



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-40-46>

# Исследование глазного кровотока у пациентов с пигментным ретинитом методом лазерной спекл-флоуграфии

Т.Д. Охочимская<sup>1</sup> ✉, Н.В. Нероева<sup>1</sup>, И.В. Зольникова<sup>1, 2</sup>, Н.Е. Дерюгина<sup>1</sup>, О.И. Маркелова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ «Медико-генетический научный центр им. академика Н.П. Бочкова» ул. Москворечье, д. 1, Москва, 115522, Россия

*Пигментный ретинит (ПР) занимает первое место в структуре наследственных заболеваний сетчатки. Сужение сосудов является одним из характерных офтальмоскопических признаков ПР. Лазерная спекл-флоуграфия (LSFG) — новый неинвазивный метод, позволяющий количественно оценить кровоток в заднем полюсе глаза. Цель работы — оценить изменения кровотока в области диска зрительного нерва (ДЗН) и макулы у пациентов с ПР методом LSFG. Материал и методы. Обследованы 16 пациентов с ПР в возрасте от 25 до 70 лет, а также 40 здоровых добровольцев (группа сравнения), сопоставимых по полу и возрасту. Основным показателем кровотока — MBR (Mean Blur Rate), также широкий спектр параметров пульсовой волны определяли с помощью LSFG-RetFlow (Nidek) как для всей зоны исследования, так и отдельно для крупных сосудов и микроциркуляторного русла. Результаты. У пациентов с ПР выявлено достоверное снижение ( $p \leq 0,05$ ) основных исследуемых показателей кровотока. У пациентов с низкой остротой зрения наиболее выраженное снижение показателей кровотока отмечено в макулярной области. Заключение. LSFG является эффективным методом оценки глазного кровотока у пациентов с ПР. Полученные данные могут свидетельствовать о том, что дефицит кровотока является независимым патогенетическим звеном в развитии ПР. В перспективе метод может быть использован для оценки эффективности терапии у пациентов с ПР.*

**Ключевые слова:** наследственные дистрофии сетчатки; пигментный ретинит; глазной кровоток; лазерная спекл-флоуграфия; LSFG; MBR; показатели пульсовой волны

**Конфликт интересов:** отсутствует.

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

**Для цитирования:** Охочимская Т.Д., Нероева Н.В., Зольникова И.В., Дерюгина Н.Е., Маркелова О.И. Исследование глазного кровотока у пациентов с пигментным ретинитом методом лазерной спекл-флоуграфии. Российский офтальмологический журнал. 2024; 17 (1): 40-6. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-40-46>

## Studying ocular blood flow in patients with retinitis pigmentosa using laser speckle flowgraphy

Tatiana D. Okhotsimskaya<sup>1</sup> ✉, Natalia V. Neroeva<sup>1</sup>, Inna V. Zolnikova<sup>1, 2</sup>, Natalia E. Deryugina<sup>1</sup>, Oksana I. Markelova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

<sup>2</sup> N.P. Bochkov Research Centre for Medical Genetics, 1, Moskvorechye St., Moscow, 115522, Russia  
[tata123@inbox.ru](mailto:tata123@inbox.ru)

*Retinitis pigmentosa (RP) ranks first in the structure of hereditary retinal diseases. Vasoconstriction is one of the main ophthalmoscopic indications of PR. Laser speckle flowgraphy (LSFG) is a new non-invasive method that allows quantitative assessment of blood flow in*

the posterior pole of the eye. **Purpose:** to evaluate changes in blood flow as determined by the LSFG method in the area of the optic nerve head (ONH) and the macular area in PR patients. **Material and methods.** The study included 16 patients with PR aged 25 to 70 years. The control group consisted of 40 healthy volunteers, comparable in gender and age. Blood flow was determined using an LSFG-RetFlow device (Nidek), the main indicator of blood flow determined was MBR (Mean Blur Rate), which was measured for the entire study area, as well as separately for large vessels, and for the microvasculature. A wide range of pulse wave parameters determined by the tool instrument was also analyzed. **Results.** This study revealed a significant decrease in blood flow in PR patients compared with healthy individuals in different age groups and at different stages of the disease ( $p \leq 0.05$ ). In patients with low visual acuity, the deficit of blood flow in the macular area was found to be more pronounced. **Conclusion.** LSFG is an effective method for determining ocular blood flow in PR patients. The data may indicate that a decrease in blood flow is an independent pathogenetic factor in the development of PD. In the future, the method can be used to assess the effectiveness of therapy of patients with PR.

**Keywords:** hereditary retinal dystrophies; retinitis pigmentosa; ocular blood flow; laser speckle flowgraphy; LSFG; MBR; parameters of pulse wave

**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:** Okhotsimskaya T.D., Neroeva N.V., Zolnikova I.V., Deryugina N.E., Markelova O.I. Studying ocular blood flow in patients with retinitis pigmentosa using laser speckle flowgraphy. Russian ophthalmological journal. 2024; 17 (1): 40-6 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-40-46>

Пигментный ретинит (ПР, синонимы — пигментная дистрофия сетчатки, пигментная абитрофия сетчатки) — гетерогенная группа наследственных дистрофий сетчатки, характеризующихся первичной прогрессирующей дегенерацией палочковых и колбочковых фоторецепторов, а также пигментного эпителия сетчатки и приводящих к тяжелым нарушениям зрительных функций. Данная патология занимает первое место в структуре наследственных заболеваний сетчатки с частотой 1 на 3000—4000 человек.

