眼的治疗方面提供临床参考。

1 UCP的由来

UCP源自高强度聚焦超声(high-intensity focused ultrasound,HIFU)的应用。HIFU可以使治疗区域内的组织发生凝固性坏死,同时对处于聚焦治疗区域外的组织不产生或只产生很小的影响,且超声对非透明组织具有一定的穿透能力。它是一种将超声能量聚焦于体内靶区的非侵入性的选择性组织技术^[3]。

1952年HIFU作用于离体小牛眼晶状体,诱发白内障,是HIFU与眼科相关的最早记录^[4],由此提出HIFU可以选择性破坏眼内特定组织的说法。基于该记录,眼科领域进行了相关动物实验研究,逐步发现HIFU可导致局限性的睫状体破坏^[5],其眼压下降程度与超声治疗的剂量具有一定的相关性^[6],后续技术逐渐改良^[7-8],HIFU在眼科应用时对眼部组织损伤范围进一步局限可控,且眼压控制明显,术后并发症发生率降低^[9-10]。第1台HIFU治疗设备Sonocare CST-100(Sonocare公司,美国)于1988年获得美国食品和药物管理局的上市批准^[11],后因设备笨重且操作复杂,逐步被市场淘汰。而超声青光眼治疗仪(EyeOP1)是在第一代基础上进行改良^[12],由法国EYE TECH CARE公司2008年进行研制,2011年在欧洲临床应

用,2017年在中国获得上市许可,用于青光眼的降眼压治疗。其无切口、可量化、精准聚焦的优势,成为近年来青光眼治疗研究的热点。

2 UCP 的组成及操作

UCP 设备由控制台和 EYEEOP PACK 一次性耗材(包含治疗探头和定位环)组成,探头包含 6 个柱状传导器,可产生 6 个超声波波束,作用于不同的聚焦区。术前通过 UBM、AS-OCT、IOL Master 等对“白到白”及眼轴长进行测量,测量结果通过电脑软件分析,选择对应的探头型号(11mm/12mm/13mm)。术前设定所有参数:包括频率、能量、激活的传感器数目等^[13]。患者仰卧位,在外科无菌操作下,采用球周或球后麻醉,用定位环固定眼球,启动负压系统,在定位环内插入探头,在水浴(无菌平衡盐溶液或生理盐水)下进行,全程保持负压的稳定性^[14]。治疗开始后换能器以顺时针方式依次激活,每个治疗扇区最高持续 8s。根据脚踏控制治疗时间,每个扇区之间有 20s 的暂停,扇区之间完全自动转换^[15]。整个治疗过程 3~5min,术后使用非甾体类抗炎药或联合糖皮质激素和抗生素,使用频率和持续时间视情况而定。

3 UCP 的作用原理

UCP 通过非侵入方式 HIFU 技术作用于睫状体,目前其作用原理主要流行两个理论^[12,14,16]:(1)消融睫状体上皮细胞层,使睫状体部分萎缩,从而减少房水的产生;(2)HIFU 可导致巩膜变薄,在睫状体内、睫状体与巩膜之间以及脉络膜与巩膜之间产生液性腔隙,开放葡萄膜巩膜通道,增加房水的外流,从而达到降低眼内压。目前两项理论均有研究支持,但具体哪种机制占有主导地位,尚未有统一的定论。

4 UCP 的适应证及有效性

2017 年我国在超声青光眼治疗仪(EyeOP1)批准上市时,将适用范围明确为医疗机构中药物和手术不能控制眼压的青光眼。《中国青光眼指南(2020 年)》^[2]将 UCP 列为新生血管性青光眼可选择的手术方式之一。目前国内临床研究中 UCP 在治疗各种类型青光眼中均表现出较好的降眼压效果,但类型不同、分期不同其应用疗效仍然存在差异:杨丛丛等^[17]、Giannaccare 等^[18]研究均发现,UCP 对闭角型青光眼的降眼压效果最明显,优于对开角型青光眼的降眼压效果,而对继发性青光眼(新生血管性青光眼、色素性青光眼)的降眼压效果最差^[19-21]。而在青光眼分期中,Aptel 等^[22]提出比起对晚期青光眼患者的治疗效果,UCP 更适用于高血压症、早期或中度青光眼患者的治疗。

