

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОГЕНЕЗА СЕТЧАТКИ И ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА ПОСЛЕ ВИТРЕКТОМИИ ПО ПОВОДУ ОСЛОЖНЁННОЙ ХИРУРГИИ КАТАРАКТЫ

© А.Н. Куликов, С.В. Сосновский, Е.Н. Николаенко

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Для цитирования: Куликов А.Н., Сосновский С.В., Николаенко Е.Н. Анализ динамики электрогенеза сетчатки и зрительного нерва после витрэктомии по поводу осложнённой хирургии катаракты // Офтальмологические ведомости. — 2018. — Т. 11. — № 3. — С. 34–47. doi: 10.17816/OV11334-47.

Поступила в редакцию: 19.07.2018

Принята к печати: 23.08.2018

✧ В работе представлены результаты влияния витрэктомии в связи с осложнённой хирургией катаракты на электрогенез сетчатки и зрительного нерва. **Материалы и методы.** Выполнено электрофизиологическое обследование 30 пациентам (30 глаз) после витрэктомии по поводу дислокации фрагментов ядра хрусталика (I группа), интраокулярной линзы (II группа) в стекловидную камеру до операции и на 1, 3, 7, 14, 30, 60, 180-е сутки после операции. **Результаты.** В I, II группах выявлено значимое угнетение электрогенеза сетчатки, зрительного нерва на 1-е сутки ($p < 0,01$) после витрэктомии с последующей нормализацией электрофизиологических показателей на 180-е сутки. В I группе установлено достоверное угнетение исходного электрогенеза сетчатки, зрительного нерва по сравнению с показателями нормы. В I, II группах фоторецепторный электрогенез восстанавливался в 2 раза быстрее, чем на уровне биполярных клеток; нейроны папилломакулярного пучка отличались большей устойчивостью к воздействию витрэктомии. **Выводы.** Нахождение фрагментов ядра хрусталика в стекловидной камере обуславливает достоверное угнетение электрогенеза сетчатки, зрительного нерва за счёт факотоксического воздействия. Витрэктомия вызывает кратковременное угнетение электрогенеза сетчатки, зрительного нерва с последующей нормализацией показателей на 180-е сутки. Фоторецепторы обладают большей реабилитационной активностью по сравнению с биполярными клетками. Нейроны аксиальной ориентации наиболее устойчивы к воздействию витрэктомии.

✧ **Ключевые слова:** витрэктомия; дислокация интраокулярной линзы; дислокация ядра хрусталика; зрительные вызванные потенциалы на вспышку; осложнённая хирургия катаракты; электроретинограмма; электрофосфен.

ANALYSIS OF RETINAL AND OPTIC NERVE ELECTROGENESIS DYNAMICS AFTER VITRECTOMY FOR COMPLICATED CATARACT SURGERY

© A.N. Kulikov, S.V. Sosnovskii, E.N. Nikolaenko

Medical Military Academy named after S.M. Kirov, Ministry of Defence of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

For citation: Kulikov AN, Sosnovskii SV, Nikolaenko EN. Analysis of retinal and optic nerve electrogenesis dynamics after vitrectomy for complicated cataract surgery. *Ophthalmology Journal*. 2018;11(3):34-47. doi: 10.17816/OV11334-47.

Received: 19.07.2018

Accepted: 23.08.2018

✧ **Background.** The article presents impact results of vitrectomy for complicated cataract surgery on retinal and optic nerve electrogenesis. **Materials and methods.** 30 patients (30 eyes) with history of dropped nucleus (1st group) or intraocular lens dislocated into the vitreous cavity after phacoemulsification (2nd group) underwent electrophysiological examination before vitrectomy, and on Day 1, Day 3, Day 7,

Day 14, Day 30, Day 60, and Day 180 after surgery. **Results.** In the 1st and 2nd groups, on the 1st day after vitrectomy, we observed a significant decrease in retinal and optic nerve electrogenesis in comparison to normal indices ($p > 0.01$); to Day 180, electrophysiologic indices returned to normal values. In the 1st group, baseline retinal and optic nerve electrogenesis was decreased in comparison to normal parameters. In the 1st and 2nd groups, the electrogenesis of photoreceptors recovered twice as rapidly, as that of bipolar cells; papillomacular bundle neurons were more resistant to vitrectomy. **Conclusion.** Thus, the presence of lens nucleus fragments in the vitreous cavity results in a reliable inhibition of the retinal and optic nerve electrogenesis due to phacotoxic effect. Vitrectomy causes a short-term depression of the retinal and optic nerve electrogenesis, followed by normalization of indices to Day 180. Photoreceptors have greater rehabilitation activity than bipolar cells. The neurons of axial topographic orientation have the highest resistance to vitrectomy impact.

✧ **Keywords:** vitrectomy; IOL dislocation; dropped nucleus dislocation; flash visually evoked potentials; complicated cataract surgery; electroretinogram; electrophosphene.

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития медицинских технологий способствует увеличению продолжительности жизни населения развитых стран [1]. В связи с увеличением доли пожилого населения возрастает количество пациентов с катарактой, удельный вес которой в структуре глазных заболеваний, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), составляет около 47 % [2]. В среднем в мире ежегодно выполняется около 10 миллионов операций по поводу катаракты, при этом количество данных операций возрастает на 2–2,5 миллиона человек в год [3]. Фактоэмulsionификация катаракты (ФЭК) с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) представляет собой широко востребованную операцию, способную, по данным ВОЗ, полностью функционально реабилитировать пациента [4, 5]. Однако в некоторых случаях операции по поводу катаракты могут сопровождаться осложнениями, возникающими как интраоперационно, так и в отдалённые сроки после офтальмохирургического вмешательства [6]. Одним из интраоперационных осложнений, значительно меняющих дальнейший ход хирургической тактики, является дислокация ядра нативного хрусталика, его фрагментов или хрусталиковых масс в стекловидную камеру (СК), что, по материалам литературы, составляет в среднем 0,05–1,2 % всех случаев [7, 8]. По сведениям ряда авторов, в 0,2–2,8 % случаев в отдалённые сроки после хирургического вмешательства наиболее серьёзными осложнениями, существенно снижающими качество жизни пациента и функциональный исход, становятся люксация и дислокация интраокулярной линзы на глазное дно [9].

В таких случаях для устранения указанных осложнений и восстановления нормальных ана-

томических взаимоотношений внутри глазного яблока целесообразно применение технологий витреоретинальной хирургии [10, 11]. Вместе с тем нередко функциональные результаты после витреоретинальной реабилитации не удовлетворяют ни хирургов, ни пациентов [12]. Техническая особенность витрэктомии (ВЭ), отличающая её от неосложнённой хирургии катаракты, заключается в действии ряда физико-химических факторов в непосредственной близости от сетчатки. К таким факторам относятся высокочастотная вибрация наконечника витреотома, различные ирригационные растворы, заменители стекловидного тела, световая энергия эндоосветителя. Возможно, одной из причин неудовлетворительных функциональных результатов в указанных случаях является воздействие на сетчатку и зрительный нерв потенциально неблагоприятных факторов ВЭ.

Цель исследования — провести комплексный сравнительный анализ динамики биоэлектрической активности сетчатки и зрительного нерва после витрэктомии по поводу осложнённой хирургии катаракты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Критерии включения в исследование:

- дислокация в стекловидную камеру (СК) ядра хрусталика, его фрагментов или ИОЛ;
- выполнение витрэктомии по поводу дислокации в СК ядра хрусталика, его фрагментов или ИОЛ;
- соблюдение пациентом комплаенса электрофизиологического мониторинга в ходе исследования.

Критерии исключения из исследования:

- наличие в анамнезе офтальмологической патологии, влияющей на электрогенез сетчатки и зрительного нерва (диабетическая ретинопатия).

тия, отслойка сетчатки, посттравматическая ретинопатия и др.);

- наличие интраоперационных осложнений, влияющих на электрогенез сетчатки и зрительного нерва (ятрогенная отслойка сетчатки, обширные субмакулярные кровоизлияния, нарушение кровообращения в сетчатке и зрительном нерве и др.).

Исследование проходило с участием пациентов клиники офтальмологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, которым в период 2012–2017 гг. выполняли витректомию.

Обследовано 1268 пациентов клиники офтальмологии, из них критериям включения соответствовало 30 пациентов (30 глаз — 12 женщин и 18 мужчин, средний возраст — $73,26 \pm 10,48$ года).

Всем пациентам в основных группах выполняли стандартную трансклиарную субтотальную ВЭ 25 Ga с использованием витректомической системы Accurus (Alcon, США), рабочая частота витреотома составляла в среднем 2500 Гц, в ходе операции выполнение объёма глазного яблока осуществлялось раствором BSS. Дислоцированные фрагменты ядра хрусталика удаляли с помощью витреотома или ультразвука, дислоцированную ИОЛ поднимали в плоскость зрачка и подшивали к радужке.

