

НОВЫЙ СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ ВИТРЕОРЕТИНОПАТИИ

Кольбин А.А.*

ФГБВОУВО «Военно-медицинская академия
им. С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург

DOI: 10.25881/20728255_2025_20_4_S1_148

Резюме. Цель исследования: выполнить изучение стандартизированной модели огнестрельного проникающего ранения глаза без внутриглазного инородного тела (открытой травмы глаза типа В).

Материалы и методы. Экспериментальное исследование было выполнено с использованием стандартизированной модели на 36 кроликах породы Шиншилла (71 глаз). Моделирование огнестрельного проникающего ранения глаза без внутриглазного инородного тела – огнестрельной открытой травмы глаза (ОТГ) типа В – производили с использованием пневматической винтовки и модернизированных снарядов к ней. После моделирования огнестрельной ОТГ В (ООТГ) выполняли детальный офтальмологический анализ животных в контрольные дни исследования. Использовали набор современных стандартных и высокотехнологичных методов исследования: офтальмоскопию, оптическую когерентную томографию (ОКТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), ультразвуковое (УЗИ) и гистологическое исследование. Применяли непараметрические методы статистики.

Результаты. Анализ информативности, в том числе в сравнительный, использованных методов диагностики пролиферативной витреоретинопатии ПВР доказал актуальность каждого из них. А использование МРТ, дополнительно, впервые продемонстрировало высокую информативность и наглядность метода при диагностике ПРВ.

Заключение. Изучение пролиферативных признаков с применением различных методов анализа (гистологический, обратная офтальмоскопия, ОКТ, УЗИ и МРТ) подтвердило возможность их применения в качестве маркеров ПВР. Также сделало потенциальным взаимным замену этих диагностических методов при диагностике пролиферативных изменений после травмы. МРТ в качестве метода диагностики ПВР отмечается высокой информативностью и наглядностью.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, оптическая когерентная томография, маркеры пролиферативной витреоретинопатии, офтальмотравматология.

Огнестрельная травма глазного яблока является актуальной проблемой мирного и военного времени [1; 2].

В структуре современной военной травмы частота повреждений органа зрения колеблется от 7,5 до 11,9% случаев. Доля ООТГ при этом составляет от 58 до 63% [1; 3]. В мирное время частота ООТГ в структуре глазного травматизма по разным данным достигает 44,4–78,8% случаев [2–5].

ООТГ в силу своей тяжести, обусловленной синдромом внутриглазного взаимного отягощения [7–9], приводит к низким функциональным и косметическим результатам лечения. Например, при боевых повреждениях субатрофия глазного яблока встречается с частотой 7,4%, конечная острота зрения менее 0,05 – в 23,0% случаев. Если ООТГ получена в мирное время: в 15,3% случаев исходом повреждения является анофтальм, а в 36,9% – субатрофия глазного яблока [4; 7; 11].

Особенную роль в патогенезе ООТГ играет ПВР. В послеоперационном периоде её развитие у пациентов с

A NEW METHOD FOR DIAGNOSING PROLIFERATIVE VITREORETINOPATHY

Kol'bin A.A.*

S.M. Kirov «Military Medical Academy» MD RF, Saint-Petersburg

Abstract. The objective of the study: to study a standardized model of a gunshot penetrating wound of the eye without an intraocular foreign body (type B open globe injury).

Materials and methods.

The experimental study was performed using a standardized model [1] of 36 Chinchilla rabbits (71 eyes). A gunshot penetrating wound to the eye without an intraocular foreign body, an open type B globe injury (OGI B), was simulated using an air rifle and upgraded projectiles for it. After modeling OGI B, a detailed ophthalmological analysis of the animals was performed on the control days of the study. A set of modern standard and high-tech methods for determining proliferative vitreoretinopathy (PVR) were used: ophthalmoscopy, optical coherence tomography (OCT), magnetic resonance imaging (MRI), ultrasound (USG) and histological examination of the eyeball. Nonparametric statistical methods were used.

Results. An analysis of the information content, including comparative analysis, of the used methods for diagnosing PVR proved the relevance of each of them. Additionally, the use of MRI has demonstrated for the first time a high level of information and visibility in the diagnosis of ARV.

Conclusion. The study of proliferative signs using various methods of analysis (histological, ophthalmoscopy, OCT, USG and MRI) confirmed the possibility of their use as markers of PVR. It also made it possible to replace these diagnostic methods in the diagnosis of proliferative changes after injury. MRI as a method of diagnosing PVR is noted for its high information content and visibility.

Keywords: magnetic resonance imaging, optical coherence tomography, markers of proliferative vitreoretinopathy, ophthalmic traumatology.

