

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-78-83>

Электроретинограмма на длительный стимул у детей с ретинопатией недоношенных

Л.В. Коголева, М.А. Аракелян✉, С.Ю. Рогова, Н.Ш. Кокоева, А.Д. Докторова

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, 105062, Москва, Россия

Цель работы — определение функциональной активности сетчатки у детей в зависимости от степени рубцовой ретинопатии недоношенных (РН) и от гестационного возраста (ГВ) при рождении по результатам регистрации электроретинограммы (ЭРГ) на длительный стимул. **Материал и методы.** Обследован 31 пациент (57 глаз) с РН I–III степени в возрасте $13,4 \pm 2,7$ года, из них в срок ≤ 27 нед ГВ родились 13 детей. Всем детям проводили регистрацию ЭРГ на длительный стимул. Оценивали амплитуду и латентность (пиковое время) а- и b-волн Оп-ответа и d-волны Off-ответа. **Результаты.** Сравнение показателей ЭРГ на длительный стимул при РН разной степени показало снижение амплитуды а-, b- и d-волн Оп- и Off-ответов ЭРГ по сравнению как с возрастной нормой, так и по мере нарастания степени РН. Сравнение показателей ЭРГ на длительный стимул у детей, рожденных на разном сроке гестации, выявило статистически значимую разницу амплитуды а-волны Оп-ответа и d-волны Off-ответа между группой контроля и у детей с ГВ ≤ 27 нед и с ГВ > 27 нед. Сравнение временных параметров анализируемых волн ЭРГ в норме и глазах детей с ГВ ≤ 27 и ГВ > 27 нед выявило статистически значимые различия по латентности а-волны Оп-ответа ($p < 0,01$), тогда как латентность b-волны Оп-ответа достоверно различалась только в норме и при ГВ > 27 нед. **Заключение.** Достоверное снижение относительно возрастной нормы амплитуды а-волны Оп-ответа и d-волны Off-ответа во всех глазах с РН подтверждает общность их генерации от колбочковых фоторецепторов с вкладом Off-биполярных клеток и указывает на их раннюю уязвимость уже при РН I степени. Регистрация ЭРГ на длительный стимул у детей с РН представляется чувствительным и информативным методом объективной оценки функциональной активности сетчатки, а ее применение в комплексе с другими видами ЭРГ позволит более точно определить степень и уровень поражения зрительного анализатора при РН.

Ключевые слова: электроретинограмма; длительный стимул; ретинопатия недоношенных; гестационный возраст**Конфликт интересов:** отсутствует.**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.**Для цитирования:** Коголева Л.В., Аракелян М.А., Рогова С.Ю., Кокоева Н.Ш., Докторова А.Д. Электроретинограмма на длительный стимул у детей с ретинопатией недоношенных. Российский офтальмологический журнал. 2026; 19 (2): 78–83. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-78-83>

The long-duration flash electroretinogram in children with retinopathy of prematurity

Lyudmila V. Kogoleva, Mariam A. Arakelyan✉, Svetlana Yu. Rogova, Nina Sh. Kokoeva, Anna D. Doctorova

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia
ophthalmology@arakelyan.biz

Purpose of the study was to determine the functional activity of the retina in children depending on both the degree of cicatricial retinopathy of prematurity (ROP) and the gestational age (GA) at birth based on the results of the long-duration flash electroretinogram (ERG) recording. **Material and methods.** A total of 31 patients (57 eyes) with ROP grades I–III aged 13.4 ± 2.7 years were examined, of which 13 children were born at ≤ 27 weeks GA. All children underwent recordings to a long-duration flash ERG. The amplitude and latency (peak time) of the a- and b-waves of the On-response and the d-wave of the Off-response were assessed. **Results.** When comparing ERG indices to a long-duration stimuli at different grades of ROP, a decrease in the amplitude of the a-, b- and d-waves of the On and Off ERG responses

was noted compared to both the age norm and with an increase of ROP stage. When comparing the ERG parameters to a long-duration stimuli in children born at different gestational ages, a statistically significant difference was determined in the amplitude of the a-wave of the On-response and the d-wave of the Off-response between the control group and in children with $GA \leq 27$ weeks and with $GA > 27$ weeks. Comparison of the temporal parameters of the analyzed ERG waves in the norm and in the eyes of children with $GA \leq 27$ and $GA > 27$ weeks revealed statistically significant differences in the latency of the a-wave of the On-response ($p < 0.01$), while the latency of the b-wave of the On-response significantly differed only in the norm and $GA > 27$ weeks. **Conclusion.** A significant decrease in the amplitude of the a-wave of the On-response and the d-wave of the Off-response relative to the age norm in all eyes with ROP confirms the similarity of their generation from cone photoreceptors with the contribution of Off-bipolar cells and indicates their primary vulnerability early at stage I of ROP. Registration of ERG to a long-duration stimuli in children with ROP seems to be a sensitive and informative method for objective assessment of functional activity of the retina and may be used in combination with other types of ERG to allow more accurate determination of the degree and level of damage to the visual system in ROP.