Всем пациентам проводили визометрию и применяли комплекс электрофизиологических методов исследования (ЭФИ). Исследование остроты зрения осуществляли с помощью визометрических таблиц Сивцева по стандартной методике. Биоэлектрическую активность сетчатки оценивали с помощью объективных методов (ЭФИ), включающих общую электроретинографию (ОЭРГ), ритмическую электроретинографию 30 Гц (РЭРГ 30 Гц). Функциональное состояние зрительного нерва оценивали с помощью объективных методов ЭФИ — регистрировали зрительные вызванные потенциалы на вспышку (в-ЗВП) и субъективных методов ЭФИ — исследовали порог электрической чувствительности (ЭЧ) и критическую частоту исчезновения фосфена (КЧИФ). Все объективные методы ЭФИ применяли в соответствии с международными стандартами клинической физиологии зрения [13, 14]. ОЭРГ, РЭРГ 30 Гц, в-ЗВП выполняли на электрофизиологическом приборе Tomey EP-1000 Multifocal (Tomey Corporation, Япония), исследование электрофосфена — на электроофтальмостимуляторе «Эсофи-01» (НПО «Спецмед-прибор», Россия).

Анализировали параметры ОЭРГ: амплитуду волн А и В (мкВ), абсолютное изменение амплитуды волн А и В (мкВ), относительное изменение

амплитуды волн А и В (%), латентность волн А и В (мкВ), абсолютное изменение латентности волн А и В (мкВ), относительное изменение латентности волн А и В (%). При анализе РЭРГ оценивали амплитуду РЭРГ (мкВ), абсолютное изменение амплитуды РЭРГ (мкВ), относительное изменение амплитуды РЭРГ (%). Для в-ЗВП анализировали латентность компонентов N2 и P2 в миллисекундах, абсолютное изменение латентности компонентов N2 и P2 (мс), относительное изменение латентности компонентов N2 и P2 (%), амплитуду компонентов N2 и P2 в микровольтах, абсолютное изменение амплитуды компонентов N2 и P2 (мкВ), относительное изменение амплитуды компонентов N2 и P2 (%). При анализе показателей электрофосфена оценивали порог ЭЧ (мкА), КЧИФ (Гц), абсолютное изменение показателей ЭЧ (мкА) и КЧИФ (Гц), относительное изменение показателей ЭЧ и КЧИФ (%).

Визометрию и электрофизиологические исследования проводили перед ВЭ и на 1, 3, 7, 14, 30, 60, 180-е сутки после хирургического вмешательства.

Статистический анализ выполняли с помощью программного обеспечения Statistica v 10.0, использовали опции описательной статистики, корреляционного анализа, *t*-критерия Уилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В первую группу (смещение ядра хрусталика, его фрагментов, хрусталиковых масс в СК) вошли 20 человек (20 глаз); Во вторую группу (люксация и смещение ИОЛ в СК) — 10 человек (10 глаз). *Контрольная группа* (35 человек — 35 глаз) была сформирована из пациентов, перенёсших стандартную ФЭК с имплантацией гибкой ИОЛ без осложнений.

Общая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Динамика показателей визометрии в первой и второй группах представлена на рис. 1.

Исходные показатели электрогенеза сетчатки в первой группе были следующими: амплитуда волны А ОЭРГ — $98,44 \pm 14,89$ мкВ, волны В ОЭРГ — $188,11 \pm 27,07$ мкВ, амплитуда РЭРГ 30 Гц — $19,58 \pm 1,84$ мкВ. Показатели функциональной активности зрительного нерва составили: латентность компонента N2 в-ЗВП — $85,24 \pm 4,73$ мс, латентность компонента P2 в-ЗВП — $131,75 \pm 4,82$ мс, порог ЭЧ — $101,5 \pm 14,31$ мкА, КЧИФ — $35,25 \pm 2,35$ Гц. Время нахождения дислоцированных в стекловидную камеру ядра хрусталика, его фрагментов — $6,1 \pm 2,1$ дня.

В первой группе при анализе динамики показателей электрогенеза сетчатки на уровне фоторецепторов отмечалось достоверное снижение ($p < 0,05$) амплитудных параметров волны А ОЭРГ на 1-е сутки после операции (рис. 2–4). С третьих суток после ВЭ регистрировали тенденцию к восстановлению фоторецепторного электрогенеза (увеличение амплитуды волны А ОЭРГ). К концу периода наблюдения, на 30-е сутки, амплитудные параметры волны А ОЭРГ нормализовывались.

Таблица 1 / Table 1

Характеристика		Дислокация фрагментов ядра хрусталика, хрусталиковых масс в стекловидную камеру	Дислокация ИОЛ в стекловидную камеру	Стандартная ФЭК с имплантацией ИОЛ
Средний возраст (лет)		73,8 ± 7,2	78,2 ± 7,4	72,8 ± 10,2
Пол	М	12	6	18
	Ж	8	4	17

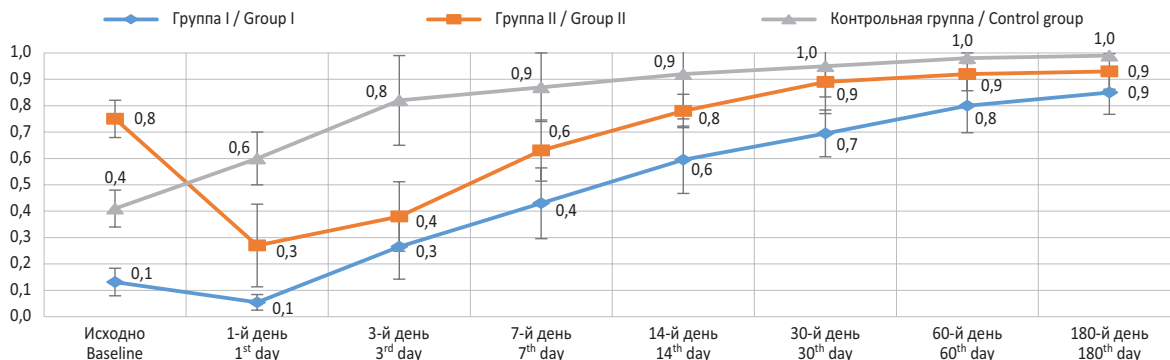


Рис. 1. Динамика остроты зрения

Fig. 1. Dynamics of visual acuity

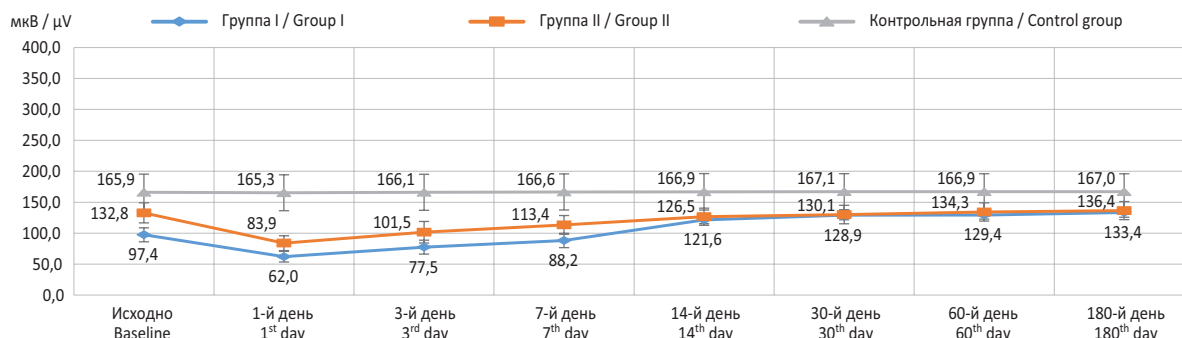


Рис. 2. Динамика амплитуды волны А ОЭРГ, мкВ

Fig. 2. Dynamics of the A wave amplitude of the Full-field ERG, µV

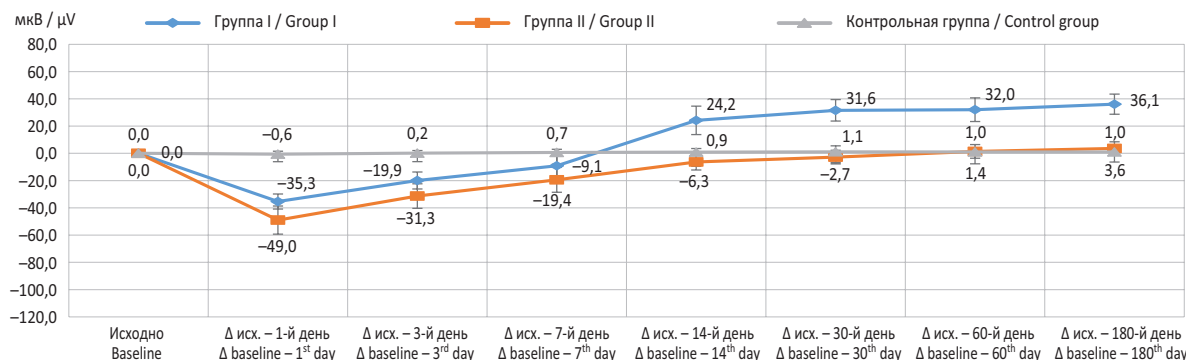


Рис. 3. Динамика абсолютного угнетения амплитуды волны А ОЭРГ, мкВ

Fig. 3. Dynamics of the absolute inhibition of the A wave amplitude of the Full-field ERG, µV