ОТГ наблюдается в 5–6 раз чаще по сравнению с пациентами у которых отслойка сетчатки имела регматогенную этиологию [10; 12; 13]. А при ООТГ ПВР приобретает особенно стремительное течение [14].

Логично, что для оптимальной верификации пролиферативного процесса необходимо использовать как традиционные офтальмологические: обратная офтальмоскопия, так и современные высокотехнологические методы диагностики: ОКТ, УЗИ и МРТ [16; 17; 18], а также – гистологическое исследование. Последний, с одной стороны, представляет собой эталонный метод, однако, с другой, – труднореализуем в клинической практике и становится предпочтительным при экспериментальных исследованиях.

Все это подчеркивает важность изучения объективных маркеров [17] пролиферативного процесса [6; 12; 15], которые могут повысить качество диагностики и, как результат, улучшить исходы лечения пациентов с ООТГ [19].

Цель исследования. Оценка признаков ПВР на стандартизированной модели ООТГ типа В.

* e-mail: kolba81@yandex.ru

Материалы и методы

Эксперимент выполнен на кафедре офтальмологии имени профессора В.В. Волкова Военно-медицинской академии. Проведено детальное изучение разработанной нами стандартизированной модели ООТГ типа В [17]. В качестве лабораторных животных использовали 36 кроликов (71 глаз) породы «Шиншилла». Всем лабораторным животным выполняли контрольное обследование до и после нанесения ранения, а также на 1-й, 3-й, 7-й, 14-й и 21-й день эксперимента.

Для офтальмоскопии заднего сегмента глаза использовали офтальмоскоп бинокулярный Omega 200 (Heine Optotechnik, Германия).

Гемофтальм оценивали в баллах путем определения его степени в каждом квадранте и их суммирования. Баллы присваивали по степени различия деталей сетчатки: детали хорошо различимы – 0 балл; осмотр деталей незначительно затруднен – 1 балл; ослабление рефлекса, осмотр деталей затруднен – 2 балла; осмотр деталей невозможен, рефлекс с глазного дна отсутствует – 3 балла.

Также при выполнении офтальмоскопии определяли выраженность ПВР. Отсутствие патологических изменений в стекловидной камере (СК) и сетчатке соответствовало 0 баллов; наличие единичных тяжей – 1 балл; множественные фиброзные тяжи – 2 балла; наличие грубых фиброзных тяжей, а также присутствие отслойки сетчатки – 3 балла.

Выполняли ОКТ стекловидной камеры и сетчатки на томографе RTVue-100 XR (Optovue Inc., США). Изучали признаки, характерные для ПВР: изменения отсутствуют – 0 баллов; наличие эхо-позитивных уплотнений на поверхности сетчатки, характерных для пролиферативных изменений, признаков отслойки сетчатки нет – 1 балл; в сетчатке определяются эхо-позитивные включения, сетчатка отслоена, слои её дифференцируются – 2 балла; в сетчатке определяются грубые эхо-позитивные включения, сетчатка отслоена, слои её не дифференцируются – 3 балла.

Выполняли ультразвуковое исследование с использованием режима В-сканирования на приборе Eye Cubed (Ellex Medica LTD, Австралия). В каждом квадранте фиксировали эхо-позитивные включения, присваивали им баллы, которые затем складывали. При отсутствии изменений присваивали 0 баллов; наличие единичных включений – 1 балл; множественных – 2 балла.

Регистрировали МР-изображения при помощи томографа Siemens Magnetom Symphony (Siemens AG, Германия) мощностью 1,5 Тл. Анализировали последовательность сигналов 3D FIESTA-C в корональных срезах. Сравнивали МР-изображения здорового глазного яблока с глазным яблоком после нанесения ранения на контрольных сроках исследования.

Выполняли оценку пролиферативных признаков на основании МР-изображений. Фиксировали гипointенсивные линейные тени в баллах: отсутствие изменений – 0 баллов; наличие единичных линейных теней – 1 балл; множественных – 2 балла.

Проводили гистологическое исследование, которое включало световую микроскопию с фоторегистрацией её результатов на микроскопе Axio Imager Z1 (Carl Zeiss AG, Германия).

При гистологическом исследовании оценивали пролиферативные признаки: отсутствие ПВР – 0 баллов; присутствие клеточных элементов по ходу тяжей стекловидного тела (СТ), которое ущемлено в раневом канале – 1 балл; преретинальные изменения характерные для фиброза – 2 балла; признаки отслойки сетчатки, слои её сохранены – 3 балла; сетчатка отслоена, дезорганизация её слоев – 4 балла.

