

房水流出通路结构及功能显像的研究进展

李雅頔, 陈燕华, 孙子雯, 李楠钰, 胡竹林

引用: 李雅頔, 陈燕华, 孙子雯, 等. 房水流出通路结构及功能显像的研究进展. 国际眼科杂志 2021;21(7):1196-1199

基金项目: 云南省创新团队计划任务 (No.2017HC010); 云南省科技计划项目重大科技专项 (No.2018ZF009)

作者单位: (650000) 中国云南省昆明市, 昆明医科大学第四附属医院眼科 云南省第二人民医院眼科 云南省眼科研究所 云南省眼部疾病临床医学研究中心 云南省眼病临床医学中心 云南省眼科疾病防治研究重点实验室 云南省第二人民医院白内障与眼底疾病防治省创新团队 云南省姚克专家工作站

作者简介: 李雅頔, 昆明医科大学在读硕士研究生, 研究方向: 眼表疾病、角膜病。

通讯作者: 胡竹林, 毕业于华中科技大学, 博士, 主任医师, 科主任, 博士研究生导师, 研究方向: 眼表疾病、角膜病、青光眼、眼科疑难疾病. HZL77@263.net

收稿日期: 2020-06-02 修回日期: 2021-05-27

摘要

房水作为重要眼内容物之一, 一直处于动态循环中, 若房水流出通路(AHO)中的任一部位受阻, 都将导致眼压升高, 并伴随青光眼的发生, 进而出现视神经损伤, 严重影响视功能。而开角型青光眼患者的房角呈开放状态, 其眼压升高是房水流出阻力增加所致, 因此, 直观地观察 AHO 的结构, 评价其功能变化, 有助于我们更清晰地了解 AHO 的阻力所在, 进一步阐明开角型青光眼的发病机制。目前对于 AHO 的显像技术包括光学相干断层扫描(OCT)以及 AHO 造影术等。本文将就 AHO 结构及功能显像的研究进展做一综述。

关键词: 房水流出通路; 显像; 光学相干断层扫描; 造影术

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2021.7.13

Advances in the structure and function imaging of aqueous humor outflow

Ya-Di Li, Yan-Hua Chen, Zi-Wen Sun, Nan-Yu Li, Zhu-Lin Hu

Foundation items: Yunnan Innovation Team Planning Tasks (No. 2017HC010); Yunnan Provincial Science and Technology Planning Project Major Science and Technology Special (No.2018ZF009) Department of Ophthalmology, Fourth Affiliated Hospital of Kunming Medical University; Department of Ophthalmology, the Second People's Hospital of Yunnan Province; Yunnan Eye Institute; the Ocular Disease and Clinical Medicine Research Center of Yunnan Province; the Ocular Disease Clinical Medicine Center of Yunnan Province; Key Laboratory of Yunnan Province for the Prevention and Treatment of Ophthalmology; Provincial Innovation Team for Cataract and Ocular Fundus Disease, the Second People's Hospital of Yunnan Province; Expert Workstation of Yao Ke, Kunming

650000, Yunnan Province, China

Correspondence to: Zhu-Lin Hu. Department of Ophthalmology, Fourth Affiliated Hospital of Kunming Medical University; Department of Ophthalmology, the Second People's Hospital of Yunnan Province; Yunnan Eye Institute; the Ocular Disease and Clinical Medicine Research Center of Yunnan Province; the Ocular Disease Clinical Medicine Center of Yunnan Province; Key Laboratory of Yunnan Province for the Prevention and Treatment of Ophthalmology; Provincial Innovation Team for Cataract and Ocular Fundus Disease, the Second People's Hospital of Yunnan Province; Expert Workstation of Yao Ke, Kunming 650000, Yunnan Province, China. HZL77@263.net

Received:2020-06-02 Accepted:2021-05-27

Abstract

• As one of the important contents of eyes, aqueous humor is always in dynamic circulation. When any part of the outflow is blocked, the aqueous humor outflow (AHO) circulation will break down, and followed by the increase of intraocular pressure, the damaged visual function, and the optic nerve injury. At last, the glaucoma occurs. Therefore, it can promote to locate the blocked part by observing the structure of the AHO and evaluating its function state, so as to clarify the pathogenesis of primary open angle glaucoma. Current imaging techniques for AHO pathway include optical coherence tomography (OCT) and angiography of outflow. This article will review the research progress of structure and function imaging of AHO.