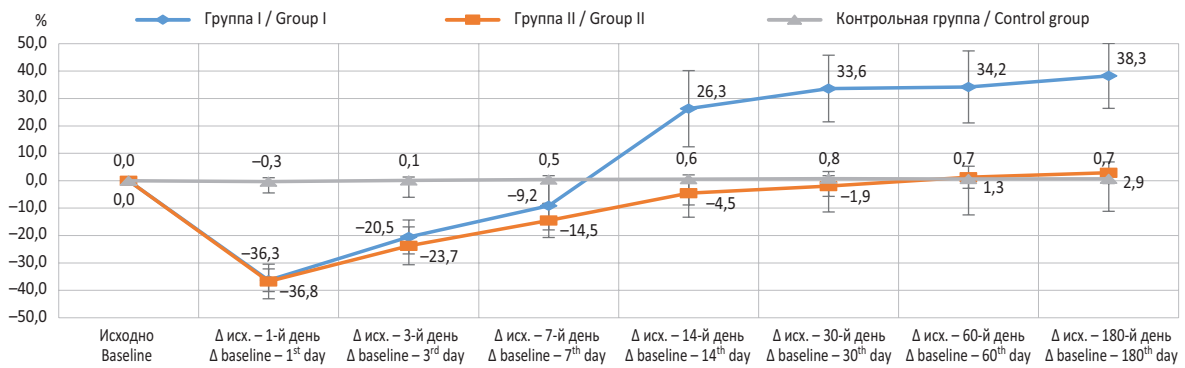


Рис. 4. Динамика относительного угнетения амплитуды волны А ОЭРГ, %

Fig. 4. Dynamics of the relative inhibition of the A wave amplitude of the Full-field ERG, %

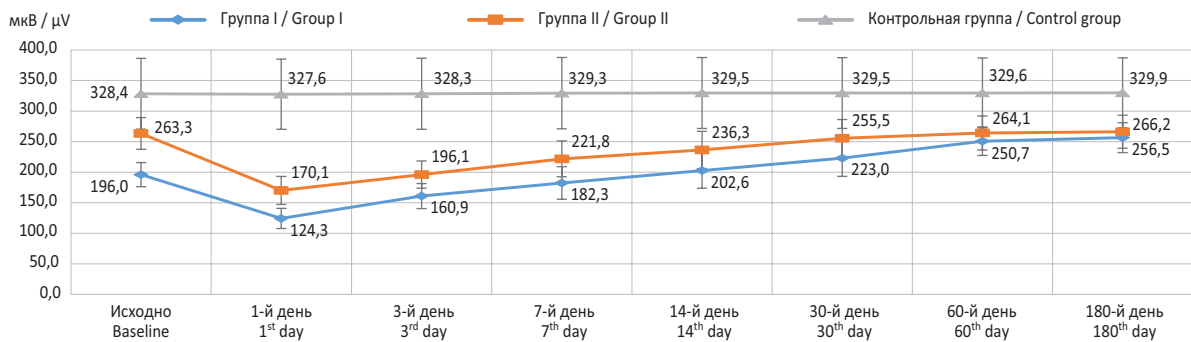


Рис. 5. Динамика амплитуды волны В ОЭРГ, мкВ

Fig. 5. Dynamics of the B wave amplitude of the Full-field ERG, μV

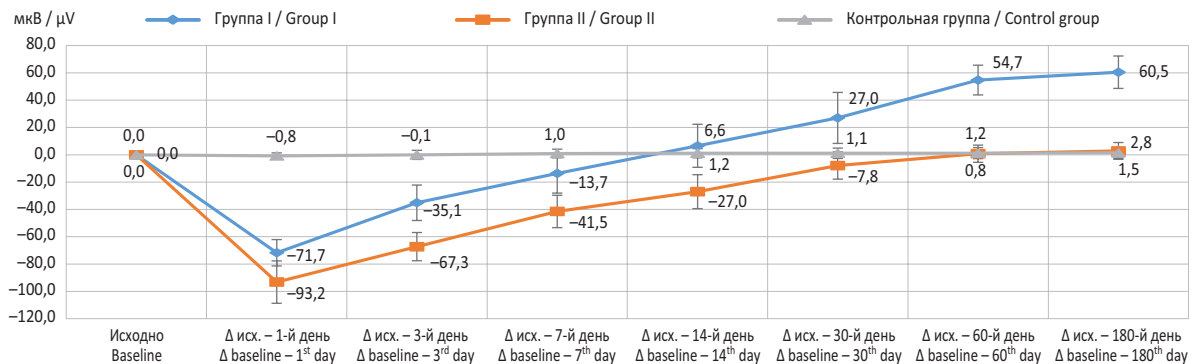


Рис. 6. Динамика абсолютного угнетения амплитуды волны В ОЭРГ, мкВ

Fig. 6. Dynamics of the absolute inhibition of the B wave amplitude of the Full-field ERG, μV

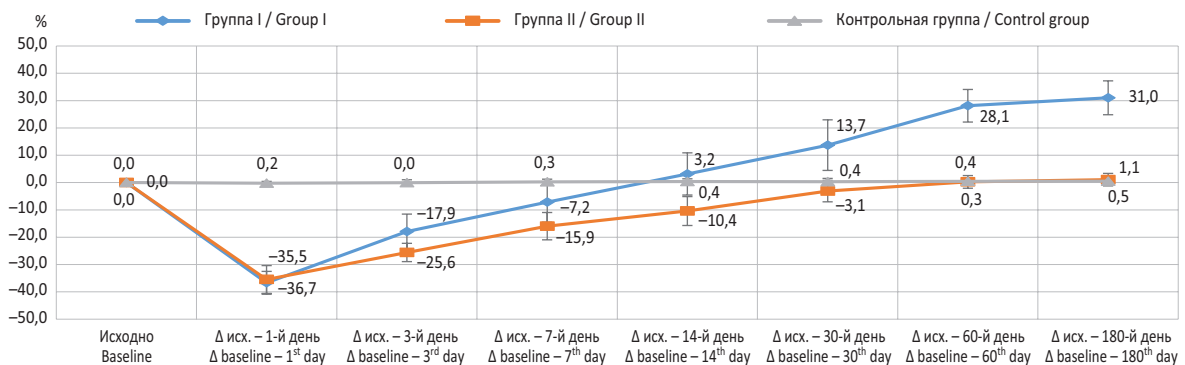


Рис. 7. Динамика относительного угнетения амплитуды волны В ОЭРГ, %

Fig. 7. Dynamics of the relative inhibition of the B wave amplitude of the Full-field ERG, %

При анализе динамики показателей электрогенеза сетчатки на уровне биполярных клеток отмечалось достоверное снижение ($p < 0,05$) амплитудных параметров волны В ОЭРГ на 1-е сутки после операции (рис. 5–7). С третьих суток после ВЭ фиксировали тенденцию к восстановлению электрогенеза на уровне биполярных клеток (увеличение амплитуды волны В ОЭРГ). К концу периода наблюдения, на 60-е сутки, амплитудные параметры волны В ОЭРГ нормализовывались.

При анализе динамики показателей электрогенеза колбочковой системы сетчатки отмечалось

достоверное снижение ($p < 0,05$) амплитудных параметров РЭРГ на 1-е сутки после операции (рис. 8–10). С третьих суток после ВЭ регистрировали тенденцию к восстановлению электрогенеза колбочкового аппарата сетчатки (увеличение амплитуды РЭРГ). К концу периода наблюдения, на 30-е сутки, происходила нормализация амплитудных параметров РЭРГ.

При анализе динамики показателей функционального состояния зрительного нерва отмечалось достоверное увеличение ($p < 0,05$) временных параметров компонента Р2 в-ЗВП на

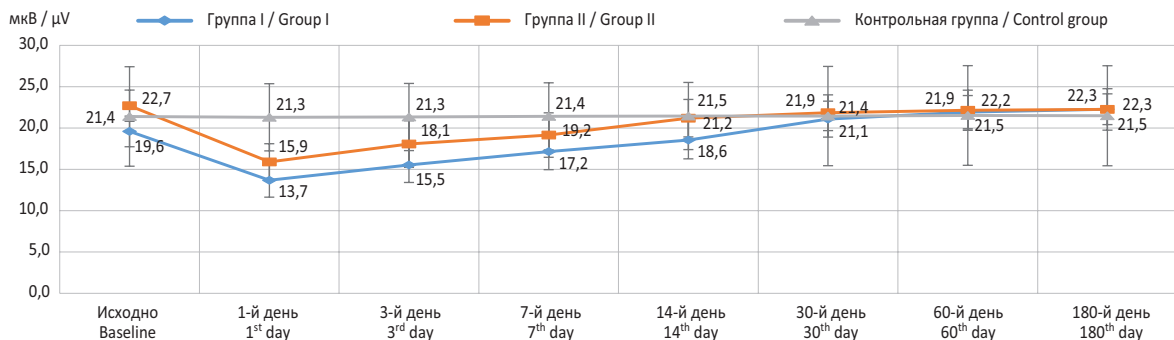


Рис. 8. Динамика амплитуды РЭРГ, мкВ

Fig. 8. Dynamics of the wave amplitude of the Flicker ERG, µV

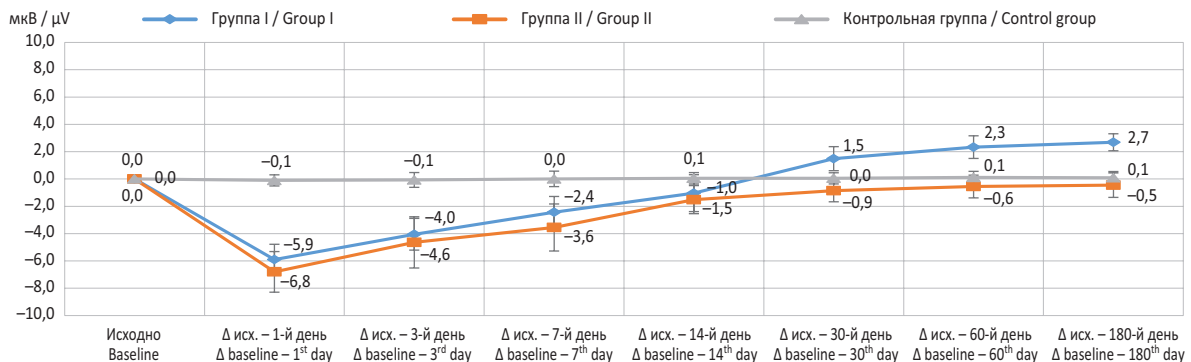


Рис. 9. Динамика абсолютного угнетения амплитуды РЭРГ, мкВ

Fig. 9. Dynamics of the absolute inhibition of the amplitude of the Flicker ERG, µV

