

Значение гидродинамических блоков в патогенезе глаукомы у собак

С.А. Бояринов (s.boyarinov@mail.ru), ветеринарный врач-офтальмолог, аспирант кафедры биологии и патологии мелких домашних, лабораторных и экзотических животных; начальник лечебно-профилактического отдела СББЖ г. Пушкино. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина» (ФГБОУ ВО МГАВМиБ — МВА им. К.И. Скрябина) (109472, Москва, ул. Ак. К.И. Скрябина, д. 23).

Станция по борьбе с болезнями животных (141202, Московская область, г. Пушкино, Ярославское шоссе, д. 182).

Циркуляция внутриглазной жидкости обеспечивает нормальный уровень внутриглазного давления у собак, а также доставку питательных веществ и удаление продуктов метаболизма из интраокулярных структур. Помимо этого, водянистая влага обеспечивает прозрачность оптического аппарата и поддержание сферической формы глазного яблока. Нарушение циркуляции, то есть образования и утилизации внутриглазной жидкости, в результате различных патологических процессов, приводит к различным гидродинамическим нарушениям, отклонениям внутриглазного давления от толерантного уровня и развитию глаукомы.

Ключевые слова: внутриглазное давление, внутриглазная жидкость, гидродинамика, глаукома, офтальмотонус, собака, трабекулярная сеть

Сокращения: ВГД — внутриглазное давление, ВГЖ — внутриглазная жидкость, ОКТ — оптическая когерентная томография, ПУГ — постувеальная глаукома, УБМ — ультразвуковая биомикроскопия, УПК — угол передней камеры, ИСА — iridocorneal angle

Глазное яблоко животных и человека находится в состоянии постоянного тонуса, который обусловлен функционированием гидродинамической системы глаза. Эта система есть результат продукции, движения и оттока ВГЖ, а также баланса между этими процессами [9].

Офтальмотонус (ВГД) можно определить посредством тонометрии в базовом диагностическом исследовании у животных с патологиями органа зрения.

Закономерно, что нарушение функционального состояния гидродинамической системы глаза будет сказываться на ВГД, что служит важным диагностическим критерием таких патологий, как офтальмогипертензия или глаукома [2, 4]. Поэтому, чтобы успешно лечить или контролировать данную патологию, необходимо понимать сложные механизмы продукции и оттока ВГЖ, а также возможные изменения гидродинамики глаза, лежащие в основе патогенеза глаукомы [6].

Нормальная гидродинамика глаза собаки

Циркуляция ВГЖ обеспечивает нормальный уровень ВГД у собак, а также доставку питательных веществ и удаление продуктов метаболизма из интраокулярных структур (хрусталика, стекловидного тела, роговицы, камеры глаза и др.) [8]. Помимо этого, водянистая влага обеспечивает прозрачность оптического аппарата и поддержание сферической формы глазного яблока [9]. Нарушение циркуляции ВГЖ в результате различных патологических процессов, а также возрастных изменений, приводит к гидродинамическим нарушениям, изменению ВГД и развитию глаукомы [6, 29].

Нормальное движение водянистой влаги осуществляется из задней камеры глаза в переднюю через отверстие зрачка и, затем, по дренажному аппарату УПК в венозную систему глаза (рис. 1). Постоянная циркуляция обеспечивается за счет разницы давлений в полостях глаза [7, 9, 34].

По разным литературным данным, нормальное ВГД у собак варьируется от 10 до 25 мм рт. ст. и зависит от таких факторов, как положение тела и эмоциональное состояние животного. В работах Gelatt et al. (1981) отмечена суточная вариабельность ВГД: у собак в утренние часы офтальмотонус ниже, чем в вечерние на 2...4 мм рт. ст. [21], разница между левым и правым глазом одного и того же животного при тонометрии не должна превышать 5 мм рт.ст.

Внутриглазная жидкость. ВГЖ продуцируется беспигментным эпителием отростков цилиарного тела из плазмы крови с помощью активного процесса — секреции, а также пассивных процессов — ультрафильтрации и диффузии [40]. Секреция образует около 80...90 % всего объема влаги камеры глаза, а на пассивные процессы приходится 10...20 % [9, 43].

