

ОФТАЛЬМОЛОГИЯ OPHTHALMOLOGY

ОПТИЧЕСКАЯ КОГЕРЕНТНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ И МОНИТОРИНГЕ ВРОЖДЁННОЙ И ЮВЕНИЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ

Жукова С.И.¹,
Юрьева Т.Н.^{1,2,3}

¹ Иркутский филиал ФГАУ
«НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза»
имени академика С.Н. Фёдорова»
Минздрава России (664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 337, Россия)

² Иркутская государственная
медицинская академия последипломного
образования – филиал ФГБОУ ДПО
«Российская медицинская академия
непрерывного профессионального
образования» Минздрава России
(664049, г. Иркутск, Юбилейный, 100,
Россия)

³ ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
медицинский университет»
Минздрава России (664003, г. Иркутск,
ул. Красного Восстания, 1, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Жукова Светлана Ивановна,
e-mail: zhukswetlana@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

Оптическая когерентная томография (ОКТ) в повседневной рутинной практике является методом выбора инструментальной диагностики глаукомы у взрослых. Являясь неинвазивным и безопасным методом визуализации структурных изменений сетчатки и зрительного нерва, метод представляет особую ценность в педиатрической практике. Вместе с тем ОКТ-диагностика у детей сопряжена с определёнными трудностями как при проведении исследования, так и при интерпретации результатов сканирования. В этом обзоре обобщены данные литературы и собственных исследований в диагностике и мониторинге врождённой и ювенильной глаукомы с позиций собственного многолетнего клинического опыта использования оптической когерентной томографии. Рассмотрены физиологические изменения сетчатки и зрительного нерва, акцентировано внимание на необходимости создания педиатрической нормативной базы данных толщины сетчатки, обозначены факторы, определяющие нормальный диапазон полученных данных и позволяющие отличить физиологические процессы от патологических. В качестве примеров представлены клинические случаи, подтверждающие ценность ОКТ при сочетанной патологии.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография, врождённая глаукома, ювенильная глаукома, зрительный нерв, перипапиллярный слой нервных волокон сетчатки, ганглиозный комплекс сетчатки

Статья поступила: 07.09.2021

Статья принята: 16.03.2022

Статья опубликована: 20.05.2022

Для цитирования: Жукова С.И., Юрьева Т.Н. Оптическая когерентная томография в диагностике и мониторинге врожденной и ювенильной глаукомы. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(2): 147-166. doi: 10.29413/ABS.2022-7.2.16

OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS AND MONITORING OF CONGENITAL AND JUVENILE GLAUCOMA

Zhukova S.I.¹,
Iureva T.N.^{1,2,3}

¹ Irkutsk Branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (Lermontova str. 337, Irkutsk 664033, Russian Federation)

² Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education (Yubileyniy 100, Irkutsk 664049, Russian Federation)

³ Irkutsk State Medical University (Krasnogo Vosstaniya str. 1, Irkutsk 664003, Russian Federation)

Corresponding author:

Svetlana I. Zhukova,
e-mail: zhukswetlana@yandex.ru

ABSTRACT

Optical coherence tomography (OCT) in everyday routine practice is the method of choice for the instrumental diagnosis of glaucoma in adults. As a non-invasive and safe method of visualizing structural changes in the retina and the optic nerve, the method is of particular value in pediatric practice. At the same time, OCT diagnostics in children is associated with certain difficulties, both during the study and when interpreting the scan results.

This review summarizes the data from the literature and our own research in the diagnosis and monitoring of congenital and juvenile glaucoma from the standpoint of our own long-term clinical experience in using optical coherence tomography. We consider the physiological changes of the retina and optic nerve, attention is focused on the need to create a pediatric regulatory database of retinal thickness, the factors that determine the normal range of the data obtained and allow distinguishing physiological processes from pathological ones are identified. Clinical cases confirming the value of OCT in combined pathology are presented as examples.

Key words: *optical coherence tomography, congenital glaucoma, juvenile glaucoma, optic nerve, peripapillary retinal nerve fiber layer, retinal ganglion cell complex*

Received: 07.09.2021

Accepted: 16.03.2022

Published: 20.05.2022

For citation: Zhukova S.I., Iureva T.N. Optical coherence tomography in the diagnosis and monitoring of congenital and juvenile glaucoma. *Acta biomedica scientifica*. 2022; 7(2): 147-166. doi: 10.29413/ABS.2022-7.2.16

ВВЕДЕНИЕ

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – неинвазивный и безопасный метод визуализации структурных изменений сетчатки и зрительного нерва. В повседневной рутинной практике ОКТ является методом выбора инструментальной диагностики глаукомы у взрослых. Качественная оценка морфологии, изменений рефлективности тканей и количественный анализ, интегрированный в программное обеспечение томографов, позволяют выявлять структурные изменения сетчатки и зрительного нерва с высокой повторяемостью и специфичностью.

Основной причиной снижения зрительных функций у больных глаукомой является развитие глаукомной оптической нейропатии. В связи с этим оценка стереометрических параметров диска зрительного нерва (ДЗН), толщины перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) и макулярного ганглиозного комплекса сетчатки (ГКС) являются ведущими в определении структурных изменений при глаукоме как у взрослых, так и у детей. Будучи неинвазивным и бесконтактным методом визуализации, ОКТ представляет особую ценность в педиатрической практике. Однако ограничения при обследовании детей могут быть обусловлены размером приборов (несоответствием высоты и положения подголовника), временем сканирования, высокой чувствительностью приборов к небольшим движениям, создающим артефакты изображения. При оценке ОКТ-изображений необходимо понимать факторы, определяющие нормальный диапазон. Во всех томографах используется принцип сравнения с нормативными базами, основанный на закономерностях нормального распределения. Результаты сканирования отображаются в виде таблиц и графиков с цветовой кодировкой, указывающих, находятся ли полученные результаты в пределах нормы (зелёный цвет), на границе (жёлтый цвет) или за пределами нормативных значений (красный цвет). У детей количественная интерпретация полученных результатов может быть затруднена из-за того, что ни у од-

ного производителя нет интегрированной базы референтных значений для детей и подростков до 18 лет. Ряд приборов автоматически выполняют сравнение с нормативными значениями группы 18–30 лет. Вопрос о правомерности такого сравнения остаётся открытым. Некоторые авторы предлагают использовать метод последовательного наблюдения, когда первое обследование является эталонным, а все последующие сравниваются с ним. При этом не всегда акцентируется внимание на изменениях структур, обусловленных ростом глазного яблока. Предпринимаются попытки создания нормативной базы данных здоровых детей.

В помощь практикующим врачам мы попытались обобщить и систематизировать имеющиеся в доступной литературе данные об использовании ОКТ в диагностике глаукомы у детей. Поиск публикаций был произведён в электронных базах библиотек PubMed, MEDLINE, EMBASE, опубликованных на английском языке, с января 2001 по июнь 2021 г. Поиск был проведён обоими авторами независимо друг от друга в соответствии с принципами систематических обзоров и метаанализа литературы (PRISMA, Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [1]. Поисковый запрос включал следующие слова: «оптическая когерентная томография», «врождённая глаукома», «ювенильная глаукома», «нормативная база данных», «дети» «сетчатка», «зрительный нерв», «слой нервных волокон сетчатки», ганглиозный комплекс сетчатки». Мы не использовали тип ОКТ-оборудования в качестве индикатора для отбора статей, и у нас нет конфликта интересов.

ОСОБЕННОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДЕТЕЙ

Обследование детей в возрасте 7 лет и старше принципиально не отличается от обследования взрослых. Трудности могут возникнуть при обследовании детей младшего возраста из-за необходимости фиксации подбородка, устойчивой фиксации взора и сотрудничества с оператором во время исследования.

ТАБЛИЦА 1
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕСЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ
В ПРОТОКОЛ ОКТ С УЧЁТОМ ВОЗРАСТА

Возраст	Пациент	ОКТ-протокол
< 3 лет	<ul style="list-style-type: none"> • Под общей анестезией или седацией 	<ul style="list-style-type: none"> • Портативные модели • Настройки для фокусировки изображений в коротких глазах
3–5 лет	<ul style="list-style-type: none"> • На коленях у родителей • Важно держать руки • Использование внешней фиксации 	<ul style="list-style-type: none"> • Меньшее время сканирования • Меньшая плотность сканирования • Меньшая длина сканов
5–7 лет	<ul style="list-style-type: none"> • Исследование стоя • Внутренняя фиксация 	<ul style="list-style-type: none"> • Меньшая длина сканов • Меньшая плотность сканирования • Перерывы во время исследования
> 7 лет	<ul style="list-style-type: none"> • Исследование сидя 	<ul style="list-style-type: none"> • Параметры сканирования для взрослых • Стандартный протокол

TABLE 1
RECOMMENDATIONS FOR MAKING CHANGES
TO THE OCT PROTOCOL TAKING INTO ACCOUNT THE AGE

Для уменьшения артефактов движения при обследовании детей возможна корректировка параметров сканирования, позволяющих сократить время исследования (табл. 1) [2]. Появление приборов с более высокой скоростью сканирования (1100 сканов/с и выше), использование технологии слежения и компенсации микродвижений глаза пациента (eye-tracking) расширили показания к исследованию у детей младшего возраста. Внедрение в рутинную практику портативных моделей со свободно поворачивающейся камерой, которые были разработаны и оптимизированы для использования в педиатрической практике позволили преодолеть эти ограничения у младенцев и детей младшего возраста [3]. Достижением технологии стала интеграция ОКТ-устройств в хирургические микроскопы, позволившая проводить интраоперационное обследование [4].

ОЦЕНКА ДИСКА ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА

Большинство современных томографов предлагают пользователю автоматизированный алгоритм анализа ДЗН, основанный на трёхмерной реконструкции диска, измерении его стереометрических параметров и сравнении полученных результатов с данными нормативной базы. Основными вычисляемыми параметрами ДЗН являются площадь диска, площадь нейроретинального пояса (НРП), объём экскавации, усреднённое отношение диаметра экскавации к диаметру ДЗН (Э/Д), соотношение Э/Д в вертикальном и горизонтальном направлениях. Дополнительным преимуществом алгоритма является оценка угла наклона зрительного нерва по отношению к главному яблоку при трёхмерной реконструкции и проведение измерений в соответствующей плоскости. Это обеспечивает получение корректных данных при так называемом «косом» ходе канала зрительного нерва.

Размер ДЗН на ОКТ определяется как диаметр отверстия мембраны Бруха (ВМО, Bruch's Membrane Opening) [5]. Среднестатистические размеры ДЗН у взрослых находятся в пределах от 1,9 до 2,8 мм². Диски площадью менее 1,5 мм² классифицируют как маленькие, от 1,51 до 2,5 мм² – как средние, более 2,51 мм² – как большие. Выделяют экстремально большие ($\geq 4,09$ мм² – макродиски) и экстремально маленькие ($\leq 1,29$ мм² – микродиски) [6].

У младенцев и детей раннего возраста размер ДЗН отличается от такового у взрослых [6, 7]. При рождении он составляет 75 % от размера диска взрослого. Причём этих размеров он достигает к 31-й неделе внутриутробного развития. Выяснено, что вес ребёнка при рождении не имеет статистически значимых различий для параметров ДЗН в гестационном возрасте от 31 до 40 недель [7]. К году размер ДЗН составляет 95 % от размера ДЗН взрослого человека. В течение первых трёх лет увеличение поперечного сечения диска происходит за счёт миелинизации, формирование его заканчивается к 3-м годам [8–11].

Недоношенные дети, родившиеся в гестационном возрасте до 30 недель, имеют большую глубину экска-

вации по сравнению с их нормальными сверстниками [7, 10, 12]. Чем меньше вес ребёнка, тем ниже гестационный возраст, тем больше экскавация и тем меньше площадь НРП у них будет после 3 лет. Это предполагает необходимость длительного мониторинга таких детей.

Размер ДЗН коррелирует с размером экскавации. Чем крупнее диск, тем больше экскавация и шире НРП. Поэтому большие диски у здоровых людей, как правило, имеют большие экскавации. Соответственно, большая экскавация в большом ДЗН может быть физиологической, в то время как маленькая экскавация на маленьком ДЗН может свидетельствовать о глаукомном повреждении зрительного нерва [13].

Увеличенная физиологическая экскавация при большом размере диска чаще имеет округлую форму. При интерпретации результатов сканирования следует учитывать нормальную вариабельность межокулярной симметрии ($\leq 0,02$ мм для диаметра ДЗН и $\leq 0,04$ мм для экскавации и НРП) [14, 15]. Отношение площади экскавации к площади ДЗН является наиболее симметричным параметром ДЗН. Поэтому асимметрия экскавации, превышающая 0,25 между глазами, является показанием для дообследования пациента и дальнейшего его наблюдения [15].

С развитием технологии метода за последние годы изменилась парадигма оценки ДЗН. В настоящее время приоритетной является оценка не параметров экскавации, а ширины НРП [16–18]. Наибольшую диагностическую ценность имеет показатель его минимальной ширины [19].

У здоровых людей, как правило, наибольшая ширина НРП – в нижнем квадранте (Inferior), далее следуют верхний (Superior), носовой (Nasal) и темпоральный (Temporal) – правило ISNT. Толщину НРП в каждом квадранте определяет толщина нервных волокон перипапиллярной сетчатки [20]. Конфигурация НРП обуславливает форму экскавации, которая у здоровых людей либо круглая, либо горизонтально-овальная.

При развитии глаукомы происходит уменьшение ширины НРП, которое может быть диффузным или локальным. Очаговые дефекты могут быть недостаточно велики, чтобы вызвать пограничные и/или выходящие за пределы нормальных границ сектора на классификационных картах.