• **KEYWORDS:** aqueous humor outflow; imaging; optical coherence tomography; angiography

Citation: Li YD, Chen YH, Sun ZW, *et al.* Advances in the structure and function imaging of aqueous humor outflow. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2021;21(7):1196-1199

0 引言

房水(aqueous humor)作为重要的眼内容物之一, 具有维持眼内压, 营养角膜、晶状体及玻璃体以及清除上述组织代谢产物的作用, 始终处于动态循环中, 此外, 房水是角膜和晶状体炎症反应的介质^[1]。经典的房水流出通路(aqueous humor outflow, AHO)又称为小梁网途径可分为近端和远端部分^[2]。近端部分从前房开始, 房水是血浆从睫状突超滤后由睫状上皮分泌生成, 房水从后房通过瞳孔进入前房, 然后由前房角经过小梁网(trabecular meshwork, TM)进入 Schlemm 管(Schlemm's canal, SC), 最后进入集液管(collector channels, CCs)。远端部分则从集液管开始, 与房水静脉共同汇入巩膜表面的睫状前静脉, 最后回到血液循环^[3]。另外, 有少部分房水经由葡萄

膜巩膜途径引流,这一途径称为“非经典”房水流出途径,还有极少量的房水可通过虹膜表面的隐窝吸收。因此,如果房水循环通路中的任一部位受阻,使房水无法正常流出,都将导致眼压升高,眼压升高的病理生理过程主要有三个方面:房水生成速率的增加,房水经过小梁网途径的流出阻力增加,以及表层巩膜的静脉压增加,而在临床中绝大部分青光眼是因房水外流阻力增加导致的高眼压,最终造成视神经的损害。针对房水外流阻力的来源不同,青光眼可分为开角型青光眼和闭角型青光眼。与闭角型青光眼不同的是,开角型青光眼的前房角是开放的,外观也与正常人无异,其眼压升高是小梁网途径的 AHO 发生病变,房水流出阻力增加所致。主要学说有:(1)小梁网组织局部的病变;(2)小梁后阻滞,即房水流经小梁网后的 Schlemm 管、集液管和房水静脉部位发生病变;(3)血管-神经-内分泌或大脑中枢对眼压调节失控所引起。目前,大多数的临床和基础研究表明小梁网,尤其近 Schlemm 管区的组织是主要病变所在,但目前发病机制尚未阐明,因此,能直观、动态观察眼 AHO 是否通畅,评价房角滤过功能,探究导致房水流出阻力增加的原因,在开角型青光眼的诊断和治疗上具有重要意义。本文将就 AHO 结构及功能显像的研究进展做一综述。

1 经典 AHO 的组成

经典的 AHO 是由小梁网、邻管结缔组织、Schlemm 管、集合管和房水静脉组成。房水由睫状突分泌产生,由后房通过瞳孔进入前房,通过前房角分别经过小梁网、Schlemm 管最后进入集合管,与房水静脉一起汇入睫状前静脉,最后回到血液循环中。

1.1 小梁网 小梁网是由小梁细胞及其细胞外基质构成无数的小梁相互交错形成的多层海绵状组织。大量的研究表明,小梁网具有平滑肌样的舒缩功能和吞噬功能。Tamm 等^[4]通过实验发现,切除部分小梁网后,并没有明显减少房水外流阻力,可见该部分小梁网并不能产生明显的外流阻力。Wiederholt 等^[5]发现小梁细胞具有平滑肌样的舒缩功能,这一功能可辅助睫状肌收缩和扩张小梁网,影响房水的流通,并且在 Zhang 等^[6]的实验结果中表明小梁细胞还有较强的吞噬功能,吞噬房水中的色素颗粒及蛋白分子等,吞噬房水中的代谢物质后小梁细胞最后将进入循环系统。由此可得出小梁网具有清洁房水的作用,可有效地防止小梁网发生阻塞,导致 AHO 受阻。因此小梁网细胞数量、结构及功能的改变,小梁细胞的失代偿等均可能是导致房水流出阻力增加,并形成青光眼的重要原因之一。