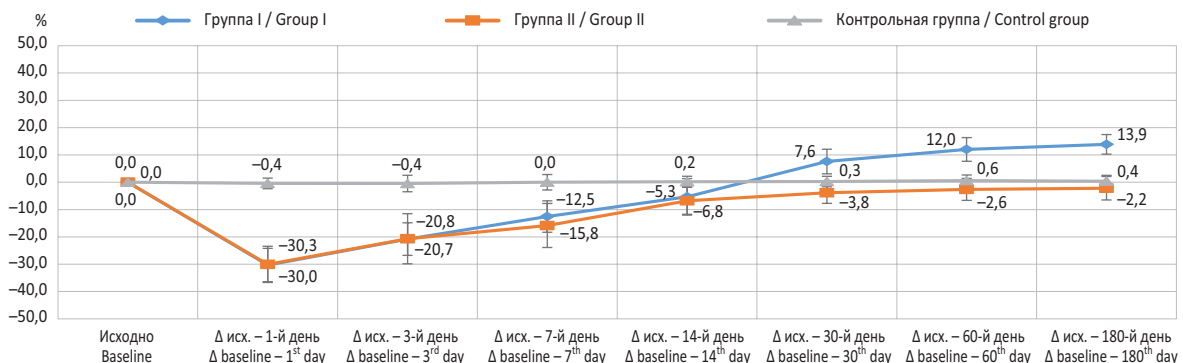


Рис. 10. Динамика относительного угнетения амплитуды РЭРГ, %

Fig. 10. Dynamics of the relative inhibition of the amplitude of the Flicker ERG, %

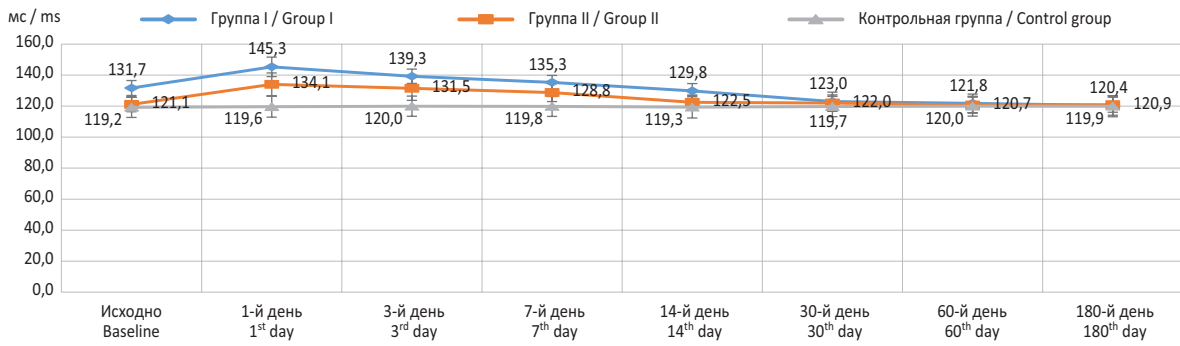


Рис. 11. Динамика латентности компонента P2 в-ЗВП, мс

Fig. 11. Dynamics of the latency of the P2 Flash VEP, ms

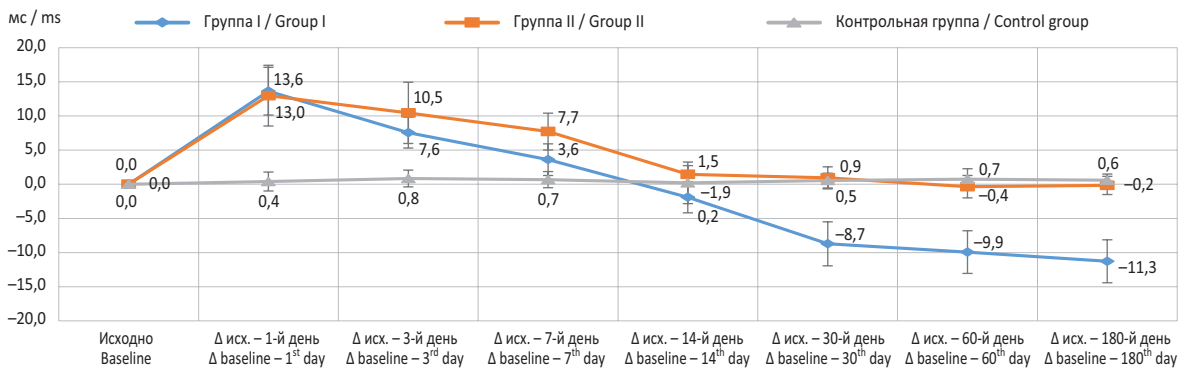


Рис. 12. Динамика абсолютного угнетения латентности компонента P2 в-ЗВП, мс

Fig. 12. Dynamics of the absolute inhibition of the latency P2 Flash VEP, ms

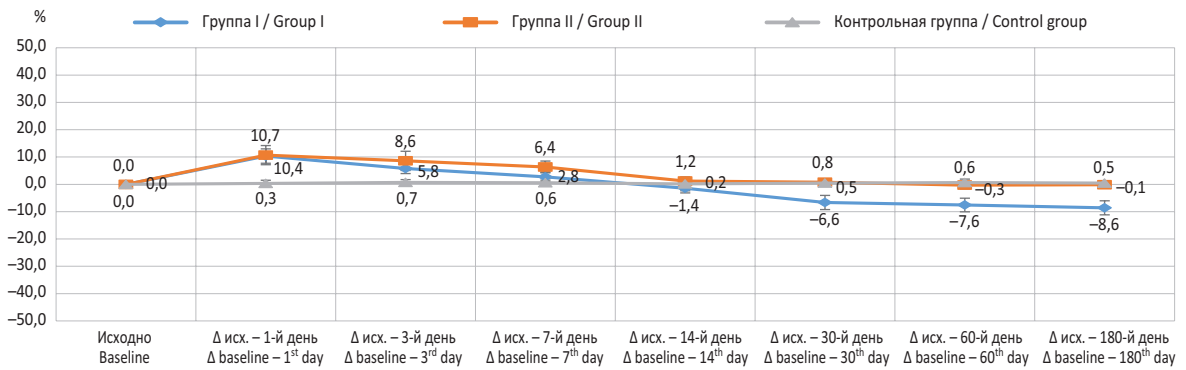


Рис. 13. Динамика относительного угнетения латентности компонента P2 в-ЗВП, %

Fig. 13. Dynamics of the relative inhibition of the latency P2 Flash VEP, %

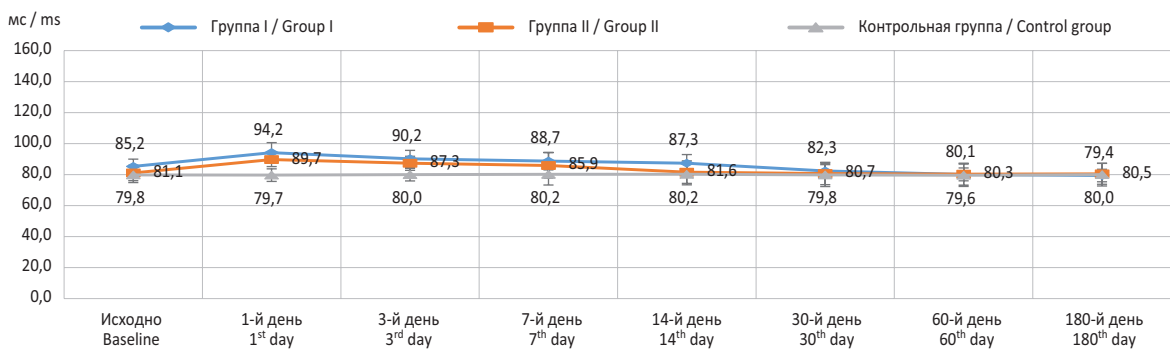


Рис. 14. Динамика латентности компонента N2 в-ЗВП, мс

Fig. 14. Dynamics of the latency N2 of the Flash VEP, ms

1-е сутки после операции (рис. 11–13). С третьих суток после ВЭ фиксировали тенденцию к восстановлению скорости проведения биоэлектрического импульса (уменьшение пиковой латентности компонента P2 в-ЗВП). К концу периода наблюдения, на 30-е сутки, происходила нормализация временных параметров компонента P2 в-ЗВП.