У пациентов с миопией, наклонными дисками и перипапиллярной атрофией автоматическая оценка границ ДЗН и экскавации может быть некорректной (рис. 1а). При интерпретации протоколов следует помнить о согласованности изменений НРП и перипапиллярного СНВС [21]. При отсутствии согласованных изменений этих показателей следует подумать о неверной оценке в автоматическом режиме. В таких случаях следует прибегать к трёхмерной реконструкции ДЗН, анализу анфас-изображений и/или исследованию в режиме ангиографии (рис. 1б). На рисунке 1 обращает на себя внимание несогласованность показателей структурного анализа – прорыв экскавации к краю и нормальная толщина перипапиллярного СНВС соответственно. На протоколе ангиографии ОКТ отчётливо видны: конфигурация ДЗН, центральная

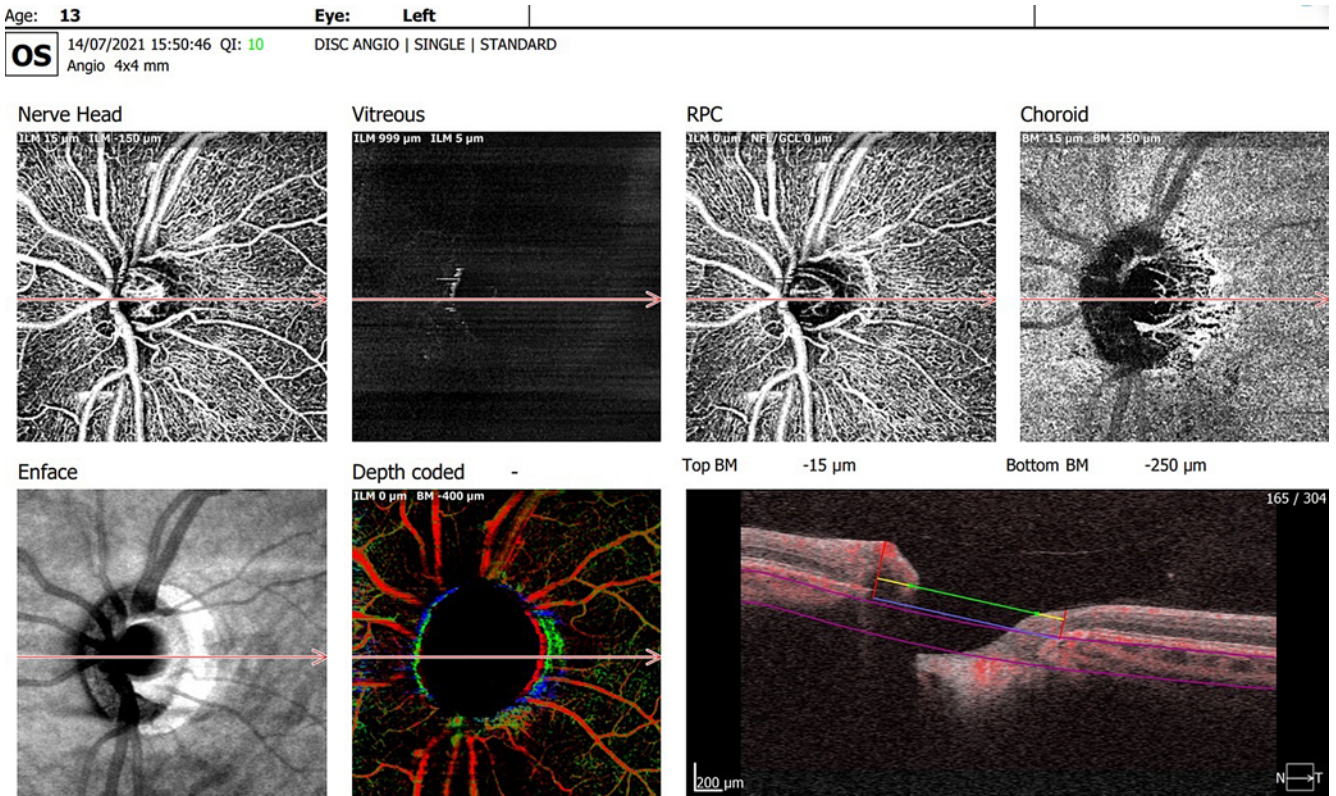
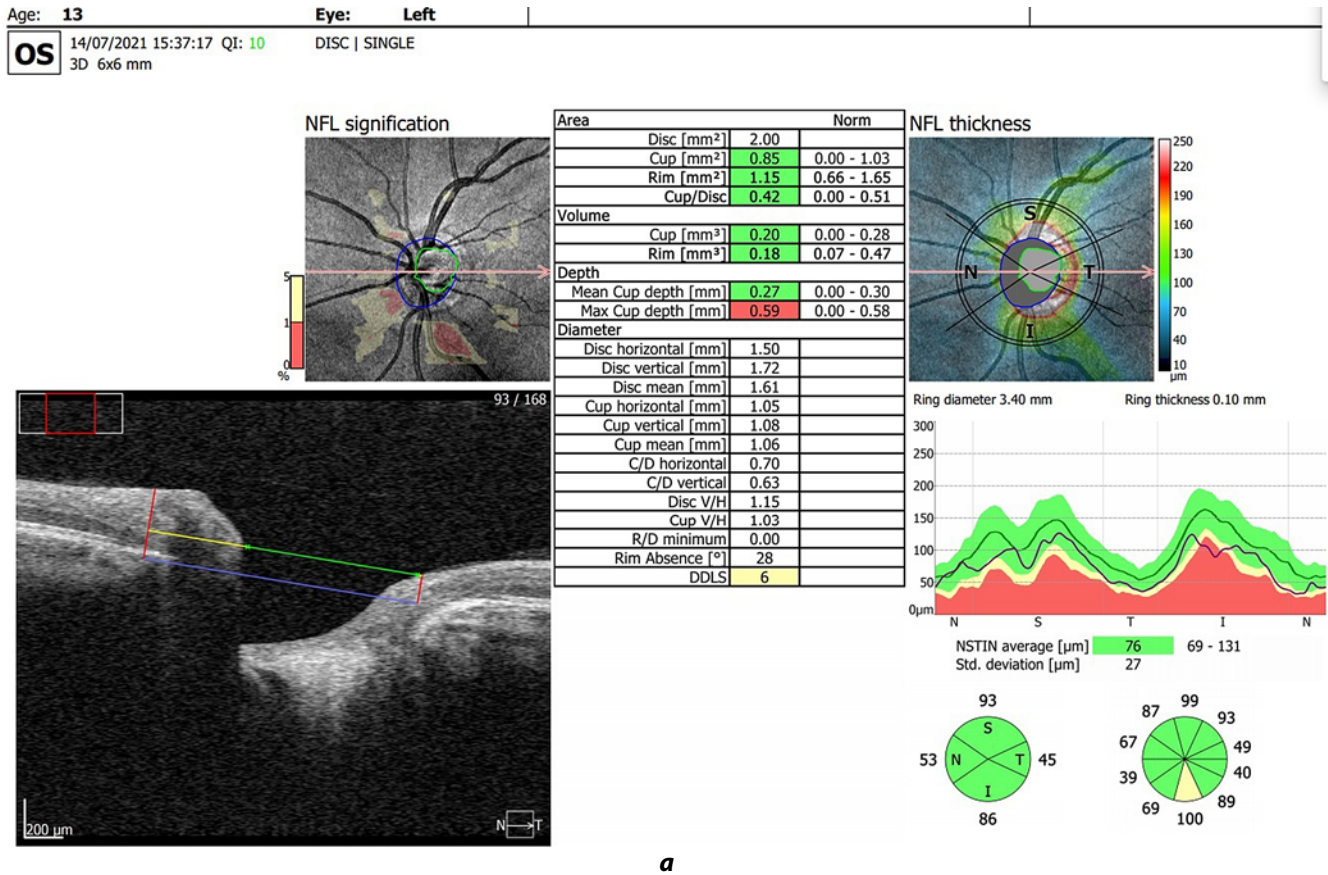


РИС. 1.
Протоколы структурного анализа (а) и анги-ОКТ (б) ДЗН и СНВС левого глаза 13-летнего ребёнка с миопией (передне-задняя ось – 24,6 мм) (Revo NX, Optopol)

FIG. 1.
Protocols of structural analysis (a) and angio-OCT (b) optic nerve head (ONH) and retinal nerve fiber layer (RNFL) of the left eye of a 13-year-old child with myopia (APO 24,6 mm) (Revo NX, Optopol)

экскавация и сохранный НРП, отсутствие каких-либо нарушений кровотока ДЗН (Nerve Head) и перипапиллярной сетчатки как на уровне радиального перипапиллярного сплетения (RPC), так и на уровне хориоидеи (Choroid), позволяющие исключить патологические изменения ДЗН.

Однако существуют клинические ситуации (высокая миопия, большой угол наклона ДЗН, его смещение и др.), когда автоматическая оценка параметров ДЗН из-за неточного определения склерального кольца и краёв диска невозможна (рис. 2).

При врождённой глаукоме вследствие растяжения глаза чаще встречаются большие ДЗН. При прогрессировании врождённой глаукомы с высоким уровнем внутриглазного давления (ВГД) уже при развитой стадии формируется довольно объёмная экскавация (значительно увеличиваются объём, максимальная глубина и площадь экскавации, уменьшаются объём и площадь НРП) (рис. 3). Расширение экскавации при глаукоме обычно происходит во всех направлениях, однако чаще всего – в вертикальном за счёт истончения НРП в верхнем и нижнем квадрантах ДЗН, что связано с особенностями строения решетчатой пластинки [22]. При нормализации ВГД у детей с врождённой глаукомой может наблюдаться регресс изменений ДЗН (уменьшение размеров экскавации и увеличение размеров НРП), что объясняется возрастными биомеханическими особенностями детского глаза [13].

В норме глубина экскавации зависит от площади экскавации и размеров диска, а при врождённой глаукоме – от уровня ВГД. Самые глубокие экскавации наблюдаются в глазах с высоким уровнем ВГД. На глаукоматозный характер экскавации указывает обнажение решетчатой пластинки в верхнем и нижнем сегментах. При обследовании пациента с повышенным уровнем ВГД следует придерживаться принципа: чем больше экскавация, тем больше вероятность, что она глаукоматозная [13, 22].

Глубокую экскавацию у детей с врождённой глаукомой следует отличать от колобомы ДЗН (перипапиллярной стафиломы). Считается, что колобома ДЗН возникает в результате неполного закрытия фетальной щели [23]. При том и другом заболеваниях на структурных ОКТ выявляются большие диски с широкой экскавацией. В отличие от конусовидной экскавации при глаукоме, экскавация при колобоме – цилиндрическая. На дне колобомы возможна визуализация границ зрительного нерва и расширенного пространства цереброспинальной жидкости (рис. 4). Перипапиллярные слои сетчатки, окружающие колобому, не изменены, нет деформации мембраны Бруха, не изменён перипапиллярный кровоток. Отсутствие изменений перипапиллярной сетчатки позволяет предположить, что развитие её было завершено до начала формирования стафиломы. Результаты ОКТ-исследований подтверждают гипотезу о том, что перипапиллярная стафилома вызвана грыжей внутриглазных тканей через дефект задней склеры [24]. Показатели ширины НРП при глаукоме всегда коррелируют с показателями толщины СНВС. На глазах с колобомой такая согласованность показателей по данным ОКТ отсутствует. Как и в случае с наклонными ДЗН, при миопии при интерпретации полученных данных следует прибегать к тщательной детализации выявленных изменений. Наиболее информативными могут быть трёхмерная реконструкция ДЗН, анализ радиальных сканов и исследование в режиме ангиографии.

Дети с перипапиллярной колобомой ДЗН должны быть под постоянным наблюдением офтальмолога, т. к. осложнением перипапиллярной стафиломы может быть отслойка сетчатки (рис. 5). Считается, что причиной отслойки является дисбаланс внутриглазного и внутричерепного давления [25], в результате чего жидкость из цереброспинального канала попадает под сетчатку, отслаивая её. Имеются данные о наличии вокруг ДЗН тон-

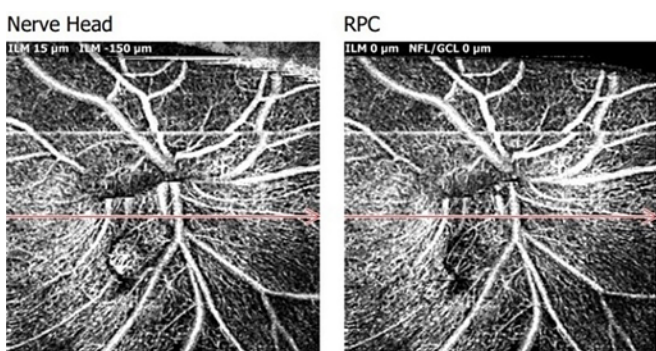


РИС. 2.

ОКТ-ангиография ДЗН и перипапиллярной сетчатки 3 × 3 мм на уровне поверхности ДЗН (Nerve Head), радиального перипапиллярного сплетения (RPC), хориоидеи (Choroid) и анфаз-изображение (enface). Выраженный наклон ДЗН вниз и кзади. Верхний край диска проминирует в полость стекловидного тела, нижний смещён кзади в пространство канала зрительного нерва. Обширная зона перипапиллярной атрофии, ямка перипапиллярной сетчатки. Стереометрическая оценка такого диска затруднена

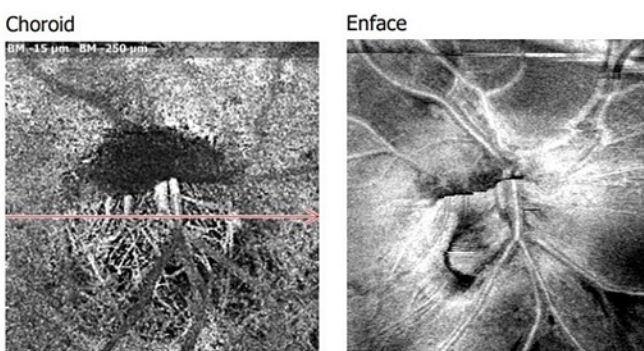


FIG. 2.

