

Оценка комплекса ганглиозных клеток сетчатки при первичной открытоугольной глаукоме



В.С. Акопян



Н.С. Семенова



И.В. Филоненко



М.А. Цысарь

Факультет фундаментальной медицины МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Объединенная больница с поликлиникой УД Президента РФ, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель. Оценить информативность параметров комплекса ганглиозных клеток (КГК) сетчатки для диагностики глаукомы.

Методы. В исследование вошло 67 пациентов (128 глаз), разделенных на 4 группы: 1 – контрольная – 15 человек (29 глаз); 2 группа, потенциально высокого риска развития глаукомы, – 16 человек (32 глаза); в 3-ю группу вошли пациенты с препериметрической глаукомой – 19 человек (36 глаз); в 4-ю – пациенты с периметрической глаукомой – 17 человек (31 глаз). Всем пациентам проводилось стандартное офтальмологическое обследование, статическая периметрия на приборе Humphrey Field Analyzer II (Carl Zeiss Meditec Inc., Германия и США), оптическая когерентная томография на приборе RTVue-100 OCT (Optovue, Inc., Fremont, CA) в области диска зрительного нерва (протоколы ONH и 3D Disc) и макулы (протокол GCC). Диагностическая точность методов оценивалась с помощью характеристических кривых (ROC).

Результаты. Индексы, характеризующие перипапиллярный слой нервных волокон сетчатки (СНВС), достоверно различаются только при сравнении 1 и 4 групп. Для толщины комплекса ганглиозных клеток (GCC av.) ($p < 0,000001$; AUC=0,964) и объема глобальной потери (GLV) ($p < 0,000001$; AUC=0,969) статистически значимое различие также имеется только между 1 и 4 группами. Для объема фокальной потери (FLV) парное сравнение выявило наибольшее различие 1 и 4 групп ($p < 0,000001$; AUC=0,898), кроме того, отмечено различие между 1 и 3 группами ($p = 0,0054$; AUC=0,705). Индекс GCC av. коррелирует с показателем толщины СНВС (RNFL av.) ($r = 0,768$, $p < 0,001$), а также с индексом среднего отклонения (MD), характеризующим поля зрения ($r = 0,787$, $p < 0,001$).

Заключение. Исследование параметров СНВС может помочь только в диагностике периметрической глаукомы. Индексы КГК коррелируют с индексами, характеризующими толщину СНВС и поля зрения, и позволяют определить глаукому на периметрической стадии, при этом один из индексов – FLV – позволяет выявить заболевание на более ранней, чем все остальные методы, стадии – на препериметрической.

Ключевые слова: глаукома, диагностика, спектральная оптическая когерентная томография, комплекс ганглиозных клеток

ABSTRACT

V.S. Akopyan, N.S. Semenova, I.V. Filonenko, M.A. Tsytsar

Evaluation of ganglion cell complex measurements in primary open-angle glaucoma

Purpose: To evaluate the diagnostic capability of retinal ganglion cell complex (GCC) parameters in open-angle glaucoma.

Methods: A total of 67 participants (128 eyes) separated in 4 groups: 1 - 15 healthy volunteers (29 eyes), 2 - 16 high risk of glaucoma patients (32 eyes), 3 - 19 patients with preperimetric glaucoma (36 eyes) and 4 - 16 perimetric glaucoma patients (31 eyes) were included in the study. All underwent routine ophthalmic examinations, visual field testing with a Humphrey Field Analyzer II (Carl Zeiss Meditec Inc.) and measurements of the optic nerve head (ONH), peripapillary retinal nerve fiber layer (RNFL) and macular GCC with Spectral-domain optical coherence tomography (SD-OCT). The diagnostic ability of each OCT parameters was described by ROC curves.

Results: A significant difference for RNFL average thickness was found only between the groups 1 and 4. Glaucoma as well as glaucoma-suspect patients showed a significant reduction in GCC, but significant difference for GCC ($p < 0.000001$; AUC=0.964)

and global loss of volume (GLV) ($p < 0.000001$; $AUC = 0.969$) also was seen between groups 1 and 4. Though focal loss of volume (FLV) again demonstrated the most significant difference between glaucoma and normal subjects ($p < 0.000001$; $AUC = 0.898$), it was also significant ($p = 0.0054$; $AUC = 0.705$) between normal subjects and preperimetric glaucoma patients. All glaucoma patients showed a significant reduction in GCC av. which strongly correlated with RNFL av. thickness ($r = 0.768$, $p < 0.001$) as well as to perimetric mean deviation (MD) ($r = 0.787$, $p < 0.001$).

