ISSN 1816-5095 (print); ISSN 2500-0845 (online)
https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-1-81-87

поступила 08.04.18
was received 08.04.18

Электронно-микроскопические изменения сетчатки глаза кролика при интравитреальной тампонаде перфторорганическими соединениями

Г.М. Арсланов[3] Б.М. Азнабаев[1,2] Т.Р. Мухамадеев[1,2]

З.Р. Янбухтина[1,2], Т.И. Дибаев[1,2], Г.Р. Шакирова[4]

[1] ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Российская Федерация

[2] ЗАО «Оптимедсервис»
ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

[3] Офтальмологический центр «Зрение»
ул. Рюхина, 12, Санкт-Петербург, 197110, Российская Федерация

[4] ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина», кафедра анатомии и гистологии животных им. А.Ф. Климова
ул. Академика Скрябина, 23, Москва, 109472, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ **Офтальмология. 2019;16(1):81–87**

Цель: анализ электронно-микроскопических изменений сетчатки глаз кролика при различных сроках тампонады полости стекловидного тела перфтор-1,3-диметилциклогексаном в сравнении с перфтордекалином. **Материалы и методы.** Исследование выполняли на кроликах породы Шиншилла. На 12 глазах 6 кроликов была проведена экспериментальная 25G витрэктомия с тампонадой полости стекловидного тела ПФОС с использованием перфтордекалина (Bausch+Lomb «Dk-line», США) и перфтор-1,3-диметилциклогексана (производитель ЗАО «Оптимедсервис», Россия). Применяли стандартную методику витрэктомии с трехпортовым доступом. После удаления стекловидного тела в витреальную полость равномерно вводили 2,5 мл соответствующего ПФОС и оставляли в качестве тампонирующего вещества. Изучение структур сетчатки осуществляли на 5, 14 и 30-й день после операции методом электронной микроскопии. Энуклеацию проводили через 20 минут после вывода животного из эксперимента. Контролем служили интактные парные глаза кроликов, образцы готовили параллельно, в строго идентичных условиях. Оценивали нарушение архитектоники сетчатки и наличие внутриклеточных включений. **Результаты.** Тампонада полости стекловидного тела обоими видами ПФОС на 5, 14 и 30-й день вызывала схожие электронно-микроскопические изменения сетчатки во все сроки: отек нейронов в ганглиозном слое сетчатки и проявление признаков умеренных дистрофических процессов в цитоплазме нейронов внутреннего и наружного ядерного слоя. Изменения в наружном ядерном слое появились к сроку тампонады в 30 дней. Фоторецепторные нейроны характеризовались единичными проявлениями ультраструктурных изменений. Клетки пигментного эпителия сетчатки были с типичной для них ультраструктурой. **Заключение.** Тампонада полости стекловидного тела перфтор-1,3-диметилциклогексаном в эксперименте вызывает сопоставимые с воздействием перфтордекалина электронно-микроскопические изменения сетчатки и может считаться относительно безопасной для сетчатки глаз кроликов в срок до 14 дней. Необратимых изменений в ультраструктуре сетчатки отмечено не было.

Ключевые слова: ПФОС, перфтор-1,3-диметилциклогексан, перфтордекалин, сетчатка, тампонада, электронная микроскопия, электронно-микроскопические изменения

Для цитирования: Арсланов Г.М., Азнабаев Б.М., Мухамадеев Т.Р., Янбухтина З.Р., Дибаев Т.И., Шакирова Г.Р. Электронно-микроскопические изменения сетчатки глаза кролика при интравитреальной тампонаде перфторорганическими соединениями. *Офтальмология*. 2019;16(1):81–87. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-1-81-87

Прозрачность финансовой деятельности: Азнабаев Б.М., Янбухтина З.Р., Мухамадеев Т.Р., Дибаев Т.И. являются научными консультантами ЗАО «Оптимедсервис».

Конфликт интересов отсутствует

CC BY 4.0

Electron Microscopic Retina Changes in Rabbit Eyes with Perfluorocarbon Liquids Intravitreal Tamponade

G.M. Arslanov[3], B.M. Aznabaev[1,2], T.R. Mukhamadeev[1,2], Z.R. Yanbukhtina[2], T.I. Dibaev[1,2], G.R. Shakirova[4]

[1] Bashkir State Medical University, Department of Ophthalmology with a course of Institute of Additional Professional Education
Lenina str., 3, Ufa, 450000, Russia

[2] "Optimedservis"
50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russia

[3] The Eye Clinic "Zrenie"
Ryukhina str., 12, Saint-Petersburg, 197110, Russia

[4] Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Scryabin,
Department of Anatomy and Histology of Animals A.F. Klimova
Akademika Skryabina str., 23, Moscow, 109472, Russia

