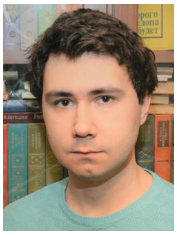
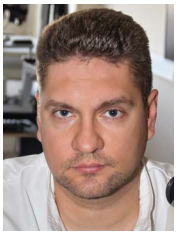
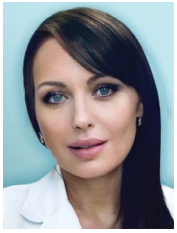
ISSN 1816-5095 (print); ISSN 2500-0845 (online)
https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-2-266-275

поступила 30.03.21
was received 30.03.21

Структурно-функциональные корреляции у пациентов с продвинутыми стадиями первичной открытоугольной глаукомы

В.И. Котелин С.Ю. Петров А.И. Журавлева М.В. Зуева И.В. Цапенко

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

РЕЗЮМЕ **Офтальмология. 2021;18(2):266–275**

Цель: изучить корреляционные взаимосвязи в диагностике пациентов с продвинутыми стадиями первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ), используя данные электроретинографии и оптической когерентной томографии (ОКТ) сетчатки. **Пациенты и методы.** Исследование выполнено в двух клинических подгруппах пациентов (35 человек, 55 глаз) с II и III стадией ПОУГ и в группе возрастной нормы (28 здоровых лиц, 32 глаза). Оценивали толщину комплекса ганглиозных клеток (КГК), включая слой нервных волокон сетчатки (СНВС), слой ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) и внутренний плексиформный слой (ВПС) в макулярной области по девяти сегментам. Выполнен корреляционный анализ морфометрических показателей КГК в продвинутых стадиях ПОУГ с данными ранее проведенной электроретинографии: транзиентной паттерн-электроретинограммы (Т-ПЭРГ) и стационарной (С-ПЭРГ) паттерн-ЭРГ и фотопического негативного ответа (ФНО). **Результаты.** Выявлено статистически значимое ($p < 0,01$) истончение всех слоев КГК сетчатки во всех исследуемых секторах. Между двумя подгруппами обследуемых зафиксированы достоверные ($p < 0,05$) различия во всех морфометрических признаках. У пациентов 1-й подгруппы наибольшие различия морфологических показателей от значений группы контроля отмечены в нижнем, верхнем парафовеальном секторе слоя ГКС, а также в височном перифовеальном квадранте. Во 2-й подгруппе значительные изменения толщины слоев внутренней сетчатки были зафиксированы для верхнего и нижнего перифовеального сектора СНВС и височных пара- и перифовеальных квадрантов слоя ГКС. Наиболее значительная степень тесноты морфофункциональных корреляционных соотношений выявлена для параметров С-ПЭРГ. Амплитуда С-ПЭРГ прямо коррелировала с толщиной СНВС в носовом секторе перифовеа ($r = 0,86$; $p < 0,01$) в 1-й подгруппе пациентов и толщиной ГКС в носовом секторе перифовеа во 2-й подгруппе ($r = 0,84$; $p < 0,01$). Выявлены умеренные взаимосвязи между индексом N95/P50 Т-ПЭРГ и толщиной СНВС в верхнем секторе перифовеа ($r = 0,46$; $p < 0,05$), пиковой латентностью N95 Т-ПЭРГ и толщиной СНВС в верхнем секторе перифовеа ($r = –0,43$; $p < 0,05$) у больных 1-й подгруппы. А у больных 2-й подгруппы отмечена корреляция амплитуды N95 Т-ПЭРГ и толщины ГКС в нижнем секторе перифовеа ($r = 0,42$; $p < 0,01$), пиковой латентности N95 и толщины СНВС в верхнем секторе парафовеа ($r = –0,31$; $p < 0,05$). Установлена прямая корреляционная зависимость между значениями амплитуды ФНО от изолинии и толщиной слоя ГКС в височном секторе перифовеа ($r = 0,72$; $p < 0,01$) у больных со II стадией ПОУГ. Амплитуда ФНО от пика b-волны у больных с III стадией ПОУГ коррелировала с толщиной СНВС в носовом секторе перифовеа ($r = 0,51$; $p < 0,01$). **Заключение.** Представлены специфические закономерности морфофункциональных изменений параметров внутренних слоев сетчатки у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ, которые могут быть использованы в качестве клинических маркеров при определении индивидуальной терапевтической стратегии.

Ключевые слова: электроретинография, морфофункциональные корреляции, продвинутые стадии первичной открытоугольной глаукомы, оптическая когерентная томография сетчатки

Для цитирования: Котелин В.И., Петров С.Ю., Журавлева А.Н., Зуева М.В., Цапенко И.В. Структурно-функциональные корреляции у пациентов с продвинутыми стадиями первичной открытоугольной глаукомы. *Офтальмология.* 2021;18(2):266–275. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-2-266-275

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

Конфликт интересов отсутствует

CC BY 4.0

Structural and Functional Correlations in Patients with Advanced Stages of Primary Open-Angle Glaucoma

V.I. Kotelin, S.Yu. Petrov, A.N. Zhuravleva, M.V. Zueva, I.V. Tsapenko

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

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2021;18(2):266–275

Purpose: To study the correlations in the diagnosis of patients with advanced stages of primary open-angle glaucoma (POAG) using data from electroretinography and optical coherence tomography (OCT) of the retina. **Methods.** The study was performed in two clinical subgroups of patients (35 people, 55 eyes) with stages II and III POAG and the age-matched control group (28 healthy people, 32 eyes). The thickness of the ganglion cell complex (GCC), including the retinal nerve fiber layer (RNFL), the retinal ganglion cell layer (RGC), and the inner plexiform layer (INL) in the macular region, was assessed in nine segments. Correlation analysis of morphometric parameters of GCC in advanced POAG was performed with data from previously performed electroretinography: the transient pattern-ERG (T-PERG), stationary pattern-ERG (S-PERG), and photopic negative response (PhNR). **Results.** Statistically significant ($p < 0.01$) thinning of all layers of the GCC was revealed in all studied sectors. Significant ($p < 0.05$) differences in all morphometric characteristics were recorded between the two subgroups. In patients of the 1st subgroup, the greatest differences in morphological parameters from the control group's values were noted in the lower, upper parafoveal sectors of the RGC layer, as well as in the temporal perifoveolar quadrant. In the 2nd subgroup, significant changes in the thickness of the inner retina layers were recorded for the upper and lower peripheral sectors of the RNFL and the temporal para- and peripheral quadrants of the RGC layer. In the study of morphological-functional relationships, the most significant correlations were revealed for the parameters of S-PERG. The amplitude of S-PERG directly correlated with the thickness of RNFL in the nasal sector of the perifovea ($r = 0.86$; $p < 0.01$) in the 1st subgroup of patients and the thickness of the RGC in the nasal sector of the perifovea in the 2nd subgroup ($r = 0.84$; $p < 0.01$). Moderate relationships were revealed between the N95/P50 T-PERG index and the RNFL thickness in the upper sector of the perifovea ($r = 0.46$; $p < 0.05$), the peak N95 T-PERG latency, and the RNFL thickness in the upper sector of the perifovea ($r = -0.43$; $p < 0.05$) in patients of the 1st subgroup. In patients of the 2nd subgroup, there was a correlation between the amplitude of N95 T-PERG and the thickness of the RGC in the lower sector of the perifovea ($r = -0.42$; $p < 0.01$), the peak latency of N95, and the thickness of the RNFL in the upper sector of the parafovea ($r = -0.31$; $p < 0.05$). A direct correlation was established between the PhNR amplitude from the baseline and the thickness of the RGC layer in the perifovea's temporal sector ($r = 0.72$; $p < 0.01$) in patients with stage II POAG. The PhNR amplitude from the b-wave peak in patients with stage III POAG correlated with the RNFL thickness in the perifovea's nasal sector ($r = 0.51$; $p < 0.01$). **Conclusion.** Specific patterns of morphological-functional changes in the parameters of the retina's inner layers in patients with advanced POAG are presented, which can be used as clinical markers in determining an individual therapeutic strategy.