1.2 邻管结缔组织 邻管结缔组织位于小梁网与 Schlemm 管之间,相较于其他结缔组织相比,邻管结缔组织更加疏松多孔且含有多种细胞外基质,包括: I、III、IV、V、VI 型胶原,弹力蛋白,层黏连蛋白,纤维结合蛋白,葡糖胺聚糖,硫酸皮肤素,硫酸软骨素和透明质酸等^[7]。细胞外基质的减少或性质的改变均可能会增加房水外流阻力引起青光眼^[8-9]。Carreras 等^[9]研究发现房角及小梁网间隙中有大量葡糖胺聚糖,这类细胞外基质是由睫状体产生的,而不是来源于小梁细胞,随着房水的循环,部分葡糖胺聚糖沉积在房角内,形成了房水流出的阻力。

1.3 Schlemm 管 Schlemm 管是围绕前房角形成的一个 360 度房水流出管道,内壁连接小梁网,与小梁网之间仅有一层内皮细胞,但仅有很少的一部分是面向集合管开口处,外壁则连接集合管开口处。房水沿着 Schlemm 管流经

一定长度后才可到达集合管,此处的压力高于集合管开口处附近的压力,因此此处的 Schlemm 管较容易发生塌陷,导致管腔狭窄。研究表明在青光眼患者中,眼压升高后 Schlemm 管随之变得狭窄而非塌陷,因此可以推测 Schlemm 管管腔的狭窄可能会导致引起房水流出阻力的增加。而在非青光眼患者中发现当眼压升高时,Schlemm 管管腔的狭窄程度较青光眼患者较低,所产生的外流阻力也更低,可见 Schlemm 管管腔的狭窄或者塌陷可增加房水外流阻力,加重青光眼的发生,而不是青光眼的病因^[10]。

1.4 Schlemm 管内壁 Schlemm 管内壁是由 Schlemm 管内皮细胞及其基底膜组成,内皮细胞之间相互紧密连接,而基底膜则是不连续的。位于内皮细胞的内皮细胞层可见许多大空泡,并且这些大空泡中有 20%~30% 在末端有开放的孔,这些孔可能与物质转运有关。在一项研究中发现,青光眼患者眼球中孔的密度为每平方米 160 孔,仅为正常人眼(每平方米 835 孔)的 1/5 左右。可见在青光眼患者中这些孔密度的减小可能与房水流出阻力的产生有关^[11]。

1.5 集合管和房水静脉 房水从 Schlemm 管流出后,就流入集合管之中。集合管处于 Schlemm 管和房水静脉之间,连接两者,其管腔直径与房水静脉相似,并不会产生明显的外流阻力^[10]。

2 AHO 结构显像的研究进展

目前对于 AHO 结构的研究主要集中在对其形态学的测量以及结构的显像。通过对形态学的测量,可观察到在不同的青光眼患者及正常人中,Schlemm 管的管腔面积,横径以及内侧壁的长度均存在一定的差异。而使用前段 OCT 对近端的 AHO 包括小梁网、Schlemm 管及集液管进行结构显像,均将有助于我们对开角型青光眼发病机制的阐明。