Giannaccare 等^[21]在 2019 年纳入 47 例 49 眼进行分析,平均眼压降低率排序为闭角型青光眼 11 眼(41%),开角型青光眼 24 眼(28.5%)、新生血管性青光眼 5 眼(20.5%)和剥脱性青光眼 9 眼(18.3%);而其在 2017 年对 30 眼(16 眼开角型青光眼,10 眼闭角型青光眼,4 眼新生血管性青光眼)的研究中,则得出闭角型青光眼的降眼压降低率最高,新生血管性青光眼次之,开角型青光眼眼压降低最少的研究结果。Hu 等^[23]研究发现,手术成功率闭角型青光眼 15 眼(80%),开角型青光眼 9 眼(55.6%)、外伤性青光眼 4 眼(50%)和新生血管性青光眼 24 眼(29.2%)。而 Hu 等的研究中 POAG 组(17.7%)眼压降幅低于 NVG 组(18.6%),与 Giannaccare 等^[18]2017 年的研究结果一致。以上研究结果的不同,与样本量较小、样本量

偏差有一定关系,也可能与术前眼压基线值有关——Hu 等研究中 NVG 组的术前眼压均值(41.77 ± 11.11 mmHg)明显高于 POAG 组(37.84 ± 9.2 mmHg),与 Giannaccare 等此前的研究结论相互印证,即 UCP 治疗中术前眼压值较高的患者,术后眼压降幅更大。Zhou 等^[24]在研究中将纳入病例分为 NVG 组(12 眼)和非 NVG 组(13 眼),进行 UCP 治疗为期 12mo 的随访,NVG 组 IOP 平均值从术前 39.6 ± 5.1 mmHg 显著降低至 29.0 ± 11.9 mmHg,降幅 26%,在非 NVG 组中,则从 39.8 ± 7.2 mmHg 显著降低到 25.9 ± 10.9 mmHg,降低 35%,在第 3mo 随访时非 NVG 组的平均 IOP 低于 NVG 组($P \leq 0.05$)。对闭角型青光眼的治疗效果较好,可能与 UCP 治疗可导致巩膜变薄,开放房水通道的作用原理相关;而对新生血管性青光眼效果较差,可能与其治疗后睫状上皮损伤,血水屏障破坏,血浆蛋白泄漏,房水黏度增加,房水流出减少,炎症因子刺激小梁网肿胀,可能会进一步阻塞房角有关。以上现有结果与作用机制基本一致。

Leshno 等^[25]专门针对中度开角型青光眼 15 例,进行了为期 2a 的研究,治疗有效率为 87%,为纳入文献中有效率最高的报道;而国内文献研究中单纯针对新生血管性青光眼^[26-27]及晚期青光眼^[28-29]的研究,依然取得良好的治疗效果。但此类针对性的研究纳入样本量均较小。因此,在适应证的选择上,UCP 依然可以考虑广泛适用于各种类型的青光眼治疗。我们在未来的临床和实验研究中,应该考虑更多样本、更多类型及分期的对照性研究,以便为将来在适应证的选择和个体化治疗方案的制定上提供参考。

此前国内学者潘政等^[30]、叶聪等^[31]已对 UCP 国内外文献进行了综述分析,我们在此基础上,纳入近年来国内外相关研究文献 33 篇^[14,17-29,32-50](国外期刊 25 篇,国内期刊 8 篇),对 UCP 治疗青光眼的有效性及其安全性进行统计分析。本次纳入的文献研究中,多将 UCP 治疗有效的评价标准设为手术成功率,手术成功率中主要是对目标眼压的控制:术后眼压 > 5 mmHg,且眼压下降幅度与术前基线相比 $\geq 20\%$;而有的学者则提出更高的目标眼压标准,如 Mastropasqua 等^[32]将眼压降到术前的 1/3 视为有效标准;杨丛丛等^[17]、赵文凤等^[29]认为术后 3mo 不用降眼压药物或者只用 1 种降眼压药物使患者眼压 ≤ 21 mmHg 或者术后眼压下降幅度 $\geq 30\%$ 才为手术成功。Torky 等^[20]认为术后眼压 > 5 mmHg 且眼压降幅达 30% 才可判断手术有效,并在 Phaco 联合 UCP 治疗白内障合并开角型青光眼的研究中^[33],将有效标准进一步规定为 5 mmHg $<$ 术后眼压 < 21 mmHg,眼压降幅 $\geq 20\%$,没有额外的降眼压药物或青光眼手术。有无辅助降眼压用药是一些研究中的参考标准^[33-36],而国内学者进一步将疼痛症状等级评分作为重要术后评判指标^[37-39]。涉及文献中降眼压用药数量及疼痛症状等级评分均在术后减少,对改善青光眼患者的生活质量,完善人性化诊疗具有深刻的意义。