При анализе динамики показателей функционального состояния зрительного нерва наблюдалось достоверное увеличение ($p < 0,05$) временных параметров компонента N2 в-ЗВП на

1-е сутки после операции (рис. 14–16). С третьих суток после ВЭ регистрировали тенденцию к восстановлению скорости проведения биоэлектрического импульса (уменьшение латентности компонента N2 в-ЗВП). К концу периода наблюдения, на 30-е сутки, временные параметры компонента N2 в-ЗВП приходили в норму.

При анализе динамики показателей функционального состояния внутренних слоёв сетчатки отмечалось достоверное увеличение порога ЭЧ на 1-е сутки послеоперационного наблюдения

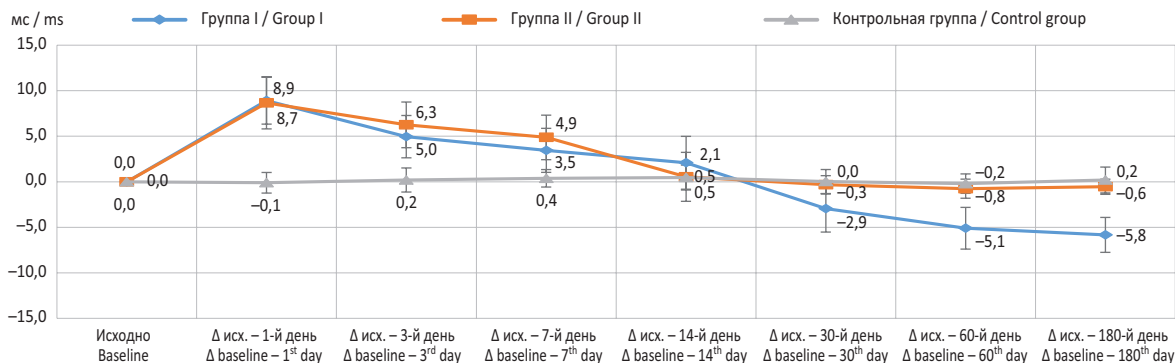


Рис. 15. Динамика абсолютного угнетения латентности компонента N2 в-ЗВП, мс

Fig. 15. Dynamics of the absolute inhibition of the latency N2 of the Flash VEP, ms

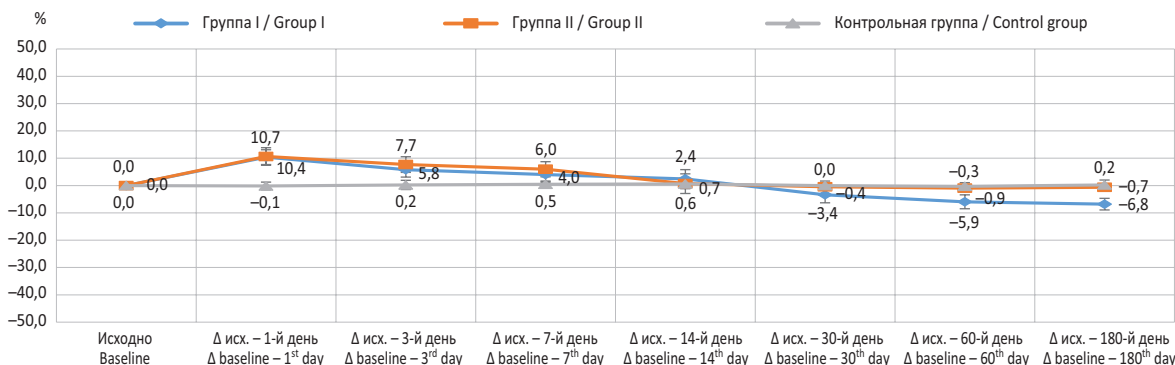


Рис. 16. Динамика относительного угнетения латентности компонента N2 в-ЗВП, %

Fig. 16. Dynamics of the relative inhibition of the latency N2 Flash VEP, %

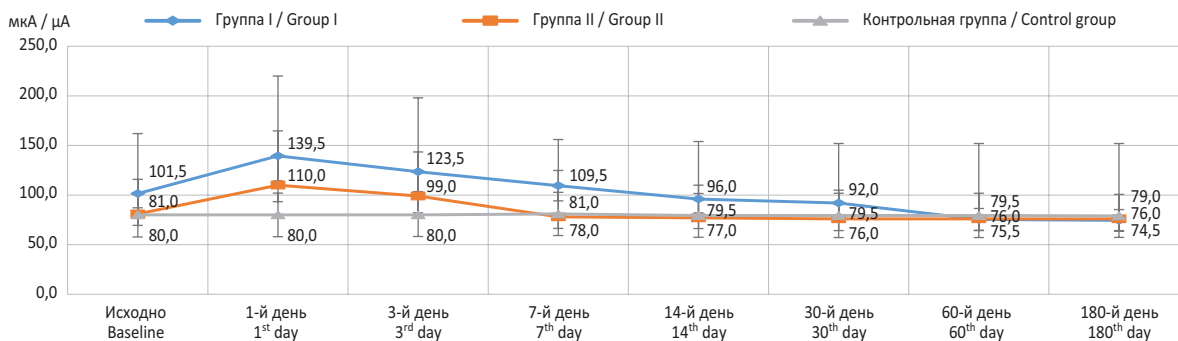


Рис. 17. Динамика электрической чувствительности, мкА

Fig. 17. Dynamics of the electrical sensitivity, µA

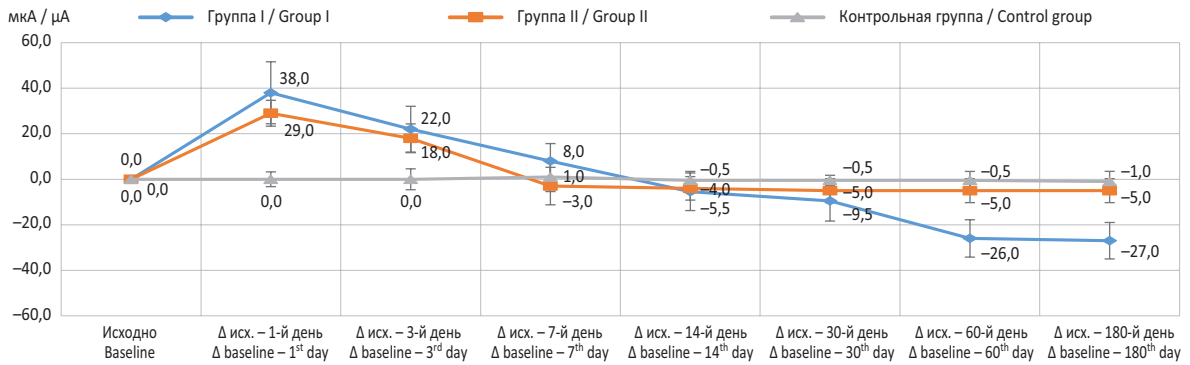


Рис. 18. Динамика абсолютного угнетения электрической чувствительности, мкА

Fig. 18. Dynamics of the absolute inhibition of the electrical sensitivity, μA

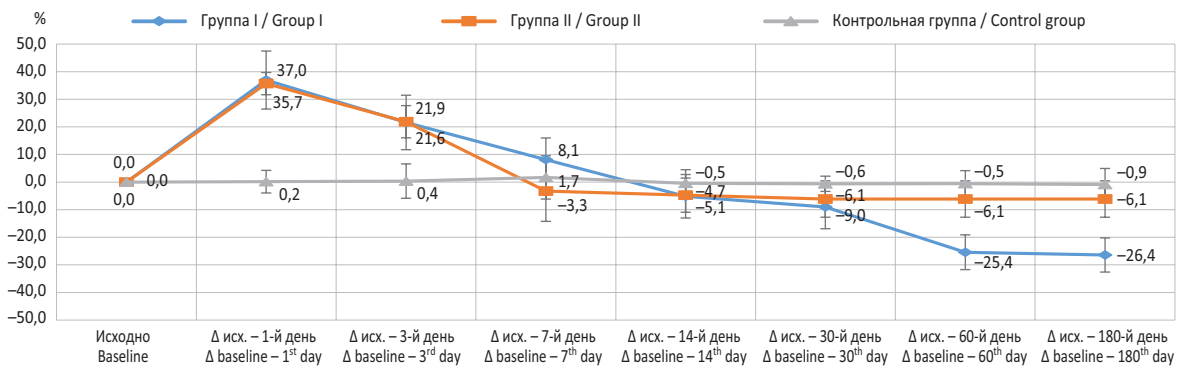


Рис. 19. Динамика относительного угнетения электрической чувствительности, %

Fig. 19. Dynamics of the relative inhibition of the of the electrical sensitivity, %

