

Разработка технологии оценки состояния хориоидеи на основе предварительной обработки и количественного анализа изображений воидов по данным ангио-ОКТ

Н.Ю. Ильясова^{1,2}, Р.Т. Самигуллин¹, Д.В. Кириш^{1,2}, Н.С. Демин^{1,2}

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34;

² Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт», 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 151

Аннотация

В данной работе представлена технология выделения областей интереса на изображениях ангио-ОКТ сетчатки глаза с целью количественного анализа параметров хориоидеи для выявления глазных заболеваний. Актуальность исследований заключается в том, что хориоидея является важным элементом глаза, отвечающим за питание сетчатки и обеспечение ее нормального функционирования. Нарушения в работе хориоидеи приводят к различным заболеваниям глаза, включая дегенеративные заболевания сетчатки и глаукому. Разработан метод оценки состояния хориоидеи, который основывается на нахождении участков отсутствия сосудистого сигнала на изображениях ангио-ОКТ сетчатки глаза. Предложены дополнительные признаки для оценки состояния хориоидеи. Проведён сравнительный анализ применимости предложенных признаков для классификации нормы и патологии. Полученные результаты исследований при различных параметрах в алгоритме расчета признаков показывают возможность применения разработанной технологии для построения классификатора. Результаты работы могут быть полезными для специалистов в области офтальмологии и помочь улучшить диагностику и лечение заболеваний глаза.

Ключевые слова: биомедицинские изображения, изображения оптической когерентной томографии, пороговая обработка, хориоидея, количественные признаки, количественный анализ.

Цитирование: Ильясова, Н.Ю. Разработка технологии оценки состояния хориоидеи на основе предварительной обработки и количественного анализа изображений воидов по данным ангио-ОКТ / Н.Ю. Ильясова, Р.Т. Самигуллин, Д.В. Кириш, Н.С. Демин // Компьютерная оптика. – 2025. – Т. 49, № 5. – С. 767-774. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1661.

Citation: Ilyasova NY, Samigullin RT, Kirsh DV, Demin NS. Development of technology for choroidal state assessment based on pre-processing and quantitative analysis of void images from angi-OCT data. Computer Optics 2025; 49(5): 767-774. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1661.

Введение

Хориоидея представляет собой капиллярный слой, простирающийся вдоль мембраны Бруха и располагающийся рядом с внутренней сосудистой оболочкой. Она играет важную роль в поддержании сосудов пигментного эпителия сетчатки и внешней части сетчатки. Хориоидея является основным сосудистым слоем глаза и оказывает влияние на развитие различных глазных заболеваний, таких как возрастная дегенерация жёлтого пятна, полипозная хориоидальная васкулопатия, центральная серозная хориоретинопатия и миопическая дегенерация жёлтого пятна. Гистологические исследования подтверждают, что патологические процессы воздействуют на строму и сосудистую сеть хориоидеи [1].

Изменения структуры хориоидеи были предложены в качестве биомаркеров различных глазных патологий [2]. Изменение толщины хориоидеи наблюдается при центральной серозной хориоретинопатии, болезни Фогта–Коянаги–Харады, полипозной хориоидальной васкулопатии и экссудативной возрастной

макулярной дегенерации. Важно отметить, что направление этих изменений толщины хориоидеи влияет на регулирование роста глаза, так как хориоидея находится на пути сигналов от сетчатки до склеры. Однако точные физиологические механизмы, лежащие в основе этих изменений, до сих пор требуют дальнейшего изучения. Таким образом, васкуляризация хориоидеи является предметом активных исследований глаза человека. Понятие «хориоидальный сосудистый индекс» (CVI) было введено для определения отношения площади просвета сосудов к общей площади хориоидеи [2].

Исследования глазных заболеваний требуют точных и надёжных методов диагностики [3 – 6]. В последние годы оптическая когерентная томография (ОКТ) стала ключевым инструментом в оценке хориоидеи и других структур глаза [1, 7 – 8]. ОКТ – это неинвазивная методика изображений высокого разрешения, позволяющая получить поперечные срезы тканей с микрометровым разрешением [9, 10]. В отличие от других методов, таких как флуоресцентная ангиография или индоцианиновая зелёная ангиография,

которые приобрели значимость в диагностике глазных заболеваний, ОКТ обеспечивает более детальную и объективную информацию о структуре и толщине хориоидеи [11].

Основные особенности ОКТ заключаются в возможности изображения слоёв тканей глаза и оценке их толщины с высоким разрешением [8]. ОКТ позволяет чётко визуализировать состояние хориоидеи, выявлять ее изменения и определять различные патологические состояния, такие как хориоидальные новообразования, отслеживать эффективность лечения и оценивать прогнозы заболевания [12 – 16]. Благодаря возможности получения трёхмерных изображений [17], ОКТ позволяет более полно исследовать структуру и изменения в хориоиде по сравнению с другими методами.

Необходимым для осуществления классификации является выделение текстурных признаков изображения [18].

Исследования изображений ОКТ глазного дна использовались для разработки алгоритмов регистрации диагностики глаукомы в работах [1, 7]. Также в работе [8] изображения ОКТ глазного дна использовались для определения отёка сетчатки, была разработана система классификации. Аналогичные исследования приведены в работах [19 – 26]. В связи с этим был выбран метод анализа и обработки ангио-ОКТ снимков глазного дна.

1. Материалы и методы

В качестве входных данных для обработки использовался набор изображений ОКТ хориоидеи в режиме ангиографии (ангио-ОКТ), обладающий следующими характеристиками:

- размер изображений: 390×390 пикселей;
- общее количество изображений: 40 шт.;
- изображений с патологией: 20 шт.;
- изображений без патологии: 20 шт.