Keywords: electroretinography, morphological and functional correlations, advanced stages of primary open-angle glaucoma, retinal optical coherence tomography

For citation: Kotelin V.I., Petrov S.Yu., Zhuravleva A.N., Zueva M.V., Tsapenko I.V. Structural and Functional Correlations in Patients with Advanced Stages of Primary Open-Angle Glaucoma. *Ophthalmology in Russia*. 2021;18(2):266–275. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-2-266-275

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

There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Глаукома является ведущей причиной необратимой слепоты во всем мире и связана со значительным снижением качества жизни и инвалидизацией населения [1]. Течение заболевания длительное время остается бессимптомным вплоть до продвинутых стадий патологического процесса [2]. Первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) является наиболее частой формой заболевания [1].

Несмотря на то что в настоящее время активно изучаются маркеры ранней диагностики этого заболевания [3], важным является вопрос об изучении диагностических критериев продвинутых стадий глаукомы для адекватного терапевтического и хирургического лечения и индивидуального подхода при моделировании терапевтической стратегии.

Результаты нашего предыдущего исследования показали, что для развитой и продвинутой стадий ПОУГ изменения амплитуды фотопического негативного ответа (ФНО) прямо зависят от силы вспышки и наиболее значительны в электроретинограмме (ЭРГ) на яркую вспышку 3,0 кд·сек/м^2 [4]. Кроме того, было обнаружено, что снижение амплитуды транзиентной и стационарной паттерн-электроретинограммы (ПЭРГ) выражено тем значительнее, чем меньше угловой размер стимула, что говорит о доминирующем снижении активности ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) парвосистемы при прогрессировании глаукомы. Мы предположили, что такая зависимость потери амплитуды ответа от размера стимула может специфически отражать структурно-функциональные изменения в сетчатке, связанные с неадаптивной пластичностью.

Однако несмотря на то, что значительное внимание уделяется изучению структурных и функциональных взаимосвязей в тестах для ранней диагностики ПОУГ, остаются слабо изученными морфофункциональные

корреляции, характеризующие развитые и далеко зашедшие стадии глаукомы.

Целью нашей работы было изучение морфофункциональных корреляционных взаимосвязей в диагностике пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ, используя данные электроретинографии и ОКТ сетчатки.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 35 пациентов (55 глаз), из которых у 19 женщин и 16 мужчин была ПОУГ II и III стадии. Все пациенты были разделены на две подгруппы соответственно стадии болезни. В первую подгруппу вошли 24 пациента (27 глаз) с ПОУГ развитой стадии. Вторая подгруппа включала 24 пациента (28 глаз) с ПОУГ далеко зашедшей стадии. Средний возраст исследуемых пациентов составил 63,1 ± 7,7 года (51–76), средний возраст пациентов в 1-й подгруппе составил 63,3 ± 7,8 года (52–76 лет), во 2-й подгруппе — 62,5 ± 7,5 года (51–76 лет).

В качестве контрольной группы использованы данные ЭРГ и ОКТ, полученные у 28 относительно здоровых лиц (32 глаза), сопоставимых по возрасту (51–72 года, средний возраст 59,8 ± 5,9 года) без глаукомы и другой офтальмопатологии (возрастная норма). Критерием включения в группу сравнения со стороны органа зрения было также отсутствие травм и операций в анамнезе, допустимая сопутствующая офтальмопатология: начальная катаракта, миопия слабой степени, допустимая соматическая патология была представлена преимущественно синдромом артериальной гипертензии, хронической ишемической болезнью сердца и межпозвонковым остеохондрозом.

Каждому пациенту было проведено стандартное офтальмологическое обследование, включающее визометрию, рефрактометрию, пневмотонометрию (Nidek NT-530P, Япония), биомикроскопию, офтальмоскопию, компьютерную периметрию (Heidelberg Edge Perimeter, Германия) по алгоритму “Adaptive Staircase Thresholding Algorithm (ASTA) 30-2”. Выполняли также конфокальную лазерную сканирующую офтальмоскопию (Heidelberg Retina Tomograph — III, Германия) и ОКТ сетчатки (Heidelberg Spectralis OCT, Германия).

При проведении ОКТ оценивали толщину слоев внутренней сетчатки — комплекса ганглиозных клеток (КГК), включающего слой нервных волокон сетчатки (СНВС), слой ГКС и внутренний плексиформный слой (ВПС). Производили количественную оценку толщины каждого из слоев КГК по девяти сегментам: в центре и по квадрантам в парафовеальной (диаметр сканирования 1–3 мм) и перифовеальной (диаметр сканирования 3–6 мм) области.

Согласно ряду исследований, посвященных проблемам диагностики глаукомы с помощью ОКТ, морфометрический анализ внутренних слоев сетчатки макулярной зоны имеет высокую степень достоверности в начальных стадиях глаукомной оптической нейропатии (ГОН) и по уровню надежности соотносится с измерением параметров сетчатки перипапиллярной области [5–10]. В нашем исследовании проведен корреляционный анализ морфометрических показателей комплекса ГКС в продвинутых стадиях ГОН с данными электрофизиологических исследований.

В предыдущем исследовании [4] статистический анализ данных электроретинографии, проведенный для двух вышеперечисленных подгрупп пациентов, не показал значимых различий между параметрами ЭРГ. В связи с этим для анализа закономерностей, полученных в ЭФИ, все больные были объединены в единую группу пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ. Однако, учитывая статистически значимые различия в изучаемых параметрах ОКТ, обнаруженные нами для развитой и продвинутой стадий ПОУГ, в данной работе мы выполнили раздельный анализ результатов электроретинографии для двух подгрупп и оценили для них морфофункциональные корреляции, сопоставляя специфические показатели ЭРГ и ОКТ сетчатки. Мы анализировали ЭРГ, полученные с помощью диагностической системы RETIport/scan21 (Roland Consult, Германия). Оценивали амплитуду и пиковую латентность транзиентной паттерн-ЭРГ (ПЭРГ) при частоте реверсии черно-белых паттернов (4 рев/сек), стационарной (steady-state) ПЭРГ (16 рев/сек) по стандартам ISCEV [11] и ФНО, полученного в ЭРГ на синем фоне на красные вспышки четырех интенсивностей (0,375; 0,75; 1,5; 3,0 кд·сек/м^2) [12] с естественной шириной зрачка [13]. Детальное описание методов проведения ЭФИ описано ранее [4, 13].

