

ВЛИЯНИЕ КВЕРЦЕТИНА НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВОСПАЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАВМЕ ГЛАЗА

Леонов В.В.¹, Павлова О.Н.¹, Гуленко О.Н.¹, Девяткин А.А.², Шеститко Е.Ю.¹

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара, e-mail: gulenko_ol@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», Самара

Механическая травма глаза является примером ограниченного повреждения, при котором возникают системные изменения в иммунной системе. Цель исследования заключалась в изучении морфологических изменений рубца и поврежденных тканей глаза при экспериментальной механической травме и использовании природного антиоксиданта в качестве компонента экспериментальной терапии. В опыте было использовано 120 крыс. Всем животным была произведена механическая травма обоих глаз. Крысы первой группы с травмой глаз не подвергались терапии, а второй – получали стандартную терапию травмы глаза. Животные третьей группы подвергались комплексному лечению, которое включало стандартную терапию травмы глаза и внутрибрюшинные инъекции кверцетина. Четвертая группа крыс лечилась только инъекциями кверцетина. Для исследования готовили микропрепараты глазного яблока путем фиксации в растворе 10%-ного нейтрального формалина. Гистологические срезы исследовали с помощью окулярной стереометрической сетки Г.Г. Автандилова и оценивали морфологические факторы воспаления в рубце и околорубцовых тканях глаза. Установлено, что стандартная и комплексная терапия травмы глаза в разной степени повышают пролиферативную активность фибробластов и синтез коллагеновых и эластических волокон в зоне рубца роговицы, а терапия только кверцетином стимулирует синтетическую активность фибробластов в рубце роговицы с образованием компонентов межклеточного матрикса, снижая продукцию коллагеновых волокон, модулирует воспалительную реакцию в рубце и околорубцовых тканях, повышая численность иммунокомпетентных клеток. Дополнение стандартной терапии травмы глаза инъекциями кверцетина способствует интенсификации репаративных процессов уменьшению интенсивности гнойного воспаления и фагоцитоза в отдаленном периоде, увеличению числа иммунокомпетентных клеток в околорубцовых зонах.

Ключевые слова: механическая травма глаза, гематоофтальмический барьер, кверцетин, крысы, иммунокомпетентные клетки.

EFFECT OF QUERCETIN ON MORPHOLOGIC FACTORS OF INFLAMMATORY PROCESS IN MECHANICAL EYE TRAUMA

Leonov V.V.¹, Pavlova O.N.¹, Gulenko O.N.¹, Devyatkin A.A.², Shestitko E.Yu.¹

¹FGBOU VO «Samara State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, e-mail: gulenko_ol@mail.ru;

²FGBOU VO Samara State University of Railway Engineering, Samara

Mechanical trauma of the eye is an example of a limited injury in which systemic changes in the immune system occur. The aim of the study was to investigate morphological changes of the scar and damaged eye tissues in experimental mechanical trauma and to use a natural antioxidant as a component of experimental therapy. 120 rats were used in the experiment. All animals underwent mechanical trauma of both eyes. The rats of the first group with eye injury were not subjected to therapy, and the second group received standard therapy for eye injury. Animals of the third group were subjected to complex treatment, which included standard therapy of eye injury and intraperitoneal injections of quercetin. The fourth group of rats was treated with quercetin injections only. Eyeball microdrugs were prepared by fixation in 10% neutral formalin solution. Histologic slices were examined using the ocular stereometric grid of G.G. Avtandilov and morphologic factors of inflammation in the scar and peri-scar tissues of the eye were evaluated. It was found that standard and complex therapy of eye trauma increase proliferative activity of fibroblasts and synthesis of collagen and elastic fibers in the corneal scar area to different degrees, and therapy with quercetin alone stimulates the synthetic activity of fibroblasts in the corneal scar with the formation of intercellular matrix components, decreasing the production of collagen fibers, modulates the inflammatory reaction in the scar and peri-scar tissues, increasing the number of immunocompetent cells. Conclusions: supplementation of standard therapy of eye trauma with quercetin injections promotes intensification of reparative processes, reduction of purulent inflammation intensity and phagocytosis in the remote period, increase in the number of immunocompetent cells in peri-circumferential zones.