Пример изображения ангио-ОКТ представлен на рис. 1а. Для устранения теневого эффекта и улучшения изображения была применена технология компенсации за счёт перемножения на структурное изображение хориоидеи (рис. 1б).

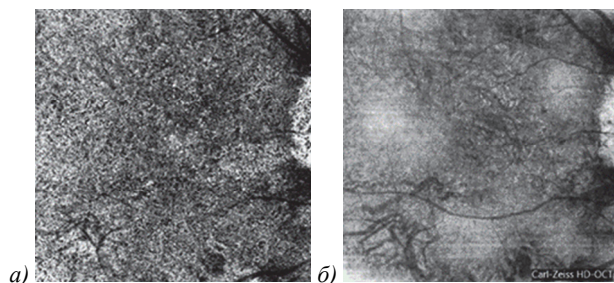


Рис. 1. Примеры используемых изображений (390×390 пикселей): а) ангио-ОКТ хориоидеи; б) структурное изображение хориоидеи

Для оценки статуса хориокапилляриса используются сканы ОКТ с функцией ангиографии (ОКТА).

Для проведения исследования использовались снимки, которые проводились на расстоянии от 9 до 18 мкм в глубину сосудистой оболочки от мембраны Бруха и экспериментально были отобраны пласты толщиной 9 мкм. Изображения на данных глубине и шаге были отобраны на основании того, что на снимках при данных параметрах количество войдов наименьшее [3]. Сам метод заключается в том, что сканы ОКТА подвергаются локальной пороговой обработке с помощью алгоритма Phansalkar, где войды определяются как пиксели черного цвета [4]. Признаком для отслеживания патологических изменений в хориоиде является увеличение количества крупных войдов или увеличение их размера [3].

Для изображений оптической когерентной томографии хориоидеи в режиме ангиографии были предложены такие критерии, как количество войдов и площадь войдов, то есть статус хориокапилляров определяется наличием пустот площадью, равной или превосходящей 5000 мкм^2 [4].

Для дальнейшего анализа хориоидального индекса были выбраны релевантные признаки, на основании которых проводился детальный анализ. Ниже представлена технология оценивания диагностических признаков для выявления патологий по изображениям ангио-ОКТ сетчатки глаза.

2. Технология оценки состояния хориоидеи

Для оценки состояния хориоидеи была разработана технология, состоящая из следующих этапов, включающих методы предварительной обработки:

- а) обработка медианным фильтром;
- б) пороговая обработка;
- в) обработка экстремальным фильтром;
- г) выделение войдов.

На рис. 2 представлены этапы обработки изображений и выделения войдов на данных изображениях. После был произведён подсчёт войдов более 500 мкм^2 . Также на данном рисунке представлено два случая изображения, с патологией и без ангио-ОКТ. Патология (рис. 2а, б, в, ж), без патологии ангио-ОКТ (рис. 2г, д, е, з). Можно заметить, что легко идентифицировать ангио-ОКТ с патологией по количеству войдов, более 5000 мкм^2 , и плотности их распределения. Что показано на гистограммах (рис. 2ж, з).

3. Описание эксперимента

Для количественной оценки хориоидеи на изображениях ангио-ОКТ сетчатки глаза были выбраны следующие характеристики:

- 1) потоковые войды (пустоты) (FV);
- 2) количество войдов (пустот) ($K1$);
- 3) количество войдов, которые имеют площадь, равную 5000 мкм^2 или больше ($K2$);
- 4) контурная характеристика ($K3$);
- 5) коэффициент прозрачности ($K4$);

Потоковые войды вычисляются как соотношение площади войдов и полной площади:

$$FV = \frac{Area_{Flowvoid}}{Area_{whole}} \times 100\%, \quad (1)$$

где $Area_{Flowvoid}$ – область с отсутствием потока.

Для выделения этой области применялась пороговая обработка:

$$Area_{Flowvoid} = \sum (I_{mean} - I(i, j)) > n \times SD, \quad (2)$$

где I_{mean} – среднее значение интенсивности всего изображения $I(i, j)$ – значение интенсивности каждого отдельного пикселя, n – положительное число, SD – стандартное отклонение.

Подсчёт войдов осуществляется с помощью алгоритма, который представлен на рис. 3.

