

Инновационные технологии в мониторинге возрастной катаракты



Т.Н. Киселева



М.С. Зайцев

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Садовая-Черногрозская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(4):740–745

Обзор литературы посвящен современным высокотехнологичным инструментальным методам исследования хрусталика, внедрение которых в клиническую офтальмологическую практику необходимо для повышения эффективности диагностики и лечения катаракты. Для субъективной оценки катаракты в соответствии с классификацией LOCS III используют биомикроскопию и регистрацию изображений хрусталика в отраженном свете с ретроиллюминацией. В последние годы практическую значимость приобретают объективные методы исследования хрусталика, которые позволяют наиболее точно определять ранние возрастные изменения хрусталика с количественной оценкой степени выраженности помутнений. К ним относятся оптические и ультразвуковые методы. Оптические методы включают денситометрию с использованием Шеймпflug-камеры и компьютерных программ для определения локализации помутнений и скорости их прогрессирования, а также анализ распределения волнового фронта aberrаций в зависимости от степени выраженности катаракты с определением объективного индекса светорассеяния (OSI), используя диагностическую систему double-pass technology. Оптическим методом количественной оценки помутнений хрусталика является измерение aberrаций оптической системы глаза с использованием датчика волнового фронта Шэна — Гартмана для выявления различных стадий ядерных помутнений (N-тип) соответственно категориям классификации LOCS III, обладающего высокой информативностью при ядерной катаракте. Новая технология Swept source — оптическая когерентная томография (SS-OCT) с переменной длиной волны и высокочастотным детектором — позволяет проводить денситометрию помутнений в кортикальных слоях и ядре хрусталика с функцией картирования изображения помутнений в микро- и макромасштабе. Среди методов эхографии наиболее информативной в оценке возрастных изменений хрусталика и определении его акустической плотности является ультразвуковая биомикроскопия (УЗБМ). Современные высокоинформативные методы количественной оценки оптической плотности хрусталика становятся необходимыми для определения показаний к своевременному хирургическому вмешательству, выбора оптимальных режимов фактоэмульсификации и предотвращения интраоперационных осложнений. Высокотехнологичные оптические методы мониторинга катаракты позволили установить в ряде клинических исследований эффективность коррекции начальных возрастных помутнений хрусталика при использовании 0,005 % раствора пиреноксина.

Ключевые слова: возрастная катаракта, хрусталик, оптические методы, Шеймпflug-камера, объективный индекс светорассеяния, оптическая плотность, оптическая когерентная томография, ультразвуковая биомикроскопия, акустическая плотность

Для цитирования: Киселева Т.Н., Зайцев М.С. Инновационные технологии в мониторинге возрастной катаракты. *Офтальмология*. 2022;19(4):740–745. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-4-740-745>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует



Innovative Technologies in the Monitoring of the Age-Related Cataract

T.N. Hiseleva, M.S. Zaitsev

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(4):740–745

Literature review is devoted to modern high-technology instrumental methods of the lens evaluation, which have been developed to improve efficiency of the diagnostics and management of cataract in ophthalmological clinical practice. The slit-lamp examination of lens and retroillumination images are used for subjective assessment of cataract according to LOCS III grading system. Currently objective methods of lens evaluation have practical value and provide information about early age-related changes of crystalline lens with the quantitative assessment of the severity of opacities including the optical and ultrasound examinations. Optical methods include densitometry using Scheimpflug images obtained from applications to quantify the localization of lens opacities and their progression rate. Another method is the intensity distribution analysis of the wave front of the optical aberrations according to grading cataract severity with the objective scatter index (OSI) obtained by double-pass technology. Moreover the optical quantitative assessment of lens opacities is carried out by the Shack—Hartmann wave front sensor to identify the grade of nuclear opalescence (N-type) with the Lens Opacities Classification System III. This method is very helpful in nuclear cataract. Swept source optical coherent tomography (SS-OCT) with variable length of wave and high frequency detector is used for the density measurements of nuclear and cortical opacities of lens imaging in micro- and macro dimensional scale. Ultrasound biomicroscopy is the most informative ultrasonic diagnostic method for the evaluation of acoustic density and early age-related changes of lens. Current high- informative methods of quantitative assessment of the optical density of lens are helpful in determination of indications for surgery, the optimization of phacoemulsification settings and prevention of intraoperative complications. The use of high-technologic methods demonstrated the effectiveness of eye drops 0,005 % pirenixine in early lens opacities management.

