

Научная статья
УДК 617.735:616-053.32
doi: 10.25276/0235-4160-2021-4-21-29

Гемодинамические показатели в центральной артерии сетчатки при активной ретинопатии недоношенных и их соотношение с центральной веной сетчатки

Ирина Георгиевна Трифаненкова, Александр Владимирович Терещенко,
Елена Владимировна Ерохина

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Калужский филиал

РЕФЕРАТ

Цель. Проанализировать основные показатели гемодинамики в центральной артерии сетчатки (ЦАС), а также их взаимосвязь с гемодинамическими показателями в центральной вене сетчатки (ЦВС) в зависимости от стадии и типа течения активной ретинопатии недоношенных (РН) с применением цветового дуплексного сканирования (ЦДС). **Материал и методы.** В исследование вошли 63 недоношенных ребенка с различными стадиями активной РН и без признаков РН. 55 вошедших в исследование детей с активной РН были распределены по стадиям и типу течения заболевания. Всем детям в однородном гестационном возрасте на момент обследования – 37–38-я неделя постконцептуального возраста (ПКВ) или на 6–11-й неделе жизни было выполнено (ЦДС) сосудов глаза и орбиты в режимах цветового доплеровского картирования (ЦДК) и импульсной доплерографии (ИД). **Результаты.** Изучение особенностей гемодинамики ЦАС у недоношенных детей с активной РН показало, что прогрессирование заболевания сопровождается достоверным увеличением скорости кровотока (V_{Syst} и

V_{diast}) с каждой последующей стадией РН. У детей с неблагоприятным характером течения заболевания регистрируется более высокий индекс периферического сосудистого сопротивления по сравнению с не прогрессирующим благоприятным типом. Анализ соотношения максимальных скоростей кровотока в ЦАС и ЦВС позволил определить, в каком из сосудов наиболее выражены изменения гемодинамики в зависимости от стадии и формы активной РН. **Заключение.** Таким образом, при активной РН имеются статистически значимые изменения в таких крупных сосудах ретинального русла, как ЦАС и ЦВС. ЦДС, обладая значительным диагностическим потенциалом в оценке гемодинамических параметров, позволило получить достоверную информацию о линейной скорости кровотока и состоянии периферического сопротивления в ЦАС и их взаимосвязи с ЦВС, которая открывает перспективы для повышения точности прогноза характера течения заболевания, особенно на ранних стадиях.

Ключевые слова: цветовое дуплексное сканирование, активная ретинопатия недоношенных, гемодинамические показатели, центральная артерия сетчатки, центральная вена сетчатки ■

Для цитирования: Трифаненкова И.Г., Терещенко А.В., Ерохина Е.В. Гемодинамические показатели в центральной артерии сетчатки при активной ретинопатии недоношенных и их соотношение с центральной веной сетчатки. Офтальмохирургия. 2021;4: 21–29. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-4-21-29>

Автор, ответственный за переписку: Ирина Георгиевна Трифаненкова, nauka@mntk.kaluga.ru

ABSTRACT

Original article

Hemodynamic parameters in the central retinal artery in active retinopathy of prematurity and their relationship with the central retinal vein

Irina G. Trifanenkova, Alexander V. Tereshchenko, Elena V. Erokhina

The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Kaluga Branch, Russian Federation

Purpose. To analyze the main hemodynamic parameters in the central retinal artery, as well as their relationship with hemodynamic indicators in the central retinal vein, depending on the stage and type of active

ROP with the use of color duplex scanning. **Material and methods.** The 63 premature babies with various stages of active ROP and no signs of ROP were included in the study. The 55 children with active ROP

included in the study were distributed according to the stages and type of disease course. All children were at the same gestational age at the time of examination – 37–38 weeks of postmenstrual age or at 6–11 weeks of life. For all these children were performed color duplex scanning of the vessels of the eye and orbit in the modes of color Doppler mapping and pulsed Doppler. **Results.** The study of the hemodynamic features of the central retinal artery in premature infants with active ROP showed that the progression of the disease was accompanied by a significant increase in blood flow velocity (V_{sys} and V_{diast}) with each subsequent stage of ROP. A higher index of peripheral vascular resistance is recorded in comparison with the non-progressive favorable type for children with an unfavorable course of the disease. The analysis of the ratio of the maximum blood flow velocities in the central retinal artery and central retinal vein

made it possible to determine in which of the vessels the hemodynamic changes are most pronounced, depending on the stage and form of active ROP. **Conclusion.** Thus, there are statistically significant changes in such large vessels of the retinal bed as the central retinal artery and central retinal vein during active ROP. Color duplex scanning, having a significant diagnostic potential in assessing hemodynamic parameters, made it possible to obtain reliable information about the linear blood flow velocity and the state of peripheral resistance in the central retinal artery and their relationship with the central retinal vein. This information opens up prospects for improving the accuracy of predicting the nature of the course of the disease, especially in the early stages.