Результаты представляли в виде среднего $\pm$ ошибки среднего или медианы $\pm$ межквартильный размах (25–75%). Гипотезу о виде распределения контролировали критерием Шапиро-Уилка. Для оценки различий между несвязанными группами – W-критерий Уилкоксона. Различия принимали значимыми при уровне $p \leq 0,05$. Для демонстрации результатов с заданной надёжностью частоты анализировали с помощью 95%-доверительного интервала (95% ДИ). Расчет его выполняли с использованием метода Уилсона или углового преобразования Фишера для малых выборок. Сравнение статистической значимости различий частоты появления признаков был использован критерий согласия Пирсона. Для проверки равенства медианных значений показателей в разные дни использовали критерий Краскела-Уоллиса с post hoc тестом Данна.

Результаты

При офтальмоскопии определяли гемофтальм различной степени выраженности в 100% (95% ДИ (83,1; 99,6)). Непосредственно после травмы интенсивность гемофтальма составила $5,7 \pm 0,3$ баллов из 12-ти возможных. В дальнейшем отмечали постепенный лизис сгустка к окончанию эксперимента (Рис. 1).

При офтальмоскопии начиная с 3-х суток определяли признаки ПВР – единичные фиброзные тяжи. Такие изменения наблюдали с частотой 12,8 % (95% ДИ (6,0; 25,2)) и они соответствовали 1 баллу. Далее отмечали резкое нарастание пролиферативных проявлений в стекловидной камере. К 21-м суткам эксперимента такие признаки различной степени интенсивности офтальмоскопировали у 100% (95% ДИ (78,8; 100,0)) экспериментальных животных, при этом наличие отслойки сетчатки, грубых фиброзных тяжей или их сочетание обнаруживали в 77,0% (95% ДИ (62,8; 86,4)) случаев (Рис. 2). Такие изменения соответствовали 3 баллам.

Проводили анализ изображений ОКТ в контрольные сроки эксперимента, сравнивая их с изображениями ОКТ здорового глаза животных.

Первые признаки пролиферативных изменений в полости глазного яблока по данным изображений ОКТ отметили на 3-е сутки наблюдения. Далее отмечали резкое прогрессирование этих изменений с максимальными проявлениями на 21-е сутки, которые обнаружили в 96,3% (95% ДИ (92,5; 100,0)) случаев (Рис. 3).

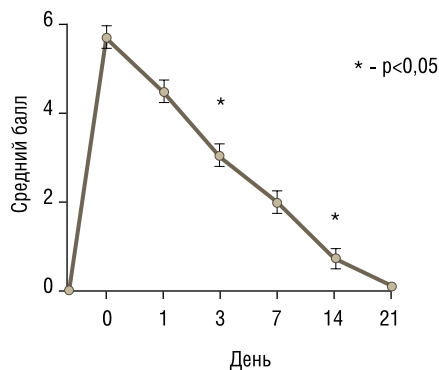


Рис. 1. Динамика гемофтальма в стекловидной камере при офтальмоскопическом исследовании.

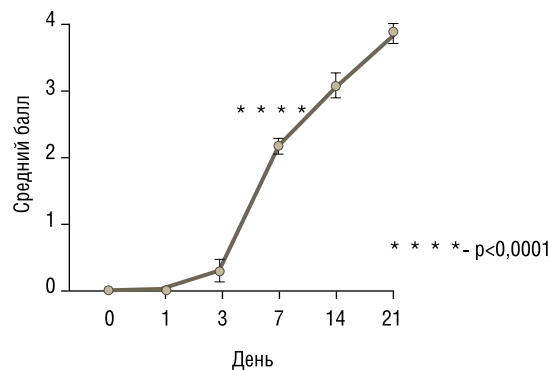


Рис. 3. Динамика пролиферативных изменений по данным изображений оптической когерентной томографии.

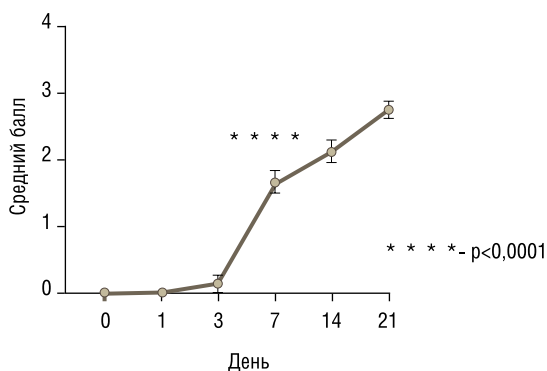


Рис. 2. Динамика пролиферативных изменений в стекловидной камере глаза при офтальмоскопическом исследовании.