Keywords: age-related cataract, lens, optical methods, Scheimpflug images, objective scatter index, optical coherent tomography ultrasound biomicroscopy acoustic density

For citation: Hiseleva T.N., Zaitsev M.S. Innovative Technologies in the Monitoring of the Age-Related Cataract. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(4):740–745. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-4-740-745>

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests

Одной из самых распространенных причин излечимой слепоты в мире является катаракта, составляющая по данным ВОЗ 47 % от общего числа заболеваний глаз. В настоящее время вследствие высокой распространенности катаракта рассматривается как важнейшая медико-социальная проблема. По прогнозам отдела народонаселения ООН к 2025 году около 50 миллионов лиц старше 60 лет будут страдать катарактой различной степени выраженности. При этом прослеживается тенденция к увеличению числа пациентов трудоспособного возраста (до 55 лет) [1]. Учитывая социальную значимость этой патологии и значительный рост заболеваемости в мире, разработка и внедрение новых высокотехнологичных методов ранней диагностики и лечения катаракты остаются актуальными на сегодня.

Известно, что незначительные возрастные помутнения хрусталика могут приводить к зрительным расстройствам даже при нормальной остроте зрения [2]. Раннее выявление таких изменений имеет практическое значение, например для определения оптимального срока проведения операции по поводу катаракты, когда зрительные нарушения еще не влияют на повседневную жизнедеятельность. Поэтому до сих пор продолжается поиск и внедрение в клиническую офтальмологическую практику новых инструментальных технологий для повышения эффективности диагностики и мониторинга катаракты. Прежде всего это относится

к разработке классификаций на основе субъективной и объективной оценки помутнений хрусталика. Однако единого мнения в отношении определения наиболее адекватной техники оценки степени выраженности катаракты не существует.

Первая группа методов исследования катаракты основана на анализе биомикроскопических изображений хрусталика с помощью щелевой лампы, что позволило разработать в 1993 году классификацию помутнений хрусталика LOCS III (The Lens Opacities Classification System III) [3]. Суть метода заключается в проведении анализа 6 изображений цвета ядра хрусталика (nuclear color — NC; 0,1–6,9) и степени его помутнений (nuclear opalescence — NO; 0,1–6,9), полученных в результате биомикроскопии, а также 5 изображений помутнений кортикальных слоев (cortical opacity — C; 0,1–5,9) и 5 видов задних субкапсулярных помутнений хрусталика (subcapsular opacity — P; 0,1–5,9) в отраженном свете с ретроиллюминацией. Этот метод нашел клиническое применение для оценки плотности ядра хрусталика при подборе энергетических параметров в ходе фактоэмульсификации катаракты [4, 5].

В катарактальной хирургии для субъективной количественной оценки степени плотности катаракты исследователи сравнивают полученные снимки со стандартными фотографиями помутнений хрусталика и представляют плотность ядра в цифровом выражении

T.N. Hiseleva, M.S. Zaitsev

Contact information: Zaitsev Maksim S. zaitsev1549@yandex.ru

Innovative Technologies in the Monitoring of the Age-Related Cataract

741

от 0,5 до 6,0 и более. Согласно системе LOCS III определяют степень плотности ядра в дооперационном периоде и различают мягкую катаракту (NC 1–3), катаракту средней плотности (NC 4–5), и плотную (NC 6,0 и более) [6, 7].