Keywords: electroretinogram; long-duration flash; retinopathy of prematurity; gestational age

Conflict of interests: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Kogoleva L.V., Arakelyan M.A., Rogova S.Yu., Kokoeva N.Sh., Doctorova A.D. The long-duration flash electroretinogram in children with retinopathy of prematurity. Russian ophthalmological journal. 2026; 19 (2): 78-83 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2026-19-2-78-83>

Ретинопатия недоношенных (РН) — вазопротрофическое витреоретинальное заболевание глаз глубоко недоношенных детей, в основе которого лежит незрелость структур глазного яблока, в частности сетчатки, к моменту преждевременного рождения ребенка.

Патогенез нарушений зрения при этом заболевании носит комбинированный, многофакторный характер, что обусловлено степенью остаточных изменений на глазном дне после перенесенной активной РН, клинические проявления и характер течения которой чаще всего зависят от степени недоношенности ребенка при рождении и своевременности и качества проведенного лечения. На формирование и развитие зрительных функций оказывает влияние состояние ЦНС и проводящих путей зрительного анализатора, функциональная несостоятельность сетчатки и нарушения нормальной физиологического развития зрительной системы вследствие преждевременного рождения ребенка, а также аномалии рефракции, глазодвигательные нарушения, сопутствующая патология глаз [1–5].

Известно, что формирование слоев сетчатки с дифференциацией колбочковых фоторецепторов начинается с 9–12-й недели гестационного возраста (ГВ). На 16-й неделе идет процесс развития синаптических связей между нейронами и увеличение числа ганглиозных клеток. И только с 22-й недели ГВ происходит дифференциация палочковых фоторецепторов, а с 23–26-й недели ГВ формируются биполярные и горизонтальные клетки, увеличивается плотность колбочек в фовеа и плотность палочек вокруг фовеа. Считается, что при РН палочковая система сетчатки является более уязвимой, чем колбочковая. Однако даже при минимальных остаточных изменениях на глазном дне может происходить вовлечение в патологический процесс колбочковой системы, что и будет в дальнейшем определять степень снижения остроты зрения [6, 7].

В комплексном офтальмологическом обследовании с целью выявления причин, уровня и степени поражения зрительной системы, определения функционального прогноза и тактики реабилитации пациентов в настоящее время используются современные инструментальные методы диагностики. Одним из таких методов является электро-ретинография (ЭРГ) — электрофизиологическое исследование (ЭФИ) сетчатки, диагностическое значение которой в детской офтальмологии не подлежит сомнению. Электро-ретинограмма является функциональным биомаркером,

что объясняется широким спектром типов ЭРГ, позволяющих оценить глубину и распространенность поражения сетчатки и эволюцию заболевания [8–12].

ЦЕЛЬ работы — определить функциональную активность сетчатки у детей как в зависимости от степени рубцовой РН, так и от ГВ при рождении по результатам регистрации ЭРГ на длительный стимул.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследован 31 пациент (57 глаз) с благоприятными исходами РН I–III степени в возрасте от 8 до 18 лет (в среднем $13,4 \pm 2,7$ года). Из данных анамнеза известно, что все пациенты родились от преждевременных родов в 25–32 нед ГВ, из них глубоко недоношенными, в срок ≤ 27 нед ГВ, родились 13 детей. В 27 глазах был отмечен самопроизвольный регресс РН, в 30 глазах — индуцированный регресс РН, который был достигнут после лазерной коагуляции аваскулярных зон сетчатки. Из исследования исключены пациенты с рубцовой РН IV и V степени, сопутствующей патологией ЦНС и проводящих зрительных путей, нистагмом, другими сопутствующими заболеваниями глаз.

В первую группу сравнительного исследования были выделены пациенты по степени рубцовой РН, характеристика остроты зрения и рефракции которых представлена в таблице 1.

Так, максимальная скорректированная острота зрения (МКОЗ) в трех исследуемых группах широко варьировала, средняя в группе детей с III степенью РН была ниже, чем с I и II степенью, без статистически достоверной разницы. Почти у всех пациентов во всех группах выявлена

Таблица 1. Максимальная скорректированная острота зрения (МКОЗ) и рефракция больных с разной степенью РН

Table 1. Best corrected visual acuity (BCVA) and refraction of the patients with different stages of ROP

Степень РН ROP stage	Число глаз Number of eyes	МКОЗ BCVA	Рефракция, дптр Refraction, D
I	9	0,5–1,0 (0,62 $\pm$ 0,06)	–0,5 – –11,0 (–4,56 $\pm$ 1,74)
II	33	0,2–1,0 (0,69 $\pm$ 0,05)	–1,5 – –12,0 (–6,84 $\pm$ 0,7)
III	15	0,1–0,7 (0,41 $\pm$ 0,05)	–1,5 – –9,0 (–6,97 $\pm$ 0,51)

миопия, причем в большинстве случаев (41 глаз, 71,9%) — средней и высокой степени.