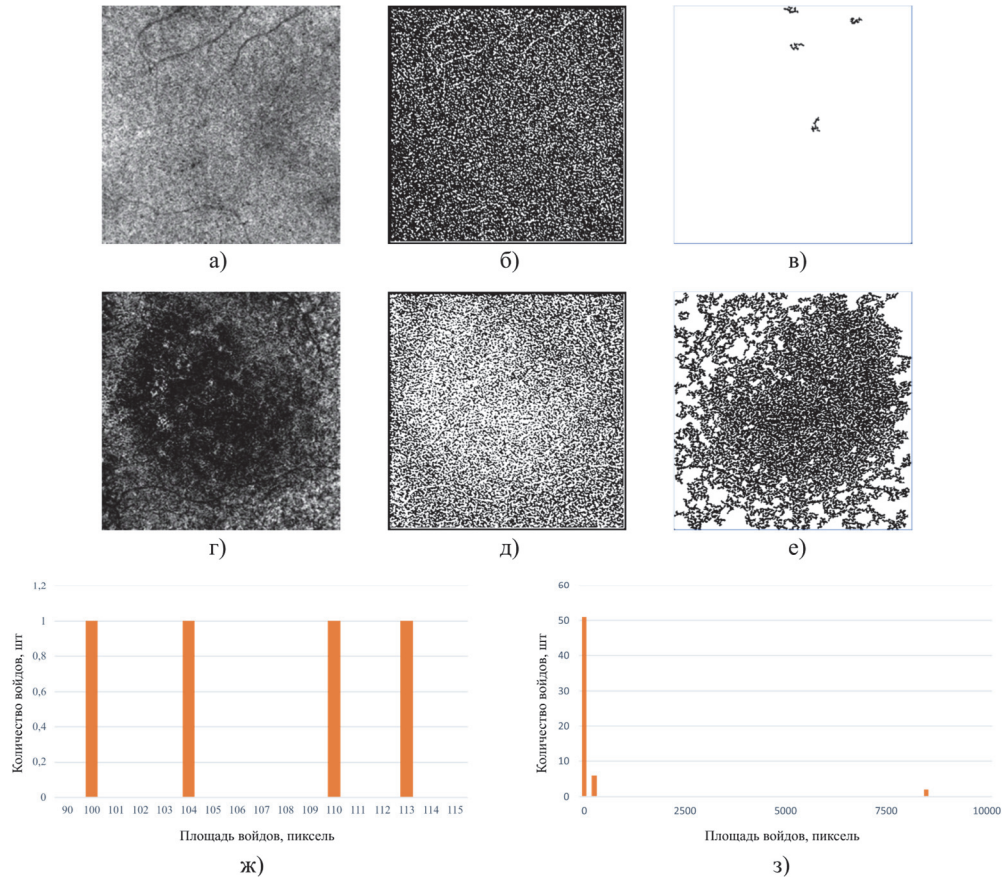


Рис. 2. Результаты выделения войдов на ангио-ОКТ изображении (390×390 пикселей): а) исходное изображение без патологии; б) изображение без патологии после пороговой обработки; в) изображение без патологии после выделения войдов; г) изображение исходное с патологией; д) изображение с патологией после пороговой обработки; е) изображение с патологией после выделения войдов; ж) результат подсчёта войдов для изображения без патологии более 2500 мкм^2 ; з) результат подсчёта войдов для изображения с патологией более 5000 мкм^2

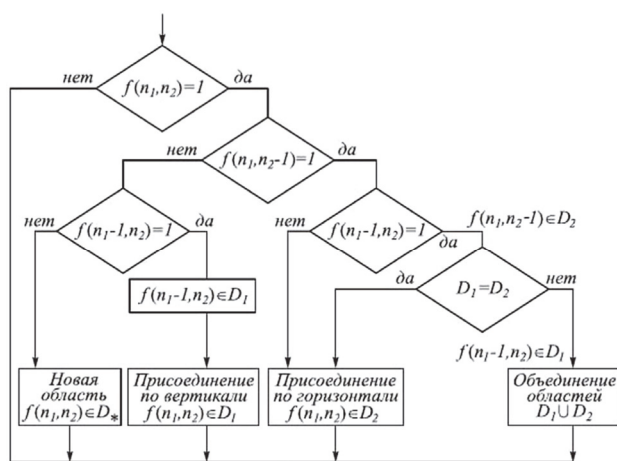


Рис. 3. Схема алгоритма выделения войдов

$K2$ – количество войдов размером более 5000 мкм^2 также определяется с помощью алгоритма (рис. 3).

$K3$ – сумма всех пикселей контуров на изображении.

Прозрачность характеризуется положительным смещением среднего значения I яркости относительно срединного значения:

$$I_c = (I_{max} - I_{min}) / 2. \quad (3)$$

Для непрозрачных сред $I < I_c$. Количественным выражением параметра является коэффициент прозрачности, коэффициент определяется по формуле (3) [3].

$$K_4 = (\bar{I} - I_c) / \bar{I}, \quad (4)$$

где K_4 – коэффициент прозрачности, I – среднее значение яркости, I_c – срединное значение яркости.

Согласно исследованиям, проведённым в литературе [4], у индивидов с патологией хориокапилляров наблюдалось большее количество крупных пустот по сравнению со здоровыми пациентами. Для улучшения результатов последующей классификации и разделимости признаков была предложена теневая компенсация изображения. Для реализации теневой компенсации было использовано структурное изображение хориоидеи, снятое в паре с ангио-ОКТ изображением. Структурное изображение ОКТ позволяет рассмотреть различные слои и структуры глазного фонда, такие как сетчатка, хориоидея, стекловидное тело и другие.

Для улучшения результатов были предложены следующие этапы предобработки:

- 1) Инверсия структурного изображения.
- 2) Перемножение изображений структурного и ангио-ОКТ.

Таким образом реализована теневая компенсация. Перемножение происходило по следующей формуле:

$$F_{Compensated} = F_{CC} \times (1 - Norm(S_{CC})), \quad (5)$$

где $Norm$ представляет операцию нормализации изображения, S_{CC} – структурное изображение хориоидеи, F_{CC} – ангио-ОКТ изображение.

По результатам предобработки была проведена оценка для изображений, прошедших теневую компенсацию, и тех, что были без неё, по описанным ранее критериям.

4. Результаты исследований и обсуждение

На рис. 4, 5 приведены результаты выполнения программы с изображениями, предоставленными Московским стоматологическим университетом (кафедра офтальмологии) им. А.И. Евдокимова.

На рис. 4 представлены результаты выполнения программы с изображением ангио-ОКТ без патологии. На рис. 5 представлены результаты выполнения программы с изображением ангио-ОКТ пациента с патологией. Так как на данных ангио-ОКТ без патологии не было найдено войдов больше 5000 мкм², то было введено значение $K2_{2500}$, которое характеризует количество войдов, превышающих размер 2500 мкм².