ВГЖ на 99 % состоит из воды, оставшуюся часть составляют хлор, карбонат, сульфат, фосфат, магний, натрий, калий, кальций, альбумины, глобулины, глюкоза, аскорбиновая и молочная кислоты, а также аминокислоты, ферменты, кислород и гиалуроновая кислота. Такой состав позволяет ВГЖ выполнять свои питательные функции для интраокулярных структур, вплоть до сетчатки [8].

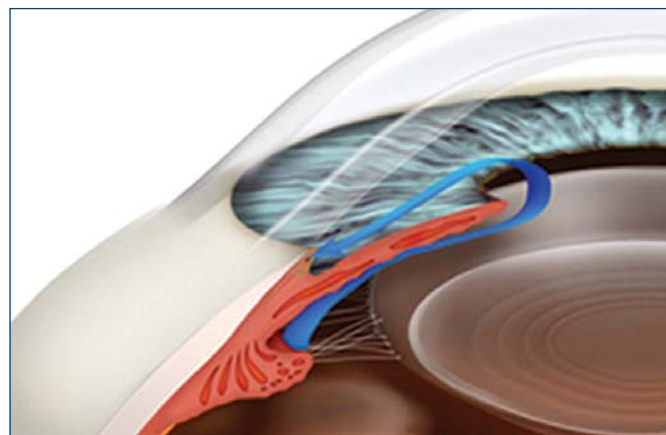


Рис. 1. Динамика ВГЖ (указано стрелкой) из задней камеры глаза через отверстие зрачка в переднюю, затем в дренажную систему УПК

Fig. 1. The dynamics of aqueous humor (indicated by arrow) of the posterior chamber of the eye through the pupil, and then into the drainage system of the ICA

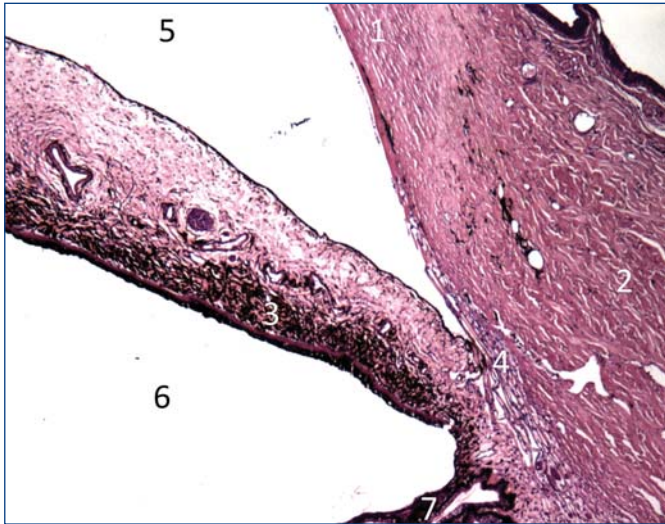


Рис. 2. Гистологический срез глаза собаки: 1 — роговица, 2 — склера, 3 — радужная оболочка, 4 — УПК, 5 — передняя камера, 6 — задняя камера глаза, 7 — цилиарное тело. Гематоксилин-эозин, х60

Fig. 2. Histology of dog's eye: 1 — cornea, 2 — sclera, 3 — iris, 4 — ICA, 5 — anterior chamber, 6 — posterior chamber, 7 — ciliary body. H&E, x60.

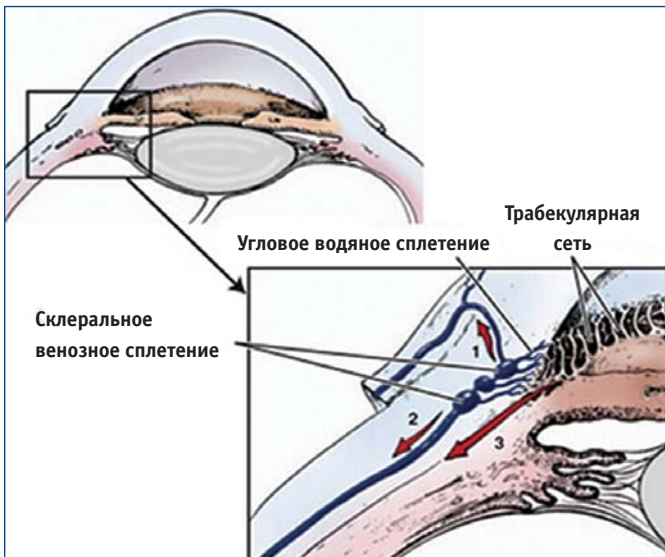


Рис. 3. Пути оттока ВГЖ в дренажной системе УПК глаза собаки: 1 — к эписклеральным и конъюнктивальным венам, 2 — к склеральному венозному сплетению и системе водяных вен, 3 — увеосклеральный путь оттока