Для второго сравнительного исследования мы выделили две группы: 1-я группа — 23 глаза 13 детей, родившихся с ГВ ≤ 27 нед; 2-я группа — 34 глаза 18 детей с ГВ > 27 нед. Характеристика групп представлена в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что по остроте зрения и рефракции группы были сравнимы. Кроме того, число глаз с разной степенью РН в группах также было сравнимо (рис. 1).

Кроме стандартных методов офтальмологического обследования, мы проводили регистрацию ЭРГ на длительный стимул с использованием программного комплекса «Электроретинограф» (МБН, Россия). Стимул стандартной интенсивности длительностью 200 мс в условиях дополнительного фонового освещения, подавляющего палочковые фоторецепторы, позволяет выделить компоненты ЭРГ, относящиеся к On- и Off-системе колбочкового пути.

On-ответ возникает на включение стимула и состоит из негативной а-волны и позитивной b-волны. Off-ответ индуцируется выключением стимула и представляет позитивный компонент d-волны. Использование ЭРГ на длительный стимул целесообразно в качестве дополнительного метода диагностики ретинальных дистрофий и нарушений сетчатки, вызванных дисфункцией на пострецепторном уровне [13].

В исследованиях показано, что а-волна On-ответа происходит от колбочковых фоторецепторов со значительным вкладом Off- (гиперполяризующих) биполярных клеток; b-волна On-ответа отражает функцию On- (деполяризующих) биполярных клеток, хотя на ее амплитуду и форму могут влиять Off-биполярные и горизонтальные клетки; d-волна представляет собой сложный ответ из начальной быстрой фазы, возникающей от активности Off-биполярных клеток,

Таблица 2. Максимальная скорректированная острота зрения (МКОЗ) в группах пациентов с разным гестационным возрастом (ГВ)

Table 2. Best corrected visual acuity (BCVA) in 2 groups of patients with different gestational age (GA)

Группы Groups	Число глаз Number of eyes	МКОЗ BCVA	Рефракция, дптр Refraction, D
1 (ГВ ≤ 27 нед) 1 (GA ≤ 27 weeks)	23	0,3–0,8 (0,67 $\pm$ 0,06)	–1,5 – –9,0 (–6,46 $\pm$ 0,7)
2 (ГВ > 27 нед) 2 (GA > 27 weeks)	34	0,1–1,0 (0,68 $\pm$ 0,06)	–0,25 – –11,0 (–6,25 $\pm$ 0,73)

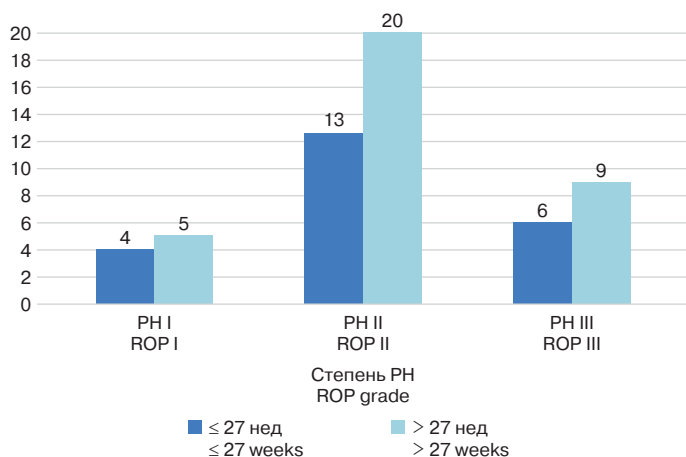


Рис. 1. Распределение количества обследованных глаз в зависимости от степени РН и срока ГВ

Fig. 1. Distribution of the number of examined eyes depending on the stage of ROP and the GA

и поздней медленной фазы с вкладом колбочковых фоторецепторов и действующих в противоположном направлении полярности On-биполярных клеток [14].

On-биполярные клетки выделяют метаболитные рецепторы глутамата, mGluRs, которые являются медленными, ингибирующими рецепторами, деполяризующими клетку. Off-биполярные клетки выделяют ионотропные рецепторы глутамата, iGluRs, которые, в свою очередь, являются быстрыми, возбуждающими рецепторами, гиперполяризующими клетку. Эти On- и Off-биполярные клетки являются началом On- и Off-путей. Таким образом, в темноте фоторецепторы гиперполяризованы, а при освещении они деполяризуются. При выключении света они снова возвращаются к гиперполяризации, увеличивая высвобождение глутамата [15–17].