Keywords: mechanical eye trauma, haematoophthalmic barrier, quercetin, rats, immunocompetent cells.

Гематофтальмический барьер – это защитный механизм организма, который помогает поддерживать гомеостаз при воздействии на организм факторов, способных нарушить его равновесие [1]. В основе этого механизма лежит барьер между кровью и влагой глаза, предотвращающий их взаимное влияние. Его основная функция заключается в регулировании поступления и выведения различных веществ, связанных с нормальным и патологическим обменом веществ [2]. Кроме того, эндотелиальные клетки микроциркуляторного русла глаза играют важную роль в защите от проникновения микроорганизмов, антител и лейкоцитов в жидкие среды глаза [3]. В связи с уникальными физиологическими особенностями глаза и его особой защитой со стороны иммунной системы возникает сложная проблема терапии проникающих травм глаза и их лечения, которая требует использования мультидисциплинарного подхода [4]. Механическая травма глаза является примером ограниченного повреждения, при котором не только изменяются местные реакции с нарушением механизмов иммуносупрессии непосредственно в органе, но и происходят системные изменения в иммунной системе в целом [5]. Травма глаза сопровождается местным и системным воспалением и, как следствие, оксидативным стрессом [6]. Организм всегда подвержен окислительным процессам, которые вызваны свободными радикалами и необходимы для обмена веществ, дыхания и иммунных реакций. Однако сбалансированный процесс восстановления обеспечивается наличием как внутренних, так и внешних антиоксидантов [7]. В случае воспаления количество свободных радикалов увеличивается, а окислительные процессы превышают возможности восстановления. Это приводит к усиленному разрушению не только поврежденных клеток, но и здоровых, нарушая нормальное функционирование всего организма [8].

Таким образом, цель исследования состояла в изучении морфологических изменений рубца и поврежденных тканей глаза при экспериментальной механической травме и использовании природного антиоксиданта в качестве компонента экспериментальной терапии.

Материалы и методы исследования. Эксперимент был проведен на 120 беспородных крысах мужского пола восьмимесячного возраста массой 240–260 г. Всем животным наносили проникающее ранение обоих глаз в специальном приспособлении-фиксаторе с помощью микролезвия длиной 4 мм под местной анестезией (2%-ный раствор новокаина) в области лимба. При этом происходило одновременное ранение роговицы, склеры и сосудистого тракта. Животным 1-й группы не проводили терапию механической травмы глаза. Крысы 2-й группы получали стандартную терапию травмы глаза, животные 3-й группы – стандартную терапию с добавлением инъекций кверцетина внутривнутрибрюшинно и 4-й группы – только инъекции кверцетина. Подробная методика проведения эксперимента представлена авторами

в ранее опубликованной работе [9]. Для оценки активности деления клеток в многослойном плоском эпителии (МПЭ) роговицы исследовали глаза интактных и экспериментальных животных.

Препараты глаз фиксировали в растворе 10%-ного нейтрального формалина, а затем дегидратировали с помощью спирта, потом материал помещали в парафиновые блоки и готовили срезы, исследование которых проводилось с помощью окулярной стереометрической сетки Г.Г. Автандилова. Учитывали количество (плотность) коллагеновых и эластических волокон, фибробластов, макрофагов, лимфоцитов, эозинофильных и нейтрофильных гранулоцитов, плазматических клеток в окружающих рубец тканях и митотическую активность МПЭ роговицы глаза.

Полученный цифровой материал подвергался статистической обработке путем непараметрического статистического анализа с использованием критерия Манна–Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. Таблицы 1 и 2 содержат информацию о количественных характеристиках структурных элементов рубца и поврежденных тканей глаза.

Таблица 1

Количественные характеристики структурных элементов рубца поврежденного глаза на 7-е и 14-е сутки после травмы при разных способах терапии (в 0,01 мм²)

| Сутки после травмы | Группа | Коллагеновые и эластические волокна | Фибробласты |
|--------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------|
| 7-е | 1 | 58,39±1,88 | 9,62±0,31 |
| | 2 | 58,17±2,27 | 16,21±0,57 ¹ |
| | 3 | 44,76±1,62 ¹ | 11,62±0,41 ¹ |
| | 4 | 57,61±2,13 | 15,37±0,54 ¹ |
| 14-е | 1 | 61,92±2,17 | 10,39±0,39 ² |
| | 2 | 60,74±2,06 | 19,93±0,75 ^{2,3} |
| | 3 | 49,22±1,93 ^{2,3} | 15,41±0,58 ^{2,3} |
| | 4 | 51,81±2,36 ^{2,3} | 15,04±0,75 ^{2,3} |

Примечание. В этой таблице различия достоверны при $p < 0,05$: 1 – по сравнению с показателями 1-й группы на 7-е сутки опыта; 2 – по сравнению с показателями этой же группы на 7-е сутки опыта; 3 – по сравнению с показателем 1-й группы на 14-е сутки опыта.

