

Анатомо-топографические особенности переднего и заднего сегментов глаза при ранних стадиях заболевания первичного закрытия угла

КУРЫШЕВА Н.И., д.м.н., профессор, заведующая кафедрой глазных болезней¹,
руководитель консультативно-диагностического отдела²;

ШАРОВА Г.А., заведующая диагностическим офтальмологическим отделением³.

¹Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ РФ «Федеральный биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Российская Федерация, Москва, ул. Живописная, 46, корп. 8;

²Центр офтальмологии ФМБА России, ФГБУ ГНЦ РФ «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА, 123098, Российская Федерация, Москва, ул. Гамалеи, 15;

³ООО «Глазная клиника доктора Беликовой», 105118, Российская Федерация, Москва, пр. Буденного, 26, корп. 2.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Курышева Н.И., Шарова Г.А. Анатомо-топографические особенности переднего и заднего сегментов глаза при ранних стадиях заболевания первичного закрытия угла. Национальный журнал глаукома. 2023; 22(1):42-53.

Резюме

ЦЕЛЬ. Определить анатомо-топографические особенности переднего и заднего сегментов глаза при первичном закрытии угла (ПЗУ) и сравнить их с таковыми при подозрении на первичное закрытие угла (ППЗУ) и в контроле.

МЕТОДЫ. Проспективное исследование включало 120 пациентов от 41 до 80 лет (60 глаз — ПЗУ, 30 — ППЗУ, 30 глаз — без офтальмопатологии). Исследуемые параметры включали: сферозэквивалент (СЭ), внутриглазное давление (ВГД), толщину хориоидеи в фовеоле (ТХф), аксиальную длину (АЛ), глубину передней камеры (АСД), высоту свода хрусталика (LV), кривизну радужки и ее толщину, профиль угла передней камеры (УПК): AOD500, AOD750, TISA500, TISA750.

РЕЗУЛЬТАТЫ. ППЗУ отличалась от контроля увеличенными СЭ, LV, ВГД, кривизной радужки, ТХф, уменьшенными АСД, АЛ, и профилем УПК (AOD500, AOD750, TISA500, TISA750) в вертикальных секторах (все $p < 0,01$), по толщине радужки группы были сопоставимы.

ПЗУ отличалась от ППЗУ увеличенными СЭ, LV, ВГД, уменьшенными АСД, АЛ, AOD500 в верхнем секторе и профилем УПК в нижнем секторе (все $p < 0,01$). Толщина радужки и ее кривизна, а также профиль УПК в верхнем секторе и ТХф были сопоставимы.

Определены пороговые значения, отличающие ППЗУ и ПЗУ: LV — 0,656 мм, AOD500 — 0,131 мм, TISA500 — 0,051 мм², TISA750 — 0,093 мм² в нижнем секторе, ВГД 21 мм рт.ст. В многофакторной модели с поправками на возраст, пол и АЛ установлена обратная взаимосвязь толщины радужки с ТХф как при ППЗУ, так и при ПЗУ (все $p < 0,01$), но не в контроле (все $p > 0,01$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Параметры ППЗУ достоверно отличаются от нормы. LV и профиль УПК в нижнем секторе наиболее информативны в дифференциальной диагностике ППЗУ и ПЗУ. Обратная взаимосвязь толщины радужки и хориоидеи позволяет предположить роль сосудистой оболочки в патогенезе ППЗУ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: первичное закрытие угла, подозрение на первичное закрытие угла, толщина радужки, толщина хориоидеи, SS-OCT.

Для контактов:

Шарова Галина Аркадьевна, e-mail: galina.shar@mail.ru

ORIGINAL ARTICLE

Anatomical and topographical characteristics of the eye in the early stages of primary angle closure disease

KURYSHEVA N.I., Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Academic Department of Ophthalmology¹, Head of the Consultative and Diagnostic Department²;

SHAROVA G.A., Head of the Diagnostic Ophthalmology Department³.

¹Medical Biological University of Innovations and Continuing Education of the Federal Biophysical Center named after A.I. Burnazyan, 46 Zhivopisnaya St., building 8, Moscow, Russian Federation, 123098;

²Ophthalmological Center of the Federal Medical-Biological Agency, Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan, 15 Gamalei St., Moscow, Russian Federation, 123098;

³ООО Глазная клиника доктора Беликовой, 26/2 Budenny Av., Moscow, Russian Federation, 105118.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Kuryшева N.I., Sharova G.A. Anatomical and topographical characteristics of the eye in the early stages of primary angle closure disease. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2023; 22(1):42-53.

Abstract

PURPOSE. To determine the anatomical and topographic features of the anterior and posterior segments of the eye in primary angle closure (PAC) and compare them with those in the primary angle closure suspects (PACs) and in controls.

METHODS. This prospective study included 120 patients aged 41 to 80 years (60 eyes — PAC, 30 — PACs, 30 eyes — without ophthalmic pathology). The studied parameters included spherical equivalent (SE), intraocular pressure (IOP), choroidal thickness in the fovea (CTf), axial length (AL), anterior chamber depth (ACD), lens volume (LV), iris curvature and its thickness, anterior chamber angle profile: AOD500, AOD750, TISA500, TISA750.

RESULTS. The PAC eyes differed from the control eyes by increased SE, LV, IOP, iris curvature, CTf, reduced ACD, AL, and the anterior chamber profile (AOD500, AOD750, TISA500, TISA750) in vertical sectors ($p < 0.01$). Iris thickness was comparable between the groups.

The PAC eyes differed from the PACs by increased SE, LV, IOP, reduced ACD, AL, AOD500 in the superior sector, and

the profile of the anterior chamber angle in the inferior sector ($p < 0.01$). Iris thickness, its curvature, as well as the profile of the anterior chamber in the upper sector and CTf were comparable.

Threshold values that distinguish the PAC eyes and the PACs were determined: LV — 0.656 mm, AOD500 — 0.131 mm, TISA500 — 0.051 mm², TISA750 — 0.093 mm² in the lower sector and IOP 21 mm Hg. In the multifactor model adjusted for age, gender and AL, a negative correlation of iris thickness with CTf was established both in the PAC eyes and the PACs (all $p < 0.01$), but not in the controls (all $p > 0.01$).

CONCLUSION. Parameters of the PAC eyes and the PACs significantly differ from the norm. LV and the anterior chamber profile in the inferior sector are the most informative for differentiating the PAC eyes from the PACs. Negative correlation between the iris and the choroidal thickness suggests that the choroid plays a role in the pathogenesis of primary angle closure disease.

KEYWORDS: primary angle closure, primary angle closure suspects, iris thickness, choroidal thickness, SS-OCT.

Первичная закрытоугольная глаукома (ЗПУГ) является одной из основных причин необратимой слепоты в мире. Количество больных ЗПУГ, по прогнозам Tham Y.C. и соавт., увеличится до 32,04 млн к 2040 году [1]. Лечение заболевания на ранних стадиях заболевания первичного закрытия угла передней камеры (ЗПУ), таких как подозрение на первичное закрытие угла (ППЗУ) и первичное закрытие угла (ПЗУ), позволяет приостановить дальнейшее развитие заболевания [2–4]. Таким образом, раннее выявление ЗПУ является ключевой задачей в офтальмологии. С этой целью

наиболее перспективно определение анатомо-топографических параметров — предикторов развития и прогрессирования ЗПУ [5, 6]. С развитием технологий визуализации структур глаза на оптической когерентной томографии (ОКТ) Swept Source диапазон изучаемых параметров расширился [7, 8]. Анализ биометрических особенностей ЗПУ посвящено достаточно много исследований [9–26]. В подавляющем большинстве случаев авторы изучают предикторы развития острого приступа ЗПУ, в то время как частота перехода начальных стадий ЗПУ в острый приступ составляет всего 0–1,2%

[27–29]. В литературе не так много исследований, сравнивающих две ранние стадии заболевания — ППЗУ и ПЗУ — между собой. На практике офтальмологу не всегда удается определить наличие гониосинехий, характерных для ПЗУ, а внутриглазное давление (ВГД) во время осмотра может иметь нормальные значения. Алгоритмы скрининга начальных стадий ЗПЗУ по данным ОКТ переднего отрезка глаза на сегодняшний день далеко не совершенны [30]. Поэтому выявление ключевых анатомо-топографических параметров и определение их пороговых значений, позволяющих дифференцировать ПЗУ от ППЗУ, имеет важное практическое значение. Необходимо подчеркнуть, что речь идет не только о параметрах переднего отрезка глаза. Для понимания патогенеза ЗПЗУ и динамики патологического процесса заслуживает внимания и такая структура, как хориоидея. Тем не менее, работ, направленных на выявление взаимосвязи между параметрами переднего и заднего отрезков, недостаточно [23]. В настоящем исследовании мы планируем выявить топографические особенности ранних стадий ЗПЗУ с помощью ОКТ Swept Source, определить их пороговые значения и проанализировать взаимосвязь между параметрами переднего и заднего отрезков глаза.