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2019;16(1):81–87

Purpose. Analysis of electron microscopic changes in rabbit eyes with intravitreal tamponade of perfluorocarbon liquids (PFCL) (perfluoro-1,3-dimethylcyclohexane and perfluorodecalin). **Material and Methods.** The study was performed on Chinchilla breed rabbits. 25G vitrectomy with PFCL intravitreal tamponade was performed on 12 eyes of 6 rabbits (perfluorodecalin (Bausch+Lomb «Dk-line», USA) and perfluoro-1,3-dimethylcyclohexane (ZAO "Optimedservis", Russia). Standard three-port vitrectomy technique was used. After removal of the vitreous body 2.5 ml of PFCL were injected in vitreous cavity. Research studies were performed in 5, 14 and 30 days after surgery by electron microscopy. Eyes were enucleated in 20 minutes after animal was killed by air embolization. Intact eyes were used as a control. All samples were prepared in same conditions. The damage of the retina architectonics and the presence of intracellular inclusions were evaluated. **Results.** Tamponade of the vitreous cavity by both types of PFCL in 5, 14 and 30 day caused following similar electron microscopic changes at date: swelling ganglion layer and dystrophy of inner and outer nuclear layer. Electron microscopic changes in outer nuclear layer appeared at 30 days. The photoreceptor neurons were characterized by single ultrastructural changes. Retina pigment epithelium cells had a typical ultrastructure. **Conclusion.** Intravitreal perfluoro-1,3-dimethylcyclohexane tamponade caused similar electron microscopic changes as well as perfluorodecalin in the experiment and it was relatively harmless to rabbit retina for up to 14 days. Irreversible changes in the retinal ultrastructure were not observed.

Keywords: PFCL, perfluoro-1,3-dimethylcyclohexane, perfluorodecalin, retina, tamponade, electron microscopy, electron microscopic changes

For citation: Arslanov G.M., Aznabaev B.M., Mukhamadeev T.R., Yanbukhtina Z.R., Dibaev T.I., Shakirova G.R. Electron Microscopic Retina Changes in Rabbit Eyes with Perfluorocarbon Liquids Intravitreal Tamponade. *Ophthalmology in Russia.* 2019;16(1):81–87. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-1-81-87

Financial Disclosure: Aznabaev B.M., Yanbukhtina Z.R., Mukhamadeev T.R., Dibaev T.I. are scientific consultants of ZAO "Optimedservis"

There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Перфторорганические соединения (ПФОС) являются незаменимым инструментом в витреоретинальной хирургии, поскольку обладают уникальными физико-химическими свойствами, позволяющими проводить сложные манипуляции в случаях тяжелой хирургической патологии заднего сегмента глаза [1–4].

Несмотря на успешное применение ПФОС в течение долгого времени, вопросы влияния на структуры глаза, в частности, на сетчатку, до сих пор не имеют однозначных ответов, а полученные результаты экспериментальных исследований не дают полного представления о сроках возможной безопасной тампонады полости стекловидного тела.

В более ранних исследованиях, основанных на результатах с использованием методов световой и электронной микроскопии, прослеживается тенденция, согласно которой тампонада с помощью ПФОС полости стекловидного тела в экспериментальных исследованиях на несколько часов (от 3 до 48) является полностью безопасной для структур сетчатки [5]. Однако электронно-микроскопические исследования после более длительного (от 4 дней до трех недель) пребывания ПФОС в полости стекловидного тела отражали грубые изменения в наружных и внутренних слоях сетчатки, фоторецепторных слоях и ПЭС [6–8]. В то же время в 90-е годы появились экспериментальные работы с применением методов световой и электронной микроскопии, в которых указаны более длительные сроки безопасного пребывания разных видов ПФОС в полости стекловидного тела, что связывают с повышением качества очистки ПФОС[1,2] [9, 10].

Сотрудниками кафедры офтальмологии с курсом ИДПО БГМУ и ЗАО «Оптимедсервис» (г. Уфа) разработано новое перфторорганическое соединение на основе отечественной субстанции — перфтор-1,3-

[1] Шкворченко Д.О. Комплексное хирургическое лечение отслоек сетчатки, осложненных гигантскими разрывами и отрывами от зубчатой линии, с применением жидких перфторорганических соединений: дис. … канд. мед. наук: шифр спец. 14.00.08 / М., 1995. С. 96–97.

[2] Куликов А.Н. Отечественные перфторорганические соединения для системы реконструктивной офтальмохирургии: дис. … д-ра мед. наук: шифр спец. 14.00.08 / М., 2005. С. 77–79.

диметилциклогексан — для тампонады полости стекловидного тела [11]. Ранее экспериментальных работ в отношении влияния перфтор-1,3-диметилциклогексана на сетчатку не проводилось.

Исходя из вышесказанного, актуально изучение с помощью метода электронной микроскопии влияния разработанного ПФОС (перфтор-1,3-диметилциклогексан, «Оптимед», Россия) на сетчатку глаза экспериментального животного при кратко- (5 дней), средне- (14 дней) и долгосрочной (30 дней) тампонаде по сравнению с известным зарубежным аналогом (перфтордекалин, Bausch+Lomb «Dk-line», США).