При ПР в первую очередь поражается палочковый аппарат, что клинически проявляется никталопией и нарушением темновой адаптации уже на начальных стадиях заболевания с последующим концентрическим сужением поля зрения. Повреждение колбочек на более поздних стадиях заболевания приводит к потере центрального зрения.

Диагноз ПР устанавливается на основании клинической картины и подтверждается молекулярно-генетическим обследованием [1–5]. Необходимыми методами диагностики, подтверждающими диагноз, являются полная электроретинография (ЭРГ) и макулярная ЭРГ, определяющие характерный для ПР паттерн дисфункции фоторецепторов, прежде всего палочек, а в последующем и колбочек [6].

Офтальмоскопическая картина ПР характеризуется триадой симптомов: перераспределением пигмента по периферии глазного дна по типу «костных телец», сужением сосудов и бледностью диска зрительного нерва (ДЗН).

Для уточнения состояния глазного кровотока при ПР применяются различные методы визуализации. Методом оптической когерентной томографии с функцией ангиографии показано снижение плотности кровотока в поверхностном и глубоком сосудистом сплетении у пациентов с ПР в среднем на 30% по сравнению со здоровыми лицами [7, 8]. Т.Н. Киселева и соавт. [9] методом цветового доплеровского картирования выявили незначительное снижение систолической скорости кровотока (Vsyst) в центральной артерии и вене сетчатки, а также в задних коротких цилиарных артериях в начальной стадии ПР с проградентным значимым снижением показателей на среднетяжелой и развитой стадиях ПР. С помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) в ангиорежиме выявлено снижение кровотока в хориоретинальном комплексе, коррелирующее с данными ЭРГ [10].

Лазерная спекл-флоуграфия (LSFG) — новый неинвазивный метод, который позволяет количественно оценить кровотоки в заднем полюсе глаза в режиме реального време-

ни. Метод позволяет визуализировать кровотоки не только в ретинальных сосудах, но и в хориоидее [11–14].

**ЦЕЛЬ** работы — оценить изменения кровотока, определяемые методом LSFG, в области ДЗН и макулярной области у пациентов с ПР.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование включены 16 пациентов с ПР (9 мужчин и 7 женщин), в возрасте от 25 до 70 лет (средний возраст —  $39,0 \pm 17,48$  года). В исследование не включались пациенты с сердечно-сосудистыми заболеваниями (гипертоническая болезнь, атеросклероз и др.) и сахарным диабетом, так как данная патология может потенциально влиять на результаты исследования. Группа сравнения была сопоставима по полу и возрасту и состояла из 40 здоровых добровольцев.

Диагноз ПР был установлен на основании клинической картины, подтвержден результатами ЭРГ и периметрии. Для определения кровотока использовался прибор LSFG-RetFlow (Nidek). Для анализа на полученное изображение, так называемую составную карту кровотока, накладывается определенный тип шаблона, определяющий зону интереса — участок, внутри которого проводятся измерения. В данном исследовании применяли стандартный шаблон «двойной круг» 4,5 мм, созданный по типу «решетки ETDRS». Полученные результаты отражались в виде графика пульсовой волны и сводной таблицы с изучаемыми параметрами. Основной интегральный показатель кровотока, определяемый в данном исследовании, — MBR (Mean Blur Rate, «средняя скорость размытия») — отражает относительную скорость кровотока. MBR определялся для всей зоны исследования (МА), а также отдельно для крупных сосудов (MV) и для микроциркуляторного русла (MT) внутри исследуемой зоны. Анализировались также дополнительные параметры пульсовой волны: BOT (Blowout Time; время пульсовой волны, в течение которого показатели MBR были выше средних значений в текущей серии измерений), BOS (Blowout Score: объем кровотока за одно сердечное сокращение), FAI (Flow Acceleration Index: отражает возможность быстрого увеличения кровотока в течение короткого периода времени), Skew (смещение пульсовой волны относительно средних значений), ATI (Acceleration Time Index: доля времени, которая требуется для достижения пика пульсовой волны по отношению к периоду сердечного сокращения), Rr (Rising gate — отражает состояние восходящей части пульсовой волны) и Fr (Falling rate — отражает состояние нисходящей

части пульсовой волны), RI (Resistivity Index — индекс резистентности), Fluctuation («колебание волны» — показатель микроциркуляции, характеризующий нестабильность (турбулентность) кровотока), Max, min, max-min (максимальные и минимальные значения MBR и их разница), ARBS (Area ratio of blood stream — отношение площади сосудов к общей площади изучаемой зоны).

Измерения проводились в области ДЗН и макулярной зоне. Поскольку ДЗН является местом выхода основных ретинальных сосудов, MV на ДЗН можно рассматривать как маркер изменений ретинального кровотока. В MBR макулярной области вносит вклад не только ретинальный, но и хориоидальный кровоток, давая таким образом представление о состоянии всего ретинохориоидального комплекса, что особенно важно у пациентов с ПР.