Цель: определить анатомо-топографические особенности переднего и заднего сегментов глаза при ПЗУ и сравнить их с таковыми при ППЗУ и в контроле.

Материал и методы

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами, заложенными Хельсинкской Декларацией и отраженными в правилах качественной клинической практики (GCP) и нормативных требованиях. Обследование включило в себя 151 пациента европеоидной расы в возрасте от 41 до 80 лет, обследованных с января 2019 по декабрь 2021 год.

Критерии включения: пациенты с ПЗУ, ППЗУ, лица без офтальмопатологии. В исследование включались пациенты с прозрачным хрусталиком либо с начальными помутнениями согласно классификации LOCS III (Lens Opacities Classification System) в ядре до NC2 (Nuclear Color/Opallescence) и/или в кортексе до C2 (Cortical) и/или вдоль задней капсулы до P2 (Posterior Subcapsular) на основании данных биомикроскопии [31].

Диагноз ПЗУ констатировали в случае закрытого угла передней камеры (УПК) глаза (если при гониоскопии задняя пигментированная часть трабекулярной сети не просматривалась более 180° при взгляде пациента прямо) без глаукомной оптической нейропатии (ГОН), но в сочетании с повышенным ВГД и/или периферическими передними гониосинехиями [2].

Критерии исключения: рефракционные нарушения высоких степеней, отсутствие устойчивой фиксации, диаметр зрачка меньше 3,0 мм в мезопических условиях, использование лекарственных препаратов, вызывающих сужение зрачка, наличие хронических системных аутоиммунных заболеваний, сахарного диабета, болезни Паркинсона, болезни Альцгеймера, деменции, отсутствие которых подтверждалось опросом, исследованием соматического статуса и анализом данных медицинской документации, хирургические операции на органе зрения, включая лазерные.

Всем пациентам выполнено: авторефрактометрия (авторефрактометр RT-5100 «NIDEK», Япония), визометрия (проектор знаков CP-770 «NIDEK», Япония), тонометрия (Ocular Response Analyzer, ORA, «Reichert», США), гониоскопия (гониолинза VG4LNF «VOLK», США), оптическая биометрия (AL-Scan, «NIDEK», Япония), статическая автоматическая периметрия (CAPI) (Humphrey Field Analyzer HFA-II 750i, «Carl Zeiss», Германия, программа SITA Standard 24-2), биомикроскопия (щелевая лампа SL 1800 «NIDEK», Япония), ОКТ заднего и переднего отрезка (Revo NX130 «Optopol», Польша).

Измерение роговично-компенсированного ВГД проводилось в период с 10:00 до 12:00. Гониоскопия выполнялась в темной комнате при взгляде пациента прямо, во всех квадрантах оценивалась степень открытия УПК по Шафферу. Для оценки наличия периферических передних гониосинехий выполнялась гониоскопия с компрессией. Определение наличия/отсутствия ГОН осуществлялось на основе данных CAPI, ОКТ и офтальмоскопии.

Измерение параметров передней камеры, описанных нами ранее [7] проводилось на оптическом когерентном томографе Swept Source с модулем для переднего сегмента глаза. Для аналитики использовались изображения с индексом уровня сигнала (QI) выше 8. Ширина поперечного горизонтального сканирования передней камеры в 16 мм обеспечивала расчет следующих параметров: глубины передней камеры (Anterior chamber depth, ACD), высоты свода хрусталика (Lens vault, LV), кривизны радужной оболочки (Iris curvature, ICurv), толщины радужки в 750 мкм от склеральной шпоры (Iris thickness, IT750) в назальном и темпоральном секторах. В режиме одиночного вертикального скана длиной 4 мм измерялись параметры верхнего и нижнего УПК: дистанция открытия УПК в 500 мкм от склеральной шпоры (AOD500), дистанция открытия УПК в 750 мкм от склеральной шпоры (AOD750), иридотрабекулярное пространство, ограниченное перпендикуляром к радужке от точек AOD500 и AOD750 (TISA500 и TISA750).

Исследование толщины хориоидеи в макуле осуществляли по ранее описанной методике [19]. Пациентам, получавшим гипотензивное лечение в группе ПЗУ, перед проведением ОКТ было рекомендовано

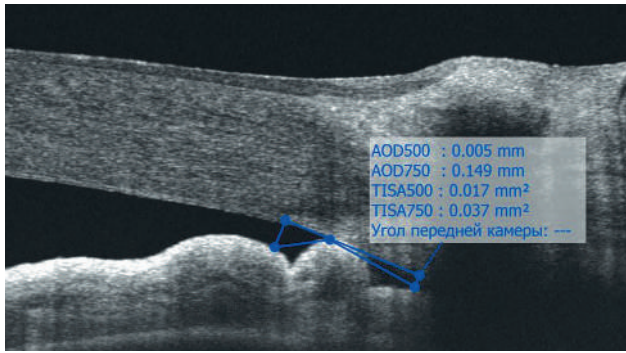


Рис. 1. Параметры угла передней камеры при первичном закрытии угла на ОКТ.

Fig. 1. Parameters of the anterior chamber angle in primary angle closure on OCT.

за неделю до планируемого обследования отказаться от закапывания гипотензивных капель (эффект «вымывания»).

Статистическая обработка полученных результатов проводилась на языке Python с использованием библиотек Scikit-learn и SciPy. Значение различных показателей как критериев дифференциальной диагностики двух начальных стадий ЗПЗУ определяли с помощью ROC-анализа (receiver operating characteristic, ROC). Для оценки характеристических (ROC) кривых рассчитывали площадь под ROC-кривой (area under the curve, AUC), которая может изменяться в диапазоне от 0,5 (полное отсутствие информативности показателя) до 1,0 (максимальная информативность). Также определяли оптимальную пороговую величину показателя (cut-off, «точку отсечения»), соответствующую максимальным уровням чувствительности и специфичности. Поскольку ряд параметров зависел от возраста, пола и осевой длины глаза (axial length, AL) обследуемых, была проведена их корректировка с учетом данных показателей на основе линейной регрессионной модели. В данной работе было выбрано критическое значение 0,01 для поиска высоко значимых различий.

Результаты

Из 151 пациента 31 был исключен из исследования (19 по причине невозможности идентификации склеральной шпоры на ОКТ, у 12 пациентов ОКТ-изображения были экранированы веком). Оставшиеся 120 пациентов были разделены на 4 группы. Первая группа (60 глаз) включала пациентов с ПЗУ, вторая (30 глаз) — с ППЗУ, третья (30 глаз) — группа контроля без офтальмопатологии.

Исследуемые группы статистически не различались по возрасту и полу (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что группа ПЗУ отличалась от ППЗУ увеличенными СЭ, LV, ВГД, уменьшенными ACD, AL, AOD500 в верхнем секторе и профилем

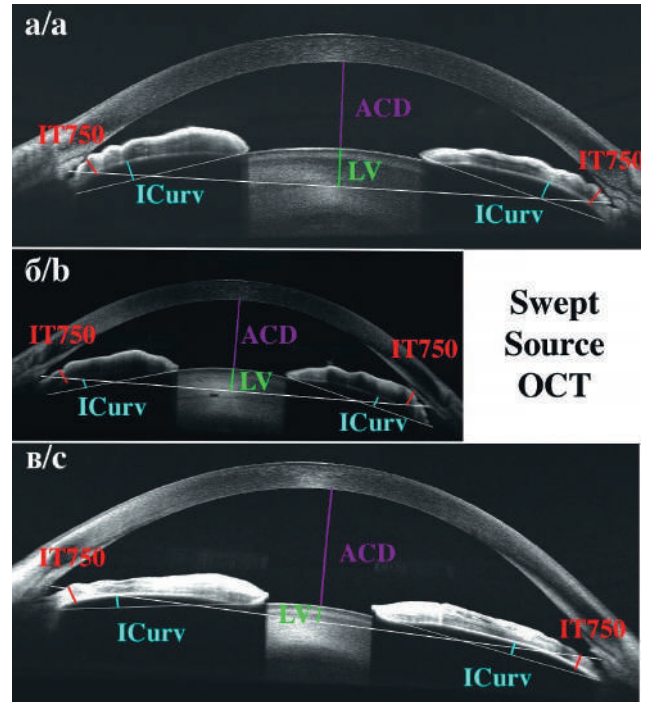


Рис. 2. Параметры передней камеры при ПЗУ, ППЗУ и в контроле.

Fig. 2. Parameters of the anterior chamber in PAC, PACS and controls.

Примечание: а — первичное закрытие угла; б — подозрение на первичное закрытие угла; в — контроль.

Note: а — primary angle closure; б — primary angle closure suspects; в — controls.