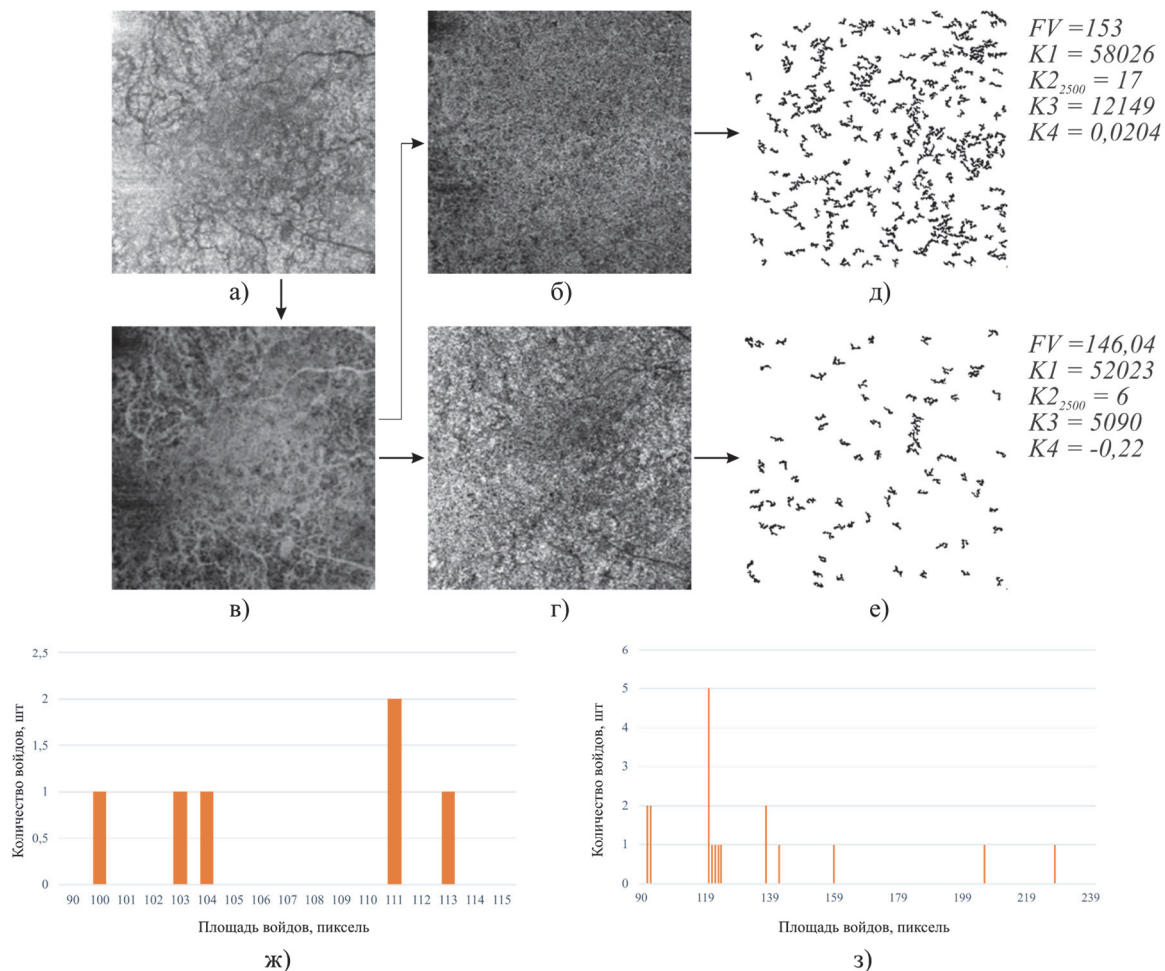


Рис. 4. Результаты выполнения программы для ангио-ОКТ изображений (390×390 пикселей) без патологии:

а) структурное изображение; б) ангио-ОКТ; в) инверсия структурного изображения; г) изображение после теневой компенсации; д) изображение выделенных войдов из необработанного изображения; е) изображение выделенных войдов из обработанного изображения; ж) гистограмма распределения войдов > 2500 мкм² с обработкой; з) гистограмма распределения войдов > 2500 мкм² без обработки