Keywords: color duplex scanning, active retinopathy of prematurity, hemodynamic parameters, central retinal artery, central retinal vein ■

For citation: Trifanenkova I.G., Tereshchenko A.V., Erohina E.V. Hemodynamic parameters in the central retinal artery in active retinopathy of prematurity and their relationship with the central retinal vein. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2021;4: 21–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2021-4-21-29>

Corresponding author: Irina G. Trifanenkova, nauka@mntk.kaluga.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Сосудистым нарушениям принадлежит ключевая роль в патогенезе и клинических проявлениях активной ретинопатии недоношенных (РН) [1]. Для детальной оценки изменений в состоянии сосудистой системы глаза при различных формах и типах течения активной РН используется комплекс высокотехнологичных методик: цифровая морфометрия, флуоресцентная ангиография глазного дна, оптическая когерентная томография в ангиорежиме [2–7].

Однако объективная оценка сосудистых изменений, помимо структурно-морфологических, требует выявления функциональных нарушений в различных сосудистых бассейнах глаза. В последнее десятилетие произошел существенный прорыв в развитии ультразвуковой диагностики сосудистой патологии глаза [8]. Исследования, характеризующие кровоток в сосудах глаза при РН, немногочисленны и носят неоднозначный характер. Кроме того, они ограничены изучением гемодинамических параметров кровотока в глазничной артерии (ГА) и центральной артерии сетчатки (ЦАС) [7, 9–11].

ЦАС является первой интраорбитальной ветвью ГА, которая входит в толщу зрительного нерва в 8–15 мм от заднего полюса глаза и в его составе достигает внутренней поверхности глазного яблока, кровоснабжая сетчатку.

Центральная вена сетчатки (ЦВС) – венозный эквивалент ЦАС, впадает в верхнюю орбитальную вену, открывающуюся в кавернозный синус. ЦВС – наиболее значимый сосуд глаза, несущий кровь от сетчатки.

В 2015 г. S. Hartenstein и соавт., используя метод цветовой доплерографии, провели проспективное исследование по количественной оценке кровотока в ЦАС и ЦВС при РН. В отличие от предыдущих, в данном исследовании, помимо артериального, изучались также пара-

метры венозного кровотока. Однако взаимосвязи гемодинамических показателей кровотока в этих сосудах с характером течения активной РН и степенью тяжести ее клинических проявлений не определялись. Кроме того, особый интерес представляет выявление соотношения степени изменения обеих составляющих ретинального кровотока (ЦАС и ЦВС) в зависимости от стадии активной РН.

ЦЕЛЬ

Проанализировать основные показатели гемодинамики в ЦАС, а также их взаимосвязь с гемодинамическими показателями в ЦВС в зависимости от стадии и типа течения активной РН с применением цветового дуплексного сканирования (ЦДС).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование вошли 63 недоношенных ребенка с различными стадиями активной РН (55 детей) и без признаков РН (8 детей) из разных регионов Российской Федерации, поступивших в Калужский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» за период 2016–2020 гг.

Срок гестации пациентов, вошедших в исследование, составлял 25–32 недели, масса тела при рождении – 680–1760 г. Основываясь на опубликованных данных о зависимости показателей кровотока в ГА от постконцептуального возраста (ПКВ), а не от продолжительности жизни [12], исследование проводили в однородном гестационном возрасте на момент обследования – 37–38-я неделя ПКВ – или на 6–11-й неделе жизни.

Распределение 55 вошедших в исследование детей с активной РН по стадиям и типу течения заболевания представлено в *таблице 1*.

Таблица 1

Распределение детей с активной РН по стадиям и типу течения заболевания

Table 1

Distribution of children with active ROP by stages and type of disease course

Стадии активной РН Stages of active ROP	Тип течения Type of disease	
	благоприятный Favorable	неблагоприятный Unfavorable
1-я стадия РН 1st stage of ROP	7	8
2-я стадия РН 2nd stage of ROP	8	8
3-я стадия РН 3rd stage of ROP	8	9
Задняя агрессивная РН Aggressive posterior ROP	7	

Исследование проводилось после получения письменного информированного добровольного согласия от родителей или законных представителей ребенка.

Комплексное офтальмологическое обследование недоношенных детей выполнялось под контролем анестезиолога-реаниматолога. Использовался ингаляционно-масочный наркоз (смесь севофлюрана, закиси азота и кислорода), не превышавший по времени 7–12 мин, под мониторным контролем функций дыхательной и сердечно-сосудистой систем ребенка.