УПК (AOD500, AOD750, TISA500, TISA750) в нижнем секторе, в то время как IT750, ICurv, профиль УПК (AOD750, TISA500, TISA750) в верхнем секторе, а также ТХф были сопоставимы.

Группа ППЗУ отличалась от контроля увеличенными СЭ, LV, ВГД, ICurv, ТХф, уменьшенными ACD, AL, профилем УПК (AOD500, AOD750, TISA500, TISA750) в обоих секторах и толщине хориоидеи, а по толщине радужки группы были сопоставимы.

Пример визуализации профиля УПК при ПЗУ представлен на рис. 1.

Пример визуализации передней камеры при ПЗУ, ППЗУ и в контроле представлен на рис. 2.

При построении ROC-кривых было установлено, что наибольшие значения AUC имели следующие параметры, позволяющие дифференцировать ППЗУ и ПЗУ между собой: профиль УПК в нижнем секторе (для TISA500_270° AUC=0,999) и высота свода хрусталика (0,977). ROC-кривые для указанных параметров в сравнении с ACD и AL представлены на рисунке 3.

Для параметров с наиболее высокой дифференциально-диагностической значимостью (AUC>0,97) определены пороговые значения («точка отсечения», cut-off), представленные в табл. 2.

Таблица 1. Сравнительная характеристика участников исследования.

Table 1. Comparative characteristics of study patients.

| Параметры <i>Parameters</i> | Контроль <i>Control</i> (n=30) | AUC* p* | ППЗУ <i>PACs</i> (n=30) | AUC** p** | ПЗУ <i>PAC</i> (n=60) |
|---|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Возраст, годы / <i>Age, years</i> | 64,2 (8,5) | — | 63,7 (9,2) | — | 63,3 (10,7) |
| Пол, м/ж / <i>Gender, male/female</i> | 12/18 | — | 11/19 | — | 21/39 |
| ВГД, мм рт.ст. / <i>IOP, mm Hg</i> | 15,4 (1,7) | 0,721 0,001 | 16,9 (2,0) | 1 <0,001 | 24,57 (2,2) |
| СЭ, дптр / <i>SE, Diopters</i> | -0,05 (0,80) | 0,686 0,006 | 0,66 (1,09) | 0,729 0,002 | 1,59 (1,25) |
| AL, мм / <i>mm</i> | 23,48 (0,53) | 0,906 <0,001 | 22,62 (0,37) | 0,756 <0,001 | 22,04 (0,70) |
| AOD, мм / <i>mm</i> | 3,14 (0,18) | 0,990 <0,001 | 2,60 (0,13) | 0,771 <0,001 | 2,34 (0,27) |
| LV, мм / <i>mm</i> | 0,477 (0,078) | 0,811 <0,001 | 0,579 (0,070) | 0,977 <0,001 | 0,865 (0,138) |
| ICurv, назальный сектор, мм <i>Iris Curvature, ICurv nasal, mm</i> | 0,222 (0,062) | 0,697 0,004 | 0,280 (0,067) | — | 0,317 (0,81) |
| ICurv, темпоральный сектор, мм <i>Iris Curvature, ICurv temporal, mm</i> | 0,223 (0,061) | 0,695 0,004 | 0,279 (0,066) | — | 0,320 (0,82) |
| Толщина радужки в назальном секторе, мм <i>Iris Thickness nasal, IT750_N, mm</i> | 0,388 (0,020) | — | 0,391 (0,027) | — | 0,405 (0,046) |
| Толщина радужки в темпоральном секторе, мм <i>Iris Thickness temporal, IT750_T, mm</i> | 0,387 (0,021) | — | 0,390 (0,028) | — | 0,406 (0,047) |
| AOD500_90°, мм / <i>mm</i> | 0,369 (0,031) | 1 <0,001 | 0,078 (0,023) | 0,676 0,003 | 0,064 (0,018) |
| AOD750_90° мм / <i>mm</i> | 0,480 (0,082) | 1 <0,001 | 0,122 (0,034) | — | 0,117 (0,045) |
| TISA500_90°, мм ² / <i>mm²</i> | 0,136 (0,017) | 1 <0,001 | 0,029 (0,009) | — | 0,025 (0,005) |
| TISA750_90°, мм ² / <i>mm²</i> | 0,242 (0,024) | 1 <0,001 | 0,052 (0,016) | — | 0,048 (0,013) |
| AOD500_270°, мм / <i>mm</i> | 0,372 (0,030) | 1 <0,001 | 0,161 (0,026) | 0,996 <0,001 | 0,079 (0,030) |
| AOD750_270°, мм / <i>mm</i> | 0,479 (0,085) | 1 <0,001 | 0,240 (0,037) | 0,929 <0,001 | 0,134 (0,060) |
| TISA500_270°, мм ² / <i>mm²</i> | 0,137 (0,016) | 1 <0,001 | 0,058 (0,010) | 0,998 <0,001 | 0,029 (0,008) |
| TISA750_270°, мм ² / <i>mm²</i> | 0,241 (0,029) | 1 <0,001 | 0,109 (0,018) | 0,993 <0,001 | 0,055 (0,019) |
| ТХф, мкм / <i>CTf, μm</i> | 257 (37) | 0,904 <0,001 | 340 (51) | — | 342 (58) |

Примечание: приведены средние значения и стандартное отклонение (в скобках); ТХф — субфовеолярная толщина хориоидеи; * — площадь под ROC-кривой и p-value для односторонней альтернативы критерий Манна-Уитни-Уилкоксона между ППЗУ и контролем для всех параметров, различающихся на уровне значимости 0,01; ** — площадь под ROC-кривой и p-value для односторонней альтернативы критерий Манна-Уитни-Уилкоксона между ППЗУ и ПЗУ для всех параметров, различающихся на уровне значимости 0,01.

Note: the table shows mean values with standard deviation (in brackets); PACs — primary angle closure suspect; PAC — primary angle closure; CTf — subfoveal choroidal thickness; * — area under the ROC-curve and p-value for one-tailed alternative Mann-Whitney-Wilcoxon test between PACs and controls for all parameters differing at a significance level of 0.01; ** — area under the ROC-curve and p-value for one-sided alternative Mann-Whitney-Wilcoxon test between PACs and PAC for all parameters differing at a significance level of 0.01.

Таблица 2. Пороговые значения параметров, позволяющих дифференцировать больных с ПЗУ, ППЗУ и здоровых лиц.

Table 2. Threshold values for parameters distinguishing PAC, PACs and controls.

| Параметры Parameters | Пороговые значения / Cut-off | | |
|-------------------------------|--|--|--|
| | между контролем и ППЗУ between control and PACs | между ППЗУ и ПЗУ between PACs and PAC | между контролем и ПЗУ between control and PAC |
| ACD, мм | 2,795 | — | 2,767 |
| LV, мм | — | 0,656 | 0,606 |
| AOD500_90°, мм | 0,211 | — | 0,202 |
| AOD750_90° мм | 0,252 | — | 0,259 |
| TISA500_90°, мм ² | 0,078 | — | 0,073 |
| TISA750_90°, мм ² | 0,135 | — | 0,132 |
| AOD500_270°, мм | 0,256 | 0,131 | 0,217 |
| AOD750_270°, мм | 0,316 | — | 0,287 |
| TISA500_270°, мм ² | 0,094 | 0,051 | 0,078 |
| TISA750_270°, мм ² | 0,170 | 0,093 | 0,142 |
| ВГД, мм рт.ст. / IOP, mm Hg | — | 21 | 20,5 |

Note: PACs – primary angle closure suspect; PAC – primary angle closure.

Сравнительная характеристика высоты свода хрусталика и параметров угла передней камеры в нижнем секторе при ЗПЗУ и в контроле представлена на рис. 4.

Была исследована взаимосвязь между толщиной радужки и хориоидеи в совместной группе ППЗУ/ПЗУ и в контроле (табл. 3).

Однофакторная модель продемонстрировала прямую взаимосвязь толщины радужки с толщиной субфовеолярной хориоидеи во всех группах, но после поправки на возраст, пол и AL результаты изменились. В совместной группе ППЗУ/ПЗУ была выявлена обратная взаимосвязь ТХф с толщиной радужки в обоих секторах. В группе контроля прямая взаимосвязь, выявленная в однофакторной модели, не подтвердилась.

Обсуждение

Анатомические особенности ЗПЗУ изучали многие авторы [9–26], но в настоящем исследовании впервые определены пороговые значения параметров передней камеры глаза и УПК, отличающих не только начальные стадии ЗПЗУ от нормы, но и ППЗУ от ПЗУ. Кроме того, впервые показано, что LV является тем показателем, который наряду с параметром открытия УПК (TISA500_270°), позволяет максимально рано определить переход ППЗУ в ПЗУ. Последнее обстоятельство указывает на важную роль размеров и положения хрусталика уже на ранней фазе развития ЗПЗУ [32].