На 7-е сутки эксперимента количество коллагеновых и эластических волокон в зоне рубца поврежденного глаза у животных 2-й и 4-й групп практически не отличалось от аналогичных показателей крыс 1-й группы без терапии механической травмы глаза. При этом у животных 3-й группы отмечено снижение количества коллагеновых и эластических волокон в зоне рубца поврежденного глаза на 23,3% по сравнению с крысами 1-й группы. На 14-е сутки установлены увеличение количества коллагеновых и эластических волокон в зоне рубца у животных 1-й, 2-й и 3-й групп на 6,0%, 4,4%, и на 9,9% соответственно и снижение у

животных 4-й группы на 10,1% по сравнению с 7-ми сутками опыта. Стоит отметить, что у животных 3-й и 4-й групп на 14-е сутки опыта количество коллагеновых и эластических волокон в рубце достоверно отличалось от аналогичных показателей животных 1-й группы в меньшую сторону на 16,3% и 20,5% соответственно.

Количество фибробластов в зоне рубца поврежденного глаза у животных 2-й, 3-й и 4-й групп было достоверно большое, чем в 1-й группе, на 68,5%, 20,8% и 59,8% соответственно. На 14-е сутки также установлено увеличение количества фибробластов в зоне рубца у животных в 1-й, 2-й и 3-й группах на 8,0%, 22,9% и 32,6% соответственно, а у животных 4-й группы количество фибробластов в зоне рубца незначительно снизилось по сравнению с 7-ми сутками опыта. Стоит отметить, что у животных 2-й, 3-й и 4-й групп на 14-е сутки опыта количество фибробластов в рубце достоверно отличалось от аналогичного показателя животных 1-й группы в большую сторону на 91,8%, 48,3% и 44,7% соответственно.

Таблица 2

Количество гранулоцитов, макрофагов, лимфоцитов и плазматических клеток в прилежащих к рубцу тканях глаза при разных способах терапии (в 0,01 мм²)

| Группа | Сутки после травмы | Гранулоциты | Макрофаги | Лимфоциты | Плазматические клетки |
|--------|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1-я | 7 | 0,86±0,03 | 0,92±0,03 | 0,43±0,02 | 0,13±0,01 |
| | 14 | 2,71±0,10 ² | 0,79±0,02 ² | 1,68±0,06 ² | 0,36±0,02 ² |
| 2-я | 7 | 1,24±0,04 ¹ | 1,97±0,07 ¹ | 2,86±0,10 ¹ | 0,21±0,01 ¹ |
| | 14 | 1,62±0,06 ^{2,3} | 1,82±0,06 ³ | 3,26±0,12 ^{2,3} | 0,33±0,01 ^{2,3} |
| 3-я | 7 | 2,21±0,08 ¹ | 1,09±0,04 ¹ | 2,17±0,09 ¹ | 0,29±0,01 ¹ |
| | 14 | 1,45±0,05 ^{2,3} | 1,37±0,05 ^{2,3} | 2,03±0,08 ³ | 1,82±0,06 ^{2,3} |
| 4-я | 7 | 0,99±0,03 ¹ | 1,74±0,06 ¹ | 1,93±0,07 ¹ | 0,17±0,01 ¹ |
| | 14 | 2,32±0,08 ^{2,3} | 1,31±0,04 ^{2,3} | 2,47±0,09 ^{2,3} | 0,33±0,01 ^{2,3} |

Примечание. В этой таблице различия достоверны при $p < 0,05$: 1 – по сравнению с показателями 1-й группы на 7-е сутки опыта; 2 – по сравнению с показателями этой же группы на 7-е сутки опыта; 3 – по сравнению с показателем 1-я группы на 14-е сутки опыта.