Conclusion: RNFL thickness measurement may be helpful only for the diagnosis of perimetric glaucoma. Imaging of the GCC using SD-OCT (RTVue-100) has a comparable diagnostic ability to RNFL measurements and visual field testing in perimetric glaucoma but the FVL GCC index has diagnostic ability also in preperimetric glaucoma.

Key words: glaucoma, spectral-domain optical coherence tomography, peripapillary retinal nerve fiber layer, ganglion cell complex

Глаукома характеризуется потерей ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) и их аксонов, составляющих слой нервных волокон сетчатки (СНВС) [1, 2]. Потерю ГКС невозможно увидеть при любом стандартном осмотре глазного дна. Аналогично, при клиническом обследовании сложно обнаружить дефекты пучков нервных волокон, а фотографирование глазного дна в бесцветном цвете дает ориентировочное представление об их состоянии и редко используется в клинической практике. Традиционно диагностика глаукомы основывается на оценке экскавации диска зрительного нерва (ДЗН) и соответствующих дефектов полей зрения (ПЗ) [3]. Гибель и утрата ГКС происходят задолго до первых проявлений глаукомных изменений ПЗ: структурные нарушения могут опережать функциональные на срок до пяти лет [4, 5]. Первые клинически выявляемые изменения полей зрения у больных глаукомой появляются только при потере приблизительно до 40% зрительных волокон [6, 7]. В связи с этим развитие новых объективных методов количественного определения глаукомных изменений, обусловленных гибелью ГКС, может обеспечить выявление глаукомы на более ранней стадии и позволит объективно оценивать динамику заболевания.

Значительная часть популяции ГКС располагается в макулярной области сетчатки, где клеточные тела образуют до семи слоев. Около 50% ГКС сосредоточено в области *perifovea* [8]. Впервые уменьшение толщины сетчатки в области макулы при глаукоме было описано Zeimer R. с соавторами [9]. Однако дальнейшие исследования показали, что общая толщина сетчатки в области макулы, определяемая с помощью OCT, не обеспечивает такой же точности в диагностике глаукомы, как параметры перипапиллярного СНВС [10, 11].

Глаукома преимущественно поражает 3 внутренних слоя сетчатки: нервные волокна, ганглиозные клетки и внутренний плексиформный слой, содержащие, соответственно, аксоны, клеточные тела и дендриты ГКС. Tan O. с соавторами [12] предложили называть совокупность этих трех слоев комплексом ганглиозных клеток (*ganglion cell complex, GCC*). Было показано [13, 14], что точность OCT-диагностики глаукомы может возрасти, если измерения толщины в макулярной области ограничивать только внутренними слоями сетчатки. Такое выделение отдельных слоев из всей толщи сетчатки стало возможным благодаря появлению нового оптического когерентного томографа, работающего по

принципу Фурье (Fourier-domain (FD)-OCT), также его называют спектральным томографом (*spectral domain OCT*). Спектральные томографы обладают более высоким разрешением и большей скоростью, чем более ранний вариант – временные томографы (*time-domain (TD) OCT*). Увеличенная скорость исследования позволяет получать карты высокого разрешения, захватывающие большую площадь и намного большее количество исследуемых точек. Более высокое разрешение облегчает идентификацию слоев сетчатки и их отграничение друг от друга, в частности, вычленение комплекса ганглиозных клеток [14, 15].

Целью настоящего исследования является оценка информативности определения параметров комплекса ганглиозных клеток сетчатки в макулярной области для диагностики глаукомы.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Проведено одноэтапное исследование 67 пациентов (128 глаз) в период с декабря 2009 по июнь 2010 г. в офтальмологическом отделении многопрофильной больницы с поликлиникой. Среди всех обследованных было 55,2% мужчин ($n = 37$) и 44,8% женщин ($n = 30$). Возраст (медиана и интерквартильный размах) составил 58 лет (от 49 до 65). Всем пациентам проводили комплексное офтальмологическое обследование, включавшее сбор анамнеза, рефрактометрию, определение остроты зрения, осмотр на щелевой лампе, пневмотонометрию, офтальмоскопию и статическую периметрию. На основании результатов этих исследований пациенты были разделены на 4 группы: группа 1 – 15 здоровых добровольцев (29 глаз) без офтальмологической патологии; группа 2 – 16 пациентов (32 глаза) потенциально высокого риска развития глаукомы (повышенное ВГД более 21 мм рт. ст. или увеличение физиологической экскавации без других признаков глаукомы); группа 3 – 19 больных (36 глаз) с препериметрической глаукомой (глаукомное увеличение экскавации, истончение НРП на разной протяженности и отсутствие изменений полей зрения); группа 4 – 17 больных с периметрической глаукомой (характерные для глаукомы изменения ДЗН и полей зрения различной степени). Ввиду возможного искажения точности результатов нами были исключены из исследования глаза с аметропической ошибкой рефракции, превышающей 6 D, а также астигматическим компонентом более 3 D (вариабельность топографии ДЗН, что отражается на расчетах) и глаза, подвергавшиеся ра-