(ЦДС) сосудов глаза и орбиты в режимах цветового доплеровского картирования (ЦДК) и импульсной доплерографии (ИД) выполнялось при помощи многофункционального ультразвукового диагностического прибора GE Logicq (GE, США) с использованием линейного датчика с частотой от 4 до 12 МГц (рис. 1). На первом этапе выполняли сканирование в В-режиме глазного яблока и ретробульбарного пространства. Визуализировали основные анатомические структуры глаза, затем проводили качественное исследование потоков сосудов заднего полюса глаза с одновременным наложением ЦДК на сканирование в В-режиме. ЦДК использовали для визуализации кровотока в центральной артерии и вене сетчатки (ЦАС и ЦВС). В этих сосудах регистрировали спектр доплеровского сдвига частот (СДСЧ) и определяли наиболее важные количественные показатели кровотока: максимальную систолическую скорость (V_{sys} , наибольшая линейная скорость потока в момент его максимального ускорения в систолу), конечную диастолическую скорость (V_{diast}) и индексы резистентности или периферического сопротивления в артериальных сосудах – RI и PI.

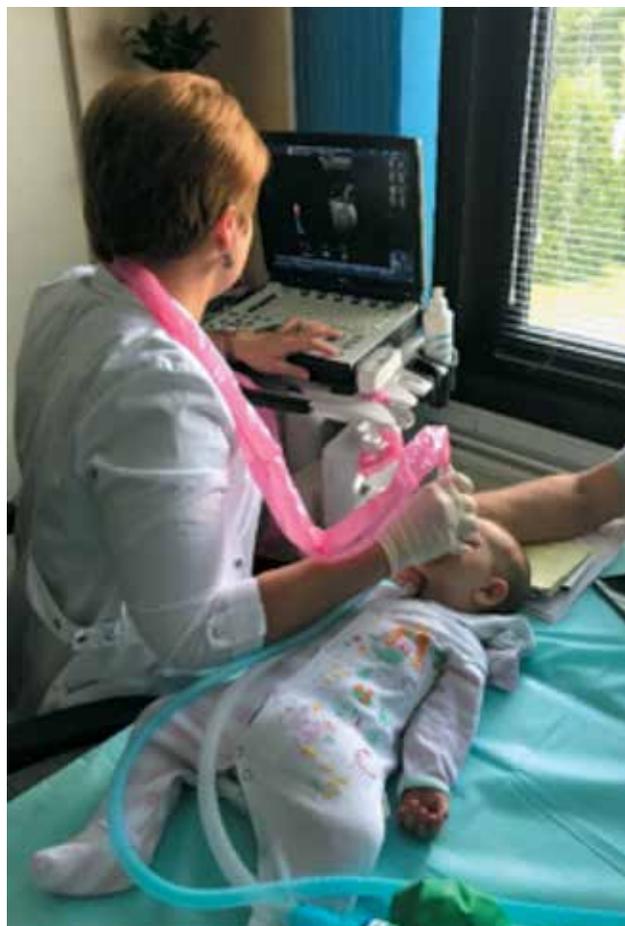


Рис. 1. Проведение ЦДС недоношенному ребенку

Fig. 1. Conducting color duplex scanning to a premature baby

RI (индекс Пурсело) – отношение разницы пиковой систолической и конечной диастолической к конечной диастолической скорости, отражает состояние сосудистого сопротивления в исследуемой артерии. PI (индекс Гослинга) также отражает состояние сосудистого сопротивления в исследуемой артерии, для его расчета используется средняя линейная скорость – максимальный разброс скоростей в сосуде в течение сердечного цикла, т.е. одной пульсации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всем обследованным детям в режиме ИД удавалось измерить сдвиг доплеровского спектра частот в ЦАС на заданной глубине от 0 до 3 мм от заднего полюса глаза в проекции ствола зрительного нерва (т.к. вблизи ЦАС проходит ЦВС, спектры этих сосудов накладывались друг на друга). В проекции ЦАС спектр кровотока был расположен над базовой изолинией, двухфазный на протяжении всего сердечного цикла, с неглубокой инцизурой (рис. 2).

В результате анализа состояния кровотока в ЦАС были определены средние показатели V_{syst} , V_{diast} , RI, PI у недоношенных детей с различными стадиями и типами течения активной РН. Сводные данные представлены в таблице 2.

При проведении сравнения показателей кровотока ($V_{\text{сyst}}$, V_{diast} , RI, PI) в ЦАС при различных стадиях и типах течения РН с показателями недоношенных без РН, было установлено, что отклонения в показателях скорости кровотока от контроля имеются даже при начальных проявлениях РН и увеличивается по мере нарастания тяжести заболевания. Для определения наличия или отсутствия статистических различий применяли непараметрический критерий Манна–Уитни (U). Полученные в результате анализа значения p представлены в таблице 3.