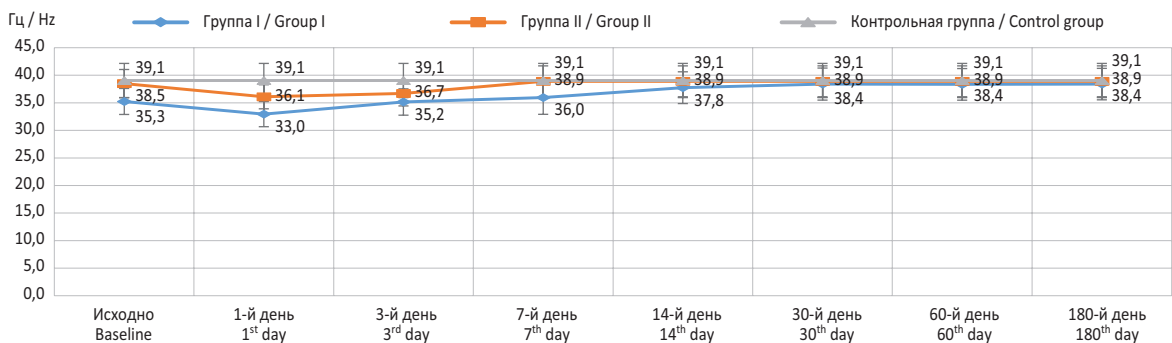


Рис. 20. Динамика критической частоты исчезновения фосфена, Гц

Fig. 20. Dynamics of the electrical lability, Hz

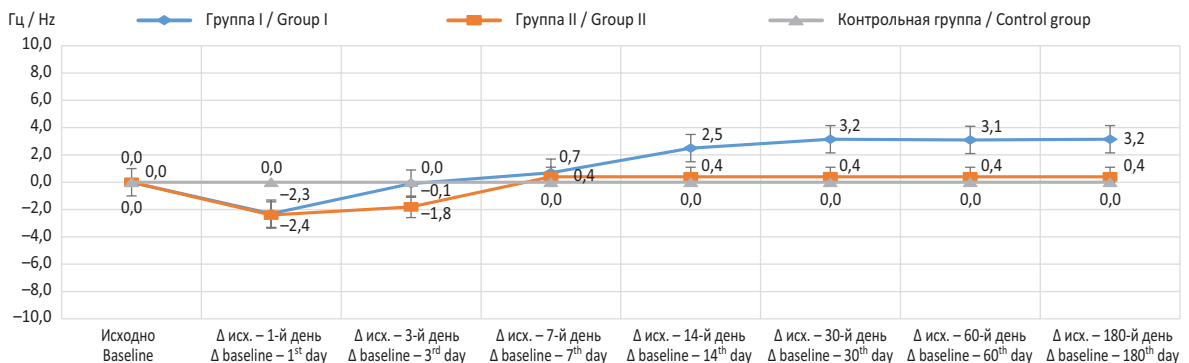


Рис. 21. Динамика абсолютного угнетения критической частоты исчезновения фосфена, Гц

Fig. 21. Dynamics of the absolute inhibition of the electrical lability, Hz

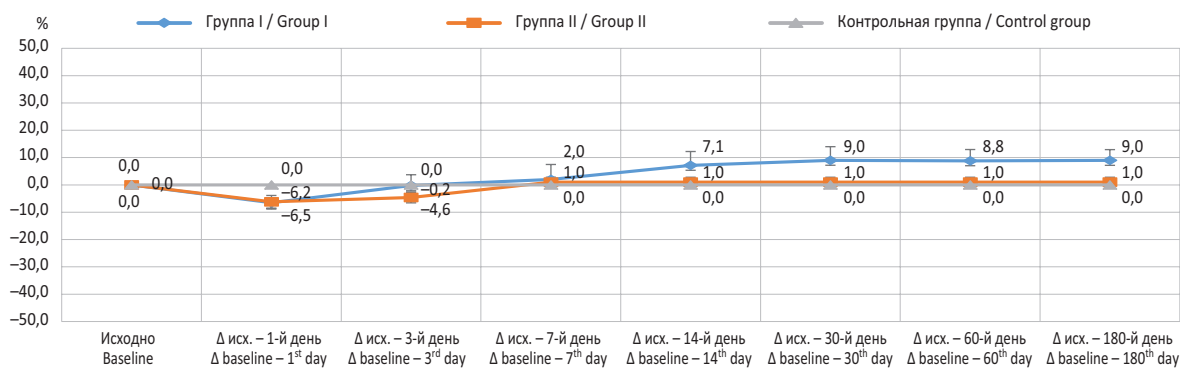


Рис. 22. Динамика относительного угнетения критической частоты исчезновения фосфена, %

Fig. 22. Dynamics of the relative inhibition of the electrical lability, %

(рис. 17–19). С третьих суток после ВЭ происходило постепенное восстановление порога ЭЧ до исходных значений. К 60-м суткам наблюдения показатели порога ЭЧ нормализовывались, данная тенденция сохранялась до конца периода наблюдения.

При анализе динамики функционального состояния папилломакулярного пучка зрительного нерва отмечалось достоверное снижение показателей КЧИФ на 1-е сутки послеоперационного наблюдения (рис. 20–22). С 14-х суток после ВЭ происходила нормализация показателей КЧИФ, данная тенденция сохранялась до конца периода наблюдения.

Исходные показатели электрогенеза сетчатки во второй группе были следующими: амплитуда волны А ОЭРГ — $132,8 \pm 16,1$ мкВ, волны В ОЭРГ — $263,31 \pm 26,1$ мкВ, амплитуда РЭРГ 30 Гц — $22,7 \pm 1,8$ мкВ. Показатели функциональной активности зрительного нерва составили: латентность компонента N2 — $81,1 \pm 6,9$ мс, латентность компонента P2 — $121,12 \pm 4,73$ мс, порог ЭЧ — $81,12 \pm 11,54$ мкА, КЧИФ — $38,5 \pm 2,54$ Гц. Время нахождения дислоцированной в стекловидную камеру ИОЛ — $404,4 \pm 40,5$ дня.

Во второй группе при анализе динамики показателей электрогенеза сетчатки на уровне фоторецепторов отмечалось достоверное снижение амплитудных параметров волны А ОЭРГ на 1-е сутки после витрэктомии (см. рис. 2–4). С третьих суток после ВЭ фиксировали тенденцию к восстановлению фоторецепторного электрогенеза (увеличение амплитуды волны А ОЭРГ). К концу периода наблюдения, на 14-е сутки, амплитудные параметры волны А достигали исходного уровня.

При анализе динамики показателей электрогенеза сетчатки на уровне биполярных клеток наблюдалось достоверное снижение ($p < 0,05$) амплитудных параметров волны В ОЭРГ на 1-е сутки

после операции (см. рис. 5–7). С третьих суток после ВЭ фиксировали тенденцию к восстановлению электрогенеза на уровне биполярных клеток (увеличение амплитуды волны В ОЭРГ). К концу периода наблюдения, на 30-е сутки, амплитудные параметры волны В достигали исходного уровня.

При анализе динамики показателей электрогенеза колбочковой системы сетчатки отмечалось достоверное снижение ($p < 0,05$) амплитудных параметров РЭРГ на 1-е сутки после операции (см. рис. 8–10). С третьих суток после ВЭ регистрировали постепенное восстановление электрогенеза колбочкового аппарата сетчатки (увеличение амплитуды РЭРГ). К концу периода наблюдения, на 14-е сутки, амплитудные параметры РЭРГ нормализовывались.

При анализе динамики показателей функционального состояния зрительного нерва отмечалось достоверное увеличение ($p < 0,05$) временных параметров компонента P2 в-ЗВП на 1-е сутки после операции (см. рис. 11–13). С третьих суток после ВЭ регистрировали тенденцию к восстановлению скорости проведения биоэлектрического импульса (уменьшение пиковой латентности компонента P2 в-ЗВП). К концу периода наблюдения, на 14-е сутки, временные параметры компонента P2 в-ЗВП достигали исходного уровня.

При анализе динамики показателей функционального состояния зрительного нерва отмечалось достоверное увеличение ($p < 0,05$) временных параметров компонента N2 в-ЗВП на 1-е сутки после операции (см. рис. 14–16). С третьих суток после ВЭ регистрировали тенденцию к восстановлению скорости проведения биоэлектрического импульса (уменьшение латентности компонента N2 в-ЗВП). К концу периода наблюдения, на 14-е сутки, временные параметры компонента N2 в-ЗВП достигали исходного уровня.

При анализе динамики показателей функционального состояния внутренних слоёв сетчатки

отмечали достоверное увеличение порога ЭЧ на 1-е сутки послеоперационного наблюдения (см. рис. 17–19). С третьих суток после ВЭ происходило постепенное восстановление порога ЭЧ до исходных значений. К 14-м суткам наблюдения показатели порога ЭЧ в обследуемой группе нормализовывались.

При анализе динамики функционального состояния папилломакулярного пучка зрительного нерва отмечалось достоверное снижение показателей КЧИФ на 1-е сутки послеоперационного наблюдения (см. рис. 20–22). С седьмых суток после ВЭ показатели КЧИФ нормализовывались, данная тенденция сохранялась до конца периода наблюдения.

В контрольной группе амплитудные показатели волн А и В ОЭРГ, амплитуды РЭРГ 30 Гц, временные параметры компонентов N2 и P2, показатели ЭЧ и КЧИФ характеризовались незначительными колебаниями во всём периоде наблюдения с отсутствием достоверных различий на каждом сроке наблюдения.