Таблица 1. Демографическая и клиническая характеристика групп обследованных пациентов

Группа	1	2	3	4
Количество человек	15	16	19	17
Количество глаз	29	32	36	31
Мужчины (% от всех)	8 (53%)	5 (31%)	12 (63%)	13 (76%)
Возраст (гг)	33 (29-57)	53,5 (50-64)	61,5 (58-65)	67 (55,5-72,5)
ВГД (мм рт. ст.)	11,75 (10,8-15)	23,7 (21-29)	17,6 (14,35-21,85)	14 (14-18)
Э/Д	0,4 (0,2-0,45)	0,45 (0,38-0,5)	0,5 (0,4-0,7)	0,73 (0,63-0,85)
MD (дБ)	0,24 ((-0,5)-0,6)	-1,22 ((-3,5)-(-0,1))	-0,7 ((-1,16)-0,28)	-7,9((-11,8)-(-4,1))
PSD (дБ)	1,69 (1,66-1,98)	2,43 (1,97-5,56)	2,35 (1,86-3,87)	7,325 (2,88-9,26)

нее хирургии (в том числе и лазерным операциям).

Статическая периметрия проводилась с помощью периметра Humphrey Field Analyzer II (Carl Zeiss Meditec Inc., Германия и США) по программе порогового теста 30-2 с использованием алгоритма SITA-Standart. Порог исследован в 176 точках в пределах центральных 30° белым стимулом с диаметром III по Гольдману и длительностью предъявления 100 мс, при освещенности фона 31,5 асб. С помощью статической периметрии определялись периметрические индексы MD и PSD и значение p для каждого из них. Достоверность результатов исследований была установлена на основании количества ложноположительных и ложноотрицательных ответов, а также количества фактов потери фиксации – замеченных пациентом стимулов, предъявленных в проекции слепого пятна.

Оптическая когерентная томография проводилась на приборе RTVue-100 OCT (Optovue, Inc., Fremont, CA) в области ДЗН (протоколы ONH и 3D Disc) и макулы (протокол GCC). Последний протокол требует отдельного описания. Для центральных зон сетчатки особый набор оптических сканов производит 14994 измерений за 0,58 секунд на 16 линейных (15 параллельных вертикальных и 1 горизонтальный) направлениях в зоне размером 7x7 мм, центрированной на расстоянии 1 мм темпорально от фовеолы (т.е. в области максимальной концентрации ганглиозных клеток). Эти сканы автоматически

обрабатываются для получения карты толщины комплекса ганглиозных клеток (GCC). Карта отображает состояние GCC в зоне диаметром 6 мм, что соответствует 16÷20° поля зрения. При этом также вычисляется средняя толщина GCC и усредненное ее значение для верхнего и нижнего сегмента.

В ходе исследования исключались сканы с грубыми артефактами от мелких движений глаз (нистагма) и с низким уровнем сигнала (анализировались только сканы, у которых индекс силы сигнала был выше 45), так как это могло повлиять на точность определения границ слоев сетчатки. В протоколе исследования параметров головки зрительного нерва (ONH) изучали следующие показатели: площадь ДЗН (Disk area), отношение диаметра экскавации к диаметру ДЗН по вертикали и по горизонтали (C/D Vert. Ratio; C/D Horiz. Ratio), отношение площади экскавации к площади ДЗН (C/D Area Ratio), площадь нейроретинального пояса (Rim area), площадь экскавации ДЗН (Cup area) и толщину СНВС. В протоколе исследования КГК сетчатки исследовали три индекса: среднюю толщину GCC (Avg. GCC), фокальную потерю объема (FLV) и глобальную потерю объема (GLV).

Статистическая обработка результатов производилась с помощью пакета прикладных программ STATISTICA® 8.0 (StatSoft Inc.). Построение корреляционных кривых, характеристических кривых (ROC) и подсчет площади под кривой (AUC) производились с помощью программы Excel (Microsoft Office, USA).

