

DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj530661>

Оценка ангиоархитектоники сетчатки методом оптической когерентной ангиографии и её диагностическая ценность при функциональной амблиопии

Р.Р. Стальмахова, А.В. Апаев, Т.Ю. Ларина

НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель. Изучить параметры плотности поверхностного и глубокого сплетений сетчатки, слоя хориокапилляров, параметров аваскулярной зоны сетчатки в глазах с амблиопией различного генеза и в парных здоровых глазах.

Материал и методы. В исследование были включены 40 пациентов в возрасте от 6 до 16 лет (в среднем $8,72 \pm 3,04$ года). Все пациенты были разделены на две группы: 1-я группа — пациенты с дисбинокулярной и анизометропической амблиопией (48 глаз); 2-я группа — контрольная, парные здоровые глаза без амблиопии (32 глаза). Исследовали плотность поверхностного и глубокого сосудистых сплетений сетчатки, слоя хориокапилляров, параметры аваскулярной зоны (площадь, периметр, окружность) на спектральном оптическом когерентном томографе RS-3000 Advance 2 (Nidek, Japan). Корреляционный анализ проводился с использованием линейного коэффициента корреляции Пирсона (r).

Результаты. Не выявлено достоверных различий плотности поверхностных и глубоких сосудов сетчатки, слоя хориокапилляров и параметров аваскулярной зоны сетчатки при амблиопии различного генеза по сравнению с парными здоровыми глазами. Не выявлено корреляционной взаимосвязи данных перфузии сетчатки с функциональными и анатомическими параметрами глаз с амблиопией.

Заключение. Не выявлено взаимосвязи сосудистых параметров заднего полюса глаза с максимально скорректированной остротой зрения, что подтверждает отсутствие изменений в перфузии сетчатки при амблиопии и исключает её роль в патогенезе данного заболевания.

Ключевые слова: амблиопия; ангиография; оптическая когерентная томография; сетчатка; хориокапилляры.

Как цитировать:

Стальмахова Р.Р., Апаев А.В., Ларина Т.Ю. Оценка ангиоархитектоники сетчатки методом оптической когерентной ангиографии и её диагностическая ценность при функциональной амблиопии // *Российская педиатрическая офтальмология*. 2023. Т. 18. № 3. С. 137–144. DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj530661>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj530661>

Evaluation of retinal angioarchitectonics by optical coherence angiography and its diagnostic value in functional amblyopia

Regina R. Stalmakhova, Alexander V. Apaev, Tatyana Yu. Larina

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: This study aimed to evaluate the density parameters of the superficial and deep plexuses of the retina, choriocapillary layer, and avascular zone in eyes with amblyopia of various origins and paired fellow eyes.

MATERIAL AND METHODS: The study included 40 patients aged 6–16 (mean, 8.72 ± 3.04) years. All patients were divided into 2 groups: group 1 included amblyopic, dysbinocular, and anisometropic eyes ($n=48$), and group 2 (control group) included paired fellow eyes without amblyopia ($n=32$). The density of the superficial and deep vascular plexuses of the retina, choriocapillary layer, and avascular zone parameters (area, perimeter, and circumference) were evaluated using spectral optical coherence tomography (RS-3000 Advance 2, Nidek, Japan). Correlation analysis was performed using Pearson's linear correlation coefficient (r).

RESULTS: No significant differences were found in the density of the superficial and deep retinal vessels, choriocapillary layer, and avascular zone parameters of the retina in eyes amblyopia of various origins compared with paired fellow eyes ($p > 0.05$). No correlation was found between retinal perfusion data and functional and anatomical parameters of amblyopic eyes.

CONCLUSION: No relationship was noted between the vascular parameters of the posterior pole of the eye and the maximally corrected visual acuity, which confirms the absence of changes in retinal perfusion in amblyopia and excludes its role in the pathogenesis.

Keywords: amblyopia; angiography; optical coherence tomography; retina; choriocapillaries.