Безусловно, метод биомикроскопии является простым инструментальным методом исследования и позволяет оценить различные проявления возрастных изменений хрусталика, включая цвет, интенсивность помутнений и вид катаракты, которые представляют собой субъективные клинические критерии [5]. Однако при более выраженной катаракте помутнения бурого или перламутрового цвета могут визуализироваться лишь в передних слоях хрусталика. Кроме того, получение изображений на щелевой лампе связано с обратным рассеянием света, хотя прямое светорассеяние приводит к ухудшению ретинального изображения у пациентов с катарактой [2]. С другой стороны, прямое и обратное светорассеяние кристаллинами хрусталика зависит от вида катаракты, что вызывает трудности интерпретации результатов биомикроскопического исследования для оценки негативного влияния катаракты на зрительные функции.

Поэтому в клинической офтальмологической практике необходимы объективные высокоинформативные критерии количественной оценки прозрачности хрусталика для определения тактики ведения пациента и показаний к хирургическому лечению, а также выбору параметров акустической энергии при факоэмульсификации и оценки эффективности воздействия медикаментозных средств.

Исследования, основанные на объективном анализе изображений при динамическом рассеянии света кристаллинами хрусталика, проводятся с использованием Шеймпфлюг-камеры. Эта методика проста в выполнении, не требует значительных временных затрат и объективна по сравнению с другими методами визуальной оценки помутнений ядра, кортикальных слоев и задней капсулы хрусталика. В последние годы наибольшую популярность получил прибор, работающий с ротационной Шеймпфлюг-камерой, — Pentacam (Oculus, Германия). С помощью Pentacam и соответствующих программ Pentacam Lens Densitometry и Pentacam Nucleus Staging можно осуществлять денситометрию хрусталика, определять преимущественную локализацию помутнений и оценивать скорость их прогрессирования [8]. При проведении исследования камера прибора поворачивается вокруг объекта на 180° и регистрирует в течение 2 секунд от 25 до 50 кадров с последующим анализом полученных изображений. Кроме того, имеется возможность регистрации средней и максимальной плотности хрусталика, выражаемой в пикселях в «зоне интереса» [8, 9]. С использованием показателей денситометрии можно объективно оценивать степень выраженности помутнений ядра и кортикальных слоев хрусталика по классификации LOCS III (Lens Opacification Classification System) [10].

L. Feng и соавт. провели крупное исследование по изучению показателей денситометрии хрусталика в соответствии с классификацией LOCS III при комплексном использовании щелевой лампы, Шеймпфлюг-камеры Pentacam и ультразвуковой биомикроскопии (УБМ) с датчиком частотой излучения 25 МГц. У пациентов с ядерными помутнениями хрусталика была установлена высокая достоверная корреляция между степенью LOCS III, средними значениями оптической плотности в пикселях и показателями кумулятивной рассеянной энергии (CDE) при факоэмульсификации катаракты ($r = 0,747$, $r = 0,865$ и $r = 0,906$ соответственно, $p < 0,05$), что позволило определить оптимальные параметры ультразвука при фрагментации ядра хрусталика и улучшить функциональные результаты хирургического вмешательства [11].

Вторая группа методов исследования включает оценку влияния катаракты на зрительные функции. Определение остроты зрения или контрастной чувствительности после воздействия яркого источника света (глэр-чувствительность) является классическим примером таких методик. Глэр-эффект обусловлен рассеянием света в оптических средах глаза. Ряд авторов для определения чувствительности к фоновому ослеплению у пациентов с катарактой применяют тест яркостной остроты зрения (Brightness Acuity Tester — BAT) [12].