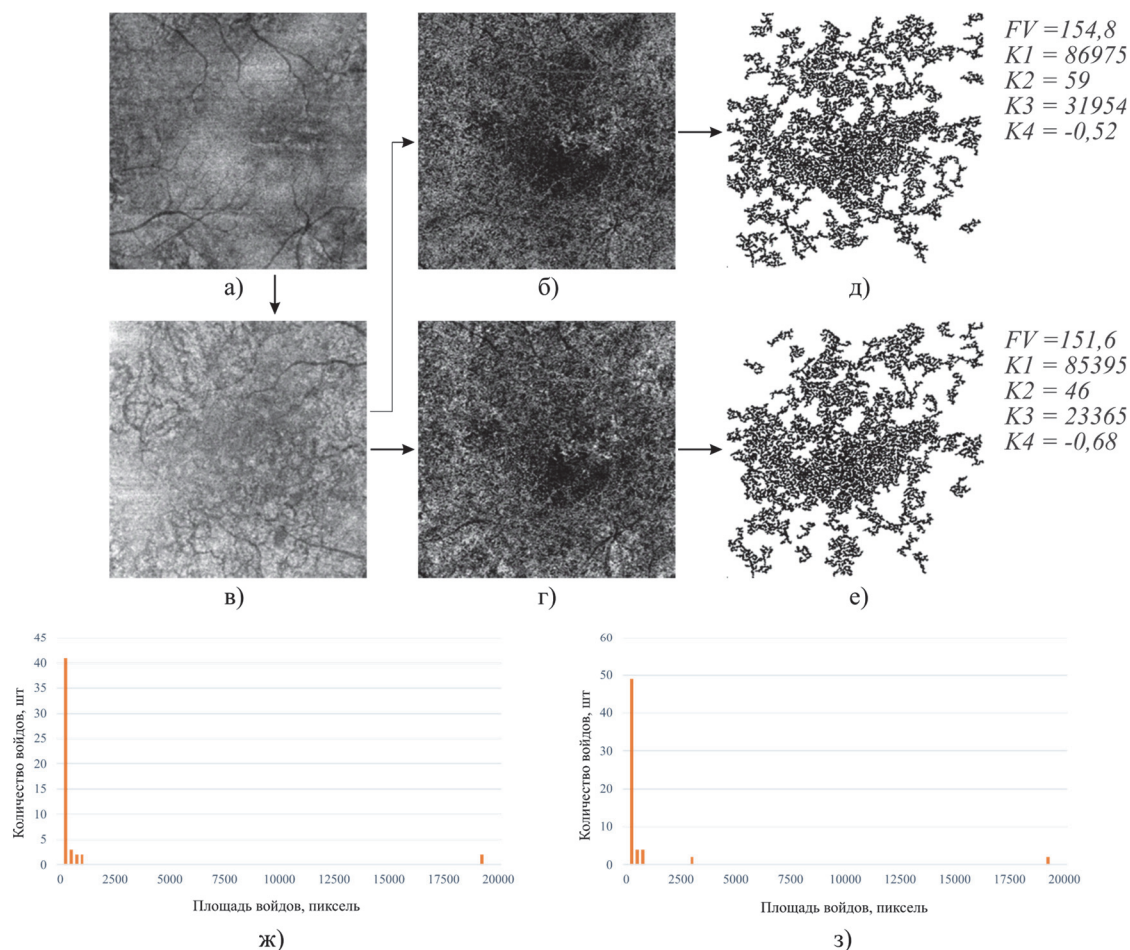


Рис. 5. Результаты выполнения программы для ангио-ОКТ изображений (390×390 пикселей) с патологией: а) структурное изображение; б) ангио-ОКТ; в) инверсия структурного изображения; г) изображение после теневой компенсации; д) изображение выделенных воедов из необработанного изображения; е) изображение выделенных воедов из обработанного изображения; ж) гистограмма распределения воедов > 5000 мкм² с обработкой, з) гистограмма распределения воедов > 5000 мкм² без обработки

Представленный алгоритм работает вне зависимости от оборудования, используемого для регистрации ангио-ОКТ.

При проведении сравнения выходных данных характеристик до и после предобработки FV , $K1$, $K2$, $K3$, $K4$ обнаружено существенное увеличение разницы между значениями $K2$ для образцов без патологии и образцов с патологией. У образцов с патологией наблюдается незначительное снижение разницы, в то время как у образцов без патологии воеды площадью более 5000 мкм² исчезли, а количество воедов площадью свыше 2500 мкм² уменьшилось в два раза. Значение FV также снижается при использовании теневой компенсации, что соответствует уменьшению количества воедов. При различных значениях параметра n в формуле (2) (табл. 1) значения количества проточных воедов при подсчёте изменяется как для изображения с патологией, так и для изображения без патологии.

Таким образом был разработан метод оценки состояния хориоидеи путём нахождения участков отсутствия сосудистого сигнала (воедов) на ангио-ОКТ изображениях хориоидеи, который позволил улучшить выделяемые признаки и увеличить разделимость между

образцами с патологией и без. Была предложена технология количественного оценивания хориоидеи выделением и подсчётом воедов. Также был предложен метод улучшения способа подсчёта воедов, включающий пороговую обработку, и анализ изменения качества обработки при различных значениях порога. В дальнейшем данные признаки будут использованы для разработки классификатора.

Табл. 1. Результаты подсчета количества проточных воедов с предобработкой и без для различных значений параметра пороговой обработки

		Значение параметра n		
		1	2	4
Образец без патологии	FV -comp.	146,04	138,56	131,31
	FV	153,68	151,13	145,9
Образец с патологией	FV -comp.	184,94	176,61	156,94
	FV	188,28	181,50	160,94

Так как в рамках данной работы не рассматривалось построение классификатора, то произвести

численное сравнение с другими публикациями невозможно. Ближайшая по результатам работа [26] рассматривает лишь подсчёт признака FV , и в качестве предобработки используется гауссов фильтр. В рамках же текущей работы фильтрация шумов производится в несколько этапов, что позволяет лучше

компенсировать импульсные шумы, являющиеся обычным явлением для данных ОКТ. Также предлагается использовать большее количество признаков, что может улучшить результат классификации. Пример применения предложенной технологии к исходным данным работы [26] представлен на рис. 6.