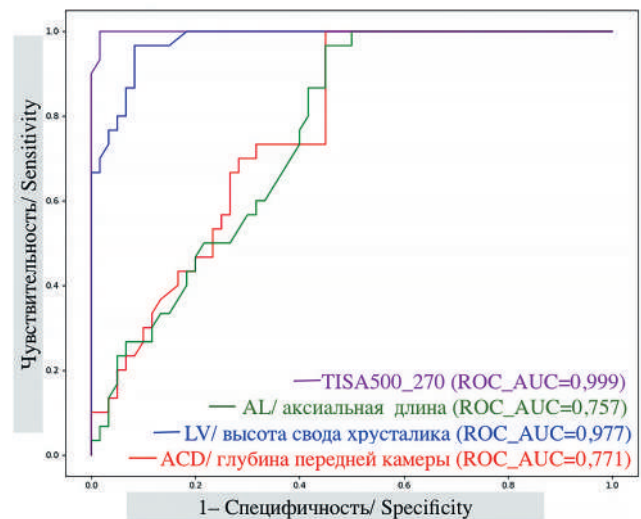


Рис. 3. ROC-кривые для параметров, позволяющих дифференцировать ПЗУ от ППЗУ.

Fig. 3. ROC-curves for parameters distinguishing PAC from PACs.

Мы предполагаем, что увеличение LV инициирует сужение УПК и повышение ВГД с трансформацией ППЗУ в ПЗУ [32]. Известно, что само по себе увеличение размеров хрусталика ассоциировано с развитием ЗПЗУ [9, 11, 20, 33, 34]. Некоторыми авторами даже введен специальный коэффициент LAF (Lens thickness/Axial length factor), позволяющий не только диагностировать ЗПЗУ, но и прогнозировать развитие приступа ПЗУТ [26]. С развитием

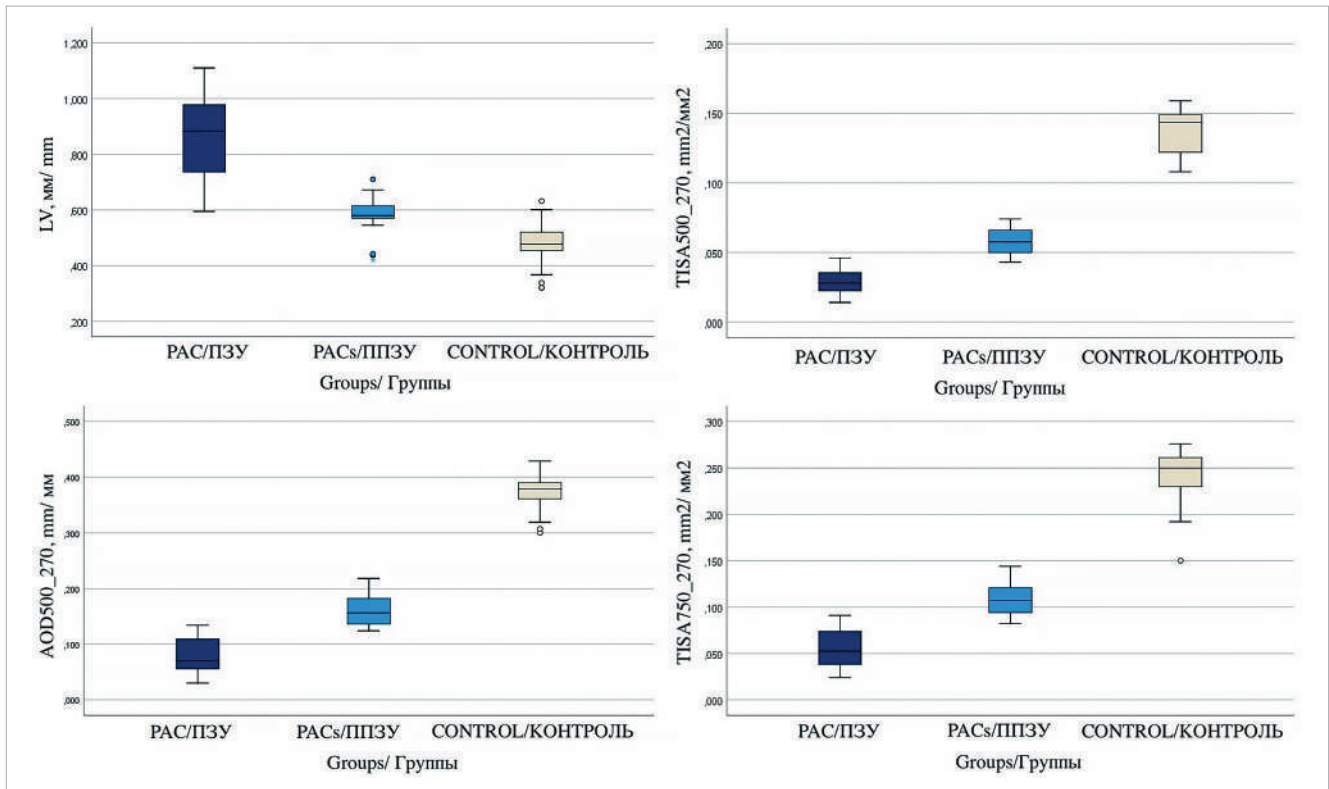


Рис. 4. Сравнительная характеристика LV и УПК в нижнем секторе при ЗПЗУ и в контроле.

Fig. 4. Comparative characteristics of LV and anterior chamber angle in the inferior sector in PAC and controls.

технологий визуализации путем ОКТ переднего и заднего отрезков глаза диапазон изучаемых параметров расширился. LV стало наиболее информативным параметром по сравнению с толщиной хрусталика, поскольку характеризует не только его размеры, но и положение относительно других структур переднего отрезка глаза. Известно, что LV объясняет почти 70% вариаций ширины передней камеры [35]. При ЗПЗУ LV увеличивается [14, 15, 18, 22, 36], что приводит к уменьшению размеров передней камеры, УПК и затруднению оттока внутриглазной жидкости, а согласно данным настоящего исследования, способствует также развитию гониосинехий, характерных уже для стадии ПЗУ. В исследовании Nongpiur ME и соавт. показано, что даже после поправки на возраст, пол, ACD, толщину хрусталика и ее отношение к AL, LV достоверно связана с закрытием УПК при ЗПЗУ [15]. Наибольшие показатели LV выявлены при остром приступе ПЗУ по сравнению с ППЗУ и ПЗУГ (соответственно, $p < 0,001$ и $p = 0,007$) [18].

В настоящем исследовании нами также определены пороговые значения параметров УПК, позволяющие дифференцировать ранние стадии ЗПЗУ от нормы. Хорошо известно, что развитие ЗПЗУ ассоциировано с узким УПК [12, 17, 18, 22, 24, 30], однако, знание конкретных параметров важно в практической работе офтальмологов, что повышает их настороженность в развитии и прогрессировании

ЗПЗУ. Подобные попытки предпринимались другими авторами, но в иных группах больных. Так, Melese E.K. и соавт. исследовали параметры УПК для определения пороговых значений окклюзионных углов в сравнении с открытыми, анализируя данные больных ПОУГ и ПЗУГ/ПЗУ/ППЗУ в сравнительном аспекте [24]. Высокую диагностическую ценность продемонстрировали AOD750 в нижнем секторе, а также иридотрабекулярный объем передней камеры в 500 и 750 мкм от склеральной шпоры. В отличие от указанной работы, мы сравнивали группы ППЗУ и ПЗУ с контролем и между собой и обнаружили, что размеры УПК при ЗПЗУ отличаются от таковых в контроле, а ПЗУ от ППЗУ имеет достоверное отличие в профиле УПК в нижнем секторе. Можно предположить, что сужение не только верхнего, но и нижнего отделов УПК приводит к повышению ВГД и переходу ППЗУ в ПЗУ. Мы намеренно исследовали вертикальные срезы УПК, так как они более надежны для диагностики ЗПЗУ [24].

Известно, что мелкая передняя камера относится к анатомическим особенностям ЗПЗУ наряду с короткой аксиальной длиной и гиперметропической рефракцией [9–12, 15, 16, 20, 22, 34, 37]. В нашем исследовании указанные параметры при ППЗУ, ПЗУ достоверно отличались от нормы (табл. 1), что согласуется с данными других авторов [16, 30, 34].

Таблица 3. Регрессионный анализ взаимоотношений толщины радужки и хориоидеи при начальных стадиях ЗПЗУ.