目前现有研究中,青光眼的类型和分期不同会导致有效率的差异性,已在上述进行讨论;另外,超声探头暴露时间和治疗扇区的不同也是影响治疗效果的重要因素。国外研究多集中于单次探头治疗时间的不同(3s/4s/6s/8s/10s),Mastropasqua 等^[32]发现 6s 组(38.7%)比 4s 组(30.1%)眼压降低率更高($P < 0.001$),认为超声暴露时间的延长可以进一步诱导巩膜结膜结构的改变,加强房水引流,从而更有效地降低眼压;Giannaccare 等^[18]研究设置 4、

6、8s 组的对比,表示超声暴露时间延长,降眼压效果明显,安全性不会降低;而 Deb-Joardar 等^[40] 则用 8s 和 10s 组作对照,指出两组的降低眼压的有效性无差异,但 10s 组的前房炎症反应更重。而在国内,统一采用 8s 单次暴露时间进行治疗,主要区别在于扇区的选择(6、8、10 扇), Hu 等^[23] 对 6 扇区和 8 扇区治疗的分组比较中,发现 8 扇区的降眼压效果在早期优于 6 扇区治疗效果,但 3mo 后两组降眼压的效果则无明显差异。Wang 等^[39] 在研究中明确按照基线眼压进行扇区的选择,6 扇区为眼压 $\leq 30\text{mmHg}$,8 扇区为眼压 $>30\text{mmHg}$,10 扇区为 $>40\text{mmHg}$,这也是目前国内 UCP 临床应用扇区常用的选择标准,不同扇区的选择也许可以满足目标眼压降低的精准控制。

但值得注意的是,中国青光眼指南(2020 年)^[2] 公布了最新的目标眼压标准,对于新确诊的青光眼患者:如早期青光眼,目标眼压应低于 21mmHg 且至少降低 20%;而中期青光眼的目标眼压应降至 18mmHg 以下,降低幅度至少 30%;对于更晚期青光眼,目标眼压可能需要更低。按照这个标准,目前研究的有效率设定相对来说不够严格,这也是我们在日后研究过程中应该加强的。另外需要我们注意的是,目前关于 UCP 治疗的随访研究多为 3~12mo,有的学者提出术后眼压在 1mo 时降眼压效果最为明显,随着时间推移眼压逐渐回升^[26],有的则认为 3mo 后降眼压疗效显著^[17,29],甚至随着时间推移降眼压效果逐渐明显^[29], Rouland 等^[43] 在最新研究中,针对 104 眼进行了一项为期 3a 的随访,36mo 时 IOP 从 $27.6 \pm 8.9\text{mmHg}$ 显著降低至 $17.0 \pm 6.8\text{mmHg}$,眼压降幅下降 33% ($P < 0.005$),且局部用药数量减少(从术前 3.0 种降至术后 2.8 种),这提示 UCP 治疗可能具有长期的治疗效果,但我们仍需要大样本的相关研究来支持这一结论。

5 UCP 治疗青光眼安全性

现有报道普遍认为,UCP 治疗操作简单快捷,且具有可重复性,安全性较高。耿丽娟等^[37] 将 UCP 治疗与睫状体冷冻术治疗后的患者进行对照, Graber 等^[44] 将 UCP 治疗与激光光凝术治疗后的患者进行对照,UCP 治疗的并发症发生率均更低, Giannaccare 等^[21] 认为其可以降低传统并发症,主要与其作用机制有关,即可使高眼压者眼压降低更多,对低眼压者减低更少。近年来研究者对并发症的考察和研究更为全面,我们将这些文献报道过的所有并发症及发生例数(1309 眼)综合分析后,UCP 的术后并发症按照发生频率从高到低分别为:结膜充血(28.88%)、前房炎症反应(26.74%)、浅表点状角膜炎(11.23%)、术中或术后眼痛(7.26%)、轻度瞳孔散大(4.97%)、巩膜变薄(4.13%)、结膜下出血(3.74%)、结膜水肿(2.83%)、角膜溃疡(2.29%)、视力下降超过 2 行(2.37%)、一过性眼压升高超过基线水平 10mmHg (1.53%)、角膜水肿(1.53%)、低眼压(1.38%)、角膜 KP(1.15%)、结膜糜烂(0.99%)、黄斑水肿(0.84%)、异物感(0.69%)、巩膜印记(0.46%)、丧失光感(0.38%)、角膜混浊(0.38%)、脉络膜脱离(0.38%)、巩膜环阻塞充血(0.23%)、瞳孔不规则(0.23%)、散光(0.23%)、前房积血(0.23%)、瞳孔异位(0.15%)、虹膜前黏连(0.08%)、虹膜后黏连(0.08%)、单眼复视(0.08%)。并发症大多在术后 30d 内自行或经治疗后恢复,未出现眼球萎缩的报道。其发生频次规律与叶聪等^[31] 归纳研究基本一致,但由于近年学者对并发症的观察和研究更为细致,本文列举的并发症种类相对更多。