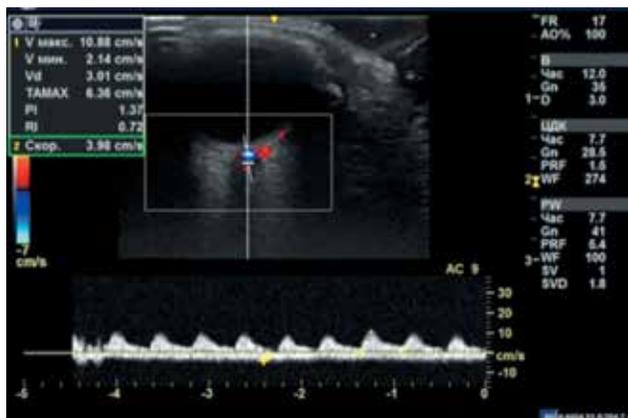


Рис. 2. СДСЧ и показатели кровотока в ЦАС при задней агрессивной РН
Fig. 2. Spectrum of Doppler frequency shift and indicators of blood flow in the central retinal artery with aggressive posterior ROP

Статистически значимых различий в значениях максимальной систолической и конечной диастолической скоростей ЦАС при обоих типах течения 1–3-й стадий РН по сравнению с контрольной группой выявлено не было. При этом в тех же группах было выявлено достоверное увеличение PI по сравнению с недоношенными детьми без РН: для 1-й стадии РН при благоприятном и неблагоприятном типах течения $p=0,019$ и $p=0,010$ соответственно; для 2-й стадии РН – $p=0,010$, $p=0,010$ соответственно; для 3-й стадии, аналогично, значения PI при обоих типах течения достоверно превышали значение PI в контрольной группе ($p=0,020$, $p=0,004$ соответственно). Кроме того, при неблагоприятном типе течения 3-й стадии кроме статистически значимого увеличения PI значение индекса резистентности RI также было достоверно выше, чем в контроле ($p=0,045$). Также было выявлено достоверное повышение индексов резистентности (PI – у всех групп детей с РН, RI – при неблагоприятном типе течения 3-й стадии).

Результаты сравнения $V_{\text{сyst}}$, V_{diast} , PI у детей с наиболее грубыми клиническими проявлениями РН (задней агрессивной формой) продемонстрировали достоверное превышение их значений по сравнению с контрольной группой ($p=0,010$).

Анализ зависимости показателей $V_{\text{сyst}}$, V_{diast} , RI, PI от стадии заболевания с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена выявил прямую зависимость $V_{\text{сyst}}$ и V_{diast} от стадии РН ($r_s=0,703$ и $r_s=0,641$, $p<0,05$). При этом значения индексов периферического сопротивления (RI и PI) от стадии не зависели ($r_s=0,097$ и $r_s=-0,190$).

Проведенное сравнение показателей кровотока в ЦАС между благоприятным ($n=23$) и неблагоприятным ($n=25$) типами течения 1–3-й стадий активной РН позволило выявить достоверное различие по RI ($p=0,012$). По показателям $V_{\text{сyst}}$, V_{diast} , PI достоверных различий между типами не обнаружено ($p=0,064$, $p=0,527$, $p=0,874$ соответственно).

Состояние кровотока в ЦАС у детей с задней агрессивной РН анализировалось в сравнении с группой с наиболее выраженными проявлениями классической РН – 3-й стадией с неблагоприятным течением. При задней агрессивной РН значения $V_{\text{сyst}}$, V_{diast} были достоверно выше, чем на 3-й стадии с неблагоприятным типом течения ($p=0,014$, $p=0,037$ соответственно).

Изучение взаимосвязей между гестационным сроком при рождении и показателями $V_{\text{сyst}}$, V_{diast} , RI, PI в ЦАС у всех детей с РН, обследованных методом ЦДК, с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена показало отсутствие таковых ($r_s=0,058$, $r_s=0,168$, $r_s=-0,173$, $r_s=-0,190$).

Учитывая нарушения гемодинамики в артериальной части сосудистого русла, мы посчитали целесообразным проанализировать соотношение степени изменения гемодинамических показателей в ЦАС и ЦВС в зависимости от стадии активной РН (рис. 3 а, б).

Таблица 2

Средние показатели V_{syst} , V_{diast} , RI, PI в ЦАС у детей с различными стадиями и типами течения активной РН

Table 2

Mean values V_{syst} , V_{diast} , RI, PI in the central retinal artery of the children with different stages and types of active ROP

Контроль / стадии активной РН Control group / stages of active PH	Тип течения РН Type of ROP	n	V_{syst} , см/сек cm/sec	V_{diast} , см/сек cm/sec	RI	PI
Недоношенные без РН Premature without ROP		8	6,01±0,38	2,06±0,13	0,63±0,03	1,16±0,07
1	благоприятный favorable	7	5,51±0,99	1,75±0,36	0,69±0,01	1,78±0,04
	неблагоприятный unfavorable	8	6,71±0,57	1,91±0,04	0,73±0,03	2,02±1,19
2	благоприятный favorable	8	5,90±0,34	1,90±0,21	0,68±0,02	1,76±0,09
	неблагоприятный unfavorable	8	7,33±0,64	2,07±0,15	0,72±0,04	1,64±0,14
3	благоприятный favorable	8	7,10±0,17	2,10±0,32	0,69±0,01	1,63±0,10
	неблагоприятный unfavorable	9	7,66±0,63	2,24±0,37	0,70±0,04	1,86±0,24
Задняя агрессивная РН Aggressive posterior ROP		7	11,70±0,67	3,04±0,18	0,74±0,01	2,38±0,40