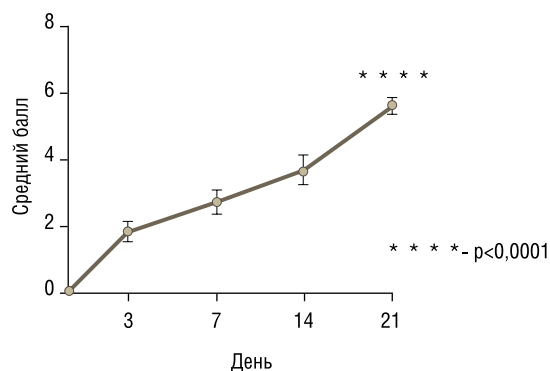


Рис. 4. Динамика изменений по данным УЗИ при В-сканировании.

Анализ изображений ОКТ обнаружил раннее появление и быстрое прогрессирование пролиферативных изменений в полости глазного яблока.

Анализ результатов УЗИ, выполненного в режиме В-сканирования, продемонстрировал следующие изменения. На 3-е сутки наблюдения в стекловидной камере регистрировали, преимущественно, проявления свежего частичного гемофтальма. Но уже с 7-х суток эксперимента отмечали увеличение эхо-позитивных включений в СК, которые были признаком ПВР. По окончании эксперимента (21-е сутки) такие изменения обнаруживали в 92,5% (95% ДИ (78,4; 95,3)) случаев наблюдений (Рис. 4).

УЗИ, выполненное при моделировании ООТГ типа В, продемонстрировало высокую информативность при оценке прогрессирования признаков ПВР. Это доказывает ценность указанного метода исследования при диагностике ОТГ.

При выполнении МРТ регистрировали МР-изображения глазного яблока экспериментальных животных в норме (Рис. 5 А) и в контрольные сроки (5 Б-Г).

При анализе изображений МРТ в норме глазное яблоко кроликов имело ровные контуры и четкие границы. Интенсивность МР-сигнала от СТ была усиленной

(изогиперинтенсивный сигнал). Такие результаты наблюдались в 84,1% (95% ДИ (75,3; 100,0)).

На 1-е сутки после травмы глазное яблоко сохраняло нормальные размеры. Контуры фиброзной капсулы ровные, с четкими границами. МР-сигнал от СТ изогипоинтенсивен (ослабленный сигнал), что объясняется наличием гемофтальма. Вышеуказанные изменения встречались с частотой 92,6% (95% ДИ (74,0; 99,0)). На 14-е сутки глаз имел нормальные размеры. Контуры фиброзной капсулы глаза ровные, с четкими границами. МР-сигнал от СТ изогиперинтенсивен, соответствует норме, что отражает разрешение гемофтальма. В полости СТ определяли линейные гипоинтенсивные участки с фиксацией в области выхода зрительного нерва и зубчатой линии – МР-картина отслойки сетчатки. Частота встречаемости описанных признаков на 14-е сутки после моделирования ООТГ типа В составила 88,2% (95% ДИ (79,8; 97,5)). К 21-м суткам эксперимента контуры фиброзной капсулы глаза становятся неровными, но сохраняется четкость её границ, МР-сигнал от СТ изогипоинтенсивен, что является признаком высокого содержания белков (в том числе – факторов ПВР). Стекловидная камера неправильной формы, объем её уменьшен. Структура СТ негетогенна за счёт большого количества гипоинтенсивных линейных