Третья группа исследований основана на более детальном анализе рассеяния света оптическими средами глаза и распределения волнового фронта аберраций в зависимости от выраженности и локализации помутнений в хрусталике. На основе этого метода работает диагностическая система Optical Quality Analysis System, которая позволяет оценить рассеяние света, проходящего через оптическую систему глаза дважды (double-pass system). Следует отметить, что с помощью такого прибора свет проецируется на сетчатку от точечного источника с последующим анализом полученного изображения и количественной оценкой эффекта светорассеяния с расчетом параметра OSI (объективный индекс светорассеяния). P. Artal P и соавт. разработали классификацию катаракты в зависимости от значений OSI. В норме OSI составляет не более 1,0. При начальной катаракте этот индекс находится в интервале от 1,0 до 3,0, при незрелой катаракте — от 3,0 до 7,0. OSI выше 7,0 свидетельствует о наиболее выраженной степени помутнения хрусталика [2]. В настоящее время большинство авторов используют данную классификацию с учетом корреляции объективной степени выраженности помутнений хрусталика и субъективной методики LOCS III [10, 13, 14].

Другим способом количественной оценки помутнений хрусталика является измерение аберраций оптической системы глаза с использованием датчика волнового фронта Шэка — Гартмана. Во время обследования формируется изображение хрусталика в соответствии с параметрами светорассеяния в зрачковой зоне.

В исследовании С.Т. Нолл и соавт. с помощью специальной установки и датчика Шэка — Гартмана осуществлялось пространственное картирование катаракты и была определена высокая чувствительность этого метода при начальных помутнениях хрусталика [15]. Кроме того, на основе изображений, полученных с помощью датчика волнового фронта, и определения соответствующих параметров светорассеяния (S) в зрачковой зоне при различных стадиях ядерных помутнений (N-тип) соответственно категориям LOCS III была установлена наибольшая информативность этого метода при ядерной катаракте.

К четвертой группе исследований можно отнести оптическую когерентную томографию (ОКТ) — современный метод оценки состояния переднего отдела глаза и его структур. С помощью этого исследования получают изображения различных слоев хрусталика с высоким разрешением. При зрелой катаракте можно определить деградацию вещества хрусталика, наличие вакуолей и участков лизиса, дефекты задней капсулы [5, 16].

Новая технология Swept source — оптическая когерентная томография (SS-ОКТ) с переменной длиной волны и высокочастотным детектором позволяет проводить более глубокую и детальную визуализацию переднего отдела глаза, включая денситометрию кортикальных слоев и ядра хрусталика, при этом возможно получить изображение помутнений в виде их картирования в микро- и макромасштабе. По мнению А. Pujari и соавт., проведение данного исследования в предоперационном периоде у пациентов со зрелой катарактой играет значимую роль для профилактики интраоперационных осложнений и оптимальной тактики ведения пациента [16]. С. Panthier и соавт. проводили денситометрию хрусталика с помощью технологии SS-ОКТ на приборе IOL Master 700. Авторы определили индекс OSI с использованием методики double-pass на aberрометре Optical Quality Analysis System и на основании данных технологии Pentacam nucleus staging score установили стадии ядерных помутнений хрусталика. Чувствительность метода составила 73,9 %, специфичность — 91,2 %. Результаты исследования показали высокую достоверную корреляцию между средними показателями оптической плотности хрусталика, значением OSI и стадией ядерной катаракты, что позволило выявить пороговый уровень оптической плотности катаракты — 82,9 пикселя. При средних показателях денситометрии хрусталика выше пороговых и наличии жалоб пациента на нарушения зрения рассматривается вопрос о хирургическом лечении катаракты [17].

В последние годы разработана новая система для автоматического определения стадий катаракты с использованием технологии 3D-визуализации на приборе SS-ОКТ [18].

Помимо оптических методов для исследования хрусталика используют эхографию глаза. С помощью А- и В-сканирования можно измерить толщину хрусталика

в центральной зоне и определить его акустическую плотность, а также степень выраженности помутнений. В режиме высокочастотного серошкального сканирования при незрелой катаракте визуализируются гиперэхогенные локальные участки в виде полос вокруг анэхогенного ядра, а при зрелой катаракте в толще хрусталика — диффузные гиперэхогенные включения.