其中脉络膜脱离在 4 篇研究^[19,40,45,47] 中均有发生,多与术后低眼压有关,而黄斑水肿的发生多认为与前房炎症反应有一定的相关性,瞳孔的变化可能与巩膜皱缩、前房炎症有关,而术后视力障碍机制不明确,推测可能与瞳孔的变化有关。Pellegrini 等^[46] 针对前房炎症反应进行了前房房水闪烁值的测定,认为房水闪烁值与前房深度呈负相关,并且在术后 1d 迅速达到最高峰后逐渐下降,在术后 3、6mo 的测量值则恢复至术前水平, Morais Sarmento 等^[47] 纳入的 13 例 14 眼晚期青光眼患者中,4 例(28.57%)进行了 UCP 的重复治疗,平均治疗时机为 $8.1 \pm 3.95\text{mo}$,这些研究为选择 UCP 重复治疗的时机提供了参考。De Gregorio 等^[48]、Florent 等^[49] 也认为 UCP 的重复治疗安全有效。值得注意的是,巩膜印记和巩膜环阻塞充血被视为罕见并发症,由 Zhou 等^[24] 在研究中提及,与过往其他学者所论不同,其认为巩膜印记和巩膜环阻塞充血并不等同于巩膜变薄,观察中未见明显的巩膜厚度改变,只存在巩膜部分结构稀疏。而针对并发症中的散光问题, Marques 等^[35] 发现虽然 UCP 治疗与角膜散光的增加相关,然而对总屈光散光的影响并不那么明显,而其在最新报告^[50] 中报道了 5 例患者术后丧失光感,其中 1 例为白塞氏病患者眼部炎症明显合并严重低眼压,这无疑提示我们应该加强对视力的关注,进一步完善病例的纳入与剔除标准。

6 小结

UCP 治疗青光眼的有效性和安全性已在国内外研究中被逐渐证实,但仍有许多问题亟待解决。关于 UCP 降眼压机制方面,两种理论各有研究依据,而根据上述研究总结,消融睫状体上皮细胞层减少房水分泌为多数研究结果所支持,巩膜变薄的论点存在结果上的分歧^[24],因此对于作用机制的明确,仍需开展大量多样本动物及临床实验。此外,关于 UCP 有效性的评价,基线眼压的降低幅度、疼痛症状等级评分、术后降眼压药物的减少等观察指标方面我们需要更为统一和严格的标准。目前国内相关临床研究纳入样本例数较少,随访期较短。UCP 重复治疗的时机、多次治疗后的有效性及安全性,相关的针对性观察基本空白,未来多中心、大样本、长期随访的临床研究还需要进一步开展。

参考文献

- 1 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
- 2 中华医学会眼科学分会青光眼学组,中国医师协会眼科医师分会青光眼学组. 中国青光眼指南(2020 年). 中华眼科杂志 2020;56(8):573-586
- 3 Ter Haar GR. High intensity focused ultrasound for the treatment of tumors. *Echocardiography* 2001;18(4):317-322
- 4 Lavine O, Langenstrass KH, Bowyer CM, et al. Effects of ultrasonic waves on the refractive media of the eye. *AMA Arch Ophthalmol* 1952;47(2):204-219
- 5 Purnell EW, Sokollu A, Torchia R, et al. Focal chorioretinitis produced by ultrasound. *Invest Ophthalmol* 1964;3:657-664
- 6 Rosenberg RS, Purnell EW. Effects of ultrasonic radiation to the ciliary body. *Am J Ophthalmol* 1967;63(3):403-409
- 7 Lizzi FL, Packer AJ, Coleman DJ. Experimental cataract production by high frequency ultrasound. *Ann Ophthalmol* 1978;10(7):934-942
- 8 Lizzi FL, Coleman DJ, Driller J, et al. Experimental, ultrasonically induced lesions in the retina, choroid, and sclera. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1978;17(4):350-360