Таблица 2. Характеристики перипапиллярных нервных волокон по данным OCT по группам обследованных пациентов

Группа	1	2	3	4
Avg. RNFL	99,7 (90,8-106,1)	102,5 (96,02-109,9)	96,26 (87-102,71)	76,26 (66,07-83,27)
Rim Volume	0,132 (0,098-0,19)	0,175 (0,105-0,297)	0,134 (0,084-0,227)	0,03 (0,011-0,075)
Nerve Head Volume	0,234 (0,178-0,32)	0,285 (0,181-0,474)	0,248 (0,156-0,365)	0,07 (0,028-0,186)
Cup Volume	0,118 (0,048-0,28)	0,119 (0,012-0,23)	0,114 (0,002-0,305)	0,305 (0,093-0,545)
Optic Disk Area	1,79 (1,57-2,05)	0,905 (1,67-2,22)	2,095 (1,83-2,395)	1,8 (1,4-2,26)
Cup/Disc Area Ratio	0,39 (0,25-0,48)	0,35 (0,18-0,52)	0,44 (0,09-0,57)	0,72 (0,49-0,88)
Rim area	1,06 (0,875-1,355)	1,24 (0,935-1,54)	1,095 (0,945-1,55)	0,53 (0,26-0,93)
Cup area	0,69 (0,415-0,925)	0,73 (0,31-1,025)	0,87 (0,145-1,27)	1,13 (0,66-1,62)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все 67 обследованных пациентов (128 глаз) включены в исследование. Демографическая и клиническая информация (медиана и интерквартильный размах) по группам представлена в таблице 1.

Пациенты всех четырех групп различаются (с помощью критерия Краскела-Уоллиса получили $p < 0,0001$) по величине внутриглазного давления. Парное сравнение с помощью критерия Манна-Уитни с применением поправки Бонферрони выявило наибольшее отличие от нормы пациентов группы 2 ($p = 0,0001$), что можно объяснить тем, что эту группу в основном составили пациенты с офтальмогипертензией, не применяющие снижающие ВГД препараты. По отношению экскавации к диску группы также различаются (для критерия Краскела-Уоллиса $p = 0,0033$). При парном сравнении выявлено, что статистически значимое различие имеется только между группами 1 и 4 ($p = 0,014$). Индексы, характеризующие поля зрения, как и ожидалось, имеют наибольшее отклонение от нормы в группе с периметрической глаукомой.

Значения параметров, характеризующих ДЗН и СНВС (медиана и интерквартильный размах), по группам приведены в таблице 2.

Наиболее информативными можно считать индексы, отражающие среднюю толщину перипапиллярных волокон сетчатки (для критерия Краскела-Уоллиса $p < 0,0001$), площадь нейроретинального пояса ($p < 0,0001$), расчетный объем НРП ($p < 0,0001$), расчетный объем головки зрительного нерва ($p < 0,0001$) и отношение площади экскавации к площади ДЗН ($p < 0,0001$), в то время как расчетный объем экскавации ДЗН ($p = 0,228$) и площадь ДЗН ($p = 0,0988$) не имеют достоверных различий в группах. Возможно, это связано с большей зависимостью последних двух показателей от широко варьирующих размеров ДЗН.

При более детальном анализе для первых четырех параметров с помощью критерия Манна-Уитни с учетом поправки Бонферрони выявлено достоверное отличие от нормы только для пациентов четвертой группы: для всех индексов $p < 0,001$. На рисунке 1 представлены ROC-кривые для средней толщины СНВС и трех параметров КГК, о которых речь пойдет ниже. Площадь под кривыми также отражает описанную закономерность: для 1 и 2 групп (рис. 1а) $AUC = 0,611$, для 1 и 3 групп (рис. 1б) $AUC = 0,600$, а для 1 и 4 групп (рис. 1в) AUC значительно выше и составляет 0,910. Это означает, что исследование параметров перипапиллярных волокон сетчатки может помочь только в диагностике периметрической глаукомы и для ранней диагностики недостаточно информативно.

Полученные нами данные несколько расходятся с результатами аналогичных исследований [15, 16], где утверждается, что показатели перипапиллярного СНВС способны выявить глаукому на препериметрической стадии. Возможно, это связано с малым размером выборки в настоящем исследовании. В приведенных исследованиях так же, как и в нашем, наиболее информативным признан показатель, отражающий толщину перипапиллярных волокон сетчатки. Ранее отмечался высокий вклад колебаний