Статистический анализ результатов был проведен при помощи электронных таблиц Microsoft Office Excel 2010 и пакета прикладных программ Statistica v. 13.0 StatSoft Inc. (США) и SPSS 22 (IBM). Результаты обработки данных были представлены в виде таблиц с описательной статистикой. Для нормально распределенных выборок были представлены выборочное среднее и стандартное отклонение. Согласованность распределения с нормальным определяли с помощью критерия Шапиро — Уилка (W). Для сравнения нормально-распределенных независимых выборок использовали *t*-критерий Стьюдента. Выполняли корреляционный анализ: для вычисления линейной зависимости между непрерывными признаками использовался коэффициент корреляции Пирсона. Степень показателя тесноты связи между параметрами качественно оценивали по шкале Чеддока (0,1–0,3 — слабая, 0,3–0,5 — умеренная, 0,5–0,7 — заметная, 0,7–0,9 — высокая, 0,9–0,99 — весьма высокая). Различия считались значимыми в случае, если уровень значимости для соответствующих критериев составлял $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У больных ПОУГ II и III стадии происходило существенное и статистически значимое ($p < 0,01$) истончение всех слоев КГК сетчатки во всех исследуемых секторах (центральный, верхний парафовеальный, верхний перифовеальный, нижний перифовеальный, нижний

парафовеальный, носовой перифовеальный, носовой парафовеальный, височный перифовеальный, височный парафовеальный). Кроме того, статистический анализ показал значимость различий между двумя исследуемыми подгруппами ($p < 0,05$) по всем вышеперечисленным признакам.

У пациентов 1-й подгруппы изменениям в большей степени был подвержен слой ГКС. Наибольшее различие (истончение толщины слоя сетчатки) от нормативных данных отмечено в нижнем, верхнем парафовеальном секторе слоя ГКС, а также в височном перифовеальном секторе этого слоя (разница в процентном соотношении от нормы составила 40–45 %). Наименьшие различия (на 8–9 %) в толщине слоев сетчатки зафиксированы для СНВС (верхний и височный парафовеальные сектора, височный перифовеальный сектор).

Во 2-й подгруппе пациентов максимальные изменения толщины слоев внутренней сетчатки (55–59 % от значений группы контроля) были отмечены для СНВС (верхний и нижний перифовеальные сектора) и слоя ГКС (височный пара- и перифовеальные сектора). Минимальные отличия толщины КГК от данных возрастной нормы (78–83 % от нормативных значений) установлены в височном пара- и перифовеальном, нижнем парафовеальном СНВС, а также в височном перифовеальном ВПС (табл. 1).

P. Cifuentes-Canorea и соавт. [14] в 2018 г. изучили толщину КГК макулярной области сетчатки, используя функцию сегментации сетчатки по секторам, на аналогичном ОКТ-приборе. Авторы сравнили толщину сетчатки у здоровых лиц, пациентов с офтальмогипертензией, больных ПОУГ с начальной и продвинутой стадиями.

Таблица 1. Анализ данных ОКТ в макулярной области

Table 1. Analysis of OCT data in the macular area

Сектор СНВС / RNFL sector	II стадия ПОУГ / Moderate glaucoma	III стадия ПОУГ / Advanced glaucoma	Возрастная норма / Age-matched norm
Центральный / Center	11,4 ± 1,2*	9,4 ± 1,6**	12,7 ± 2,0
Верхний перифовеальный / Upper perifoveal sector	30,5 ± 3,9**	22,3 ± 3,6**	38,0 ± 4,4
Верхний парафовеальный / Upper parafoveal sector	23,4 ± 1,9*	18,4 ± 1,4**	25,2 ± 2,6
Нижний перифовеальный / Inferior perifoveal sector	30,1 ± 3,6**	21,5 ± 2,9**	39,4 ± 5,3
Нижний парафовеальный / Lower parafoveal sector	21,6 ± 1,9**	19,3 ± 1,8**	24,7 ± 2,4
Носовой перифовеальный / Nasal perifoveal sector	34,5 ± 7,1**	29,4 ± 5,7**	47,9 ± 6,8
Носовой парафовеальный / Nasal parafoveal sector	18,3 ± 2,1**	16,6 ± 1,6**	22,1 ± 1,6
Височный перифовеальный / Temporal perifoveal sector	18,0 ± 2,7*	16,3 ± 1,9**	19,7 ± 1,5
Височный парафовеальный / Temporal parafoveal sector	16,6 ± 1,9*	14,1 ± 1,3**	18,0 ± 1,4
Сектор слоя ГКС / GCL sector			
Центральный / Center	11,8 ± 1,4**	9,2 ± 2,1**	15,3 ± 3,5
Верхний перифовеальный / Upper perifoveal sector	28,3 ± 4,4**	22,1 ± 2,2**	34,8 ± 3,0
Верхний парафовеальный / Upper parafoveal sector	37,1 ± 2,9**	31,0 ± 3,5**	52,1 ± 4,7
Нижний перифовеальный / Inferior perifoveal sector	27,9 ± 5,9**	23,0 ± 4,7**	33,3 ± 2,4
Нижний парафовеальный / Lower parafoveal sector	35,5 ± 5,9**	30,7 ± 5,7**	51,4 ± 4,5
Носовой перифовеальный / Nasal perifoveal sector	31,9 ± 5,4**	26,0 ± 5,5**	38,5 ± 3,0
Носовой парафовеальный / Nasal parafoveal sector	41,0 ± 6,0**	31,2 ± 4,5**	50,6 ± 4,3
Височный перифовеальный / Temporal perifoveal sector	25,8 ± 6,3**	20,2 ± 2,4**	36,3 ± 4,5
Височный парафовеальный / Temporal parafoveal sector	35,1 ± 3,6**	26,8 ± 5,1**	46,7 ± 5,8
Сектор ВПС / IPL sector			
Центральный / Center	18,4 ± 2,4*	14,8 ± 1,3**	20,5 ± 2,9
Верхний перифовеальный / Upper perifoveal sector	24,5 ± 3,6**	19,0 ± 2,1**	28,4 ± 2,1
Верхний парафовеальный / Upper parafoveal sector	35,6 ± 3,9**	26,3 ± 3,4**	41,8 ± 3,6
Нижний перифовеальный / Inferior perifoveal sector	23,9 ± 2,5**	20,5 ± 2,7**	27,3 ± 2,2
Нижний парафовеальный / Lower parafoveal sector	33,0 ± 5,1**	28,1 ± 5,1**	41,7 ± 3,9
Носовой перифовеальный / Nasal perifoveal sector	26,3 ± 3,4**	21,9 ± 3,5**	30,3 ± 2,7
Носовой парафовеальный / Nasal parafoveal sector	34,7 ± 4,3**	27,4 ± 4,6**	42,8 ± 3,1
Височный перифовеальный / Temporal perifoveal sector	28,9 ± 4,5**	25,6 ± 2,9**	32,6 ± 2,6
Височный парафовеальный / Temporal parafoveal sector	32,7 ± 4,7**	28,4 ± 3,5**	42,2 ± 3,4

Примечание: значение вероятности различий от нормы: * — $p < 0,01$; ** — $p < 0,001$.
Note: RNFL — retinal nerve fiber layer, GCL — ganglion cell layer, IPL — inner plexiform layer; probability value of differences from the norm: * — $p < 0.01$; ** — $p < 0.001$.