2.1 前段 OCT 在 Schlemm 管形态学变化中的测量 光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)是一种新的光学断层成像的诊断技术,可用于观察活体眼显微镜结构的一种非接触式、非侵入性的检查方式^[12]。2010 年 Kagemann 等^[13]报道了使用前段 OCT 观察 Schlemm 管的初步结果,在 21 名正常人和 3 例青光眼患者鼻侧及颞侧 Schlemm 管的前段 OCT 图像中显示,鼻侧的面积均高于颞侧,而青光眼患者与正常人相比较,Schlemm 管的管腔面积明显较小。史国华等^[14]在 2013 年运用 OCT 和成像系统(SSOCT)成功获取了 19 名正常人与 18 例原发性开角型青光眼患者(primary open angle glaucoma, POAG)的 Schlemm 管图像,在进行的 148 次房角成像中,仅有 6 次未能识别 Schlemm 管,其成功率达到 95.9%,试验结果显示正常组的 Schlemm 管的周长、面积和长径都明显较大,尤其是管腔面积,正常组的平均值约高出 POAG 组的平均值接近一倍,这初步证实了 1970 年 Nesterov^[15]提出的推测,Schlemm 管管腔随着眼压升高而紧缩,随着眼压降低而扩张。而另一组研究中,同样对比了正常人与 POAG 患者 Schlemm 管的差异,结果与原发性闭角型青光眼(primary angle-closure glaucoma, PACG)患者对比,POAG 患者各个方位 Schlemm 管直径与正常人相比均无显著性差异,但其各个方位 Schlemm 管面积、横径、内侧壁长度均低于正常人。

2.2 前段 OCT 对近端 AHO 的成像 早期研究中关于 AHO 途径的结构解剖学并未反映其动态性质。有研究表

明小梁网已由前段 OCT 成像,其内侧为前房,外侧为弧形低密度阴影,上方为 Schwalbe 线^[13]。与小梁网相比,前段 OCT 对 Schlemm 管显像研究更成熟,其原因在于与血管不同,充满液体的 Schlemm 管管腔可以提供清晰的 OCT 低反射信号,使得它更容易识别。2017 年 Huang 等^[16]使用前段 OCT 对活体个体的单眼进行了围绕角巩膜缘 360° 的 AHO 的无创成像,并且开发了一种自动检测方法来识别 Schlemm 管、集液管。首先将角膜缘周围 360° 的 Schlemm 管进行了识别及成像,并进行了三维重建,在不同的位置,三维重建的图像显示出不同的宽度,具有一定的节段性。同时在 Schlemm 管的正后方,前段 OCT 也进行了集液管识别及成像^[17],但在前段 OCT 中的成像中,如何准确的对 Schlemm 管、集液管进行分隔及定义,仍待研究。

3 AHO 功能显像的研究进展

房水作为重要的眼内容物始终处于一种动态的循环中,其产生和流出存在着动态的平衡,维持着正常的眼内压。对 AHO 进行功能显像,可观察和了解 AHO 是否通畅,同时可指导青光眼手术及术后的评价。