On- и Off-пути предоставляют информацию о контрасте яркости изображения, полученного от фоторецепторов, которая может быть обработана еще дальше в других, специализированных типах клеток (нейроны третьего порядка, амакриновые и On-/Off-ганглиозные клетки). Off-путь действует, когда темный объект изображен на более светлом фоне (например, этот текст), а On-путь используется для обнаружения обратного. Эти пути работают независимо, и, если один неисправен, другой может оставаться интактным. Генетические заболевания, затрагивающие On-путь, вызывают частичную или полную ночную слепоту; дневное зрение страдает в меньшей степени [18].

В данном исследовании оценивали амплитуду и латентность (пиковое время) а- и b-волн On-ответа и d-волны Off-ответа (рис. 2).

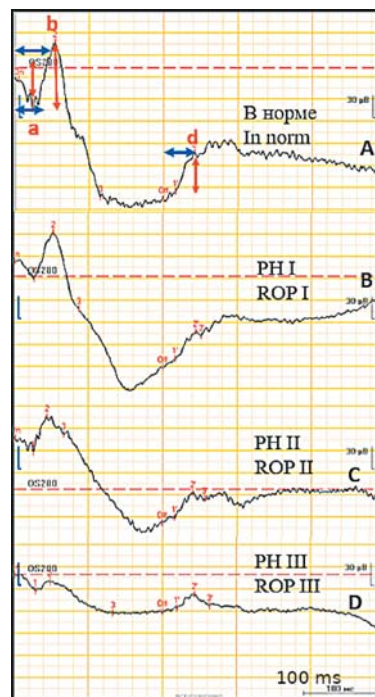


Рис. 2. ЭРГ на длительный стимул в норме и при PH I, II и III степени. А — график основных компонентов On-/Off-ЭРГ и их измерения в норме. Длительность стимула составляет 200 мс; красные (вертикальные) стрелки указывают на измерения амплитуды, синие (горизонтальные) стрелки указывают на измерения латентности. В — PH I степени. С — PH II степени. D — PH III степени

Fig. 2. Long-duration flash electroretinogram in norm, in I, II, III grades of ROP. A — diagram of the three main components of the photopic On-Off ERG and their measurements. Stimulus duration is 200 ms; red (vertical) arrows indicate amplitude measurement, blue (horizontal) arrows indicate peak time measurement. B — ROP I. C — ROP II. D — ROP III

Статистический анализ проводили с помощью статистических программ Microsoft Excel и стандартного пакета программ для медицинской статистики StatTech, версия 4.7. Для сравнения групп применяли параметрический t-критерий Стьюдента; уровень достоверности различий считали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При сравнении показателей ЭРГ на длительный стимул при разной степени РН получены следующие результаты (табл. 3).

Как видно из таблицы 3, для On- и Off-ответа ЭРГ на длительный стимул отмечено снижение амплитуды а-, b- и d-волн по сравнению как с возрастной нормой, так и по мере нарастания степени РН. Статистически достоверная разница по амплитуде а-волны On-ответа отмечена между нормой и РН I, II, III степени ($p < 0,01$), а также между РН II и III степени ($p_2 < 0,05$). Амплитуда b-волны On-ответа достоверно различалась между нормой и РН II и III степени ($p < 0,05$), а также между РН I и III степени ($p_1 < 0,05$); между нормой и РН I степени статистически значимых различий не выявлено. Сравнение амплитуды d-волны Off-ответа показало достоверную разницу между нормой и РН I степени ($p < 0,05$), а также нормой и РН II и III степени ($p < 0,01$); статистически значимые различия обнаружены между группами РН I и III степени ($p_1 < 0,05$). Заслуживают внимания временные параметры анализиру-

емых волн On- и Off-ответов. Так, выявлена статистически значимая разница по латентности только а-волны On-ответа в глазах контрольной группы и РН I, II, III степени ($p < 0,01$), при этом ее величина в трех группах РН закономерно укорачивалась от I к III степени.

Результаты амплитуды и латентности волн On- и Off-ответов ЭРГ на длительный стимул в норме, у глубоко недоношенных детей, рожденных в срок ГВ ≤ 27 нед, и у более «зрелых» детей с ГВ > 27 нед при рождении представлены в таблице 4.

Амплитуда а- и b-волн On-ответа и d-волны Off-ответа ЭРГ на длительный стимул у детей, родившихся на ранних сроках гестации (≤ 27 нед), ниже, чем аналогичные показатели у более «зрелых» детей (> 27 нед). При этом статистически значимых различий между этими группами не установлено. Однако статистически значимая разница определялась по амплитуде а-волны On-ответа и d-волны Off-ответа между группой контроля и у детей как с ГВ ≤ 27 нед, так и с ГВ > 27 нед. Амплитуда b-волны On-ответа достоверно различалась только в группе контроля и у детей с ГВ ≤ 27 нед. Примечательно, что сравнение временных параметров анализируемых волн ЭРГ на длительный стимул в норме и глазах детей с ГВ ≤ 27 нед и ГВ > 27 нед выявило статистически значимые различия по латентности а-волны On-ответа ($p < 0,01$), тогда как латентность b-волны On-ответа достоверно различалась только в норме и ГВ > 27 нед.