Таблица 3

Результаты анализа различий в значениях V_{syst} , V_{diast} , RI, PI в ЦАС между контрольной группой и типами течения и стадиями активной РН по критерию Манна-Уитни

Table 3

The results of the analysis of differences in the values of V_{syst} , V_{diast} , RI, PI in the central retinal artery between the control group and the types and stages of active ROP according to the Mann-Whitney test

	V_{syst}	V_{diast}	RI	PI
Контроль – стадия 1, бл. тип Control group – 1st stage favorable type	p=0,605	p=0,438	p=0,196	p=0,019
Контрольная – стадия 1, небл. тип Control group – 1st stage unfavorable type	p=0,396	p=0,088	p=0,055	p=0,010
Контрольная – стадия 2, бл. тип Control group – 2nd stage favorable type	p=0,669	p=0,393	p=0,165	p=0,010
Контрольная – стадия 2, небл. тип Control group – 2nd stage unfavorable type	p=0,100	p=0,783	p=0,169	p=0,010
Контрольная – стадия 3, бл. тип Control group – 3rd stage favorable type	p=0,070	p=0,796	p=0,196	p=0,020
Контрольная – стадия 3, небл. тип Control group – 3rd stage unfavorable type	p=0,053	p=0,668	p=0,045	p=0,004
Контрольная – задняя агрессивная РН Control group – Aggressive posterior ROP	p=0,010	p=0,010	p=0,550	p=0,010

Примечание: различия статистически достоверны при $p < 0,05$.Note: differences are statistically significant at $p < 0,05$.

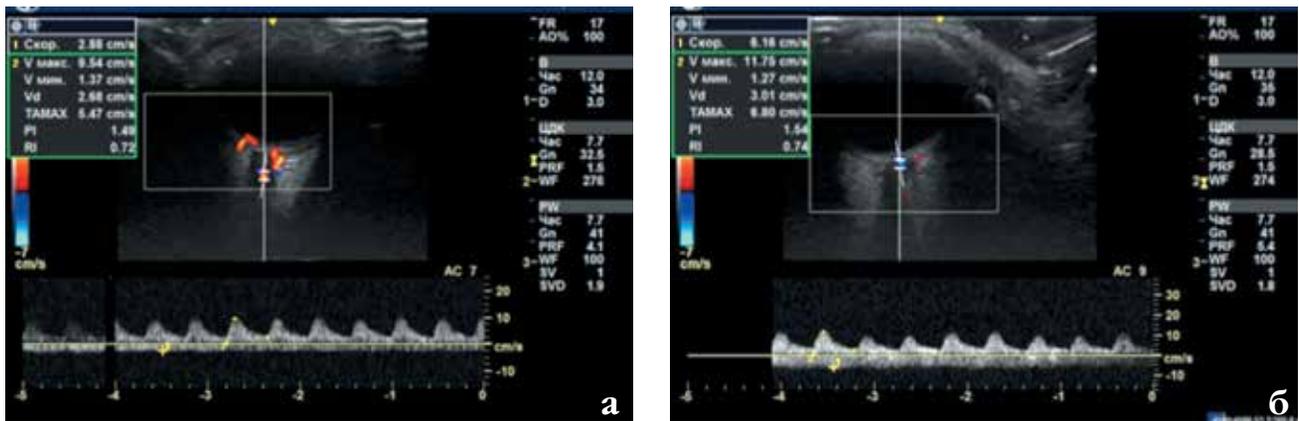


Рис. 3. СДСЧ и гемодинамические показатели при задней агрессивной РН: (а) в ЦАС, (б) в ЦВС

Fig. 3. Spectrum of Doppler frequency shift and hemodynamic parameters with aggressive posterior ROP: (a) in the central retinal artery, (b) in the central retinal vein

В анализ были включены средние показатели V_{syst} в ЦАС и V_{max} в ЦВС у недоношенных детей с различными стадиями активной РН, а также без РН (табл. 4).

Для выявления наличия либо отсутствия достоверных различий в соотношении V_{syst} ЦАС и V_{max} ЦВС (V_{syst} ЦАС/ V_{max} ЦВС) на различных стадиях РН по сравнению с группой контроля применяли критерий Краскела–Уоллиса. Полученные значения уровня значимости p представлены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что соотношение V_{syst} ЦАС/ V_{max} ЦВС на 1–3-й стадиях и при задней агрессивной РН достоверно отличается от контрольных значений.

На 1-й стадии РН среднее значение соотношения V_{syst} ЦАС/ V_{max} ЦВС составило 1,98, в контрольной группе – 1,26, ($p=0,006$). Основную роль в данном различии играет снижение V_{max} ЦВС на 1-й стадии РН в 1,6 раза по сравнению с контролем, при этом значения V_{syst} ЦАС в этих группах близки и составляют 6,19 и 6,00 соответственно.