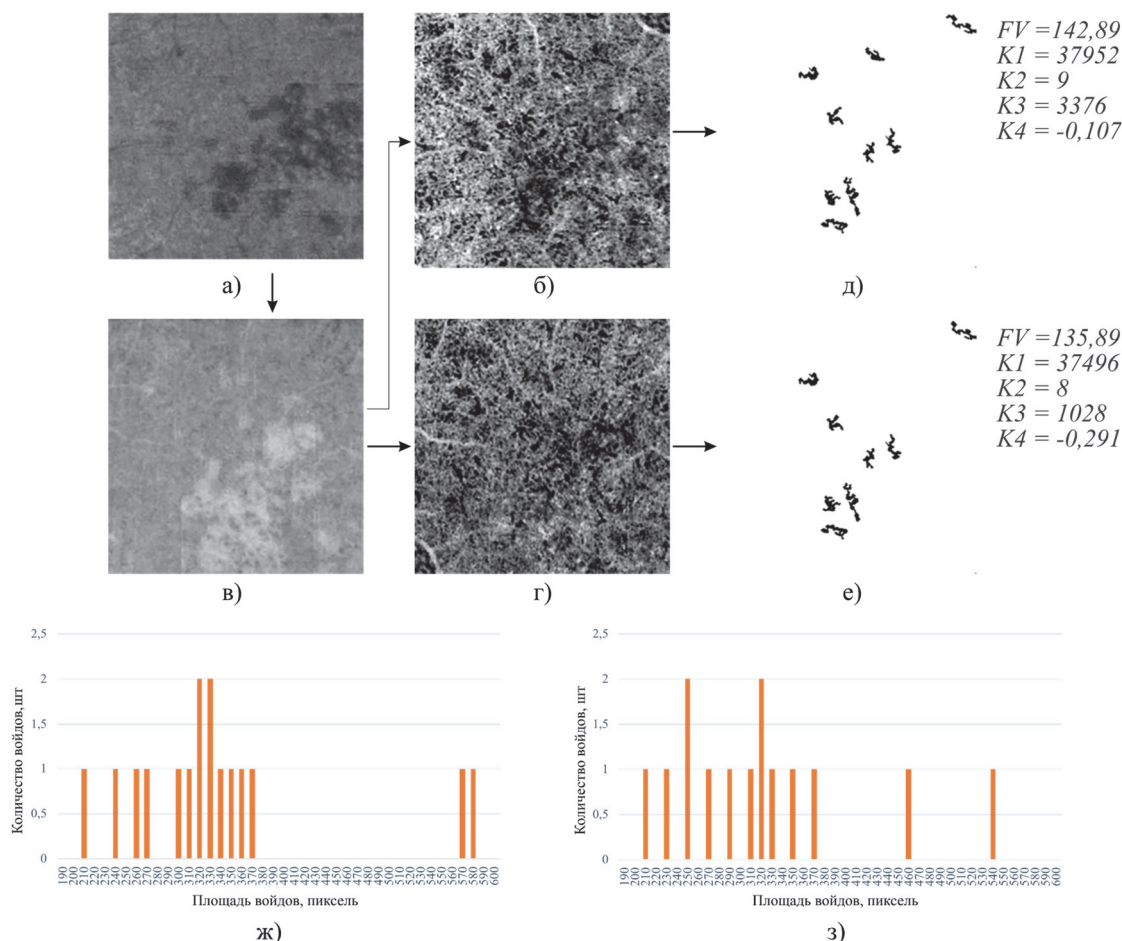


Рис. 6. Результаты выполнения программы для ангио-ОКТ изображений (390×390 пикселей) с патологией из работы [26]: а) структурное изображение; б) ангио-ОКТ; в) инверсия структурного изображения; г) изображение после теневой компенсации; д) изображение выделенных войдов из обработанного изображения; е) изображение выделенных войдов из необработанного изображения; ж) гистограмма распределения войдов $> 5000 \text{ мкм}^2$ с обработкой; з) гистограмма распределения войдов $> 5000 \text{ мкм}^2$ без обработки

Заключение

Васкуляризация хориоидеи является предметом активных исследований при прогнозировании глазных заболеваний человека.

В статье был предложен метод выделения анализа ангио-ОКТ изображений, включающий методы предварительной обработки, использующие структурные изображения для теневой компенсации, что значительно увеличивает корреляцию между признаками, для изображений ангио-ОКТ с патологией и без патологии. В результате проведённых экспериментов для изображений ангио-ОКТ с патологией и без патологии были получены результаты подсчёта войдов для различных значений пороговой обработки. Результаты свидетельствуют о том, что этап теневой компенсации существенно улучшает анализ изображений ангио-

ОКТ. Предложенная в работе технология показывает возможность разделения классов нормы и патологии с использованием рассмотренных признаков. Дальнейшие исследования будут направлены на сбор данных, достаточных для построения классификатора на основе описанных в данной работе методов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке государственного задания по теме FSSS-2023-0006 (теоретическая и экспериментальная часть) и в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» (программная реализация).

References

- [1] Raja H, Akram MU, Hassan T, Ramzan A, Aziz A, Raja H. Glaucoma detection using optical coherence tomography