To cite this article:

Stalmakhova RR, Apaev AV, Larina TYu. Evaluation of retinal angioarchitectonics by optical coherence angiography and its diagnostic value in functional amblyopia. *Russian pediatric ophthalmology*. 2023;18(3):137–144. DOI: <https://doi.org/10.17816/rpoj530661>

ВВЕДЕНИЕ

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) реализовала программу VISION 2020, направленную на ликвидацию предотвратимой слепоты на глобальном уровне [1, 2]. По оценкам ВОЗ, на начало инициативной программы около 19 миллионов детей в возрасте до 15 лет имели нарушение зрения, из них 1,4 миллиона детей имели необратимую слепоту, при этом половину случаев слепоты можно было предотвратить [3]. Разумно предположить, что в статистические данные большой вклад внесла именно амблиопия. По разным источникам, распространённость амблиопии в мире варьирует от 0,3% до 5% у детей дошкольного возраста [4].

Амблиопия является формой коркового нарушения зрения и определяется как состояние одностороннего или двустороннего снижения остроты зрения, которое нельзя отнести к структурным аномалиям глаза [5]. Хотя изменения в зрительных путях и зрительной коре установлены, вовлечение периферического отдела, в частности, сенсорной оболочки, остаётся спорным [6–8]. Структурная правильность и функциональная способность сетчатки являются одними из важнейших составляющих акта зрения. Всё больше современных исследований проводится именно в этом направлении с целью изучить функцию и структуру сенсорной оболочки, расширить диагностическую панель при амблиопии для более глубоко детального анализа.

Оптическая когерентная ангиография (ОКТ-ангио) — это новая неинвазивная технология визуализации сосудов, которая позволяет получить трёхмерные изображения кровотока в сетчатке, чётко отображая форму сосудов, а также может выполнять многоуровневый количественный анализ кровотока в заднем полюсе. Большой ценностью является возможность исследовать фовеальную аваскулярную зону (foveal avascular zone — FAZ), сетчатки, которая служит важным критерием для определения структурной зрелости фовеа и, как следствие, всей функции центрального зрения.

Почему же так важно искать новые диагностические подходы и исследовать дополнительные патогенетические звенья развития амблиопии? Kumaran S.E. с соавторами [9] опубликовали результаты своей работы, которая заключалась в проведении тестирования пациентов с амблиопией и косоглазием в анамнезе. Авторы пришли к заключению, что все существующие инструменты для лечения амблиопии и косоглазия не соответствуют желаемому качеству и полноте содержания. Диагностический поиск, возможно, даже самых тонких нарушений в работе периферического отдела сетчатки глаза может дать перспективу для разработки комплексного эффективного алгоритма лечения данной группы пациентов.

Цель. Изучение параметров плотности поверхностного и глубокого сплетения сетчатки, слоя хориокапилляров, параметров аваскулярной зоны сетчатки в глазах

с амблиопией различного генеза и в парных здоровых глазах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Было обследовано 40 пациентов в возрасте от 6 до 16 лет (в среднем, $8,72 \pm 3,04$ года). Все пациенты были разделены на две группы. Первая группа включала детей с дисбинокулярной и анизометропической амблиопией (48 глаз), с максимальной скорректированной остротой зрения (МКОЗ) $0,40 \pm 0,24$, рефракцией (R) $3,01 \pm 2,93$ дптр, длиной переднезадней оси (ПЗО) $22,0 \pm 1,48$ мм. Вторую (контрольную) группу составляли дети с парными здоровыми глазами без амблиопии (32 глаза) со следующими параметрами: МКОЗ $1,1 \pm 0,05$; R $1,40 \pm 1,30$ дптр; ПЗО $23,48 \pm 0,81$ мм.

Помимо стандартного офтальмологического обследования проводилась оценка плотности поверхностного и глубокого сосудистого сплетения сетчатки, слоя хориокапилляров. Исследовали также параметры аваскулярной зоны, а именно: площадь — FAZ area, периметр — FAZ perimeter, окружность — FAZ circularity. Исследование проводили на спектральном оптическом когерентном томографе RS-3000 Advance 2 (Nidek, Japan) с использованием программы «Macula MAP» в режиме «Angio». Анализируемая область составила 3×3 мм. Зоны сетчатки делились на 9 участков: inner-superior (SI), inner-nasal (NI), inner-inferior (II), inner-temporal (TI), outer-superior (SO), outer-nasal (NO), outer-inferior (IO), outer-temporal (TO) и central foveal zone (F), с указанием среднего значения толщины в каждом. Количественные измерения проводились с помощью программного обеспечения Navis-EX 1.8.0 (Nidek). Данное программное обеспечение позволяет скорректировать эффект увеличения глаза, связанный с длиной ПЗО, с помощью модифицированной формулы [10]. Корреляционный анализ проводился с использованием линейного коэффициента корреляции Пирсона (r). Уровень достоверности различий определяли по стандартному t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам ОКТ-ангио не выявлено достоверных различий ($p > 0,05$) в параметрах плотности поверхностных и глубоких сосудов сетчатки в фовеальной области, а также во всех кольцах и сегментах в группе с амблиопией и в контрольных парных глазах (табл. 1).

Сравнительный анализ плотности слоя хориокапилляров показал, что данные параметры не отличаются в межгрупповом сравнении. Исключением был назально-наружный квадрант (NO), где выявлено достоверное увеличение плотности хориокапилляров при дисбинокулярной и анизометропической амблиопии по сравнению со здоровыми парными глазами ($56,87 \pm 9,83\%$ в 1-й группе, $47,59 \pm 8,87\%$ во 2-й группе, $p < 0,05$).

Таблица 1. Параметры плотности поверхностного и глубокого сосудистого сплетения сетчатки и слоя хориокапилляров в глазах с дисбинокулярной и анизометропической амблиопией и в группе контроля (парные здоровые глаза без амблиопии)

Table 1. Density parameters of the superficial and deep vascular plexuses of the retina and the choriocapillar layer in eyes with dysbinocular and anisometropic amblyopia and paired fellow eyes without amblyopia (control group)

	Центр (фовеа) Center (fovea)		Верхневнутренний Inner-superior (SI)		Верхненааружный Outer-superior (SO)		Височновнутренний Inner-temporal (TI)		Височнонааружный Outer-temporal (TO)	
	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control
Поверхностное сплетение, % Superficial plexus, %	6,42±6,24	7,15±9,02	38,21±10,57	39,21±7,17	52,02±5,76	53,43±4,27	40,9±8,83	41,74±6,75	52,02±5,58	52,12±4,38
Глубокое сплетение Deep plexus %	1,45±2,82	1,84±4,1	27,32±11,75	28,9±12,58	41,7±13,12	44,91±12,98	25,85±11,64	27,0±11,02	46,02±11,55	46,31±13,10
Хориокапилляры Choriocapillaries %	48,45±13,1	50,09±12,68	50,62±7,38	49,87±10,05	46,47±8,93	48,46±8,34	47,42±9,77	48,93±10,36	48,3±6,96	50,21±7,78
			Нижневнутренний Inner-inferior (II)		Нижненааружный Outer-inferior (IO)		Назальноовнутренний Inner-nasal (NI)		Назальноонааружный Outer-nasal (NO)	
			Амблиопия Amblyopia	Контроль Control	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control	Амблиопия Amblyopia	Контроль Control
Поверхностное сплетение, % Superficial plexus, %			38,9±8,73	40,09±6,39	52,9±5,21	52,43±3,75	37,45±9,41	40,15±6,34	51,05±5,58	52,5±3,34
Глубокое сплетение, % Deep plexus, %			26,95±13,55	27,84±11,98	40,17±13,9	41,68±13,15	25,72±11,94	29,06±12,5	45,12±12,19	48,43±12,1
Хориокапилляры, % Choriocapillaries, %			49,07±8,59	47,06±8,98	49,07±6,51	49,5±7,41	45,7±9,11	47,93±11,64	56,87±9,83 (<i>p</i> < 0,05)	47,59±8,87

Примечание. Внутренние квадранты располагаются в зоне от 0,5 до 1,5 мм, наружные — в зоне от 1,5 до 3 мм.
Note. The inner quadrants are located in the zone from 0.5 to 1.5 mm and the outer quadrants in the zone from 1.5 to 3 mm.

Таблица 2. Параметры аваскулярной зоны сетчатки в глазах с амблиопией и в парных здоровых глазах**Table 2.** Avascular zone parameters of the retina in eyes with amblyopia and paired fellow eyes

	Параметры аваскулярной зоны		
	Площадь FAZ area	Периметр FAZ perimeter	Окружность FAZ circularity
Амблиопия Amblyopia	0,28±0,12	2,84±0,81	0,44±0,25
Контрольная группа Control group	0,26±0,11	2,58±0,75	0,50±0,14

Параметры аваскулярной зоны (площадь — FAZ area, периметр — FAZ perimeter, окружность — FAZ circularity) достоверно не отличались ($p > 0,05$) в группе с амблиопией и в контрольной группе (табл. 2). Была выявлена слабая недостоверная тенденция к увеличению площади и периметра и уменьшению окружности аваскулярной зоны сетчатки в группе с дисбинокулярной и анизометропической амблиопией по сравнению с контрольной группой.

Корреляционный анализ анатомо-оптических данных и сосудистых параметров заднего полюса глаз пациентов с амблиопией различного генеза показал следующее: не выявлено взаимосвязи ПЗО и параметров остроты зрения (МКОЗ) с FAZ area ($r=0,08$, $r=0,23$), FAZ perimeter ($r=-0,004$, $r=0,12$) и FAZ circularity ($r=0,39$, $r=0,05$). Также не получено значимых корреляционных связей между МКОЗ и ПЗО с плотностью поверхностного сосудистого сплетения сетчатки в фовеа ($r=-0,19$, $r=-0,08$), с плотностью глубокого сосудистого сплетения сетчатки в фовеа ($r=-0,25$, $r=-0,07$) и с плотностью хориокапилляров в фовеа ($r=-0,05$, $r=-0,11$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературы последних лет не позволил нам получить ответ на вопрос, имеются ли какие-то нарушения кровоснабжения сетчатки у пациентов с амблиопией. В ряде работ было показано, что плотность кровотока в глазах с амблиопией снижается и высказаны следующие предположения. Yilmaz I. с соавт. [11] связали снижение плотности сосудов в глазах с амблиопией со вторичными изменениями микроциркуляторного русла сетчатки или хориоидеи вследствие неполного функционального использования этих анатомических структур. Lonngi M. и другие [12] высказали свое мнение, что снижение плотности кровотока в глазах с амблиопией, возможно, связано с аномальным развитием данных оболочек из-за отсутствия нормального зрительного восприятия в раннем возрасте. Cheung C.Y. и другие [13] предположили, что полученное снижение плотности кровотока у детей с амблиопией связано с короткой осевой длиной, а не с самим патогенезом заболевания. Wong E.S. и соавт. [14] считают, что обнаруженные микрососудистые изменения в глазах с амблиопией могут быть ранним признаком изменений

в метаболизме нейронов сетчатки. Liu C. и другие [15], обследовав детей с анизометропической амблиопией, выявили снижение плотности сосудов сетчатки в глазах с амблиопией, а также на парных глазах с нормальной рефракцией. Однако авторы отмечают, что механизм этих изменений до сих пор не ясен и требуются дальнейшие исследования в этом направлении. Исследование Ye H., Wang S. и других [16] не продемонстрировало достоверных различий в плотности поверхностного и глубокого сплетения сетчатки при использовании ОКТ-ангио. Для нивелирования ошибочных результатов авторами была специально создана выборка пациентов с небольшим возрастным диапазоном (4–7 лет), и была произведена коррекция расчётов с учётом длины переднезадней оси глаза. Авторы пришли к выводу, что противоречивость результатов научных исследований по этому направлению связана с включением в группу детей с амблиопией разного вида и степени тяжести, большой вариабельностью возрастных групп и программного алгоритма выполнения ангио-ОКТ на различных приборах. Результаты нашей работы также не выявили каких-либо достоверных изменений перфузии сетчатки, взаимосвязи этих параметров со степенью амблиопии, что согласуется с рядом других зарубежных исследований [17, 18].

Другим интересным диагностическим критерием нормального функционирования центральной области сетчатки является аваскулярная зона. FAZ — это область без перфузии в центральной ямке. Площадь, периметр и округлость FAZ являются количественными показателями, отражающими структуру сосудов и плотность кровотока и измеряемыми методом ОКТ-ангио путём автоматической идентификации. В большинстве исследований у детей с анизометропической и дисбинокулярной амблиопией не было обнаружено существенной разницы в параметрах FAZ между амблиопичными и здоровыми глазами [11, 12, 17, 19, 20], что согласуется с нашими результатами. Wong E.S. и другие [14], изучая аваскулярную зону сетчатки у пациентов с амблиопией, обнаружили снижение её циркулярности. Этот параметр определяет геометрическую разветвлённость сосудистой сети и отражает выпадение микрососудов. Авторы считают, что полученное снижение циркулярности FAZ в амблиопичных глазах может свидетельствовать об ишемии

в фовеа и менее эффективном распределении кровотока, однако, взаимосвязи полученных изменений с остротой зрения, т.е. со степенью амблиопии, выявлено не было. Более позднее исследование Liu C. и других [15] продемонстрировало увеличение площади аваскулярной зоны в группе амблиопичных глаз по сравнению с контролем, но не было количественной разницы в периметре и округлости. В работе Araki S. и других [21] опубликованы совершенно противоположные результаты. Так, авторы при исследовании 15 детей с дисбинокулярной и анизометропической амблиопией выявили достоверное уменьшение площади аваскулярной зоны сетчатки по сравнению с группой контроля и недостоверное снижение по сравнению с парными глазами. В заключении авторы указали, что обнаруженные изменения вряд ли являются клинически значимыми и не имеют прямого отношения к патогенезу амблиопии.

Sampson D.M., Gong P. и другие [22] провели исследование влияния длины переднезадней оси глаза на количественную интерпретацию результатов ОКТАнгио, а именно, плотности сосудистых сплетений и параметров аваскулярной зоны сетчатки, у пациентов разных возрастных групп (67 глаз). Авторы сообщили, что относительное изменение площади FAZ варьировало от -20% до +51% после коррекции размера изображения с учётом ПЗО (от 21,27 до 28,85 мм). Таким образом, оптические искажения, связанные с разной длиной ПЗО, вносят свой существенный вклад в правильную оценку результатов.

В заключение можно сказать, что диагностическая ценность ангио-ОКТ при амблиопии так и остаётся diskutabelной. Возможно, это связано с отсутствием нормативной базы сосудистых параметров для разных возрастных групп, наличием множества структурных вариаций, которые не являются отклонением от нормы. Используя данную методику при амблиопии, нужно учитывать степень заболевания, так как при амблиопии, особенно высокой степени, возможна гипоплазия макулярной области, что будет естественно влиять и на особенности сосудистых структур. Необходимо проводить коррекцию полученных результатов с учётом анатомо-оптических параметров. На наш взгляд, если и есть какие-то отклонения сосудистой перфузии при амблиопии различного генеза, они скорее имеют вторичный характер и не являются патофизиологической основой этого заболевания.

ВЫВОДЫ

1. При дисбинокулярной и анизометропической амблиопии не выявлено достоверных изменений плотности

поверхностного и глубокого сосудистого сплетения сетчатки, слоя хориокапилляров по сравнению с парными здоровыми глазами ($p > 0,05$).

2. При дисбинокулярной и анизометропической амблиопии не выявлено достоверных изменений площади, периметра и округлости аваскулярной зоны сетчатки по сравнению с парными здоровыми глазами ($p > 0,05$).
3. Не выявлено взаимосвязи сосудистых параметров заднего полюса глаза с максимально скорректированной остротой зрения, что подтверждает отсутствие изменений в перфузии сетчатки при амблиопии и включает её роль в патогенезе данного заболевания.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: Стальмахова Р.Р. — разработка концепции и дизайна исследования, сбор, статистическая обработка данных и их интерпретация, написание текста статьи; Апаев А.В. — разработка концепции и дизайна исследования; Ларина Т.Ю. — разработка концепции и дизайна исследования.

ADDITIONAL INFO

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. Regina R. Stalmakhova — development of the concept and design of the study, collection, statistical processing of data and their interpretation, writing the text of the article; Alexander V. Apaev — development of the concept and design of the study; Tatyana Yu. Larina — development of the concept and design of the study. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gerali P.S., Flom M.C., Raab E.L. Report of the Children's Vision Screening Task Force. Schaumburg, IL: National Society to Prevent Blindness, 1990.
2. Gilbert C., Foster A. Childhood blindness in the context of VISION 2020 — the right to sight // Bull World Health Organ. 2001. Vol. 79, N 3. P. 227–232.

3. Yekta A., Hooshmand E., Saatchi M., et al. Global Prevalence and Causes of Visual Impairment and Blindness in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis // *J Curr Ophthalmol*. 2022. Vol. 34, N 1. P. 1–15. doi: 10.4103/joco.joco_135_21
4. Fu Z., Hong H., Su Z., et al. Global prevalence of amblyopia and disease burden projections through 2040: a systematic review and meta-analysis // *Br J Ophthalmol*. 2020. Vol. 104, N 8. P. 1164–1170. doi: 10.1136/bjophthalmol-2019-314759
5. Аветисов Э.С. Дисбинокулярная амблиопия и ее лечение. Москва: Медицина, 1968.
6. Bi H., Zhang B., Tao X., et al. Neuronal responses in visual area V2 (V2) of macaque monkeys with strabismic amblyopia // *Cereb Cortex*. 2011. Vol. 21, N 9. P. 2033–2045. doi: 10.1093/cercor/bhq272
7. Movshon J.A., Eggers H.M., Gizzi M.S., et al. Effects of early unilateral blur on the macaque's visual system. III. Physiological observations // *J Neurosci*. 1987. Vol. 7, N 5. P. 1340–1351. doi: 10.1523/JNEUROSCI.07-05-01340.1987
8. Shooner C., Hallum L.E., Kumbhani R.D., et al. Population representation of visual information in areas V1 and V2 of amblyopic macaques // *Vision Res*. 2015. N 114. P. 56–67. doi: 10.1016/j.visres.2015.01.012
9. Kumaran S.E., Khadka J., Baker R., Pesudovs K. Patient-reported outcome measures in amblyopia and strabismus: a systematic review // *Clin Exp Optom*. 2018. Vol. 101, N 4. P. 460–484. doi: 10.1111/cxo.12553
10. Chen H.S., Liu C.H., Lu D.W. Comparison of glaucoma diagnostic accuracy of macular ganglion cell complex thickness based on nonhighly myopic and highly myopic normative database // *Taiwan J Ophthalmol*. 2016. Vol. 6, N 1. P. 15–20. doi: 10.1016/j.tjo.2016.01.001
11. Yilmaz I., Ocak O.B., Yilmaz B.S., et al. Comparison of quantitative measurement of foveal avascular zone and macular vessel density in eyes of children with amblyopia and healthy controls: an optical coherence tomography angiography study // *J AAPOS*. 2017. Vol. 21, N 3. P. 224–228. doi: 10.1016/j.jaapos.2017.05.002
12. Lonngi M., Velez F.G., Tsui I., et al. Spectral-Domain Optical Coherence Tomographic Angiography in Children With Amblyopia // *JAMA Ophthalmol*. 2017. Vol. 135, N 10. P. 1086–1091. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2017.3423
13. Cheung C.Y., Li J., Yuan N., et al. Quantitative retinal microvasculature in children using swept-source optical coherence tomography: the Hong Kong Children Eye Study // *Br J Ophthalmol*. 2018. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-312413
14. Wong E.S., Zhang X.J., Yuan N., et al. Association of Optical Coherence Tomography Angiography Metrics With Detection of Impaired Macular Microvasculature and Decreased Vision in Amblyopic Eyes: The Hong Kong Children Eye Study // *JAMA Ophthalmol*. 2020. Vol. 138, N 8. P. 858–865. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2020.2220
15. Liu C., Zhang Y., Gu X., et al. Optical coherence tomographic angiography in children with anisometropic amblyopia // *BMC Ophthalmol*. 2022. Vol. 22, N 1. P. 269. doi: 10.1186/s12886-022-02486-9
16. Ye H., Wang S., Zhang Y., et al. Microvasculature evaluation of anisometropic amblyopia children by Angio-OCT // *Sci Rep*. 2023. Vol. 13, N 1. P. 2780. doi: 10.1038/s41598-023-29816-1
17. Demirayak B., Vural A., Onur I.U., et al. Analysis of Macular Vessel Density and Foveal Avascular Zone Using Spectral-Domain Optical Coherence Tomography Angiography in Children With Amblyopia // *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2019. Vol. 56, N 1. P. 55–59. doi: 10.3928/01913913-20181003-02
18. Pujari A., Chawla R., Mukhija R., et al. Assessment of macular vascular plexus density using optical coherence tomography angiography in cases of strabismic amblyopia // *Indian J Ophthalmol*. 2019. Vol. 67, N 4. P. 520–521. doi: 10.4103/ijo.IJO_1069_18
19. Karabulut M., Karabulut S., Sül S., Karalezli A. Microvascular changes in amblyopic eyes detected by optical coherence tomography angiography // *J AAPOS*. 2019. Vol. 23, N 3. P. 155.e1–155.e4. doi: 10.1016/j.jaapos.2018.12.009
20. Doğruiz S., Yilmazoğlu M., Kızıltoprak H., et al. Quantitative analysis of retinal microcirculation in children with hyperopic anisometropic amblyopia: an optical coherence tomography angiography study // *J AAPOS*. 2019. Vol. 23, N 4. P. 201.e1–201.e5. doi: 10.1016/j.jaapos.2019.01.017
21. Araki S., Miki A., Goto K., et al. Foveal avascular zone and macular vessel density after correction for magnification error in unilateral amblyopia using optical coherence tomography angiography // *BMC Ophthalmol*. 2019. Vol. 19, N 1. P. 171. doi: 10.1186/s12886-019-1177-z
22. Sampson D.M., Gong P., An D., et al. Axial Length Variation Impacts on Superficial Retinal Vessel Density and Foveal Avascular Zone Area Measurements Using Optical Coherence Tomography Angiography // *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017. Vol. 58, N 7. P. 3065–3072. doi: 10.1167/iovs.17-21551