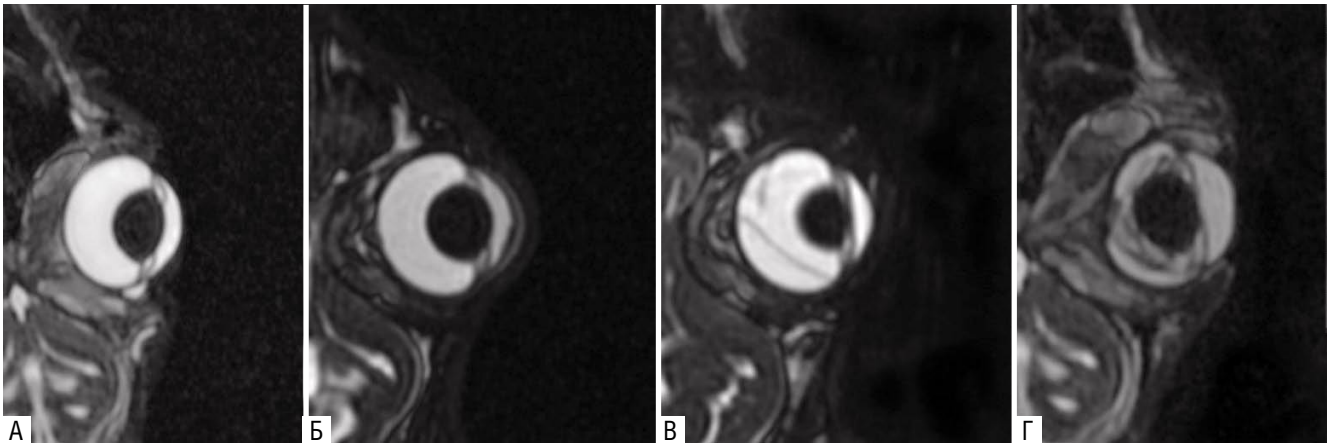


Рис. 5. Патологические изменения глазного яблока экспериментальных животных по данным МР-изображений на 1-е (Б), 14-е (В) и 21-е (Г) сутки эксперимента по сравнению с нормой (А), пояснения в тексте.

тяжей – фиброза СТ в результате ПВР. Доля таких изображений на 21-е сутки после моделирования ООТГ типа В составила 92,5% (95% ДИ (75,7; 99,9)).

По данным МРТ статистически значимое увеличение глубины передней камеры (ПК) при моделировании ООТГ типа В было зафиксировано непосредственно после нанесения травмы и, затем, на 21-е сутки – в 100,0% (95% ДИ (86,3; 100,0)). По нашему мнению, причиной углубления ПК после моделирования явилось уменьшение объема стекловидной камеры и сдвиг хрусталика кзади по передне-задней оси глаза, а на 21-е сутки причиной углубления ПК является уже прогрессирование передней ПВР.

Прозрачность стекловидной камеры оценивали в баллах от 0 (отсутствие изменения интенсивности) до 1 (ослабление интенсивности МР-сигнала). Снижение прозрачности после моделирования регистрировали в 100,0% случаев (95% ДИ (86,3; 100,0)), на 21-е сутки – в 76,0% случаев (95% ДИ (54,9; 90,6)). Указанные МР-признаки изменений СКГ, вероятно, обусловлены высокой концентрацией белков – сразу после моделирования из-за гемофтальма, а на 21-е сутки – из-за формирования пролиферативной ткани.

Таким образом, при МРТ регистрировали нарастание линейных гипоинтенсивных сигналов в полости СК начиная с 14-х суток эксперимента.

Они характеризовали нарастание пролиферативных признаков после моделирования ООТГ типа В. На финальных сроках эксперимента такие изменения встречались в 96,0% (95% ДИ (86,8; 100,0)) случаев (Рис. 6).

Таким образом, изменения стекловидной камеры глаза и его оболочек, описанные при выполнении МРТ, отличаются высокой наглядностью, а также позволяют определить стадию ПВР и отслеживать эти изменения в динамике [23].

При гистологическом исследовании в контрольные сроки наблюдения нами были получены следующие результаты.

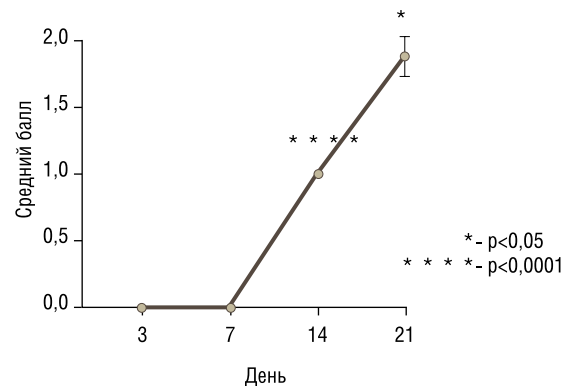


Рис. 6. Динамика признаков ПВР в СК по данным МРТ.

На 1-е сутки после моделирования ООТГ типа В определяли рану фиброзной стенки глазного яблока, проходящую через все её слои. За пределы глазного яблока через рану распространялось выпавшее стекловидное тело. В передней камере глаза выявляли участки скопления эритроцитов – гифема. Возле раны локализовали участок отрыва корня радужки. Над сосудистой оболочкой и в строме цилиарных отростков определяли скопление эритроцитов – супрахороидальное и интрахороидальное кровоизлияния. Такие изменения на данном сроке наблюдения характеризовали ранние посттравматические изменения.

На 3-е сутки наблюдения рана фиброзной стенки глазного яблока была блокирована стекловидным телом, на его поверхности определяли фиброзную капсулу. В области раны стенки глаза в оболочках и стекловидном теле выявляли клеточную (гистиоциты, лимфоциты, нейтрофилы и фибробласты) инфильтрацию. Сетчатка возле раны была «собрана» в складки. В сосудистой оболочке и цилиарных отростках определяли выраженный диапедез эритроцитами, сосуды их были дилатированы и полнокровны. Описанные изменения отражали как посттравматические проявления, так и ранние репаративные процессы после экспериментальной травмы.