Целью данного исследования явилось изучение и анализ электронно-микроскопических изменений сетчатки глаза кролика при различных сроках тампонады полости стекловидного тела перфтор-1,3-диметилциклогексаном по сравнению с перфтордекалином.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на 12 глазах 6 кроликов породы Шиншилла весом 2,5–3,5 кг. Манипуляции с лабораторными животными были выполнены в соответствии с Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований с использованием животных, изложенными в Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и научных целей (Страсбург, 2006), требованиями Хельсинкской декларации (Эдинбург, 2000) и Всемирной медицинской ассоциации (2000), Руководством по уходу и использованию лабораторных животных (Москва, 2016).

Для премедикации (за 20 минут до операции) использовали 0,1 мл 0,1 % раствора атропина сульфата подкожно. За 30 минут до операции вводили внутримышечно раствор ксилазина гидрохлорида из расчета 1–2 мг на кг веса животного. Непосредственно перед операцией вводили «Золетил 100» из расчета 15 мг на 1 кг веса.

Для панорамной визуализации использовали систему, состоящую из контактной линзы 130 дптр и инвертора. Витрэктомия была проведена с помощью офтальмохирургической системы «Оптимед Профи» с использованием инструментов калибра 25G и частотой 6000 резов в мин. Трансскларально через плоскую часть цилиарного тела на меридианах 2, 10 и 12 часов устанавливали порты для инструментов, выполняли витрэктомию с максимально полным удалением стекловидного тела. В витреальную полость вводили 2,5 мл соответствующего ПФОС: первой группе (n = 6) — ПФОС на основе перфтор-1,3-диметилциклогексана («Оптимед», Россия); второй группе (n = 6) — ПФОС на основе перфтордекалина (Bausch+Lomb «Dk-line», США). ПФОС вводили единым пузырем, следили за равномерным распределением внутри витреальной полости и по поверхности сетчатки, оставляли в качестве тампонирующего вещества. Интраоперационных осложнений не было. По окончании операции на область портов накладывали швы, субконъюнктивально вводили 0,1 мл раствора ванкомицина и 0,3 мл бетаметазона. Послеоперационный период у всех животных протекал без осложнений. В конъюнктивальную полость в течение 5 дней инстиллировали глазные антибактериальные и НПВС-препараты (0,5 % моксифлоксацин и 0,1 % индометацин).

На 5, 14 и 30-й день путем бескровной и безболезненной методики воздушной эмболии выводили из эксперимента по одному животному из каждой группы. Энуклеированные глаза фиксировали в 10 % нейтральном формалине и заливали в парафин по общепринятым стандартным методикам. Для электронно-микроскопического исследования глазное яблоко кроликов рассекали лезвием. Задний полюс разрезали на мелкие кусочки (1 × (2–3) мм), не отделяя сетчатку от хориоидеи и склеры. Кусочки тканей фиксировали в 2 % растворе глютарового альдегида на фосфатном буфере Миллонига (pH 7,2–7,4) в течение 24 часов. Дофиксацию проводили в 1 % растворе OsO_4 (1–2 часа) на том же буфере. Материал обезвоживали в спиртах возрастающей концентрации и заливали в эпон-812 по общепринятой методике. Полутонкие и ультратонкие срезы готовили с помощью ультратома LKB-III 8800 (Швеция). Ультратонкие срезы контрастировали 2 % водным раствором уранилацетата, цитратом свинца по Рейнольдсу[3], изучали и фотографировали в трансмиссионном микроскопе JEM CX II (Япония) при увеличениях от 4000 до 10 000. Оценивали нарушение архитектоники сетчатки и наличие внутриклеточных включений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Электронно-микроскопические (ультраструктурные) изменения сетчатой оболочки глаз кроликов через 5 дней после интравитреальной тампонады обоими видами ПФОС представлены на рис. 1–4. Определялся факт уплотнения цитоплазмы ножек радиальных мюллеровских глиоцитов, формирующих внутреннюю глиальную мембрану (рис. 1). Цитоплазма ножек выглядела плотной. Типичные для них органеллы, такие как микрофибриллы, микротрубочки, зерна гликогена, выявлялись нечетко и лишь в отдельных участках, т. к. часть органелл полностью разрушилась, появились светлые вакуоли разных размеров или обширные пустые зоны в цитоплазме (рис. 2). В ганглиозном слое сетчатки цитоплазма нейронов выглядела отечной. Многие органеллы в таких клетках разрушались или вакуолизировались (рис. 3). Ядра ганглиозных нейронов сохраняли свою структуру. Внутренний сетчатый слой, состоящий из отростков ганглиозных нейронов и нейронов внутреннего ядерного слоя, выглядел в виде светлой крупноячеистой сети, т. к. данные отростки нейронов также были в отечном состоянии. Определялись признаки гидропической дистрофии отдельных нейронов внутреннего ядерного слоя сетчатки

[3] Уикли Б. Электронная микроскопия для начинающих. Пер. с анг. М: Мир, 1975. 324 с.