Среди всех методов эхографии наиболее информативным в оценке возрастных изменений хрусталика является ультразвуковая биомикроскопия (УЗБМ), которая используется в клинической офтальмологической практике с 1990-х годов. По данным УЗБМ эхографическая картина катаракты характеризуется появлением в толще хрусталика гиперэхогенных и средней эхогенности включений, которые отличаются значительной вариабельностью в зависимости от числа, формы и локализации помутнений, может отмечаться увеличение биометрических параметров хрусталика [19].

В.Р. Поляков и соавт. представили объективный метод определения акустической плотности хрусталика с помощью УЗБМ, используя специальную функцию цветного картирования и усиления сигнала E-GAIN на аппарате Sonomed (35 Гц). Авторы выполнили сравнительную оценку полученных данных акустической плотности и определили ее соответствие степени по классификации Buratto. В результате проведенного исследования были получены следующие показатели акустической плотности хрусталика: 1-я степень — от 17,3 до 22,4 децибел (дБ), 2-я степень — от 22,5 до 26,9 дБ, 3-я степень — от 27 до 35 дБ, 4-я степень — более 35 дБ. Кроме того, пороговое значение величины плотности хрусталика в 35 дБ соответствует 4–5-й степени плотности (ятарно-желтое плотное ядро и очень плотное темное ядро соответственно) и предполагает возможные трудности, связанные с дроблением ядра хрусталика при выполнении операции [20].

Другие авторы установили информативность комбинированного ультразвукового исследования в режимах 2D и 3D в оценке акустической плотности хрусталика при различных видах катаракты и предложили использовать полученные значения ультразвуковой денситометрии в качестве косвенного показателя механической плотности хрусталика. Этот метод можно применять для дооперационного обследования пациентов с осложненной катарактой и оценки эффективности различных технологий факохирургии [21].

Несмотря на преимущества ультразвукового сканирования для качественной и количественной оценки помутнений хрусталика, бесконтактные оптические методы исследования хрусталика являются приоритетными и получили наибольшую распространенность в клинической практике.

В последние годы возникает вопрос: почему объективные инструментальные методы исследования хрусталика становятся востребованными? Во-первых, они помогают офтальмохирургам в отборе пациентов

с начальной катарактой для оперативного лечения. Эти методы дают возможность заранее понять, почувствует ли пациент улучшение после операции. Кроме того, показатели денситометрии являются высокоинформативными для определения параметров акустической энергии при планировании факоэмульсификации катаракты. Во-вторых, благодаря объективным критериям в оценке помутнений хрусталика можно наиболее точно судить о наличии катаракты и ее прогрессировании в динамике. В-третьих, высокая информативность и объективность полученных данных имеет большое значение при проведении клинических исследований.

В настоящее время факоэмульсификация с имплантацией интраокулярной линзы остается «золотым стандартом» лечения катаракты. Количественная оценка плотности ядра хрусталика — ключевой фактор при выборе тактики хирургического лечения катаракты и снижении риска интра- и послеоперационных осложнений при планировании хирургического вмешательства. Однако некоторым пациентам с катарактой хирургические методы становятся недоступными вследствие тяжелой соматической патологии и имеющих протипоказаний к проведению оперативного вмешательства или отсутствия возможности его проведения.

В таких случаях возможна медикаментозная коррекция начальных помутнений хрусталика на фоне динамического наблюдения с использованием объективных инструментальных методов исследования. Инновационные технологии позволяют наиболее точно определять начальные возрастные изменения хрусталика и регистрировать их в динамике на фоне применения антикатарактальных препаратов с патогенетически обоснованным механизмом действия [22]. Одним из таких средств является пиреноксин (Каталин), эффективность которого была доказана с помощью объективных методов исследования в ряде экспериментальных и клинических исследований. Так, С.С. Ну и соавт. изучали влияние пиренксина на катарактогенез у крыс на модели селенит/кальций- и ультрафиолет-индуцированных помутнений хрусталика при измерении его оптической плотности методом спектроскопии [23]. Авторы отметили достоверное снижение показателей оптической плотности хрусталика под воздействием 0,005 % раствора пиренксина в течение четырех дней. Положительная динамика состояния хрусталика была подтверждена лабораторными методами — скринингом калпаин-опосредованного протеолиза и определением целостности кристаллинов с помощью электрофореза.