- images: a systematic review of clinical and automated studies. *IETE J Res* 2023; 69(11): 7958-7978. DOI: 10.1080/03772063.2022.2043783.
- [2] Breher K, Terry L, Bower T, Wahl S. Choroidal biomarkers: a repeatability and topographical comparison of choroidal thickness and choroidal vascularity index in healthy eyes. *Transl Vis Sci Technol* 2020; 9(11): 8. DOI: 10.1167/tvst.9.11.8.
- [3] Ilyasova NYu, Demin NS, Shirokaney AS, Kupriyanov AV, Zamytskiy EA. Method for selection macular edema region using optical coherence tomography data. *Computer Optics* 2020; 44(2): 250-258. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-691.
- [4] Ilyasova NY, Kirsh DV, Demin NS. Decision-making support system for the personalization of retinal laser treatment in diabetic retinopathy. *Computer Optics* 2022; 46(5): 774-782. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1129.
- [5] Paringer RA, Mukhin AV, Ilyasova NY, Demin NS. Neural networks application for semantic segmentation of fundus. *Computer Optics* 2022; 46(4): 596-602. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1010.
- [6] Bhandary SV, Adigal SS, Lukose J, John RV, Rizvi A, Chidangil S. Human eye lens fluid analysis using high-performance liquid chromatography-led-induced fluorescence to explore cataract: A pilot study. *J Biomed Photonics Eng* 2024; 10(3): 030302. DOI: 10.18287/jbpe24.10.030302.
- [7] An G, Omodaka K, Hashimoto K, et al. Glaucoma diagnosis with machine learning based on optical coherence tomography and color fundus images. *J Healthc Eng* 2019; 2019: 4061313. DOI: 10.1155/2019/4061313.
- [8] Hassan B, Ahmed R, Li B, Hassan O, Hassan T. Automated retinal edema detection from fundus and optical coherence tomography scans. 2019 5th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR) 2019: 325-330. DOI: 10.1109/ICCAR.2019.8813311.
- [9] Nassisi M, Baghdasaryan E, Tepelus T, Asanad S, Borrelli E, Sadda SR. Topographic distribution of choriocapillaris flow deficits in healthy eyes. *PloS One* 2018; 13(11): e0207638. DOI: 10.1371/journal.pone.0207638.
- [10] Parvathi ML, Bright BA, Damodaran V. Spectrometer design for an 840 NM spectral domain optical coherence tomography system. *J Biomed Photonics Eng* 2023; 9(3): 030316. DOI: 10.18287/jbpe23.09.030316.
- [11] Chu Z, Zhou H, Cheng Y, Zhang Q, Wang RK. Improving visualization and quantitative assessment of choriocapillaris with swept source OCTA through registration and averaging applicable to clinical systems. *Sci Rep* 2018; 8(1): 16826. DOI: 10.1038/s41598-018-34826-5.
- [12] Zhang L, et al. Automated segmentation of the choroid from clinical SD-OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012; 53(12): 7510-7519. DOI: 10.1167/iovs.12-10311.
- [13] Gupta C, et al. Choroidal structural analysis in eyes with diabetic retinopathy and diabetic macular edema – A novel OCT based imaging biomarker. *PLoS One* 2018; 13(12): e0207435. DOI: 10.1371/journal.pone.0207435.
- [14] Sohrab M, Wu K, Fawzi AA. A pilot study of morphometric analysis of choroidal vasculature in vivo, using en face optical coherence tomography. *PloS One* 2012; 7(11): e48631. DOI: 10.1371/journal.pone.0048631.
- [15] Sekiryu T. Choroidal imaging using optical coherence tomography: techniques and interpretations. *Jpn J Ophthalmol* 2022; 66(3): 213-226. DOI: 10.1007/s10384-022-00902-7.
- [16] Yan Q, Ma Y, Wu W, Mou L, Huang W, Cheng J, Zhao Y. Choroidal layer analysis in OCT images via ambiguous boundary-aware attention. *Comput Biol Med* 2024; 175: 108386. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2024.108386.
- [17] Halavataya KA, Kozadaev KV, Sadau VS. Adjusting videoendoscopic 3D reconstruction results using tomographic data. *Computer Optics* 2022; 46(2): 246-251. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-910.
- [18] Kolchev AA, Pasyukov DV, Egoshin IA, Kliouchkin IV, Pasyukova OO. Classification of benign and malignant solid breast lesions on the ultrasound images based on the textural features: the importance of the perifocal lesion area. *Computer Optics* 2024; 48(1): 157-165. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1244.
- [19] Spaide RF. Choriocapillaris flow features follow a power law distribution: implications for characterization and mechanisms of disease progression. *Am J Ophthalmol* 2016; 170: 58-67. DOI: 10.1016/j.ajo.2016.07.023.
- [20] Burnasheva MA, Kulikov AN, Maltsev DS. Artifact-free evaluation of choriocapillaris perfusion in central serous chorioretinopathy. *Vision* 2020; 5(1): 3. DOI: 10.3390/vision5010003.
- [21] Chu Z, Zhang Q, Gregori G, Rosenfeld PJ, Wang RK. Guidelines for imaging the choriocapillaris using OCT angiography. *Am J Ophthalmol* 2021; 222: 92-101. DOI: 10.1016/j.ajo.2020.08.045.
- [22] Chua J, Chin CWL, Tan B, et al. Impact of systemic vascular risk factors on the choriocapillaris using optical coherence tomography angiography in patients with systemic hypertension. *Sci Rep* 2019; 9(1): 5819. DOI: 10.1038/s41598-019-41917-4.
- [23] Sripesma SA, Shah NK, Chui CM, et al. Retinal vascular perfusion density mapping using optical coherence tomography angiography in normals and diabetic retinopathy patients. *Retina* 2015; 35(11): 2353-2363. DOI: 10.1097/IAE.0000000000000862.
- [24] Loria O, Kodjikian L, Denis P, et al. Quantitative analysis of choriocapillaris alterations in swept-source optical coherence tomography angiography in diabetic patients. *Retina* 2021; 41(9): 1809-1818. DOI: 10.1097/IAE.0000000000003102.
- [25] Tan KA, Laude A, Yip V, et al. Choroidal vascularity index – a novel optical coherence tomography parameter for disease monitoring in diabetes mellitus? *Acta Ophthalmol* 2016; 94(7): e612-e616. DOI: 10.1111/aos.13044.
- [26] Zhang Q, Zheng F, Motulsky EH, et al. A novel strategy for quantifying choriocapillaris flow voids using swept-source OCT angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018; 59(1): 203-211. DOI: 10.1167/iovs.17-22953.