OCT-angiography of the optic nerve and peripapillary retina 3 × 3 mm at the level of the surface of the nerve head, radial peripapillary plexus (RPP), choroid and enface image. Pronounced slope of the ONH down and posteriorly. The upper edge of the disc penetrates into the vitreous cavity; the lower one is shifted posteriorly into the space of the optic nerve channel. Extensive zone of peripapillary atrophy, fossa of the peripapillary retina. The stereometric evaluation of such a disk is difficult

Age: 13

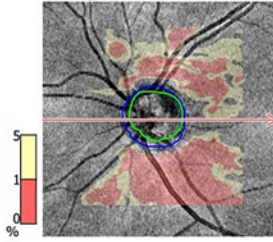
Eye: Left

L

14.01.2021 10:28:42 QI: 8
3D 6x6 mm

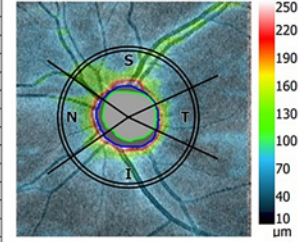
DISC | SINGLE

NFL signification

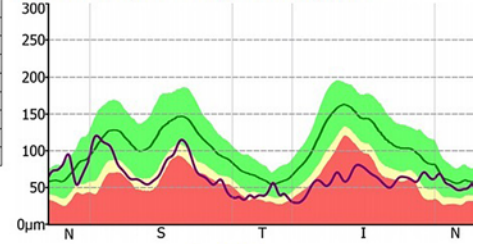


Area		Norm	
Disc [mm ²]	1,95		
Cup [mm ²]	1,37	0,00 - 1,03	
Rim [mm ²]	0,59	0,66 - 1,65	
Cup/Disc	0,70	0,00 - 0,51	
Volume			
Cup [mm ³]	0,68	0,00 - 0,28	
Rim [mm ³]	0,04	0,07 - 0,47	
Depth			
Mean Cup depth [mm]	0,50	0,00 - 0,30	
Max Cup depth [mm]	1,09	0,00 - 0,58	
Diameter			
Disc horizontal [mm]	1,62		
Disc vertical [mm]	1,58		
Disc mean [mm]	1,60		
Cup horizontal [mm]	1,38		
Cup vertical [mm]	1,29		
Cup mean [mm]	1,33		
C/D horizontal	0,85		
C/D vertical	0,82		
Disc V/H	0,98		
Cup V/H	0,94		
R/D minimum	0,02		
Rim Absence [°]	-		
DDLS	5		

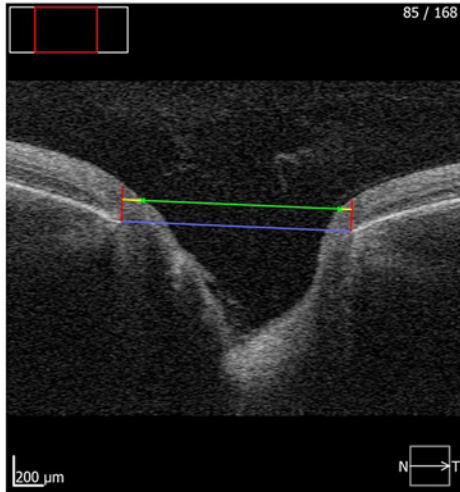
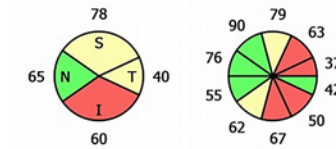
NFL thickness



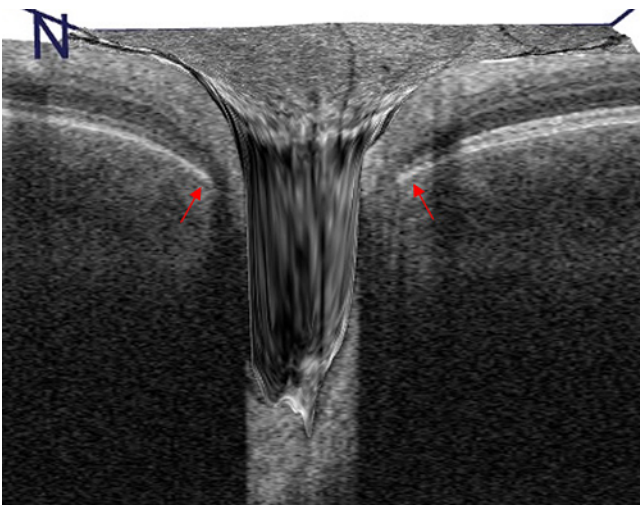
Ring diameter 3,40 mm. Ring thickness 0,10 mm.



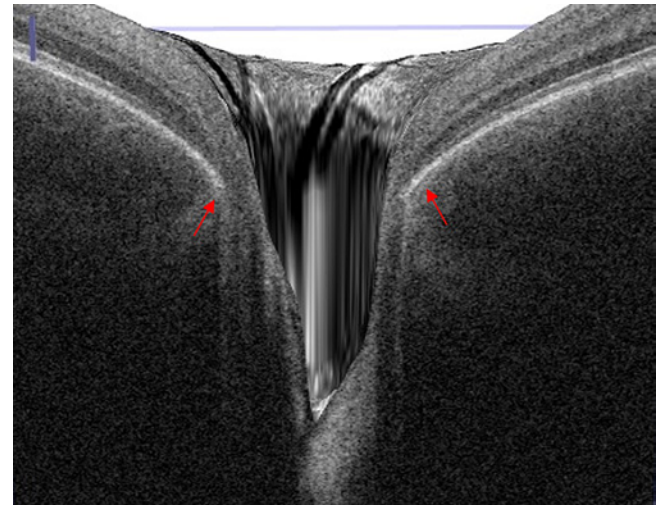
NSTIN average [µm] 64 69 - 131
Std. deviation [µm] 21



a



б



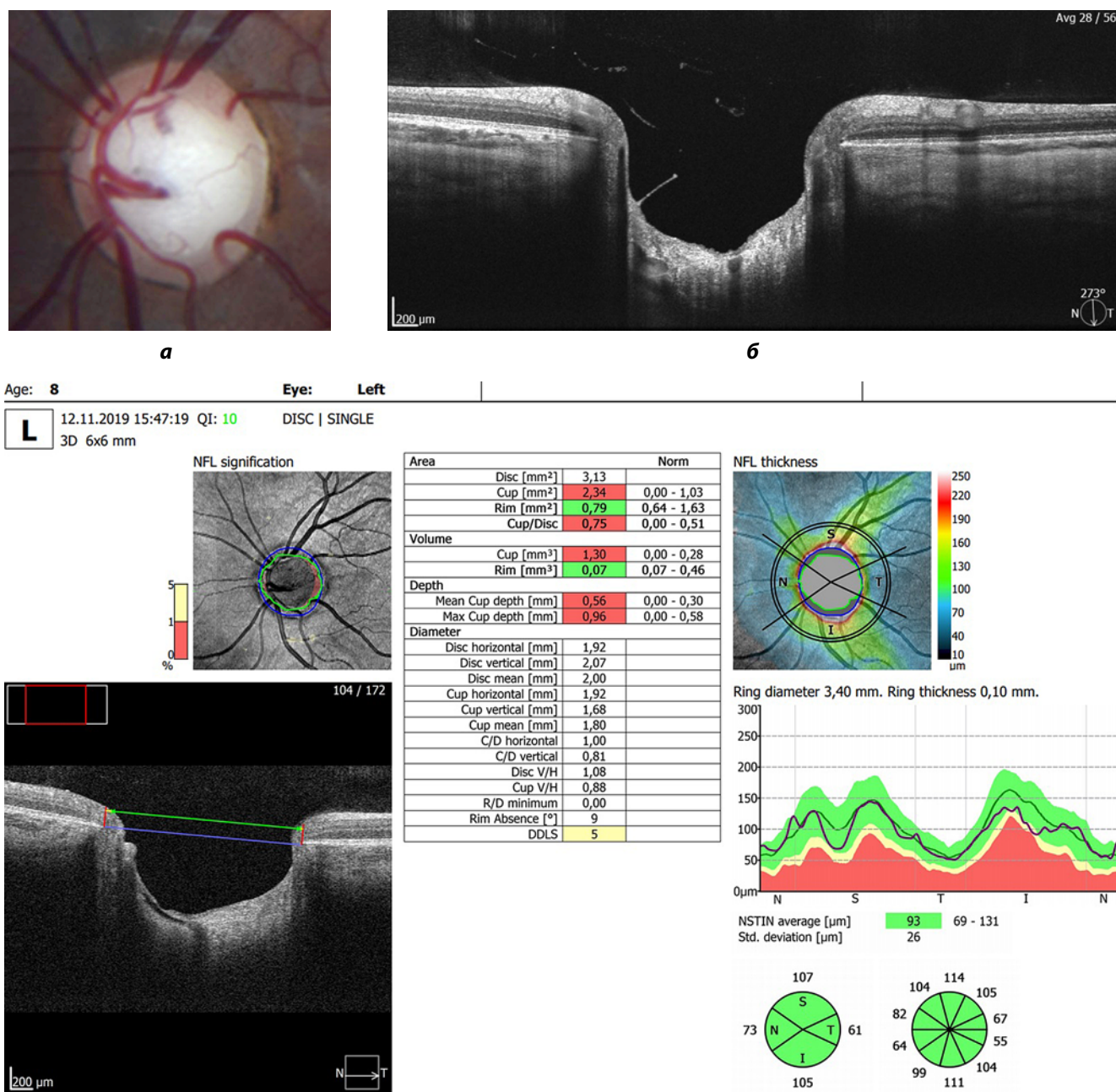
в

РИС. 3.

Протокол анализа ДЗН и СНВС (а), трёхмерная реконструкция (б, в) левого глаза 13-летнего ребёнка с врождённой глаукомой (Revo NX, Optopol). Выраженное увеличение объёма экскавации (Cup Volume), максимальной глубины (Max Cup Depth) и уменьшение объёма НРП (Rim Volume) и его площади (Rim Area), истончение СНВС. Форма экскавации конусовидная. Обращает на себя внимание различный профиль экскавации в горизонтальном (а) и вертикальном (б) направлениях, а также отличается профиль мембраны Бруха и перипапиллярной сетчатки. Более выраженные деформирующие изменения сетчатки и мембраны Бруха визуализируются верхнем и нижнем сегментах (в) (стрелки)

FIG. 3.

Protocol for the analysis of ONH and RNFL (a), three-dimensional reconstruction (b, v) of the left eye of a 13-year-old child with congenital glaucoma (Revo NX, Optopol). A pronounced increase in the volume of excavation (Cup Volume), the maximum depth (Max Cup Depth) and a decrease in the volume (Rim Volume) and its area (Rim Area), thinning of the RNFL. The excavation is cone-shaped. Attention is drawn not only to the different profile of the excavation in both the horizontal (a) and vertical (b) directions, the profile of the Bruch's membrane and the peripapillary retina differs. More pronounced deforming changes in the retina and Bruch's membrane are visualized in the upper and lower segments (v) (arrows)



6

РИС. 4.

Колобома ДЗН у 8-летнего ребёнка. **а** – офтальмоскопия: ДЗН офтальмоскопируется в виде кратерообразного углубления серого цвета с чёткими границами и гиперпигментацией по краю; ретинальная ткань выстилает края и частично дно колобомы, создаёт ощущение сохранённого нейроретинального пояса. **б** – радиальный скан: широкая экскавация цилиндрической формы; перипапиллярная сетчатка не изменена; деформация решетчатой мембраны отсутствует; признаки дисгенеза; широкий канал; зрительный нерв меньшего диаметра на дне колобомы; визуализируется край зрительного нерва; расширенный канал цереброспинальной жидкости. **в** – протокол структурного анализа ДЗН и СНВС: при автоматической оценке выявлены большой ДЗН и широкая экскавация с прорывом к краю, при этом толщина СНВС – в пределах референтных значений и не согласуется с параметрами ДЗН

FIG. 4.

ONH coloboma in an 8-year-old child. **a** – ophthalmoscopy: NH is ophthalmoscoped in the form of a crater-shaped depression of gray color with clear borders and hyperpigmentation along the edge; retinal tissue lines the edges and partially the bottom of the coloboma, creates a feeling of a preserved neuroretinal rim. **b** – radial scan: a wide excavation of a cylindrical shape; the peripapillary retina is not changed; there is no deformation of the lamina cribrosa membrane; signs of dysgenesis; a wide channel; ONH of a smaller diameter at the bottom of the coloboma; the edge of the ONH is visualized; an expanded channel of cerebrospinal fluid. **c** – protocol of structural analysis of ONH and RNFL: structural analysis of the RNFL of ONH with automatic assessment; a large ONH and a wide excavation with a breakthrough to the edge were revealed, at the same time, the thickness of the RNFL is within the reference values and does not agree with the parameters of the ONH

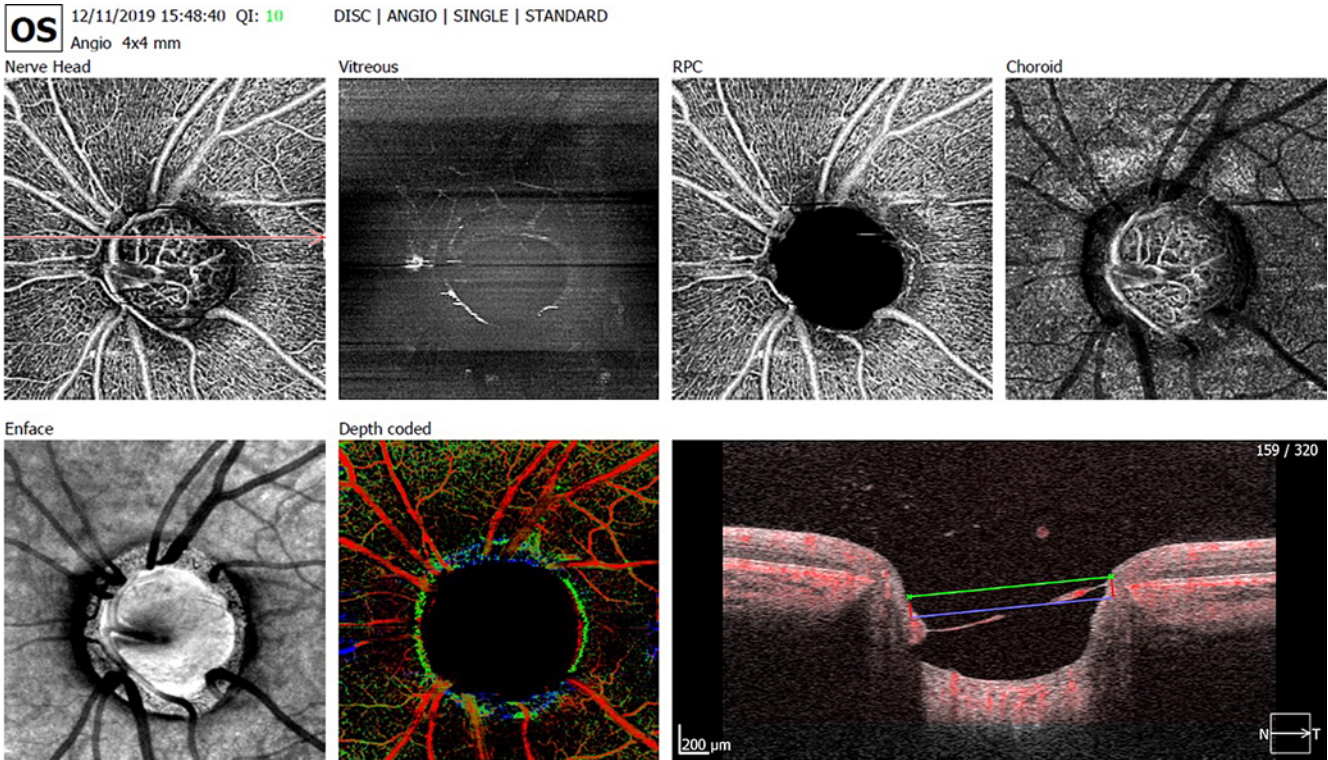


РИС. 4. (продолжение)

Колобома ДЗН у 8-летнего ребёнка. **а** – протокол сканирования ДЗН и перипапиллярной сетчатки в режиме ангиографии (Revo NX, Оптопол): перипапиллярный кровоток не нарушен – неизменная капиллярная сеть и крупные ретинальные сосуды огибают край колобомы, переходя на её стенки

2

FIG. 4. (continued)

ONH coloboma in an 8-year-old child. **a** – protocol of scanning of ONH and peripapillary retina in angiography mode (Revo NX, Optopol): peripapillary blood flow is not disturbed – the unchanged capillary network and large retinal vessels bend around the edge of the coloboma, passing to its walls

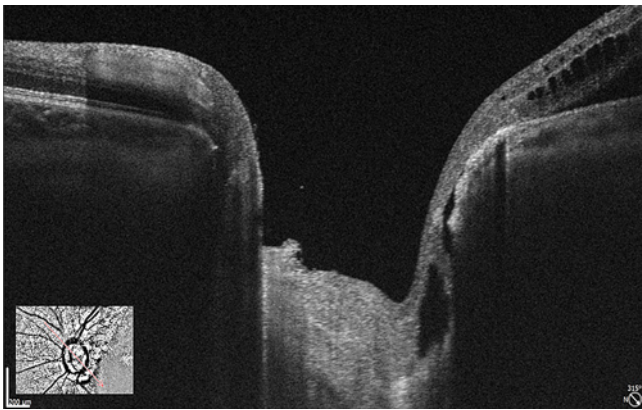


РИС. 5.