Необходимость применения высокотехнологичных методов мониторинга катаракты на фоне медикаментозной коррекции продемонстрировало клиническое исследование влияния пиренксина 0,005 % на динамику помутнений хрусталика в течение 2-х лет [24]. С помощью Шеймпфлюг-камеры EAS-1000 (Nidek) по показателям денситометрии различных слоев хрусталика было установлено замедление развития возрастной катаракты

у пациентов, использующих инстилляцию Каталина (пиреноксин 0,005 % 5 раз в день). Увеличение интенсивности помутнений в течение 24 месяцев у этих пациентов составило лишь 1,425 % по сравнению с показателем контрольной группы — 9,228 %.

Г.С. Полуни и соавт. определяли оптическую плотность хрусталика с помощью анализатора переднего отдела глаза Pentacam (Oculus GmbH, Германия) у 30 пациентов с начальной катарактой, применявших глазные капли Каталин в течение 12 месяцев [25]. Видеорегистрация переднего отдела глаза осуществлялась в режиме Шеймпфлюг — биомикроскопического среза по 25 часовым меридианам и коаксиально в условиях мидриаза. Через 3 месяца после начала использования Каталина авторы обнаружили достоверное снижение денситометрических показателей оптической плотности в передних и задних кортикальных слоях (от $12,40 \pm 0,01$ до $11,40 \pm 0,01$ отн. ед. и от $10,20 \pm 0,01$ до $9,60 \pm 0,01$ отн. ед. соответственно), а также в задней капсуле хрусталика (с $8,3 \pm 0,01$ до $7,8 \pm 0,01$ отн. ед.), что свидетельствовало об антикатарактальном действии пиренксина, в особенности в отношении кортикальных слоев хрусталика. В течение дальнейшего наблюдения показатели оптической плотности стабилизировались во всех слоях хрусталика, в то время как в контрольной группе, в которой препарат не использовали, отмечалось увеличение этих показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на бурное развитие высокотехнологичных методов диагностики и лечения, катаракта остается существенной медико-социальной проблемой и распространенным инвалидизирующим заболеванием. Широкий спектр инновационных технологий позволяет диагностировать данную патологию на ранних этапах и определять дальнейшую тактику ведения пациента. Современные высокоинформативные методы количественной оценки оптической плотности хрусталика являются необходимыми для определения показаний к своевременному хирургическому вмешательству, выбора оптимальных режимов факоэмульсификации и предотвращения интраоперационных осложнений. Учитывая возможность медикаментозной коррекции возрастных изменений хрусталика для профилактики прогрессирования катаракты, возникает необходимость тщательного мониторинга патологии с использованием диагностических критериев (параметры денситометрии, индекс OSI и др.). Субъективная (качественная) оценка состояния хрусталика и применение объективных количественных критериев в клинической офтальмологической практике расширяют возможности профилактики прогрессирования катаракты и предупреждения слепоты и слабовидения.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Киселева Т.Н. — написание статьи и научное редактирование.
Зайцев М.С. — сбор и обработка материала, оформление библиографии.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Коняев Д.А., Попова Е.В., Титов А.А. Распространенность заболеваний глаз у пожилых — глобальная проблема современности. *Здравоохранение Российской Федерации*, 2021;65(1):62–68. [Konayev D.A., Popova E.V., Titov A.A. The prevalence of eye diseases in the elderly is a global problem of our time. *Health Care of the Russian Federation = Zdravoookhraneniye Rossiiskon Federatsii*. 2021;65(1):62–68 (In Russ.)]. DOI: 10.47470/0044-197X-2021-65-1-62-68