в виде вакуолизации митохондрий и каналов гранулярного эндоплазматического ретикулума (рис. 4). Наружный сетчатый слой характеризовали признаки умеренной отечности. Наружный ядерный слой, включающий тела фоторецепторных нейронов (узкий ободок цитоплазмы фоторецепторных клеток вокруг округлых ядер с большим количеством гетерохроматина содержал отдельные мелкие митохондрии и короткие каналы гранулярного эндоплазматического ретикулума), слой палочек и колбочек, состоящий из их внутренних и наружных сегментов, а также клетки пигментного эпителия сетчатки ультраструктурных изменений не проявляли.

Электронно-микроскопические препараты сетчатой оболочки через 14 дней после интравитреальной тампонады обоими видами ПФОС представлены на рис. 5, 6.

Ультраструктурные изменения были выражены примерно в той же степени, как на предыдущем сроке эксперимента. Цитоплазма ножек радиальных мюллеровских

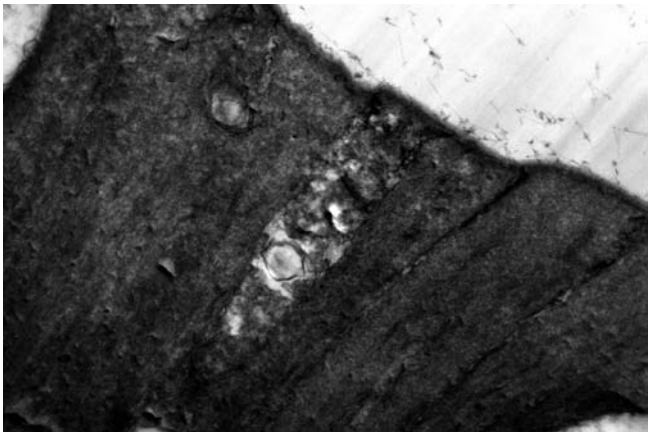

Рис. 1. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 5 дней после введения ПФОС (перфтордекалин). 1, 2 — ножки мюллеровых глиоцитов; внутренняя глиальная мембрана (красная стрелка). Электронная микрофотография. Увел. ×4000

Fig. 1. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 5 days from PFCL (perfluorodecalin) intravitreal tamponade. 1, 2 — The legs of Muller's gliocytes; internal glial membrane (red arrow). Electron micrograph. Magnification ×4000

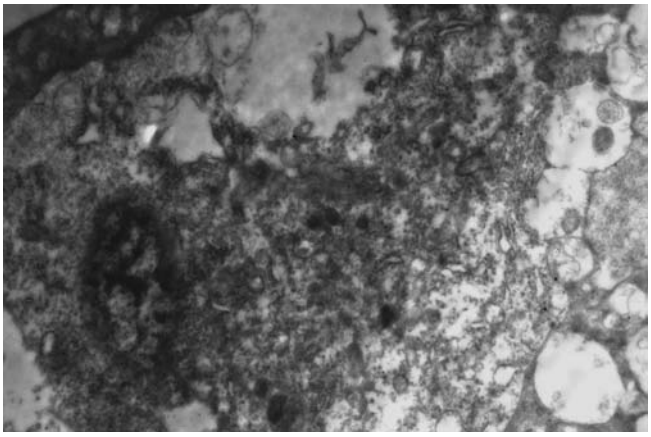

Рис. 2. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 5 дней после введения ПФОС (перфтордекалин). 1 — ганглиозный нейрон; 2 — пустая зона в цитоплазме; 3 — пикнотичное ядро; разрушающиеся органеллы (красная стрелка). Электронная микрофотография. Увел. ×4000

Fig. 2. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 5 days from PFCL (perfluorodecalin) intravitreal tamponade. 1 — gangliocyte; 2 — empty band in cytoplasm; 3 — pycnotic nucleus; degraded organelles (red arrow). Electron micrograph. Magnification ×4000

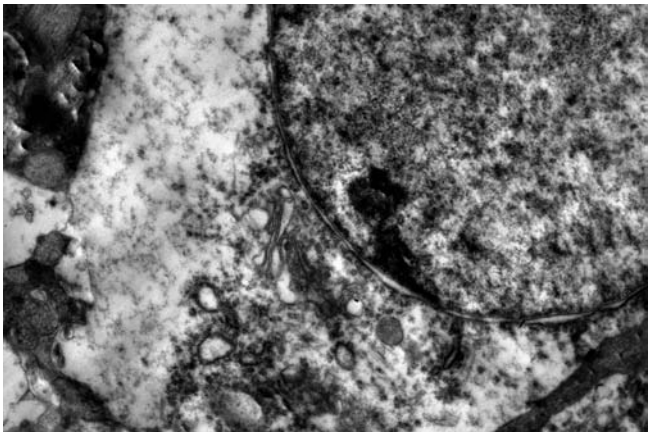

Рис. 3. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 5 дней после введения ПФОС (перфтор-1,3-диметилциклогексан). 1 — ганглиозный нейрон; 2 — часть цитоплазмы с разрушенными органеллами; вакуоли (красные стрелки). Электронная микрофотография. Увел. ×5000