Table 3. Regression analysis of the relationship between the iris and the choroid in early stages of PAC disease.

| Группы | Однофакторная модель <i>Univariate model</i> | | Многофакторная модель* <i>Multivariate model*</i> | |
|---------------------|---|------------------|--|------------------|
| | β (95% ДИ / CI) | p | β (95% ДИ / CI) | p |
| IT750_N | | | | |
| Контроль / Controls | 110,1(34,59–185,74) | <0,001 | 17,07 (-19,73–53,89) | 0,1 |
| ППЗУ+ПЗУ / PACs+PAC | 81,9 (52,45–111,49) | <0,001 | -32,1 (-53,81...-10,41) | <0,001 |
| Общая** / Total** | 95,64 (62,5–128,77) | <0,001 | -18,4 (-40,2–3,26) | 0,13 |
| IT750_T | | | | |
| Контроль / Controls | 95,5 (35,98–178,78) | <0,001 | 29,2 (-5,18–63,67) | 0,013 |
| ППЗУ+ПЗУ / PACs+PAC | 81,1 (52,0–110,12) | <0,001 | -32,6 (-54,0...-11,3) | <0,001 |
| Общая** / Total** | 95,5 (63,26–127,84) | <0,001 | -16,9 (-38,3–4,42) | 0,02 |

Примечание: * — многофакторная модель с поправкой на возраст, пол и AL; ДИ — доверительный интервал; N — назальный сектор; T — темпоральный сектор; ** — контроль+ППЗУ+ПЗУ; p-value <0,01 принят за уровень достоверности и указан жирным шрифтом.

Note: * — multivariate model adjusted for age, gender and AL; CI — confidence interval; N — nasal sector; T — temporal sector; ** — control+PACs+PAC; p<0.01 is taken as the confidence level and is indicated in bold.

Мы также получили достоверные отличия обследованных групп больных по СЭ, что подчеркивает роль гиперметропической рефракции как фактора риска прогрессирования ЗПЗУ и подтверждается другими авторами [30, 37]. Так, в исследовании Lavanua R. показано, что при ЗПЗУ среднее значение рефракции составило 1,5 дптр, без ЗПЗУ — 0,5 дптр ($p<0,01$) [37]. Тем не менее, мы обратили внимание на то, что СЭ не является тем параметром, по которому можно было бы полностью отличить глаза с ППЗУ и ПЗУ от нормы (пороговые значения для этого параметра не определены). Это согласуется с данными литературы об отсутствии единого мнения о роли рефракции в развитии ЗПЗУ [38–41]. Yong KL. и соавт., оценивая AL, СЭ и ACD при ЗПЗУ, зафиксировали миопию у четверти пациентов [38]. В выводах авторы рекомендовали практикующим врачам не забывать о развитии ПЗУГ при близорукости, что подтверждается и другими исследованиями [39]. Mohamed-Noor J. и соавт., также оценивая эти же параметры при ЗПЗУ, зафиксировали более мелкую переднюю камеру среди лиц с миопией и не обнаружили статистической разницы в AL между лицами с миопией и гиперметропией [40]. Авторы пришли к выводу, что ПЗУГ может развиваться как при миопии, так и при гиперметропии. В исследовании Van Romunde SH. и соавт. о роли рефракции в развитии закрытого угла и ПЗУГ оказалось, что только ACD, но не AL или СЭ, являлась значимым предиктором ЗПЗУ [41].

Отдельный фрагмент настоящей работы посвящен исследованию толщины радужной оболочки и хориоидеи. Данный аспект интересовал многих авторов [13, 19, 21, 23–25, 42–48]. Тем не менее, взаимосвязь указанных параметров изучена лишь в одном исследовании. Huang W. и соавт. обнаружили обратную взаимосвязь между толщиной радужки и хориоидеи в макуле при ППЗУ/ПЗУ/ПЗУГ, но не в контроле [23]. Наши данные с применением многофакторного анализа подтвердили эту находку. Возможно, данный феномен можно объяснить единой системой кровоснабжения радужки и хориоидеи из глазной артерии. При увеличении сопротивления кровотоку в длинной задней цилиарной артерии происходит усиление кровотока в задней короткой цилиарной артерии с последующим расширением питаемой ею сосудистой оболочки.

Мы не выявили достоверного увеличения IT750 при ППЗУ и ПЗУ, хотя средние значения IT750 при ЗПЗУ увеличивались от стадии к стадии по сравнению с контролем (табл. 1). Вопрос о толщине радужки при ЗПЗУ в настоящий момент дискутируется [23, 42, 49]. Sihota R. и соавт. констатировали истончение радужки у индийцев с острым приступом ПЗУГ в анамнезе по данным УБМ [49]. Huang W. и соавт. выявили увеличение IT750 при ППЗУ/ПЗУ, но не при ПЗУГ [23]. Авторы объяснили этот факт наличием более высокого ВГД в группе ПЗУГ, послужившим причиной уменьшения со временем

исходно увеличенной толщины радужки. Wang B.S. и соавт. также выявили взаимосвязь увеличенной толщины радужки с ЗПЗУ, но, в отличие от нашего исследования, всем участникам до проведения ОКТ переднего отрезка глаза была выполнена периферическая лазерная иридотомия [42], что могло повлиять на результат исследования. Кроме того, расхождения, возможно, связаны с разными этническими особенностями радужки у европеоидов и китайцев [50].

Мы выявили достоверное увеличение ТХф при ЗПЗУ относительно контрольной группы, что подтверждается нашими предыдущими исследованиями [19, 32] и согласуется с другими авторами [21, 43, 44, 46, 47]. Однако и в этом вопросе остаются противоречия [51–54]. Gao K. и соавт. не обнаружили различий в ТХф у пациентов с ПОУГ с теми, у кого имеется ЗПЗУ, а также у здоровых лиц [51]. Nata M. и соавт., выполняя темновой провокационный тест на глазах с ПЗУ, наблюдали истончение сосудистой оболочки с удлинением AL в ответ на повышение ВГД [52]. Song W. и соавт. обнаружили, что толщина хориоидеи в макуле и перипапиллярной области были значительно меньше в глазах с острым приступом закрытия УПК и высоким ВГД, чем в парных глазах с нормальным ВГД [53]. Ряд исследователей не подтверждают значимых различий в субфовеальной и перипапиллярной толщиной хориоидеи между пациентами с глаукомой и здоровыми лицами [54].

Таким образом, изменения радужки и хориоидеи при ЗПЗУ требуют дальнейшего изучения. Будущие исследования в этом направлении могли

бы прояснить, почему в некоторых глазах возникает приступ закрытия УПК [55], а в других — нет.

Ограничения данной работы включают небольшой размер выборки (120 глаз), обусловленный сложной задачей визуализации склеральной шпоры при сочетании закрытого УПК и *arcus senilis* роговицы, как следствие — исключение части изображений из исследования. Вторым ограничением является ручной режим измерения толщины хориоидеи. Кроме того, мы не оценивали динамические параметры радужки, связанные с диаметром зрачка, которые играют важную роль в патогенезе ЗПЗУ [25, 56, 57].

Таким образом, анатомические параметры глаза при начальных стадиях ЗПЗУ достоверно отличаются между собой, что подчеркивает ведущую роль топографо-анатомических нарушений в патогенезе данного заболевания. Пороговые значения LV и профиля УПК в нижнем секторе отличаются ППЗУ и ПЗУ и указывают на важную роль хрусталикового механизма блокады УПК у пациентов пресбиопического возраста. Кроме того, обратная взаимосвязь параметров радужки и хориоидеи предполагает участие сосудистой оболочки в патогенезе ЗПЗУ.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Курышева Н.И., Шарова Г.А.

Сбор и обработка материала: Шарова Г.А.

Статистическая обработка: Шарова Г.А.

Написание статьи: Курышева Н.И., Шарова Г.А.

Редактирование: Курышева Н.И., Шарова Г.А.

Литература

1. Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., Quigley H.A., Aung T., Cheng C.Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014; 121(11):2081-2090. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013>
2. Foster P.J., Buhrmann R., Quigley H.A., Johnson G.J. The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys. *Br J Ophthalmol* 2002; 86(2):238-242. <https://doi.org/10.1136/bjo.86.2.238>
3. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Эффективность лазерной иридотомии при подозрении на первичное закрытие угла и при первичном закрытоугольной глаукоме. *The EYE ГЛАЗ* 2022; 24(1):20-33. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2022-1-20-33>
4. Курышева Н.И., Шарова Г.А., Некрасова Е.Ю. Обоснование раннего удаления хрусталика в лечении заболевания первичного закрытия угла передней камеры. *Национальный журнал глаукома* 2022; 21(2):51-66.
5. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Первичный закрытый угол передней камеры: прогрессирование от подозрения до глаукомы. Часть 1. Частота и скорость перехода от подозрения на первичный закрытый угол в истинно закрытый угол и первичную закрытоугольную глаукому. *Вестник офтальмологии* 2022; 138(4):101-107. <https://doi.org/10.17116/oftalma2022138041101>
6. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Первичный закрытый угол передней камеры: прогрессирование от подозрения до глаукомы. Часть 2. Предикторы первичного закрытого угла. *Вестник офтальмологии* 2022; 138(4):108-116. <https://doi.org/10.17116/oftalma2022138041108>