Отслойка сетчатки у пациента с перипапиллярной стафиломой. Радиальный скан ДЗН 6 мм (Revo NX, Оптопол). Широкая экскавация цилиндрической формы. В нижнетемпоральном сегменте пространство цереброспинальной жидкости сообщается с субретинальным пространством, отёк нейросенсорной сетчатки

FIG. 5.

Retinal detachment in a patient with peripapillary staphyloma. A 6 mm radial scan of the ONH (Revo NX, Optopol). Wide cylindrical-shaped excavation. In the lower temporal segment, the space of the cerebrospinal fluid communicates with the subretinal space, edema of the sensorineural retina

кой твёрдой мозговой оболочки, гиперпластичной жировой ткани и гладкомышечных волокон [26, 27], которые являются результатом дисгенеза мезодермальной дифференцировки окружающих его тканей.

ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ СЛОЯ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН СЕТЧАТКИ

Измерение толщины СНВС проводится по результатам сканирования перипапиллярной зоны диаметром 3,4 мм концентричной окружности ДЗН против часовой стрелки в направлении от височного квадранта (Т, temporal) к верхнему (S, superior), носовому (N, nasal), нижнему (I, inferior) и обратно к височному (Т). В протоколах, кроме среднего показателя толщины слоя нервных волокон и абсолютных значений в 4 квадрантах (верхнем, нижнем, темпоральном, назальном) и 12 сегментах, профиль СНВС представлен в виде графика-развёртки TSNIT или NSTIN. Профиль TSNIT представлен таким образом, что данные о толщине СНВС от носовой половины ДЗН находятся в центре, а от височной – по краям графика. Недостатком профиля TSNIT является сложность сопоставления повреждения СНВС с периметрическими дефектами. При использовании профиля NSTIN показатели толщины СНВС от височной полови-

ны диска представлены в середине графика. Такое представление профиля СНВС в отчёте способствует лучшему пониманию пространственного соответствия структурных и функциональных показателей [28]. Чтобы сравнить структуру и функции, карты толщины СНВС и ГКС накладываются на тестовые точки поля зрения (24-2 местоположения на карте толщины СНВС и 10-2 на картах толщины ГКС). Это позволяет объективно сравнить аномальные области на ОКТ с аномальными местоположениями на картах вероятности/отклонения поля зрения.

В здоровых глазах профиль толщины СНВС «двухгорбый». Толщина слоя в верхнем и нижнем квадрантах больше, чем в носовом и височном. Это обусловлено анатомией сосудистого пучка. Следует иметь в виду, что местоположение сосудистого пучка может менять конфигурацию профиля СНВС [29].

Попытки создания нормативной базы данных здоровых детей предпринимались многочисленными исследователями (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИПАПИЛЛЯРНОГО СНВС

TABLE 2
STUDY RESULTS OF PERIPAPILLARY RETINAL NERVE FIBER LAYER

Авторы	Оборудование	Возраст, лет	Классификационные критерии групп	Среднее значение толщины СНВС, μm
Elia N. et al. [30]	Cirrus OCT	9,16 \pm 1,7 (6–13)	< 7 лет	96,29 \pm 9,86
			7–8 лет	97,98 \pm 13,09
			8–9 лет	99,13 \pm 11,05
			9–10 лет	97,98 \pm 12,35
			10–11 лет	100,06 \pm 9,00
			> 11 лет	98,66 \pm 9,05
Barrio-Barrio J. et al. [31]	Cirrus OCT	9,58 \pm 3,12 (4–17)	4–7 лет	99,0 (83,8–115,3)
			8–12 лет	97,2 (81,6–113,2)
			13–17 лет	95,7 (82,5–113,5)
Rao A. et al. [32]	Cirrus OCT	10 \pm 3,4 (4–17)	< 7 лет	92 \pm 8,6
			7–13 лет	94 \pm 11,4
			14–17 лет	92 \pm 11,7
Altemir I. et al. [33]	Cirrus OCT	9 \pm 1,7 (6,11–13,58)	OD	98,5
			OS	97,76
Öner V. et al. [34]	Cirrus OCT	10,9 \pm 1,6 10,8 \pm 3 10,3 \pm 2,2	Миопия	89,0 \pm 6,6
			Эметропия	93,3 \pm 7,9
			Гиперметропия	98,6 \pm 9,1
Al-Haddad C. et al. [35]	Cirrus	10,7 \pm 3,1 (6–17)	6–9 лет	98 (84–111)
			9–12 лет	93(80–106)
			12–15 лет	98 (82–111)
			15–17 лет	92 (80–101)
Queirós T. et al. [36]	Cirrus OCT	9,54 \pm 3,35 (4–17)	–	97,9 \pm 9,32
Gürağaç F.B. et al. [37]	Cirrus OCT	10,2 \pm 4,1 (3–17)	3–6 лет	99,33 (85,5–118)
			7–11 лет	95,45 (80–114)
			12–17 лет	95,78 (78–112)
Goh J.P. et al. [38]	Cirrus OCT	9,47 \pm 3,4 (3–18)	–	99 \pm 11,45
Pawar N. et al. [39]	Cirrus OCT	11,83 \pm 3,3 (5–17)	OD	93,6 \pm 9,5
			OS	94,7 \pm 8
			Миопия	95,2 \pm 10,04
			Эметропия	100,39 \pm 11,31
Bueno-Gimeno I. et al. [40]	Cirrus HD-OCT	10,8 \pm 3,1 (6–17)	Гиперметропия	103,2 \pm 10,91
			ПЗО < 22 мм	104,78 \pm 10,59
			ПЗО 22–25 мм	98,75 \pm 10,85
			ПЗО > 25 мм	93,17 \pm 10,19

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРИПАПИЛЛЯРНОГО
СНВС

TABLE 2 (continued)
STUDY RESULTS OF PERIPAPILLARY RETINAL NERVE FIBER
LAYER

Larsson E. Et al. [41]	Cirrus OCT	10,7 ± 2,8 (6–15)	–	99,2 ± 8,8
Gama R. Et al. [42]	Cirrus HD-OCT	6,41 ± 1,66 (4–11)	–	100,19 ± 10,1
Turk A. Et al. [43]	Spectralis OCT	10,46 ± 2,94 (6–16)	Мальчики Девочки	104,75 ± 9,13 108,12 ± 9,47
Yanni S.E. et al. [44]	Spectralis OCT	5–15	Мальчики Девочки	107,7 ± 1,6 107,4 ± 1,7
Dave P. et al. [45]	Spectralis OCT	11,42 ± 3,59 (5–18)	–	100,3 ± 8,3
Lee J.W.Y. et al. [46]	Spectralis OCT	7,9 ± 3,6 (4–18)	–	102,5 ± 14,3
Perez-Garcia D. et al. [47]	Spectralis OCT	8,1 ± 3,03 (3–14)	–	100,45 ± 1,98
Eslami Y. et al. [48]	Spectralis OCT	12,44 ± 2,52 (8–17)	–	101,01 ± 7,74
Rotruck J.C. et al. [49]	Portable HRA + OCT Spectralis	2,28 ± 1,50 (0–5)	–	107,6 ± 10,3
Tsai D.C. et al. [50]	RTVue-100 OCT	9,2	Эметропия	111,2 (110–112,4)
	Optovue	6,5–12,5	Миопия	107 (105,6–108,3)
Chen L. Et al. [51]	iVue 100 (Optovue)	12,82 ± 3,11 (6–17)	OD	108,28 ± 13,97
			OS	107,01 ± 11,41
			Мальчики	104,67 ± 11,04
			Девочки	109,24 ± 14,13
Zhu B.D. et al. [52]	iVue 100 (Optovue)	12,34 ± 0,58 (10–16)	–	103,08 ± 9,01
Bhoiwala D.L. et al. [53]	RTVue Avanti (Optovue)	5,08	–	103,92 ± 10,59
Kang M.T. et al. [54]	iVue 100 (Optovue)	7,1 ± 0,4 (5–9)	Мальчики	101,98 ± 0,25
			Девочки	102,08 ± 0,28
			Миопия	99,17 ± 7,69
			Эметропия	100,81 ± 7,18
			Гиперметропия	102,45 ± 8,13
Grundy S.J. et al. [55]	iScan OCT (Optovue)	6,4 ± 1,5 (3–11)	Бутан	
			OD	108,6 ± 11,5
			OS	108,8 ± 9,2
			Кения	
			OD	108,1 ± 9,2
OS	108,5 ± 10,4			
Yabas Kiziloglu O. et al. [56]	iVue 100 (Optovue)	10,4 ± 3,4 (5–17)	–	103,9 ± 8,2
Ayala M. et al. [57]	Topcon 3D OCT 2000	9,1 (3,8–16,7)	–	105 ± 10,3
Ali A.N. et al. [58]	Triton Plus OCT	10,96 ± 2,75 (6–17)	–	111,26 ± 20,46

Примечание. OD – правый глаз; OS – левый глаз; ПЗО – передне-задняя ось

Как видно из таблицы, диапазон толщины СНВС у детей аналогичен диапазону младшей возрастной группы взрослых. Считается, что возраст в детской популяции не влияет на толщину СНВС [59]. Поэтому на сегодняшний день сравнение толщины СНВС у детей с референтными значениями младшей взрослой группы можно счи-

тать правомерным. Очевидно, что по мере дальнейшего набора педиатрической базы данных критерии оценки параметров СНВС будут совершенствоваться.

Максимальной информативностью в диагностике глаукомы у взрослых обладает показатель средней толщины СНВС как наиболее воспроизводимый. При наблю-

дени за пациентами в динамике, кроме среднего показателя, высока информативность изменения толщины СНВС в нижнетемпоральном и верхнетемпоральном сегментах, поскольку именно верхние и нижние участки зрительного нерва чаще всего поражаются при глаукоме [60].

При врождённой глаукоме наиболее значимым фактором атрофии, как и у взрослых, является показатель, характеризующий среднюю толщину СНВС. У детей отмечается выраженное его снижение. При сравнительном анализе морфометрических параметров в начальной и далекозашедшей стадиях врождённой глаукомы с учётом размера глаз в ряде случаев выявляется менее выраженное увеличение глубины и площади экскавации при далекозашедших стадиях на значительно растянутых глазах, чем на ранних стадиях в глазах с менее растянутыми оболочками. Это можно объяснить характером структурных изменений глаз на поздних стадиях врождённой глаукомы, когда растяжение оболочек приводит к увеличению размеров глаза, но снижает патологическое воздействие на нервные волокна в зоне ДЗН [13].

Диффузное истончение СНВС при врождённой глаукоме следует дифференцировать с гипоплазией зрительного нерва, которая является аномалией его развития, характеризуется уменьшением размера диска, толщины СНВС и сочетается с гипоплазией макулярной области [61].

У детей так же, как и у взрослых, сложности может представлять количественная оценка результатов ОКТ при миопии. Причиной изменения топографии СНВС, прогрессирующего наклона ДЗН, развития/увеличения перипапиллярной атрофии (ППА) является растяжение склеры, связанное с удлинением оси глаза при миопическом сдвиге [62]. При интерпретации результатов сканирования необходимо учитывать изменения архитектуры сетчатки, которые происходят во время миопического сдвига (рис. 6). Оптимальным решением этой проблемы является набор специальных «миопических» баз.

