

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-29-35>



Возможность оценки состояния глазного дна у пациентов с помутнениями хрусталика разной интенсивности, в том числе у больных с сахарным диабетом II типа, методом квантитативного анализа изображений, полученных с помощью фундус-камеры (пилотное исследование)

Л.А. Минеева¹, Л.И. Балашевич², А.А. Кожухов^{3,4}, Л.Б. Шубин¹, А.В. Кабанов¹, Кристофер Пассаглия⁵, Дэвид Ричардс⁵, Брайан Мэдоу⁵

¹ ФГБОУ ВО ЯГМУ «Ярославский государственный медицинский университет», ул. Революционная, д. 5, Ярославль, 150000, Россия

² Петербургский филиал ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, ул. Ярослава Гашека, д. 21, Санкт-Петербург, 192283, Россия

³ ФГБОУ ДПО ИПК ФМБА России, ул. Гамалеи, д. 15, корпус 4, Москва, 123098, Россия

⁴ ООО «Офтальмологическая клиника "СПЕКТР"», проезд Березовой рощи, д. 12, Москва, 125252, Россия

⁵ Университет Южной Флориды, 4202, Э. Фаулер-авеню, Тампа, Флорида, 33620, США

Цель работы — применить квантитативный метод анализа изображений, полученных с помощью фундус-камеры, для оценки размытости глазного дна у пациентов с катарактой различных стадий, в том числе и при сахарном диабете II типа, и повышения качества обследования глазного дна. **Материал и методы.** Обследовано 16 пациентов (32 глаза), в том числе 9 женщин (18 глаз) и 7 мужчин (14 глаз), средний возраст — 70,19 ± 7,90 года, с помутнениями хрусталика разной степени выраженности и этиологии, включая 12 пациентов с сахарным диабетом II типа. Для градации степени прозрачности хрусталика использовалась система LOCS III (Lens Opacities Classification System III). Визометрия проводилась по системе 20/200 ETDRS с помощью прибора ESV-3000 на расстоянии 4 м. Для снимков глазного дна использовали ретинальную камеру Topcon Mark II TRC NW7SF Type IA. Квантитативный метод анализа изображений, исходно разработанный для изучения качества снимков глазного дна при помутнениях стекловидного тела, включает систему фильтров, анализ энтропии и мощности спектральной интеграции, написанный на платформе Matlab для количественной оценки размытости. **Результаты.** Разработаны оценочные шкалы: шкала прозрачности “clarity score” и шкала непрозрачности “blur score”. Чем выше показатель прозрачности “clarity score”, тем выше острота зрения. Наблюдается отрицательная связь показателей этой шкалы с показателями Nuclear Color (NC) и Cortical Cataract (C). Между показателями Nuclear Opalescence (NO), Posterior Subcapsular Cataract (P) и значениями шкалы прозрачности “clarity score”, а также шкалы непрозрачности “blur score” достоверной корреляционной связи не выявлено. **Заключение.** Компьютерный квантитативный метод обработки изображений можно использовать для оценки и анализа снимков глазного дна, полученных с помощью фундус-камеры у пациентов с различными стадиями катаракты. Предложенный алгоритм может быть использован для дальнейшего развития объективного метода такой оценки.

Ключевые слова: показатели прозрачности хрусталика по системе LOCS III; катаракта; сахарный диабет II типа; квантитативный анализ изображений снимков глазного дна

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Минеева Л.А., Балашевич Л.И., Кожухов А.А., Шубин Л.Б., Кабанов А.В., Пассаглия К., Ричардс Д., Мэдоу Б. Возможность оценки состояния глазного дна у пациентов с помутнениями хрусталика разной интенсивности, в том числе у больных с сахарным диабетом II типа, методом квантитативного анализа изображений, полученных с помощью фундус-камеры (пилотное исследование). Российский офтальмологический журнал. 2020; 13 (2): 29–35. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-29-35>

The ability to assess the state of the fundus in patients with lens opacities of varying intensity, including patients with type 2 diabetes mellitus, using quantitative analysis of images made with a fundus camera. A pilot study

Lydia A. Mineeva¹, Leonid I. Balashevich², Arseny A. Kozhukhov^{3,4}, Leonid B. Shubin¹, Andrey V. Kabanov¹, Christopher Passaglia⁵, David Richards⁵, Brian Madow⁵

¹ Yaroslavl State Medical University, 5, Revolutsionnaya St., Yaroslavl, 150000, Russia

² St. Petersburg branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery NMRC, 21, Yaroslava Gasheka St., St. Petersburg, 192283, Russia

³ A.I. Burnazyan Medical and Biophysical Center, Ophthalmological department of the Institute of improvement of professional skills, 15, Gamalei St., Moscow, 123098, Russia

⁴ Ophthalmological Clinic "Spektr", 12, proezd Berezhovoy roshchi, Moscow, 125252, Russia