На 2-й стадии РН среднее значение соотношения V_{syst} ЦАС/ V_{max} ЦВС составило 1,85, что также достоверно отличается от группы контроля ($p=0,045$). В данном случае, как и на 1-й стадии, это происходит за счет снижения V_{max} ЦВС в 1,3 раза по сравнению с контрольными зна-

Таблица 4

Средние значения V_{syst} в ЦАС и V_{max} в ЦВС у недоношенных детей с различными стадиями активной РН

Table 4

Mean values of V_{syst} in the central retinal artery and V_{max} in the central retinal vein in premature infants with different stages of active ROP

	n	V_{syst} в ЦАС V_{syst} central retinal artery	V_{max} ЦВС V_{max} central retinal vein
Контроль (недоношенные без РН) Control group (prematurity without ROP)	8	6,00±0,388	4,96±0,343
Стадия 1 1st stage	15	6,19±0,544	3,17±0,265
Стадия 2 2nd stage	16	6,70±0,444	3,87±0,442
Стадия 3 3rd stage	17	7,49±0,439	4,43±0,460
Задняя агрессивная РН Aggressive posterior ROP	7	11,70±0,668	6,62±0,196

Таблица 5

Результаты сравнительного анализа соотношения $V_{\text{syst}} \text{ ЦАС} / V_{\text{max}} \text{ ЦВС}$ на различных стадиях РН по сравнению с контролем с использованием критерия Краскела–Уоллиса

Table 5

Results of a comparative analysis of the V_{syst} central retinal artery / V_{max} central retinal vein ratio at different stages of ROP compared with control group using the Kruskal–Wallis test

	$V_{\text{syst}} \text{ ЦАС} / V_{\text{max}} \text{ ЦВС}$ V_{syst} central retinal artery / V_{max} central retinal vein
Контроль – стадия 1 Control group – 1st stage	$p=0,006$
Контроль – стадия 2 Control group – 2nd stage	$p=0,045$
Контроль – стадия 3 Control group – 3rd stage	$p=0,045$
Контроль – задняя агрессивная РН Control group – aggressive posterior ROP	$p=0,033$

чениями, тогда как $V_{\text{syst}} \text{ ЦАС}$ в 1,1 раза превышает средние значения в контроле.

На 3-й стадии РН среднее значение соотношения $V_{\text{syst}} \text{ ЦАС} / V_{\text{max}} \text{ ЦВС}$ составило 1,91, что, аналогично 1-й и 2-й стадиям, достоверно отличается от группы контроля ($p=0,045$). При этом $V_{\text{syst}} \text{ ЦАС}$ увеличивается по сравнению с контролем в 1,24 раза, а $V_{\text{max}} \text{ ЦВС}$, наоборот, уменьшается в 1,23 раза.

При задней агрессивной РН среднее значение соотношения $V_{\text{syst}} \text{ ЦАС} / V_{\text{max}} \text{ ЦВС}$ составило 1,77, что достоверно отличается от контроля ($p=0,033$). При данной форме заболевания $V_{\text{syst}} \text{ ЦАС}$ в 1,95 раза, а $V_{\text{max}} \text{ ЦВС}$ в 1,33 раза превышают контрольные значения, т.е. кровоток увеличивается как в ЦАС, так и в ЦВС, но с перевесом в сторону артерии.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одну из первых идей по использованию эффекта Доплера для определения гемодинамики у недоношенных новорожденных выдвинул W. Lindner. В 1988 г. он с соавторами провел исследование по определению скорости кровотока в (ГА) у доношенных и недоношенных новорожденных и пришел к выводу об информативности импульсной доплерографии в измерении скорости кровотока в ГА у недоношенных [13].

Работы по применению доплерографии у недоношенных младенцев с диагнозом РН продолжил целый ряд специалистов [5, 6, 9–11, 14, 15]. Однако опубликованные в разные годы данные не позволяют создать целостного представления о характере изменения гемодинамики в ЦАС и ЦВС на всех стадиях активной РН, а также при задней агрессивной форме заболевания.

В ходе проделанной работы нами изучены функциональные изменения кровотока в ЦАС и ЦВС у детей с 1–3-й стадиями активной РН и с задней агрессивной РН. Были получены как новые результаты, не описанные в литературе ранее, так и данные, подтверждающие результаты ранее проведенных другими авторами исследований.

При сравнении значений максимальной систолической и конечной диастолической скоростей ЦАС при обоих типах течения 1–3-й стадий РН с контрольной группой статистически значимых различий в значениях выявлено не было, что согласуется с результатами других исследований [7, 11].

У детей с наиболее грубыми клиническими проявлениями РН (задней агрессивной формой) результаты сравнения V_{syst} , V_{diast} и PI в ЦАС продемонстрировали достоверное превышение их значений по сравнению с группой детей без РН ($p=0,010$), что можно расценить как попытку компенсации дефицита ретинального кровотока вследствие нарастающей ишемии сетчатки у данной категории пациентов.

Достоверное повышение индексов резистентности (RI – у всех групп детей с РН, RI – при неблагоприятном типе течения 3-й стадии) говорит о том, что для РН характерно повышение периферического сопротивления в системе ЦАС.