У детей при увеличении передне-задней оси изменения перипапиллярного СНВС выражены в меньшей степени, чем изменения ганглиозного комплекса, поскольку

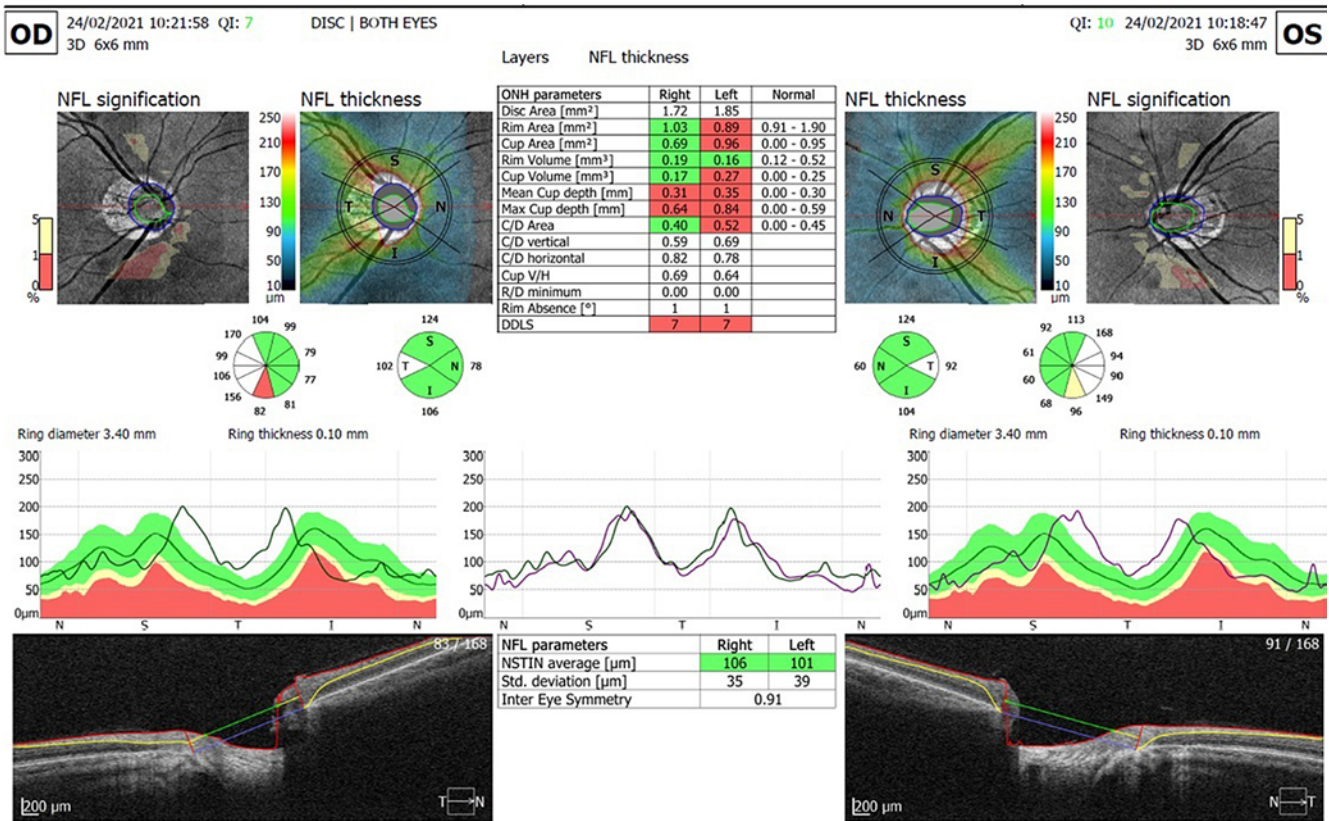


РИС. 6. Протокол структурного анализа ДЗН и СНВС обоих глаз (Revo NX, Optopol). Мальчик 16 лет, миопия высокой степени обоих глаз (максимально скорректированная острота зрения – 1,0/1,0; ПЗО – 25,8/25,4 мм). В результате сдвига сосудистого пучка в темпоральную сторону изменилась топография пучков нервных волокон. При сопоставлении результатов сканирования с нормативными показателями толщина СНВС с темпоральной стороны превышает референтные значения, а в меридиане 6 часов – ниже таковых

FIG. 6. The protocol of structural analysis of ONH and RNFL of both eyes (Revo NX, Optopol). A 16-year-old boy, high myopia of both eyes (best corrected visual acuity of 1.0/1.0; APA of 25.8/25.4 mm). As a result of the shift of the vascular bundle to the temporal side, the topography of the bundles of nerve fibers changed. When comparing the scan results with the normative indicators, the thickness of the RNFL from the temporal side exceeds the reference values, and in the meridian 6 hours is lower

ку при осевом удлинении глазного яблока перипапиллярная область менее уязвима, чем задний полюс [40, 54, 63].

Локальные дефекты СНВС у детей чаще сопряжены с аномалиями развития ДЗН (ямки ДЗН, ямки перипапиллярной сетчатки, патологический ход сосудов), нежели с глаукомой.

Погрешности при сканировании ДЗН у маленьких детей могут быть при неправильном центрировании кольца на ДЗН. Если сразу повторно провести правильное сканирование не удаётся, то при наблюдении за ребёнком в динамике повторное сканирование может быть выполнено с тем же сохранённым неоптимальным значением для сравнения, но затем следует выполнить новое, более центрированное сканирование, которое будет референтным для последующих исследований.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАНГЛИОЗНОГО КОМПЛЕКСА

Самая высокая плотность ганглиозных клеток находится в макулярной области. Макула, занимая менее 2 % области сетчатки, содержит 30 % ганглиозных клеток [64]. Три внутренних слоя сетчатки – слой ганглиозных клеток, слой нервных волокон (аксоны ганглиозных клеток) и внутренний плексиформный слой (дендриты ганглиозных клеток) – составляют ганглиозный комплекс сетчатки. Измерение толщины ГКС производится при сканировании макулярной области в радиусе 3 мм от центра фовеа и автоматическом сегментировании сетчатки.

Потеря синапсов и дендритов, уменьшение толщины и гибель аксонов с последующим сморщиванием и потерей клеточной сомы ганглиозных клеток при глаукоме будут определяющим фактором при оценке абсолютных значений толщины сетчатки в целом и её слоёв.

Измерение толщины сетчатки производится с помощью автоматизированного программного обеспечения сегментации от внутренней пограничной мембраны (ВПМ) до пигментного эпителия сетчатки (ПЭС). При измерении толщины сетчатки в зависимости от используемого оборудования могут быть различия в расположении сегментационных линий, определяющих её толщину. Первый маркер соответствует витреоретинальному интерфейсу и одинаков для всех устройств, так как разделяет две контрастные структуры – арефлективное стекловидное тело и гиперрефлективный слой нервных волокон. Наружная граница сетчатки может варьировать, т. к. ПЭС визуализируется как неоднородная структура со слоями высокой (фагосомная зона) и низкой (миелосомная зона) рефлективности [65]. В зависимости от алгоритма программного обеспечения вторым маркером может быть наружная (Spectralis) либо внутренняя (Cirrus) граница РПЭ. Таким образом, нормативное значение толщины сетчатки является уникальным для используемой машины [66], что препятствует сравнению данных, полученных на различных томографах.

Сегментация изображения даёт возможность распознавать как отдельные слои, так и группы слоёв, оце-

нивать толщину и объём внутренней и наружной сетчатки. Маркером, разделяющим сетчатку на наружную и внутреннюю, является внутренний плексиформный слой.

Схема топографической оценки макулярной области, впервые предложенная для оценки эффективности лечения диабетической ретинопатии в рамках исследования ETDRS [67], подразделена на секторы с обозначением средней толщины в каждом из них: центральное кольцо диаметром 1 мм вокруг центральной ямки, внутреннее кольцо диаметром 3 мм и наружное кольцо диаметром 6 мм, разделённые на 4 квадранта (верхний, височный, нижний и носовой).

Оценка толщины сетчатки у детей должна учитывать продолжающееся развитие макулы после рождения, максимальные изменения которой происходят в первые 5 лет жизни [68] и продолжаются до раннего подросткового возраста [69]. Ремоделирование фовеолярного профиля включает в себя: центробежную миграцию внутренних слоёв сетчатки (слоя нервных волокон, слоя ганглиозных клеток, внутреннего плексиформного слоя, внутреннего ядерного слоя) и наружного плексиформного слоя от центральной ямки, а также центростремительную миграцию колбочковых фоторецепторов в центральную ямку и увеличение толщины наружных слоёв сетчатки, наружного ядерного слоя, удлинение внутренних и наружных сегментов фоторецепторов [70]. При этом толщина слоя фоторецепторов в центре увеличивается, а ганглиозного и внутреннего ядерного слоёв – уменьшается [71, 72].

В отличие от взрослых, когда наблюдается возрастная потеря толщины ганглиозного комплекса сетчатки, у детей его толщина с возрастом увеличивается [73, 74].

В связи с этим целесообразно толщину макулы и её отдельных слоёв рассматривать отдельно для детей в возрасте младше и старше 5 лет.

Создание нормативной педиатрической базы детей от 0 до 17 лет облегчит распознавание структурных нарушений и дальнейшее наблюдение за ними, но на сегодняшний день видится перспективой отдалённого будущего.

У недоношенных детей могут быть выявлены признаки незрелости фовеолярного профиля (отсутствующая или неглубокая центральная ямка, сохранение внутренних слоёв сетчатки в центре и тонкий слой фоторецепторов) [75] (рис. 7).

Повреждение ГКС является важным звеном патогенеза глаукомы в общем каскаде событий, ведущих к необратимым изменениям зрительного нерва. У взрослых изменение толщины ГКС отражает потерю ганглиозных клеток при глаукоме и имеет решающее значение в начальной стадии заболевания [76]. Обзор литературных данных продемонстрировал статистически значимое уменьшение макулярного объёма в целом и толщины внутренних слоёв сетчатки у детей с глаукомой в сравнении со здоровыми детьми [77, 78]. Собственные наблюдения за детьми с врождённой и ювенильной глаукомой позволяют говорить о том, что изменения в макулярной области появляются гораздо позднее изменений ДЗН и перипапиллярного СНВС [79].

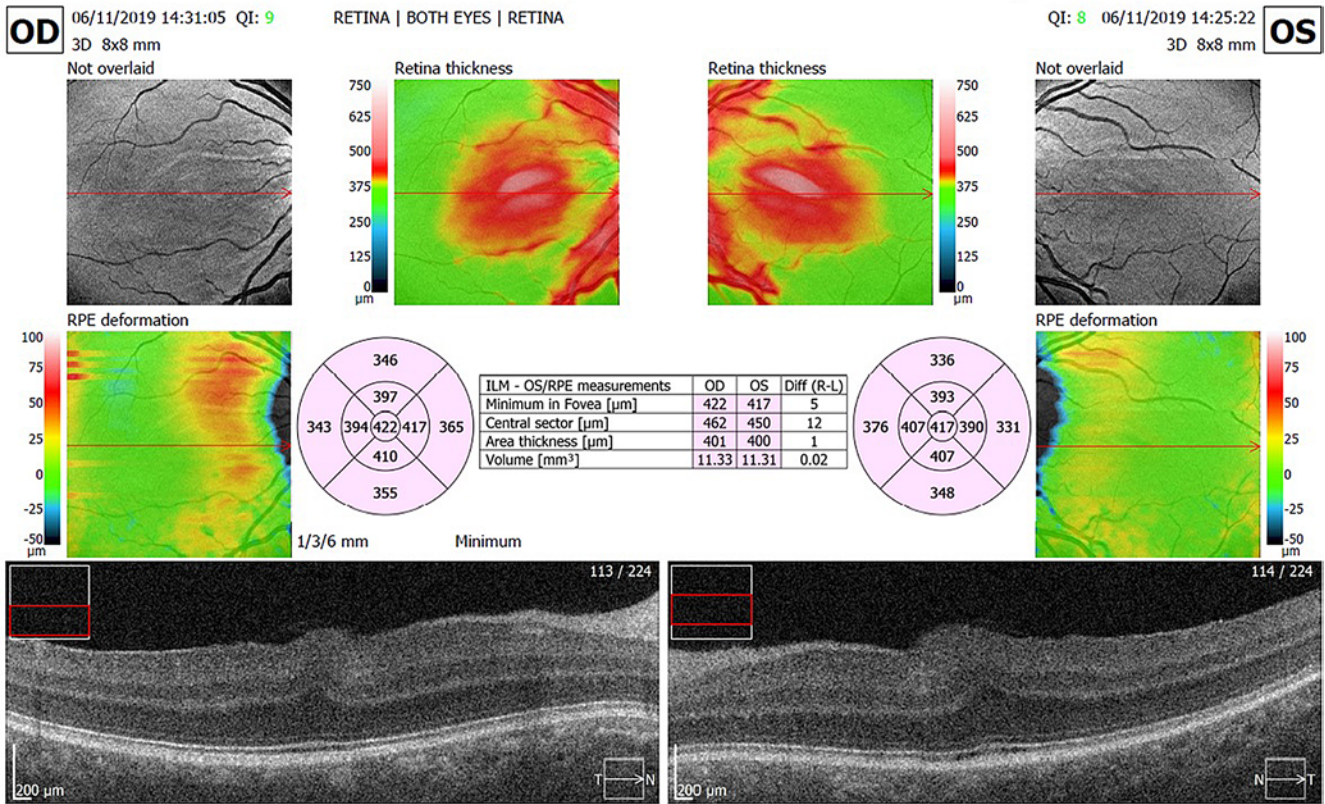
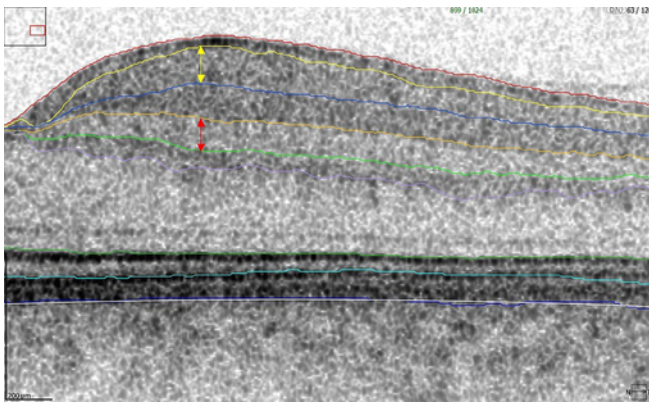


РИС. 7.

Протокол исследования макулярной области обоих глаз 4-летнего ребёнка (Revo NX, Optopol). Гестационный возраст при рождении – 28 недель. Острота зрения – 0,2/0,2. С обеих сторон отсутствует депрессия фовеолярного свода, в центре сохранены внутренние слои сетчатки в виде складки, тонкий слой фоторецепторов субфовеолярно

FIG. 7.

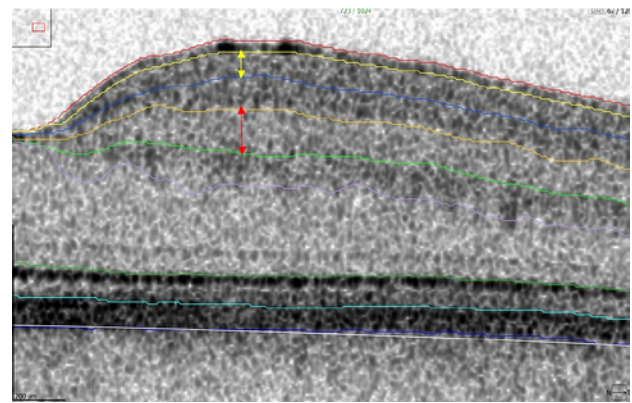
The examination protocol of the macular area of both eyes of a 4-year-old child (Revo NX, Optopol). The gestational age at birth is 28 weeks. Visual acuity is 0.2/0.2. There is no depression of the foveolar arch on both sides, the inner layers of the retina are preserved in the center in the form of a fold, a thin layer of photoreceptors is subfoveolar



а

РИС. 8.

Линейные автоматически сегментированные сканы макулярной области здорового ребёнка (а) и ребёнка с врождённой глаукомой (б). Возраст детей – 13 лет. Выраженное уменьшение толщины слоя ганглиозных клеток (жёлтая стрелка) и увеличение толщины внутреннего ядерного слоя у ребёнка с глаукомой



б

FIG. 8.