⁵ The University of South Florida, Tampa, FL, 4202 E. Fowler Avenue, Tampa, FL 33620, USA

lydm@mail.ru

Purpose. To evaluate a quantitative method for grading the "blurriness" of ocular fundus images in patients with varying degrees of cataract including diabetes mellitus type II in order to improve the quality of fundus examination when it is affected by opacification of the crystalline lens, and to develop an objective method for measuring severity of cataract. **Material and methods.** We studied 16 patients (32 eyes) with a range of lens opacities and etiologies, including diabetes mellitus type II (12 patients). Age range was 70.19 ± 7.9 years. Degree of transparency of the lens was graded on the LOCS III system. Visual acuity was determined with 20/200 ETDRS at a distance of 4 m (ESV-3000). Images of the fundus were taken with a Topcon Mark II TRC retinal camera NW7SF Type IA. Image Resolution was 8 TIFF. An image processing algorithm that combined bandpass filtering, entropy analysis, and power spectral integration was used to quantify image haziness in terms of two inversely-related scales: "Blur Score" and "Clarity Score". Data were analyzed via Spearman's rank correlation coefficient. **Results.** In order to better fix the details of the fundus images with lens opacities using a computer algorithm with a filter system, evaluation scales have been developed – the clarity score scale and the blur score scale. The two scales provide similar information, but in opposite directions. LOCS III lens opacities (NC and C) showed a positive correlation with Blur Score and negative correlation with Clarity Score. This indicates that a lower Blur Score, or higher Clarity Score, correlates with better visual acuity. The values of LOCS III NO and P, on the other hand, showed no reliable correlation with Blur or Clarity scores. **Conclusions.** A computer quantitative image analysis method originally developed to determine the opacities of the vitreous body can be used to analyze fundus images of patients with different stages of cataract when processing original images from a fundus camera. The proposed algorithm can be used to develop an objective method.

Keywords: LOCS III lens opalescence indicators; cataract; diabetes mellitus type II; quantitative analysis of fundus images

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

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

For citation: Mineeva L.A., Balashevich L.I., Kozhukhov A.A., Shubin L.B., Kabanov A.V., Passaglia C., Richards D., Madow B.

The ability to assess the state of the fundus in patients with lens opacities of varying intensity, including patients with type 2 diabetes mellitus, using quantitative analysis of images made with a fundus camera. A pilot study. Russian ophthalmological journal. 2020; 13(2): 29–35 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-29-35>

Более чем у трети людей, страдающих сахарным диабетом II типа, на каком-то этапе жизни развивается диабетическая ретинопатия (ДР), являющаяся одной из основных причин прогрессирующей и безвозвратной потери зрения [1]. Однако на начальных стадиях поражение сетчатки часто протекает бессимптомно, и только регулярное обследование глазного дна дает возможность оценить ее состояние и своевременно принять необходимые меры. В связи с этим адекватный контроль течения сахарного диабета и своевременная офтальмологическая диагностика могут обеспечить профилактику развития ДР [1–3].

Однако при выраженных помутнениях оптических сред глаза, в частности при помутнении хрусталика, которое часто встречается у больных диабетом, получение четкого

изображения глазного дна затруднительно, а в ряде случаев, например при зрелой катаракте, вообще невозможно.

Различными исследователями предпринимались попытки повысить качество диагностики патологий глазного дна при наличии у пациентов катаракты. Так, С. Beckman и соавт. [4] в 1995 г. предложили использовать сканирующий лазерный офтальмоскоп (SLO). Благодаря расположению конфокальных апертур перед детектором интенсивность рассеянного из-за катаракты света уменьшалась, что дополнительно повышало качество изображения. При этом авторы совместно с фирмой Rodenstock предложили несколько размеров конфокальных апертур в сочетании с различными длинами волн лазера. Авторы показали, что качество SLO-изображения глазного дна на глазах с катарактой лучше, чем

фотографии глазного дна, полученные с помощью фундус-камеры. Однако из-за неоднородного характера катаракты оптимальный выбор конфокальной апертуры и длины волны лазера не прост и должен быть индивидуализирован, вследствие чего данная разработка не вошла в широкую клиническую практику [4].

Для повышения информативности фотосъемки сетчатки в фундус-камерах используются бесцветные фильтры, т. е. фильтры, которые отсекают информационно избыточные волны в красной части спектра. В итоге получают бесцветный снимок, на котором гораздо четче и контрастнее видны сосуды и другие ткани. Таким образом, используя разные фильтры, можно отсекают любые участки спектра и за счет разной длины световых волн «проникать» на различную глубину сетчатки. Однако, несмотря на наличие таких фильтров в фундус-камерах, данный метод редко используется, так как получаемое изображение не позволяет оценить детали глазного дна при далеко зашедшей выраженной катаракте.

Таким образом, в любых случаях выраженного помутнения хрусталика, не только при наличии сахарного диабета II типа, фиксация патологии глазного дна затруднена вследствие того, что существующие в настоящее время способы регистрации глазного дна недостаточно информативны.