2. Artal P, Benito A., Perez G.M. An Objective Scatter Index Based on Double-Pass Retinal Images of a Point Source to Classify Cataracts. *PLoS ONE*, 2011;6(2):16823. DOI:10.1371/journal.pone.0016823
3. Chylack L., Wolfe J., Singer D. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol*. 1993;111(6):831–836.
4. Zhao F, Yu J., Yan Q. Clinical Application of 25-MHz Ultrasound Biomicroscopy for Lens Opacity Degree Measurements in Phacoemulsification. *Transl Vis Sci Technol*. 2019;8(4):18. DOI: 10.1167/tvst.8.4.18
5. Pujari A., Sharma N. The emerging role of anterior segment optical coherence tomography in cataract surgery: current role and future perspectives. *Clin Ophthalmol*. 2021;15:389–401. DOI: 10.2147/OPTH.S286996
6. Шушаев, С.В. Ельцина О.М., Балашевич Л.И. Метод сравнительной оценки ультразвуковых и гидродинамических показателей в процессе фактоэмульсификации. *Вестник офтальмологии*. 2018;134(6):33–40. [Shukhaev S.V. El'tsina O.M., Balashevich L.I. Method for comparative evaluation of ultrasonic and hydrodynamic parameters in the process of phacoemulsification. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2018;134(6):33–40 (In Russ.)].
7. Потёмкин В.В., Гольцман Е.В. Хирургия катаракты при псевдоэкзофалиативном синдроме. *Офтальмологические ведомости*. 2020;13(1):37–42. [Potemkin V.V., Gol'tsman E.V. Cataract surgery for pseudoexfoliative syndrome. *Oftal'mologicheskie ведомosti*. 2020;13(1):37–42 (In Russ.)]. DOI: 10.17816/OV25739
8. Lim D.H., Kim T.H., Chung E. Measurement of lens density using Scheimpflug imaging system as a screening test in the field of health examination for age-related cataract. *British Journal of ophthalmology*. 2015;99(2):184–191. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-305632
9. Wegener A. Scheimpflug-Verfahren. *Ophthalmologie*. 2014;111:912–913. DOI: 10.1007/s00347-013-2959-y.11-12
10. Domínguez-Vicent A., Birkeldh U., Carl-Gustaf L. Objective assessment of nuclear and cortical cataracts through Scheimpflug Images: agreement with the LOCS III Scale. *PLoS ONE*. 2016. 11(2): e0152953. DOI: 10.1371/journal.pone.0149249
11. Feng L., Zhao F., Ke X. Correlation Between Degree of Lens Opacity and the Phacoemulsification Energy Parameters Using Different Imaging Methods in Age-Related Cataract. *Transl Vis Sci Technol*. 2022;11(3):24. DOI: 10.1167/tvst.11.3.24
12. Holladay J.T., Prager T.C., Trujillo J., Ruiz R.S. Brightness acuity test and outdoor visual acuity in cataract patients. *J Cataract Refract Surg*. 1987;13:67–69.
13. Cabot F., Saad A., Mcalinden C., Haddad N.M. Objective assessment of crystalline lens opacity level by measuring ocular light scattering with a double-pass system. *Am J Ophthalmol*. 2013;155:629–635.
14. Lim S.A., Hwang J., Hwang K.Y., Chung S.H. Objective assessment of nuclear cataract: comparison of double-pass and Scheimpflug systems. *J Cataract Refract Surg*. 2014;40:716–721. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.10.032
15. Holló C.T., Miháltz K., Kurucz M. Objective quantification and spatial mapping of cataract with a Shack-Hartmann wavefront sensor. *Sci Rep*. 2020;10(1):12585. DOI: 10.1038/s41598-020-69321-3
16. Pujari A., Selvan H., Urkude J. Intralenticular changes in eyes with mature senile cataract on modified posterior segment optical coherence tomography. *Indian J Ophthalmol*. 2020;68(10):2099–2102. DOI: 10.4103/ijo. IJO_1650_19