На 7-е сутки эксперимента количество гранулоцитов в зоне рубца поврежденного глаза у животных 2-й, 3-й и 4-й групп было больше, чем у крыс 1-й группы без терапии механической травмы глаза, на 44,1%, 157,0% и 15,1% соответственно. К 14-м суткам опыта в зоне рубца поврежденного глаза у животных 1-й, 2-й и 3-й групп количество гранулоцитов продолжало расти на 215,1%, 30,6% и 134,3% соответственно, а у животных 3-й группы снизилось на 34,3%. Установлено, что у животных 2-й, 3-й и 4-й групп на 14-е сутки опыта количество гранулоцитов в рубце достоверно отличалось от показателей животных 1-й группы в меньшую сторону на 40,2%, 46,5% и 14,4% соответственно.

На 7-е сутки эксперимента количество макрофагов в зоне рубца поврежденного глаза у животных 2-й, 3-й и 4-й групп было больше, чем у крыс 1-й группы без терапии механической

травмы глаза, на 116,3%, 18,5% и 89,1% соответственно. На 14-е сутки опыта у животных 1-й, 2-й и 4-й групп зафиксировано снижение количества макрофагов в зоне рубца поврежденного глаза на 14,1%, 7,6% и 24,7% соответственно от значения на 7-е сутки, а у животных 3-й группы наблюдалась обратная тенденция – возрастание количества макрофагов в зоне рубца поврежденного глаза на 25,7%. В целом у животных 2-й, 3-й и 4-й групп на 14-е сутки опыта количество макрофагов в зоне рубца поврежденного глаза достоверно было больше, чем у животных 1-й группы, на 130,4%, 73,4% и 65,8% соответственно.

На 7-е сутки эксперимента количество лимфоцитов в зоне рубца поврежденного глаза у животных 2-й, 3-й и 4-й групп было больше, чем у крыс 1-й группы без терапии механической травмы глаза, в 6,7 раза, 5,0 раза и 4,5 раза соответственно. На 14-е сутки опыта у животных 1-й, 2-й и 4-й групп зафиксировано возрастание количества лимфоцитов в зоне рубца поврежденного глаза на 290,7%, 14,0% и 27,9% соответственно от значения на 7-е сутки, а у животных 3-й группы наблюдалась обратная тенденция – снижение количества лимфоцитов на 6,5%. У животных 2-й, 3-й и 4-й групп на 14-е сутки опыта количество лимфоцитов в зоне рубца поврежденного глаза достоверно было больше, чем у животных 1-й группы, на 94,0%, 20,8% и 47,0% соответственно.

На 7-е сутки эксперимента количество плазматических клеток в зоне рубца поврежденного глаза у животных 2-й, 3-й и 4-й групп было больше, чем у крыс 1-й группы без терапии механической травмы глаза, на 61,5%, 123,1% и 30,8% соответственно. На 14-е сутки опыта у животных 1-й, 2-й, 3-й и 4-й групп зафиксировано возрастание количества плазматических клеток в зоне рубца поврежденного глаза на 176,9%, 57,1%, 531,7% и 94,1% соответственно от значения на 7-е сутки. У животных 2-й и 4-й групп на 14-е сутки опыта количество плазматических клеток в зоне рубца поврежденного глаза достоверно было меньше, чем у животных 1-й группы, на 8,3%, а у животных 3-й группы – больше на 405,6%.

Митотическая активность многослойного плоского эпителия роговицы в зоне повреждения у животных различных групп представлена в таблице 3.

Таблица 3

Митотическая активность многослойного плоского эпителия роговицы в зоне повреждения при разных способах терапии (‰)