REFERENCES

1. Gerali PS, Flom MC, Raab EL. *Report of the Children's Vision Screening Task Force*. Schaumburg, IL: National Society to Prevent Blindness; 1990.
2. Gilbert C, Foster A. Childhood blindness in the context of VISION 2020 — the right to sight. *Bull World Health Organ*. 2001;79(3):227–232.
3. Yekta A, Hooshmand E, Saatchi M, et al. Global Prevalence and Causes of Visual Impairment and Blindness in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Curr Ophthalmol*. 2022;34(1):1–15. doi: 10.4103/joco.joco_135_21
4. Fu Z, Hong H, Su Z, et al. Global prevalence of amblyopia and disease burden projections through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Br J Ophthalmol*. 2020;104(8):1164–1170. doi: 10.1136/bjophthalmol-2019-314759
5. Aветисов ES. *Disbinokulyarnaya ambliopiya i ee lechenie*. Moscow: Meditsina; 1968. (In Russ).
6. Bi H, Zhang B, Tao X, et al. Neuronal responses in visual area V2 (V2) of macaque monkeys with strabismic amblyopia. *Cereb Cortex*. 2011;21(9):2033–2045. doi: 10.1093/cercor/bhq272
7. Movshon JA, Eggers HM, Gizzi MS, et al. Effects of early unilateral blur on the macaque's visual system. III. Physiological observations. *J Neurosci*. 1987;7(5):1340–1351. doi: 10.1523/JNEUROSCI.07-05-01340.1987
8. Shooner C, Hallum LE, Kumbhani RD, et al. Population representation of visual information in areas V1 and V2 of amblyopic macaques. *Vision Res*. 2015;114:56–67. doi: 10.1016/j.visres.2015.01.012
9. Kumaran SE, Khadka J, Baker R, Pesudovs K. Patient-reported outcome measures in amblyopia and strabismus: a systematic review. *Clin Exp Optom*. 2018;101(4):460–484. doi: 10.1111/cxo.12553
10. Chen HS, Liu C, Lu DW. Comparison of glaucoma diagnostic accuracy of macular ganglion cell complex thickness based on

nonhighly myopic and highly myopic normative database. *Taiwan J Ophthalmol.* 2016;6(1):15–20. doi: 10.1016/j.tjo.2016.01.001

11. Yilmaz I, Ocak OB, Yilmaz BS, et al. Comparison of quantitative measurement of foveal avascular zone and macular vessel density in eyes of children with amblyopia and healthy controls: an optical coherence tomography angiography study. *J AAPOS.* 2017;21(3):224–228. doi: 10.1016/j.jaapos.2017.05.002