На 7-е сутки наблюдения в области раны и фиброзной стенки глазного яблока, а также в её оболочках выявляли глиоциты, клетки пигментного эпителия и соединительной ткани. Такие гистологические изменения свидетельствовали об репаративной клеточной пролиферации. Аналогичные изменения обнаруживали на поверхности сетчатки и в СК. Они указывали на прогрессирование пролиферативного процесса и выявлялись в 92,1% (95% ДИ (79,3; 96,6) случаев.

На 14-е сутки регистрировали следующие изменения: в области раны фиброзной стенки глазного яблока сетчатка и сосудистая оболочка не дифференцировались. Определяли грануляционную ткань с признаками регенераторной пролиферации. Как и ранее (на 7-е сутки наблюдения) выявляли признаки интенсивного клеточного роста – распространение клеточной пролиферации в полость СК, в стекловидном теле определяли пролиферативные фокусы. В сосудистой оболочке – дилатированные сосуды. Выявляли участки отслоенной сетчатки с сохранением её архитектоники. Данные гистологические изменения указывали на увеличение количества внутриглазных структур, вовлеченных в ПВР. Описанные изменения наблюдались в 83,1% (95% ДИ (77,3; 93,3) случаев.

На 21-е сутки в области раны фиброзной стенки глазного яблока во всех оболочках выявляли интенсивную клеточную пролиферацию с наличием умеренных признаков воспалительной инфильтрации. Дополнительно пролиферативные изменения выявляли эпиретинально, субретинально и в СК. Прогрессирование этих изменений приводило к формированию фокусов рыхлой волокнистой соединительной ткани. Определяли отслоенную сетчатку с участками отека, в её архитектонике наблюдали признаки дезорганизации слоёв. Описанная гистологическая картина свидетельствовала о выраженных изменениях, характерных для ПВР – фиброзные преобразования в оболочках и в СК. Такие изменения были зарегистрированы в 93,7% (95% ДИ (84,3; 96,4) случаев.

По данным гистологического исследования, выполненного в контрольные сроки эксперимента, нами описаны начальные и отдалённые посттравматические изменения характерные для ООТГ типа В в эксперименте. Уже на 3-е сутки мы выявляли ранние признаки, характерные для ПВР. Они локализовались во внутренних оболочках с распространением пролиферативных изменений в стекловидное тело. После этого отмечали значительное нарастание пролиферативных признаков. На 21-е сутки эксперимента такие изменения достигли максимума и морфологически дифференцировались как соединительная ткань в оболочках и СК.

При гистологическом исследовании нами выполнено детальное последовательное описание гистологической картины начальных и отдаленных посттравматических изменений при моделировании ООТГ типа В. Они были зарегистрированы в фиброзной оболочке, хориоиде и сетчатке, а также во внутренних структурах глазного яблока: передней камере и стекловидном теле глазного яблока.

Морфологическое исследование наглядно демонстрирует наличие большого количества фокусов повреждений структур глазного яблока, в том числе пролиферативные изменения, при моделировании ООТГ типа В.

Далее проведено изучение достоверных корреляций ($p \leq 0,05$) изученных признаков экспериментальной модели ООТГ типа В.

Определяемый при обратной офтальмоскопии гемофтальм имел сильную отрицательную корреляцию с пролиферативными признаками, выявленными при обратной офтальмоскопии ($r = -0,93$), ОКТ ($r = -0,92$), В-сканировании ($r = -0,85$), МРТ ($r = -0,82$), а также при гистологическом исследовании ($r = -0,94$). Следовательно, степень выраженности пролиферативных признаков в структурах глазного яблока будет обусловлена величиной гемофтальма на ранних сроках эксперимента.

Поэтому, проведенный анализ позволяет расценить гемофтальм как прогностический фактор развития ПВР при ООТГ типа В в эксперименте.

Проллиферативные изменения в различных структурах глазного яблока по данным гистологического исследования имели положительную корреляцию с аналогичными признаками, которые были нами диагностированы при выполнении обратной офтальмоскопии ($r = 0,93$), ОКТ ($r = 0,95$), В-сканирования при УЗИ ($r = 0,90$) и МРТ ($r = 0,91$) в нашем эксперименте. Описанные корреляции свидетельствуют о высокой взаимосвязи указанных диагностических методов исследования при оценке пролиферативных изменений в полости глазного яблока. Эти данные доказывают взаимозаменяемость описанных методов исследования при диагностике изменений, характерных для ПВР при экспериментальной ООТГ типа В.

