

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЗАЖИВЛЕНИЯ ГЛАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ ОЖОГАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ

Бахритдинова Фазилат Арифовна

Д.м.н., профессор кафедры офтальмологии Ташкентского государственного
медицинского университета

Нарзикулова Кумри Исламовна

Д.м.н., доцент кафедры офтальмологии Ташкентского
государственного медицинского университета

Оралов Бехруз Абдукаримович

PhD, ассистент кафедры офтальмологии Ташкентского
государственного медицинского университета

Эгамбердиева Саида Мамаджановна

Ассистент кафедры офтальмологии Ташкентского
государственного медицинского университета

Абстракт

Актуальность. Химические ожоги глаз остаются одной из наиболее значимых причин стойкого снижения зрения и инвалидизации. Отсутствие унифицированных объективных подходов к измерению площади поражения и оценке эффективности терапии диктует необходимость внедрения стандартизированных количественных методик. Цель исследования. Разработать и применить количественный метод определения площади поражения глазной поверхности при химических ожогах для стандартизации диагностики и мониторинга лечения. Материалы и методы. Обследованы 110 пациентов (155 глаз) с ожогами I–III степени. Сформированы три группы: стандартная терапия; фотодинамическая терапия (ФДТ); ФДТ + Висипин. Площадь поражения определяли цифровой планиметрией после витального окрашивания; изображения обрабатывали с расчётом ожогового индекса глазной поверхности. Результаты исследования. К 7-му дню площадь поражения уменьшалась: в группе сравнения — на 30,7% (I степень), 32,5% (II), 32,6% (III); при ФДТ — на 55%, 58,6% и 48,2%; при ФДТ+Висипин — на 58,6%, 62,9% и 54,9% соответственно ($p < 0,05$). ФДТ ускоряла эпителизацию, снижала выраженность воспаления и риск осложнений. Заключение. Цифровая планиметрия обеспечила объективную количественную оценку площади поражения и динамики заживления. Применение ФДТ и Висипина значимо усиливало регенерацию, сокращало сроки эпителизации и повышало клиническую эффективность терапии.

Ключевые слова: химические ожоги глаз, площадь поражения, фотодинамическая терапия, Висипин, цифровая планиметрия, ожоговый индекс глазной поверхности.

Introduction

Актуальность исследования.

Химические повреждения глазной поверхности остаются одной из наиболее сложных проблем офтальмологии и здравоохранения в целом. На их долю приходится значимая часть офтальмотравм (ориентировочно 9–16%), при этом чаще страдают лица молодого, трудоспособного возраста, что напрямую отражается на уровне инвалидизации и экономических потерях общества [1,3,7]. Несмотря на расширение арсенала лечебных технологий, ведение таких пациентов нередко сопровождается затяжным течением, рецидивирующими эпителиопатиями и формированием стойких помутнений, что указывает на недостаточную эффективность существующих подходов [8].

Патобиологическая основа химического ожога складывается из сопряжённых звеньев повреждения: некроза клеточных мембран, денатурации и коагуляции белков, выраженного оксидативного стресса, активации провоспалительных каскадов и срыва регенераторных механизмов [2,4]. Щёлочные реагенты, обладая высокой проникающей способностью, вызывают глубокие и распространяющиеся в ткани поражения, тогда как кислоты чаще ограничиваются поверхностными слоями, формируя коагуляционный барьер [9]. Поддерживаемое активными формами кислорода воспаление усиливает ангиогенез и фиброз, что в конечном счёте ведёт к рубцеванию и снижению зрительных функций.