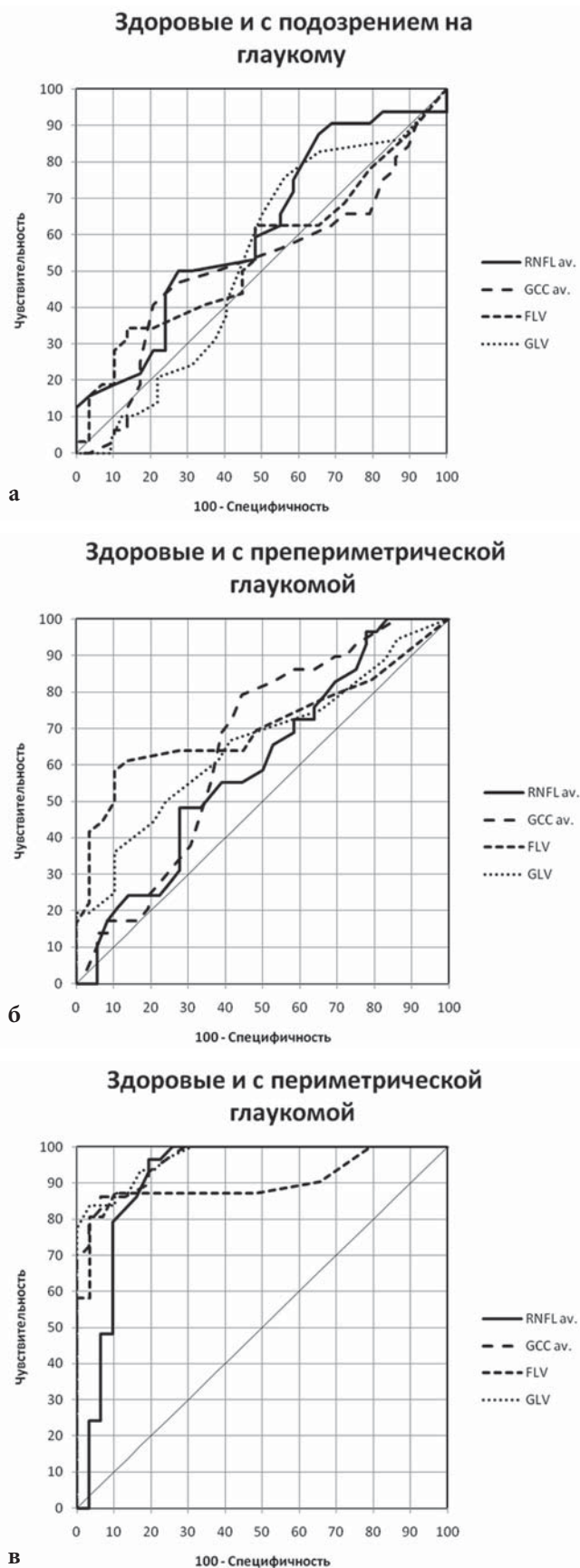


Рисунок 1. Характеристические кривые (ROC).

Таблица 3. Характеристики комплекса ганглиозных клеток по данным FD-OCT по группам обследованных пациентов

Группа	1	2	3	4
GCC av.	92,51 (89,25-94,32)	94,06 (87,67-98,41)	88,57 (82,2-93,84)	74,98 (66,22-81,25)
FLV	0,475 (0,235-1,041)	0,69 (0,24-1,48)	1,57 (0,45-3,49)	5,624 (2,49-8,91)
GLV	4,575 (3,52-7,84)	3,97 (1,398-8,85)	8,18 (3,92-13,86)	21,258 (16,28-34,47)

размера ДЗН в информативность большинства показателей, получаемых с помощью ОКТ. Кроме того, указывалось, что меньше всего от размера ДЗН зависят показатели, характеризующие НРП. Один из них уменьшается уже на стадии преглаукомы – это площадь нейроретинального пояса [17]. В настоящем исследовании ни одна из этих закономерностей не была выявлена. Вероятно, это также связано с недостаточным объемом выборки.

Для исследования информативности оценки комплекса ганглиозных клеток анализируем значения трех коэффициентов, отражающих состояние этой анатомической структуры и представленных в таблице 3.

Для всех трех параметров критерий Краскела-Уоллиса выявил значимое различие между четырьмя группами (для каждого индекса $p < 0,0001$). Критерий Манна-Уитни с применением поправки Бонферрони показал, что для толщины комплекса ганглиозных клеток (GCC av.) ($p < 0,000001$) и объема глобальной потери (GLV) ($p < 0,000001$) статистически значимое различие имеется только между 1 и 4 группами. Для индекса объем фокальной потери (FLV) парное сравнение выявило наибольшее различие 1 и 4 групп ($p < 0,000001$), но также значимое различие отмечено между 1 и 3 группами ($p = 0,0054$). То есть, объем фокальной потери позволяет выявить глаукому на более ранней, чем все остальные методы, стадии – на препериметрической.

Это наглядно продемонстрировано на графиках характеристических кривых (рис. 1). При сравнении группы здоровых с пациентами, имеющими подозрение на глаукому, точность рассматриваемых параметров крайне низка (для GCC av. $AUC = 0,516$, для FLV $AUC = 0,547$ и для GLV $AUC = 0,532$). Максимальными чувствительностью и специфичностью эти параметры обладают при сравнении нормы с поздней, периметрической глаукомой (для GCC av. $AUC = 0,964$, для FLV $AUC = 0,898$ и для GLV $AUC = 0,969$). При сравнении с нормой пациентов с препериметрической глаукомой индексы GCC av. ($AUC = 0,652$) и GLV ($AUC = 0,657$) показали низкую диагностическую точность, в то время как индекс FLV ($AUC = 0,705$) оказался более точным.