Известно, что скоростные показатели кровотока имеют тенденцию к снижению с возрастом, что было подтверждено в том числе и методом LSFSG [15–16], поэтому анализ результатов проводили с учетом возрастных изменений кровотока (рисунок).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Учитывая возрастное снижение кровотока, при анализе полученных данных пациентов разделили на две подгруппы в зависимости от возраста: 20–40 лет (9 пациентов, средний возраст — 28,18 ± 1,93 года) и старше 40 лет (7 пациентов, средний возраст — 56,29 ± 5,79 года). Группы сравнения были сопоставимы по полу и возрасту с исследуемыми группами. Полученные результаты представлены в таблице 1.

У пациентов с ПР выявлено достоверное снижение показателей кровотока. Основные исследуемые показатели в обеих возрастных группах были достоверно ниже, чем в группе сравнения ( $p \leq 0,05$ ). В области ДЗН показатели MBR, MV, MT, MA и MV-MT были в 1,6–1,9 (в среднем 1,8) раза

ниже нормы для группы 20–40 лет и в 2,2–2,8 (в среднем в 2,5) раза ниже для группы старше 40 лет. В области макулы изменения были менее выражены: снижение составляло 18–24% (в среднем 19,4%) для группы 20–40 лет и 21–27% (в среднем 23,2%) для группы старше 40 лет. Показатели min, max и max-min, которые наиболее четко коррелируют с основными показателями MBR, в обеих возрастных группах более значимо снижались на ДЗН — на 40–60%, в макуле снижение составило 24–40%, что также было статистически достоверно.

Анализ отдельных показателей пульсовой волны выявил, что показатели BOS, BOT, индекс резистентности (RI), Rr, Fluctuation существенно не отличались от возрастной нормы и не демонстрировали характерных изменений. Достоверные изменения фиксировались по отдельным показателям. Так, в макулярной зоне показатель ARBS снижался на 33 и 41%, а Skew на 10 и 8% в возрастных группах 20–40 лет и > 40 лет соответственно. На ДЗН показатель ATI повышался на 13,5%, а Falling rate на 7% в группе 20–40 лет ( $p \leq 0,05$ ). FAI на ДЗН был в 1,9 ниже для группы 20–40 лет и в 2,7 раза ниже для группы > 40 лет. В области макулы снижение FAI было менее выражено и составляло 29% для группы 20–40 лет и всего 8% для группы старше 40 лет.

Пациенты были также разделены на подгруппы в зависимости от состояния зрительных функций. За основу деления была принята классификация Л.А. Кацнельсона и соавт. [17], согласно которой процесс развития ПР можно подразделить на 4 стадии в зависимости от остроты зрения, сужения полей зрения, данных ЭРГ и других признаков. Пациенты 1-й подгруппы имели остроту зрения  $\geq 0,3$  (соответствует III и IV стадиям классификации), 2-й подгруппы имели остроту зрения  $< 0,3$  (I и II стадии ПР). 1-я подгруппа состояла из 10 пациентов, средняя острота зрения составила  $0,42 \pm 0,19$ , средний возраст —  $35,9 \pm 5,10$  года, во 2-й

**Таблица 1.** Показатели кровотока в области ДЗН и макулярной области у пациентов с ПР  
**Table 1.** Parameters of blood flow in the optic disc and macular area of patients with retinitis pigmentosa

Показатели LSFSG Parameters LSFSG	Диск зрительного нерва The optic nerve head				Макула Macula			
	возраст 20–40 лет age 20–40 years		возраст > 40 лет age > 40 years		возраст 20–40 лет age 20–40 years		возраст > 40 лет age > 40 years	
	ПР	норма	ПР	норма	ПР	норма	ПР	норма
MBR	20,19 ± 6,60*	35,71 ± 1,52	11,90 ± 4,21*	27,07 ± 0,91	28,17 ± 11,22*	34,52 ± 1,94	18,83 ± 2,54	24,22 ± 1,01
MV	28,18 ± 8,58*	52,20 ± 1,54	17,18 ± 6,24*	44,75 ± 1,15	32,84 ± 12,62*	40,51 ± 2,13	22,78 ± 9,42*	29,33 ± 1,20
MT	12,51 ± 3,70*	20,52 ± 0,90	7,24 ± 2,14*	16,17 ± 0,54	20,37 ± 8,58*	26,06 ± 1,46	14,38 ± 6,55*	18,68 ± 0,83
MA	16,95 ± 5,43*	27,93 ± 0,98	9,49 ± 2,74*	22,91 ± 0,65	22,72 ± 9,07*	29,86 ± 1,53	16,02 ± 6,95*	22,06 ± 0,97
MV-MT	16,61 ± 6,57*	31,80 ± 0,88	9,93 ± 4,35*	28,59 ± 0,77	12,47 ± 4,77	14,45 ± 0,80	8,40 ± 3,58*	10,65 ± 0,48
ARBS	23,05 ± 2,58	23,38 ± 0,35	23,25 ± 4,11	23,54 ± 0,25	19,00 ± 2,73*	28,56 ± 1,77	19,33 ± 3,92	32,86 ± 1,25
BOT	53,39 ± 6,77	54,72 ± 0,56	50,08 ± 6,77	49,24 ± 0,58	53,61 ± 6,01	52,67 ± 0,87	51,68 ± 10,40	46,75 ± 0,88
BOS	80,12 ± 4,21	79,79 ± 0,41	76,49 ± 7,76	76,61 ± 0,56	80,39 ± 4,41	78,41 ± 1,42	72,68 ± 9,44	74,50 ± 1,14
Skew	11,29 ± 1,80	11,34 ± 0,22	11,58 ± 3,40	12,11 ± 0,19	11,11 ± 2,4*	12,33 ± 0,3	12,25 ± 4,23	13,35 ± 0,33
ATI	28,58 ± 7,30*	25,20 ± 0,52	32,94 ± 6,42	31,82 ± 0,38	26,09 ± 5,05	24,37 ± 0,59	33,83 ± 6,80	31,14 ± 0,74
Rising rate	12,76 ± 2,00	12,38 ± 0,27	12,84 ± 1,41	12,99 ± 0,13	12,35 ± 1,63	12,03 ± 0,26	12,51 ± 0,90	2,53 ± 0,17
Falling rate	13,30 ± 1,70*	12,46 ± 0,12	13,53 ± 1,32	13,81 ± 0,12	13,02 ± 1,08	12,89 ± 0,17	14,28 ± 1,25	13,89 ± 0,24
FAI	2,09 ± 0,78*	3,94 ± 0,24	1,24 ± 0,57*	3,37 ± 0,42	3,06 ± 1,60*	3,95 ± 0,19	2,76 ± 1,81	2,97 ± 0,18
RI	0,31 ± 0,06	0,32 ± 0,01	0,35 ± 0,10	0,36 ± 0,01	0,30 ± 0,06	0,32 ± 0,01	0,39 ± 0,10	0,37 ± 0,01
Max	19,28 ± 5,57*	33,21 ± 1,15	11,63 ± 3,47*	28,37 ± 0,77	27,27 ± 11,12*	35,74 ± 1,76	20,88 ± 9,16*	27,89 ± 1,13
Min	13,31 ± 3,82*	22,26 ± 0,94	7,64 ± 2,22*	17,92 ± 0,62	18,70 ± 7,46*	24,70 ± 1,36	12,67 ± 5,68*	17,79 ± 0,82
Max-min	5,97 ± 2,12*	10,50 ± 0,39	3,99 ± 1,79*	9,82 ± 0,32	8,56 ± 4,09*	11,05 ± 0,53	8,19 ± 4,11	10,15 ± 0,42
Fluctuation	10,65 ± 2,65	11,16 ± 0,29	12,28 ± 4,50	12,65 ± 0,34	10,49 ± 2,88	11,18 ± 0,44	15,56 ± 5,63	13,47 ± 0,36