Одним из наиболее дискуссионных вопросов является наличие зависимости гемодинамических параметров ЦАС от стадии РН (т.е. от степени тяжести клинических проявлений заболевания). В нашем исследовании была выявлена прямая высокая и заметная прямая зависимость V_{syst} и V_{diast} соответственно от стадии РН. При этом значения индексов периферического сопротивления (RI и PI) от стадии не зависели. Из этого сле-

дует, что нарастающая с каждой последующей стадией РН степень тяжести клинических проявлений (прогрессирующая ишемия, дезорганизация состояния сосудов, патологическая неоваскуляризация) сопровождается изменением гемодинамических параметров кровотока в ЦАС. Происходит включение авторегуляторных механизмов в ответ на увеличение потребностей тканевого обмена вследствие нарастания гипоксии сетчатки. Этот процесс реализуется в виде расширения сосудов, и, как следствие, увеличения скорости кровотока.

Таким образом, как было описано ранее, основным критерием регуляции кровотока в ретинальных сосудах является уровень дыхательного метаболизма в ее ткани [16, 17].

При сравнении показателей кровотока в ЦАС между благоприятным и неблагоприятным типами течения 1–3-й стадий активной РН, достоверное различие выявлено только по RI ($p=0,012$), что свидетельствует об увеличении периферического сосудистого сопротивления ЦАС у детей с неблагоприятным характером течения РН.

При задней агрессивной РН значения V_{sys} , V_{diast} были достоверно выше, чем на 3-й стадии с неблагоприятным типом течения ($p=0,014$, $p=0,037$ соответственно), это указывает на еще более выраженные гемодинамические сдвиги вследствие грубой дезорганизации ангиоархитектоники сетчатки, характерной для задней агрессивной РН.

Изучение взаимосвязей между гестационным сроком при рождении и показателями V_{sys} , V_{diast} , RI, PI в ЦАС у всех детей с РН, обследованных методом ЦДК, с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена показало отсутствие таковых, что согласуется с выводами, представленными в работах Е.И. Сидоренко и Г.В. Николаевой [12, 18].

Полученные в результате изучения соотношения V_{sys} ЦАС/ V_{max} ЦВС на различных стадиях активной РН данные могут указывать на то, что на 1-й и 2-й стадиях активной РН наиболее значимые изменения показателей кровотока наблюдаются в ЦВС, на 3-й стадии данные изменения отмечаются как в ЦВС, так и в ЦАС, практически в равной степени, а при задней агрессивной РН более выраженные изменения характерны для ЦАС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение особенностей гемодинамики ЦАС у недоношенных детей с активной РН показало, что прогрессирование заболевания сопровождается достоверным увеличением скорости кровотока (V_{sys} и V_{diast}) с каждой последующей стадией РН. У детей с неблагоприятным характером течения заболевания регистрируется более высокий индекс периферического сосудистого сопротивления по сравнению с непрогрессирующим благоприятным типом.

Анализ соотношения максимальных скоростей кровотока в ЦАС и ЦВС позволил определить, в каком из со-

судов наиболее выражены изменения гемодинамики в зависимости от стадии и формы активной РН, что позволило расширить представления об особенностях течения заболевания.