Для решения этой проблемы мы обратились за помощью к зарубежным коллегам, которые занимаются сходными вопросами, а именно фиксацией патологии глазного дна при помутнениях различных оптических сред, в их случае — при помутнениях стекловидного тела. Для улучшения качества изображения глазного дна при помутнении хрусталика нами был использован метод, разработанный С. L. Passaglia и соавт. [5]. Разработанный количественный имидж-процессорный алгоритм для изучения качества цифровых снимков глазного дна, полученных с помощью фундус-камеры при помутнениях стекловидного тела, включает систему фильтров, анализ энтропии и мощности спектральной интеграции, написанный на платформе Matlab для количественной оценки размытости. В совместной с коллегами из США работе мы попытались применить методику получения снимков глазного дна с помощью фундус-камеры и их последующей компьютерной обработки для повышения различия деталей глазного дна у пациентов с катарактой различной степени.

ЦЕЛЮ работы является применение количественного метода анализа изображений, полученных с помощью фундус-камеры, для оценки размытости глазного дна у пациентов с катарактой различной степени, в том числе и при сахарном диабете II типа, для повышения качества обследования глазного дна и развития объективного метода такой оценки.

ЗАДАЧИ работы: 1) выявить взаимосвязь показателей прозрачности хрусталика по системе LOCS III: прозрачности ядра (Nuclear Opalescence, NO), цвета ядра хрусталика (Nuclear Color, NC), прозрачности кортикальных слоев (Cortical Cataract, C), прозрачности задней субкапсулярной оболочки хрусталика (Posterior Subcapsular Cataract, P) и остроты зрения со степенью выраженности помутнений хрусталика при катаракте; 2) оценить возможность получения четких снимков глазного дна с помощью ретинальной фундус-камеры у пациентов с различными стадиями катаракты на фоне сахарного диабета II типа; 3) применить компьютерный количественный имиджевый процессорный алгоритм для анализа снимков глазного дна у пациентов с различными стадиями катаракты с целью повышения качества получаемых изображений; 4) выявить взаимосвязь

показателей прозрачности хрусталика по системе LOCS III (NO, NC, C, P) и остроты зрения с показателями экспертных шкал “clarity score” (шкала прозрачности) и “blur score” (шкала непрозрачности), созданными с помощью компьютерного количественного имиджевого алгоритма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследованы 16 пациентов (32 глаза), в том числе 9 женщин (18 глаз) и 7 мужчин (14 глаз), средний возраст — $70,19 \pm 7,90$ года, с помутнениями хрусталика разной степени выраженности (катарактой) и этиологии, включая 12 пациентов с сахарным диабетом II типа. Для градации степени прозрачности хрусталика использовалась международная система LOCS III (Lens Opacities Classification System III) [6]. Преимуществами данного метода диагностики является объективность оценки полученных результатов, их высокое качество и надежность. Для исследования по данной системе необходимо максимальное медикаментозное расширение зрачка (до 6 мм) мидриатиком, наличие негатоскопа с подсветкой и набора стандартов, созданных в виде слайдов с градуированием стандартизированных фотоизображений частей хрусталика различной прозрачности.

Особенность данной системы в том, что хрусталик рассматривается по разным позициям прозрачности его составляющих: NO, NC, C и P.

Набор стандартов представлен 5 или 6 стандартизованными слайдами типов катаракт по вышепредставленным параметрам для сравнения изучаемого хрусталика пациента с тестовым эталоном. NO1–NO6 и NC1–NC6 — стандарты для оценки опалесценции и цвета ядра хрусталика в указанном порядке; C1–C5 — стандарты для выявления кортикальной катаракты; P1–P5 — стандарты для выявления задней субкапсулярной катаракты.

Оценка остроты зрения проводилась как по международной системе 20/200 ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group) с расстояния 4 м с помощью прибора ESV-3000, так и традиционным способом с помощью проверочных таблиц и проектора знаков. ETDRS-тест разработан с целью устранения погрешности в тестах, основанных на таблицах Снеллена (Snellen) и Слоуна (Sloan).

Снимки глазного дна делались с помощью ретинальной фундус-камеры Topcon Mark II TRC NW7SF Type IA (Япония). Съемка велась в обычном режиме, без применения фильтров. Фундус-камера — цифровой прибор, позволяющий получить подробное полноцветное фотоизображение глазного дна для визуальной оценки его состояния. К абсолютным преимуществам данного метода относятся: безопасность для пациента любой возрастной группы, так как данная процедура бесконтактна; максимальная информативность и наглядность; возможность динамического контроля состояния глазного дна в реальном времени и создание архива изображений. Однако данный метод неприменим при наличии помутнений оптических сред, в частности при катаракте различной степени зрелости и особенно на ее поздних стадиях.

В связи с этим для анализа снимков глазного дна у пациентов с различными стадиями катаракты нами применялся количественный имидж-процессорный алгоритм, который исходно был разработан для улучшения различия деталей снимков глазного дна при помутнениях стекловидного тела [5]. Этот алгоритм включает систему высокочастотной фильтрации, анализ энтропии и мощности спектральной интеграции, написанный на платформе Matlab для количественной оценки размытости. Данный алгоритм был усовершенствован с использованием 9 опубликованных фотографий,

8 из которых представляли постепенно увеличивающиеся уровни размытости глазного дна, и был применен без дальнейшего уточнения к 120 случайным снимкам глазного дна с использованием 9 фотографий из библиотеки изображений глазного дна при увеите. Вычисленные значения сравнивались с 10 обработанными снимками при помутнении стекловидного тела и с четкими снимками, с общей оценкой четкости изображений, с использованием Cohen's-k и 11 Gwet's-AC-статистики.