AHO 造影^[3]是一种侵入性的新型 AHO 的成像工具,是在生理性的眼压下进行的实时 AHO 成像技术,是一种类似于虹膜血管造影或巩膜血管造影的前段造影术,但侧重于房水的流出而不是血流^[18]。血管造影技术最初在眼科的应用大多数局限在眼底血管疾病方便,近年来也开始逐渐应用于眼前段的疾病中,例如:新生血管性青光眼、葡萄膜炎等^[19]。AHO 造影作为一种技术,可以更好地了解眼睛中 AHO 的解剖学和生理学。2016 年 Saraswathy 等^[3]在离体猪眼及人眼上进行了 AHO 造影,将离体眼固定后将前房维持器插入前房中,使用平衡盐溶液(BSS)以 10~30mmHg 压力下对离体眼进行灌注,使用 20% 荧光素钠在室温下的 BSS 中稀释至 2.5% 作为染色剂进行造影成像及前段 OCT 检查,结果显示房水流出的模式呈节段性,并具有一定差异性,可观察和获取到清晰的 AHO 近端及远端的造影信号及图像。2016 年 Huang 等^[20]在离体牛眼中分别使用 2.5% 荧光素钠和 0.4% 吲哚菁绿进行了 AHO 显像,设计并使用了双染色系统,先进行吲哚菁绿 AHO 造影,然后在同一只眼中进行荧光素钠 AHO 造影,结果显示运用两种不同的染色剂进行造影显示出了相同的房水流出模式。在离体人眼的房水流出造影中^[21],同样使用 2.5% 荧光素钠进行造影染色,并在最初较为缺乏显像信号的区域放置引导支架后再次进行造影,结果显示在放置支架后的区域与最初的图像相比,最初缺乏造影信号的区域出现了更早更强的造影信号。而在对青光眼患者进行的 AHO 造影的实验中^[22],对 14 例接受小梁微型旁路支架 iStent 植入术联合白内障摘除术的青光眼患者及 1 例接受白内障摘除术的非青光眼患者进行了 AHO 造影,结果显示小梁微型旁路支架 iStent 植入术在不同程度上改善了术眼房水的流出。2017 年 Huang 等^[23]再次进行了房水造影,这次实验是在活体非人类灵长类动物(nonhuman primate, NHP)的眼睛中完成的,结果再次证实了房水节段性的造影模式,并且还可以观察到尽管使用恒压系统进行示踪剂输送,但在某些情况下观察到房水血管造影呈现出动态运动,并且频率与公布的非人类灵长类动物的平均心率相似。而在人类的活体实验中^[24],造影结果与非人类灵长类动物的实验结果十分相似。2019 年 Gottschalk 等^[25]在使用前段 OCT 进行 AHO 造影的基础上,进行了造影剂

的创新,运用脂质乳剂(LEs)作为候选 OCT 造影剂(包括牛奶和麻醉物质丙泊酚),并在离体猪眼上进行了实验,结果显示脂质乳剂在 OCT 及 OCTA 中均显示出了较强的造影信号,且所有的脂质乳剂都显示出比 BSS 明显更高的最大反射率,这项研究表明脂质乳剂所表现出特性,使它们成为可以用于 OCT 成像的造影剂。由于吲哚菁绿和荧光素钠染色剂已经体内和体外血管造影中使用,而对于脂质乳剂而言,是否可以应用于人眼中,这一点还有待研究。

对于 AHO 功能成像,房水血管造影现在也代表了评估 AHO 的新工具,但该技术作为一种侵入性的检查,仍然存在较大限制性:(1)造影剂直接注入前房,是否会造造成一定的损害;(2)作为有创的眼内操作,该技术仅能在手术室进行;(3)人为将造影剂注入前房,并予以一定压力对眼球进行灌注,是否会破坏房水的正常生理循环。该技术目前仍处于实验阶段。

4 AHO 造影显像在眼科中的应用

4.1 Schlemm 管术中造影术 近年来,随着恢复房水生理引流功能的青光眼微创手术(minimally invasive glaucoma surgeries, MIGS)的蓬勃发展,其应用也越来越广。为了更好地了解近端及远端的 AHO 的功能,探究出了术中 Schlemm 管内荧光素钠造影术^[26]。术中 Schlemm 管内荧光素钠造影术目前主要应用于术中评估远端房水流出的位置及范围。使用生理盐水将 10% 荧光素钠注射液稀释至浓度为 0.15%,再使用 10mL 注射器抽取稀释液 8~10mL 备用,作为术中使用的荧光素钠造影剂,最后将该注射器连接至微导管末端,使其充满整个微导管,再将微导管插入 Schlemm 管中 3mm 后,在钴蓝光下进行图像的采集确认,当荧光素钠造影剂出现在前房后,术者将微导管匀速送入 Schlemm 管内直至对侧 Schlemm 管断端穿出,过程中助手需以恒定的速度和力量推注造影剂。术后可根据图像记录有荧光素钠充盈的远端 AHO 的位置及范围。但该方法可通过术中但目前该方式仅适用于进行 Schlemm 管成形术和微导管引导的 360 度小梁切开术的开角型青光眼患者,作为临床中早期诊断青光眼,评估 Schlemm 管的形态学改变仍存在较大的局限性。