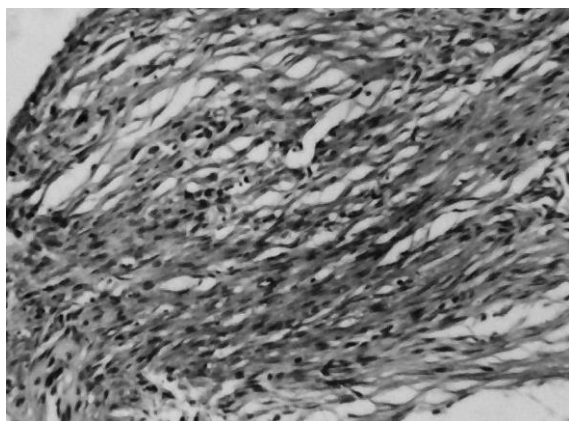
| Группа | Сутки после травмы | Митотический индекс, (‰) |
|--------|--------------------|---------------------------|
| 1-я | 7-е | 6,21±0,19 |
| | 14-е | 12,36±0,47 ² |
| 2-я | 7-е | 10,48±0,37 ¹ |
| | 14-е | 8,79±0,31 ^{2,3} |
| 3-я | 7-е | 14,62±0,41 ¹ |
| | 14-е | 21,05±0,27 ^{2,3} |

| | | |
|-----|------|-------------------------|
| 4-я | 7-е | 9,57±0,23 |
| | 14-е | 10,09±0,36 ³ |

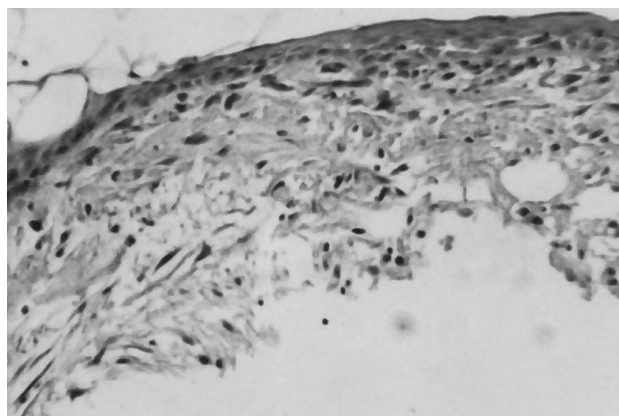
Примечание. В этой таблице различия достоверны при $p < 0,05$: 1 – по сравнению с показателями 1-й группы на 7-е сутки опыта; 2 – по сравнению с показателями этой же группы на 7-е сутки опыта; 3 – по сравнению с показателем 1-й группы на 14-е сутки опыта.

На 7-е сутки эксперимента митотический индекс многослойного плоского эпителия роговицы в зоне повреждения у животных 2-й, 3-й и 4-й групп был больше, чем у крыс 1-й группы без терапии механической травмы глаза, на 68,8%, 135,4% и 5,8% соответственно. На 14-е сутки опыта у животных 1-й, 3-й и 4-й групп зафиксировано возрастание митотического индекса многослойного плоского эпителия роговицы в зоне повреждения на 99,0%, 44,0% и 5,4% соответственно от значения на 7-е сутки, а в группе 2 установлено снижение митотического индекса на 16,1%. У животных 2-й и 4-й групп на 14-е сутки опыта митотический индекс многослойного плоского эпителия роговицы в зоне повреждения достоверно был меньше, чем у животных 1-й группы, на 28,9%, и 18,4% соответственно, а у животных 3-й группы – больше на 70,3%.

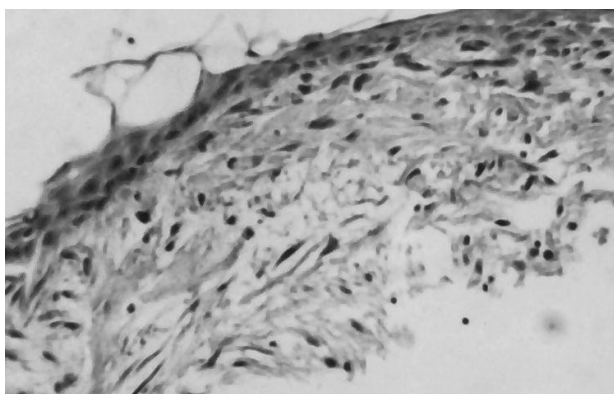
Данные световой микроскопии зоны повреждения глаза крыс на 7-е сутки после механической травмы глаза представлены на рисунке 1.