Fig. 3. Pathways of outflow of aqueous humor in the drainage system of the ICA dog eyes: 1 — to the episcleral and conjunctival veins, 2 — into the scleral venous plexus and vortex venous system, 3 — uveoscleral outflow

Камеры глаза. Первичная секреция водянистой влаги происходит в заднюю камеру глаза, которая расположена позади радужной оболочки и ограничена хрусталиком, цилиарным и стекловидными телами. Из задней камеры ВГЖ через отверстие зрачка поступает в переднюю камеру глаза, которая расположена между внутренней поверхностью роговицы и передней поверхностью радужной оболочки [42, 43].

Основная функция камер глаза — это поддержание нормального взаимоотношения внутриглазных тканей, а также участие в проведении света до сетчатки и, кроме того, в преломлении световых лучей совместно с роговицей [30], что обеспечивается одинаковыми оптическими свойствами роговицы и ВГЖ.

Дренажная система глаза. Важной структурой передней камеры является ее периферическая часть, где корень радужной оболочки переходит в цилиарное тело, а роговица в склеру. Эта зона перехода образует УПК, через который осуществляется отток ВГЖ из передней камеры [15].

Дренажная система иридокорнеального угла представлена нитями гребенчатых связок, через которые водянистая влага из передней камеры поступает в цилиарную щель, содержащую трабекулярную сеть. После фильтрации между волокнами губчатой структуры сети ВГЖ попадает в узкое щелевидное пространство, угловое водяное сплетение [40]. Оттуда влага глазной камеры оттекает в эписклеральные и конъюнктивальные вены, а также в склеральные венозные сплетения, которые соединяются с системой вортикозных вен [22, 44]. Это основной путь оттока водянистой влаги, и на него приходится у собак 85 % всего объема ВГЖ. Остальная часть (15 %) выходит из глаза через дополнительный путь оттока — увеосклеральный, при этом влага поступает из УПК между цилиарным телом и хориоидеей, проходя вдоль мышечных волокон, и попадает в супрахориоидальное пространство, откуда оттекает непосредственно через склеру [13, 14, 37].

Жидкость, проходящая через трабекулы, выполняет еще одну важную функцию — промывает и очищает трабекулярный аппарат. В трабекулярную сеть поступают продукты распада клеток и пигментные частицы, форменные элементы крови, которые удаляются с током ВГЖ. Установлено, что мелкие частицы размером до 2...3 мкм задерживаются в трабекулярной сети частично, а более крупные — полностью. Известно, что нормальные эритроциты, диаметр которых 7...8 мкм, проходят через трабекулярный фильтр свободно. Это связано с эластичностью эритроцитов и их способностью проникать через поры диаметром 2...2,5 мкм. Вместе с тем измененные и потерявшие эластичность эритроциты, а также сформированные сгустки задерживаются трабекулярным фильтром [20].

Трабекулярный фильтр очищается от крупных частиц посредством фагоцитоза [36]. Фагоцитарная активность характерна для клеток трабекулярного эндотелия. Именно поэтому при интраокулярном воспалении и нарушении функции трабекулярного эндотелия снижается функция очищения ВГЖ от экссудата, фибрина и т. д.

Отток внутриглазной жидкости и закон Пуазейля. Трабекулярный аппарат представляет собой многослойный, самоочищающийся фильтр, обеспечивающий одностороннее движение жидкости и мелких частиц из передней камеры в склеральное сплетение. Сопротивление движению жидкости в трабекулярной системе в здоровых глазах в основном обуславливается индивидуальным уровнем ВГД и его относительным постоянством [34].

Дренажный аппарат глаза можно рассматривать как систему, состоящую из канальцев и пор. Ламинарное движение жидкости в такой системе подчиняется закону Пуазейля. В соответствии с этим законом, объемная скорость движения жидкости прямо пропорциональна разнице давлений в начальном и конечном пунктах движения. Закон Пуазейля положен в основу многих исследований по гидродинамике глаза. На этом законе основаны, в частности, все тонографические расчеты [23]. Между тем известно, что с повышением ВГД минутный объем водянистой влаги увеличивается в значительно меньшей мере, чем это следует из закона Пуазейля. Этот феномен можно объ-

яснить деформацией просветов водяных сплетений и трабекулярных щелей при повышении офтальмотонуса [35].