Linear automatically segmented scans of the macular area of a healthy child (а) and a child with congenital glaucoma (б). The age of children is 13 years. A marked decrease in the thickness of the ganglion cell layer (yellow arrow) and an increase in the thickness of the inner nuclear layer in a child with glaucoma

Интересным, на наш взгляд, является факт увеличения толщины внутреннего ядерного слоя у детей с глаукомой (рис. 8), развивающегося вторично по отношению к гибели ганглиозных клеток в результате ретроградной трансинаптической дегенерации [80].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изменения ДЗН и перипапиллярного СНВС у детей с врождённой и ювенильной глаукомой менее вариабельны и более информативны, нежели изменения ГКС.

Толщину макулы и её отдельных слоёв необходимо оценивать отдельно для детей в возрасте младше и старше 5 лет. Интерпретацию карт значимости у маленьких детей следует проводить с осторожностью.

Изменение внутреннего ядерного слоя у детей с глаукомой может быть надёжным диагностическим маркером прогрессирования заболевания.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009; 6(7): e1000097. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097
- Maccora KA, Sheth S, Ruddle JB. Optical coherence tomography in paediatric clinical practice. *Clin Exp Optom.* 2019; 102: 300-308. doi: 10.1111/cxo.12909
- Monroy GL, Won J, Spillman DR, Dsouza R, Boppart SA. Clinical translation of handheld optical coherence tomography: Practical considerations and recent advancements. *J Biomed Opt.* 2017; 22(12): 1-30. doi: 10.1117/1.JBO.22.12.121715
- Siebelmann S, Bachmann B, Lappas A, Dietlein T, Hermann M, Roters S, et al. Intraoperative optical coherence tomography in corneal and glaucoma surgical procedures. *Ophthalmologie.* 2016; 113(8): 646-650. doi: 10.1007/s00347-016-0320-y
- Enders Ph, Schaub F, Adler W, Nikoluk R, Hermann MM, Heindl LM, et al. The use of Bruch's membrane opening-based optical coherence tomography of the optic nerve head for glaucoma detection in microdiscs. *Br J Ophthalmol.* 2017; 101(4): 530-535. doi: 10.1136/bjophthalmol-2016-308957
- Wikstrand MH, Hård A-L, Niklasson A, Hellström A. Birth weight deviation and early postnatal growth are related to optic nerve morphology at school age in children born preterm. *Pediatr Res.* 2010; 67: 325-329. doi: 10.1203/PDR.0b013e3181ca9f43
- Feng X, Nan Y, Pan J, Zou R, Shen L, Chen F. Comparative study on optic disc features of premature infants and full-term newborns. *BMC Ophthalmol.* 2021; 21(1): 120. doi: 10.1186/s12886-021-01833-6
- Mansour AM. Racial variation of optic disc size. *Ophthalmic Res.* 1991; 23(2): 67-72. doi: 10.1159/000267091
- Mansour AM. Racial variation of optic disc parameters in children. *Ophthalmic Surg.* 1992; 23(7): 469-471.
- Rimmer S, Keating C, Chou T, Farb MD, Christenson PD, Foos RY, et al. Growth of the human optic disk and nerve during gestation, childhood, and early adulthood. *Am J Ophthalmol.* 1993; 116(6): 748-753. doi: 10.1016/s0002-9394(14)73476-2
- Huynh SC, Wang XY, Rochtchina E, Crowston JG, Mitchell P. Distribution of optic disc parameters measured by OCT: Findings from a population-based study of 6-year-old Australian children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006; 47(8): 3276-3285. doi: 10.1167/iovs.06-0072
- Belghith A, Bowd Ch, Medeiros FA, Hammel N, Yang Zh, Weinreb RN, et al. Does the location of Bruch's Membrane opening change over time? Longitudinal analysis using San-Diego automated layer segmentation algorithm (SALSA). *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016; 57(2): 675-682. doi: 10.1167/iovs.15-17671
- Катаргина Л.А., Мазанова Е.В., Тарасенков А.О., Сайдашева Э.И., Бржеский В.В., Володин П.Л., и др. Федеральные клинические рекомендации «Диагностика, медикаментозное и хирургическое лечение детей с врожденной глаукомой». *Российская педиатрическая офтальмология.* 2016; 11(1): 33-51. doi: 10.18821/1993-1859-2016-11-1-33-51
- Elía N, Pueyo V, Altemir I, Oros D, Pablo LE. Normal reference ranges of optical coherence tomography parameters in childhood. *Br J Ophthalmol.* 2012; 96(5): 665-670. doi: 10.1136/bjophthalmol-2011-300916
- Altemir I, Oros D, Elía N, Polo V, Larrosa JM, Pueyo V. Retinal asymmetry in children measured with optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2013; 156: 1238-1243. doi: 10.1016/j.ajo.2013.07.021
- Park K, Kim J, Lee J. Reproducibility of Bruch's membrane opening-minimum rim width measurements with spectral domain optical coherence tomography. *J Glaucoma.* 2017; 26(11): 1041-1050. doi: 10.1097/IJG.0000000000000787
- Kromer R, Spitzer MS. Bruch's membrane opening minimum rim width measurement with SD-OCT: A method to correct for the opening size of Bruch's membrane. *Hindawi J Ophthalmol.* 2017; 2017: 8963267. doi: 10.1155/2017/8963267
- Rhodes LA, Huisinigh CE, Quinn AE, McGwin Jr G, LaRussa F, Box D, et al. Comparison of Bruch's membrane opening-minimum rim width among those with normal ocular health by race. *Am J Ophthalmol.* 2017; 174(2): 113-118. doi: 10.1016/j.ajo.2016.10.022
- Enders Ph, Adler W, Schaub F, Hermann MM, Diestelhorst M, Dietlein Th, et al. Optimization strategies for Bruch's membrane opening minimum rim area calculation: Sequential versus simultaneous minimization. *Sci Rep.* 2018; 32(2): 314-323. doi: 10.1038/eye.2017.306
- Stowell Ch, Burgoyne C, Tamm ER, Ethier CR. Biomechanical aspects of axonal damage in glaucoma: A brief review. *Exp Eye Res.* 2017; 157: 13-19. doi: 10.1016/j.exer.2017.02.005
- Жукова С.И. *ОКТ и ОКТА: случаи клинической практики. Атлас с интерактивным контентом.* М.: Апрель; 2019.
- Hess DB, Asrani SG, Bhide MG, Enyedi LB, Stinnett SS, Freedman SF. Macular and retinal nerve fiber layer analysis of normal and glaucomatous eyes in children using optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2005; 139(3): 509-517. doi: 10.1016/j.ajo.2004.10.047
- Pagon RA. Ocular coloboma. *Surv Ophthalmol.* 1981; 25(4): 223-236. doi: 10.1016/0039-6257(81)90092-8
- Lee KM, Woo SJ, Hwang JM. Evaluation of congenital excavated optic disc anomalies with spectral-domain and swept-source

- optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2014; 252(11): 1853-1860. doi: 10.1007/s00417-014-2680-9
25. Gottlieb JL, Prieto DM, Vander JF, Brown GC, Tasman WS. Peripapillary staphyloma. *Am J Ophthalmol*. 1997; 124(2): 249-251. doi: 10.1016/s0002-9394(14)70796-2
26. May CA. Non-vascular smooth muscle cells in the human choroid: Distribution, development and further characterization. *J Anat*. 2005; 207(4): 381-390. doi: 10.1111/j.1469-7580.2005.00460.x
27. Yoshida T, Katagiri S, Yokoi T, Nishina S, Azuma N. Optical coherence tomography and video recording of a case of bilateral contractile peripapillary staphyloma. *Am J Ophthalmol Case Rep*. 2019; 13: 66-69. doi: 10.1016/j.ajoc.2018.12.002
28. Hood DC, De Cuir N, Blumberg DM, Liebmman JM, Jarukasetphon R, Ritch R, et al. A single wide-field OCT protocol can provide compelling information for the diagnosis of early glaucoma. *Transl Vis Sci Technol*. 2016; 5(6): 4. doi: 10.1167/tvst.5.6.4
29. Kim YW, Choi JJ, Girard MJA, Mari JM, Choi DG, Park KH. Longitudinal observation of border tissue configuration during axial elongation in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021; 62(4): 10. doi: 10.1167/iovs.62.4.10
30. Elía N, Pueyo V, Altemir I, Oros D, Pablo LE. Normal reference ranges of optical coherence tomography parameters in childhood. *Br J Ophthalmol*. 2012; 96(5): 665-670. doi: 10.1136/bjophthalmol-2011-300916
31. Barrio-Barrio J, Noval S, Galdós M, Ruiz-Canela M, Bonet E, Capote M, et al. Multicenter Spanish study of spectral-domain optical coherence tomography in normal children. *Acta Ophthalmol*. 2013; 91(1): e56-63. doi: 10.1111/j.1755-3768.2012.02562.x
32. Rao A, Sahoo B, Kumar M, Varshney G, Kumar R. Retinal nerve fiber layer thickness in children <18 years by spectral-domain optical coherence tomography. *Semin Ophthalmol*. 2013; 28(2): 97-102. doi: 10.3109/08820538.2012.760626
33. Altemir I, Oros D, Elía N, Polo V, Larrosa JM, Pueyo V. Retinal asymmetry in children measured with optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*. 2013; 156(6): 1238-1243.e1. doi: 10.1016/j.ajo.2013.07.021
34. Öner V, Özgür G, Türkyılmaz K, Şekeryapan B, Durmus M. Effect of axial length on retinal nerve fiber layer thickness in children. *Eur J Ophthalmol*. 2014; 24(2): 265-272. doi: 10.5301/ejo.5000345
35. Al-Haddad C, Antonios R, Tamim H, Nouredin B. Interocular symmetry in retinal and optic nerve parameters in children as measured by spectral domain optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*. 2014; 98(4): 502-506. doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-304345
36. Queirós T, Freitas C, Guimarães S. Valores de referência da tomografia de coerência óptica na idade pediátrica [Normative database of optical coherence tomography parameters in childhood]. *Acta Med Port*. 2015; 28(2): 148-157.
37. Gurağaç FB, Totan Y, Güler E, Tenlik A, Ertuğrul İG. Normative spectral domain optical coherence tomography data in healthy Turkish children. *Semin Ophthalmol*. 2017; 32(2): 216-222. doi: 10.3109/08820538.2015.1053625
38. Goh JP, Koh V, Chan YH, Ngo C. Macular ganglion cell and retinal nerve fiber layer thickness in children with refractive errors – An optical coherence tomography study. *J Glaucoma*. 2017; 26(7): 619-625. doi: 10.1097/IJG.0000000000000683
39. Pawar N, Maheshwari D, Ravindran M, Ramakrishnan R. Interocular symmetry of retinal nerve fiber layer and optic nerve head parameters measured by Cirrus high-definition optical coherence tomography in a normal pediatric population. *Indian J Ophthalmol*. 2017; 65(10): 955-962. doi: 10.4103/ijo.IJO_71_17
40. Bueno-Gimeno I, Espana-Gregori E, Gene-Sampedro A, Ondategui-Parra JC, Zapata-Rodriguez CJ. Variations of OCT measurements corrected for the magnification effect according to axial length and refractive error in children. *J Innov Opt Health Sci*. 2018; 1: 185001.
41. Larsson E, Molnar A, Holmström G. Repeatability, reproducibility and interocular difference in the assessments of optic nerve OCT in children – A Swedish population-based study. *BMC Ophthalmol*. 2018; 18(1): 270. doi: 10.1186/s12886-018-0940-x
42. Gama R, Santos JC, Costa RS, Costa DC, Eiro N. Optical coherence tomography analysis of the inner retinal layers in children. *Can J Ophthalmol*. 2018; 53: 614-620. doi: 10.1016/j.cjco.2018.02.025
43. Turk A, Ceylan OM, Arici C, Keskin S, Erdurman C, Durukan AH, et al. Evaluation of the nerve fiber layer and macula in the eyes of healthy children using spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*. 2012; 153: 552-559.
44. Yanni SE, Wang J, Cheng CS, Locke KI, Wen Y, Birch DG, et al. Normative reference ranges for the retinal nerve fiber layer, macula, and retinal layer thicknesses in children. *Am J Ophthalmol*. 2013; 155(2): 354-360. doi: 10.1016/j.ajo.2012.08.010
45. Dave P, Jethani J, Shah J. Applicability of the ISNT and IST rules on retinal nerve fiber layer measurement on spectral-domain optical coherence tomography in normal Indian children. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2015; 253: 1795-1799. doi: 10.1007/s00417-015-2980-8
46. Lee JWY, Yau GSK, Woo TTY, Lai JSM. The association between macular thickness and peripapillary retinal nerve fiber layer thickness in Chinese children. *Medicine*. 2015; 94: e567. doi: 10.1097/MD.0000000000000567
47. Perez-Garcia D, Ibanez-Alperte J, Remon L, Cristobal JA, Sanchez-Cano A, Pinilla I. Study of spectral-domain optical coherence tomography in children: normal values and influence of age, sex, and refractive status. *Eur J Ophthalmol*. 2016; 26: 135-141.
48. Eslami Y, Vahedian Z, Moghimi S, Bazvand F, Salari H, Sha-habinejad M, et al. Peripapillary retinal nerve fiber layer thickness in normal Iranian children measured with optical coherence tomography. *J Ophthalmic Vis Res*. 2018; 13: 453-457. doi: 10.4103/jovr.jovr_186_17
49. Rotruck JC, House RJ, Freedman SF, Kelly MP, Enyedi LB, Prakalapakorn SG, et al. Optical coherence tomography normative peripapillary retinal nerve fiber layer and macular data in children ages 0–5 years. *Am J Ophthalmol*. 2019; 208: 323-330. doi: 10.1016/j.ajo.2019.06.025
50. Tsai DC, Huang N, Hwu JJ, Jueng RN, Chou P. Estimating retinal nerve fiber layer thickness in normal schoolchildren with spectral-domain optical coherence tomography. *Jpn J Ophthalmol*. 2012; 56: 362-370. doi: 10.1007/s10384-012-0142-7
51. Chen L, Huang J, Zou H, Xue W, Ma Y, He X, et al. Retinal nerve fiber layer thickness in normal Chinese students aged 6 to 17 years. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54: 7990-7997. doi: 10.1167/iovs.12-11252
52. Zhu BD, Li SM, Li H, Liu LR, Wang Y, Yang Z, et al. Retinal nerve fiber layer thickness in a population of 12-year-old children in central China measured by iVue-100 spectral-domain optical coherence tomography: The Anyang Childhood Eye Study. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54: 8104-8111. doi: 10.1167/iovs.13-11958