В подгруппе больных с продвинутыми стадиями ПОУГ были обнаружены статистически значимые различия в толщине внутренних слоев сетчатки практически во всех исследуемых сегментах, что согласуется с данными нашего исследования, в котором пациенты были разделены на подгруппы больных со II и III стадией ПОУГ. Однако в вышеуказанном исследовании больных объединили в общую подгруппу пациентов с глаукомой в стадиях moderate и advanced (moderate-advanced), что, по нашему мнению, может уменьшать вероятность выявления более тонких изменений в сетчатке.

Немаловажно, что соотношение толщины КГК сетчатки по секторам в нашем исследовании имеет характерный «паттерн», который не меняется у пациентов с ПОУГ во II и III стадии болезни и аналогичен данным возрастной нормы. В СНВС парафовеальные сектора имеют бóльшую толщину, чем область перифовеа, однако во ВПС и слое ГКС происходит инверсия этого соотношения, и показатели перифовеальных секторов демонстрируют бóльшие значения толщины слоев сетчатки, чем парафовеальные квадранты. Данные согласуются с результатами работы P. Cifuentes-Canorea и соавт. [14].

Истончения СНВС и слоя ГКС в макулярной области в соответствии с определенными изменениями ЭФИ, оценивающими дисфункцию ГКС, по-видимому, могут быть определены как маркеры ГОН у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ. В настоящее время количество публикаций, посвященных корреляционному анализу данных ОКТ макулярной области сетчатки при глаукоме с показателями ЭФИ в литературе крайне мало [15, 16], а объем изучаемых признаков ограничен. Нами впервые представлена комплексная оценка корреляционных взаимосвязей между амплитудой, временными параметрами ПЭРГ и ФНО в ответ на различные стимулы и морфометрическими показателями КГК сетчатки в макулярной области с сегментацией по слоям у больных с продвинутыми стадиями ПОУГ.

КОРРЕЛЯЦИИ ДАННЫХ ОКТ СЕТЧАТКИ И ТРАНЗИЕНТНОЙ ПЭРГ

Установлено, что у пациентов 1-й подгруппы (развитая стадия ПОУГ) амплитуда N95 транзиентной ПЭРГ на стимул размеров 0,3° имела прямые корреляции с толщиной слоя ГКС и ВПС в нижнем секторе перифовеа, а амплитуда компонента P50 на стимул углового размера 0,8° — с толщиной слоя ГКС в верхнем секторе пара- и перифовеа. Зафиксирована прямая зависимость уменьшения амплитуды P50 на стимул 16° и истончения ВПС в височном секторе перифовеа и нижнем квадранте парафовеа, а также СНВС в носовом секторе парафовеа. Значения амплитудного отношения N95/P50 на стимул углового размера 0,8° имели прямую корреляционную взаимосвязь с толщиной слоя ГКС в носовом секторе и СНВС в верхнем секторе перифовеально.

Уменьшение толщины ГКС в височном секторе перифовеа и СНВС в нижнем секторе парафовеа сопровождалось удлинением времени кульминации P50 на паттерн 0,8°. Пиковая латентность N95 на угловой размер стимула 0,3° обратно коррелировала с толщиной СНВС в верхнем секторе перифовеа.

Во 2-й подгруппе больных (далеко зашедшая стадия ПОУГ) зафиксирована прямая корреляционная зависимость между амплитудой N95 на паттерн 0,3° и толщиной слоя ГКС в височном и нижнем секторе перифовеа. Истончение СНВС в верхнем секторе парафовеа и ВПС в верхнем секторе перифовеа прямо зависели от редукции амплитуды N95 на паттерн 0,8°. Амплитудное соотношение N95/P50 на паттерн 0,8° прямо коррелировало со СНВС в верхнем парафовеальном секторе. Кроме того, установлена прямая корреляционная взаимосвязь между амплитудой N95 на паттерн 16° и толщиной слоя ГКС в носовом секторе парафовеа. Время кульминации N95 на стимул углового размера 0,3° обратно коррелировало с СНВС в верхнем секторе парафовеа. В таблице 2 приведены наиболее сильные корреляционные взаимосвязи вышеуказанных параметров.

Выявленные корреляционные соотношения в 1-й и 2-й подгруппе имели умеренную силу. Важно отметить, что корреляционные взаимосвязи транзиентной ПЭРГ в обеих подгруппах были более сильные в перифовеальных секторах, в отличие от парафовеальных квадрантов.

КОРРЕЛЯЦИИ ДАННЫХ ОКТ СЕТЧАТКИ И СТАЦИОНАРНОЙ ПЭРГ

В 1-й подгруппе пациентов амплитуда стационарной ПЭРГ на стимул углового размера 0,3° прямо коррелировала с толщиной слоя ГКС в носовом секторе пара- и перифовеа и СНВС в верхнем секторе перифовеа и носовом парафовеальном квадранте. Амплитуда ПЭРГ-ответов на средний стимул 0,8° прямо коррелировала с уменьшением толщины ГКС в верхнем секторе парафовеа. Установлена прямая корреляционная зависимость между истончением толщины СНВС во всех квадрантах перифовеальной области, а также ВПС в нижнем и верхнем секторе перифовеа и редукции амплитуды стационарной ПЭРГ на стимул углового размера 16° (табл. 3).

У пациентов 2-й подгруппы установлена прямая корреляционная взаимосвязь между амплитудой стационарной ПЭРГ на мелкий паттерн 0,3° и уменьшением толщины СНВС в височном и верхнем секторе парафовеа и височном перифовеальном квадранте. Помимо этого, указанный амплитудный параметр прямо коррелировал с толщиной слоя ГКС в верхнем секторе перифовеа и ВПС в нижнем парафовеальном секторе. Редукция амплитуды ПЭРГ-ответов на стимул углового размера 0,8° соответствовала истончению СНВС в нижнем секторе перифовеа и носовом секторе парафовеа, а также уменьшению толщины ВПС в височном секторе пара- и перифовеа. Выявлена статистически достоверная прямая корреляционная созависимость между амплитудой ПЭРГ на паттерн 16° и толщиной ГКС в носовом,

Таблица 2. Корреляционный анализ параметров транзиентной ПЭРГ и толщины слоев КГК в макулярной области у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ

Table 2. Correlation analysis of parameters of the transient PERG and thickness of the GCC layers in the macular region in patients with advanced stages of POAG