Выводы

При диагностике пролиферативных изменений после ООТГ МРТ отличается наглядностью, позволяя комплексно оценить характер посттравматических изменений глазного яблока. На основании сравнительного анализа пролиферативных признаков при использовании различных методов исследования (гистологический, обратная офтальмоскопия, ОКТ, УЗИ и МРТ) доказана возможность их использования в качестве маркеров ПВР.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
(The author declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Бадалов В. И., Беляков К. В., Буйнов Л. Г. и др. Медицина чрезвычайных ситуаций. Организация. Клиника. Диагностика. Лечение. Реабилитация. Инновации. Том 1. Казань: Казанский федеральный университет, 2015. Badalov VI, Belyakov KV, Buinov LG, et al. Meditsina chrezvychaynykh situatsii. Organizatsiya. Klinika. Diagnostika. Lechenie. Reabilitatsiya. Innovatsii. Tom 1. Kazan': Kazanskii federal'nyi universitet, 2015. (In Russ.).
2. Куликов А.Н., Кольбин А.А., Горюнов Ф.А. Инородные тела глазницы при современной орбитальной боевой травме. Офтальмология. 2025;22(3):522-530. Kulikov A.N., Kol'bin A.A., Goryunov F.A. Orbit Foreign Bodies in Modern Orbital Combat Trauma. Ophthalmology in Russia. 2025;22(3):522-530. (In Russ.) <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2025-3-522-530>