Fig. 3. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 5 days from PFCL (perfluoro-1,3-dimethylcyclohexane) intravitreal tamponade. 1 — gangliocyte; 2 — part of cytoplasm with degraded organelles; vacuoles (red arrows). Electron micrograph. Magnification ×5000

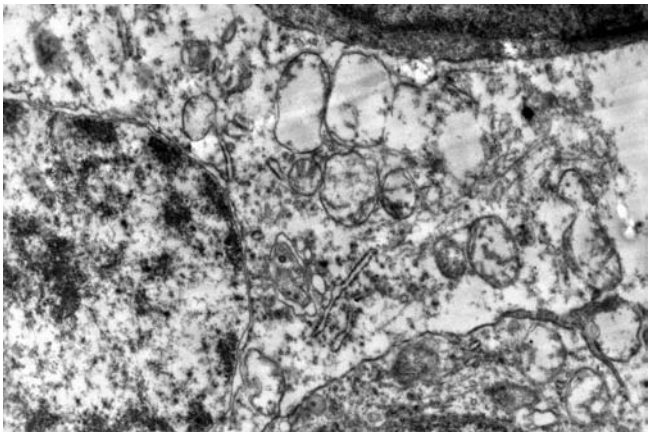

Рис. 4. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 5 дней после введения ПФОС (перфтор-1,3-диметилциклогексан). Отек, вакуолизация органелл в цитоплазме (красные стрелки) нейронов (1, 2) внутреннего ядерного слоя; 3 — мюллеровский глиоцит. Электронная микрофотография. Увел. ×8000

Fig. 4. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 5 days from PFCL (perfluoro-1,3-dimethylcyclohexane) intravitreal tamponade. Edema, vacuolization of organelles in cytoplasm (red arrows) of neurons of inner nuclear layer (1, 2); 3 — Muller's gliacyte. Electron micrograph. Magnification ×8000

глиоцитов во многих участках была уплотненной. В ганглиозном слое присутствовал отек вокруг отдельных ганглиозных нейронов, а в некоторых клетках в цитоплазме продолжали определяться участки просветления за счет разрушения органелл (рис. 5) и участки гидропической дистрофии в виде присутствия в цитоплазме небольшого количества светлых вакуолей разных размеров. Определялись умеренно выраженные признаки гидропической дистрофии в виде вакуолизации цитоплазмы у единичных нейронов внутреннего ядерного слоя и отека между телами фоторецепторных нейронов в наружном ядерном слое (рис. 6). В слое палочек и колбочек, где лежат внутренние и наружные сегменты фоторецепторов, значительных ультраструктурных изменений выявлено не было (кроме слабо выраженных признаков гидропической дистрофии в слое палочек и колбочек), так же как и в клетках пигментного эпителия сетчатки. Данные клетки имели характерную для них ультраструктуру.

Заключительная серия электронно-микроскопических препаратов сетчатой оболочки через 30 дней после интравитреальной тампонады обоими видами ПФОС представлена на рис. 7–8.

В отдельных участках ультраструктурные изменения были довольно выраженными. Цитоплазма ножек радиальных мюллеровских глиоцитов была уплотнена. Органеллы в них дифференцировались с трудом. В таких участках признаки отека сетчатки в виде набухания цитоплазмы нейронов выявлялись как в ганглиозном слое, так и во внутреннем ядерном слое (рис. 7) и даже местами в наружном ядерном слое в виде перинуклеарного отека. В большей части сетчатки ультраструктурные изменения были слабо выражены в виде вакуолизации цитоплазмы отдельных нейронов ганглиозного и внутреннего ядерного слоя. В цитоплазме ганглиозных нейронов четко выявлялись базофильные тельца Ниссля из скоплений рибосом и полирибосом и множества каналов гранулярного эндоплазматического ретикулума. В наружном ядерном слое сетчатки глаза фоторецепторные нейроны лежали плотными рядами. Светлая узкая цитоплазма с редкими органеллами окружала округлые темные ядра примерно одинаковых размеров. Ультраструктура внутреннего и наружного сетчатого, а также внутреннего ядерного слоя, слоя палочек и колбочек была изменена мало — выявлялись единичные признаки дистрофических изменений в виде редких вакуолей в цитоплазме клеток (рис. 8). Внутренние сегменты фоторецепторных нейронов содержали большое количество удлиненных митохондрий с тонкими кристами. Наружные сегменты имели цилиндрическую форму и состояли из множества сдвоенных мембран, которые формировали накладывающиеся друг на друга диски. Клетки пигментного эпителия сетчатки лежали на неизмененной мембране Бруха и характеризовались типичной для них ультраструктурой — длинными отростками-микровиллами, которые плотно обхватывали наружные сегменты фоторецепторных нейронов. В цитоплазме пигментных клеток выявлялись типичные для них органеллы: осмиофильные пигментные гранулы (меланосомы), митохондрии округлой или овальной формы с тонкими светлыми кристами, рибосомы и полисомы, каналы гладкого и гранулярного эндоплазматического ретикулума.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, через месяц после введения внутрь глазного яблока обоих видов ПФОС в сетчатке экспериментальных кроликов выявлялись умеренно выраженные ультраструктурные изменения в виде отека нейронов в ганглиозном слое сетчатки. Отмечено проявление