References

1. Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., Quigley H.A., Aung T., Cheng C.Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014; 121(11):2081-2090. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013>
2. Foster P.J., Buhrmann R., Quigley H.A., Johnson G.J. The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys. *Br J Ophthalmol* 2002; 86(2):238-242. <https://doi.org/10.1136/bjo.86.2.238>
3. Kuryseva N.I., Sharova G.A. Efficacy of laser iridotomy in primary angle closure suspects and primary angle closure glaucoma. *The EYE GLAZ* 2022; 24(1):20-33. <https://doi.org/10.33791/2222-4408-2022-1-20-33>
4. Kuryseva N.I., Sharova G.A., Nekrasova E.Y. Rationale for early lens extraction in the treatment of primary angle closure disease. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2022; 21(2):51-66. (In Russ)
5. Kuryseva NI, Sharova GA. Primary anterior chamber angle closure: progression from suspect to glaucoma. Part 1. Frequency and rate of transition from suspected primary angle closure to true angle closure and primary angle closure glaucoma. *Vestnik oftal'mologii* 2022; 138(4):101-107. <https://doi.org/10.17116/oftalma2022138041101>
6. Kuryseva NI, Sharova GA. Primary anterior chamber angle closure: progression from suspect to glaucoma. Part 2. Predictors of primary angle closure. *Vestnik Oftalmologii* 2022; 138(4):108-116. <https://doi.org/10.17116/oftalma2022138041108>

7. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Роль оптической когерентной томографии в диагностике заболеваний закрытого угла передней камеры. Часть 1: Визуализация переднего сегмента глаза. *Офтальмология* 2021; 18(2):208-215. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-2-208-215>
8. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Роль оптической когерентной томографии в диагностике заболеваний закрытого угла передней камеры. Часть 2: Визуализация заднего сегмента глаза. *Офтальмология* 2021; 18(3):381-388. <https://doi.org/10.1136/bjo.54.3.161>
9. Lowe RF. Aetiology of the anatomical basis for primary angle-closure glaucoma. Biometrical comparisons between normal eyes and eyes with primary angle-closure glaucoma. *Br J Ophthalmol* 1970; 54:161-169. <https://doi.org/10.1136/bjo.54.3.161>
10. Alsbirk PH. Primary angle-closure glaucoma. Oculometry, epidemiology, and genetics in a high risk population. *Acta Ophthalmol Suppl* 1976; 127:5-31.
11. Sihota R, Lakshmaiah NC, Agarwal HC, Pandey RM, Titiyal JS. Ocular parameters in the subgroups of angle closure glaucoma. *Clin Experiment Ophthalmol* 2000; 28:253-258. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9071.2000.00324.x>
12. Егорова Э.В., Бессарабов А.Н., Узунян Д.Г., Саруханян А.А. Анатомо-топографические особенности глаз при различных видах рефракции и их изменения при глаукоме по результатам ультразвуковой биомикроскопии. *Глаукома* 2006; 2:17-23.
13. Wang B, Sakata LM, Friedman DS, Chan YH, He M, Lavanya R, et al. Quantitative iris parameters and association with narrow angles. *Ophthalmology* 2010; 117:11-17. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.017>
14. Nongpiur ME, Sakata LM, Friedman DS, et al. Novel association of smaller anterior chamber width with angle closure in Singaporeans. *Ophthalmology* 2010; 117(10):1967-1973. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.02.007>
15. Nongpiur ME, He M, Amerasinghe N, et al. Lens vault, thickness, and position in Chinese subjects with angle closure. *Ophthalmology* 2011; 118(3):474-479. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.025>
16. Wu RY, Nongpiur ME, He MG, Sakata LM, Friedman DS, Chan YH, Lavanya R, Wong TY, Aung T. Association of narrow angles with anterior chamber area and volume measured with anterior-segment optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2011; 129(5):569-574. <https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2011.68>
17. Guzman CP, Gong T, Nongpiur ME, Perera SA, How AC, Lee HK, et al. Anterior segment optical coherence tomography parameters in subtypes of primary angle closure. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54:5281-5286. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12285>
18. Moghimi S, Vahedian Z, Fakhraie G, Ghaffari R, Eslami Y, Jabarvand M, et al. Ocular biometry in the subtypes of angle closure: An anterior segment optical coherence tomography study. *Am J Ophthalmol* 2013; 155:664-673. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2012.10.014>
19. Курышева Н.И., Бояринцева М.А., Фомин А.В. Хориоидея при первичной закрытоугольной глаукоме: результаты исследования методом оптической когерентной томографии. *Офтальмология* 2013; 10(4):26-31. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2013-4-26-31>
20. Сорокин Е.Л., Марченко А.Н., Данилов О.В. Роль и клиническое значение фактоморфического компонента в формировании первичной закрытоугольной глаукомы при утолщенной форме хрусталика (к вопросу о генезе закрытоугольной глаукомы). *Сообщения 1. Офтальмохирургия* 2014; 1:53-59.
21. Huang W, Wang W, Gao X, Li X, Li Z, Zhou M, et al. Choroidal thickness in the subtypes of angle closure: An EDI-OCT study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54:7849-7853. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-13158>
22. Huang W, Li X, Gao X, Zhang X. Anterior and posterior segment structural features of acute primary angle-closure eyes: data based on AS-OCT and SS-OCT. *Ann Eye Sci* 2020; 5:35. <https://doi.org/10.21037/aes-20-87>
23. Huang W, Li X, Gao X, Zhang X. The anterior and posterior biometric characteristics in primary angle-closure disease: Data based on anterior segment optical coherence tomography and swept-source optical coherence tomography. *Indian J Ophthalmol* 2021; 69(4):865-870. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_936_20
7. Kuryshva N.I., Sharova G.A. The Role of Optical Coherence Tomography in the Diagnosis of Angle Closed Diseases of the Anterior Chamber. Part 1: Visualization of the Anterior Segment of the Eye. *Ophthalmology in Russia* 2021; 18(2):208-215. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-2-208-215>
8. Kuryshva N.I., Sharova G.A. The Role of Optical Coherence Tomography in the Diagnosis of Angle Closed Diseases of the Anterior Chamber. Part 2: Visualization of the Posterior Segment of the Eye. *Ophthalmology in Russia* 2021; 18(3):381-388. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3-381-388>
9. Lowe RF. Aetiology of the anatomical basis for primary angle-closure glaucoma. Biometrical comparisons between normal eyes and eyes with primary angle-closure glaucoma. *Br J Ophthalmol* 1970; 54:161-169. <https://doi.org/10.1136/bjo.54.3.161>
10. Alsbirk PH. Primary angle-closure glaucoma. Oculometry, epidemiology, and genetics in a high risk population. *Acta Ophthalmol Suppl* 1976; 127:5-31.
11. Sihota R, Lakshmaiah NC, Agarwal HC, Pandey RM, Titiyal JS. Ocular parameters in the subgroups of angle closure glaucoma. *Clin Experiment Ophthalmol* 2000; 28:253-258. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9071.2000.00324.x>
12. Egorova E`V., Bessarabov A.N., Uzunyan D.G., Saruxanyan A.A. Anatomical and topographic features of eyes in different refraction and their alteration in glaucoma according to ultrasound biomicroscopy. *Glaukoma* 2006; 2:17-23.
13. Wang B, Sakata LM, Friedman DS, Chan YH, He M, Lavanya R, et al. Quantitative iris parameters and association with narrow angles. *Ophthalmology* 2010; 117:11-17. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.017>
14. Nongpiur ME, Sakata LM, Friedman DS, et al. Novel association of smaller anterior chamber width with angle closure in Singaporeans. *Ophthalmology* 2010; 117(10):1967-1973. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.02.007>
15. Nongpiur ME, He M, Amerasinghe N, et al. Lens vault, thickness, and position in Chinese subjects with angle closure. *Ophthalmology* 2011; 118(3):474-479. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.025>
16. Wu RY, Nongpiur ME, He MG, Sakata LM, Friedman DS, Chan YH, Lavanya R, Wong TY, Aung T. Association of narrow angles with anterior chamber area and volume measured with anterior-segment optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2011; 129(5):569-574. <https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2011.68>
17. Guzman CP, Gong T, Nongpiur ME, Perera SA, How AC, Lee HK, et al. Anterior segment optical coherence tomography parameters in subtypes of primary angle closure. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54:5281-5286. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12285>
18. Moghimi S, Vahedian Z, Fakhraie G, Ghaffari R, Eslami Y, Jabarvand M, et al. Ocular biometry in the subtypes of angle closure: An anterior segment optical coherence tomography study. *Am J Ophthalmol* 2013; 155:664-673. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2012.10.014>
19. Kuryshva N.I., Boyarinceva M.A., Fomin A.V. Choroidal thickness in primary angle-closure glaucoma: the results of Measurement by Means of Optical Coherence Tomography. *Ophthalmology in Russia* 2013; 10(4):26-31. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2013-4-26-31>
20. Sorokin E.L., Marchenko A.N., Danilov O.V. Role and clinical value of phacomorphic component in formation of primary closed-angle glaucoma in case of a thickened lens form (towards a problem of genesis of closed-angle glaucoma). Report 1. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery* 2014; 1:53-59.
21. Huang W, Wang W, Gao X, Li X, Li Z, Zhou M, et al. Choroidal thickness in the subtypes of angle closure: An EDI-OCT study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54:7849-7853. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-13158>
22. Huang W, Li X, Gao X, Zhang X. Anterior and posterior segment structural features of acute primary angle-closure eyes: data based on AS-OCT and SS-OCT. *Ann Eye Sci* 2020; 5:35. <https://doi.org/10.21037/aes-20-87>
23. Huang W, Li X, Gao X, Zhang X. The anterior and posterior biometric characteristics in primary angle-closure disease: Data based on anterior segment optical coherence tomography and swept-source optical coherence tomography. *Indian J Ophthalmol* 2021; 69(4):865-870. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_936_20