Статистическую обработку результатов исследования провели с помощью программы Statistica (data analysis software system, version 12 StatSoft, Inc. 2014). Выявление зависимостей между исследуемыми переменными проводилось путем вычисления значимых коэффициентов корреляции г-Пирсона (Pearson) в случае линейной связи количественных признаков, либо R-Спирмена (Spearman), когда это условие не соблюдалось. Степень изменения одного признака, сопровождающаяся изменением значения другого признака, в определенных интервалах значения каждого из признаков, записывали в виде десятичной дроби. При этом указывалась не только сила связи, но и ее направленность.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Необходимость применения компьютерного алгоритма анализа изображений глазного дна у пациентов с сахарным диабетом и помутнением хрусталика иллюстрируется клиническим примером.

Клинический пример. Пациент П., 1936 г. р. (83 года) с сахарным диабетом II типа. Vis OD = 0,05 (1/20) с sph -4,0 = 0,4 (4/10), Vis OS = 0,55 (4/8) с cyl -1.0 ax75° = 0,6 (4/6,3).

Выявлена взаимосвязь показателей прозрачности хрусталика по системе LOCS III (NO, NC, C, P) и остроты зрения (рис. 1, табл. 1).

Интерпретация снимков глазного дна, полученных посредством фундус-камеры, у данного пациента с сахарным диабетом II типа и катарактой на двух глазах различной степени выраженности без алгоритмов предварительной обработки оказалась проблематичной. При очень низких зрительных функциях и выраженном помутнении хрусталика (зрелая катаракта) на OD четких деталей глазного

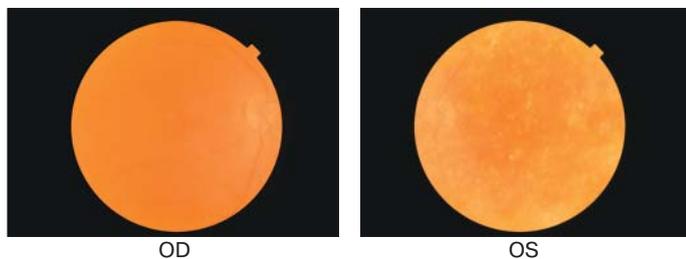


Рис. 1. Снимки глазного дна пациента с сахарным диабетом II типа и катарактой, выполненные с помощью фундус-камеры

Fig. 1. Eye fundus images of the patient with diabetes and cataract made by fundus camera

Таблица 1. Показатели прозрачности хрусталика по системе LOCS III
Table 1. Lens opacities indicators on LOCS III system

	OD	OS
NO	1,8	0,6
NC	2,8	1,4
C	1,2	0,6
P	0,1	0,1

дна получить не удалось. При незрелой катаракте на OS со снижением остроты зрения до 0,5–0,6 снимки глазного дна также получились нечеткими, но диск зрительного нерва и сосуды были различимы.

Для изучения возможности использования нового компьютерного квантитативного метода оценки изображений были проведены исследования снимков глазного дна пациентов с разными стадиями катаракты, выполненных посредством фундус-камеры (рис. 2). Для улучшения различения деталей этих снимков был применен компьютерный алгоритм с системой фильтров и разработаны оценочные шкалы: шкала прозрачности “clarity score” и шкала непрозрачности “blur score”.

Изображения глазного дна (рис. 3) были разделены на красный, зеленый и синий каналы, затем все 3 изображения отдельно обрабатывались через фильтр нижних частот (B), таким образом, устранялись высокочастотные компоненты.