Исходные показатели латентности ОЭРГ у пациентов разных групп были следующими: в первой группе латентность волны А — $25,66 \pm 1,41$ мс, волны В — $45,96 \pm 2,19$ мс; во второй группе латентность волны А — $25,43 \pm 0,65$ мс, волны В — $45,81 \pm 1,88$ мс; в контрольной группе латентность волны А — $25,48 \pm 0,82$ мс, волны В — $45,25 \pm 1,22$ мс. Временные показатели волн А и В ОЭРГ в трёх группах характеризовались стабильностью с отсутствием достоверных различий на всех сроках наблюдения. Исходные показатели амплитуды компонентов в-ЗВП у пациентов разных групп: в первой группе амплитуда N2 — $7,63 \pm 1,31$ мкВ, амплитуда P2 — $15,22 \pm 2,56$ мкВ; во второй группе амплитуда N2 — $7,41 \pm 1,31$ мкВ, амплитуда P2 — $45,96 \pm 2,19$ мкВ; в контрольной группе амплитуда N2 — $25,66 \pm 1,41$ мкВ, амплитуда P2 — $45,96 \pm 2,19$ мкВ. Амплитудные параметры компонентов N2 и P2 в-ЗВП в трёх группах характеризовались стабильностью с отсутствием достоверных различий на всех сроках наблюдения.

При сравнительном анализе исходных показателей амплитудных параметров ОЭРГ в трёх группах были выявлены следующие закономерности:

- статистически достоверная разница амплитуды волны А между первой группой и группой контроля ($p < 0,05$);
- отсутствие достоверной разницы амплитуды волны А между второй группой и группой контроля ($p > 0,05$);

- статистически достоверная разница амплитуды волны В между первой группой и группой контроля ($p < 0,05$);
- отсутствие достоверной разницы амплитуды волны В между второй группой и группой контроля ($p > 0,05$).

При сравнительном анализе исходных показателей амплитудных параметров РЭРГ 30 Гц в трёх группах выявлены следующие закономерности:

- статистически достоверная разница амплитуды РЭРГ между первой группой и группой контроля ($p < 0,05$);
- отсутствие достоверной разницы амплитуды РЭРГ между второй группой и группой контроля ($p > 0,05$).

При сравнительном анализе исходных показателей временных и амплитудных параметров в-ЗВП в трёх группах обнаружены следующие закономерности:

- статистически достоверная разница латентности компонентов N2, P2 в-ЗВП между первой группой и группой контроля ($p < 0,05$);
- отсутствие достоверной разницы латентности компонентов N2, P2 в-ЗВП между второй группой и группой контроля ($p > 0,05$);
- статистически достоверная разница амплитуды компонентов N2, P2 в-ЗВП между первой группой и группой контроля ($p < 0,05$);
- отсутствие достоверной разницы амплитуды компонентов N2, P2 в-ЗВП между второй группой и группой контроля ($p > 0,05$).

При сравнительном анализе исходных показателей порога ЭЧ в трёх группах выявлены следующие закономерности:

- статистически достоверная разница показателей ЭЧ между первой группой и группой контроля ($p < 0,05$);
- отсутствие достоверной разницы показателей ЭЧ между второй группой и группой контроля ($p > 0,05$).

При сравнительном анализе исходных показателей КЧИФ в трёх группах обнаружены следующие закономерности:

- статистически достоверная разница показателей КЧИФ между первой группой и группой контроля ($p < 0,05$);
- отсутствие достоверной разницы показателей КЧИФ между второй группой и группой контроля ($p > 0,05$).

Длительность витрэктомии в среднем по всей группе наблюдения составила $35,4 \pm 3,6$ мин. По данным корреляционного анализа установлены следующие статистически значимые связи:

- прямая сильная корреляционная связь между длительностью витрэктомии и относительным угнетением амплитуды волны А (коэффициент корреляции — 0,89);
- прямая сильная корреляционная связь между длительностью витрэктомии в минутах и относительным угнетением амплитуды волны В (коэффициент корреляции — 0,92);
- прямая сильная корреляционная связь между длительностью витрэктомии в минутах и относительным угнетением амплитуды РЭРГ 30 Гц (коэффициент корреляции — 0,92);
- прямая сильная корреляционная связь между длительностью витрэктомии в минутах и относительным угнетением латентности компонента Р2 (коэффициент корреляции — 0,87);
- прямая сильная корреляционная связь между длительностью витрэктомии в минутах и относительным угнетением латентности компонента N2 (коэффициент корреляции — 0,86);
- прямая средней силы корреляционная связь между длительностью витрэктомии в минутах и относительным угнетением показателей ЭЧ (коэффициент корреляции — 0,65);
- прямая сильная корреляционная связь между длительностью витрэктомии в минутах и относительным угнетением показателей КЧИФ (коэффициент корреляции — 0,83).

Между показателями остроты зрения и различными электрофизиологическими показателями на всех сроках наблюдения корреляционной зависимости выявлено не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Электрогенез сетчатки — фундаментальная функция её нейронов, характеризующаяся формированием и распространением биоэлектрического импульса по мембране нервной клетки в ответ на предъявляемый адекватный световой раздражитель [15]. Нервная ткань высокочувствительна к воздействиям механизмов повреждения различной модальности, вследствие которых возможно нарушение её основных функций и формирования её парабактериального состояния [16].

В доступной литературе описана необходимость удаления нативного хрусталика при повреждении его капсулы, наличии признаков воспаления, повышении внутриглазного давления, швартообразования в стекловидном теле, что может приводить к стойкому снижению зрительных функций [17]. При поздних дислокациях ИОЛ, когда срок их нахождения в стекловидной

камере составлял в среднем от трёх месяцев до пяти лет, по данным ряда авторов, отмечаются такие осложнения, как отслойка сетчатки, кистозный макулярный отёк и др., для предотвращения развития которых необходима активная хирургическая тактика [18]. В таких ситуациях возможно подшивание ИОЛ к радужке либо её эксплантация [19].

В основных группах нашего исследования общепатологическая особенность заключалась в нахождении в СК инородного для внутриглазных структур объекта. В первой группе таким объектом являлись хрусталиковые массы и фрагменты ядра собственного хрусталика в СК, во второй группе — ИОЛ в СК. Анализ исходных показателей электрофизиологических исследований позволил определить влияние природы инородных субстратов на электрогенез сетчатки и зрительного нерва. Выявлено значимое различие между амплитудными показателями электрогенеза в группе с дислокацией фрагментов ядра хрусталика по сравнению с группой контроля, в то время как в группе с дислокацией ИОЛ в стекловидную камеру обнаружено отсутствие статистически значимых различий между исходными показателями электрогенеза по сравнению с группой контроля. Соответственно, с высокой долей вероятности именно природа объекта, находящегося в стекловидной камере, вызывает депрессию исходного электрогенеза сетчатки и зрительного нерва за счёт влияния не механического (контактного), а именно факотоксического фактора, возникающего в результате взаимодействия хрусталиковых масс с сетчаткой.

После хирургического лечения определяется неблагоприятное воздействие витрэктомии на функциональное состояние сетчатки и зрительного нерва, проявляющееся достоверной депрессией электрогенеза на уровне различных нейронов на 1-е сутки в каждой из групп.

В последующем восстановление электрогенеза сетчатки и зрительного нерва происходит с различной скоростью в разных группах: при сравнении показателей группы с фрагментами ядра хрусталика с группой контроля достоверная разница исчезает в два раза дольше, чем при сравнении показателей группы с дислокацией ИОЛ с группой контроля. Замедление скорости восстановления электрогенеза сетчатки при начальной симметричной депрессии электрогенеза в 1-е сутки после витрэктомии может быть связано с дополнительным факотоксическим воздействием фрагментов собственного хрусталика на

сетчатку в первой группе по сравнению с отсутствием такого вида воздействия во второй группе с дислокацией ИОЛ.

При детальном анализе электрогенеза на уровне фоторецепторов выявлено восстановление биоэлектрической активности нейронов на 30-е сутки послеоперационного наблюдения в первой группе и на 14-е сутки послеоперационного наблюдения во второй группе. Восстановление электрогенеза на уровне биполярных клеток отмечалось на 60-е сутки послеоперационного наблюдения в первой группе и на 30-е сутки послеоперационного наблюдения во второй группе. В обеих группах восстановление электрогенеза на уровне биполярных клеток происходило в два раза быстрее, чем на уровне фоторецепторов. Восстановление биоэлектрической активности колбочковой системы сетчатки выявлено на 30-е сутки после витрэктомии в первой группе и на 14-е сутки после операции во второй группе. В связи с этим нейроны I уровня обладают большей регенеративной способностью, чем нейроны II уровня.

При детальном анализе электрогенеза на уровне ганглиозных клеток сетчатки наблюдали восстановление скорости проведения биоэлектрического импульса на 30-е сутки после витрэктомии в первой группе и на 14-е сутки — во второй группе. При анализе данных электрофосфена нейроны аксиальной ориентации, характеризующие функциональную активность папилломакулярного пучка, обладают большей устойчивостью к воздействию витрэктомии, чем нейроны внеаксиальной ориентации, характеризующие функциональную активность ганглиозных клеток всей площади сетчатки.

ВЫВОДЫ

1. Пребывание ядра хрусталика, его фрагментов в стекловидной камере приводит к достоверному угнетению электрогенеза сетчатки за счёт факотоксического воздействия на уровне фоторецепторов, биполярных и ганглиозных клеток.