II стадия ПОУГ Moderate glaucoma	Угловой размер стимула Stimulus size	Коэффициент Пирсона *r*-Pearson	*p*-критерий *p*-value
A, N95 & толщина ВПС в нижнем секторе перифовеа / A, N95 & IPL thickness in the lower sector of the perifovea	0,3°	0,44	0,036
A, N95 & толщина ГКС в нижнем секторе перифовеа / A, N95 & GCL thickness in the lower sector of the perifovea	0,3°	0,39	0,002
A, P50 & толщина ВПС в височном секторе перифовеа / A, P50 & IPL thickness of the temporal sector of the perifovea	16°	0,40	0,000
A, P50 & толщина ВПС в нижнем секторе парафовеа / A, P50 & IPL thickness in the lower sector of the parafovea	16°	0,31	0,018
A, P50 & толщина ГКС в верхнем секторе парафовеа / A, P50 & GCL thickness in the upper sector of parafovea	0,8°	0,33	0,025
A, P50 & толщина ГКС в верхнем секторе перифовеа / A, P50 & GCL thickness in the upper sector of the perifovea	0,8°	0,43	0,025
A, P50 & толщина СНВС в носовом секторе парафовеа / A, P50 & RNFL thickness in the nasal sector of parafovea	16°	0,32	0,007
L, N95 & толщина СНВС в верхнем секторе перифовеа / L, N95 & RNFL thickness in the upper sector of the perifovea	0,3°	-0,43	0,021
L, P50 & толщина ГКС в височном секторе перифовеа / L, P50 & GCL thickness in the temporal sector of the perifovea	0,8°	-0,38	0,048
L, P50 & толщина СНВС в нижнем секторе парафовеа / L, P50 & RNFL thickness in the lower sector of the parafovea	0,8°	-0,34	0,013
N95/P50 & толщина ГКС в носовом секторе перифовеа / N95/P50 & GCL thickness in the nasal sector of the perifovea	0,8°	0,43	0,021
N95/P50 & толщина СНВС в верхнем секторе перифовеа / N95/P50 & RNFL thickness in the upper sector of the perifovea	0,8°	0,46	0,013
III стадия ПОУГ Advanced glaucoma	**Угловой размер стимула Stimulus size**	**Коэффициент Пирсона *r*-Pearson**	***p*-критерий *p*-value**
A, N95 & толщина ВПС в верхнем секторе перифовеа / A, N95 & IPL thickness in the upper sector of the perifovea	0,8°	0,37	0,036
A, N95 & толщина ГКС в височном секторе перифовеа / A, N95 & GCL thickness in the temporal sector of the perifovea	0,3°	0,37	0,019
A, N95 & толщина ГКС в нижнем секторе перифовеа / A, N95 & GCL thickness in the lower sector of the perifovea	0,3°	0,42	0,002
A, N95 & толщина ГКС в носовом секторе парафовеа / A, N95 & GCL thickness in the nasal sector of parafovea	16°	0,39	0,022
A, N95 & толщина СНВС в верхнем секторе парафовеа / A, N95 & RNFL thickness in the upper sector of the parafovea	0,8°	0,31	0,003
L, N95 & толщина СНВС в верхнем секторе парафовеа / L, N95 & RNFL thickness in the upper sector of the parafovea	0,3°	-0,31	0,017
N95/P50 & толщина СНВС в верхнем секторе парафовеа / N95/P50 & RNFL thickness in the upper sector of the parafovea	0,8°	0,34	0,006

Примечание: A — амплитуда (мкВ); L — пиковая латентность (мс); N95/P50 — амплитудное отношение.
Note: A — amplitude (μV); L — peak latency (mc); N95/P50 — the amplitude ratio.

височном и нижнем секторе перифовеа, ВПС в верхнем секторе парафовеа и толщиной СНВС в носовом парафовеальном квадранте. Наиболее сильные корреляционные взаимосвязи приведены в таблице 3.

Необходимо отметить, что сила корреляционных взаимосвязей практически между всеми изучаемыми признаками в обеих подгруппах была «заметной» по шкале Чеддока, что говорит о значительной тесноте корреляционной связи.

КОРРЕЛЯЦИИ ДАННЫХ ОКТ СЕТЧАТКИ И ФНО

У пациентов 1-й подгруппы зафиксирована прямая взаимосвязь между истончением СНВС в нижнем квадранте перифовеа и редукцией амплитуды ФНО, измеренного от пика волны b в ответ на вспышку 3,0 кд·сек/м^2 (табл. 4). Также отмечена прямая корреляционная зависимость между толщиной СНВС в височном секторе парафовеа и амплитудой ФНО, рассчитанной от изолинии в ответ на стимул максимальной интенсивности. Показатели амплитудного отношения ФНО/b на стимул 3,0 кд·сек/м^2 были тем ниже, чем тоньше СНВС в носовом секторе парафовеа. Зафиксировано, что редукция амплитуды ФНО, измеренного от пика b-волны, находится в прямой корреляционной зависимости от толщины ГКС в височном парафовеальном квадранте. Амплитудное отношение ФНО/b на стимул средней интенсивности 1,5 кд·сек/м^2 прямо коррелировало с толщиной СНВС в носовом секторе перифовеа. Выявлена взаимосвязь между редукцией амплитуды ФНО, рассчитанной от изолинии, в ответ на вспышку 0,75 кд·сек/м^2, и истончением ГКС в височном секторе перифовеа. Амплитуда ФНО, рассчитанная от изолинии, прямо коррелировала с толщиной ГКС в носовом квадранте парафовеа.

Во 2-й подгруппе зафиксирована прямая корреляционная взаимосвязь амплитуды ФНО, измеренного от пика b-волны, на стимул максимальной силы и толщины СНВС в носовом секторе перифовеа. Мы установили, что ФНО, рассчитанный от изолинии, в ответ на стимул 1,5 кд·сек/м^2 имеет корреляционную взаимосвязь с толщиной СНВС в носовом секторе парафовеа. Показатели амплитудного отношения ФНО/b на стимул средней интенсивности 1,5 кд·сек/м^2 уменьшались при истончении ВПС в височном секторе парафовеа, а также слоя ГКС в нижнем перифовеальном квадранте. В таблице 4 представлены наиболее сильные корреляционные зависимости данных показателей.

Таблица 3. Корреляционный анализ данных стационарной ПЭРГ и ОКТ у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ

Table 3. Correlation analysis of the steady-state PERG and OCT data in patients with advanced stages of POAG