Баланс продукции и оттока внутриглазной жидкости. Полное обновление ВГЖ происходит приблизительно за 60...90 мин. Поэтому нормальный уровень ВГД — это результат баланса между выработкой водянистой влаги и ее оттоком. При нарушении этого баланса офтальмотонус начинает повышаться, что может привести к развитию глаукомы. Основным механизмом, провоцирующим развитие офтальмогипертензии, — это нарушение оттока ВГЖ. Только при снижении функции дренажной системы глаза на 80...90 % ВГД будет расти. Это говорит о значительных возможностях гидродинамической системы по регулированию уровня ВГД [7].

Если система оттока ВГЖ не справляется, и офтальмотонус растет, то запускаются компенсаторные механизмы, уменьшающие пассивную секрецию водянистой влаги. Активная секреция продолжается на нормальном уровне.

Некоторые процессы, а также лекарственные средства, такие как эпинефрин, способны увеличивать секрецию ВГЖ за счет стимуляции циклического аденозинмонофосфата, содержащегося в эпителии цилиарного тела.

Определенную роль в регуляции офтальмотонуса играет также радужная оболочка. Корень радужки связан с передней поверхностью цилиарного тела и увеальной трабекулой. При сужении зрачка корень радужки, а вместе с ним и трабекула натягиваются, трабекулярная диафрагма отходит кнутри, а трабекулярные щели и водяные сплетения расширяются, открывая пути оттока ВГЖ [33].

Изменение глубины передней камеры глаза также оказывает регулирующее влияние на отток водянистой влаги. Так, углубление камеры приводит к немедленному усилению оттока, а ее обмеление — к его задержке [41].

Гидродинамические блоки и их участие в развитии глаукомы

Несмотря на полиэтиологию глаукомы, а также различные клинические формы, в основе данного заболевания лежит нарушение гидродинамики глаза, что обуславливает повышение ВГД — пока единственного определенного фактора риска развития глаукомы у собак. Такие нарушения в циркуляции ВГЖ принято называть гидродинамическими блоками. Существуют несколько вариантов гидродинамических блоков: претрабекулярный (дисплазия гребенчатой связки, или гониодисгенез); блокада УПК; зрачковый, хрусталиковый, витреальный и склеральный блоки.

Претрабекулярный блок (дисплазия гребенчатой связки, или гониодисгенез). Развивается в результате задержки развития и дифференцирования УПК и дренажной системы в процессе эмбриогенеза [32]. Вследствие этого в радужно-роговичном углу сохраняется мезенхимальная ткань, а также значительная гребенчатая связка. Эти структуры препятствуют нормальному движению и фильтрации ВГЖ через дренажную систему УПК [31]. Такое нарушение приводит к повышению ВГД и развитию *первичной закрытоугольной глаукомы* у собак таких пород как, американский и английский кокер спаниели, чау-чау, бассет-хаунд и др. [12, 17, 19, 27, 28].

Блокада УПК. Патология развивается вследствие формирования прикорневой складки радужной оболочки. Такое состояние может возникнуть на глазах с узким УПК

в результате мидриаза (применение мидриатиков, темновая адаптация) или на глазах со зрачковым блоком и выпячиванием корня радужки [38]. Блокада УПК может быть связана с поствоспалительными изменениями — гониосинехиями, а также обструкцией трабекулярной сети и УПК воспалительным экссудатом, фибрином, пигментом, хрусталиковым веществом, что характерно для таких форм *вторичной глаукомы*, как ПУГ, *посттравматическая, пигментная, факолитическая* [2, 5, 25].