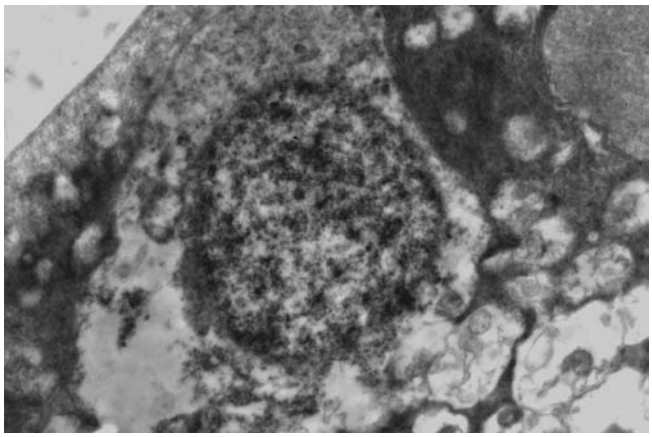

Рис. 5. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 14 дней после введения ПФОС (перфтордекалин). 1 — ганглиозный нейрон; 2 — пустая зона в цитоплазме; 3 — ножка мюллеровского глиоцита. Электронная микрофотография. Увел. ×4000

Fig. 5. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 14 days from PFCL (perfluorodecalin) intravitreal tamponade. 1 — gangliocyte; 2 — empty band in cytoplasm; 3 — the legs of Muller's gliocytes. Electron micrograph. Magnification ×4000

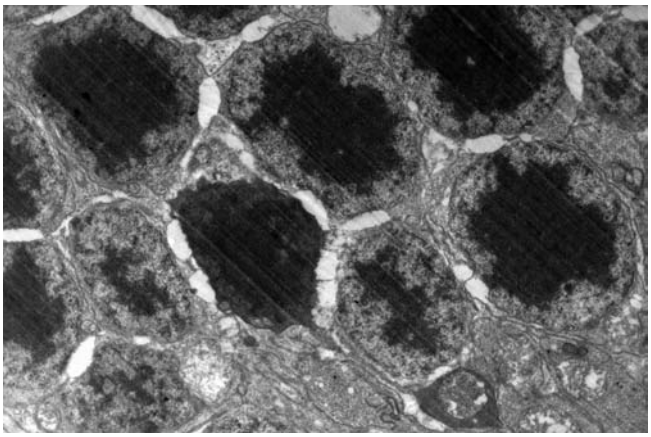

Рис. 6. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 14 дней после введения ПФОС (перфтордекалин). Отек между фоторецепторными нейронами (1–4). Электронная микрофотография. Увел. ×8000

Fig. 6. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 14 days from PFCL (perfluorodecalin) intravitreal tamponade. Edema between photoreceptor neurons (1–4). Electron micrograph. Magnification ×8000

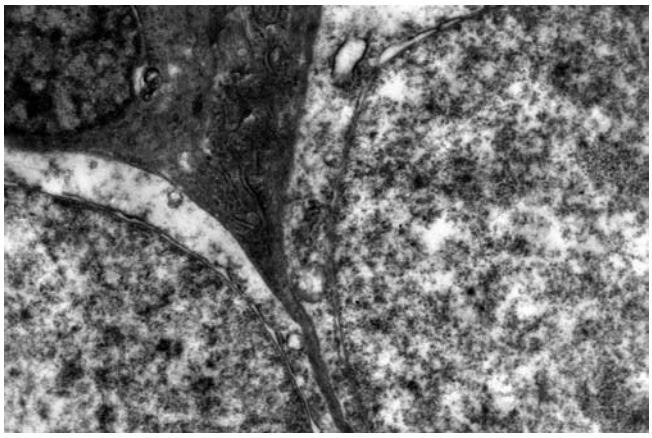

Рис. 7. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 30 дней после введения ПФОС (перфтордекалин). Отек цитоплазмы (красная стрелка) нейронов (1, 2) внутреннего ядерного слоя; 3 — Мюллеровский глиоцит. Электронная микрофотография. Увел. ×8000