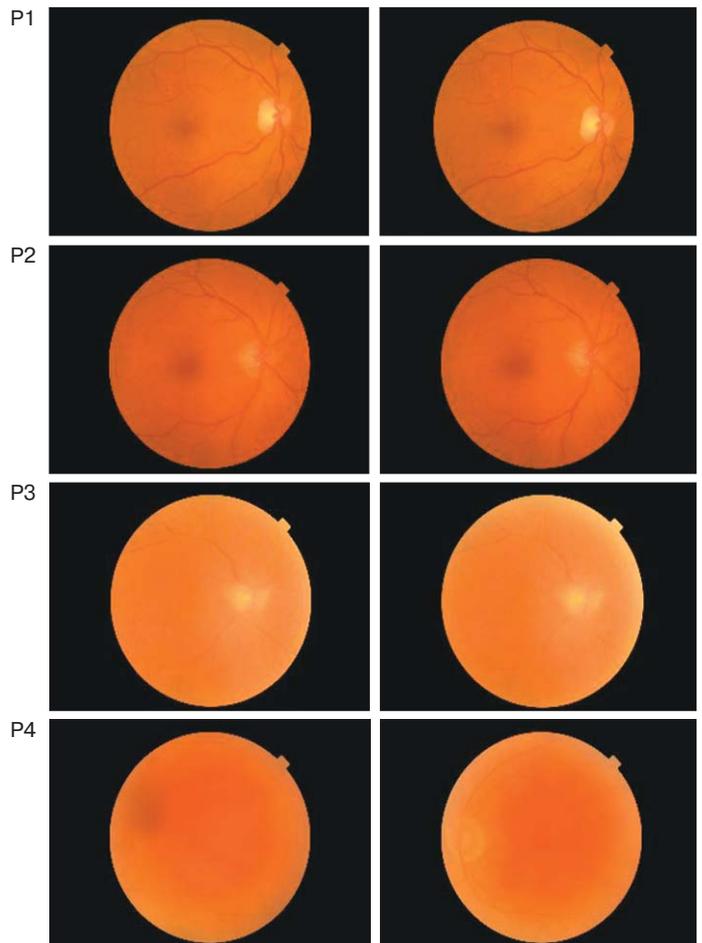


Рис. 2. Снимки глазного дна у пациентов с разными стадиями катаракты (прогрессивным увеличением плотности хрусталика): P1 — снимки при начальной катаракте, детали глазного дна рассмотреть возможно; P2 — снимки при незрелой катаракте, детали глазного дна видны, однако начинает теряться четкость получаемых изображений; P3 и P4 — снимки при почти зрелой и зрелой катаракте соответственно, из-за выраженных помутнений изучение деталей глазного дна затруднено

Fig. 2. Fundus images from patients with various stages of cataract (progressively increasing lens density): P1 — initial cataract images, fundus details can be considered; P2 — images for immature cataract, images of the fundus are visible, but the clarity of the resulting images begins to lose; P3 and P4 — images with an almost mature and mature cataract, respectively — due to severe opacities, fundus examination is difficult

Затем низкочастотное изображение вычиталось из оригинала, в результате чего получалось разностное изображение (С). Разностное изображение преобразовывалось в окончательное «энтропийное изображение» (D), где энтропия возрастала с повышением частоты и коррелировала с повышенной резкостью оригинального снимка. Наконец энтропийное изображение обрабатывалось с использованием быстрого преобразования Фурье для расчета его мощности. Окончательный показатель непрозрачности (“blur score”) затем рассчитывался с использованием следующей формулы:

$$score = \frac{A}{\sum_{k=1}^N P_x(k\theta)},$$

где A — фактор конверсии (conversion factor), P — мощность спектральной интеграции изображения (power spectrum of entropy image), X — интересующая полоса частот (frequency

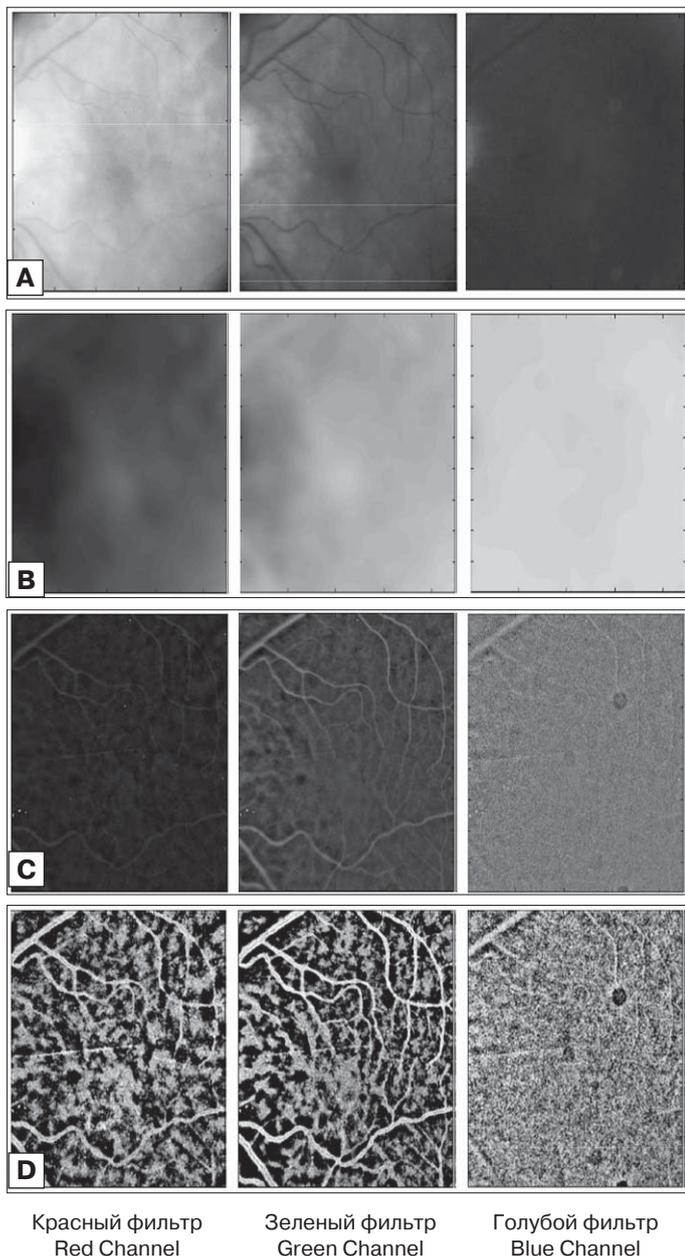


Рис. 3. Снимки глазного дна, разделенные на красный, зеленый и синий каналы

Fig. 3. Fundus images divided into red, green and blue channels

band of interest), k — переменная суммации (summation variable), θ — ориентация (orientation).