Стандартные протоколы включают немедленное обильное промывание, антибактериальные и противовоспалительные средства, антиоксиданты, кератопротекторы и, при необходимости, хирургические вмешательства. Однако остаются нерешёнными ключевые вопросы тактики: оптимальные режимы антиоксидантной терапии, место и сроки применения глюкокортикостероидов, показания к тем или иным операциям на разных этапах ожогового процесса [10]. На этом фоне растёт интерес к низкоинтенсивному лазерному излучению красного диапазона ($\approx 630\text{--}690\text{ нм}$), которому приписывают противовоспалительные, антиоксидантные и репаративные эффекты через модуляцию клеточного метаболизма. При этом параметры и алгоритмы лазерного воздействия при химических ожогах до конца не стандартизированы и требуют валидации в клинических условиях.

Отдельной проблемой остаётся диагностика: оценка площади и глубины поражения зачастую опирается на субъективные признаки [5,6]. Недостаток объективных количественных методик (цифровой планиметрии с витальным окрашиванием, автоматизированного морфометрического анализа импрессионной цитологии) ограничивает возможности точного прогнозирования и своевременной коррекции терапии.

Таким образом, существует очевидный запрос на разработку и внедрение воспроизводимых, количественно ориентированных диагностических инструментов и на совершенствование комбинированных лечебных стратегий, включая низкоинтенсивную лазерную терапию. Исследование в этом направлении потенциально позволит ускорить эпителизацию, снизить частоту осложнений и, как следствие,

уменьшить бремя инвалидизации у пациентов с химическими ожогами глазной поверхности.

Цель исследования.

Разработать и применить количественный метод определения площади поражения глазной поверхности при химических ожогах для стандартизации диагностики и мониторинга лечения.

Материалы и методы исследования.

В проспективное исследование включены 110 пациентов (155 глаз) с химическими ожогами глазной поверхности I–III степени тяжести (МКБ-10: T26.5–T26.9), проходивших лечение в 2019–2021 гг. на базе многопрофильной клиники Ташкентской медицинской академии и отделения экстренной офтальмомикрохирургии Клинической больницы скорой медицинской помощи. Распределение по степени повреждения: I степень — у 28 пациентов (40 глаз), II — у 53 (80 глаз), III — у 29 (35 глаз). Этиологически преобладали производственные травмы (65%) над бытовыми (35%). Интервал от момента травмы до госпитализации варьировал от 30 минут до 7 суток. Мужчины составляли 61% (n=67), женщины — 39% (n=43); средний возраст — 38,3±16,0 года.

Рандомизация обеспечивала формирование трёх сопоставимых групп лечения. Группа сравнения (37 пациентов, 52 глаза) получала стандартную терапию (антибактериальные средства, кератопротекторы, противовоспалительные и антигистаминные препараты).

Основная группа 1 (38 пациентов, 51 глаз) — стандартная терапия в сочетании с фотодинамической терапией (ФДТ) на установке АЛТ «Восток».

Основная группа 2 (35 пациентов, 52 глаза) — стандартная терапия + ФДТ с дополнительным назначением ангиопротектора Вексипин (метилэтилпиридинол) в виде глазных капель.

Критерии исключения IV степень ожога, офтальмопатологии, способные существенно влиять на зрительные функции, и тяжёлые соматические заболевания.

Облучение выполняли аппаратом АЛТ «Восток» (длина волны 630 нм, мощность 5 Вт, плотность энергии 300 мДж/см², экспозиция 180 с) с использованием 1% водного раствора метиленового синего в качестве фотосенсибилизатора. Курс — 7–10 суток, 1 процедура в день.

Всем пациентам проводили визометрию, биомикроскопию переднего отрезка (щелевая лампа Carl Zeiss M-211) и тонометрию по Маклакову. Специальные методы были направлены на объективизацию площади поражения, оценку клеточных морфологических изменений и биохимических показателей слёзной жидкости.