**Примечание.** \* — различие с группой сравнения соответствующего возраста достоверно ( $p \leq 0,05$ ).

**Note.** \* — difference with comparison group of the corresponding age is statistically significant ( $p \leq 0.05$ ).

подгруппе (6 пациентов) средняя острота зрения и возраст составили  $0,095 \pm 0,030$  и  $48,42 \pm 6,74$  года соответственно. Во 2-й подгруппе выявлена стойкая тенденция к снижению основных параметров кровотока по сравнению с пациентами с более высокой остротой зрения. Параметры, по которым изменения были наиболее выражены, представлены в таблице 2. Результаты представлены в процентах, показана степень изменения исследуемых параметров во 2-й группе относительно 1-й.

Как следует из полученных данных, у лиц с более низкой остротой зрения степень относительных изменений параметров кровотока в макулярной зоне была выше, чем в области ДЗН. Анализ показателей пульсовой волны выявил наиболее значимое изменение показателей, связанных с временными характеристиками пульсовой волны: возрастало время, необходимое для достижения пика пульсовой волны, однако эти показатели не демонстрировали значительных изменений по сравнению с возрастной нормой.

## ОБСУЖДЕНИЕ

При ПР первичным звеном в патогенезе заболевания считается поражение наружных сегментов фоторецепторов и пигментного эпителия, однако сосудистые изменения: сужение сосудов и дефицит кровотока — также служат одним из основных офтальмоскопических критериев ПР. Вопрос патогенеза сосудистых изменений остается неясным — являются ли сосудистые нарушения вторичными по отношению к гибели фоторецепторов или самостоятельным звеном в патогенезе заболевания. Мнения ученых по данному вопросу неоднозначны. J. Grunwald и соавт. [18] считают, что сужение сосудов является вторичным по отношению к дегенерации нейроэпителия — гибель фоторецепторов приводит к снижению потребности в кислороде и, как следствие, сужению сосудов.

В то же время имеются данные о независимом характере сосудистых изменений при ПР. Так, S. Wolf и соавт. [19] методом флюоресцентной ангиографии с видеофиксацией показали значительное увеличение времени артериовенозного пассажа при нормальном времени «рука — сетчатка» и отсутствии реологических нарушений. Причем эти изменения выявлялись уже на ранних стадиях заболевания без значимой офтальмоскопической симптоматики. С. Ulrich и соавт. [20] показали, что для пациентов с ПР характерно снижение не только ретинального, но и хориоретинального кровотока. М. Cellini и соавт. [21] выявили у пациентов с ПР взаимосвязь между уровнем эндотелина 1 и офтальмоперфузией: повышение уровня эндотелина 1, характерное для ПР, приводит к вазоконстрикции и снижению уровня ретинального кровотока, что в свою очередь приводит к усугублению абитрофического процесса. К. Konieczka и соавт. [22] считают, что для пациентов с ПР характерно наличие синдрома первичной сосудистой дисциркуляции, проявляющейся развитием вазоспазма, в особенности при наличии провокационных факторов (стресс, переохлаждение и т. д.).