ЦДК, обладая значительным диагностическим потенциалом в оценке гемодинамических параметров, позволил получить достоверную информацию о линейной скорости кровотока и состоянии периферического сопротивления в ЦАС и их взаимосвязи с ЦВС, которая открывает перспективы для повышения точности прогноза характера течения заболевания, особенно на ранних стадиях.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Hellstrom A, Smith L, Damman O. Retinopathy of prematurity. *Lancet*. 2013; 26(382): 1445–1457. doi: 10.1016/S0140-6736(13)60178-6
2. Трифаненкова И.Г., Терещенко А.В. Флуоресцентная ангиография в определении особенностей течения активной ретинопатии недоношенных. *Офтальмология*. 2018;15(2): 24–30. [Trifanenkova IG, Tereshchenko AV. Fluorescence angiography in determining the features of the course of active retinopathy of prematurity. *Ophthalmology*. 2018;15(2): 24–30. (In Russ.)]
3. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Ерохина Е.В. Информативность оптической когерентной томографии – ангиографии у детей с активными стадиями ретинопатии недоношенных. *Практическая медицина*. 2018;3(114): 174–181. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Erohina EV. Informative value of optical coherence tomography – angiography in children with active stages of retinopathy of prematurity. *Practical medicine*. 2018;3(114): 174–181. (In Russ.)]
4. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Ерохина Е.В. ОКТ–ангиография у детей с активными стадиями ретинопатии недоношенных. *Российский офтальмологический журнал*. 2019;12(3): 70. [Tereshchenko A.V., Trifanenkova I.G., Erohina E.V. OCT-angiography in children with active stages of retinopathy of prematurity. *Russian Ophthalmological Journal*. 2019;12(3): 70. (In Russ.)]
5. Neely D, Harris A, Hynes E. Longitudinal assessment of plus disease in retinopathy of prematurity using color Doppler imaging. *J AAPOS*. 2009;13(5): 509–511.
6. Hartenstein S, Müller B, Metzke B. Blood flow assessed by color Doppler imaging in retinopathy of prematurity. *J Perinatol*. 2015;35(9): 745–747. doi: 10.1038/jp.2015.45
7. Ozcan PY, Dogan F, Sonmez K. Assessment of orbital blood flow velocities in retinopathy of prematurity. *Int Ophthalmol*. 2016;9(9): 1367–1370.
8. Киселева Т.Н., Тарасова Л.Н., Фокин А.А. Кровоток в центральной артерии сетчатки при различных формах глазного ишемического синдрома. Визуализация в клинике. 1999;14–15: 13–15. [Kiseleva TN, Tarasova LN, Fokin AA. Blood flow in the central retinal artery in various forms of ocular ischemic syndrome. Visualization in clinic. 1999;14–15: 13–15. (In Russ.)]
9. Niwald A, Gratek M. Evaluation of blood flow in the ophthalmic artery and central retinal artery in children with retinopathy of prematurity. *Klin Oczna*. 2006; 108(1–3): 32–35.
10. Holland D, Saunders R, Kagemann L. Color doppler imaging of the central retinal artery in premature infants undergoing examination for retinopathy of prematurity. *J AAPOS*. 1999;3(4): 194–198.
11. Harris A, Garzoli H, Harris-Izhak M. Color Doppler imaging of central retinal artery in retinopathy of prematurity. *Harefuah*. 2000;138(10): 812–815.
12. Николаева Г.В. Выявление многократной авторегуляции кровотока в передней мозговой и глазной артерии у недоношенных новорожденных. *Российская детская офтальмология*. 2014;(4): 15–21. [Nikolaeva G.V. Identification of myogenic autoregulation of blood flow in the anterior cerebral and ophthalmic arteries in premature infants. *Russian pediatric ophthalmology*. 2014;(4): 15–21. (In Russ.)]
13. Lindner W, Schaumberger M, Versmold H. Ophthalmic artery blood flow velocity in healthy term and preterm neonates. *Pediatr Res*. 1988;24(5): 613–616.
14. Baerts W, Wildervanck de Blécourt-Devilee M, Sauer P. Ambient light, ophthalmic artery blood flow velocities and retinopathy of prematurity. *Acta Paediatr*. 1993;82(9): 719–722.
15. Gunay M, Tuten A, Sancak S. Effect of single intravitreal bevacizumab on ophthalmic and middle cerebral arterial blood flow in retinopathy of prematurity. *Ophthalmic Research*. 2016;55(4): 165–171.
16. Волков В.В. Глаукома при псевдонормальном давлении: руководство для врачей. Москва: Медицина; 2001. [Volkov V.V. Glaucoma with pseudo-normal pressure: a guide for physicians. Moscow: Medicine; 2001. (In Russ.)]
17. Riva CE, Grunwald JE, Sinclair SH. Laser Doppler Velocimetry study of the effect of pure oxygen breathing on retinal blood flow. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1983;24(1): 47–51.
18. Николаева Г.В., Сидоренко Е.И. Гемодинамика глазной артерии у недоношенных новорожденных детей. *Таврический медико-биологический вестник*. 2015;18(1): 90–92. [Nikolaeva GV, Sidorenko EI. Hemodynamics of the ocular artery in premature newborns. *Tavrichesky medico-biological bulletin*. 2015;18(1): 90–92. (In Russ.)]

Информация об авторах

Ирина Георгиевна Трифаненкова, д.м.н., nauka@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Александр Владимирович Терещенко, д.м.н., nauka2@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Елена Владимировна Ерохина, врач-офтальмолог, nauka@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7320-9209>

Information about the authors

Irina G. Trifanenkova, Doctor of Science (Medicine), nauka@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

Alexander V. Tereshchenko, Doctor of Science (Medicine), nauka2@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

Elena V. Erokhina, ophthalmologist, nauka@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7320-9209>

Вклад авторов в работу:

И.Г. Трифаненкова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

А.В. Терещенко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, редактирование, окончательное утверждение версий, подлежащей публикации.

Е.В. Ерохина: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Author's contribution:

I.G. Trifanenkova: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing the text.

A.V. Tereshchenko: significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, editing, final approval of the version to be published.

E.V. Erokhina: collection, analysis and processing of material, writing the text.

Финансирование: Авторы не получили конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Авторство: Все авторы подтверждают, что они соответствуют действующим критериям авторства ICMJE.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Authorship: All authors confirm that they meet the current ICMJE authorship criteria.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

*Поступила: 10.06.2021
Переработана: 08.07.2021
Принята к печати: 16.09.2021*

*Originally received: 10.06.2021
Final revision: 08.07.2021
Accepted: 16.09.2021*