II стадия ПОУГ Moderate glaucoma	Угловой размер стимула Stimulus size	Коэффициент Пирсона *r*-Pearson	*p*-критерий *p*-value
P-N & толщина ВПС в верхнем секторе перифовеа / P-N & IPL thickness in the upper sector of the perifovea	16°	0,61	0,045
P-N & толщина ВПС в нижнем секторе перифовеа / P-N & IPL thickness in the lower sector of the perifovea	16°	0,54	0,043
P-N & толщина ГКС в верхнем секторе парафовеа / P-N & GCL thickness in the upper sector of the parafovea	0,8°	0,47	0,007
P-N & толщина ГКС в носовом секторе парафовеа / P-N & GCL thickness in the nasal sector of parafovea	0,3°	0,76	0,032
P-N & толщина СНВС в верхнем секторе перифовеа / P-N & RNFL thickness in the upper sector of the perifovea	16°	0,63	0,003
P-N & толщина СНВС в верхнем секторе перифовеа / P-N & RNFL thickness in the upper sector of the perifovea	0,3°	0,53	0,008
P-N & толщина СНВС в височном секторе перифовеа / P-N & RNFL thickness in the temporal sector of the perifovea	16°	0,45	0,035
P-N & толщина СНВС в нижнем секторе перифовеа / P-N & RNFL thickness in the lower sector of the perifovea	16°	0,63	0,002
P-N & толщина СНВС в носовом секторе парафовеа / P-N & RNFL thickness in the nasal sector of parafovea	0,3°	0,71	0,029
P-N & толщина СНВС в носовом секторе перифовеа / P-N & RNFL thickness in the nasal sector of the perifovea	16°	0,86	0,007
P-N & толщина ГКС в носовом секторе перифовеа / P-N & GCL thickness in the nasal sector of the perifovea	0,3°	0,74	0,005
III стадия ПОУГ Advanced glaucoma	**Угловой размер стимула Stimulus size**	**Коэффициент Пирсона *r*-Pearson**	***p*-критерий *p*-value**
P-N & толщина ВПС в верхнем секторе парафовеа / P-N & IPL thickness in the upper sector of parafovea	16°	0,49	0,036
P-N & толщина ВПС в височном секторе парафовеа / P-N & IPL thickness in the temporal sector of the parafovea	0,8°	0,64	0,004
P-N & толщина ВПС в височном секторе перифовеа / P-N & IPL thickness in the temporal sector of the perifovea	0,8°	0,48	0,007
P-N & толщина ВПС в нижнем секторе парафовеа / P-N & IPL thickness in the lower sector of the parafovea	0,3°	0,69	0,017
P-N & толщина ГКС в верхнем секторе перифовеа / P-N & GCL thickness in the upper sector of the perifovea	0,3°	0,55	0,005
P-N & толщина ГКС в височном секторе перифовеа / P-N & GCL thickness in the temporal sector of the perifovea	16°	0,45	0,022
P-N & толщина ГКС в нижнем секторе перифовеа / P-N & GCL thickness in the lower sector of the perifovea	16°	0,51	0,001
P-N & толщина ГКС в носовом секторе перифовеа / P-N & GCL thickness in the nasal sector of the perifovea	16°	0,84	0,006
P-N & толщина СНВС в верхнем секторе парафовеа / P-N & RNFL thickness in the upper sector of the parafovea	0,3°	0,51	0,010
P-N & толщина СНВС в височном секторе парафовеа / P-N & RNFL thickness in the temporal sector of the parafovea	0,3°	0,44	0,027
P-N & толщина СНВС в височном секторе перифовеа / P-N & RNFL thickness in the temporal sector of the perifovea	0,3°	0,33	0,012
P-N & толщина СНВС в нижнем секторе перифовеа / P-N & RNFL thickness in the lower sector of the perifovea	0,8°	0,46	0,002
P-N & толщина СНВС в носовом секторе парафовеа / P-N & RNFL thickness in the nasal sector of parafovea	16°	0,86	0,008
P-N & толщина СНВС в носовом секторе парафовеа / P-N & RNFL thickness in the nasal sector of parafovea	0,8°	0,74	0,025

Примечание: P-N — амплитуда стационарной ПЭРГ, рассчитанная от пика-до-пика (P-N), мкВ.
Note: P-N — the amplitude of a steady-state PERG calculated from peak-to-peak (P-N), μV.

Большинство исследуемых параметров имели умеренную силу корреляционных взаимосвязей.

K.O. Al-Nosairy и соавт. [15] установили прямую корреляционную взаимосвязь между некоторыми функциональными и структурными показателями толщины ГКС в макулярной области в сборной группе пациентов с глаукомой разных стадий (от пре-периметрической до далеко зашедшей стадии) и у здоровых лиц. В их работе показателем функции ГКС служила амплитуда ФНО в мультифокальной ЭРГ (мультифокального ФНО — мфФНО), нормализованная к b-волне мфЭРГ (компонент P1) — амплитудное отношение мфФНО/P1, которое является аналогом индекса ФНО/b в ЭРГ полного поля. Этот индекс сильно коррелировал со всеми структурными параметрами в различных секторах макулы и в перипапиллярной зоне ($p \leq 0{,}001$). При этом амплитуда стационарной ПЭРГ для стимула 0,8° в этом исследовании достоверно коррелировала с толщиной слоя ГКС перипапиллярно, а также с суммарной толщиной слоев ГКС-ВПС в макуле ($p = 0{,}003$ и 0,027 соответственно), но не с парафовеальной толщиной ГКС-ВПС ($p = 0{,}09$) [15].

Закономерности, полученные в известной работе [15], сопоставимы с результатами нашего исследования. Так, нами показано, что толщина ВПС в височном секторе пара- и перифовеа прямо коррелирует с амплитудой стационарной ПЭРГ в ответе на стимул 0,8° у больных с III стадией ПОУГ (табл. 3), а отношение ФНО/b — с толщиной ВПС в височном секторе парафовеа у той же подгруппы больных (табл. 4).

S. Machida и соавт. [16] в разнородной группе пациентов с ПОУГ различных стадий (от начальной до далеко зашедшей) регистрировали ФНО в фокальной ЭРГ, полученной при локальной стимуляции верхней и нижней зоны макулярной области. Авторы использовали два вида стимулов: в форме полусфер с диаметром 15°

Таблица 4. Корреляционный анализ параметров ФНО и данных ОКТ у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ

Table 4. Correlation analysis of the of the PhNR parameters and the OCT data in patients with advanced stages POAG

II стадия ПОУГ Moderate glaucoma	Сила стимула, кд·сек/м² Stimulus strength, cd·s/m²	Коэффициент Пирсона *r*-Pearson	*p*-критерий *p*-value
A, ФНО-b & толщина ГКС в височном секторе парафовеа / A, PhNR-b & GCL thickness in the temporal sector of the parafovea	1,5	0,33	0,022
A, ФНО-b & толщина СНВС в нижнем секторе перифовеа / A, PhNR-b & RNFL thickness in the lower sector of the perifovea	3,0	0,68	0,004
A, ФНО-Z & толщина ГКС в височном секторе перифовеа / A, PhNR-Z & GCL thickness in the temporal sector of the perifovea	0,75	0,72	0,005
A, ФНО-Z & толщина ГКС в носовом секторе парафовеа / A, PhNR-Z & GCL thickness in the nasal sector of parafovea	0,375	0,42	0,008
A, ФНО-Z & толщина СНВС в височном секторе парафовеа / A, PhNR-Z & IPL thickness in the temporal sector of the parafovea	3,0	0,48	0,009
ФНО/b & толщина СНВС в носовом секторе парафовеа / PhNR/b & RNFL thickness in the nasal sector of parafovea	3,0	0,45	0,015
ФНО/b & толщина СНВС в носовом секторе перифовеа / PhNR/b & RNFL thickness in the nasal sector of the perifovea	1,5	0,39	0,040
III стадия ПОУГ Advanced glaucoma	**Сила стимула, кд·сек/м² Stimulus strength, cd·s/m²**	**Коэффициент Пирсона *r*-Pearson**	***p*-критерий *p*-value**
A, ФНО/b & толщина ВПС в височном секторе парафовеа / A, PhNR/b & IPL thickness in the temporal sector of the parafovea	1,5	0,44	0,025
A, ФНО/b & толщина ГКС в нижнем секторе перифовеа / A, PhNR/b & GCL thickness in the lower sector of the perifovea	1,5	0,36	0,019
A, ФНО-b & толщина СНВС в носовом секторе перифовеа / A, PhNR-b & RNFL thickness in the nasal sector of the perifovea	3,0	0,51	0,005
A, ФНО-Z & толщина СНВС в носовом секторе парафовеа / A, PhNR-Z & RNFL thickness in the nasal sector of parafovea	1,5	0,35	0,015

Примечание: A — амплитуда; ФНО-b — амплитуда ФНО, измеренная от пика волны b, мкВ; b-волна — амплитуда b-волны, мкВ; ФНО/b — амплитудное отношение ФНО и волны-b; ФНО-Z — амплитуда ФНО, измеренная от изолинии, μV.
Note: A — amplitude; PhNR-b — amplitude of PhNR from the b-wave peak, μV; b-wave — the amplitude of the b-wave, μV; PhNR/b — the PhNR to b-wave amplitude ratio; PhNR-Z — amplitude of PhNR measured from the baseline, μV.