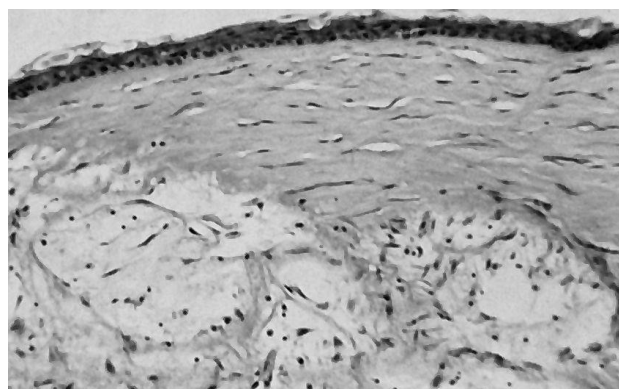
а – морфологическая картина глаза крыс 1 группы (без терапии), x200



б – морфологическая картина глаза крыс 2 группы (стандартная терапия), x150



в- морфологическая картина глаза крыс 3-й



г- морфологическая картина глаза крыс 4-й группы (терапия кверцетином), x70

группы (стандартная терапии + кверцетин),

x150

Рис. 1. Световая микроскопия зоны повреждения глаза экспериментальных животных

Морфологическая картина глаз крыс 1-й группы без терапии характеризуется следующими особенностями: формируется грубый васкуляризированный рубец на поврежденной области роговицы и склеры, при этом отсутствует эпителизация и имеются выраженные признаки экссудативного воспаления и инфильтрации полиморфонуклеарными лейкоцитами. У животных 2-й и 3-й групп, которым проводили терапию, наблюдалась полная эпителизация зоны повреждения малодифференцированным эпителием. Волокнистая соединительная ткань с продольной ориентацией коллагеновых волокон начинает формироваться. В инфильтрате можно наблюдать лимфоциты и плазмциты, но их количество невелико. Добавление инъекций кверцетина к стандартной терапии приводит к оптимизации течения воспаления после травмы глаза. В зоне повреждения наблюдается ускорение регенерации тканей. У животных 4-й группы, которым проводили терапию только кверцетином, наблюдалась полная эпителизация зоны повреждения малодифференцированным эпителием. Волокнистая соединительная ткань имеет очаговую продольную ориентацию коллагеновых волокон. В слабо выраженном воспалительном инфильтрате преобладают лимфоциты. Таким образом, использование кверцетина вместе со стандартной терапией позволяет ускорить процесс регенерации тканей и улучшить морфологическую картину глаза после травмы.

При механической травме глаза и нарушении целостности гематоофтальмического барьера развиваются нейроэндокринные изменения, которые могут иметь различные последствия. В частности, повышенная выработка кортикотропин-рилизинг гормона и глюкокортикоидов может привести к снижению иммунной ответственности организма, что может способствовать развитию инфекций и замедлению процесса регенерации тканей. Также изменение экспрессии β -адренорецепторов может затруднить функционирование нервной системы и вызвать различные неврологические симптомы.

Переключение цитокинового профиля с Th1 на Th2 тип также может иметь важные последствия. В условиях увеличенной концентрации глюкокортикоидов и катехоламинов Th2-иммунный ответ активируется, что может привести к аллергическим и аутоиммунным реакциям или усилению уже существующих. Нарушение баланса между Th1 и Th2 ответами также может быть связано с развитием хронических воспалительных процессов.

Таким образом, дисфункция иммунной системы, вызванная травмой глаза и нарушением целостности гематоофтальмического барьера, может иметь широкий спектр последствий,

связанных с нейроэндокринными изменениями и изменением цитокинового профиля. Это подчеркивает важность своевременной и комплексной терапии при таких повреждениях с целью предотвращения негативных последствий и обеспечения нормального восстановления организма.

В результате проведенных исследований установлены особенности морфологического строения структур роговицы в динамике восстановительного процесса при механической травме глаза у животных на 7-е и 14-е сутки при разных способах терапии. Стандартная терапия травмы глаза и стандартная терапия с добавлением инъекций кверцетина в разной степени повышают пролиферативную активность фибробластов и синтез коллагеновых и эластических волокон в зоне рубца роговицы. Напротив, терапия только кверцетином стимулирует синтетическую активность фибробластов в рубце роговицы с образованием компонентов межклеточного матрикса, снижая продукцию коллагеновых волокон, в динамике модулирует воспалительную реакцию в рубце и околорубцовых тканях, повышая численность иммунокомпетентных клеток. У животных с механической травмой глаза в условиях применения кверцетина в дополнение к стандартной терапии и в отличие от нее в ранние и поздние сроки после травмы активизируется морфофункциональное состояние эпителия роговицы в зоне рубца за счет повышения митотической активности его клеток, свидетельствующее об интенсивных репаративных процессах в роговице, отмечается увеличение числа иммунокомпетентных клеток в околорубцовых зонах. При этом при введении кверцетина в варианте монотерапии также наблюдается уменьшение интенсивности гнойного воспаления и фагоцитоза в отдаленном периоде после механической травмы глаза.