На рисунке 4 (E, F, G, H) слева показаны 4 из 12 изображений из клинического набора испытаний, а справа рядом их изображения, полученные в результате применения предложенного алгоритма. Сгенерированные компьютером результаты приведены в скобках.

При анализе полученных данных установлена положительная корреляционная связь между значениями шкалы прозрачности “clarity score” и остротой зрения в градациях по группам зрения: very bad = очень плохое; bad = плохое; not good = не очень хорошее; good = хорошее, как до коррекции, так и после нее, с тенденцией ослабления силы связи после коррекции. Чем выше показатель шкалы прозрачности “clarity score”, тем выше острота зрения. При этом наблюдается отрицательная связь этой шкалы со значениями показателей прозрачности хрусталика NC и C, что подтверждает предыдущее утверждение. Вместе с тем между значениями показателей NO, P и значениями шкалы прозрачности “clarity score” достоверной корреляционной связи не выявлено (табл. 2).

При анализе полученных данных установлена отрицательная корреляционная связь между значениями шкалы

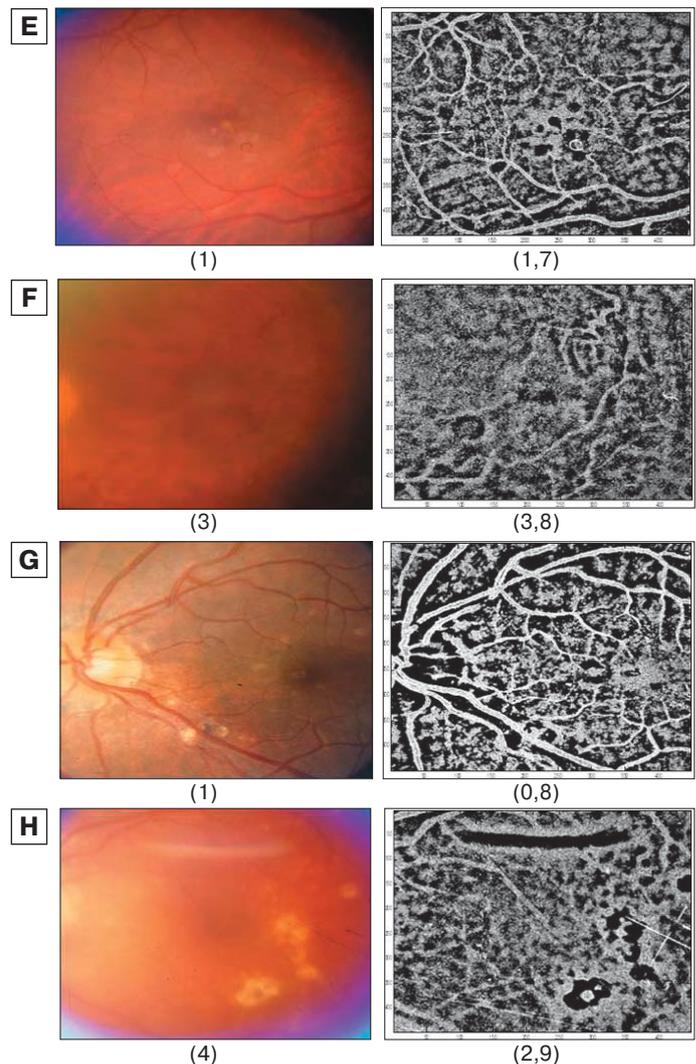


Рис. 4. Оригинальные снимки глазного дна (слева) и энтропийные имиджи (справа)

Fig. 4. Original fundus pictures (left) and entropy images (right)

Таблица 2. Взаимосвязь показателей прозрачности хрусталика по системе LOCS III (NO, NC, C, P) и остроты зрения (ОЗ) с показателем экспертной шкалы “clarity score” (шкала прозрачности)

Table 2. Relationship between lens opalescence accordingly LOCS III (NO, NC, C, P) system, visual acuity (VA) and expert “clarity score”

Показатели Parameters	N	Spearman R	T (N-2)	p
“clarity score” и ОЗ до оптической коррекции “clarity score” and VA before optical correction	21	0,649*	3,726*	0,001*
“clarity score” и ОЗ с оптической коррекцией “clarity score” and VA with optical correction	21	0,424*	2,044*	0,055*
“clarity score” и показатель прозрачности хрусталика NO “clarity score” and lens nuclear opalescence NO	21	-0,189	-0,842	0,409
“clarity score” и показатель прозрачности хрусталика NC “clarity score” and lens nuclear color NC	21	-0,443*	-2,154*	0,044*
“clarity score” и показатель прозрачности хрусталика С “clarity score” and lens cortical cataract C	21	-0,477*	-2,366*	0,028*
“clarity score” и показатель прозрачности хрусталика Р “clarity score” and lens posterior subcapsular cataract P	21	-0,182	-0,807	0,429

Примечание. * — достоверно различаемые величины; N — количество изученных снимков глазного дна; T (N-2) — дельта значений двух критериев оценки.