Сведения об авторах

Ильясова Наталья Юрьевна, 1966 года рождения. В 1991 году окончила с отличием Самарский государственный аэрокосмический университет имени С.П. Королёва (СГАУ). В 1997 году защитила диссертацию на соискание степени кандидата технических наук, в 2015 году защитила диссертацию на соискание степени доктора технических наук. В настоящее время работает заведующей лабораторией математических методов обработки изображений Отделения «Институт систем обработки изображений – Самара» НИЦ «Курчатовский институт» и по совместительству профессором кафедры технической кибернетики Самарского университета. Круг научных интересов включает цифровую обработку сигналов и изображений, анализ и интерпретацию биомедицинских изображений. Имеет более 170 публикаций, три монографии (в соавторстве). E-mail: ilyasova@ipsiras.ru

Самигуллин Равиль Тагирович, 2001 года рождения, магистр Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва. Сфера научных интересов: интеллектуальный анализ медицинских изображений; цифровая обработка изображений; математическое моделирование; распознавание образов и искусственный интеллект. E-mail: samigullin.ravil2015@yandex.ru

Кирш Дмитрий Викторович, 1990 года рождения, в 2019 году защитил диссертацию на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики». В настоящий момент работает в должности доцента на кафедре технической кибернетики Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева (Самарский университет), а также в должности научного сотрудника Отделения «Институт систем обработки изображений – Самара» НИЦ «Курчатовский институт». Сфера научных интересов: цифровая обработка изображений и распознавание образов, машинное обучение, методы идентификации в кристаллографии. E-mail: kirsh@ssau.ru

Демин Никита Сергеевич, 1994 года рождения, старший преподаватель кафедры технической кибернетики Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва. Сфера научных интересов: интеллектуальный анализ медицинских изображений; цифровая обработка изображений; математическое моделирование; распознавание образов и искусственный интеллект. E-mail: volfgunus@gmail.com

ГРНТИ: 28.23.14

Поступила в редакцию 27 декабря 2024 г. Окончательный вариант – 03 апреля 2025 г.

Development of technology for choroidal state assessment based on pre-processing and quantitative analysis of void images from angio-OCT data

N.Yu. Ilyasova ^{1,2}, R.T. Samigullin ¹, D.V. Kirsh ^{1,2}, N.S. Demin ^{1,2}

¹ Samara National Research University, Moskovskoye Shosse 34, Samara, 443086, Russia;

² Image Processing Systems Institute, NRC "Kurchatov Institute",
Molodogvardeyskaya 151, Samara, 443001, Russia

Abstract

This paper presents a technology of selecting regions of interest in retinal angio-OCT images for conducting a quantitative analysis of choroidal parameters for the eye disease detection. The relevance of the research is evident from an important role of the choroid in the eye, which provides nourishment to the retina, thus ensuring its normal functioning. Abnormalities in choroid functioning lead to various eye diseases, including degenerative retinal diseases and glaucoma. We propose a method of choroidal condition assessment based on finding areas of vascular signal absence in the retinal angio-OCT images. A comparative analysis of the applicability of the proposed features for the classification of normality and pathology is carried out. The results of study obtained under different parameters of the algorithm of feature calculation reveal that the developed technology shows promise for designing a classifier. The results presented can be useful for specialists in ophthalmology and help to improve the diagnosis and treatment of eye diseases.

Keywords: biomedical images, optical coherence tomography images, thresholding, choroid, quantitative features, quantitative analysis.

Citation: Ilyasova NY, Samigullin RT, Kirsh DV, Demin NS. Development of technology for choroidal state assessment based on pre-processing and quantitative analysis of void images from angio-OCT data. *Computer Optics* 2025; 49(5): 767-774. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1661.

Acknowledgements: This work was carried out within the state assignment theme FSSS-2023-006 (Theoretical and experimental part) and within the government project of the NRC "Kurchatov Institute" (Software implementation).

Author's information

Nataly Yurievna Ilyasova (born 1966), graduated with honors from S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU) (1991). She received her PhD (1997) and DSc (2015) in Technical Sciences. At present, she is a Head of Laboratory at the Image Processing Systems Institute, NRC "Kurchatov Institute", and holding a part-time position of Professor at the Technical Cybernetics department of Samara University. The area of interests includes digital signals and image processing, pattern recognition and artificial intelligence, biomedical imaging and analysis. Her list of publications contains more than 170 scientific papers and 3 monographs published with coauthors. E-mail: ilyasova@ipsiras.ru

Ravil Tagirovich Samigullin (born 2001), master's degree from Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov. Research interests: intellectual analysis of medical images; digital image processing; mathematical modeling; pattern recognition and artificial intelligence. E-mail: samigullin.ravil2015@yandex.ru

Dmitriy Victorovich Kirsh (born 1990) completed (2018) the postgraduate program in Computer Science and Computer Engineering. At present, he is a lecturer at the Technical Cybernetics department of Samara University and also a researcher at the Image Processing Systems Institute, NRC "Kurchatov Institute". The area of interests includes digital image processing and pattern recognition, methods of mathematical formulation and comparison of crystal lattices, classification of crystal lattices. E-mail: kirsh@ssau.ru

Nikita Sergeevich Demin (born 1994), completed (2023) the postgraduate program in Computer Science and Computer Engineering. At present he is lecturer at the Technical Cybernetics department of Samara University. The area of interests includes digital image processing, mathematical modeling, pattern recognition and artificial intelligence. E-mail: volfgunus@gmail.com

Received December 27, 2024. The final version – April 03, 2025.