Площадь дефектов определяли по данным флуоресцеиновой биомикроскопии в соответствии с рекомендациями National Eye Institute (NEI). Применялись витальные красители: 1% флуоресцеин натрия — для визуализации зон деэпителизации роговицы; лиссаминовый зелёный — для выявления повреждений конъюнктивы. Окрашенные участки фотографировали камерой 16 Мп с последующей цифровой обработкой (Adobe

Photoshop CS5). Для количественной оценки использовали разработанную «планиметрическую сетку» с шагом 0,5×0,5 мм (0,25 мм²) и инструмент «счётчик» для фиксации очагов. Общую площадь поражения рассчитывали по формуле:

$$\text{ОИГП} = (\sum(L_i + M_i) / (n_1 + n_2)) \times 144$$

где L_i – количество очагов ожога с височной стороны, M_i – количество очагов с носовой стороны, n_1 и n_2 – число пораженных зон, 144 – общее количество пикселей на 1 мм². При значении ОИГП менее 40% поражение расценивалось как легкое (I степень), при 40–80% – среднее (II степень), более 80% – тяжелое (III степень).

Обработка данных проводилась в MS Excel 2019 и Statistica 10 (StatSoft, США). Нормальность распределения оценивали критерием Шапиро–Уилка. Для межгрупповых сравнений применяли t-критерий Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты исследования

По данным полученных результатов, с увеличением степени химического повреждения закономерно возрастает и площадь поражения глазной поверхности. Вместе с тем прямая пропорциональность «степень–площадь» прослеживалась не всегда. Это связано с неодинаковой глубиной проникновения реагента, его физико-химическими характеристиками и особенностями взаимодействия с тканями глаза. Так, при экспозиции твёрдых химических веществ очаг может иметь относительно небольшую площадь при более выраженной глубине поражения; подобная ситуация зафиксирована приблизительно у 10% пациентов со щелочными ожогами. Указанные наблюдения подчёркивают необходимость комплексной оценки, учитывающей не только площадь, но и глубину повреждения.

До начала терапии величина поражённой площади и ожоговый индекс глазной поверхности (ОИГП) статистически значимо не отличались между группой сравнения и основными группами, что свидетельствует об исходной сопоставимости выборок. В контрольной группе при I степени ожога эпителизация усилилась на 30,7% с сокращением площади дефекта на $5,6 \pm 2,36$ мм²; при II степени — на 32,5% ($-10,43 \pm 4,38$ мм²); при III степени — на 32,6% ($-15,31 \pm 0,89$ мм²) от исходного уровня.

К седьмым суткам лечения степень уменьшения площади дефекта составила: при I степени — в 1,44 раза, при II — в 1,48 раза, при III — в 1,49 раза. Однако у двух пациентов контрольной группы с ожогами III степени отмечалась затяжная эпителиопатия: средняя площадь поражения сохранялась на уровне $33,9 \pm 5,0$ мм², значительно превосходя показатели остальных наблюдений. Указанная замедленность эпителизации, вероятно, обусловлена выраженной ишемией лимбальной сети и транзиторной недостаточностью репаративных процессов. Восстановление эпителия у этих пациентов регистрировалось лишь к 9–10 суткам, при этом площадь дефекта снижалась до $18,5 \pm 5,1$ мм². Подобная динамика отражает трофические нарушения, возникающие после химического повреждения, что ведёт к дефициту кислорода и нутриентов, замедляет регенерацию и повышает риск хронизации эпителиопатии.

В первой основной группе, где к стандартной терапии добавлялась фотодинамическая терапия (ФДТ), зафиксировано заметное усиление репаративных процессов переднего отрезка. По сравнению с контролем эпителизация шла быстрее, а суммарная поражённая площадь к 7-му дню была существенно меньшей. Это подтверждает положительный вклад ФДТ, вероятно, за счёт активации локальных восстановительных механизмов, улучшения микроциркуляции и противовоспалительного эффекта.

Отдельно заслуживают внимания два случая с поверхностными поражениями роговицы, где корректная количественная оценка площади оказалась затруднена. В одном наблюдении исходно была завышена степень ожога (диагностированная III степень фактически соответствовала менее тяжёлому повреждению), что подчёркивает важность сочетания визуальной оценки с объективными количественными измерениями.