17. Panthier C., Burgos J., Rouger H. New objective lens density quantification method using swept-source optical coherence tomography technology: Comparison with existing methods. *J Cataract Refract Surg*. 2017;43(12):1575–1581. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.09.028.
18. Grulkowski I., Manzanera S., Cwiklinski L. Volumetric macro- and micro-scale assessment of crystalline lens opacities in cataract patients using long-depth-range swept source optical coherence tomography. *Biomed Opt Express*. 2018;9(8):3821–3833. DOI: 10.1364/BOE.9.003821.22
19. Нероев В.В., Киселева Т.Н. *Ультразвуковые исследования в офтальмологии: Руководство для врачей*. М.: ИКАР, 2019. С. 251–286. [Neroev V.B., Kiseleva T.N. *Ultrasound in Ophthalmology: A Guide for Physicians*. Moscow: IKAR, 2019. P. 251–286 (In Russ.)].
20. Полякова В.Р., Джаши Б.Г., Мелихова И.А. Исследование акустической плотности хрусталика по данным ультразвуковой биомикроскопии глаза. *Практическая Медицина*. 2016;6:98. [Polyakova V.R., Dzhashi B.G., Melikhova I.A. The study of the acoustic density of the lens according to the data of ultrasonic biomicroscopy of the eye. *Prakticheskaya Meditsina*. 2016;6:98 (In Russ.)].
21. Аветисов К.С., Маркосян А.Г. Оценка возрастных особенностей акустической плотности и биометрических взаимоотношений хрусталика на основе комбинированного ультразвукового исследования. *Вестник офтальмологии*. 2013;129(3):16–23. [Avetisov K.S., Markosyan A.G. Evaluation of age-related features of acoustic density and biometric relationships of the lens based on combined ultrasound. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2013;129(3):16–23 (In Russ.)].
22. Полунина Е.Г., Макаров И.А., Маркова Е.Ю., Анджелова Д.В. Современные возможности профилактики возникновения и прогрессирования катаракты. *Офтальмология*. 2017;14(2):120–124. [Polunina E.G., Makarov I.A., Markova E.Yu., Andzheleva D.V. [Modern possibilities of preventing the occurrence and progression of cataracts]. *Ophthalmology in Russia = Oftal'mologiya*. 2017;14(2):120–124 (In Russ.)]. DOI: 10.18008/1816-5095-2017-2-120-124
23. Hu C.C., Liao J.H., Hsu K.Y. Role of pirenixine in the effects of catalin on in vitro ultraviolet-induced lens protein turbidity and selenite-induced cataractogenesis in vivo. *Mol Vis*. 2011;17:1862–1870.
24. Kociecki J., Zalecki K., Wasiewicz-Rager J., Pecold K. Evaluation of effectiveness of Catalin eyedrops in patients with presenile and senile cataract. *Klin. Oczna*. 2004;106(6):778–782.
25. Полунин, Г. С., Макаров, И. А., Бубнова, И. А. Изучение терапевтической эффективности Каталина при возрастной катаракте (срок наблюдения 1 год). *Российский медицинский журнал. Клиническая офтальмология*. 2012;13(3):110–114. [Polunin G.S., Makarov I.A., Bubnova I.A. Study of therapeutic efficiency of Catalin in patients with a senile cataract. *Clinical Ophthalmology = Rossiyskiy medicinskiy zhurnal. Klinicheskaya oftal'mologiya*. 2012;13(3):110–114 (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБУ «Научно-исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца»
Киселева Татьяна Николаевна
доктор медицинских наук, профессор, начальник отдела ультразвуковых исследований
ул. Садовая-Черногрозская, 14/19, Москва 105062, Российская Федерация

ФГБУ «Научно-исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца»
Зайцев Максим Сергеевич
младший научный сотрудник
ул. Садовая-Черногрозская, 14/19, Москва 105062, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Kiseleva Tatiana N.
MD, Professor, head of Ultrasound diagnostic department
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Zaitsev Maksim S.
junior researcher
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation