

# Особенности фовеальной аваскулярной зоны у детей с активной ретинопатией недоношенных по данным оптической когерентной томографии в ангиорежиме



И.Г. Трифаненкова



А.В. Терещенко



Е.В. Ерохина

Калужский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ул. Святослава Федорова, 5, Калуга, 248007, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

## Офтальмология. 2023;20(1):112–119

**Цель** — изучить особенности фовеальной аваскулярной зоны у детей с активной ретинопатией недоношенных по данным оптической когерентной томографии в ангиорежиме. **Пациенты и методы.** ОНТ-А выполнена у 37 недоношенных детей (37 глаз) с активной РН: при 1–2-й стадиях — на 14 глазах (8 — с благоприятным типом течения, 6 — с неблагоприятным), при 3-й стадии — на 16 глазах (6 — с благоприятным типом течения, 10 — с неблагоприятным), при задней агрессивной РН — на 7 глазах (4 — на стадии ранних клинических проявлений, 3 — на стадии манифестации). Пациенты с 1 и 2-й стадиями активной РН были объединены в одну группу ввиду сходных полученных данных. Контролем послужили данные ОНТ-А, проведенной 10 недоношенным детям без признаков РН. **Результаты.** На 1–2-й стадиях при благоприятном типе течения у детей с соматическим состоянием средней степени тяжести в площади фовеальной аваскулярной зоны (ФАЗ) статистически достоверные различия в сравнении с контрольными показателями не определены. У детей с тяжелым состоянием ФАЗ была значительно расширена, что сопровождалось достоверным снижением плотности капилляров в фовеа. При неблагоприятном типе течения отмечалось достоверное уменьшение размеров ФАЗ, а также незначительное снижение плотности капилляров поверхностного сплетения в фовеа. На 3-й стадии с благоприятным типом течения регистрировалось расширение ФАЗ, уменьшение плотности капилляров в фовеа в поверхностном и глубоком сплетениях, значения плотности капилляров в парафовеа были незначительно увеличены. На 3-й стадии с неблагоприятным течением у детей, родившихся на сроке гестации 29–32 недели, ФАЗ была расширена. У детей, рожденных на сроке гестации 25–28 недель, регистрировалось достоверное уменьшение размеров ФАЗ по сравнению с детьми с большим сроком гестации, а также с благоприятным типом течения 3 стадии. На стадии ранних клинических проявлений задней агрессивной РН ФАЗ отсутствовала, в нее прорастали сосуды, которые формировали шунты и зоны интратретиальной неоваскуляризации в виде «клубков». На стадии манифестации задней агрессивной РН определялось грубое нарушение архитектоники микроциркуляторного русла. Как и на стадии ранних клинических проявлений, ФАЗ отсутствовала, в нее прорастали шунтирующие сосуды. **Заключение.** Метод ОНТ в ангиорежиме показал высокую информативность в отношении особенностей фовеальной аваскулярной зоны у детей с различными формами, стадиями и типами течения активной РН. Наибольшую ценность для клинической практики представляют характеристики ФАЗ при неблагоприятном типе течения заболевания. Их выявление на ранних стадиях патологического процесса позволит своевременно определить правильную тактику и провести необходимое лечение.

**Ключевые слова:** фовеальная аваскулярная зона, активная ретинопатия недоношенных, оптическая когерентная томография в ангиорежиме

**Для цитирования:** Трифаненкова И.Г., Терещенко А.В., Ерохина Е.В. Особенности фовеальной аваскулярной зоны у детей с активной ретинопатией недоношенных по данным оптической когерентной томографии в ангиорежиме. *Офтальмология.* 2023;20(1):112–119. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-1-112-119>

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

**Конфликт интересов отсутствует**



# Features of the Foveal Avascular Zone in Children with Active Retinopathy of Prematurity According to Optical Coherence Tomography in Angio Mode

I.G. Trifanenkova, A.V. Tereshchenko, E.V. Yerokhina

Kaluga branch of the S.Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Svyatoslava Fedorova str., 5, Kaluga, 248007, Russian Federation

## ABSTRACT

**Ophthalmology in Russia. 2023;20(1):112–119**

**The purpose** — to study the features of the foveal avascular zone (FAZ) in children with active retinopathy of prematurity according to the data of optical coherence tomography in angio-mode. **Patients and methods.** OCT-A was performed on 37 premature infants (37 eyes) with active ROP: at stages 1–2 — in 14 eyes (8 — with a favorable current type, 6 — with an unfavorable current), at stage 3 — in 16 eyes (6 — with a favorable type, 10 — with unfavorable), with aggressive posterior ROP — in 7 eyes (4 — at the stage of early clinical manifestations, 3 — at the stage of manifestation). Patients with stages 1 and 2 of active ROP were combined into one group due to similar findings. The control was the data of OCT-A performed on 10 premature infants without signs of ROP. **Results.** At 1–2 stages with a favorable type in children with a somatic state of moderate severity in the FAZ area, statistically significant differences in comparison with the control parameters were not determined. In children with a severe condition, FAZ was significantly expanded, which was accompanied by a significant decrease in the density of capillaries in the fovea. With an unfavorable type, a significant decrease in the size of the FAZ was noted, as well as a slight decrease in the density of the capillaries of the superficial plexus in the fovea. At stage 3 with a favorable type, an expansion of the FAZ, a decrease in the density of capillaries in the fovea in the superficial and deep plexus were recorded, and the values of the density of capillaries in the parafovea were slightly increased. At 3 stages with an unfavorable course in children born at a gestational age of 29–32 weeks, the FAZ was expanded. In children born at a gestational age of 25–28 weeks, a significant decrease in the size of the FAZ was recorded in comparison with children with a long gestation period, as well as those with a favorable course of stage 3. At the stage of early clinical manifestations of the posterior aggressive ROP, the FAZ was absent; vessels grew into it, which formed shunts and zones of intraretinal neovascularization in the form of “tangles”. At the stage of manifestation of the posterior aggressive ROP, a gross violation of the architectonics of the microvasculature was determined. As at the stage of early clinical manifestations, FAZ was absent; shunt vessels grew into it. **Conclusion.** The OCT method in angio-mode has showed high information content in studying the features of the foveal avascular zone in children with various forms, stages and types of active ROP. The characteristics of FAZ with an unfavorable type of the disease are of the greatest value for clinical practice. Their identification at the early stages of the pathological process will make it possible to timely determine the correct tactics and carry out the necessary treatment.

**Keywords:** foveal avascular zone, active retinopathy of prematurity, optical coherence tomography in angio-mode

**For citation:** Trifanenkova I.G., Tereshchenko A.V., Yerokhina E.V. Features of the Foveal Avascular Zone in Children with Active Retinopathy of Prematurity According to Optical Coherence Tomography in Angio Mode. *Ophthalmology in Russia*. 2023;20(1):112–119. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2023-1-112-119>

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

**There is no conflict of interests**

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Фовеа — наиболее чувствительная зона сетчатки в центре заднего полюса глаза, которая обеспечивает наивысшее центральное зрение. Это происходит за счет оптимальной конфигурации компонентов сетчатки, в частности, вертикально расположенных вытянутых колбочек, отделенных друг от друга радиальными волокнами клеток Мюллера, что уменьшает рассеивание света.

Внутренние слои сетчатки, смещенные эксцентрично от фовеа, формируют морфологическую ямку — фовальную аваскулярную зону (ФАЗ), для которой характерно отсутствие кровеносных сосудов [1].

Ткань сетчатой оболочки глаза одной из последних в эмбриогенезе проходит процесс васкуляризации, который начинается через 14–16 недель после зачатия [2]. Пока кровеносные сосуды прорастают в сетчатку, антипролиферативные и антиангиогенные факторы, сконцентрированные в пределах фовальной области,

предотвращают распространение капилляров в зарождающуюся фовеа с образованием ФАЗ [3].

Имеющиеся в настоящее время данные показывают, что интервал с 24-й до 27-й недели после зачатия является критическим для формирования фовеа, в том числе для перифовеального сосудистого сплетения и фовальной ямки [2]. Любое нарушение развития в этот критический период может повлиять в будущем на остроту зрения. Данное обстоятельство указывает на актуальность тщательного исследования фовальной зоны сетчатки у недоношенных детей, особенно с ретинопатией недоношенных (РН).

Метод оптической когерентной томографии в ангиорежиме (ОКТ-А) дает возможность детально изучить зону фовеа, включая ФАЗ, у детей с активной РН. Полученные данные могут иметь важное клиническое значение для прогнозирования и ранней диагностики неблагоприятного течения заболевания с высоким риском прогрессирования, что обязательно требует проведения лечебных мероприятий во избежание неблагоприятных исходов [4].

I.G. Trifanenkova, A.V. Tereshchenko, E.V. Yerokhina

Contact information: Trifanenkova Irina G. [nauka@eye-kaluga.com](mailto:nauka@eye-kaluga.com)

113

**Цель** — изучить особенности фовеальной аваскулярной зоны у детей с активной ретинопатией недоношенных по данным оптической когерентной томографии в ангиорегиме.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

ОКТ-А выполнена у 37 недоношенных детей (37 глаз) с активной РН: при 1–2-й стадиях — на 14 глазах (8 — с благоприятным типом течения, 6 — с неблагоприятным), при 3-й стадии — на 16 глазах (6 — с благоприятным типом течения, 10 — с неблагоприятным), при задней агрессивной РН — на 7 глазах (4 — на стадии ранних клинических проявлений, 3 — на стадии манифестации). Пациенты с 1-й и 2-й стадиями активной РН были объединены в одну группу ввиду сходных полученных данных.

Стадия и тип течения патологического процесса определяли при помощи комплексного офтальмологического обследования, включавшего проведение обратной офтальмоскопии, цифровой ретиноскопии и морфометрии, на основании клиничко-морфометрической классификации активной РН [5, 6].

Дети, вошедшие в исследование, родились на сроке гестации 25–32 недели с массой тела при рождении

680–1750 г. Возраст на момент исследования составил 6–11 недель, что соответствовало 33–39-й неделе постконцептуального возраста (ПКВ).

Контролем послужили данные ОКТ-А, проведенной у 10 недоношенных детей без признаков РН в возрасте 5–9 недель (36–39-я неделя ПКВ), которые родились на 30–34-й неделе гестации с весом 900–2030 грамм.

Обследование проводили на приборе RTVue XR Avanti Angiovue (Optovue, США). Оценивали форму, размеры (площадь и периметр) ФАЗ, наличие в ней сосудов, плотность капилляров в поверхностном и глубоком сосудистом сплетении в фовеа и парафовеа, рассчитывали индекс ациркулярности ФАЗ.

У всех детей для анализа использовались высококачественные изображения одного глаза, а при одинаковом качестве изображения в обоих глазах анализируемый глаз выбирали случайным образом.

Исследование осуществлялось после получения письменного информированного добровольного согласия от родителей или законных представителей ребенка под контролем анестезиолога-реаниматолога.

У детей с благоприятным течением 1–2-й стадии результаты анализировались с учетом общего

**Таблица 1.** Средние значения ( $M \pm m$ ) количественных показателей ОКТ в ангиорегиме у детей с различными стадиями и типами течения активной РН и недоношенных без РН

**Table 1.** Average values ( $M \pm m$ ) of quantitative OCT indicators in angioregime in children with different stages and types of active PH and premature infants without ROP

Показатель Indicator	Недон. без РН Premature babies without ROP	1–2 стадии 1–2 stages			3 стадия Stage 3			Задняя агрессивная РН Posterior aggressive ROP		
		Благоприятный тип Favorable type (8)		Неблагоприятный тип Unfavorable type	Благоприятный тип Favorable type	Неблагоприятный тип Unfavorable type (10)		Ранние стадии Early stages	Стадия манифест. The stage of manifestation	
N (кол-во глаз) N (number of eyes)	10	Сред. сомат. состояние Average somatic condition 4	Тяж. сомат. состояние Severe somatic condition 4	6	6	29–32 нед. weeks 5	25–28 нед. weeks 5	4	3	
Площадь ФАЗ, мм <sup>2</sup> Area FAZ, mm <sup>2</sup>	0,340 ± 0,010	0,382 ± 0,010	0,795 ± 0,020 <sup>1,3</sup>	0,105 ± 0,020 <sup>1,2</sup>	0,427 ± 0,090	0,403 ± 0,121	0,054 ± 0,060 <sup>2,4</sup>	0	0	
Периметр ФАЗ, мм Perimeter FAZ, mm	2,235 ± 0,050	2,395 ± 0,050	3,907 ± 0,070 <sup>1,3</sup>	1,155 ± 0,120 <sup>1,2</sup>	2,613 ± 0,230	2,692 ± 0,370	0,930 ± 0,050 <sup>2,4</sup>	0	0	
Плотность сосудов поверхностного сплетения, % Density of vessels of the superficial plexus, %	Фовеа Fovea	35,70 ± 1,54	24,70 ± 0,47 <sup>1</sup>	7,20 ± 0,59 <sup>1,3</sup>	33,20 ± 0,89	27,90 ± 3,28	28,20 ± 6,47	38,80 ± 0,65	40,70 ± 0,31	37,70 ± 0,20
	Парафовеа Parafovea	40,10 ± 3,40	40,40 ± 0,40	36,50 ± 1,93	36,98 ± 0,42	42,30 ± 1,39	42,00 ± 0,78	45,90 ± 0,44	44,40 ± 1,42	45,40 ± 1,20
Плотность сосудов глубокого сплетения, % Density of deep plexus vessels, %	Фовеа Fovea	32,70 ± 0,67	33,70 ± 0,50	6,60 ± 0,80 <sup>1,3</sup>	30,20 ± 1,81	29,20 ± 2,81	24,20 ± 1,81	45,10 ± 1,05 <sup>1</sup>	42,00 ± 1,50 <sup>1</sup>	39,00 ± 1,50 <sup>1</sup>
	Парафовеа Parafovea	38,60 ± 1,30	40,00 ± 1,30	38,80 ± 1,58	32,90 ± 1,69	42,60 ± 0,92	36,90 ± 1,79	48,40 ± 0,50	47,50 ± 1,65 <sup>1</sup>	49,50 ± 1,30 <sup>1</sup>

Примечание: <sup>1</sup> — достоверные различия с контрольной группой (недоношенные без РН) ( $p < 0,05$ ); <sup>2</sup> — достоверные различия между благоприятным и неблагоприятным типом течения РН ( $p < 0,05$ ); <sup>3</sup> — достоверные различия по тяжести соматического состояния ( $p < 0,05$ ); <sup>4</sup> — достоверные различия по степени незрелости (гестационный срок при рождении) ( $p < 0,05$ ).

Note: <sup>1</sup> — significant differences with the control group (premature without ROP) ( $p < 0.05$ ); <sup>2</sup> — significant differences between favorable and unfavorable types of flow PH ( $p < 0.05$ ); <sup>3</sup> — significant differences in the severity of the physical condition ( $p < 0.05$ ); <sup>4</sup> — significant differences in the degree of immaturity (gestational period at birth) ( $p < 0.05$ ).

соматического состояния ребенка в неонатальном периоде (от рождения ребенка до 28 дней жизни) согласно данным выписки из перинатального центра. При оценке соматического состояния учитывались следующие параметры: тяжесть гипоксически-ишемического поражения ЦНС (в том числе ВЖК 2-й и 3-й степени), наличие внутриутробной инфекции (в том числе внутриутробной пневмонии), некротического энтероколита, тяжелой анемии. При наличии двух и более параметров соматическое состояние условно характеризовалось как тяжелое, одного — как средней степени тяжести.

У детей с неблагоприятным течением 3-й стадии, вошедших в исследование, результаты анализировались в зависимости от срока гестации при рождении: 25–28 недель и 29–32 недели.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программы Statistica 13.3 (Tibco Software Inc., США). Для характеристики количественных показателей ОКТ-А использовались среднее значение ( $M$ ) и средняя ошибка среднего ( $m$ ). Для попарного сравнения применяли непараметрический критерий Манна — Уитни. Статистически значимым считали уровень значимости  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Количественные показатели ОКТ-А пациентов с активной РН, включенных в исследование, представлены в таблице 1.

На 1–2-й стадиях при благоприятном типе течения у детей с соматическим состоянием средней степени тяжести площадь ФАЗ составила  $0,382 \pm 0,010$  мм<sup>2</sup>, периметр —  $2,395 \pm 0,050$  мм. Статистически достоверные различия в сравнении с контрольными показателями не были определены ( $p > 0,05$ ). У детей с тяжелым состоянием ФАЗ была значительно расширена (площадь в среднем составляла  $0,795 \pm 0,020$  мм<sup>2</sup>,  $p = 0,017$ , периметр —  $3,907 \pm 0,070$  мм,  $p = 0,021$ ), что сопровождалось достоверным снижением плотности капилляров в фовеа: в поверхностном сплетении — до  $7,20 \pm 0,59$  ( $p = 0,002$ ), в глубоком — до  $6,60 \pm 0,80$  ( $p = 0,009$ ).

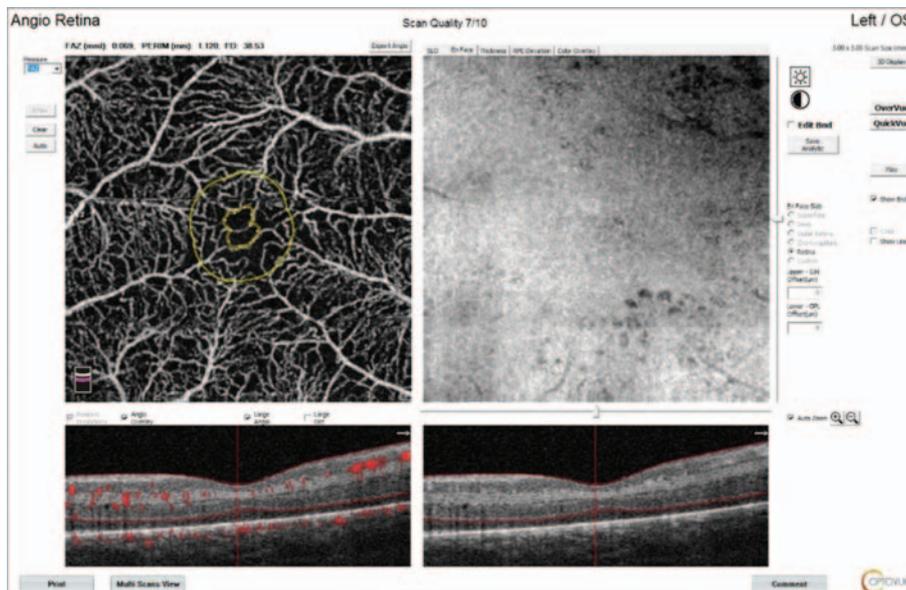
На 1–2-й стадиях с неблагоприятным течением отмечалось достоверное уменьшение размеров ФАЗ (площадь — до  $0,105 \pm 0,020$  мм<sup>2</sup>, периметр — до  $1,155 \pm 0,120$  мм;  $p = 0,014$ ), а также незначительное снижение плотности капилляров поверхностного сплетения в фовеа ( $33,20 \pm 0,89$ ) и парафовеа ( $36,98 \pm 0,42$ ) в сравнении с контролем ( $p > 0,05$ ).

Особое состояние капиллярного русла в фовеальной зоне наблюдалось у крайне незрелых детей. Так, у младенцев, рожденных на сроке гестации 25–26 недель, регистрировалось прорастание сосудов через ФАЗ при сохраненной фовеальной депрессии (рис. 1).

На 3-й стадии с благоприятным типом течения регистрировалось расширение ФАЗ (площадь —  $0,427 \pm 0,090$  мм<sup>2</sup>, периметр —  $2,613 \pm 0,230$  мм) (рис. 2), уменьшение плотности капилляров в фовеа в поверхностном и глубоком сплетении ( $27,90 \pm 3,28$  и  $29,20 \pm 2,81$  соответственно), значения плотности капилляров в парафовеа были незначительно увеличены ( $42,30 \pm 1,39$  и  $42,60 \pm 0,92$ ). Все перечисленные показатели не имели достоверных различий с контрольными значениями ( $p > 0,05$ ).

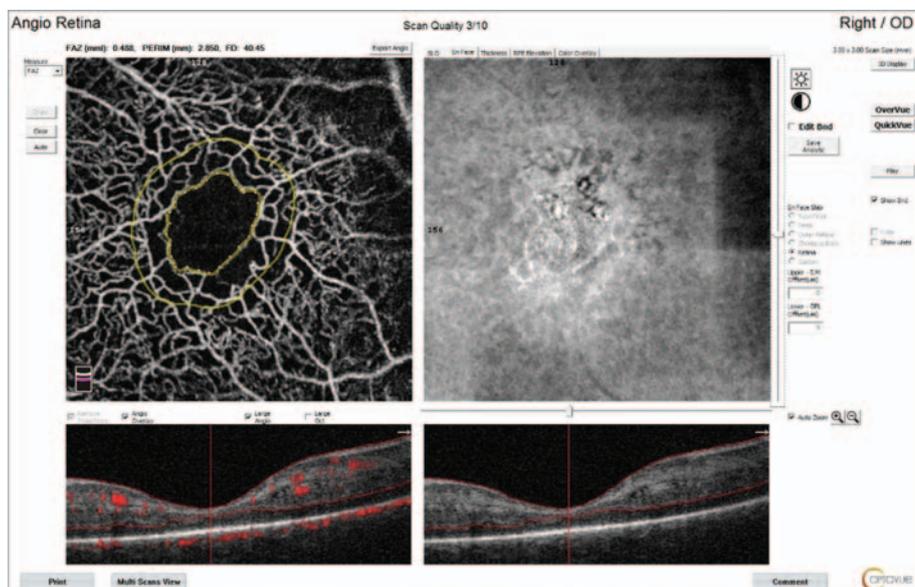
На 3-й стадии с неблагоприятным течением у детей, родившихся на сроке гестации 29–32 недели, ФАЗ была расширена (площадь —  $0,403 \pm 0,121$  мм<sup>2</sup>, периметр —  $2,692 \pm 0,370$  мм). Показатели плотности поверхностного и глубокого сплетения достоверных различий с контрольными данными не имели ( $p > 0,05$ ). По краю ФАЗ на двух глазах с субфовеальной отслойкой нейроэпителия выявлялись множественные зоны эпиретинальной неоваскуляризации.

У детей, рожденных на сроке гестации 25–28 недель, регистрировалось достоверное уменьшение размеров ФАЗ: площадь — до  $0,054 \pm 0,060$  мм<sup>2</sup>, периметр — до  $0,930 \pm 0,050$  мм по сравнению с детьми с большим сроком гестации, а также с благоприятным типом течения 3-й стадии ( $p < 0,001$ ). Кроме того, обнаруживались аномальные шунтирующие сосуды, проходящие через ФАЗ, при выраженной кистозном отеке сетчатки (рис. 3).



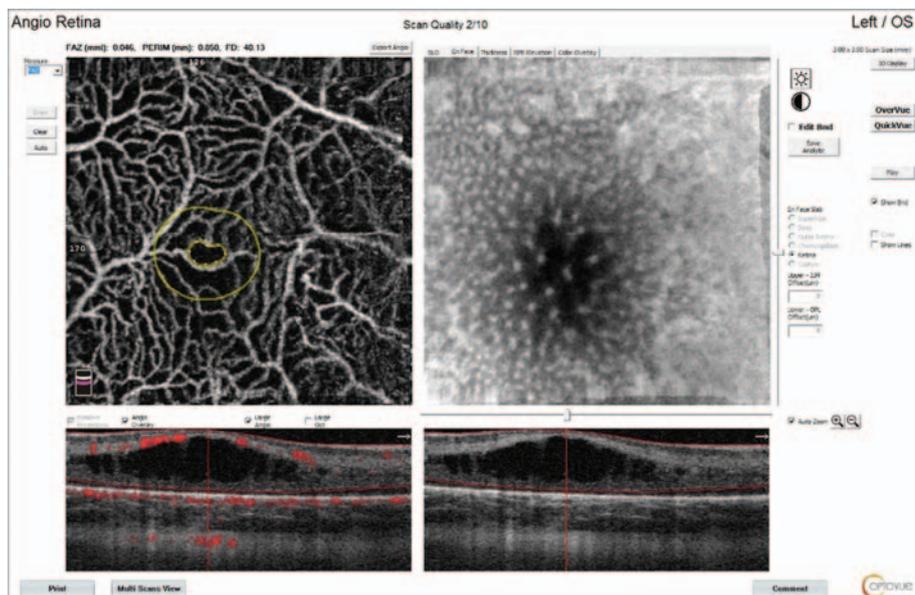
**Рис. 1.** ОКТ в ангиорежиме на 2-й стадии активной РН с неблагоприятным типом течения: уменьшение размеров ФАЗ, прорастание сосудов через ФАЗ при сохраненной фовеальной депрессии

**Fig. 1.** OCT in the angioregime at the 2nd stage of active ROP with an unfavorable type: reduction in the size of the FAZ, vascular germination through the FAZ with preserved foveal depression



**Рис. 2.** ОКТ в ангиорежиме на 3-й стадии активной РН с благоприятным типом течения при тяжелом соматическом состоянии: расширение ФАЗ

**Fig. 2.** OCT in the angioregime at the 3rd stage of active ROP with a favorable type in severe somatic condition: FAZ expansion



**Рис. 3.** ОКТ в ангиорежиме на 3-й стадии активной РН с неблагоприятным типом течения: аномальные шунтирующие сосуды, проходящие через ФАЗ, выраженный кистозный отек сетчатки

**Fig. 3.** OCT in the angioregime at the 3rd stage of active ROP with an unfavorable type: abnormal shunting vessels passing through the FAZ, pronounced cystic retinal edema

На стадии ранних клинических проявлений задней агрессивной РН ФАЗ отсутствовала, в нее прорастали сосуды, которые формировали шунты и зоны интареинальной неоваскуляризации в виде «клубков» (рис. 4).

В пределах фовеа и перифовеа участки эпиретинальной неоваскуляризации не определялись. Плотность капилляров поверхностного сплетения в фовеа и парафовеа не имела достоверных различий с контролем

( $p > 0,05$ ), в отличие от глубокого, для которого значения плотности капилляров в фовеа и парафовеа достоверно превышали контрольные ( $p = 0,021$  и  $0,019$  соответственно).

На стадии манифестации задней агрессивной РН определялось грубое нарушение архитектуры микроциркуляторного русла: расширение сосудов поверхностного и глубокого сосудистого сплетений, их хаотичная направленность, появление множественных шунтов. В перифовеа выявлялись участки с резко сниженной плотностью капилляров. Как и на стадии ранних клинических проявлений, ФАЗ отсутствовала, в нее прорастали шунтирующие сосуды.

При анализе ангиографического изображения ФАЗ у детей с 1–3-й стадиями РН (30 глаз) было выявлено, что только на 6 глазах (16,6 %) она имела правильную округлую форму. У 4 детей (13,3 %) ее форма представляла собой вытянутый в вертикальном направлении овал. Граница ФАЗ у всех детей представляла собой извилистую линию, нередко крайне причудливой конфигурации.

В связи с этим был рассчитан индекс ациркулярности ФАЗ, который отражает, насколько сильно варьирует периметр ФАЗ относительно периметра аналогичной зоны, но идеально округлой формы (табл. 2).

Как следует из таблицы 2, снижение индекса ациркулярности ФАЗ наблюдается начиная с 1–2-й стадий заболевания. При этом наименьшее значение (0,808) отмечается у пациентов с тяжелым соматическим состоянием, несмотря на благоприятный

характер течения активной РН. На 3-й стадии при обоих типах течения индекс ациркулярности показал снижение по сравнению как с контролем, так и со значениями, полученными при благоприятном течении 1–2-й стадий у пациентов с соматическим состоянием средней тяжести и при неблагоприятном течении 1–2-й стадий, что свидетельствует о более выраженных нарушениях в зоне ФАЗ на 3 стадии патологического процесса.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

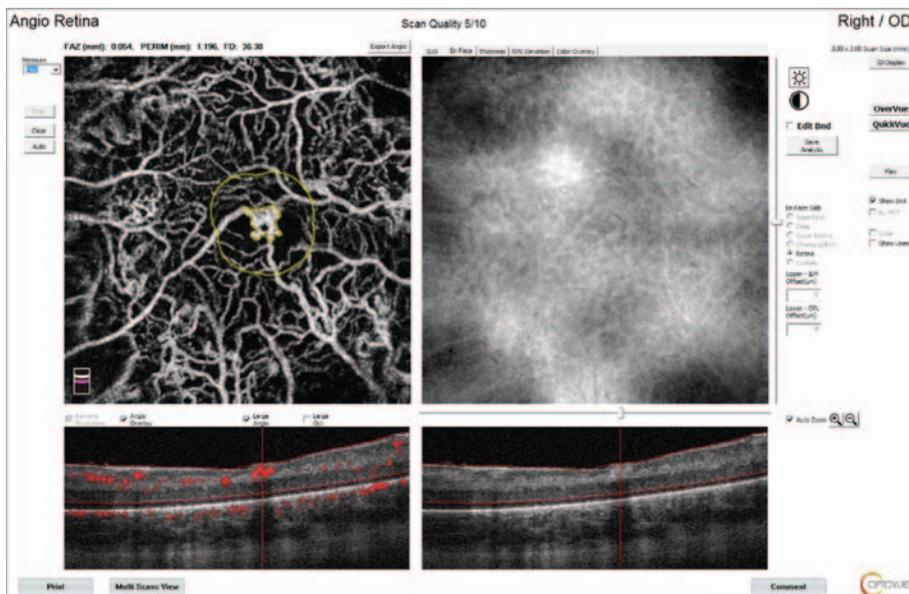
Сетчатка человека содержит два сосудистых сплетения: поверхностное, расположенное внутри слоя нервных волокон сетчатки, и глубокое, локализованное в пределах внутреннего плексиформного слоя. Эти сплетения соединены поперечными капиллярами. В фовеа оба сплетения физиологически отсутствуют, образуя ФАЗ с поверхностным плексусным пробелом диаметром около 600 мкм и глубоким — примерно 900 мкм [7].

Формирование фовеальной ямки включает центробежную миграцию нейронов внутренних слоев сетчатки и центростремительную миграцию ядер клеток колбочек при отсутствии кровеносных сосудов в ходе этого процесса [8].

В ряде исследований, проведенных методом спектральной оптической когерентной томографии (СОКТ), описано уменьшение или отсутствие фовеальной депрессии и увеличение толщины сетчатки за счет дополнительных внутренних слоев сетчатки, перекрывающих наружный ядерный слой, с маленькой или отсутствующей ФАЗ у значительного числа недоношенных детей [9–11].

В данной работе методом ОКТ-А были изучены особенности ФАЗ у детей с различными формами, стадиями и типами течения активной РН. При этом было выявлено как уменьшение ФАЗ вплоть до ее полного отсутствия, так и значительное ее расширение.

Следует отметить, что пациенты, вошедшие в исследование, отличались не только стадией и характером



**Рис. 4.** ОКТ в ангиорежиме при задней агрессивной РН: отсутствие аваскулярной зоны с прорастанием в нее сосудов, формирующих шунты и зоны интравитреальной неоваскуляризации в виде «клубнов»

**Fig. 4.** OCT in the angioregime with posterior aggressive ROP: the absence of an avascular zone with the germination of vessels forming shunts and zones of intraretinal neovascularization in the form of “tangles”

течения РН, но и соматическим статусом, а также сроком гестации на момент рождения.

На 1–2-й стадиях при благоприятном течении полученные результаты свидетельствовали о значительном влиянии соматического статуса детей на состояние микрососудистого русла фовеальной зоны. У детей с тяжелым состоянием площадь и периметр ФАЗ были достоверно больше ( $p = 0,020$ ), чем у детей с состоянием средней степени тяжести, а плотность сосудов поверхностного и глубокого сплетения в фовеа, наоборот, меньше ( $p = 0,020$ ).

На наш взгляд, это можно объяснить тем, что тяжелое состояние (гипоксически-ишемическое поражение ЦНС, внутриутробная пневмония, тяжелая анемия)

**Таблица 2.** Значения индекса ациркулярности ФАЗ, определяемой по данным ОКТ-А, у пациентов с различными формами, стадиями и типами течения активной РН

**Table 2.** Values of the FAZ acircularity index, determined according to OCT-A data, in patients with various forms, stages and types of active ROP

Показатель Indicator	Недоношенные без РН Premature babies without ROP	1–2 стадии / 1–2 stages			3 стадия / Stage 3		Задняя агрессивная РН Posterior aggressive ROP		
		Благоприятное течение (8) Favorable current (8)		Неблагоприятное течение Unfavorable current	Благоприятное течение Favorable current	Неблагоприятное течение (10) Unfavorable current (10)		Ранняя Early	Развитая манифест. Developed manifestation
N (кол-во глаз) N (number of eyes)	10	Сред. Average 4	Тяж. Severe 4	6	6	29–32 нед. weeks 5	25–28 нед. weeks 5	4	3
Площадь ФАЗ, мм <sup>2</sup> Area FAZ, mm <sup>2</sup>	0,340 ± 0,010	0,382 ± 0,010	0,795 ± 0,020	0,105 ± 0,020	0,427 ± 0,090	0,403 ± 0,121	0,054 ± 0,060	0	0
Периметр ФАЗ, мм Perimeter FAZ, mm	2,235 ± 0,050	2,395 ± 0,050	3,907 ± 0,070	1,155 ± 0,120	2,613 ± 0,230	2,692 ± 0,370	0,930 ± 0,050	0	0
Индекс ациркулярности ФАЗ Acircularity index FAZ	0,924	0,914	0,808	0,994	0,886	0,835	0,885	0	0

приводит к снижению ретиальной гемоперфузии, сокращению числа перфузируемых капилляров, их запустеванию или окклюзии [12].

Характерным для неблагоприятного течения 1–2-й стадий было уменьшение размеров ФАЗ (площади и периметра) по сравнению с благоприятным, а также с контрольными значениями недоношенных без РН ( $p < 0,05$ ).

Полученные результаты у пациентов с 3-й стадией свидетельствовали о грубом изменении микроциркуляторного русла сетчатки при неблагоприятном типе течения. Изменения структуры фовеа проявлялись значимыми различиями в зависимости от степени зрелости при рождении и характеризовались уменьшением размеров ФАЗ (площади и периметра) и увеличением плотности глубокого капиллярного сплетения у менее зрелых детей.

Отдельно считаем необходимым отметить, что в случаях расширения ФАЗ (у детей с тяжелым соматическим состоянием при благоприятном типе течения 1–2-й стадий: площадь —  $0,795 \pm 0,020$  мм<sup>2</sup>, периметр —  $3,907 \pm 0,070$  мм, при благоприятном типе течения 3-й стадии: площадь —  $0,427 \pm 0,090$  мм<sup>2</sup>, периметр —  $2,613 \pm 0,230$  мм) снижение плотности капиллярной сети поверхностного и глубокого сплетения сопровождалось запустеванием перифовеолярных капиллярных аркад.

При задней агрессивной РН, особенной форме заболевания, имеющей наиболее тяжелый и быстро прогрессирующий характер течения, регистрировалось отсутствие аваскулярной зоны с прорастанием в нее сосудов, формирующих шунты и зоны интратретинальной неоваскуляризации в виде «клубков».

Во всех сегментах в пределах перифовеа в поверхностном сосудистом сплетении визуализировались участки в виде хаотичной сети анастомозирующих капилляров (интратретинальные неоваскулярные комплексы) и множественные артериоло-венулярные шунты.

Учитывая выявленное нами разнообразие размеров и формы ФАЗ, дополнительно был рассчитан индекс ациркулярности.

Индекс ациркулярности был предложен А. Domalpally и соавт. в 2013 г. для прогнозирования риска прогрессирования географической атрофии [13]. Данный индекс принимает значения от 0,0 до 1,0. Чем ближе его значения к 0,0, тем более неправильную форму имеет изучаемая

зона, а при значениях близких к 1,0 форма зоны интереса приближается к кругу.

В дальнейшем расчет индекса ациркулярности стали использовать для количественной оценки формы ФАЗ по данным ОКТ в ангиорежиме у пациентов с диабетической ретинопатией (ДР) [14]. F.Y. Tang и соавт. показали, что чем более выражена тяжесть ДР, тем большую площадь и меньший индекс ациркулярности имеет ФАЗ. Было ими также установлено, что низкие значения индекса ациркулярности ФАЗ значительно коррелировали с более низкой остротой зрения. Кроме того, авторы предположили, что на основании значений ациркулярности ФАЗ можно количественно оценить степень повреждения микрососудов (например, ишемию макулы). По мнению этих авторов, необходимы дальнейшие исследования для изучения прогностической ценности ациркулярности ФАЗ в отношении остроты зрения у пациентов с диабетом.

На наш взгляд, снижение этого индекса говорит о нарушении правильного порядка формирования капиллярного русла у недоношенных детей и влиянии тяжелой ишемии всего сосудистого русла сетчатки, возникающей при РН, особенно у детей с тяжелым соматическим состоянием (причем и на 3-й, и на 2-й, и даже на 1-й стадии заболевания), на функциональную активность капилляров и возникновение капиллярной неперфузии в некоторых сосудах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод ОКТ в ангиорежиме показал высокую информативность в изучении особенностей фовеальной аваскулярной зоны у детей с различными формами, стадиями и типами течения активной РН.

Наибольшую ценность для клинической практики представляют характеристики ФАЗ при неблагоприятном типе течения заболевания. Их выявление на ранних стадиях патологического процесса позволит своевременно определить правильную тактику и провести необходимое лечение.

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Трифаненкова И.Г. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, редактирование; Терещенко А.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Ерохина Е.В. — сбор и обработка материала, статистическая обработка.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Mintz-Hittner H.A., Knight-Nanan D.M., Satriano D.R., Kretzer F.L. A small foveal avascular zone may be an historic mark of prematurity. *Ophthalmology*. 1999;106:1409–1413. DOI: 10.1016/S0161-6420(99)00732-0
- Yanni S.E., Wang J., Chan M., Carroll J., Farsiu S., Leffler J.N., Spencer R., Birch E.E. Foveal avascular zone and foveal pit formation after preterm birth. *Br J Ophthalmol*. 2012;96:961–966. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2012-301612
- Kozulin P., Natoli R., O'Brien K.M., Madigan M.C., Provis J.M. Differential expression of anti-angiogenic factors and guidance genes in the developing macula. *Mol Vis*. 2009;15:45–59.
- Терещенко А.В., Белый Ю.А., Трифаненкова И.Г., Терещенкова М.С. Ранняя диагностика, мониторинг и лечение ретинопатии недоношенных. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Апрель, 2013. 104 с. [Tereshchenko A.V., Belyj Yu.A., Trifanenkova I.G., Tereshchenkova M.S. Early diagnosis, monitoring and treatment of retinopathy of prematurity. 3rd ed., reprint and additional. Moscow: April, 2013. 104 p. (In Russ.)].
- Терещенко А.В., Белый Ю.А., Трифаненкова И.Г., Терещенкова М.С. Рабочая классификация ранних стадий ретинопатии недоношенных. Офтальмохирургия. 2008;1:32–34. [Tereshchenko A.V., Belyj Yu.A., Trifanenkova I.G., Tereshchenkova M.S. Working classification of early stages of retinopathy of prematurity. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery = Oftal'mokhirurgiya* 2008;1:32–34 (In Russ.)].
- Терещенко А.В., Белый Ю.А., Терещенкова М.С. Классификация задней агрессивной ретинопатии недоношенных, основанная на клинических и морфометрических критериях. *Офтальмология*. 2012;7(2):29–32. [Tereshchenko A.V., Belyj Yu.A., Tereshchenkova M.S. Classification of posterior aggressive retinopathy of prematurity, based on clinical and morphometric criteria. *Ophthalmology in Russia = Oftal'mologiya*. 2012;7(2):29–32 (In Russ.)]. DOI: 10.18008/1816-5095-2012-2-29-32
- Hussain N., Hussain A. Diametric measurement of foveal avascular zone in healthy young adults using optical coherence tomography angiography. *Int J Retina Vitreous*. 2016;12:27.
- Provis J.M., Hendrickson A.E. The foveal avascular region of developing human retina. *Arch Ophthalmol*. 2008;126:507–511. DOI: 10.1001/archoph.126.4.507

9. Maldonado R.S., O'Connell R.V., Sarin N. Dynamics of human foveal development after premature birth. *Ophthalmology*. 2011;118:2315–2325. DOI: 10.1016/j.ophtha.2011.05.028
10. Wang J, Spencer R., Leffler J.N., Birch E.E. Critical period for foveal fine structure in children with regressed retinopathy of prematurity. *Retina*. 2012;32:330–339. DOI: 10.1097/IAE.0b013e318219e685
11. Bowl W, Stieger K., Bokun M., Schweinfurth S., Holve K., Andrassi-Darida M., Lorenz B. OCT-based macular structure-function correlation in dependence on birth weight and gestational age—the Giessen Long-Term ROP Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016;57:235–241. DOI: 10.1167/iov.15-18843
12. Чернух, А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. Микроциркуляция. М.: Медицина, 1975. 117 с. [Chernukh, A.M., Aleksandrov P.N., Alekseyev O.V. Microcirculation. Moscow: Meditsina, 1975. 117 p. (In Russ.)].
13. Domalpally A., Danis, R.P., White J., Narkar A., Clemons T., Ferris F, Chew E. Circularity index as a risk factor for progression of geographic atrophy. *Ophthalmology*. 2013;120(12):2666–2671. DOI: 10.1016/j.ophtha.2013.07.047
14. Tang F.Y., Ng D.S., Lam A., Luk F, Wong R., Chan C., Mohamed S., Fong A., Lok J., Tso T., Lai F., Brelen M., Wong T.Y., Tham C.C., Cheung C.Y. Determinants of quantitative optical coherence tomography angiography metrics in patients with diabetes. *Sci Rep*. 2017;7(1):2575. DOI: 10.1038/s41598-017-02767-0

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Калужский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Трифаненкова Ирина Георгиевна  
кандидат медицинских наук, заместитель директора по научной работе  
ул. Святослава Федорова, 5, Калуга, 248007, Российская Федерация.  
<https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Калужский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Терещенко Александр Владимирович  
доктор медицинских наук, директор  
ул. Святослава Федорова, 5, Калуга, 248007, Российская Федерация.  
<https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Калужский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Ерохина Елена Владимировна  
заведующая вторым диагностическим отделением  
ул. Святослава Федорова, 5, Калуга, 248007, Российская Федерация.

## ABOUT THE AUTHORS

Kaluga branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Trifanenkova Irina G.  
PhD, deputy director for research  
Svyatoslava Fedorova str., 5, Kaluga, 248007, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Kaluga branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Tereshchenko Aleksandr V.  
MD, director  
Svyatoslava Fedorova str., 5, Kaluga, 248007, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Kaluga branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Erokhina Elena V.  
head of the second diagnostic department  
Svyatoslava Fedorova str., 5, Kaluga, 248007, Russian Federation