53. Bhoiwala DL, Simon JW, Raghu P, Krishnamoorthy M, Todani A, Gandham SB, et al. Optic nerve morphology in normal children. *JAAPOS*. 2015; 19: 531-534. doi: 10.1016/j.jaapos.2015.09.008
54. Kang MT, Li SM, Li H, Li L, Li SY, Zhu BD, et al. Peripapillary retinal nerve fiber layer thickness and its association with refractive error in Chinese children: The Anyang Childhood Eye Study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2016; 44: 701-709. doi: 10.1111/ceo.12764
55. Grundy SJ, Tshering L, Wanjala SW, Diamond MB, Audi MS, Prasad S, et al. Retinal parameters as compared with head circumference, height, weight, and body mass index in children in Kenya and Bhutan. *Am J Trop Med Hyg*. 2018; 99: 482-488. doi: 10.4269/ajtmh.17-0943
56. Yabas Kiziloglu O, Toygar O, Toygar B, Hacimustafoglu AM. Retinal nerve fiber layer and macula thickness with spectral domain optical coherence tomography in children: Normal values, repeatability and the influence of demographic and ocular parameters. *Turkiye Klinikleri J Ophthalmol*. 2018; 27: 28-34. doi: 10.5336/ophthal.2016-53972
57. Ayala M, Ntoula E. Retinal fiber layer thickness measurement in normal paediatric population in Sweden using optical coherence tomography. *J Ophthalmol*. 2016; 2016: 4160568. doi: 10.1155/2016/4160568
58. Ali AN, Farag RK, El Wahab TAA, Ghanem AA, Hababeh M. Macular and retinal nerve fiber layer analysis by optical coherence tomography in normal children. *ARC J Ophthalmol*. 2018; 3: 17-28.
59. Banc A, Ungureanu MI. Normative data for optical coherence tomography in children: A systematic review. *Eye (Lond)*. 2021; 35(3): 714-738. doi: 10.1038/s41433-020-01177-3
60. Kai-Shun Leung Ch, Cheung Carol Y-L, Weinreb RN, Qiu Q, Liu Sh, Li H, et al. Retinal nerve fiber layer imaging with spectral-domain optical coherence tomography: A variability and diagnostic performance study. *Ophthalmology*. 2009; 116: 1257-1263. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.10.010
61. Brodsky MC. Optic nerve hypoplasia: "Neural guidance" and the role of mentorship. *J Neuroophthalmol*. 2020; 40(1): S21-S28. doi: 10.1097/WNO.0000000000001003
62. Kim YW, Choi JJ, Girard MJA, Mari JM, Choi DG, Park KH. Longitudinal observation of border tissue configuration during axial elongation in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021; 62(4): 10. doi: 10.1167/iovs.62.4.10
63. Samarawickrama C, Wang XY, Huynh SC, Burlutsky G, Stapleton F, Mitchell P. Effects of refraction and axial length on childhood optic disk parameters measured by optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*. 2007; 144(3): 459-461. doi: 10.1016/j.ajo.2007.05.010
64. Curcio CA, Allen KA. Topography of ganglion cells in human retina. *J Comp Neurol*. 1990; 300(1): 5-25. doi: 10.1002/cne.903000103
65. Cuenca N, Ortuño-Lizarán I, Pinilla I. Cellular characterization of OCT and outer retinal bands using specific immunohistochemistry markers and clinical implications. *Ophthalmology*. 2018; 125(3): 407-422. doi: 10.1016/j.ophtha.2017.09.016
66. Wolf-Schnurrbusch UE, Ceklic L, Brinkmann CK, Iliev ME, Frey M, Rothenbuehler SP, et al. Macular thickness measurements in healthy eyes using six different optical coherence tomography instruments. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009; 50(7): 3432-3437. doi: 10.1167/iovs.08-2970
67. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Fluorescein angiographic risk factors for progression of diabetic retinopathy. ETDRS report number 13. *Ophthalmology*. 1991; 98(Suppl 5): 834-840.
68. Provis JM, Dubis AM, Maddess T, Carroll J. Adaptation of the central retina for high acuity vision: Cones, the fovea and the avascular zone. *Prog Retin Eye Res*. 2013; 35: 63-81. doi: 10.1016/j.preteyeres.2013.01.005
69. Lee H, Purohit R, Patel A, Papageorgiou E, Sheth V, Macachachie G, et al. In vivo foveal development using optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56(8): 4537-4545. doi: 10.1167/iovs.15-16542
70. Rotruck JC, House RJ, Freedman SF, Kelly MP, Enyedi LB, Prakalapakorn SG, et al. Optical coherence tomography normative peripapillary retinal nerve fiber layer and macular data in children 0-5 years of age. *Am J Ophthalmol*. 2019; 208: 323-330. doi: 10.1016/j.ajo.2019.06.025
71. Alabduljalil T, Westall CA, Reginald A, Farsiu S, Chiu SJ, Arshavsky A, et al. Demonstration of anatomical development of the human macula within the first 5 years of life using handheld OCT. *Int Ophthalmol*. 2019; 39(7): 1533-1542. doi: 10.1007/s10792-018-0966-3
72. Yoo YJ, Hwang JM, Yang HK. Inner macular layer thickness by spectral domain optical coherence tomography in children and adults: A hospital-based study. *Br J Ophthalmol*. 2019; 103(11): 1576-1583. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-312349
73. Galdos M, Barrio-Barrio J, Noval S, Ruiz-Canela M, Bonet E, Capote M, et al. Multicenter macular ganglion cell analysis: Normative paediatric reference range. *Acta Ophthalmol*. 2014; 92(4): e326-7. doi: 10.1111/aos.12316
74. Totan Y, Gurağaç FB, Güler E. Evaluation of the retinal ganglion cell layer thickness in healthy Turkish children. *J Glaucoma*. 2015; 24(5): e103-e108. doi: 10.1097/IJG.0000000000000168
75. Maldonado RS, O'Connell RV, Sarin N, Freedman SF, Wallace DK, Cotton CM, et al. Dynamics of human foveal development after premature birth. *Ophthalmology*. 2011; 118(12): 2315-2325. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.05.028
76. Hood DC, Raza AS, Gustavo V de Moraes C, Liebmann JM, Ritch R. Glaucomatous damage of the macula. *Prog Retin Eye Res*. 2013; 32: 1-21. doi: 10.1016/j.preteyeres.2012.08.003
77. Fujihara FMF, de Arruda Mello PA, Lindenmeyer RL, Pakter HM, Lavinsky J, et al. Individual macular layer evaluation with spectral domain optical coherence tomography in normal and glaucomatous eyes. *Clin Ophthalmol*. 2020; 14: 1591-1599. doi: 10.2147/OPHTH.S256755
78. Go MS, Barman NR, Kelly MP, House RJ, Rotruck JC, El-Dairi MA, et al. Overhead mounted optical coherence tomography in childhood glaucoma evaluation. *J Glaucoma*. 2020; 29(9): 742-749. doi: 10.1097/IJG.0000000000001567
79. Щуко А.Г., Юрьева Т.Н., Чекмарева Л.Т., Малышев В.В. *Глаукома и патология радужки*. М.; 2009.
80. Wolff B, Azar G, Vasseur V, Sahel JA, Vignal C, Mauget-Fajsse M. Microcystic changes in the retinal internal nuclear layer associated with optic atrophy: A prospective study. *J Ophthalmol*. 2014; 2014: 395189. doi: 10.1155/2014/395189

REFERENCES

1. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-

- analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009; 6(7): e1000097. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097
2. Maccora KA, Sheth S, Ruddle JB. Optical coherence tomography in paediatric clinical practice. *Clin Exp Optom.* 2019; 102: 300-308. doi: 10.1111/coo.12909
 3. Monroy GL, Won J, Spillman DR, Dsouza R, Boppart SA. Clinical translation of handheld optical coherence tomography: Practical considerations and recent advancements. *J Biomed Opt.* 2017; 22(12): 1-30. doi: 10.1117/1.JBO.22.12.121715
 4. Siebelmann S, Bachmann B, Lappas A, Dietlein T, Hermann M, Roters S, et al. Intraoperative optical coherence tomography in corneal and glaucoma surgical procedures. *Ophthalmologe.* 2016; 113(8): 646-650. doi: 10.1007/s00347-016-0320-y
 5. Enders Ph, Schaub F, Adler W, Nikoluk R, Hermann MM, Heindl LM, et al. The use of Bruch's membrane opening-based optical coherence tomography of the optic nerve head for glaucoma detection in microdiscs. *Br J Ophthalmol.* 2017; 101(4): 530-535. doi: 10.1136/bjophthalmol-2016-308957
 6. Wikstrand MH, Hård A-L, Niklasson A, Hellström A. Birth weight deviation and early postnatal growth are related to optic nerve morphology at school age in children born preterm. *Pediatr Res.* 2010; 67: 325-329. doi: 10.1203/PDR.0b013e3181ca9f43
 7. Feng X, Nan Y, Pan J, Zou R, Shen L, Chen F. Comparative study on optic disc features of premature infants and full-term newborns. *BMC Ophthalmol.* 2021; 21(1): 120. doi: 10.1186/s12886-021-01833-6
 8. Mansour AM. Racial variation of optic disc size. *Ophthalmic Res.* 1991; 23(2): 67-72. doi: 10.1159/000267091
 9. Mansour AM. Racial variation of optic disc parameters in children. *Ophthalmic Surg.* 1992; 23(7): 469-471.
 10. Rimmer S, Keating C, Chou T, Farb MD, Christenson PD, Foos RY, et al. Growth of the human optic disk and nerve during gestation, childhood, and early adulthood. *Am J Ophthalmol.* 1993; 116(6): 748-753. doi: 10.1016/s0002-9394(14)73476-2
 11. Huynh SC, Wang XY, Rochtchina E, Crowston JG, Mitchell P. Distribution of optic disc parameters measured by OCT: Findings from a population-based study of 6-year-old Australian children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006; 47(8): 3276-3285. doi: 10.1167/iovs.06-0072
 12. Belghith A, Bowd Ch, Medeiros FA, Hammel N, Yang Zh, Weinreb RN, et al. Does the location of Bruch's Membrane opening change over time? Longitudinal analysis using San-Diego automated layer segmentation algorithm (SALSA). *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016; 57(2): 675-682. doi: 10.1167/iovs.15-17671
 13. Katargina LA, Mazanova EV, Tarasenkov AO, Saydashva EI, Brzheskiy VV, Volodin PL, et al. The federal clinical guidelines on "Diagnosis, medicamentous and surgical treatment of the children presenting with congenital glaucoma". *Russian Pediatric Ophthalmology.* 2016; 11(1): 33-51. (In Russ.). doi: 10.18821/1993-1859-2016-11-1-33-51
 14. Elía N, Pueyo V, Altemir I, Oros D, Pablo LE. Normal reference ranges of optical coherence tomography parameters in childhood. *Br J Ophthalmol.* 2012; 96(5): 665-670. doi: 10.1136/bjophthalmol-2011-300916
 15. Altemir I, Oros D, Elía N, Polo V, Larrosa JM, Pueyo V. Retinal asymmetry in children measured with optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2013; 156: 1238-1243. doi: 10.1016/j.ajo.2013.07.021
 16. Park K, Kim J, Lee J. Reproducibility of Bruch's membrane opening-minimum rim width measurements with spectral domain optical coherence tomography. *J Glaucoma.* 2017; 26(11): 1041-1050. doi: 10.1097/JG.0000000000000787
 17. Kromer R, Spitzer MS. Bruch's membrane opening minimum rim width measurement with SD-OCT: A method to correct for the opening size of Bruch's membrane. *Hindawi J Ophthalmol.* 2017; 2017: 8963267. doi: 10.1155/2017/8963267
 18. Rhodes LA, Huisingh CE, Quinn AE, McGwin Jr G, LaRussa F, Box D, et al. Comparison of Bruch's membrane opening-minimum rim width among those with normal ocular health by race. *Am J Ophthalmol.* 2017; 174(2): 113-118. doi: 10.1016/j.ajo.2016.10.022
 19. Enders Ph, Adler W, Schaub F, Hermann MM, Diestelhorst M, Dietlein Th, et al. Optimization strategies for Bruch's membrane opening minimum rim area calculation: Sequential versus simultaneous minimization. *Sci Rep.* 2018; 32(2): 314-323. doi: 10.1038/eye.2017.306
 20. Stowell Ch, Burgoyne C, Tamm ER, Ethier CR. Biomechanical aspects of axonal damage in glaucoma: A brief review. *Exp Eye Res.* 2017; 157: 13-19. doi: 10.1016/j.exer.2017.02.005
 21. Zhukova SI. *OCT and OCTA: Clinical cases. Atlas with interactive content.* Moscow: Aprel; 2019. (In Russ.).
 22. Hess DB, Asrani SG, Bhide MG, Enyedi LB, Stinnett SS, Freedman SF. Macular and retinal nerve fiber layer analysis of normal and glaucomatous eyes in children using optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2005; 139(3): 509-517. doi: 10.1016/j.ajo.2004.10.047
 23. Pagon RA. Ocular coloboma. *Surv Ophthalmol.* 1981; 25(4): 223-236. doi: 10.1016/0039-6257(81)90092-8
 24. Lee KM, Woo SJ, Hwang JM. Evaluation of congenital excavated optic disc anomalies with spectral-domain and swept-source optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2014; 252(11): 1853-1860. doi: 10.1007/s00417-014-2680-9
 25. Gottlieb JL, Prieto DM, Vander JF, Brown GC, Tasman WS. Peripapillary staphyloma. *Am J Ophthalmol.* 1997; 124(2): 249-251. doi: 10.1016/s0002-9394(14)70796-2
 26. May CA. Non-vascular smooth muscle cells in the human choroid: Distribution, development and further characterization. *J Anat.* 2005; 207(4): 381-390. doi: 10.1111/j.1469-7580.2005.00460.x
 27. Yoshida T, Katagiri S, Yokoi T, Nishina S, Azuma N. Optical coherence tomography and video recording of a case of bilateral contractile peripapillary staphyloma. *Am J Ophthalmol Case Rep.* 2019; 13: 66-69. doi: 10.1016/j.ajoc.2018.12.002
 28. Hood DC, De Cuir N, Blumberg DM, Liebmann JM, Jarukasetphon R, Ritch R, et al. A single wide-field OCT protocol can provide compelling information for the diagnosis of early glaucoma. *Transl Vis Sci Technol.* 2016; 5(6): 4. doi: 10.1167/tvst.5.6.4
 29. Kim YW, Choi JJ, Girard MJA, Mari JM, Choi DG, Park KH. Longitudinal observation of border tissue configuration during axial elongation in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2021; 62(4): 10. doi: 10.1167/iovs.62.4.10
 30. Elía N, Pueyo V, Altemir I, Oros D, Pablo LE. Normal reference ranges of optical coherence tomography parameters in childhood. *Br J Ophthalmol.* 2012; 96(5): 665-670. doi: 10.1136/bjophthalmol-2011-300916
 31. Barrio-Barrio J, Noval S, Galdós M, Ruiz-Canela M, Bonet E, Capote M, et al. Multicenter Spanish study of spectral-domain optical coherence tomography in normal children. *Acta Ophthalmol.* 2013; 91(1): e56-63. doi: 10.1111/j.1755-3768.2012.02562.x
 32. Rao A, Sahoo B, Kumar M, Varshney G, Kumar R. Retinal nerve fiber layer thickness in children <18 years by spectral-domain

optical coherence tomography. *Semin Ophthalmol.* 2013; 28(2): 97-102. doi: 10.3109/08820538.2012.760626

33. Altimir I, Oros D, Elía N, Polo V, Larrosa JM, Pueyo V. Retinal asymmetry in children measured with optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2013; 156(6): 1238-1243.e1. doi: 10.1016/j.ajo.2013.07.021

34. Öner V, Özgür G, Türkyılmaz K, Şekeryapan B, Durmus M. Effect of axial length on retinal nerve fiber layer thickness in children. *Eur J Ophthalmol.* 2014; 24(2): 265-272. doi: 10.5301/ejo.5000345

35. Al-Haddad C, Antonios R, Tamim H, Nouredin B. Interocular symmetry in retinal and optic nerve parameters in children as measured by spectral domain optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol.* 2014; 98(4): 502-506. doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-304345

36. Queirós T, Freitas C, Guimarães S. Valores de referência da tomografia de coerência óptica na idade pediátrica [Normative database of optical coherence tomography parameters in childhood]. *Acta Med Port.* 2015; 28(2): 148-157.