3. Степанов А. В., Джиоева А. В. Оценка хирургической помощи гражданскому населению в период грузино-осетинского межэтнического конфликта. Вестник экспериментальной и клинической медицины. 2011;6(2):325-329. Stepanov A. V., Dzhioeva. A. V. Ocenka xirurgicheskoy pomoshhi grazhdanskomu naseleniyu v period gruzino-osetinskogo mezh-e'tnicheskogo konflikta. Vestnik e'ksperimental'noj i klinicheskoy mediciny. 2011;6(2):325-329.
4. Сердюк В.Н., Устименко С.Б., Головкин В.В. Особенности оказания офтальмохирургической помощи больным с травмами глаз, полученными во время боевых действий в зоне АТО. Україна. Здоров'я нації. 2016;4(4/1):41. Serdyuk V.N., Ustimenko S.B., Golovkin V.V. Osobennosti okazaniya oftal'moxirurgicheskoy pomoshhi bol'ny'm s travmami glaz, poluchenny'mi vo vremya boevy'x dejstvij v zone ATO. Ukraïna. Zdorov'ya naczii. 2016;4(4/1):41.
5. Yonekawa, Y. Ocular blast injuries in mass-casualty incidents: the marathon bombing in Boston, Massachusetts, and the fertilizer plant explosion in West, Texas / Y. Yonekawa, H.D. Hacker, R.E. Lehman. – Text: immediate // Ophthalmology. – 2014. – Т. 121, № 9. – Р. 1670-1676.
6. Sobaci, G. Terror-related open-globe injuries: a 10-year review / G. Sobaci, T. Akýn, F.M. Mutlu, S. Karagül, M. Z. Bayraktar. – Text: immediate // Am. J. Ophthalmol. – 2005. – Т. 139, № 5. – Р. 937-939.
7. Волков В.В. Открытая травма глаза: монография. ВМедА. 2016. Volkov V.V. Otkry'taya travma glaza: monografiya. VMedA. 2016.
8. Кольбин А.А., Куликов А.Н., Трояновский Р.Л., Чирский В.С. Маркеры и предикторы пролиферативной витреоретинопатии при открытой травме глаза в эксперименте. Офтальмология. 2024;21(2):401-411. Kol'bin A.A., Kulikov A.N., Troyanovsky R.L., Chirskiy V.S. Markers and Predictors of Proliferative Vitreoretinopathy in Open Eye Injury in an Experiment. Ophthalmology in Russia. 2024;21(2):401-411. (In Russ.) <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-2-401-411>
9. Кольбин А.А., Куликов А.Н., Трояновский Р.Л. Синдром внутриглазного взаимного отягощения при огнестрельном проникающем ранении глазного яблока в эксперименте. Российский офтальмологический журнал. 2025; 18 (2): :123-128. Kol'bin A.A., Kulikov A.N., Troyanovsky R.L. Intraocular mutual burden syndrome in case of a gunshot penetrating injury of the eyeball in an experiment. Russian Ophthalmological Journal. 2025;18(2):123-128. (In Russ.) <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2025-18-2-123-128>
10. Долгих, В.М. Круговое экстрасклеральное пломбирование как способ борьбы с передней пролиферативной витреоретинопатией (ПВР) при открытой травме глаза: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / В. М. Долгих. – Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия им. С.М Кирова, 2004. – 133 с. Dolgikh, V.M. Krugovoe e'kstraskleral'noe plombirovanie kak sposob bor'by' s perednej proliferativnoj vitreoretinopatiej (PVR) pri otkry'toj travme glaza: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata medicinskix nauk / V. M. Dolgix. – Sankt-Peterburg: Voenno-medicinskaya akademiya im. S.M Kirova, 2004. – 133 p. 11. Нероев, В. В. Пулевые ранения глаза и орбиты в мирное время / В. В. Нероев, Р. А. Гундорова, О. И. Кваша, Д. А. Ю. Аль-Даравиш. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2017. Neroev, V. V. Pulevy'e raneniya glaza i orbity' v mirnoe vremya / V. V. Neroev, R. A. Gundorova, O. I. Kvasha, D. A. Yu. Al'-Daravish. – Moskva: GE'OTAR-Media, 2017.
12. Dong L. и др. Idelalisib inhibits experimental proliferative vitreoretinopathy // Laboratory Investigation. 2022. Т. 102, № 12. С. 1296–1303.
13. Soliman W. и др. "IRIS SHEL" Technique for management of posterior segment intraocular foreign bodies // Retina. 2021. Т. 41, № 10. С. 2041–2047.
14. Pelletier J., Koyfman A., Long B. High risk and low prevalence diseases: Open globe injury // The American Journal of Emergency Medicine. 2023. Т. 64. С. 113–120.
15. Akincioglu D., Kucukevcilioglu M., Durukan A.H. Pars plana vitrectomy timing in deadly weapon-related open-globe injuries // Eye. 2021. Т. 35, № 7. С. 2008–2015.
16. Morescalchi F. и др. Proliferative Vitreoretinopathy after Eye Injuries: An Overexpression of Growth Factors and Cytokines Leading to a Retinal Keloïd // Mediators of Inflammation. 2013. Т. 2013. С. 1–12.
17. Кольбин А.А., Чурашов С.В., Куликов А.Н., Шамрей Д.В., Трояновский Р.Л., Мальцев Д.С., Качерович П.А., Суев А.А. Стандартизированная экспериментальная модель огнестрельной открытой травмы глаза типа В, С, D. Военно-медицинский журнал. 2020;341(8):31-38. Kol'bin A.A., Churashov S.V., Kulikov A.N., Shamrej D.V., Troyanovskij R.L., Mal'cev D.S., Kacherovich P.A., Suetov A.A. Standardized experimental model of gunshot open globe injury type C. Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center. 2021;16(1):124-128. (In Russ.) <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2021.63.36.023>
18. Патент № 2 764 368 Российская Федерация, МПК G09B 23/28 (20-06.01), G01N 33/483 (2006.01), A61F 9/00 (2006.01). Способ моделирования прободного ранения глазного яблока: № 2021108544: заявл. 29.03.2021: опубл. 17.01.2022 / Куликов А. Н., Кольбин А. А., Чурашов С. В., Шамрей Д. В., Здоровцов Д. Р.; заявитель ВМедА. – 4 с.: ил. Patent № 2 764 368 Rossijskaya Federaciya, MPK G09B 23/28 (2006.01), G01N 33/483 (2006.01), A61F 9/00 (2006.01). Sposob modelirovaniya probodnogo raneniya glaznogo yabloka: № 2021108544: yayavl. 29.03.2021: opubl. 17.01.2022 / Kulikov A. N., Kol'bin A. A., Churashov S. V., Shamrej D. V., Zdorovczov D. R.; yayavitel' VMedA. – 4 s.: il. – Tekst: neposredstvenny'j.
19. Патент № 2833122 C1 Российская Федерация, МПК A61B 5/055. Способ диагностики пролиферативной витреоретинопатии на основании магнитно-резонансной томографии в эксперименте: заявл. 02.04.2024: опубл. 14.01.2025 / А. Н. Куликов, А. А. Кольбин; заявитель Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации. Patent № 2833122 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A61B 5/055. Sposob diagnostiki proliferativnoj vitreoretinopatii na osnovanii magnitno-rezonansnoj tomografii v e'ksperimente: yayavl. 02.04.2024: opubl. 14.01.2025 / A. N. Kulikov, A. A. Kol'bin; yayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe voennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vy'sshego obrazovaniya «Voenno-medicinskaya akademiya imeni S.M. Kirova» Ministerstva oborony Rossijskoj Federacii.