В исследовании, опубликованном Могі и соавторами, также показано, что анализ КГК достоверно отличается у здоровых и больных глаукомой [18]. Способность параметров КГК выявлять глаукому на более ранней стадии по сравнению с параметрами СНВС описывается в исследовании Kim и коллег [16]. Высокая диагностическая точность GLV и FLV по сравнению со средним значением толщины КГК также подтверждается другим исследованием, проведенным Тап и коллегами [14]. При этом ни в одном исследовании не говорилось о большей точности индекса FLV по сравнению с GLV, как было выявлено в

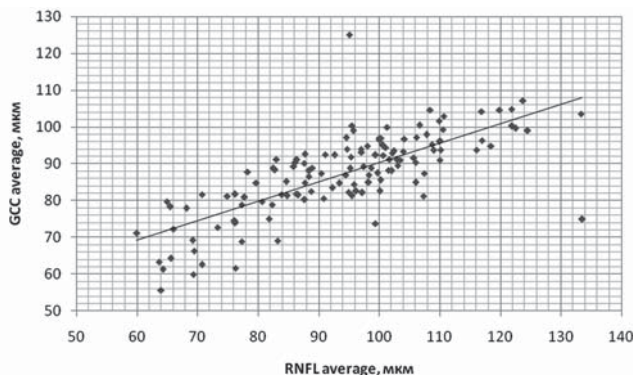


Рисунок 2. Корреляция индексов GCC average и RNFL average.

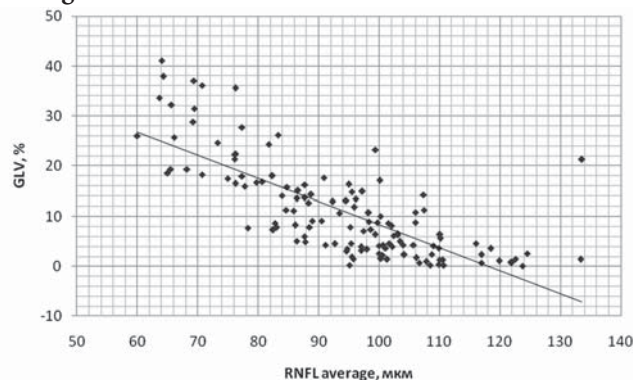


Рисунок 3. Корреляция индексов GLV и RNFL average.

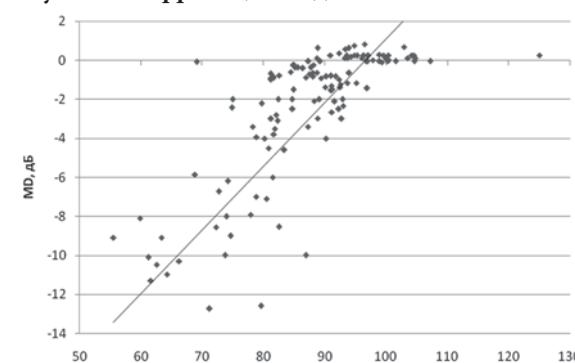


Рисунок 4. Корреляция индексов GCC average и MD.

ходе настоящего исследования. Следует отметить и противоположные результаты, полученные Fang с соавторами [19]. В их работе представлен вывод о том, что показатели перипапиллярного СНВС более информативны, чем индексы, характеризующие комплекс ганглиозных клеток сетчатки. Это можно связать с тем, что в число индексов КГК не входили ни FLV, ни GLV, а только толщина КГК в верхней и нижней половинах сетчатки.

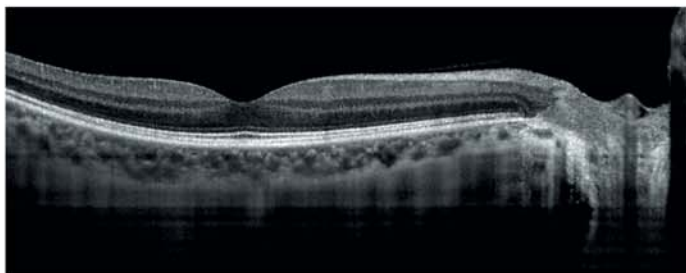
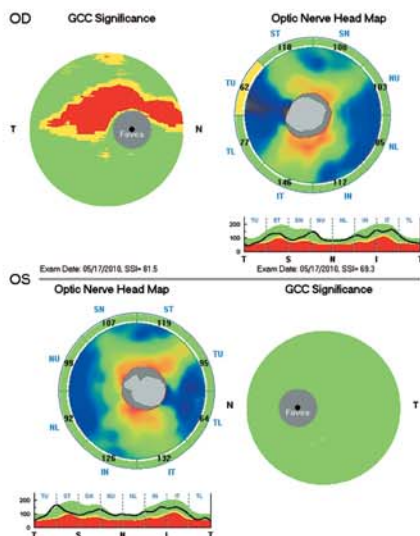
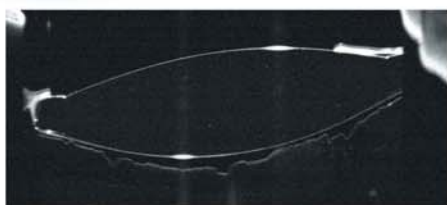
Для определения корреляции показателей комплекса гангли-