Таблица 3. Показатели ЭРГ на длительный стимул в норме и при разной степени РН
Table 3. The long-duration flash ERG values in control group and in different stages of ROP

Степень РН ROP stage	On-ответ On-response				Off-ответ Off-response	
	амплитуда, мкВ amplitude, mV		латентность, мс latency, ms		амплитуда, мкВ amplitude, mV	латентность, мс latency, ms
	а-волна a-wave	b-волна b-wave	а-волна a-wave	b-волна b-wave	d-волна d-wave	
Норма Normal values	30,5 $\pm$ 2,3	47,1 $\pm$ 6,1	17,5 $\pm$ 0,4	42,9 $\pm$ 0,96	43,5 $\pm$ 3,5	39,6 $\pm$ 0,6
I	22,3 $\pm$ 4,7**	39,9 $\pm$ 4,1	24,7 $\pm$ 1,2**	50,3 $\pm$ 3,7	29,4 $\pm$ 3,2*	38,7 $\pm$ 2,4
II	19,1 $\pm$ 1,6**	32,7 $\pm$ 2,8*	23,3 $\pm$ 0,7**	45,7 $\pm$ 1,2	25,4 $\pm$ 1,2**	40,1 $\pm$ 0,8
III	13,9 $\pm$ 1,4** ($p_2 < 0,05$)	26,6 $\pm$ 4,2* ($p_1 < 0,05$)	21,7 $\pm$ 1,1**	45,7 $\pm$ 1,3	20,4 $\pm$ 2,4** ($p_1 < 0,05$)	40,2 $\pm$ 1,3

Примечание. * — достоверные различия ($p < 0,05$) показателей при норме и РН I, II, III степени; ** — достоверные различия ($p < 0,01$) показателей при норме и РН I, II, III степени; p_1 — достоверные различия ($p_1 < 0,05$) показателей при РН I и III степени; p_2 — достоверные различия ($p_2 < 0,05$) показателей при РН II и III степени.

Note. * — reliability ($p < 0,05$) of values for the control group and ROP stages I, II, III; ** — reliability ($p < 0,01$) of values for the control group and ROP stages I, II, III; p_1 — reliability ($p_1 < 0,05$) of values in ROP stages I and III; p_2 — reliable differences ($p_2 < 0,05$) of values in ROP stages II and III.

Таблица 4. Показатели ЭРГ на длительный стимул в норме и у пациентов с ГВ ≤ 27 нед и ГВ > 27 нед
Table 4. The long duration flash ERG values in control group and in patients of GA ≤ 27 weeks and GA > 27 weeks

Группы Groups	On-ответ On-response				Off-ответ Off-response	
	амплитуда, мкВ amplitude, mV		латентность, мс latency, ms		амплитуда, мкВ amplitude, mV	латентность, мс latency, ms
	а-волна a-wave	b-волна b-wave	а-волна a-wave	b-волна b-wave	d-волна d-wave	
Норма Normal values	30,5 $\pm$ 2,3	47,1 $\pm$ 6,1	17,5 $\pm$ 0,4	42,9 $\pm$ 0,96	43,5 $\pm$ 3,5	39,6 $\pm$ 0,6
1 (ГВ ≤ 27 нед) 1 (GA ≤ 27 weeks)	16,2 $\pm$ 1,4*	30,7 $\pm$ 4,0*	22,6 $\pm$ 1,1*	45,6 $\pm$ 1,9	22,5 $\pm$ 2,3*	39,4 $\pm$ 1,6
2 (ГВ > 27 нед) 2 (GA > 27 weeks)	19,2 $\pm$ 1,6*	33,7 $\pm$ 3,9	23,2 $\pm$ 0,7*	46,9 $\pm$ 1,2*	24,1 $\pm$ 1,3*	40,6 $\pm$ 0,7

Примечание. * — достоверные различия ($p < 0,01$) показателей нормы и ГВ ≤ 27 нед, ГВ > 27 нед.

Note. * — reliability ($p < 0,01$) of values in control group and GA ≤ 27 weeks and GA > 27 weeks.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Стандарты ISCEV представлены минимальным количеством тестов, однако применение дополнительных протоколов в клинической диагностике поощряется и признается правильным. Фотопическая On-/Off-ЭРГ описывается как специализированный метод, который признан и применяется экспертами в области ЭФИ, так как позволяет выявить сочетанное или избирательное вовлечение On- и Off-путей, что не всегда возможно при регистрации стандартной общей ЭРГ. Для функционального разделения On- и Off-путей требуется использование длительного стимула 150–200 мс в условиях подавления палочек.