2. Витрэктомия вызывает кратковременное угнетение биоэлектрической активности сетчатки на уровне фоторецепторов, биполярных и ганглиозных клеток с последующим восстановлением до нормальных значений к концу периода наблюдения.

3. Фоторецепторы обладают большей реабилитационной активностью по сравнению с биполярными нейронами сетчатки.

4. Наибольшей устойчивостью к воздействию витрэктомии обладают нейроны аксиальной топографической ориентации.

Источник финансирования и конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Вклад авторов:

А.Н. Куликов, С.В. Сосновский — концепция.

Е.Н. Николаенко — анализ полученных данных, написание текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бранчевский С.Л., Малюгин Б.Э. Распространённость нарушения зрения вследствие катаракты по данным исследования RAAB в Самаре // Офтальмохирургия. — 2013. — № 3. — С. 82–85. [Branchevsky SL, Malyugin BE. Incidence of visual impairment due to cataract according to the RAAB study in Samara. *Ophthalmosurgery*. 2013;(3):82-85. (In Russ.)]
2. World Health Organization Study Group On. The prevention of blindness — report of a WHO Study Group. Technical report series. № 518. Geneva; 2012. W.H.O. — Режим доступа: www.who.int/trs/WHOTRS_518.pdf.
3. Zhu M, Zhu J, Lu L, et al. Four-year analysis of cataract surgery rates in Shanghai, China: a retrospective cross-sectional study. *BMC Ophthalmol*. 2014;10(14):3-8. doi: 10.1186/1471-2415-14-3.
4. Нероев В.В., Малюгин Б.Э., Трубилин В.Н., и др. Клинические и социальные аспекты лечения катаракты в России // Катарактальная и рефракционная хирургия. — 2016. — Т. 16. — № 1. — С. 4–14. [Neroev VV, Malyugin BE, Trubilin VN, et al. Clinical and social burden of cataract treatment in Russia. *Cataractal and Refractive Surgery*. 2016;16(1):4-14. (In Russ.)]
5. Abulafia A, Rosen E, Assia EI, Kleinmann G. Establishment of a Registry to Monitor Trends in Cataract Surgical Procedures and Outcomes in Israel, 1990-2014. *Isr Med Assoc J*. 2015;17(12):755-759.
6. Зуев А.В., Колесник А.И. Хирургическая тактика нетипичного течения фактоэмulsionификации катаракты. Ретроспективный анализ // Сборник материалов конференции «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии — 2011». — М., 2011. — С. 87. [Zuev AV, Kolesnik AI. Khirurgicheskaya taktika netipichnogo techeniya fakoemul'sifikatsii katarakty. Retrospektivnyi analiz. In: Sbornik materialov konferentsii "Sovremennye tekhnologii kataraktal'noi i refraktsionnoi khirurgii — 2011". (conference proceedings) Moscow; 2011. 87 p. (In Russ.)]
7. Колесников А.В. Мироненко Л.В., Свирина Т.А. Результаты субтотальной витрэктомии при дислокации интраокулярной линзы и фрагментов хрусталика в стекловидное тело // Сбор-

- ник материалов конференции «Современные технологии лечения витреоретинальной патологии – 2012». – М., 2012. – С. 111. [Kolesnikov AV, Mironenko LV, Svirina TA. Rezul'taty subtotal'noi vitrektomii pri dislokatsii intraokulyarnoi linzy i fragmentov khrustalika v steklovidnoe telo. Sbornik materialov konferentsii "Sovremennye tekhnologii lecheniya vitreoretinal'noi patologii – 2012". (conference proceedings) Moscow; 2012. 111 p. (In Russ.)]
8. Кузнецова Н.А., Игумнова Е.Н., Титов А.В. Осложнения факоэмульсификации катаракты по материалам АО «АКОБ» за 2005-2012 гг. // Фёдоровские чтения – 2013: тезисы докладов научной конференции. – М., 2013. – С. 226. [Kuznetsova NA, Igumnova EN, Titov AV. Oslozhneniya fakoemul'sifikatsii katarakty po materialam AO "AKOB" za 2005-2012 gg. Moscow; 2013. 226 p. (In Russ.)]
 9. Ascaso FJ, Huerva V, Grzybowski A. Epidemiology, etiology, and prevention of late IOL-capsular bag complex dislocation: review of the literature. *J Ophthalmol.* 2015;2015:805-807. doi: 10.1155/2015/805706.
 10. Колесников А.В., Мироненко Л.В. Субтотальная витрэктомия при различной офтальмопатологии // Сборник материалов конференции «Восток — Запад — 2013». – Уфа, 2013. – С. 254. [Kolesnikov AV, Mironenko LV. Subtotal'naya vitrektomiya pri razlichnoi oftal'mopatologii. In: Sbornik materialov konferentsii "Vostok – Zapad – 2013". (conference proceedings) Ufa; 2013. 254 p. (In Russ.)]
 11. Смирнов Е.В., Дружинин И.Б., Черных Д.В., и др. Витрэктомия с использованием эндоскопической техники при сочетанной патологии переднего и заднего отрезка глаза // Сборник материалов конференции «Современные технологии лечения витреоретинальной патологии – 2013». – М., 2013. – С. 170. [Smirnov EV, Druzhinin IB, Chernykh DV. et. al. Vitrektomiya s ispol'zovaniem endoskopicheskoi tekhniki pri sochetannoi patologii perednego i zadnego otrezka glaza. In: Sbornik materialov konferentsii "Sovremennye tekhnologii lecheniya vitreoretinal'noi patologii – 2013". (conference proceedings) Moscow; 2013. 170 p. (In Russ.)]
 12. Худяков А.Ю., Васильев А.В. Результаты лечения дислокации фрагментов хрусталика в стекловидное тело при выполнении факоэмульсификации катаракты // Сборник материалов конференции «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии. – 2008». – М., 2008. [Khudyakov AYu, Vasil'ev AV. Rezul'taty lecheniya dislokatsii fragmentov khrustalika v steklovidnoe telo pri vypolnenii fakoemul'sifikatsii katarakty. In: Sbornik materialov konferentsii "Sovremennye tekhnologii kataraktal'noi i refraktsionnoi khirurgii. – 2008". (conference proceedings) Moscow; 2008. (In Russ.)]
 13. McCulloch DL, Marmor MF, Brigell MG, et al. ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2015 update). *Doc Ophthalmol.* 2015;130(1):1-12. doi: 10.1007/s10633-014-9473-7.
 14. Odom JV, Bach M, Brigell M, et al. ISCEV Standard for clinical visual evoked potentials: (2016 update). *Doc Ophthalmol.* 2016;133(1):1-9. doi: 10.1007/s10633-016-9553-y.
 15. Шамшинова А.М. Электроретинография в офтальмологии. – М., 2009. [Shamshinova AM. Elektroretinografiya v oftal'mologii. Moscow; 2009. (In Russ.)]
 16. Гнездицкий В.В., Шамшинова А.М. Опыт применения вызванных потенциалов в клинической практике. – М., 2001. [Gnezditskii VV, Shamshinova AM. Opyt primeneniya vyzvannykh potentsialov v klinicheskoi praktike. Moscow; 2001. (In Russ.)]
 17. Millar ER, Steel DH. Small-gauge transconjunctival vitrectomy with phacoemulsification in the pupillary plane of dense retained lens matter on perfluorocarbon liquids after complicated cataract surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2013;251(7):1757-1762. doi: 10.1007/s00417-013-2293-8.
 18. Scupola A1, Abed E, Sammarco MG, et al. 25-Gauge pars plana vitrectomy for retained lens fragments in complicated cataract surgery. *Ophthalmologica.* 2015;234(2):101-108. doi: 10.1159/000434732.
 19. Rey A, Jürgens I, Dyrda A, et al. Surgical outcome of late in-the-bag intraocular lens dislocation treated with pars plana vitrectomy. *Retina.* 2016;36(3):576-581. doi: 10.1097/IAE.0000000000000738.

Сведения об авторах

Алексей Николаевич Куликов — д-р мед. наук, доцент, начальник кафедры офтальмологии. Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова МО РФ, Санкт-Петербург. E-mail: alexey.kulikov@mail.ru. SPIN: 6440-7706.

Сергей Викторович Сосновский — канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии. Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ. E-mail: svsosnovsky@mail.ru. SPIN: 3058-7913.

Евгения Николаевна Николаенко — врач-офтальмолог диагностического отделения. Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова МО РФ, Санкт-Петербург. E-mail: e.n.nikolaenko@mail.ru. SPIN: 3517-0734.

Information about the authors

Alexey N. Kulikov — MD, PhD, DMedSc, Professor, Head of the Department. Ophthalmology Department. Military Medical Academy of S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia. E-mail: alexey.kulikov@mail.ru. SPIN: 6440-7706.

Sergey V. Sosnovskii — MD, Associate Professor of the Ophthalmology Department. Military Medical Academy of S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia. E-mail: svsosnovsky@mail.ru. SPIN: 3058-7913.

Evgeniya N. Nikolaenko — ophthalmologist, Diagnostic Department. Military Medical Academy of S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia. E-mail: e.n.nikolaenko@mail.ru. SPIN: 3517-0734.