Значимое снижение кровотока, отмечаемое и у молодых пациентов на начальных стадиях заболевания, может быть связано с эндотелинзависимой вазоконстрикцией, что указывает на роль этого процесса в патогенезе ПР.

Результаты LSFG показали выраженный дефицит кровотока у пациентов с ПР. Снижение кровотока было более выраженным в области ДЗН, чем в макулярной области, что свидетельствует о первичном вовлечении в процесс крупных ретинальных сосудов. Относительно возрастной нормы наиболее значительно снижались показатели в старшей возрастной группе, что, возможно, связано с тем, что ПР имеет програ-

**Таблица 2.** Разница параметров кровотока между подгруппами с разной остротой зрения

**Table 2.** The difference in blood flow parameters between subgroups with different visual acuity

Показатель Parameter	Макулярная область, % Macular area, %	Область ДЗН, % ONH area, %
MV	↓ 29,43	↓ 14,41
MT	↓ 23,54	↓ 28,75
MA	↓ 25,51	↓ 24,57
MV-MT	↓ 40,06 (p ≤ 0,05)	↓ 15,57
MBR	↓ 28,54	↓ 19,01
Max	↓ 26,34	↓ 23,16
Min	↓ 29,16	↓ 20,75
Max-Min	↓ 21,27	↓ 27,84
ATI	↑ 27,72 (p ≤ 0,05)	↑ 11,69
Fr	↑ 8,04 (p ≤ 0,05)	↑ 3,56

**Примечание.** ↓ — снижение параметров, ↑ — возрастание параметров.

**Note.** ↓ — decrease of parameters, ↑ — increase of parameters.

диентное течение, и в целом пациенты старшей возрастной группы имеют больший стаж заболевания и более тяжелое течение процесса. Относительное снижение основных показателей кровотока в области ДЗН в старшей возрастной группе составляло около 40%.