и полуколец с наружным и внутренним диаметром 30° и 15°. Была установлена сильная прямая взаимосвязь между индексом PhNR/b и амплитудой ФНО и толщиной слоя ГКС в верхней и нижней полусферических областях макулы ($p < 0,0001$). Однако корреляция была статистически гораздо менее значима при оценке ФНО и толщины слоя ГКС в более отдаленных зонах верхнего и нижнего полукольца макулы ($p < 0,05$) [16].

Результаты корреляционного анализа параметров ЭРГ и ОКТ в нашей работе, выполненные для ФНО в ЭРГ полного поля, имеют близкие закономерности с результатами вышеупомянутой работы при секторальном анализе толщины слоя ГКС. Так, в группе пациентов с ПОУГ II стадии мы выявили прямую корреляционную связь между амплитудой ФНО-b на стимул средней интенсивности 1,5 кд·сек/м² и толщиной слоя ГКС в височном секторе парафовеа, амплитудой ФНО-Z в ответ на вспышку 0,75 кд·сек/м² и толщиной слоя ГКС в височном перифовеальном секторе, а также между амплитудой ФНО-Z в ответ на минимальный стимул и толщиной слоя ГКС в носовом секторе парафовеа (табл. 4). По нашим данным выявлена прямая зависимость индекса ФНО/b в ответ на вспышку 1,5 кд·сек/м² от толщины слоя ГКС в нижнем секторе перифовеа.

В литературе представлены также другие исследования корреляционных взаимосвязей данных электроретинографии и морфометрических измерений при глаукоме [17]. U. Karaca и соавт. выполнили корреляционный анализ данных ОКТ макулярной области и области диска зрительного нерва с параметрами ПЭРГ (без анализа влияния угловых размеров стимула) и компьютерной периметрии у пациентов с ПОУГ и лиц контрольной группы. В отличие от нашей работы эти авторы, так же как и в вышеупомянутых исследованиях [15, 16], сравнивали с контрольными значениями морфофункциональные показатели больных ПОУГ единой группы с начальными и развитыми стадиями болезни, что исключает возможность детальной оценки минимальных изменений признаков. Кроме того, ОКТ-исследование в данной работе было выполнено только для СНВС. Авторы пришли к выводу о том, что амплитуда стационарной ПЭРГ (в отличие от транзиентной ПЭРГ) наиболее выраженно коррелировала с морфометрическими данными в макулярной области. Важно отметить, что значения пиковой латентности стационарной ПЭРГ в работе U. Karaca и соавт. [17] не коррелировали достоверно ни с одним из параметров ОКТ, и это наблюдение согласуется также с результатами нашего исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описаны специфические закономерности морфологических и функциональных изменений во внутренних слоях макулярной области сетчатки у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ. Установлено существенное ($p < 0,01$) истончение всех слоев КГК макулярной зоны сетчатки во всех исследуемых секторах. Между подгруппами обследуемых с II и III стадией ПОУГ документированы статистически значимые ($p < 0,05$) различия всех исследуемых морфометрических признаков. У пациентов 1-й подгруппы наибольшие различия морфологических показателей от значений группы контроля отмечены в нижнем, верхнем парафовеальном секторе слоя ГКС, а также в височном перифовеальном квадранте. Во 2-й подгруппе значительные изменения толщины слоев внутренней сетчатки были зафиксированы

для верхнего и нижнего перифовеального секторов СНВС и височных пара- и перифовеальных квадрантов слоя ГКС.

При исследовании морфофункциональных взаимосвязей наиболее значительная степень тесноты корреляционных соотношений выявлена для параметров стационарной ПЭРГ. Амплитуда стационарной паттерн-электроретинограммы прямо коррелировала с толщиной СНВС в носовом секторе перифовеа ($r = 0{,}86$; $p < 0{,}01$) в 1-й подгруппе пациентов и толщиной ГКС в носовом секторе перифовеа во 2-й подгруппе ($r = 0{,}84$; $p < 0{,}01$). Выявлены умеренные взаимосвязи между индексом N95/P50 транзиентной паттерн-электроретинограммы (Т-ПЭРГ) и толщиной СНВС в верхнем секторе перифовеа ($r = 0{,}46$; $p < 0{,}05$), пиковой латентностью N95 Т-ПЭРГ и толщиной СНВС в верхнем секторе перифовеа ($r = -0{,}43$; $p < 0{,}05$) у больных 1-й подгруппы. У больных 2-й подгруппы выявлена корреляция амплитуды N95 Т-ПЭРГ и толщины ГКС в нижнем секторе перифовеа ($r = 0{,}42$; $p < 0{,}01$), пиковой латентности N95 и толщины СНВС в верхнем секторе парафовеа ($r = -0{,}31$; $p < 0{,}05$). Установлена прямая корреляционная зависимость между значениями амплитуды ФНО от изолинии и толщиной слоя ГКС в височном секторе перифовеа ($r = 0{,}72$; $p < 0{,}01$) у больных со II стадией ПОУГ. Амплитуда ФНО от пика b-волны у больных с III стадией ПОУГ коррелировала с толщиной СНВС в носовом секторе перифовеа ($r = 0{,}51$; $p < 0{,}01$).

Самостоятельную клиническую значимость может иметь тот факт, что корреляционные взаимоотношения между пиковой латентностью ЭФИ и морфометрическими параметрами выявлены только для транзиентной ПЭРГ. Напротив, максимальные значения корреляционного коэффициента Пирсона зафиксированы при изучении данных стационарной ПЭРГ, что, на наш взгляд, делает методику перспективной для дальнейшего изучения.