- 9 Coleman DJ, Lizzi FL, Jakobiec FA. Therapeutic ultrasound in the production of ocular lesions. *Am J Ophthalmol* 1978;86(2):185-192
- 10 Coleman DJ, Lizzi FL, Driller J, et al. Therapeutic ultrasound in the treatment of glaucoma. I. Experimental model. *Ophthalmology* 1985;92(3):339-346
- 11 Muratore R. A history of the Sonocare CST-100; the first FDA-approved HIFU device. *AIP Conf Proc* 2006;829(1):508-512
- 12 Aptel F, Charrel T, Palazzi X, et al. Histologic effects of a new device for high-intensity focused ultrasound cyclocoagulation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(10):5092-5098
- 13 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
- 14 Aptel F, Charrel T, Lafon C, 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
- 15 Mastropasqua R, Fasanella V, Mastropasqua A, et al. High-intensity focused ultrasound circular cyclocoagulation in glaucoma: a step forward for cyclodestruction? *J Ophthalmol* 2017;2017:7136275
- 16 Aptel F, Béglé A, Razavi A, et al. Short- and long-term effects on the ciliary body and the aqueous outflow pathways of high-intensity focused ultrasound cyclocoagulation. *Ultrasound Med Biol* 2014;40(9):2096-2106
- 17 杨丛丛, 姜涛, 王大博. 超声睫状体成形术治疗难治性青光眼的临床效果及安全性. 眼科新进展 2018;38(10):982-985
- 18 Giannaccare G, Vagge A, Gizzi C, et al. High-intensity focused ultrasound treatment in patients with refractory glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2017;255(3):599-605
- 19 Denis P, Aptel F, Rouland JF, et al. Cyclocoagulation of the ciliary bodies by high-intensity focused ultrasound: a 12-month multicenter study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015;56(2):1089-1096
- 20 Torky MA, Al Zafiri YA, Hagraas SM, et al. Safety and efficacy of ultrasound ciliary plasty as a primary intervention in glaucoma patients. *Int J Ophthalmol* 2019;12(4):597-602
- 21 Giannaccare G, Vagge A, Sebastiani S, et al. Ultrasound cycloplasty in patients with glaucoma: 1-year results from a multicentre prospective study. *Ophthalmic Res* 2019;61(3):137-142
- 22 Aptel F, Denis P, Rouland JF, et al. Multicenter clinical trial of high-intensity focused ultrasound treatment in glaucoma patients without previous filtering surgery. *Acta Ophthalmol* 2016;94(5):e268-e277
- 23 Hu DP, Tu S, Zuo CG, et al. Short-term observation of ultrasonic cyclocoagulation in Chinese patients with end-stage refractory glaucoma: a retrospective study. *J Ophthalmol* 2018;2018:4950318
- 24 Zhou LF, Hu D, Lan J, et al. Efficacy and safety of single Ultrasound Cyclo-Plasty to treat refractory glaucoma: results at 1 year. *Eur J Ophthalmol* 2022;32(1):268-274
- 25 Leshno A, Rubinstein Y, Singer R, et al. High-intensity focused ultrasound treatment in moderate glaucoma patients: results of a 2-year prospective clinical trial. *J Glaucoma* 2020;29(7):556-560
- 26 黄雪桃, 祁颖, 崔晴晴, 等. 超声睫状体成形术治疗新生血管性青光眼的疗效及安全性. 国际眼科杂志 2020;20(5):842-846
- 27 张靓. 新生血管性青光眼使用超声睫状体成形术治疗效果初探. 医药前沿 2020;10(26):87-88
- 28 王伟, 韩宇逸, 武志峰, 等. 超声睫状体成形术治疗晚期青光眼的效果. 中华眼外伤职业眼病杂志 2019;41(6):406-410
- 29 赵文凤, 赵军梅, 唐桂兰, 等. 高强度聚焦超声睫状体成形术治疗晚期青光眼的初步观察. 中华眼外伤职业眼病杂志 2021;43(3):199-202
- 30 潘政, 刘可, 张露蓉, 等. 超声睫状体成形术治疗青光眼. 国际眼科纵览 2020;44(3):150-156
- 31 叶聪, 王晓燕, 边小倩, 等. 高强度聚焦超声在青光眼治疗中的应用进展. 中华眼科杂志 2020;56(1):66-70