Fig. 7. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 30 days from PFCL (perfluorodecalin) intravitreal tamponade. Cytoplasm edema (red arrow) of neurons (1, 2) of the inner nuclear layer; 3 — Muller's gliocyte. Electron micrograph. Magnification ×8000

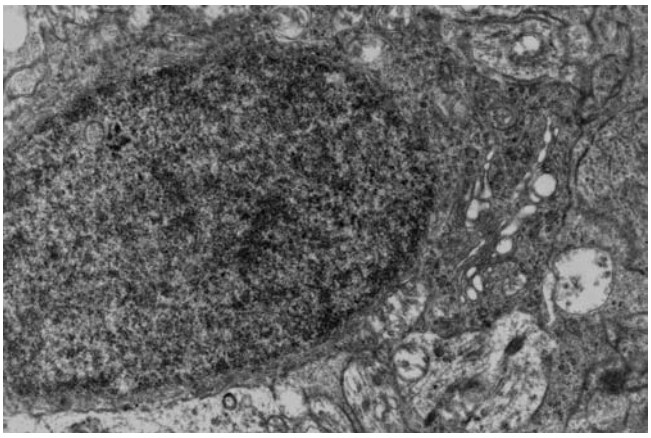

Рис. 8. Ультраструктура сетчатки глаза кролика через 30 дней после введения ПФОС (перфтор-1,3-диметилциклогексан). Нейрон внутреннего ядерного слоя (1). Электронная микрофотография. Увел. ×8000

Fig. 8. Ultrastructure of eye retina of the rabbit after 30 days from PFCL (perfluoro-1,3-dimethylcyclohexane) intravitreal tamponade. Neuron of the inner nuclear layer (1). Electron micrograph. Magnification ×8000

признаков умеренных дистрофических процессов в цитоплазме нейронов внутреннего ядерного слоя, уплотнение цитоплазмы ножек радиальных мюллеровских глиоцитов, формирующих внутреннюю глиальную мембрану. Фоторецепторные нейроны также характеризовались единичными проявлениями ультраструктурных изменений, которые через месяц в отдельных участках исчезали. Клетки пигментного эпителия сетчатки были с типичной для них ультраструктурой.

Можно заключить, что результаты электронно-микроскопических исследований согласуются с результатами гистологических изменений, подтверждая, таким образом, безопасность тампонады ПФОС в течение 14 суток [12]. Полученные результаты также согласуются с данными ряда авторов [5, 9, 10]. Необратимых изменений в ультраструктуре сетчатки, которые в данные сроки описывали другие авторы [6–8], мы не наблюдали.