4.2 前段 OCT 在青光眼诊断中的应用 青光眼是一种进行性视神经病变,以视网膜节细胞(retinal ganglion cells, RGCs)凋亡、视神经萎缩以及视野缺损改变为主要特征,是目前仅次于白内障的导致视力丧失的不可逆性视盲的主要原因。随着 OCT 技术的发展成熟^[27],OCT 能够从横断面、前节、三维像上呈现视网膜结构,可测量中央角膜厚度、前房深度(anterior chamber depth, ACD)、房角结构、视网膜厚度、神经纤维层厚度、视盘的多种参数。欧洲青光眼学会指南指出,青光眼诊断应根据眼压、房角、视野、视盘及视神经纤维层及血流等检查结果^[28]。临床中目前检查房角开放情况的手段主要有房角镜和超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM)及前段 OCT。在一项使用 UBM 及 OCT 对 ACD 及房角解剖结构进行测量的研究中,前段 OCT 与 UBM 的测量值间存在差异,但差异较小^[29],对于房角明显关闭及宽房角者而言,两种检查的结果是一致的;但对于房角未闭且房角角度<35°,两种检测结果存在差异,但差异不具有统计学意义^[30]。由于 OCT 的扫描光波不能透过色素上皮这一特殊性质,所以无法形成睫状体完整的图像,仅能通过巩膜突成像推断房角开放情况,不能从解剖上清晰辨别各房角结构,也不能清楚地

了解 AHO 通畅程度,因此在日常的临床应用中,可应用前段 OCT 来进行人群的房角情况的初测。

5 小结

房水流出通畅是维持正常眼压的关键所在,房水流出途径中任一部位发生障碍,都可影响房水的生成与排出之间的平衡,主要表现为眼压的高低变化,而造成青光眼视神经损害主要因素就是高眼压。目前,对于 AHO 功能及结构的造影显像尚不成熟,需进一步对 AHO 结构及功能进行造影显像的研究,探究可成像并适用于人眼的造影剂,均有助于更好地理解 AHO 以及有助于阐明房水流出阻力增加的原因及机制。因此,寻找出一种适宜于观察 AHO 的影像学检查尤为重要,这对于改良抗青光眼的术式、研发减少房水流出阻力的药物、治疗疗效分析以及抗青光眼疗效评价,都具有非常重要的临床应用价值。

参考文献

- 1 张青蔚,李平余,王宁利.房水流出率测量方法及其影响因素.国际眼科纵览 2009;33(1):12-18
- 2 Swaminathan SS, Oh DJ, Kang MH, et al. Aqueous outflow: segmental and distal flow. *J Cataract Refract Surg* 2014;40(8):1263-1272
- 3 Saraswathy S, Tan JC, Yu F, et al. Aqueous Angiography: Real-Time and Physiologic Aqueous Humor Outflow Imaging. *PLoS One* 2016;11(1):e0147176
- 4 Tamm ER, Fuchshofer R. What increases outflow resistance in primary open-angle glaucoma? *Surv Ophthalmol* 2007;52(Suppl 2):S101-S104
- 5 Wiederholt M, Thieme H, Stumpff F. The regulation of trabecular meshwork and ciliary muscle contractility. *Prog Retin Eye Res* 2000;19(3):271-295
- 6 Zhang X, Ognibene CM, Clark AF, et al. Dexamethasone inhibition of trabecular meshwork cell phagocytosis and its modulation by glucocorticoid receptor beta. *Exp Eye Res* 2007;84(2):275-284
- 7 刘斌,叶纹.房水流出通路外流阻力的研究进展.国际眼科纵览 2009;33(2):97-101
- 8 Acott TS, Kelley MJ. Extracellular matrix in the trabecular meshwork. *Exp Eye Res* 2008;86(4):543-561
- 9 Carreras FJ, López Caballero JJ, Porcel D. A gel of glycosaminoglycans lining the anterior and posterior Chambers in man: histochemical evidence at light and electron microscopy levels. *Eye (Lond)* 1992;6(Pt 6):574-582
- 10 Johnson M. 'What controls aqueous humour outflow resistance?'. *Exp Eye Res* 2006;82(4):545-557
- 11 Johnson M, Chan D, Read AT, et al. The pore density in the inner wall endothelium of Schlemm's canal of glaucomatous eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43(9):2950-2955
- 12 Lee WD, Devarajan K, Chua J, et al. Optical coherence tomography angiography for the anterior segment. *Eye Vis (Lond)* 2019;6:4
- 13 Kagemann L, Wollstein G, Ishikawa H, et al. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(8):4054-4059