В нашей работе мы рассмотрели результаты регистрации ЭРГ на длительный стимул, который на данный момент является малораспространенным специализированным методом. P. Sieving [18] в 1993 г. подробно описал ЭРГ на длительный стимул у пациентов с дистрофией сетчатки, продемонстрировав возможность рутинной регистрации фотопической ЭРГ на длительный стимул у пациентов в клинических условиях. В литературе имеются единичные исследования результатов ЭРГ на длительный стимул при разной офтальмопатологии: стационарной ночной слепоте, X-сцепленном ретиношизисе, первичной открытоугольной глаукоме, врожденной глаукоме, при врожденных нарушениях гликолизирования, меланомаассоциированной ретинопатии, мышечной дистрофии Дюшена [17, 19, 20]. Результаты, представленные в данных работах, свидетельствуют о том, что ЭРГ на длительный стимул, помимо стандартных методов, имеет большое значение в оценке функционального состояния световых и темновых каналов колбочковых путей, так как ее изменения указывают на различное включение нейронов зрительной системы, в том числе в процессе развития патологического процесса. On и Off зрительные сигналы в сетчатке передаются сначала раздельно через независимые параллельные нейронные потоки обработки в мозг, где уже происходит их сливание. В свою очередь предполагается, что механизмы передачи сигналов, опосредованные On- и Off-типами колбочек, подвержены дифференцированному воздействию.

Исследование ЭРГ на длительный стимул у недоношенных детей с ретинопатией представляет значительный интерес в связи с многофакторным характером возможных нарушений зрительных функций. В имеющихся работах показано, что даже при остаточных изменениях на периферии сетчатки, что характерно для благоприятных исходов РН, функциональные нарушения наблюдаются не только в периферических отделах сетчатки, но затрагивают и центральную зону. Палочковая система сетчатки при РН более уязвима, чем колбочковая, что обусловлено особенностями как эмбриогенеза, так и патогенезом развития и течения РН, однако даже при начальной РН может вовлекаться в процесс колбочковая система [21, 22]. В доступной литературе только в одной публикации зарубежных авторов мы нашли сведения о результатах мультифокальной ЭРГ на длительный стимул у пациентов с РН и миопией [23]. В работе изложены результаты исследований, проведенные в 14 глазах у 8 детей. Показано, что снижение показателей амплитуды волн ЭРГ в On-ответе зависит от степени миопии, тогда как депрессия Off-ответа определяется как эксцентриситетом сетчатки, так и степенью миопии.

Мы провели исследование на большем клиническом материале (31 пациент, 57 глаз), что позволило не только оценить результаты у детей с РН, но и провести сравнение показателей между выделенными нами группами. С целью выявления возможного влияния на функциональную актив-

ность сетчатки РН пациенты были разделены по степени рубцовой РН, а для определения зависимости показателей ЭРГ от степени «незрелости» сетчатки — по ГВ на момент рождения. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что амплитудные показатели On- и Off-ответов ЭРГ на длительный стимул закономерно снижаются по мере нарастания степени тяжести РН. Оценка достоверности различий в норме и обследуемых группах позволила выявить характерные изменения, происходящие в сетчатке больных РН. Так, достоверное снижение относительно возрастной нормы амплитуды а-волны On-ответа и d-волны Off-ответа во всех глазах с РН подтверждает общность их генерации от колбочковых фоторецепторов с вкладом Off-биполярных клеток и указывает на их раннюю уязвимость уже при I степени РН. Статистически значимое снижение этих волн при РН III степени относительно РН I и II степени является свидетельством прогрессирования функциональных нарушений в зависимости от тяжести клинических проявлений заболевания (см. рис. 2).

Важно учитывать, что изменения d-волны Off-ответа отражают интегративную активность глубоких слоев сетчатки при ответе на выключение света, при котором происходит высвобождение фоторецепторами большого количества нейромедиатора глутамата.

Представляет интерес значительное удлинение латентности а-волны On-ответа при РН I степени и ее закономерное относительное укорочение при II и III степени, но тем не менее сохраняющее достоверное различие с нормой. Латентность b-волны On-ответа также была удлинена без статистически значимой разницы с нормой, причем в глазах с РН I степени ее значения оказались выше, чем при РН II и III степени. Такое замедление передачи импульса в сетчатке при возбуждении светом может быть обусловлено особенностями патогенеза РН, где важную роль играют метаболические нарушения за счет дисфункции глутаматергической системы, которые проявляются уже при РН I степени. Предполагается также функциональный дефицит в синаптической передаче между фоторецепторами и биполярными клетками. Снижение амплитуды b-волны On-ответа по сравнению с а-волной, а также с d-волной Off-ответа, оказалось незначительным в глазах с РН I степени, что свидетельствует об относительной сохранности On-биполярных клеток при менее выраженных клинических проявлениях болезни. С учетом того, что на амплитуду и форму b-волны, наряду с On-биполярными клетками, могут влиять Off-биполярные и горизонтальные клетки, ее достоверное снижение по сравнению с нормой в глазах с РН II и III степени становится более очевидным.