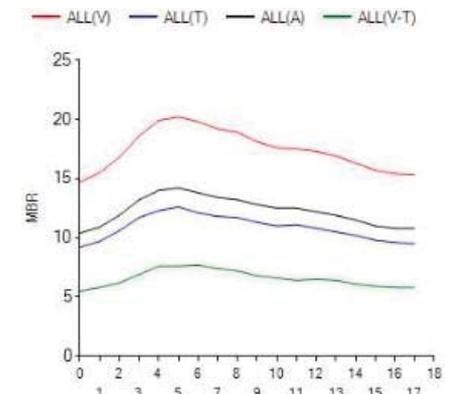
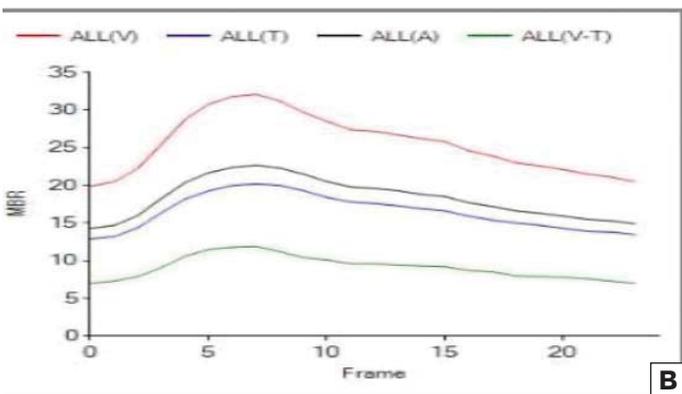
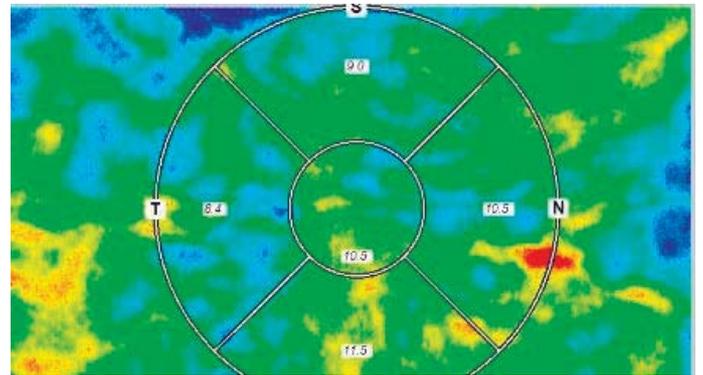
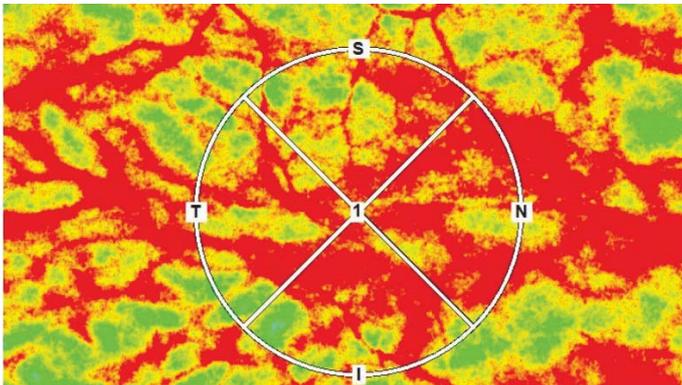
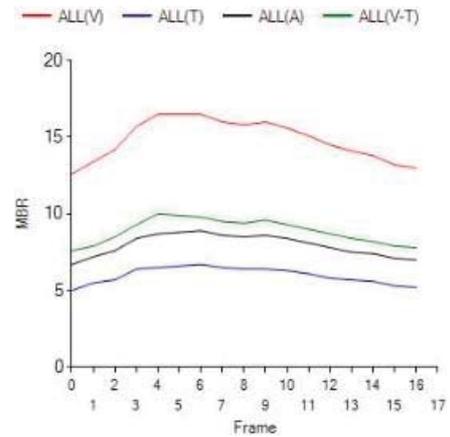
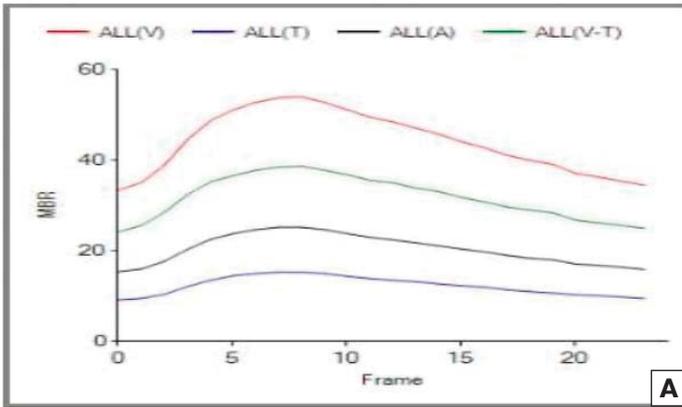
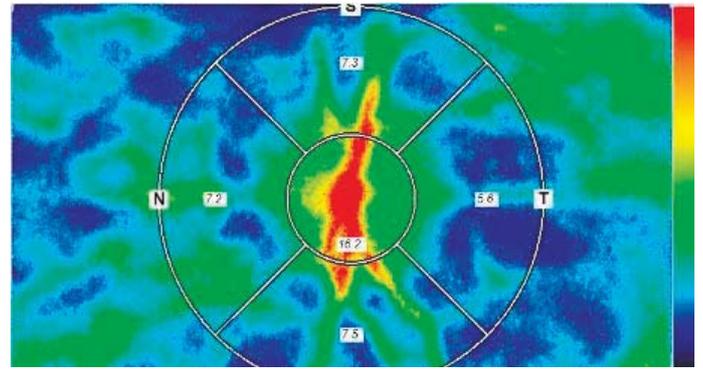
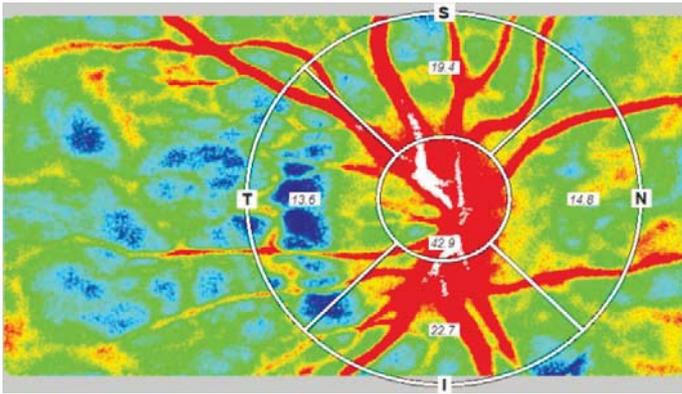
Низкие зрительные функции ассоциированы с большим дефицитом кровотока. У пациентов с более низкими зрительными функциями степень снижения кровотока в макулярной области была более выражена, чем у пациентов с остротой зрения 0,3 и выше. Кроме того, у всех пациентов с ПР в макулярной области отмечалось снижение показателя ARBS, отражающего плотность сосудистого русла. Данные LSFG в макулярной области дают комплексное представление о состоянии ретинального и хориоидального кровотока в данной зоне. Полученные результаты свидетельствуют о дефиците хориоидального кровотока у пациентов с ПР, что коррелирует с данными литературы [9, 10].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

LSFG является эффективным методом определения глазного кровотока, позволяющим быстро и неинвазивно проводить качественный и количественный анализ кровотока в области ДЗН и макулы. У пациентов с ПР выявлено достоверное снижение кровотока по сравнению со здоровыми лицами в разных возрастных группах и на разных стадиях заболевания, что может свидетельствовать о том, что снижение кровотока является независимым патогенетическим звеном в развитии ПР. Наиболее информативным маркером состояния кровотока, получаемым с помощью LSFG, является MBR — основной интегральный показатель, а также его ближайшие производные, отражающие значения MBR для крупных сосудов и микроциркулярного русла. Изучение данных параметров, а также отдельных показателей пульсовой волны у пациентов с ПР позволит выявить новые факторы патогенеза ПР, что в дальнейшем может применяться также в клинической практике, например для оценки эффективности проводимой терапии.