- 14 史国华,王飞,李喜琪,等.利用扫频光源光学相干层析成像技术的施氏管形态测量方法.激光与光电子学进展 2013;50(8):142-147
- 15 Nesterov AP. Role of the blockade of Schlemm's canal in pathogenesis of primary open-angle Glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1970;70(5):691-696
- 16 Huang AS, Belghith A, Dastiridou A, et al. Automated circumferential construction of first-order aqueous humor outflow pathways using spectral-domain optical coherence tomography. *J Biomed Opt* 2017;22(6):66010
- 17 Huang AS, Francis BA, Weinreb RN. Structural and functional imaging of aqueous humour outflow: a review. *Clin Exp Ophthalmol* 2018;46(2):158-168
- 18 Marvasti AH, Berry J, Sibug ME, et al. Anterior segment scleral fluorescein angiography in the evaluation of ciliary body neoplasm: two case reports. *Case Rep Ophthalmol* 2016;7(1):30-38
- 19 李士清,王志立,李萍,等.荧光素虹膜血管造影联合眼底血管造影在 DR 合并新生血管性青光眼中的应用.中华实验眼科杂志 2016;34(12):1112-1115
- 20 Huang AS, Saraswathy S, Dastiridou A, et al. Aqueous Angiography with Fluorescein and Indocyanine Green in Bovine Eyes. *Transl Vis Sci Technol* 2016;5(6):55
- 21 Huang AS, Saraswathy S, Dastiridou A, et al. Aqueous Angiography-Mediated Guidance of Trabecular Bypass Improves Angiographic Outflow in Human Enucleated Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016;57(11):4558-4565
- 22 Huang AS, Penteado RC, Papoyan V, et al. Aqueous angiographic outflow improvement after trabecular microbypass in Glaucoma patients. *Ophthalmol Glaucoma* 2019;2(1):11-21
- 23 Huang AS, Li M, Yang D, et al. Aqueous Angiography in Living Nonhuman Primates Shows Segmental, Pulsatile, and Dynamic Angiographic Aqueous Humor Outflow. *Ophthalmology* 2017;124(6):793-803
- 24 Huang AS, Penteado RC, Saha SK, et al. Fluorescein aqueous angiography in live normal human eyes. *J Glaucoma* 2018;27(11):957-964
- 25 Gottschalk HM, Wecker T, Khattab MH, et al. Lipid Emulsion-Based OCT Angiography for Ex Vivo Imaging of the Aqueous Outflow Tract. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019;60(1):397-406
- 26 王怀洲.术中 Schlemm 管内荧光素钠造影术专家共识.眼科 2017;26(2):77-78
- 27 王广美.频域 OCT 检测在开角型青光眼早期诊断中的应用.临床医药文献电子杂志 2019;6(24):159-162
- 28 原慧萍,马婧一. OCT 可取代标准化自动视野检查成为青光眼诊断和随访的新标准.中华眼科杂志 2019;5:333-334
- 29 方敏,王梅,蔡小于,等.原发性闭角型青光眼解剖结构的前段 OCT 测量.国际眼科杂志 2012;12(7):1257-1259
- 30 崔丽金,黄礼彬,徐国兴.UBM 和 OCT 检查房角的对比.临床眼科杂志 2016;24(6):543-545