Выявленные закономерности изменений структурно-функциональных показателей состояния внутренней сетчатки в макулярной области у пациентов с продвинутыми стадиями ПОУГ могут быть использованы в качестве клинических маркеров ГОН, возможно, отражающих процессы неадаптивной пластичности сетчатки. Они могут иметь значение для выбора индивидуальной терапевтической стратегии, включая нейропротекторное и нейротрофическое лечение. Однако дальнейшие исследования с большей выборкой пациентов и использованием более широкого спектра проводимых методик позволят увеличить надежность исследуемых параметров.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Котелин В.И. — сбор материала и анализ данных, написание текста;
Петров С.Ю. — концепция, анализ данных, написание текста;
Журавлева А.Н. — анализ данных, обсуждение материала, редактирование;
Зуева М.В. — концепция, анализ литературы и результатов, написание текста;
Цапенко И.В. — проведение исследований, анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Thomas S., Hodge W., Malvankar-Mehta M. The cost-effectiveness analysis of teleglaucoma screening device. *PloS one*. 2015;10(9):e0137913. DOI: 10.1371/journal.pone.0137913
2. Nuzzi R., Marolo P., Nuzzi A. The Hub-and-Spoke Management of Glaucoma. *Front Neurosci*. 2020;14:180. DOI: 10.3389/fnins.2020.00180
3. Bua S., Supuran C.T. Diagnostic markers for glaucoma: a patent and literature review (2013–2019). *Expert Opin Ther Pat*. 2019;29(10):829–839. DOI: 10.1080/13543776.2019.1667336
4. Котелин В.И., Зуева М.В., Цапенко И.В., Петров С.Ю., Журавлева А.Н. Электрофизиологические маркеры развитых стадий глаукомной оптической нейропатии. *Российский офтальмологический журнал*. 2021;3:30–36. [Kotelin V.I., Zueva M.V., Tsapenko I.V., Petrov S.Yu., Zhuravleva A.N. Electrophysiological markers of advanced stages of glaucomatous optic neuropathy. Russian ophthalmology journal = *Rossijskiy oftal'mologicheskiy zhurnal*. 2021;3:30–36. (In Russ.)].
5. Tan O., Chopra V., Lu A.T.-H., Schuman J.S., Ishikawa H., Wollstein G., Varma R., Huang D. Detection of Macular Ganglion Cell Loss in Glaucoma by Fourier-Domain Optical Coherence Tomography. *Ophthalmology*. 2009;116(12):2305–2314. DOI: 10.1016/j.ophtha.2009.05.025
6. Rao H.L., Zangwill L.M., Weinreb R.N., Sample P.A., Alencar L.M., Medeiros F.A. Comparison of different spectral domain optical coherence tomography scanning areas for glaucoma diagnosis. *Ophthalmology*. 2010;117(9):1692–1699. DOI: 10.1016/j.ophtha.2010.01.031
7. Schulze A., Lamparter J., Pfeiffer N., Berisha F., Schmidtmann I., Hoffmann E.M. Diagnostic ability of retinal ganglion cell complex, retinal nerve fiber layer, and optic nerve head measurements by Fourier-domain optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2011;249(7):1039–1045. DOI: 10.1007/s00417-010-1585-5
8. Mori S., Hangai M., Sakamoto A., Yoshimura N. Spectral-domain optical coherence tomography measurement of macular volume for diagnosing glaucoma. *J Glaucoma*. 2010;19(8):528–534. DOI: 10.1097/IJG.0b013e3181ca7acf
9. Garas A., Vargha P., Holló G. Diagnostic accuracy of nerve fibre layer, macular thickness and optic disc measurements made with the RTVue-100 optical coherence tomograph to detect glaucoma. *Eye*. 2011;25(1):57–65. DOI: 10.1038/eye.2010.139
10. Huang J., Liu X., Wu Z., Guo X., Xu H., Dustin L., Sadda S. Macular and retinal nerve fiber layer thickness measurements in normal eyes with the Stratus OCT, the Cirrus HD-OCT, and the Topcon 3D OCT-1000. *J Glaucoma*. 2011;20(2):118–125. DOI: 10.1097/IJG.0b013e3181d786f8
11. Bach M., Brigell M.G., Hawlina M., Holder G.E., Johnson M.A., McCulloch D.L., Meigen T., Viswanathan S. ISCEV standard for clinical pattern electroretinography (PERG): 2012 update. *Doc Ophthalmol*. 2013;126(1):1–7. DOI: 10.1007/s10633-012-9353-y
12. Frishman L., Sustar M., Kremers J., McAnany J.J., Sarossy M., Tzekov R., Viswanathan S. ISCEV extended protocol for the photopic negative response (PhNR) of the full-field electroretinogram. *Doc Ophthalmol*. 2018;36(3):207–211. DOI: 10.1007/s10633-018-9638-x
13. Котелин В.И., Кириллова М.О., Зуева М.В., Цапенко И.В., Журавлева А.Н., Киселева О.А., Бессмертный А.М. Фотопический негативный ответ для оценки функции внутренней сетчатки — требования к регистрации и сравнение в глазах с естественной шириной зрачка и в условиях медикаментозного мидриаза. *Офтальмология*. 2020;17(3):398–406. [Kotelin V.I., Kirillova M.O., Zueva M.V., Tsapenko I.V., Zhuravleva A.N., Kiseleva O.A., Bessmertny A.M. Negative Response for Testing the Function of Inner Retina: Registration Requirements and Comparison in the Eyes with Natural Pupil Width and in Conditions of Drug Mydriasis. Ophthalmology in Russia = *Oftal'mologiya*. 2020;17(3):398–406 (In Russ.)]. DOI: 10.18008/1816-5095-2020-3-398-406
14. Cifuentes-Canorea P., Ruiz-Medrano J., Gutierrez-Bonet R., Peña-Garcia P., Saenz-Frances F., Garcia-Feijoo J., Martinez-de-la-Casa J.M. Analysis of inner and outer retinal layers using spectral domain optical coherence tomography automated segmentation software in ocular hypertensive and glaucoma patients. *PloS one*. 2018;13(4):e0196112. DOI: 10.1371/journal.pone.0196112.
15. Al-Nosairy K.O., Prabhakaran G.T., Pappelis K., Thieme H., Hoffmann M.B. Combined multi-modal assessment of glaucomatous damage with electroretinography and optical coherence tomography/angiography. *Transl Vis Sci Technol*. 2020;9(12):7. DOI: 10.1167/tvst.9.12.7
16. Machida S., Kaneko M., Kurosaka D. Regional variations in correlation between photopic negative response of focal electoretinograms and ganglion cell complex in glaucoma. *Curr Eye Res*. 2015;40(4):439–449. DOI: 10.3109/02713683.2014.922196
17. Karaca U., Dagli O., Ozge G., Mumcuoglu T., Bayer A. Comparison of structural and functional tests in primary open angle glaucoma. *Indian J Ophthalmol*. 2020;68(5):805–811. DOI: 10.4103/ijo.IJO_921_19

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Котелин Владислав Игоревич
аспирант отдела глаукомы
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация
http://orcid.org/0000-0003-4675-9648

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Петров Сергей Юрьевич
доктор медицинских наук, начальник отдела глаукомы
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация
http://orcid.org/0000-0001-6922-0464

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Журавлева Анастасия Николаевна
кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела глаукомы
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация
http://orcid.org/0000-0001-8381-2124

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Зуева Марина Владимировна
профессор, доктор биологических наук, начальник отдела клинической физиологии зрения им. С.В. Кравкова
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация
http://orcid.org/0000-0002-0161-5010

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Цапенко Ирина Владимировна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела клинической физиологии зрения им. С.В. Кравкова
ул. Садовая-Черногрязская, 14/19, Москва, 105062, Российская Федерация
http://orcid.org/0000-0002-0148-8517

ABOUT AUTHORS

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Kotelin Vladislav I.
postgraduate student, of the Glaucoma Department
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation
ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4675-9648

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Petrov Sergey Y.
MD, head of the of Glaucoma Department
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation
http://orcid.org/0000-0001-6922-0464

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Zhuravleva Anastasia N.
PhD, researcher of the Glaucoma Department
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation
http://orcid.org/0000-0001-8381-2124

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Zueva Marina V.
Professor, Doctor of Biological Sciences, head of the of Clinical Physiology of Vision S.V. Kravkova Department
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation
http://orcid.org/0000-0002-0161-5010

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases
Tsapenko Irina V.
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, of the Clinical Physiology of Vision S.V. Kravkova Department
Sadovaya-Chernogryazskaya str., 14/19, Moscow, 105062, Russian Federation
http://orcid.org/0000-0002-0148-8517