### Литература/References

1. Нероев В.В., Катаргина Л.А., Кадышев В.В. и др. Перспективы диагностики и генной терапии наследственных дистрофий сетчатки, вызванных биаллельными мутациями в гене RPE65. *Российский офтальмологический журнал*. 2021; 14 (3): 78–82. [Neroev V.V., Katargina L.A., Kadyshchev V.V., et al. Prospects for the diagnosis and gene therapy of



**Рисунок.** Клинические примеры. Составная карта кровотока и график MBR в возрастной группе 40–60 лет. Представлены изменения в области ДЗН (А, Б) и макулы (В, Г) у здорового добровольца из группы сравнения (А, В), у пациента с ПР (Б, Г)  
**Figure.** Clinical examples. Composite flow map and MBR plot in the 40–60 age group. Changes in the optic disc (А, Б) and macula (В, Г) in a healthy volunteer from the comparison group (А, В), in a patient with RP (Б, Г) are shown

- inherited retinal dystrophies caused by biallelic mutations in the RPE65 gene. *Russian ophthalmological journal*. 2021; 14 (3): 78–82 (In Russ.)). doi: org/10.21516/2072-0076-2021-14-3-78-82
2. Нероев В.В., Шамшинова А.М. Офтальмология: руководство «Наследственные дистрофии сетчатки, пигментного эпителия и хориоидеи». Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2008: 548–65. [Neroev V.V., Shamshinova A.M. Ophthalmology: manual hereditary dystrophy of the retina, pigment epithelium and choroid. Moscow: GEOTAR-Media; 2008: 548–65 (In Russ.)].
  3. Verbakel SK, van Huet RAC, Boon CJF, et al. Non-syndromic retinitis pigmentosa. *Prog Retin Eye Res*. 2018; 66 (9): 157–86. doi: 10.1016/j.preteyeres.2018.03.005
  4. Hamel C. Retinitis pigmentosa. *Orphanet J Rare Dis*. 2006; 11 (1): 40. doi: 10.1186/1750-1172-1-40
  5. Кадышев В.В., Гинтер Е.К., Куцев С.И. и др. Эпидемиология наследственных болезней органа зрения в популяциях Российской Федерации. *Клиническая офтальмология*. 2022; 22 (2): 69–79. [Kadyshchev V.V., Ginter E.K., Kutsev S.I., et al. Epidemiology of hereditary eye disease in the populations of Russian Federation. *Russian Journal of clinical ophthalmology*. 2022; 22 (2): 69–79 (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-2-69-79
  6. Шамшинова А.М. Пигментный ретинит или тапеторетинальная абитрофия. Наследственные и врожденные заболевания сетчатки и зрительного нерва. Москва: Медицина; 2001: 134–51. [Shamshinova A.M. Retinitis pigmentosa or tapetoretinal abiotrophy. Hereditary and congenital diseases of the retina and optic nerve. Moscow: Medicine; 2001: 134–51 (In Russ.)].
  7. Зольникова И.В., Левина Д.В., Охотимская Т.Д. и др. Электроретинография и ОКТ-ангиография сетчатки и зрительного нерва при пигментном ретините. *Российский офтальмологический журнал*. 2017; 10 (3): 22–8. [Zolnikova I.V., Levina D.V., Okhotsimskaya T.D., et al. Electroretinography and OCT angiography of the retina and optic nerve in retinitis pigmentosa. *Russian ophthalmological journal*. 2017; 10 (3): 22–8 (In Russ.)]. doi: 10.21516/2072-0076-2017-10-3-22-28
  8. Alnawaiseh M, Schubert F, Heiduschka P, et al. Optical coherence tomography angiography in patients with retinitis pigmentosa. *Retina*. 2019; 39 (1): 210–7. doi: 10.1097/IAE.000000000000190
  9. Киселева Т.Н., Зольникова И.В., Деменкова О.Н. и др. Особенности гемодинамики глаза и электрогенеза сетчатки при пигментном ретините. *Вестник офтальмологии*. 2015; 131 (5): 14–9. [Kiseleva T.N., Zolnikova I.V., Demenkova O.N., et al. Ocular blood flow and retinal electrogenesis in retinitis pigmentosa. *Vestnik oftal'mologii*. 2015; 131 (5): 14–9 (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma2015131514-19
  10. Zhang Y, Harrison J, Nateras O, et al. Decreased retinal-choroidal blood flow in retinitis pigmentosa as measured by MRI. *Doc Ophthalmol*. 2013; 126 (3): 187–97. doi:10.1007/s10633-013-9374-1
  11. Enomoto N, Anraku A, Tomita G, et al. Characterization of laser speckle flowgraphy pulse waveform parameters for the evaluation of the optic nerve head and retinal circulation. *Sci Rep*. 2021; 11: 6847. doi: 10.1038/s41598-021-86280-5
  12. Murakami Y, Ikeda Y, Akiyama M, et al. Correlation between macular blood flow and central visual sensitivity in retinitis pigmentosa. *Acta Ophthalmol*. 2015; 93 (8): e644-8. doi: 10.1111/aos.12693
  13. Calzetti G, Fondi K, Bata AM, et al. Assessment of choroidal blood flow using laser speckle flowgraphy. *Br J Ophthalmol*. 2018; 102 (12): 1679–83. doi: 10.1136/bjophthalmol-2017-311750
  14. Grunwald J, Maguire A, Dupont J. Retinal hemodynamics in retinitis pigmentosa. *Am J Ophthalmol*. 1996; 122: 502–8. doi:10.1016/s0002-9394(14)72109-9
  15. Петров С.Ю., Охотимская Т.Д., Маркелова О.И. Оценка возрастных изменений параметров глазного кровотока диска зрительного нерва методом лазерной спекл-флоуграфии. *Точка зрения. Восток — Запад*. 2022; 1: 23–6. [Petrov S.Yu., Okhotsimskaya T.D., Markelova O.I. Assessment of ocular blood flow age-related changes using laser speckle flowgraphy. *Point of view. East—West*. 2022; 1: 23–6 (In Russ.)]. doi: 10.25276/2410-1257-2022-1-23-26
  16. Нероева Н.В., Зайцева О.В., Охотимская Т.Д., Швецова Н.Е., Маркелова О.И. Определение возрастных изменений глазного кровотока методом лазерной спекл-флоуграфии. *Российский офтальмологический журнал*. 2023; 16 (2): 54–62. [Neroeva N.V., Zaytseva O.V., Okhotsimskaya T.D., Shvetsova N.E., Markelova O.I. Age-related changes of ocular blood flow detecting by laser speckle flowgraphy. *Russian ophthalmological journal*. 2023; 16 (2): 54–62 (In Russ.)]. https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-54-62
  17. Кацнельсон Л.А., Форофонова Т.Н., Бунин А.Я. Сосудистые заболевания глаз. Москва: Медицина, 1990. [Katsnelson L.A., Forofonova T.N., Bunin A. Ya. Vascular eye diseases. Moscow: Medicine, 1990 (In Russ.)].
  18. Grunwald J, Maguire A, Dupont J. Retinal hemodynamics in retinitis pigmentosa. *Am J Ophthalmol*. 1996; 122: 502–8. doi:10.1016/s0002-9394(14)72109-9
  19. Wolf S, Pöstgens H, Bertram B, et al. Hemodynamic findings in patients with retinitis pigmentosa. *Klin Monbl Augenheilkd*. 1991; 199 (5): 325–9. doi: 10.1055/s-2008-1046089
  20. Ulrich C, Ulrich WD, Vehlow K, et al. Hemodynamic aspects of retinitis pigmentosa. *Fortschr Ophthalmol*. 1991; 88 (6): 642–7.
  21. Cellini M, Strobbe E, Gizzi C, et al. ET-1 plasma levels and ocular blood flow in retinitis pigmentosa. *Can J Physiol Pharmacol*. 2010; 88 (6): 630–5. doi: 10.1139/Y10-036
  22. Konieczka K, Flammer AJ, Todorova M, et al. Retinitis pigmentosa and ocular blood flow. *EPMA J*. 2012; 3 (1): 17. doi: 10.1186/1878-5085-3-17