Оптический когерентный томограф нового поколения **RTVue-100**

Анализ ганглиозных клеток
Высокое разрешение
3D-изображение

- Продольное разрешение изображения: от 2.9 мкм
 - Продольное оптическое разрешение в ткани: 5 мкм
 - Поперечное разрешение изображения: от 8 мкм
 - Получение карты толщины сетчатки за 0,78 сек.
 - En-Face-анализ
 - Всесторонний анализ глаукомных изменений, включая анализ толщины комплекса ганглиозных клеток
 - Этнически стратифицированная нормативная база данных по макулярным параметрам, параметрам ДЗН, комплекса ганглиозных клеток
- ✓ **Исследование переднего отдела глаза с помощью корнеального модуля**



озных клеток с показателями перипапиллярных нервных волокон по данным ОКТ нами проведен анализ корреляции наиболее информативных индексов, полученных в результате этих исследований: GCC average, FLV, GLV, av. RNFL и Rim area. С помощью непараметрического метода Спирмена получен коэффициент корреляции $r=0,768$ ($p<0,001$) для индексов GCC av. и RNFL av., что говорит о наличии сильной положительной связи (рис. 2). Индекс Rim Area имеет среднюю положительную корреляцию ($r=0,549$, $p<0,001$) с индексом GCC av. При анализе корреляции индекса FLV с индексами RNFL av. ($r=-0,594$, $p<0,001$) и Rim area ($r=-0,438$, $p<0,001$) по методу Спирмена выявлена средняя отрицательная связь. Корреляция индекса GLV с RNFL av. описывается коэффициентом $r=-0,771$ ($p<0,001$), что говорит о наличии сильной отрицательной корреляции этих индексов (рис. 3). Параметр Rim Area имеет среднюю отрицательную корреляцию ($r=-0,55$, $p<0,001$) с индексом GLV.

В исследовании Seong с соавторами также показано, что средняя толщина КГК значительно коррелирует со средней толщиной перипапиллярных волокон сетчатки [15], что согласуется с полученными нами результатами. Толщина КГК отражает состояние макулы и дает возможность диагностировать глаукому в тех случаях, когда поражена только область макулы. Поэтому исследования КГК и СНВС могут дополнять друг друга. В работах других авторов установлено, что комбинация диагностических параметров, характеризующих различные анатомические области, повышает точность диагностики [20].

Для определения корреляции показателей комплекса ганглиозных клеток с параметрами, отражающими состояние полей зрения, нами проведен анализ корреляции индексов, полученных

в результате этих исследований. Для КГК это средняя толщина (GCC average), объем фокальной потери (FLV) и объем глобальной потери (GLV); для полей зрения – средний дефект (MD) и паттерн стандартное отклонение (PSD). С помощью непараметрического метода Спирмена получен коэффициент корреляции $r=0,787$ ($p<0,001$) для пары индексов GCC av. и MD. Это говорит о наличии сильной положительной связи между ними, что показано на рисунке 4. С индексом FLV ($r=-0,618$, $p<0,001$) имеется средняя, а с индексом GLV ($r=-0,781$, $p<0,001$) – сильная отрицательная связь.

Полученные с помощью непараметрического метода Спирмена коэффициенты корреляции для индекса PSD с показателями, характеризующими КГК (GCC average ($r=-0,571$, $p<0,001$), FLV ($r=0,605$, $p<0,001$) и GLV ($r=0,523$, $p<0,001$)), говорят о наличии средней отрицательной (для пары PSD и GCC average) или средней положительной (для пар PSD и FLV; PSD и GLV) связей.

Выявленные нами корреляции согласуются с данными, опубликованными в работах зарубежных авторов [16, 18]. В исследовании Kim с соавт. также указано, что корреляция параметров ПЗ и КГК лучше описывается не линейной зависимостью, а уравнением регрессии второго или третьего порядка [16].