Note. * — the difference is statistically significant; N — number of studied fundus images; T (N-2) — delta values of two evaluation criteria.

непрозрачности “blur score” и остротой зрения в градациях по группам зрения: very bad = очень плохое; bad = плохое; not good = не очень хорошее; good = хорошее, как до коррекции, так и после нее, с тенденцией ослабления силы связи после коррекции.

Выявлено, что чем выше показатель шкалы непрозрачности “blur score”, тем ниже острота зрения. При этом наблюдается положительная связь этой шкалы со значениями показателей прозрачности хрусталика NC и C, что подтверждает предыдущее утверждение. Вместе с тем между значениями показателей NO, P и значениями шкалы прозрачности “blur score” достоверной корреляционной связи не выявлено (табл. 3).

Таким образом, установлено, что две шкалы “blur score” (шкала непрозрачности) и “clarity score” (шкала прозрачности) предоставляют идентичную информацию, но с противоположным знаком, относящимся к коэффициенту ранговой корреляции Спирмена. Чем выше показатель прозрачности “clarity score”, тем выше острота зрения. При этом наблюдается отрицательная связь этой шкалы со значениями NC [NC: R 0,44; T (N-2) 2,15; p = 0,04] и C [C: R 0,48; T (N-2) 2,36; p = 0,02]. Вместе с тем между значениями показателей NO, P и значениями шкалы прозрачности “clarity score” досто-

верной корреляционной связи не выявлено. Соответственно, чем выше показатель непрозрачности “blur score”, тем ниже острота зрения. При этом наблюдается положительная связь этой шкалы со значениями NC и C. Вместе с тем достоверной корреляционной связи значений показателей прозрачности хрусталика NO, P со значениями шкалы непрозрачности “blur score” не выявлено.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена достоверная взаимосвязь всех показателей прозрачности хрусталика по системе LOCS III (NC, C, P), кроме NO, и остроты зрения со степенью выраженности помутнений хрусталика при катаракте.

2. У пациентов с сахарным диабетом II типа и катарактой различной степени выраженности интерпретация снимков, полученных посредством фундус-камеры, без алгоритмов предварительной обработки представляется проблематичной.

3. Изучена взаимосвязь показателей прозрачности хрусталика по системе LOCS III (NO, NC, C, P) и остроты зрения с экспертной шкалой прозрачности “clarity score” и шкалой непрозрачности “blur score”. Компьютерный алгоритм позволяет по изображениям, полученным с помощью фундус-камеры, устанавливать зависимость между остротой зрения и

Таблица 3. Взаимосвязь показателей прозрачности хрусталика по системе LOCS III (NO, NC, C, P) и остроты зрения (ОЗ) с экспертной шкалой “blur score” (шкала размытости)

Table 3. Relationship between lens opalescence accordingly LOCS III (NO, NC, C, P) system, visual acuity (VA) and expert “blur score”

Показатели Parameters	N	Spearman R	T (N-2)	p
“blur score” и ОЗ до оптической коррекции “blur score” and VA before optical correction	21	-0,649*	-3,726*	0,001*
“blur score” и ОЗ с оптической коррекцией “blur score” and VA with optical correction	21	-0,424*	-2,044*	0,055*
“blur score” и показатель прозрачности хрусталика NO “blur score” and lens nuclear opalescence NO	21	0,189	0,842	0,409
“blur score” и показатель прозрачности хрусталика NC “blur score” and lens nuclear color NC	21	0,443*	2,154*	0,044*
“blur score” и показатель прозрачности хрусталика С “blur score” and lens cortical cataract C	21	0,477*	2,366*	0,028*
“blur score” и показатель прозрачности хрусталика Р “blur score” and lens posterior subcapsular cataract P	21	0,182	0,807	0,429

Примечание. * — достоверно различаемые величины; N — количество изученных снимков глазного дна; T (N-2) — дельта значений двух критериев оценки.

Note. * — the difference is statistically significant; N — number of studied fundus images; T (N-2) — delta values of two evaluation criteria.

степенью зрелости катаракты. Изменение оптической среды хрусталика (показателей NC и C) демонстрирует обратную зависимость от данных шкалы прозрачности “clarity score”. Показатели прозрачности хрусталика по системе LOCS III (NC и C) соотносятся с объективными показателями размытия (непрозрачности) и четкости.

4. Компьютерный квантитативный имиджевый процессорный алгоритм обработки снимков фундус-камеры, исходно разработанный для определения помутнения стекловидного тела, можно использовать для анализа состояния глазного дна у пациентов с различными стадиями катаракты.

5. Первые полученные результаты показали, что для внедрения данного метода оценки глазного дна в широкую клиническую практику необходимо его дальнейшее усовершенствование. Наши исследования в этом направлении продолжаются.

Вклад авторов в работу: Л.А. Минева — значимый вклад в дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, анализ литературы, подготовку рукописи и финального варианта статьи; Л.И. Балашевич — участие в анализе дизайна исследования, редактировании рукописи и финального варианта статьи; А.А. Кожухов — участие в подготовке финального варианта статьи; Л.Б. Шубин — анализ и интерпретация данных; А.В. Кабанов — сбор данных, участие в подготовке рукописи; Кристофер Пассаглия — разработка компьютерного алгоритма, количественный анализ изображений с помощью платформы Matlab; Дэвид Ричардс — идея исследования, участие в применении компьютерного квантитативного метода обработки изображений; Брайан Мэдоу — участие в квантитативной обработке и анализе изображений глазного дна.