Наиболее интенсивно воспаление на фоне механической травмы глаза проявляется у крыс 1-й группы без лечения в виде повышения количества лимфоцитов и полинуклеарных лейкоцитов в инфильтрате, а также интенсивным отеком роговицы в области рубца и грубым характером его организации. Комплексная терапия механической травмы глаза с добавлением инъекций кверцетина привела к снижению лимфоплазмочитарной инфильтрации зоны травмы, снижению количества полиморфноядерных лейкоцитов в инфильтрате, а также снижению отека роговицы в зоне рубца и его зрелому формированию. Терапия только кверцетином и стандартная терапия травмы глаза морфологически проявлялись небольшой лимфоплазмочитарной инфильтрацией с небольшим количеством мигрирующих клеток, что затрудняло регенерационные процессы. Положительные эффекты кверцетина в составе комплексной терапии травмы глаза, вероятно, связаны с его опосредованным эффектом интенсификации синтеза цитокинов и модуляции выработки TNF- α лимфоцитами и другими клетками моноцитарно-макрофагальной системы.

Выводы

дополнение стандартной терапии травмы глаза инъекциями кверцетина способствует интенсификации репаративных процессов, уменьшению интенсивности гнойного воспаления и фагоцитоза в отдаленном периоде, увеличению числа иммунокомпетентных клеток в околорубцовых зонах.

Список литературы

1. Чернакова Г.М., Клещева Е.А., Шаповал И.М., Мезенцева М.В., Кочергин С.А. Иммуитет глазного яблока и конъюнктивальная микрофлора // Инфекция и иммунитет. 2012. Т. 2. № 3. С. 835-644.
2. Дроздова Е.А., Ильинская Е.В. Иммуитет органа зрения // Медицинский вестник Башкортостана. 2016. Т. 11. № 1 (61). С. 159-162.
3. Приходько В.А., Оковитый С.В. Возможности и перспективы антиоксидантной терапии в лечении заболеваний глаз // Медицинский совет. 2022. № 23. С. 263-273.
4. Notghi B., Bhardwaj R., Bailoor S., et al. Biomechanical Evaluations of Ocular Injury Risk for Blast Loading // J. Biomech. Eng. 2017. Vol. 139, No. 8. P. 081010. DOI: 10.1115/1.4037072.
5. Bricker-Anthony C., Hines-Beard J., Rex T.S. Eye-directed overpressure airwave-induced trauma causes lasting damage to the anterior and posterior globe: a model for testing cell-based therapies // J. Ocul. Pharmacol. Ther. 2016. Vol. 32, No. 5. P. 286–295. DOI: 10.1089/jop.2015.0104.
6. Куликов А.Н., Чурашов С.В., Николаев С.Н., Михин А.А. Структура, особенности и исходы современной боевой травмы глаза в ходе вооруженных конфликтов с мировым терроризмом // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2019. № 5 (65). С. 310-313.
7. Созуракова Е.А. Особенности содержания клеточных мессенджервоспаления при травмах глаза (обзор) // Мать и дитя в Кузбассе. 2022. № 4 (91). С. 4–11.
8. Петренко В. Прогнозирование результатов лечения открытой травмы глаза с вовлечением зоны лимба в зависимости от факторных признаков // Вестник проблем биологии и медицины. 2016. Т. 2. № 3 (132). С. 53-57.
9. Девяткин А.А., Борискин П.В., Гуленко.Н., Каримова Р.Г., Леонов.В., Павлова О.Н., Тороповский А.Н. Корреляция концентраций ферментов системы ПОЛ-АО в сыворотке крови и тканях печени крыс // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 7-2 (97). С. 15-20. DOI 10.23670/IRJ.2020.97.7.035.