24. Melese E.K., Chan J.D., Blieden L.S., Chuang A.Z., Baker L.A., Bell N.P., Feldman R.M. Determination and validation of thresholds of anterior chamber parameters by dedicated anterior segment optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2016; 169:208-217. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2016.06.032>
25. Panda SK, Tan RKY, Tun TA, et al. Changes in iris stiffness and permeability in primary angle closure glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62(13):29. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.13.29>
26. Коленко О.В., Сорокин Е.Л., Пашенцев Я.Е., Марченко А.Н., Самохвалов Н.В. Биометрические факторы риска возникновения острого приступа глаукомы. *Национальный журнал глаукома* 2022; 21(2):3-9. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2022-21-2-3-9>
27. Zhang Y, Thomas R, Zhang Q, Li SZ, Wang NL. Progression of primary angle closure suspect to primary angle closure and associated risk factors: The Handan Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62(7):2. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.7.2>
28. Thomas R, George R, Parikh R, Muliyl J, Jacob A. Five year risk of progression of primary angle closure suspects to primary angle closure: A population based study. *Br J Ophthalmol* 2003; 87(4):450-454. <https://doi.org/10.1136/bjo.87.4.450>
29. Ye T, Yu Q, Peng S, et al. Six year follow-up of suspects of primary angle-closure glaucoma. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 1998; 34(3):167-169.
30. Zhang Y, Zhang Q, Li L, Thomas R, Li SZ, He MG, Wang NL. Establishment and comparison of algorithms for detection of primary angle closure suspect based on static and dynamic anterior segment parameters. *Transl Vis Sci Technol* 2020; 9(5):16. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.5.16>
31. Chylack LT Jr, Wolfe JK, Singer DM, et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol* 1993; 111(6):831-836. <https://doi.org/10.1001/archoph.1993.01090060119035>
32. Курышева Н.И., Шарова Г.А., Беликова Е.И. Исследование роли хориоидеи и хрусталика в развитии первичного закрытия угла передней камеры. *Национальный журнал глаукома* 2022; 21(1):3-13.
33. Курышева Н.И., Лепешкина Л.В., Шаталова Е.О. Сравнительное исследование факторов, ассоциированных с прогрессированием первичной открытоугольной и закрытоугольной глаукомы. *Вестник офтальмологии* 2020; 136(2):64-72. <https://doi.org/10.17116/oftalma202013602164>
34. George R, Paul PG, Baskaran M, et al. Ocular biometry in occludable angles and angle closure glaucoma: a population based survey. *Br J Ophthalmol* 2003; 87(4):399-402. <https://doi.org/10.1136/bjo.87.4.399>
35. Foo LL, Nongpiur ME, Allen JC, et al. Determinants of angle width in Chinese Singaporeans. *Ophthalmology* 2012; 119(2):278-282. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.07.049>
36. Tan GS, He M, Zhao W, Sakata LM, Li J, Nongpiur ME, Lavanya R, Friedman DS, Aung T. Determinants of lens vault and association with narrow angles in patients from Singapore. *Am J Ophthalmol* 2012; 154(1):39-46. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2012.01.015>
37. Lavanya R, Wong TY, Friedman DS, et al. Determinants of angle closure in older Singaporeans. *Arch Ophthalmol* 2008; 126(5):686-691. <https://doi.org/10.1001/archoph.126.5.686>
38. Yong KL, Gong T, Nongpiur ME, How AC, Lee HK, Cheng L, Perera SA, Aung T. Myopia in asian subjects with primary angle closure: implications for glaucoma trends in East Asia. *Ophthalmology* 2014; 121(8):1566-1571. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.02.006>
39. Barkana Y, Shihadeh W, Oliveira C, Tello C, Liebmann JM, Ritch R. Angle closure in highly myopic eyes. *Ophthalmology* 2006; 113(2):247-254. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2005.10.006>
40. Mohamed-Noor J, Abd-Salam D. Refractive errors and biometry of primary angle-closure disease in a mixed Malaysian population. *Int J Ophthalmol* 2017; 10(8):1246-1250. <https://doi.org/10.18240/ijo.2017.08.10>
41. van Romunde SH, Thepass G, Lemij HG. Is Hyperopia an Important Risk Factor for PACG in the Dutch Population? A Case Control Study. *J Ophthalmol* 2013; 2013:630481. <https://doi.org/10.1155/2013/630481>
42. Wang BS, Narayanaswamy A, Amerasinghe N, et al. Increased iris thickness and association with primary angle closure glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2011; 95(1):46-50. <https://doi.org/10.1136/bjo.2009.178129>
24. Melese E.K., Chan J.D., Blieden L.S., Chuang A.Z., Baker L.A., Bell N.P., Feldman R.M. Determination and validation of thresholds of anterior chamber parameters by dedicated anterior segment optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2016; 169:208-217. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2016.06.032>
25. Panda SK, Tan RKY, Tun TA, et al. Changes in iris stiffness and permeability in primary angle closure glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62(13):29. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.13.29>
26. Kolenko O.V., Sorokin E.L., Pashentsev Ya.E., Marchenko A.N., Samokhvalov N.V. Biometric risk factors for acute glaucoma attack. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2022; 21(2):3-9. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2022-21-2-3-9>
27. Zhang Y, Thomas R, Zhang Q, Li SZ, Wang NL. Progression of primary angle closure suspect to primary angle closure and associated risk factors: The Handan Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62(7):2. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.7.2>
28. Thomas R, George R, Parikh R, Muliyl J, Jacob A. Five year risk of progression of primary angle closure suspects to primary angle closure: A population based study. *Br J Ophthalmol* 2003; 87(4):450-454. <https://doi.org/10.1136/bjo.87.4.450>
29. Ye T, Yu Q, Peng S, et al. Six year follow-up of suspects of primary angle-closure glaucoma. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 1998; 34(3):167-169.
30. Zhang Y, Zhang Q, Li L, Thomas R, Li SZ, He MG, Wang NL. Establishment and comparison of algorithms for detection of primary angle closure suspect based on static and dynamic anterior segment parameters. *Transl Vis Sci Technol* 2020; 9(5):16. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.5.16>
31. Chylack LT Jr, Wolfe JK, Singer DM, et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol* 1993; 111(6):831-836. <https://doi.org/10.1001/archoph.1993.01090060119035>
32. Kuryshva N.I., Sharova G.A., Belikova E. I. Studying the role of the choroid and lens in the development of primary anterior chamber angle closure. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2022; 21(1):3-13. (In Russ.)
33. Kuryshva NI, Lepeshkina LV, Shatalova EO. Comparative study of factors associated with the progression of primary open-angle and angle-closure glaucoma. *Vestnik Oftalmologii* 2020; 136(2):64-72. <https://doi.org/10.17116/oftalma202013602164>
34. George R, Paul PG, Baskaran M, et al. Ocular biometry in occludable angles and angle closure glaucoma: a population based survey. *Br J Ophthalmol* 2003; 87(4):399-402. <https://doi.org/10.1136/bjo.87.4.399>
35. Foo LL, Nongpiur ME, Allen JC, et al. Determinants of angle width in Chinese Singaporeans. *Ophthalmology* 2012; 119(2):278-282. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.07.049>
36. Tan GS, He M, Zhao W, Sakata LM, Li J, Nongpiur ME, Lavanya R, Friedman DS, Aung T. Determinants of lens vault and association with narrow angles in patients from Singapore. *Am J Ophthalmol* 2012; 154(1):39-46. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2012.01.015>
37. Lavanya R, Wong TY, Friedman DS, et al. Determinants of angle closure in older Singaporeans. *Arch Ophthalmol* 2008; 126(5):686-691. <https://doi.org/10.1001/archoph.126.5.686>
38. Yong KL, Gong T, Nongpiur ME, How AC, Lee HK, Cheng L, Perera SA, Aung T. Myopia in asian subjects with primary angle closure: implications for glaucoma trends in East Asia. *Ophthalmology* 2014; 121(8):1566-1571. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.02.006>
39. Barkana Y, Shihadeh W, Oliveira C, Tello C, Liebmann JM, Ritch R. Angle closure in highly myopic eyes. *Ophthalmology* 2006; 113(2):247-254. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2005.10.006>
40. Mohamed-Noor J, Abd-Salam D. Refractive errors and biometry of primary angle-closure disease in a mixed Malaysian population. *Int J Ophthalmol* 2017; 10(8):1246-1250. <https://doi.org/10.18240/ijo.2017.08.10>
41. van Romunde SH, Thepass G, Lemij HG. Is Hyperopia an Important Risk Factor for PACG in the Dutch Population? A Case Control Study. *J Ophthalmol* 2013; 2013:630481. <https://doi.org/10.1155/2013/630481>
42. Wang BS, Narayanaswamy A, Amerasinghe N, et al. Increased iris thickness and association with primary angle closure glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2011; 95(1):46-50. <https://doi.org/10.1136/bjo.2009.178129>