Отсутствие достоверности различий по амплитуде d-волны Off-ответа у детей с ГВ ≤ 27 нед по сравнению с детьми с ГВ > 27 нед можно объяснить тем, что минимальный срок рождения глубоко недоношенных в нашем исследовании составил 25 нед, а к этому времени, как известно, глобальное формирование всех слоев сетчатки уже завершено. Вместе с тем продолжающийся процесс организации биполярных и горизонтальных клеток, а также процесс увеличения плотности колбочек, который протекает менее динамично после 25–26-й недели ГВ, оказывает влияние, хоть и незначительное, на биоэлектрическую активность сетчатки, что было показано в исследованных нами двух группах.

Таким образом, регистрация ЭРГ на длительный стимул у детей с РН представляется чувствительным и информативным методом объективной оценки функциональной активности сетчатки, а ее применение в комплексе с другими видами ЭРГ позволит более точно определить степень и уровень поражения зрительного анализатора при РН.

Литература/References

1. Нероев В.В., Катаргина Л.А., Коголева Л.В. Профилактика слепоты и слабовидения у детей с ретинопатией недоношенных. *Вопросы современной педиатрии*. 2015; 14 (2): 265–70. [Neroev V.V., Katargina L.A., Kogoleva L.V. The prevention of blindness and visual impairment in children with retinopathy of prematurity. *Voprosy sovremennoy pediatrii*. 2015; 14 (2): 265–70 (In Russ.)]. doi: 10.15690/vsp.v14i2.1296
2. Сайдашева Э.И., Горелик Ю.В., Буяновская С.В., Ковшов Ф.В. Ретинопатия недоношенных: особенности течения и результаты лечения у детей со сроком гестации менее 27 недель. *Российская педиатрическая офтальмология*. 2015; 2 (10): 28–32. [Saydasheva E.I., Gorelik Yu.V., Buyanovskaya S.V., Kovshov F.V. Retinopathy of prematurity: the course and results of treatment in children with gestational age less than 27 weeks. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya*. 2015; 2 (10): 28–32 (In Russ.)].
3. Коголева Л.В. Факторы нарушения зрения и принципы диспансерного наблюдения детей с ретинопатией недоношенных. В кн.: Нероев В.В., Катаргина Л.А., ред. Ретинопатия недоношенных. Москва: ИКАР; 2020: 199–212. [Kogoleva L.V. Factors of visual impairment and principles of dispensary observation of children with retinopathy of prematurity. In: Neroev V.V., Katargina L.A., eds. Retinopathy of prematurity. Moscow: IKAR; 2020: 199–212 (In Russ.)].
4. Moskowitz A, Hansen RM, Fulton AB. Retinal, visual, and refractive development in retinopathy of prematurity. *Eye Brain*. 2016 May 20; 8: 103–11. doi: 10.2147/EB.S95021
5. Akerblom H., Andreasson S., Holmstrom G. Macular function in preterm children at school age. *Doc Ophthalmol*. 2016; 133: 151–7. doi: 10.1007/s10633-016-9564-8
6. Reh ThA, La Torre A. Retinal Development. In: Hartnett ME, Drack AV, Capone AJr, eds. Pediatric Retina. 3d ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021: 246–72.
7. Fulton AB, Hansen RM, Moskowitz A. Development of rod function in term born and former preterm subjects. *Optom Vis Sci*. 2009 Jun; 86 (6): E653–8. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181a6a237
8. Шамшинова А.М. Электроретинография в офтальмологии. Москва: Медика, 2009. [Shamshinova A.M. Electrorretinography in ophthalmology. Moscow: Medica, 2009 (In Russ.)].
9. Коголева Л.В., Аракелян М.А., Шамшинова А.М., Катаргина Л.А. Роль электроретинографии в оценке и прогнозировании зрения при ретинопатии недоношенных. *Российский офтальмологический журнал*. 2013; 3: 40–4. [Kogoleva L.V., Arakelyan M.A., Shamshinova A.M., Katargina L.A. The role of electrorretinography in the assessment and prognosis of vision quality in retinopathy of prematurity. *Russian ophthalmological journal*. 2013; 3: 40–4 (In Russ.)].
10. Fulton AB, Hansen RM, Petersen RA, Vanderveen DK. The rod photoreceptors in retinopathy of prematurity: an electroretinographic study. *Arch Ophthalmol*. 2001; 119 (4): 499–505.
11. Fulton AB, Hansen RM, Moscovitz A. The cone electroretinogram in retinopathy of prematurity. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008 Feb; 49 (2): 814–9. doi: 10.1167/iovs.07-1226
12. Kolb H. Functional organization of the retina. In: Heckenlively JR, Arden GB, eds. Principles and practice of clinical electrophysiology of vision. 2nd ed. Cambridge: The MIT press; 2006: 47–64.
13. Raghuram A, Hansen RM, Moskowitz A, Fulton AB. Photoreceptor and postreceptor responses in congenital stationary night blindness. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013; 54: 4648–58.
14. Sui R, Tang F, Zhang M. Practical visual electrophysiological examination. Springer People's Medical Publishing House, PR of China. 2022.
15. Sieving PA, Murayama K, Naarendorp F. Push-pull model of the primate photopic electroretinogram: a role for hyperpolarizing neurons in shaping the b-wave. *Vis Neurosci*. 1994; 11: 519–32. https://doi.org/10.1017/S0952523800002431
16. Bush RA, Sieving PA. A proximal retinal component in the primate photopic ERG a-wave. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1994 Feb; 35 (2): 635–45. PMID: 8113014.
17. Sustar M, Holder GE, Kremers J, et al. ISCEV extended protocol for the photopic On-Off ERG. *Doc Ophthalmol*. 2018; 136: 199–206.
18. Sieving PA. Photopic On- and Off-pathway abnormalities in retinal dystrophies. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1993; 91:701–73. PMID: 8140708.
19. Thompson DA, Lyons RJ, Liasis A et al. Retinal on-pathway deficit in congenital disorder of glycosylation due to phosphomannomutase deficiency. *Arch Ophthalmol*. 2012 Jun; 130 (6): 712–9. doi: 10.1001/archophthol.2012.130
20. Фенкова О.Г., Фурсова А.Ж., Гусаревич О. Г. Клинико-морфологические и функциональные критерии оценки степени тяжести врожденной глаукомы. *РМЖ Клиническая офтальмология*. 2011; 2 (13): 56–8. [Fenkova O.G., Fursova A.Zh., Gusarevich O.G. Clinical, morphological and functional criteria of a severity of the congenital glaucoma. *Russian medical journal. Clinical ophthalmology*. 2011; 2 (13): 56–8 (In Russ.)].
21. Cavallaro G, Filippi L, Bagnoli P, et al. The pathophysiology of retinopathy of prematurity: an update of previous and recent knowledge. *Acta Ophthalmologica*. 2014 Feb; 92 (1): 2–20. doi: 10.1111/aos.12049
22. Harris ME, Moscovitz A, Fulton AB, Hansen RM. Long-term effects of retinopathy of prematurity (ROP) on rod and rod-driven function. *Doc Ophthalmol*. 2011 Feb; 122 (1): 19–27. doi: 10.1007/s10633-010-9251-0
23. Luu CD, Koh AHC, Ling Y. The ON/OFF-response in retinopathy of prematurity subjects with myopia. *Doc Ophthalmol*. 2005; 110, 155–61. https://doi.org/10.1007/s10633-005-3742-4