**Вклад авторов в работу:** Т.Д. Охотимская, Н.В. Нероева, И.В. Зольникова — концепция и дизайн статьи, анализ литературы и полученных данных, написание и редактирование статьи; Н.Е. Дерюгина, О.И. Маркелова — анализ литературы и полученных данных.

**Authors' contribution:** T.D. Okhotsimskaya, N.V. Neroeva, I.V. Zolnikova — concept and design of the article, analysis of literature and data obtained, writing and editing of the article; N.E. Deryugina, O.I. Markelova — analysis of literature and data obtained.

Поступила: 20.10.2022. Переработана: 23.11.2022. Принята к печати: 24.11.2022

Originally received: 20.10.2022. Final revision: 23.11.2022. Accepted: 24.11.2022

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

<sup>1</sup> ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногызская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ «Медико-генетический научный центр им. академика Н.П. Бочкова» ул. Москворечье, д. 1, Москва, 115522, Россия

**Татьяна Дмитриевна Охотимская** — канд. мед. наук, врач-офтальмолог отдела патологии сетчатки и зрительного нерва<sup>1</sup>, ORCID 0000-0003-1121-4314

**Наталья Владимировна Нероева** — канд. мед. наук, врач-офтальмолог отдела патологии сетчатки и зрительного нерва<sup>1</sup>, ORCID 0000-0003-1038-2746

**Инна Владимировна Зольникова** — д-р мед. наук, старший научный сотрудник отдела клинической физиологии зрения им. С.В. Кравкова<sup>1</sup>, профессор кафедры офтальмогенетики Института ВидПО<sup>2</sup>, ORCID 0000-0001-7264-396X

**Наталья Евгеньевна Дерюгина** — клинический ординатор<sup>1</sup>

**Оксана Игоревна Маркелова** — аспирант<sup>1</sup>, ORCID 0000-0002-8090-6034

**Для контактов:** Татьяна Дмитриевна Охотимская,  
tata123@inbox.ru

<sup>1</sup> Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

<sup>2</sup> N.P. Bochkov Research Centre for Medical Genetics, 1, Moskvorechye St., Moscow, 115522, Russia

**Tatiana D. Okhotsimskaya** — Cand. of Med. Sci., ophthalmologist, department of retinal and optic nerve pathology<sup>1</sup>, ORCID 0000-0003-1121-4314

**Natalia V. Neroeva** — Cand. of Med. Sci., ophthalmologist, department of retinal and optic nerve pathology<sup>1</sup>, ORCID 0000-0003-1038-2746

**Inna V. Zolnikova** — Dr. of Med. Sci., senior researcher, department of clinical physiology named S.V. Kravkov<sup>1</sup>, professor, chair of ophthalmogenetics<sup>2</sup>, ORCID 0000-0001-7264-396X

**Natalia E. Deryugina** — resident<sup>1</sup>

**Oksana I. Markelova** — PhD student<sup>1</sup>, ORCID 0000-0002-8090-6034

**For contacts:** Tatiana D. Okhotsimskaya,  
tata123@inbox.ru