43. Zhou M., Wang W., Huang W., Gao X., Li Z., Li X., Zhang X. Is increased choroidal thickness association with primary angle closure? *Acta Ophthalmol* 2014; 92(7):e514-e520. <https://doi.org/10.1111/aos.12403>
44. Arora K.S., Jefferys J.L., Maul E.A., Quigley H.A. Choroidal Thickness Increase Is Different among Angle-Closure Versus Open-Angle Eyes but Does Not Explain IOP Rise after Water Drinking. *ARVO Meeting Abstracts* 2012; 53(6):4173.
45. Zhou M., Wang W., Ding X., Huang W., Chen S., Laties A.M., Zhang X. Choroidal thickness in fellow eyes of patients with acute primary angle-closure measured by enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(3): 1971-1978. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-11090>
46. Nguyen DT, Giocanti-Aurégan A, Benhatchi N, et al. Increased choroidal thickness in primary angle closure measured by swept-source optical coherence tomography in Caucasian population. *Int Ophthalmol* 2020; 40(1):195-203. <https://doi.org/10.1007/s10792-019-01171-z>
47. Li F, Huo Y, Ma L, et al. Clinical observation of macular choroidal thickness in primary chronic angle-closure glaucoma. *Int Ophthalmol* 2021; 41(12):4217-4223. <https://doi.org/10.1007/s10792-021-01988-7>
48. Wang W., Zhou M., Huang W., Chen S., Ding X., Zhang X. Does acute primary angle-closure cause an increased choroidal thickness? *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(5):3538-3545. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-11728>
49. Sihota R, Dada T, Gupta R, et al. Ultrasound biomicroscopy in the subtypes of primary angle closure glaucoma. *J Glaucoma* 2005; 14:387e91.
50. Wang YE, Li Y, Wang D, He M, Lin S. Comparison of factors associated with occludable angle between american Caucasians and ethnic Chinese. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(12):7717-7723. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12850>
51. Gao K, Li F, Li Y, et al. Anterior Choroidal Thickness Increased in Primary Open-Angle Glaucoma and Primary Angle-Closure Disease Eyes Evidenced by Ultrasound Biomicroscopy and SS-OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018; 59(3):1270-1277. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-23037>
52. Hata M, Hirose F, Oishi A, Hirami Y, Kurimoto Y. Changes in choroidal thickness and optical axial length accompanying intraocular pressure increase. *Jpn J Ophthalmol* 2012;56(6):564-568. <https://doi.org/10.1007/s10384-012-0173-0>
53. Song W, Huang P, Dong X, Li X, Zhang C. Choroidal thickness decreased in acute primary angle closure attacks with elevated intraocular pressure. *Curr Eye Res* 2016; 41(4):526-531. <https://doi.org/10.3109/02713683.2015.1037002>
54. Zhang C, Tatham AJ, Medeiros FA, Zangwill LM, Yang Z, Weinreb RN. Assessment of choroidal thickness in healthy and glaucomatous eyes using swept source optical coherence tomography. *PLoS One* 2014; 9(10):e109683. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109683>
55. Zhang X, Wang W, Aung T, Jonas JB, Wang N. Choroidal physiology and primary angle closure disease. *Surv Ophthalmol* 2015; 60(6):547-556. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2015.06.005>
56. Aptel F, Chiquet C, Beccat S, Denis P. Biometric evaluation of anterior chamber changes after physiologic pupil dilation using Pentacam and anterior segment optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012; 53(7):4005-4010. <https://doi.org/10.1167/iovs.11-9387>
57. Воронин Г.В., Эль-Сангахави А.А., Аветисов К.С., Ярцев В. Д., Нарбут М.Н. Динамические биометрические показатели структур переднего сегмента глаза при первичной закрытоугольной глаукоме. *Офтальмология* 2021; 18(3):470-475. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3-470-475>
43. Zhou M., Wang W., Huang W., Gao X., Li Z., Li X., Zhang X. Is increased choroidal thickness association with primary angle closure? *Acta Ophthalmol* 2014; 92(7):e514-e520. <https://doi.org/10.1111/aos.12403>
44. Arora K.S., Jefferys J.L., Maul E.A., Quigley H.A. Choroidal Thickness Increase Is Different among Angle-Closure Versus Open-Angle Eyes but Does Not Explain IOP Rise after Water Drinking. *ARVO Meeting Abstracts* 2012; 53(6):4173.
45. Zhou M., Wang W., Ding X., Huang W., Chen S., Laties A.M., Zhang X. Choroidal thickness in fellow eyes of patients with acute primary angle-closure measured by enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(3): 1971-1978. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-11090>
46. Nguyen DT, Giocanti-Aurégan A, Benhatchi N, et al. Increased choroidal thickness in primary angle closure measured by swept-source optical coherence tomography in Caucasian population. *Int Ophthalmol* 2020; 40(1):195-203. <https://doi.org/10.1007/s10792-019-01171-z>
47. Li F, Huo Y, Ma L, et al. Clinical observation of macular choroidal thickness in primary chronic angle-closure glaucoma. *Int Ophthalmol* 2021; 41(12):4217-4223. <https://doi.org/10.1007/s10792-021-01988-7>
48. Wang W., Zhou M., Huang W., Chen S., Ding X., Zhang X. Does acute primary angle-closure cause an increased choroidal thickness? *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(5):3538-3545. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-11728>
49. Sihota R, Dada T, Gupta R, et al. Ultrasound biomicroscopy in the subtypes of primary angle closure glaucoma. *J Glaucoma* 2005; 14:387e91.
50. Wang YE, Li Y, Wang D, He M, Lin S. Comparison of factors associated with occludable angle between american Caucasians and ethnic Chinese. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(12):7717-7723. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12850>
51. Gao K, Li F, Li Y, et al. Anterior Choroidal Thickness Increased in Primary Open-Angle Glaucoma and Primary Angle-Closure Disease Eyes Evidenced by Ultrasound Biomicroscopy and SS-OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018; 59(3):1270-1277. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-23037>
52. Hata M, Hirose F, Oishi A, Hirami Y, Kurimoto Y. Changes in choroidal thickness and optical axial length accompanying intraocular pressure increase. *Jpn J Ophthalmol* 2012;56(6):564-568. <https://doi.org/10.1007/s10384-012-0173-0>
53. Song W, Huang P, Dong X, Li X, Zhang C. Choroidal thickness decreased in acute primary angle closure attacks with elevated intraocular pressure. *Curr Eye Res* 2016; 41(4):526-531. <https://doi.org/10.3109/02713683.2015.1037002>
54. Zhang C, Tatham AJ, Medeiros FA, Zangwill LM, Yang Z, Weinreb RN. Assessment of choroidal thickness in healthy and glaucomatous eyes using swept source optical coherence tomography. *PLoS One* 2014; 9(10):e109683. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109683>
55. Zhang X, Wang W, Aung T, Jonas JB, Wang N. Choroidal physiology and primary angle closure disease. *Surv Ophthalmol* 2015; 60(6):547-556. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2015.06.005>
56. Aptel F, Chiquet C, Beccat S, Denis P. Biometric evaluation of anterior chamber changes after physiologic pupil dilation using Pentacam and anterior segment optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012; 53(7):4005-4010. <https://doi.org/10.1167/iovs.11-9387>
57. Voronin G.V., El-Sangahawi A.A., Avetisov K.S., Yartsev V.D., Narbut M.N. Dynamic Biometric Indicators of the Anterior Segment Structure of the Eye in Primary Angle-Closure Glaucoma. *Ophthalmology in Russia* 2021; 18(3):470-475. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3-470-475>