Тампонада полости стекловидного тела перфтор-1,3-диметилциклогексаном в эксперименте вызывает сопоставимые с перфтордекалином электронно-микроскопические изменения сетчатки и может считаться безопасной для сетчатки глаза кролика в срок до 14 дней.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Азнабаев Б. М. — концепция и дизайн исследования;
Мухамадеев Т.Р. — проведение экспериментов;
Арсланов Г. М. — проведение экспериментов, сбор и анализ данных; написание текста, подготовка иллюстраций, подготовка статьи и ее критический пересмотр в части интеллектуального содержания;
Янбухтина З. Р. — проведение экспериментов;
Дибаев Т.И. — проведение экспериментов;
Шакирова Г. Р. — выполнение электронной микроскопии, анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Sargent J.W., Seffl R.J. Properties of perfluorinated liquids. *Fed Proc.* 1970;29(5):1699–1703.
2. Georgalas I., Ladas I., Tservakis I., Taliantzis S., Gotzaridis E., Papaconstantinou D., Koutsandrea C. Perfluorocarbon liquids in vitreoretinal surgery: a review of applications and toxicity. *Cutaneous and Ocular Toxicology*. 2011;30(4):251–262. DOI: 10.3109/15569527.2011.560915
3. Drury B., Bourke R.D. Short-term intraocular tamponade with perfluorocarbon heavy liquid. *British Journal of Ophthalmology*. 2011;95(5):694–698. DOI: 10.1136/bjo.2009.175216
4. Rizzo S., Barca F. Vitreous substitute and tamponade substances for microincision vitreoretinal surgery. *Dev Ophthalmol*. 2014;54:92–101. DOI: 10.1159/000360454
5. Chang S., Sparrow J.R., Iwamoto T., Gershbein A., Ross R., Ortiz R. Experimental studies of tolerance to intravitreal perfluoro-n-octane liquid. *Retina*. 1991;11(4):367–374.
6. Iwamoto T. Histopathology of rabbit and pig retina in eyes with intravitreal perfluorochemicals, with special reference to pdd (photoreceptor drop down) and mep (moath eaten phenomenon). *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*. 1990;94:88–89.
7. Devin F., Jourdan T., Saracco J.B., Lucciani A. Experimental tolerance to perfluorodecalin used in prolonged intraocular tamponade. *Ophthalmologica*. 1995;209(6):306–314.
8. Orzalesi N., Migliavacca L., Bottoni F., Miglior S. Experimental short-term tolerance to perfluorodecalin in the rabbit eye: a histopathological study. *Curr Eye Res*. 1998;17(8):828–835.
9. Flores-Aguilar M., Munguia D., Loeb E., Crapotta J.A., Vuong C., Shakiba S., Bergeron-Lynn G., Wiley C.A., Weers J., Freeman W.R. Intraocular tolerance of perfluorooctylbromide (perflubron). *Retina*. 1995;15(1):3–13.
10. Mackiewicz J., Maaijwee K., Lüke C., Kociok N., Hiebl W., Meinert H., Joussen A.M. Effect of gravity in long-term vitreous tamponade: in vivo investigation using perfluorocarbon liquids and semi-fluorinated alkanes. *Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2007;245(5):665–675.
11. Азнабаев Б.М., Мухамадеев Т.Р., Янбухтина З.Р. Инновационные технологии в офтальмологии. *Российский общенациональный офтальмологический форум*. 2014;(2):526–528. [Aznabaev B.M., Mukhamadeev T.R., Yanbukhtina Z.R. Innovative technologies in ophthalmology. Russian national ophthalmology forum in Russia = *Rossiiskii obshchenatsional'nyi oftal'mologicheskii forum*. 2014;(2):526–528 (in Russ.)].
12. Арсланов Г.М., Дибаев Т.И., Мухамадеев Т.Р. Янбухтина З.Р., Азнабаев Б.М. Гистологические изменения сетчатки глаз кроликов при интравитреальной тампонаде перфторорганическими соединениями. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2016;16(1):57–61. [Arslanov G.M., Dibaev T.I., Mukhamadeev T.R., Yanbukhtina Z.R., Azbanaev B.M. Histology of retina rabbit after intravitreal tamponade using perfluoro organic compounds. Cataract and refractive surgery in Russia = *Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2016;16(1):57–61 (in Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Офтальмологический центр «Зрение»
Арсланов Глеб Маратович
врач-офтальмолог
ул. Рюхина, 12, Санкт-Петербург, 197110, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ЗАО «Оптимедсервис»
Азнабаев Булат Маратович
доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой офтальмологии с курсом ИДПО БГМУ, генеральный директор «ЗАО Оптимедсервис».
ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Российская Федерация
ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ЗАО «Оптимедсервис»
Мухамадеев Тимур Рафаэльевич
доктор медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии с курсом ИДПО БГМУ, заместитель генерального директора ЗАО «Оптимедсервис».
ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Российская Федерация
ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ЗАО «Оптимедсервис»
Янбухтина Зиля Раилевна
Ассистент кафедры офтальмологии с курсом ИДПО БГМУ, заместитель генерального директора ЗАО «Оптимедсервис»
ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Российская Федерация
ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ЗАО «Оптимедсервис»
Дибаев Тагир Ильдарович
кандидат медицинских наук, ассистент кафедры офтальмологии с курсом ИДПО БГМУ, руководитель научной группы ЗАО «Оптимедсервис»
ул. Ленина, 3, Уфа, 450000, Российская Федерация
ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина», кафедра анатомии и гистологии животных им. А.Ф. Климова
Шакирова Галия Рафгатовна
доктор биологических наук, профессор
ул. Академика Скрябина, 23, Москва, 109472, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

The Eye Clinic «Zrenie»
Arslanov Gleb M.
MD, ophthalmologist
Ryukhina str., 12, Saint-Petersburg, 197110, Russia

Bashkir State Medical University. Department of Ophthalmology with Postgraduate course
"Optimedservis"
Aznabaev Bulat M.
MD, PhD, Doctor of Science, professor, Chairman, CEO of ZAO "Optimedservis"
Lenina str., 3, Ufa, 450059, Russia
50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russia

Bashkir State Medical University. Department of Ophthalmology with Postgraduate course
"Optimedservis"
Mukhamadeev Timur R.
MD, PhD, Doctor of Science, Associate Professor, Deputy Director General of ZAO "Optimedservis"
Lenina str., 3, Ufa, 450059, Russia
50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russia

Bashkir State Medical University. Department of Ophthalmology with Postgraduate course
«Optimedservis»
Yanbukhtina Zilya R.
MD, Assistant,
Deputy Director General of ZAO "Optimedservis"
Lenina str., 3, Ufa, 450059, Russia
50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russia

Bashkir State Medical University. Department of Ophthalmology with Postgraduate course
«Optimedservis»
Dibaev Tagir I.
MD, PhD, Assistant, Head of Research and Development of ZAO "Optimedservis"
Lenina str., 3, Ufa, 450059, Russia
50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russia

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MBA named after K.I. Scriabin, Department of Anatomy and Histology of Animals A.F. Klimova
Galiya R. Shakirova
PhD, Doctor of Science, Professor
Akademika Skryabina str., Moscow, 109472, Russia