Вклад авторов в работу: Л.В. Коголева, М.А. Аракелян — разработка концепции и дизайна исследования, написание и финальная подготовка статьи к публикации; Н.Ш. Кокоева — обследование пациентов, сбор и анализ данных; С.Ю. Рогова, А.Д. Докторова — сбор, обработка и интерпретация данных.

Author's contribution: L.V. Kogoleva, M.A. Arakelyan — development of the concept and design of the study, writing and final preparation of the article for publication; N.Sh. Kokoeva — examination of patients, data collection and analysis; S.Yu. Rogova, A.D. Doctorova — data collection, processing and interpretation.

Поступила: 17.09.2025. Переработана: 09.10.2025. Принята к печати: 10.10.2025
Originally received: 17.09.2025. Final revision: 09.10.2025. Accepted: 10.10.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д.14/19, 105062, Москва, Россия

Людмила Викторовна Коголева — д-р мед. наук, заведующая детским консультативно-поликлиническим отделением

Мариам Арамовна Аракелян — канд. мед. наук, врач-офтальмолог отделения электрофизиологической и психофизической диагностики зрительной системы

Светлана Юрьевна Рогова — старшая медицинская сестра отделения электрофизиологической и психофизической диагностики зрительной системы

Нина Шотаевна Кокоева — врач-офтальмолог детского консультативно-поликлинического отделения

Анна Дмитриевна Докторова — врач-офтальмолог взрослого консультативно-поликлинического отделения

Для контактов: Мариам Арамовна Аракелян, ophthalmology@arakelyan.biz

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

Lyudmila V. Kogoleva — Dr. of Med. Sci., head of the pediatrics outpatient consultation department

Mariam A. Arakelyan — Cand. of Med. Sci., ophthalmologist of the department of electrophysiological and psychophysical diagnostics of the visual system

Svetlana Yu. Rogova — senior nurse of the department of electrophysiological and psychophysical diagnostics of the visual system

Nina Sh. Kokoeva — ophthalmologist of the pediatrics outpatient consultation department

Anna D. Doctorova — ophthalmologist of the adult outpatient consultation department

For contacts: Mariam A. Arakelyan, ophthalmology@arakelyan.biz