Последовательное определение площади поражения в динамике позволило детально отслеживать темпы заживления, оценивать скорость эпителизации и своевременно корректировать лечебную тактику. В целом наиболее выраженное сокращение площади дефекта и ускорение восстановления отмечены в группах, получавших ФДТ и антиоксидантную терапию метилэтилпиридином (Виксипин), что подтверждает эффективность комбинированного подхода, объединяющего стандартные методы и инновационные технологии.

В итоге предложенная методика количественной оценки поражённой поверхности продемонстрировала высокую чувствительность и воспроизводимость. Введение расчёта ожогового индекса (ОИГП) позволило унифицировать диагностику, повысить точность стратификации тяжести и сформировать алгоритм ведения пациентов с химическими ожогами. Ключевое преимущество алгоритма — возможность объективного анализа динамики, что предоставляет врачу инструмент для персонализированной коррекции лечения с учётом индивидуальных особенностей течения процесса. Совокупность полученных данных указывает, что цифровая обработка изображений в сочетании с планиметрическим подходом является надёжным и клинически полезным инструментом для диагностики и мониторинга эффективности терапии химических ожогов глаз.

Заключение

Проведённое исследование показало, что объективная, количественная оценка площади поражения при химических ожогах глазной поверхности имеет ключевое значение для точной стратификации тяжести и мониторинга заживления. Применение цифровой планиметрии в сочетании с витальным окрашиванием обеспечило стандартизацию диагностики, повысило воспроизводимость измерений и улучшило контроль динамики репарации.

Отмечена прямая связь между степенью ожога и площадью повреждения, однако у ~10% пациентов со щелочными травмами выявлено расхождение между глубиной и площадью поражения, что отражает особенности проникновения химического агента. Исходные значения площади дефекта и ожогового индекса глазной поверхности (ОИГП)

статистически не различались между группами, подтверждая исходную сопоставимость выборок.

К седьмым суткам во всех группах фиксировалось уменьшение площади поражённой поверхности, причём наибольшая положительная динамика отмечена у пациентов, получавших фотодинамическую терапию (ФДТ) и антиоксидантную терапию Висипином. В первой основной группе снижение площади составило 55% при I степени, 58,6% — при II и 48,2% — при III степени ожога; во второй основной группе — 58,6%, 62,9% и 54,9% соответственно ($p < 0,05$). В группе сравнения эпителизация шла заметно медленнее, а при тяжёлых ожогах чаще наблюдалась затяжная эпителиопатия, что подчёркивает потребность в дополнительных методах стимуляции регенерации.

Внедрение планиметрического подхода позволило не только количественно оценивать исходное поражение, но и выявлять индивидуальные особенности заживления, прогнозировать исход и своевременно адаптировать терапию. Главное преимущество предложенного алгоритма — унифицированная оценка тяжести и объективный мониторинг эффективности лечения, что повышает точность клинических решений.

Итак, методика количественного определения площади поражения должна занять устойчивое место в клинической практике. Она обладает высокой диагностической ценностью, улучшает тактику ведения больных с химическими ожогами глаз и обеспечивает оперативную оценку эффективности терапии в рамках персонализированного подхода.

Выводы

Предложенная методика количественного измерения площади поражения глазной поверхности (цифровая планиметрия + витальное окрашивание) обеспечила стандартизованную диагностику химических ожогов, повысила точность градации тяжести и сделала мониторинг заживления объективным и воспроизводимым.

Подтверждена общая корреляция между степенью ожога и площадью повреждения; вместе с тем у ~10% пациентов со щелочными травмами отмечено несоответствие между глубиной и площадью поражения, что связано с особенностями проникновения химических агентов и требует учёта глубины наряду с площадью.