Зрачковый блок. Это результат плотного прилегания хрусталика к радужной оболочке, а также формирования между ними спаек — задних синехий. Сущность этого блока заключается в дисбалансе объемов и давления между передней и задней камерами в результате нарушения сообщения между ними. Повышение давления в задней камере смещает корень радужки кпереди, что приводит к блокаде УПК и повышению ВГД. Такая картина характера для *вторичной ПУГ*, когда зрачковый блок развивается в результате поствоспалительных спаек передней капсулы хрусталика и радужки (органический блок) [2, 3]. В развитии зрачкового блока значительная роль принадлежит набухающей катаракте и/или смещению (люксации) хрусталика [3, 10]. Так, при развитии *факоморфической формы вторичной глаукомы* увеличивается объем самого хрусталика и, как результат, увеличивается иридо-лентиккулярный контакт, а при *факотопической форме* возможно ущемление линзы в отверстии зрачка и развитие функционального зрачкового блока [5, 11].

Хрусталиковый блок. Это результат такого патологического состояния, как люксия линзы непосредственно в переднюю камеру глаза. Частичный или полный разрыв цинновых связок, удерживающих хрусталик в естественном положении, приводит к его нестабильности и сме-

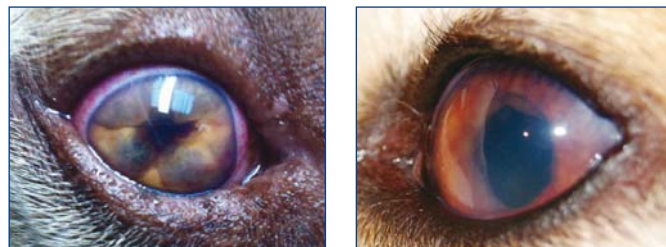


Рис. 4. Развитие вторичной ПУГ у двух собак в результате зрачкового блока (бомбаж радужной оболочки)

Fig. 4. The development of secondary uveal glaucoma in two dogs due to pupillary block (iris bombe)



Рис. 5. Зрачковый блок на фоне набухающей катаракты и, как следствие, развитие факоморфической формы вторичной факогенной глаукомы

Fig. 5. Pupillary block on the background of swelling cataract, as a consequence, the development of secondary phacomorphic form of lens-induced glaucoma

Рис. 6. Хрусталиковый блок в результате люксации линзы в переднюю камеру у собаки

Fig. 6. Lens block as a result of lens luxation into the anterior chamber in the dog

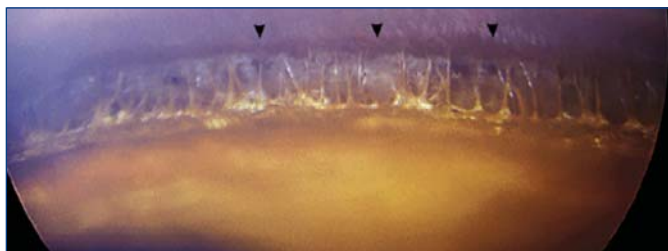


Рис. 7. Гониоскопическая картина УПК глаза собаки (указано стрелками). Четко видны нити гребенчатой связки

Fig. 7. Gonioscopic view of the ICA of a dog (indicated by arrows). Clearly visible of pectinate ligament strands

щению в переднюю камеру, блокаде УПК, нарушению циркуляции и оттока ВГЖ и росту офтальмотонуса [5, 11].

Витреальный блок. Он характеризуется смещением стекловидного тела вперед и, как следствие, закрытием им отверстия зрачка и/или иридо-корнеального угла. Различают передний витреальный блок — выпадение стекловидного тела в переднюю камеру глаза и возникновение грыжи блокирует зрачок и частично УПК; и задний витреальный блок — смещение вперед всего стекловидного тела с радужкой и задней капсулой хрусталика из-за нарушения оттока ВГЖ и скопления ее в ретровитреальном пространстве или в задних отделах стекловидного тела. Наиболее часто витреальные блоки развиваются у собак на афакичных глазах или при люксации хрусталика [1, 3, 5].

Склеральный блок. Является результатом разрастания соединительной ткани или новообразований в склере, что приводит к сдавливанию эписклеральных сосудов, по которым осуществляется отток ВГЖ из дренажной системы радужно-роговичного угла [22].

Диагностика нарушений гидродинамической системы глаза

Несмотря на важность понимания патогенеза глаукомы в результате нарушения циркуляции ВГЖ остается актуальным вопрос о возможностях диагностики этих нарушений.

На сегодняшний день в клинической ветеринарной офтальмологии применяют несколько диагностических исследований для выявления гидродинамических нарушений и визуализации структур, в частности, УПК.