Наши первоначальные исследования показали, что изолированная оценка параметров СНВС может быть диагностически ценной только при периметрической глаукоме. Средние значения КГК коррелируют с показателями толщины СНВС и в совокупности позволяют определить глаукому на периметрической стадии. При этом один из индексов КГК (FLV – фокальная потеря объема) в отличие от всех остальных достоверно демонстрирует аномальные значения на более ранней препериметрической стадии заболевания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Quigley H.A., Dunkelberger G.R., Green W.R. Retinal ganglion cell atrophy correlated with automated perimetry in human eyes with glaucoma // *Am. J. Ophthalmol.* - 1989. - Vol. 107. - P. 453-464.
2. Sommer A., Quigley H.A., Robin A.L., et al. Evaluation of nerve fiber layer assessment // *Arch. Ophthalmol.* - 1984. - Vol. 102. - P. 1766-1771.
3. Нестеров А.П. Первичная открытоугольная глаукома, патогенез и принципы лечения // *Клиническая офтальмология.* - 2000. - № 1. - P. 4-5.
4. Sommer A., Katz J., Quigley H.A., et al. Clinically detectable nerve fiber atrophy precedes the onset of glaucomatous field loss // *Arch. Ophthalmol.* - 1991. - Vol. 109. - P. 77-83.
5. Airaksinen P.J., Drance S.M., Douglas G.R., et al. Diffuse and localized nerve fiber loss in glaucoma // *Am. J. Ophthalmol.* - 1984. - Vol. 98. - P. 566-571.
6. Курьшева Н.И. Глаукомная оптическая нейропатия. МЕДпресс. - 2006.
7. Жабедов Г.Д., Петренко О.В., Пархоменко Е.Г. Сравнительная характеристика исследований уровня оксида азота в слезе у здоровых и больных глаукомой // *Сб. тез. «Федоровские чтения».* - 2006. - С. 201-203.
8. Curcio C.A., Allen K.A. Topography of ganglion cells in human retina // *J. Comp. Neurol.* - 1990. - Vol. 300. - P. 5-25.
9. Zeimer R., Shahidi M., Mori M., et al. A new method for rapid mapping of the retinal thickness at the posterior pole // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* - 1996. - Vol. 37. - P. 1994-2001.
10. Bagga H., Greenfield D.S., Knighton R.W. Macular symmetry testing for glaucoma detection // *J. Glaucoma.* - 2005. - Vol. 14. - P. 358-363.
11. Lederer D.E., Schuman J.S., Hertzmark E., et al. Analysis of macular volume in normal and glaucomatous eyes using optical coherence tomography // *Am. J. Ophthalmol.* - 2003. - Vol. 135. - P. 838-843.
12. Tan O., Li G., Lu A.T., et al. Mapping of macular substructures with optical coherence tomography for glaucoma diagnosis // *Ophthalmology.* - 2008. - Vol. 115. - P. 949-956.
13. Ishikawa H., Stein D.M., Wollstein G., et al. Macular segmentation with optical coherence tomography // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* - 2005. - Vol. 46. - P. 2012-2017.
14. Tan O., Chopra V., Lu A.T., et al. Detection of macular ganglion cell loss in glaucoma by Fourier-domain optical coherence tomography // *Ophthalmol.* - 2009. - Vol. 116, № 12. - P. 2305-2314.
15. Seong M., Sung K.R., Choi E.H., et al. Macular and peripapillary retinal nerve fiber layer measurements by spectral domain coherence tomography in normal-tension glaucoma // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* - 2010. - Vol. 51, № 3. - P. 1446-1452.
16. Kim N.R., Lee E.S., Seong G.J., et al. Structure-function relationship and diagnostic value of macular ganglion cell complex measurement using Fourier-domain OCT in glaucoma // *Invest Ophthalmol Vis Sci.* - 2010. - Vol. 51. - P. 4646-4651.
17. Страхов В.В., Алексеев В.В., Ермакова А.В. Информативность биоретинотометрических показателей диска зрительного нерва и сетчатки в ранней диагностике первичной глаукомы // *Глаукома.* - 2009. - № 3. - С. 3-10.
18. Mori S., Hangai M., Nakanishi H., et al. Macular inner and total retinal volume measurement by spectral domain optical coherence tomography for glaucoma diagnosis // *Kyoto university.* - 2008. - 30 p.
19. Fang Y., Pan Y.Z., Li M., et al. Diagnostic capability of Fourier-Domain optical coherence tomography in early primary open angle glaucoma // *Chin. Med. J.* - 2010. - Vol. 123, № 15. - P. 2045-2050.
20. Lu A.T. Wang M., Varma R., et al. Combining nerve fiber layer parameters to optimize glaucoma diagnosis with optical coherence tomography. Advanced imaging for glaucoma study group // *Ophthalmology.* - 2008. - Vol. 115. - P. 1352-1357.