- 32 Mastropasqua R, Agnifili L, Fasanella V, et al. Uveo-scleral outflow pathways after ultrasonic cyclocoagulation in refractory glaucoma: an anterior segment optical coherence tomography and *in vivo* confocal study. *Br J Ophthalmol* 2016;100(12):1668-1675
- 33 Torky MA, Alzafiri YA, Abdelhameed AG, et al. Phaco-UCP; combined phacoemulsification and ultrasound ciliary plasty versus phacoemulsification alone for management of coexisting cataract and open angle glaucoma: a randomized clinical trial. *BMC Ophthalmol* 2021;21(1):53
- 34 Rouland J, Aptel F. Ultrasound ciliary plasty to treat glaucoma. Efficacy and safety results at 2 years on 152 patients. European Glaucoma Society Meeting, Florence, Italy 2018
- 35 Marques RE, Sousa DC, Vandewalle E, et al. The effect of glaucoma treatment using high-intensity focused ultrasound on total and corneal astigmatism: a prospective multicentre study. *Acta Ophthalmol* 2020;98(8):833-840
- 36 牟大鹏, 唐焯, 安文在, 等. 超声睫状体成形术治疗难治性青光眼半年随访效果的临床研究. 中华眼科医学杂志(电子版) 2019;9(6):366-371
- 37 耿丽娟, 刘贺婷, 许育新, 等. 两种术式治疗难治性青光眼的疗效分析. 国际眼科杂志 2019;19(9):1546-1549
- 38 李博, 张树洪, 蒋艳. 超声睫状体成形术治疗难治性青光眼的临床效果及安全性评价. 糖尿病天地 2018;15(10):94-95
- 39 Wang T, Wang RX, Su Y, et al. Ultrasound cycloplasty for the management of refractory glaucoma in Chinese patients: a before-after study. *Int Ophthalmol* 2021;41(2):549-558
- 40 Deb-Joardar 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
- 41 Melamed S, Goldenfeld M, Cotlear D, et al. High-intensity focused ultrasound treatment in refractory glaucoma patients: results at 1 year of prospective clinical study. *Eur J Ophthalmol* 2015;25(6):483-489
- 42 Graber M, Khoueir Z, Beauchet A, et al. High intensity focused ultrasound as first line treatment in patients with chronic angle closure glaucoma at risk for malignant glaucoma. *J Fr Ophthalmol* 2017;40(4):264-269
- 43 Rouland JF, Aptel F. Efficacy and safety of ultrasound cycloplasty for refractory glaucoma: a 3-year study. *J Glaucoma* 2021;30(5):428-435
- 44 Graber M, Rothschild PR, Khoueir Z, et al. High intensity focused ultrasound cyclodestruction versus cyclodiode treatment of refractory glaucoma: a retrospective comparative study. *J Fr Ophthalmol* 2018;41(7):611-618
- 45 Aptel F, Dupuy C, Rouland JF. Treatment of refractory open-angle glaucoma using ultrasonic circular cyclocoagulation: a prospective case series. *Curr Med Res Opin* 2014;30(8):1599-1605
- 46 Pellegrini M, Sebastiani S, Giannaccare G, et al. Intraocular inflammation after Ultrasound Cyclo Plasty for the treatment of glaucoma. *Int J Ophthalmol* 2019;12(2):338-341
- 47 Morais Sarmiento T, Figueiredo R, Garrido J, et al. Ultrasonic circular cyclocoagulation prospective safety and effectiveness study. *Int Ophthalmol* 2021;41(9):3047-3055
- 48 De Gregorio A, Pedrotti E, Stevan G, et al. Safety and efficacy of multiple cyclocoagulation of ciliary bodies by high-intensity focused ultrasound in patients with glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2017;255(12):2429-2435
- 49 Florent A, Mehdi T, Jean-François R. Efficacy and Safety of Repeated Ultrasound Cycloplasty Procedures in Patients With Early or Delayed Failure After a First Procedure. *J Glaucoma* 2020;29:24-30
- 50 Marques Raquel E, Ferreira Nuno P, Sousa David C, et al. High intensity focused ultrasound for glaucoma: 1-year results from a prospective pragmatic study. *Eye (Lond)* 2021;35(2):484-489