Исходно (до лечения) показатели площади дефекта и ожогового индекса глазной поверхности (ОИГП) не различались между группами, что подтверждает однородность выборок и валидность последующих сравнений.

К 7-му дню у пациентов, получавших фотодинамическую терапию (ФДТ) и антиоксидантную терапию Висипином, зарегистрировано значимое сокращение площади поражения по сравнению с группой сравнения: при I степени — на 55–58,6%, при II степени — на 58,6–62,9%, при III степени — на 48,2–54,9% ($p < 0,05$). В контрольной группе эпителизация протекала заметно медленнее, а при тяжёлых ожогах чаще наблюдалась затяжная эпителиопатия, что указывает на необходимость дополнительных методов стимуляции регенерации.

Объективная планиметрическая оценка позволила не только количественно охарактеризовать исходное поражение, но и прогнозировать клинический исход, своевременно корректировать терапию и повышать её эффективность.

Разработанный алгоритм диагностики и динамического наблюдения, основанный на количественном анализе изменений площади поражения и ОИГП, обладает высокой практической ценностью, улучшает клиническую тактику и поддерживает персонализированный подход к лечению пациентов с химическими ожогами глаз.

Список литературы

1. Bakhritdinova F.A., Bilalov E.N., Oralov B.A., Mirrakhimova S.Sh., Safarov J.O., Oripov O.I., Nabiyeva I.F. The assessment of lacrimal film condition in patients with dry eye syndrome during therapy. *Russian Ophthalmological Journal*. 2019;12(4):13-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2019-12-4-13-18>
2. Bakhritdinova F.A., Mirrakhimova S.Sh., Oralov B.A., Ashurov O.M., Khadzhimukhamedov B.B. Reparative and antioxidant therapy of chemical eye burns. *Russian ophthalmological journal*. 2021; 14 (4): 31-7 (In Russian). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-4-31-37>
3. Bizrah M., Yusuf A., Ahmad S. Adherence to treatment and follow-up in patients with severe chemical eye burns. *Ophthalmology and Therapy*. 2019;8(2):251–259. DOI: 10.1007/s40123-019-0173-y.
4. Bizrah M., Yusuf A., Ahmad S. An update on chemical eye burns. *Eye (Lond)*. 2019;33(9):1362–1377. DOI: 10.1038/s41433-019-0456-5.
5. Brănisteanu D.C., Stoleriu G., Brănisteanu D.E., Boda D., Brănisteanu C.I., Maranduca M.A., Moraru A., Stanca H.T., Zemba M., Balta F. Ocular cicatricial pemphigoid (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine*. 2020;20(4):3379–3382. DOI: 10.3892/etm.2020.8972.
6. Chaudhary S., Ghimire D., Basu S., Agrawal V., Jacobs D.S., Shanbhag S.S. Contact lenses in dry eye disease and associated ocular surface disorders. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2023;71(4):1142–1153. DOI: 10.4103/IJO.IJO_2778_22.
7. Claassen K., Rodil Dos Anjos D., Broding H.C. Current status of emergency treatment of chemical eye burns in workplaces. *International Journal of Ophthalmology*. 2021;14(2):306–309. DOI: 10.18240/ijo.2021.02.19.
8. Dohlman C.H., Cade F., Regatieri C.V., et al. Chemical burns of the eye: the role of retinal injury and new therapeutic possibilities. *Cornea*. 2018;37(2):248–251. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001438.
9. Kwok J.M., Chew H.F. Chemical injuries of the eye. *CMAJ*. 2019;191(37):E1028. DOI: 10.1503/cmaj.190428.
10. Narzikulova K.I., Bakhritdinova F.A., Mirrakhimova S.S., Oralov B.A. Development and evaluation of the effectiveness of photodynamic therapy in inflammatory diseases of the ocular surface // *Ophthalmology Journal*. - 2020. - Vol. 13. - N. 3. - P. 55-65. <https://doi.org/10.17816/OV33828>