Наиболее значимым и рутинным исследованием является гониоскопия. С помощью специальной линзы — гониоскопа — оценивают состояние УПК глаза (открытый, узкий или закрытый). Также можно обнаружить ряд патологических изменений: гониосинехии, наличие экссудата и пигмента, дистрофия трабекул, дисплазия гребенчатой связки (гониодисгенез) [24]. Иридокорнеальный угол исследуют, удерживая одной рукой линзу, а другой — щелевую лампу [16]. В ветеринарной офтальмологии в основном используют линзы Гольдмана, Краснова, Ван-Бойнингена, Barkan, Коерпе.

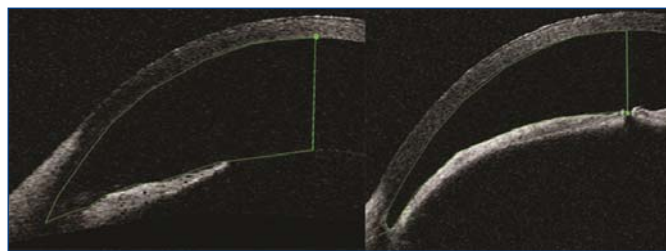


Рис. 8. ОКТ переднего отрезка глаза собаки. До применения аналогов простагландинов (слева) и после применения (справа) [41]

Fig. 8. OCT of anterior segment of the dog's eyes. Before applying prostaglandin analogues (left) and after use (right)

В последнее время в профильных ветеринарных офтальмологических клиниках начинают применять методы УБМ и ОКТ для диагностики глаукомы у собак. Данные виды исследования дают возможность детально визуализировать передний сегмент глаза на структурном уровне прижизненно, даже при нарушении прозрачности оптических сред.

При УБМ используют датчики с разрешением 50...80 МГц, что позволяет получить информацию о состоянии передней камеры глаза, в частности оценить ее глубину, определить структуру иридокорнеального угла, исследовать пути оттока ВГЖ [18, 24, 26].

При ОКТ переднего сегмента глаза удается бесконтактно измерить глубину и объем передней камеры, определить диаметр зрачка, размер и площадь углубления УПК, выявить показатель открытия угла и протяженность иридотрабекулярного контакта [41].

Чтобы определить колебания ВГД и диагностировать нарушения гидродинамической системы у собак, используют тонографию. Суть метода заключается в продленной тонометрии в течение 2...4 мин, что позволяет определить основные показатели динамики ВГЖ: коэффициент легкости оттока (С), минутный объем водянистой влаги (F). С помощью тонографии вычисляют объем ВГЖ, оттекающий за минуту из глаза, на каждый миллиметр ртутного столба фильтрующего давления, а также истинное ВГД [23,3 9].

Знание анатомо-физиологических особенностей гидродинамической системы глаза является базовым в понимании такой сложной и многоплановой патологии как глаукома. По нашему мнению, это имеет первостепенное значение в оценке возможностей лечения, прогнозе и исходе заболевания. Диагностические методы исследования УПК глаза, такие как гониоскопия, нужно использовать наряду с тонометрией и офтальмоскопией, не только при явной глаукоме, но и при исследовании собак, имеющих породную предрасположенность, еще до развития у них патологической нарушения циркуляции ВГЖ. Именно коррекция этих гидродинамических нарушений, будь то медикаментозная, хирургическая или лазерная, лежит в основе лечения глаукомы.

Библиографию см. на сайте издательства <http://logospress.ru/mdg>

ABSTRACT

S.A. Boyarinov.

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Scryabin (FGBOU VO MGAVMIB — MVA named after K.I. Scryabin) (109472, Moscow, Ac K.I. Scryabin str., 23).

Station on the Disease Control of the Animals (141202, MR, Pushkino, av. Yaroslaskoye, 182).

Importance of Hydrodynamic Blocks in Pathogenesis of Glaucoma in Dogs. The circulation of aqueous humor provides a normal level of intraocular pressure in dogs, as well as the delivery of nutrients and removal of metabolic products of intraocular structures. In addition, the aqueous humor ensures transparency of the optical system and maintaining the spherical shape of the eyeball. Violation of the circulation of intraocular fluid as a result of various pathological processes leads to hydrodynamic disturbances, increased intraocular pressure levels and the development of glaucoma.

Keywords: intraocular pressure, aqueous humor, hydrodynamics, glaucoma, ophthalmotonus, dog, trabecular meshwork.