12. Lonngi M, Velez FG, Tsui I, et al. Spectral-Domain Optical Coherence Tomographic Angiography in Children With Amblyopia. *JAMA Ophthalmol.* 2017;135(10):1086–1091. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2017.3423

13. Cheung CY, Li J, Yuan N, et al. Quantitative retinal microvasculature in children using swept-source optical coherence tomography: the Hong Kong Children Eye Study. *Br J Ophthalmol.* 2018;bjophthalmol-2018-312413. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-312413

14. Wong ES, Zhang XJ, Yuan N, et al. Association of Optical Coherence Tomography Angiography Metrics With Detection of Impaired Macular Microvasculature and Decreased Vision in Amblyopic Eyes: The Hong Kong Children Eye Study. *JAMA Ophthalmol.* 2020;138(8):858–865. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2020.2220

15. Liu C, Zhang Y, Gu X, et al. Optical coherence tomographic angiography in children with anisometropic amblyopia. *BMC Ophthalmol.* 2022;22(1):269. doi: 10.1186/s12886-022-02486-9

16. Ye H, Wang S, Zhang Y, et al. Microvasculature evaluation of anisometropic amblyopia children by Angio-OCT. *Sci Rep.* 2023;13(1):2780. doi: 10.1038/s41598-023-29816-1

17. Demirayak B, Vural A, Onur IU, et al. Analysis of Macular Vessel Density and Foveal Avascular Zone Using Spectral-Domain Optical Coherence Tomography Angiography in Children With Amblyopia. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 2019;56(1):55–59. doi: 10.3928/01913913-20181003-02

18. Pujari A, Chawla R, Mukhija R, et al. Assessment of macular vascular plexus density using optical coherence tomography angiography in cases of strabismic amblyopia. *Indian J Ophthalmol.* 2019;67(4):520–521. doi: 10.4103/ijo.IJO_1069_18

19. Karabulut M, Karabulut S, Sül S, Karalezli A. Microvascular changes in amblyopic eyes detected by optical coherence tomography angiography. *J AAPOS.* 2019;23(3):155.e1–155.e4. doi: 10.1016/j.jaapos.2018.12.009

20. Doğruzi S, Yilmazoğlu M, Kızıltoprak H, et al. Quantitative analysis of retinal microcirculation in children with hyperopic anisometropic amblyopia: an optical coherence tomography angiography study. *J AAPOS.* 2019;23(4):201.e1–201.e5. doi: 10.1016/j.jaapos.2019.01.017

21. Araki S, Miki A, Goto K, et al. Foveal avascular zone and macular vessel density after correction for magnification error in unilateral amblyopia using optical coherence tomography angiography. *BMC Ophthalmol.* 2019;19(1):171. doi: 10.1186/s12886-019-1177-z

22. Sampson DM, Gong P, An D, et al. Axial Length Variation Impacts on Superficial Retinal Vessel Density and Foveal Avascular Zone Area Measurements Using Optical Coherence Tomography Angiography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2017;58(7):3065–3072. doi: 10.1167/iov.17-21551

ОБ АВТОРАХ

* **Стальмахова Регина Расуловна**, к.м.н.;

адрес: 105062 Россия, Москва, ул. Садовая Черногорязская, д.14/19, стр.1;

ORCID: 0000-0002-8383-0127

eLibrary SPIN: 1032-8283;

e-mail: reginahubieva@mail.ru

Апаев Александр Вячеславович, научный сотрудник;

ORCID: 0000-0001-7669-1256;

e-mail: doc229@mail.ru

Ларина Татьяна Юрьевна, к.м.н.;

ORCID: 0000-0002-7621-4190;

eLibrary SPIN: 8715-0625;

e-mail: tlpenguin@mail.ru

ABOUT AUTHORS

* **Regina R. Stalmakhova**, MD, Cand. Sci. (Med.);

address: 14/19, Sadovaya Chernogryazskaya Street. 105062, Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0002-8383-0127;

eLibrary SPIN: 1032-8283;

e-mail: reginahubieva@mail.ru

Alexander V. Apaev, MD, researcher;

ORCID: 0000-0001-7669-1256;

e-mail: doc229@mail.ru

Tatyana Yu. Larina, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0002-7621-4190;

eLibrary SPIN: 8715-0625;

e-mail: tlpenguin@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author