Поступила: 29.07.2019

Переработана: 08.08.2019

Принята к печати: 17.08.2019

Литература/References

1. Pascolini D., Mariotti S.P. Global estimates of visual impairment. Br. J. Ophthalmol. 2012; 96: 614–8. doi:10.1136/bjophthalmol-2011-300539
2. Michael Hirst. Diabetes eye health. Guidelines for Diabetic Eye Care. 2014: 1–38. Available at: http://www.icoph.org/dynamic/attachments/resources/diabetes_eye_health.pdf
3. Wong Tien Y., Sun J., Kawasaki R., et al. Guidelines for Diabetes Eye Care. The international council of Ophthalmology recommendations for screening, follow-up, referral and treatment based on resource settings. American Academy of Ophthalmology. 2018 Oct; 125 (10): 1608–22. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.04.007
4. Beckman C., Bond-Taylor L., Lindblom B., Sjostrand J. Confocal fundus imaging with a scanning laser ophthalmoscope in eyes with cataract. Brit. J. of Ophthalmol. 1995 Oct; 79 (10): 900–4. doi:10.1136/bjo.79.10.900
5. Passaglia C.L., Arvanth T., Greenberg E., Richards D., Madow B. Automated method of grading vitreous haze in patients with uveitis for clinical trials. Translational vision science & technology. 2018; 7 (2): 10. doi:10.1167/tvst.7.2.10
6. Chylack L.T.Jr., Wolfe J.K., Singer D.M., et al. The Lens Opacities Classification System III. The longitudinal study of Cataract Study Group. Arch. Ophthalmol. 1993; 111: 831–6.

Originally received: 29.07.2019

Final revision: 08.08.2019

Accepted: 17.08.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБОУ ВО ЯГМУ «Ярославский государственный медицинский университет», ул. Революционная, д. 5, Ярославль, 150000, Россия

Лидия Алексеевна Минева — канд. мед. наук, врач-офтальмолог, ассистент кафедры поликлинической терапии, клинической лабораторной диагностики и медицинской биохимии

Леонид Борисович Шубин — канд. мед. наук, доцент кафедры патологической анатомии

Андрей Викторович Кабанов — канд. мед. наук, ассистент кафедры клинической фармакологии

Петербургский филиал ФГАУ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. академика С.Н. Федорова» Минздрава России, ул. Ярослава Гашека, д. 21, Санкт-Петербург, 192283, Россия

Леонид Иосифович Балашевич — д-р мед. наук, профессор, главный консультант

ФГБОУ ДПО ИПК России, ул. Гамалеи, д. 15, корпус 4, Москва, 123098, Россия

ООО «Офтальмологическая клиника “СПЕКТР”», проезд Березовой рощи, д. 12, Москва, 125252, Россия

Арсений Александрович Кожухов — д-р мед. наук, профессор кафедры офтальмологии, ведущий офтальмолог-хирург, директор

The University of South Florida, Tampa, FL, 4202 E. Fowler Avenue, Tampa, FL 33620, USA

Кристофер Пассаглия — инженер-программист, отдел химической и биомедицинской инженерии

Дэвид Ричардс — врач-офтальмолог, PhD, отделение офтальмологии

Брайан Мэдоу — врач-офтальмолог, PhD, отделение офтальмологии

Для контактов: Лидия Алексеевна Минева, lydm@mail.ru

Yaroslavl State Medical University, 5, Revolutsionnaya st., Yaroslavl, 150000, Russia

Lydia A. Mineeva — Cand. of Med. Sci., ophthalmologist, assistant, chair of outpatient therapy, clinical laboratory diagnostics and medical biochemistry

Leonid B. Shubin — Cand. of Med. Sci., assistant professor, chair of pathological anatomy

Andrey V. Kabanov — Cand. of Med. Sci., assistant professor, chair of clinical pharmacology

St. Petersburg branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery NMRC, 21, Yaroslava Gasheka St., St. Petersburg, 192283, Russia

Leonid I. Balashevich — Dr. of Med. Sci., Professor, principal consultant

A.I. Burnazyan Medical and Biophysical Center, Ophthalmological department of the Institute of improvement of professional skills, 15, Gamalei St., Moscow, 123098, Russia

Ophthalmological Clinic “Spektr”, 12, proezd Berезovoj roshchi, Moscow, 125252, Russia

Arseny A. Kozhukhov — Dr. of Med. Sci., Professor of chair of ophthalmology, leading ophthalmological surgeon, director

The University of South Florida, 4202 E. Fowler Avenue, Tampa, FL 33620, USA

Christopher L. Passaglia — PC Engineer, Department of Chemical and Biomedical Engineering

David Richards — MD, PhD, ophthalmologist, Department of Ophthalmology

Brian Madow — MD, PhD, ophthalmologist, Department of Ophthalmology

Contact information: Mineeva Lydia, lydm@mail.ru