37. Güragaç FB, Totan Y, Güler E, Tenlik A, Ertuğrul İG. Normative spectral domain optical coherence tomography data in healthy Turkish children. *Semin Ophthalmol.* 2017; 32(2): 216-222. doi: 10.3109/08820538.2015.1053625

38. Goh JP, Koh V, Chan YH, Ngo C. Macular ganglion cell and retinal nerve fiber layer thickness in children with refractive errors – An optical coherence tomography study. *J Glaucoma.* 2017; 26(7): 619-625. doi: 10.1097/IJG.0000000000000683

39. Pawar N, Maheshwari D, Ravindran M, Ramakrishnan R. Interocular symmetry of retinal nerve fiber layer and optic nerve head parameters measured by Cirrus high-definition optical coherence tomography in a normal pediatric population. *Indian J Ophthalmol.* 2017; 65(10): 955-962. doi: 10.4103/ijo.IJO_71_17

40. Bueno-Gimeno I, Espana-Gregori E, Gene-Sampedro A, Ondategui-Parra JC, Zapata-Rodriguez CJ. Variations of OCT measurements corrected for the magnification effect according to axial length and refractive error in children. *J Innov Opt Health Sci.* 2018; 1: 185001.

41. Larsson E, Molnar A, Holmström G. Repeatability, reproducibility and interocular difference in the assessments of optic nerve OCT in children – A Swedish population-based study. *BMC Ophthalmol.* 2018; 18(1): 270. doi: 10.1186/s12886-018-0940-x

42. Gama R, Santos JC, Costa RS, Costa DC, Eiro N. Optical coherence tomography analysis of the inner retinal layers in children. *Can J Ophthalmol.* 2018; 53: 614-620. doi: 10.1016/j.jcjo.2018.02.025

43. Turk A, Ceylan OM, Arici C, Keskin S, Erdurman C, Durukan AH, et al. Evaluation of the nerve fiber layer and macula in the eyes of healthy children using spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2012; 153: 552-559.

44. Yanni SE, Wang J, Cheng CS, Locke KI, Wen Y, Birch DG, et al. Normative reference ranges for the retinal nerve fiber layer, macula, and retinal layer thicknesses in children. *Am J Ophthalmol.* 2013; 155(2): 354-360. doi: 10.1016/j.ajo.2012.08.010

45. Dave P, Jethani J, Shah J. Applicability of the ISNT and IST rules on retinal nerve fiber layer measurement on spectral-domain optical coherence tomography in normal Indian children. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2015; 253: 1795-1799. doi: 10.1007/s00417-015-2980-8

46. Lee JWY, Yau GSK, Woo TTY, Lai JSM. The association between macular thickness and peripapillary retinal nerve fiber layer thickness in Chinese children. *Medicine.* 2015; 94: e567. doi: 10.1097/MD.0000000000000567

47. Perez-Garcia D, Ibanez-Alperte J, Remon L, Cristobal JA, Sanchez-Cano A, Pinilla I. Study of spectral-domain optical coherence tomography in children: normal values and influence of age, sex, and refractive status. *Eur J Ophthalmol.* 2016; 26: 135-141.

48. Eslami Y, Vahedian Z, Moghimi S, Bazvand F, Salari H, Sha-habinejad M, et al. Peripapillary retinal nerve fiber layer thickness in normal Iranian children measured with optical coherence tomography. *J Ophthalmic Vis Res.* 2018; 13: 453-457. doi: 10.4103/jovr.jovr_186_17

49. Rotruck JC, House RJ, Freedman SF, Kelly MP, Enyedi LB, Pralapakorn SG, et al. Optical coherence tomography normative peripapillary retinal nerve fiber layer and macular data in children ages 0–5 years. *Am J Ophthalmol.* 2019; 208: 323-330. doi: 10.1016/j.ajo.2019.06.025

50. Tsai DC, Huang N, Hwu JJ, Jueng RN, Chou P. Estimating retinal nerve fiber layer thickness in normal schoolchildren with spectral-domain optical coherence tomography. *Jpn J Ophthalmol.* 2012; 56: 362-370. doi: 10.1007/s10384-012-0142-7

51. Chen L, Huang J, Zou H, Xue W, Ma Y, He X, et al. Retinal nerve fiber layer thickness in normal Chinese students aged 6 to 17 years. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 2013; 54: 7990-7997. doi: 10.1167/iovs.12-11252

52. Zhu BD, Li SM, Li H, Liu LR, Wang Y, Yang Z, et al. Retinal nerve fiber layer thickness in a population of 12-year-old children in central China measured by iVue-100 spectral-domain optical coherence tomography: The Anyang Childhood Eye Study. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 2013; 54: 8104-8111. doi: 10.1167/iovs.13-11958

53. Bhoiwala DL, Simon JW, Raghu P, Krishnamoorthy M, Todani A, Gandham SB, et al. Optic nerve morphology in normal children. *JAAPOS.* 2015; 19: 531-534. doi: 10.1016/j.jaaapos.2015.09.008

54. Kang MT, Li SM, Li H, Li L, Li SY, Zhu BD, et al. Peripapillary retinal nerve fiber layer thickness and its association with refractive error in Chinese children: The Anyang Childhood Eye Study. *Clin Exp Ophthalmol.* 2016; 44: 701-709. doi: 10.1111/ceo.12764

55. Grundy SJ, Tshering L, Wanjala SW, Diamond MB, Audi MS, Prasad S, et al. Retinal parameters as compared with head circumference, height, weight, and body mass index in children in Kenya and Bhutan. *Am J Trop Med Hyg.* 2018; 99: 482-488. doi: 10.4269/ajtmh.17-0943

56. Yabas Kiziloglu O, Toygar O, Toygar B, Hacimustafaoğlu AM. Retinal nerve fiber layer and macula thickness with spectral domain optical coherence tomography in children: Normal values, repeatability and the influence of demographic and ocular parameters. *Turkiye Klinikleri J Ophthalmol.* 2018; 27: 28-34. doi: 10.5336/ophthal.2016-53972

57. Ayala M, Ntoula E. Retinal fiber layer thickness measurement in normal paediatric population in Sweden using optical coherence tomography. *J Ophthalmol.* 2016; 2016: 4160568. doi: 10.1155/2016/4160568

58. Ali AN, Farag RK, El Wahab TAA, Ghanem AA, Hababeh M. Macular and retinal nerve fiber layer analysis by optical coherence tomography in normal children. *ARC J Ophthalmol.* 2018; 3: 17-28.

59. Banc A, Ungureanu MI. Normative data for optical coherence tomography in children: A systematic review. *Eye (Lond).* 2021; 35(3): 714-738. doi: 10.1038/s41433-020-01177-3

60. Kai-Shun Leung Ch, Cheung Carol Y-L, Weinreb RN, Qiu Q, Liu Sh, Li H, et al. Retinal nerve fiber layer imaging with spectral-domain optical coherence tomography: A variability and diag-

nostic performance study. *Ophthalmology*. 2009; 116: 1257-1263. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.10.010

61. Brodsky MC. Optic nerve hypoplasia: "Neural guidance" and the role of mentorship. *J Neuroophthalmol*. 2020; 40(1): S21-S28. doi: 10.1097/WNO.0000000000001003

62. Kim YW, Choi JJ, Girard MJA, Mari JM, Choi DG, Park KH. Longitudinal observation of border tissue configuration during axial elongation in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021; 62(4): 10. doi: 10.1167/iovs.62.4.10

63. Samarawickrama C, Wang XY, Huynh SC, Burlutsky G, Stapleton F, Mitchell P. Effects of refraction and axial length on childhood optic disk parameters measured by optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*. 2007; 144(3): 459-461. doi: 10.1016/j.ajo.2007.05.010

64. Curcio CA, Allen KA. Topography of ganglion cells in human retina. *J Comp Neurol*. 1990; 300(1): 5-25. doi: 10.1002/cne.903000103

65. Cuenca N, Ortuño-Lizarán I, Pinilla I. Cellular characterization of OCT and outer retinal bands using specific immunohistochemistry markers and clinical implications. *Ophthalmology*. 2018; 125(3): 407-422. doi: 10.1016/j.ophtha.2017.09.016

66. Wolf-Schnurrbusch UE, Ceklic L, Brinkmann CK, Iliev ME, Frey M, Rothenbuehler SP, et al. Macular thickness measurements in healthy eyes using six different optical coherence tomography instruments. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009; 50(7): 3432-3437. doi: 10.1167/iovs.08-2970

67. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Fluorescein angiographic risk factors for progression of diabetic retinopathy. ETDRS report number 13. *Ophthalmology*. 1991; 98(Suppl 5): 834-840.

68. Provis JM, Dubis AM, Maddess T, Carroll J. Adaptation of the central retina for high acuity vision: Cones, the fovea and the avascular zone. *Prog Retin Eye Res*. 2013; 35: 63-81. doi: 10.1016/j.preteyeres.2013.01.005

69. Lee H, Purohit R, Patel A, Papageorgiou E, Sheth V, Maconachie G, et al. In vivo foveal development using optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015; 56(8): 4537-4545. doi: 10.1167/iovs.15-16542

70. Rotruck JC, House RJ, Freedman SF, Kelly MP, Enyedi LB, Prakalapakorn SG, et al. Optical coherence tomography normative peripapillary retinal nerve fiber layer and macular data

in children 0–5 years of age. *Am J Ophthalmol*. 2019; 208: 323-330. doi: 10.1016/j.ajo.2019.06.025

71. Alabduljalil T, Westall CA, Reginald A, Farsiu S, Chiu SJ, Arshavsky A, et al. Demonstration of anatomical development of the human macula within the first 5 years of life using hand-held OCT. *Int Ophthalmol*. 2019; 39(7): 1533-1542. doi: 10.1007/s10792-018-0966-3

72. Yoo YJ, Hwang JM, Yang HK. Inner macular layer thickness by spectral domain optical coherence tomography in children and adults: A hospital-based study. *Br J Ophthalmol*. 2019; 103(11): 1576-1583. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-312349

73. Galdos M, Barrio-Barrio J, Noval S, Ruiz-Canela M, Bonet E, Capote M, et al. Multicenter macular ganglion cell analysis: Normative paediatric reference range. *Acta Ophthalmol*. 2014; 92(4): e326-7. doi: 10.1111/aos.12316

74. Totan Y, Gurağaç FB, Güler E. Evaluation of the retinal ganglion cell layer thickness in healthy Turkish children. *J Glaucoma*. 2015; 24(5): e103-e108. doi: 10.1097/IJG.0000000000000168

75. Maldonado RS, O'Connell RV, Sarin N, Freedman SF, Wallace DK, Cotton CM, et al. Dynamics of human foveal development after premature birth. *Ophthalmology*. 2011; 118(12): 2315-2325. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.05.028

76. Hood DC, Raza AS, Gustavo V de Moraes C, Liebmann JM, Ritch R. Glaucomatous damage of the macula. *Prog Retin Eye Res*. 2013; 32: 1-21. doi: 10.1016/j.preteyeres.2012.08.003

77. Fujihara FMF, de Arruda Mello PA, Lindenmeyer RL, Pakter HM, Lavinsky J, et al. Individual macular layer evaluation with spectral domain optical coherence tomography in normal and glaucomatous eyes. *Clin Ophthalmol*. 2020; 14: 1591-1599. doi: 10.2147/OPTH.S256755

78. Go MS, Barman NR, Kelly MP, House RJ, Rotruck JC, El-Dairi MA, et al. Overhead mounted optical coherence tomography in childhood glaucoma evaluation. *J Glaucoma*. 2020; 29(9): 742-749. doi: 10.1097/IJG.0000000000001567

79. Shchuko AG, Iureva TN, Chekmareva LT, Malyshev VV. *Glaucoma and pathology of the iris*. Moscow; 2009. (In Russ.).

80. Wolff B, Azar G, Vasseur V, Sahel JA, Vignal C, Mauget-Fajssse M. Microcystic changes in the retinal internal nuclear layer associated with optic atrophy: A prospective study. *J Ophthalmol*. 2014; 2014: 395189. doi: 10.1155/2014/395189

Сведения об авторах

Жукова Светлана Ивановна – кандидат медицинских наук, заведующая диагностическим отделением, врач-офтальмолог, Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России, e-mail: zhukswetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0227-7682>

Юрьева Татьяна Николаевна – доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Иркутский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздрава России; профессор кафедры офтальмологии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; профессор кафедры глазных болезней, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, e-mail: tnyurieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0547-7521>

Information about the authors

Svetlana I. Zhukova – Cand. Sc. (Med.), Head of the Diagnostic Department, Ophthalmologist, Irkutsk Branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, e-mail: zhukswetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0227-7682>

Tatiana N. Iureva – Dr. Sc. (Med.), Professor, Deputy Director for Science, Irkutsk Branch of S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution; Professor at the Department of Ophthalmology, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education; Professor at the Department of Eye Diseases, Irkutsk State Medical University, e-mail: tnyurieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0547-7521>

Статья опубликована в рамках Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «VIII Байкальские офтальмологические чтения «Визуализация в офтальмологии. Настоящее и будущее».