

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ДЕФЕКТОВ РОГОВИЦЫ

Потемкин В.В.^{1, 2}, Прокопчук В.С.³, Астахов С.Ю.¹, Андреев Д.А.⁴

¹ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8, Россия*

² *Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Городская многопрофильная больница № 2», 194354, Санкт-Петербург, Учебный пер., д. 5, Россия*

³ *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Клиника высоких медицинских технологий имени Н.И. Пирогова, 190103, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, д. 154, Россия*

⁴ *Гамбургский технический университет, Am Schwarzenberg-Campus 1, 21073, Гамбург, Германия*

Резюме

Введение. Точная оценка площади дефекта роговицы необходима для выбора лечебной тактики и объективного контроля динамики эпителизации. Измерение продольного и поперечного размеров при биомикроскопии недостаточно точно при дефектах неправильной формы, а существующие способы компьютерного анализа требуют освоения стороннего программного обеспечения и выполнения дополнительных расчётов.

Цель. Разработать специализированное программное обеспечение для автоматизированного расчёта относительной площади дефектов роговицы.

Материалы и методы. Программа создана на языке Python 3.10. Для графического интерфейса использована библиотека Tkinter, для обработки изображений и математических расчётов — OpenCV и NumPy. Пользователь

отмечает на цифровой фотографии границы роговицы и дефекта, после чего программа рассчитывает площади многоугольников по формуле Гаусса и определяет отношение площади дефекта к общей площади роговицы в процентах.

Результаты. Возможности программы продемонстрированы на клиническом примере пациентки с персистирующим язвенным дефектом роговицы, ассоциированным с нейротрофической кератопатией. До оперативного вмешательства относительная площадь дефекта составляла 28,04%, через одну неделю — 5,84%, через две недели на фоне полной эпителизации — 0%. Программа автоматически выполнила расчёты по последовательным фотоснимкам.

Заключение. Разработанное приложение обеспечивает автоматизированное определение относительной площади дефекта роговицы и не требует ручных вычислений после обозначения контуров. Для его применения необходимы цифровая фотофиксация переднего отрезка глаза и компьютер. Программа может использоваться для объективного наблюдения за динамикой дефекта и оценки результатов лечения.

Ключевые слова: нейротрофическая кератопатия; язва роговицы; площадь дефекта роговицы; витальные красители; кератит

Для корреспонденции. Прокопчук Вера Сергеевна,

prokopchuk.vera98@gmail.com

SOFTWARE FOR ASSESSMENT OF CORNEAL DEFECT AREA

Potemkin V.V.^{1,2}, Prokopchuk V.S.³, Astakhov S.Yu.¹, Andreev D.A.⁴

¹ *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 6–8 Lva Tolstogo St., St. Petersburg, 197022, Russia*

² *St. Petersburg State Budgetary Healthcare Institution “City Multidisciplinary Hospital No. 2”, 5 Uchebny Pereulok, St. Petersburg, 194354, Russia*

³ *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint Petersburg State University”, N.I. Pirogov Clinic of High Medical Technologies, 154 Fontanka River Embankment, St. Petersburg, 190103, Russia*

⁴ *Hamburg University of Technology, Am Schwarzenberg-Campus 1, 21073 Hamburg, Germany*

Abstract

Introduction. Accurate assessment of corneal defect area is important for selecting treatment strategy and objectively monitoring epithelial healing. Measurement of longitudinal and transverse dimensions during slit-lamp examination is insufficiently accurate for irregularly shaped defects, whereas existing computer-assisted methods require third-party software skills and additional calculations.

Aim. To develop specialized software for automated calculation of the relative area of corneal defects.

Materials and Methods. The software was developed in Python 3.10. Tkinter was used for the graphical interface, and OpenCV and NumPy were used for image processing and mathematical calculations. The user marks the corneal and defect boundaries on a digital photograph; the program then calculates polygon areas using the shoelace formula and determines the defect-to-cornea area ratio as a percentage.

Results. The software was demonstrated in a clinical case of a patient with a persistent corneal ulcer associated with neurotrophic keratopathy. Before surgery, the relative defect area was 28.04%; after one week it decreased to 5.84%, and after two

weeks, with complete epithelialization, it was 0%. The calculations were performed automatically from sequential photographs.

Conclusion. The application provides automated determination of the relative corneal defect area and requires no manual calculations after contour marking. Its use requires digital anterior segment photography and a computer. The software may be used for objective monitoring of defect dynamics and assessment of treatment outcomes.

Keywords: neurotrophic keratopathy; corneal ulcer; corneal defect area; vital dyes; keratitis

Corresponding author: Prokopchuk Vera Sergeevna, prokopchuk.vera98@gmail.com

Введение

Известно, что площадь дефекта роговицы не только определяет тактику ведения, но и позволяет оценить эффективность уже назначенного лечения. Наиболее общепринятым способом оценки площади дефекта является расчет продольного и поперечного размеров при проведении биомикроскопии глаза [1–4]. Данная методика является наиболее простым методом оценки площади, однако имеет низкую точность ввиду того, что зачастую язвы имеют неправильную форму.

М.В. Сухининым была предложена методика использования циркулярной сетки, ячейки которой составляли 0,3%. Сетку помещали на цифровой фотоснимок роговицы во фронтальной проекции и суммировали, окрашиваемые флюоресцеином ячейки, получая итоговую площадь деэпителизации роговицы. [5]. Несмотря на хорошую репрезентативность метода, сохранялась необходимость сопоставления сетки и фотографии переднего отрезка, а также ручной подсчет. Также недостатком являлась некоторая неуниверсальность, так как дефект мог заполнять ячейку частично. В связи с этим в мире наблюдается тенденция к компьютеризации подсчетов [6].

И.А. Макаров (1999) предложил применение компьютерно-аналитической системы, которая обрабатывала изображение, переводя единицы площади изображения (пиксели) в мм. Таким образом, 1806 пикселей соответствовало 1 мм². С помощью данного метода производился подсчет абсолютных значений площади дефекта, однако ввиду выраженной трудоемкости процесса и высокой вероятности ошибок ввиду длительности процедуры, широкой распространенности данный метод не получил [7].

Данная проблема была решена А.И. Бурсовым и соавт. (2022) [8]. Ими была предложена методика постобработки биомикрофотографий переднего отрезка глаза, окрашенного 2% раствором флюоресцеина, с помощью стороннего программного обеспечения (например, Adobe Photoshop). Во встроенном функционале приложений рассчитывалось количество пикселей дефекта и общей площади роговицы. Для объективной оценки эффективности

проводимой терапии вычислялся ключевой показатель — относительная площадь эпителизации роговицы (SЭП, %), которая рассчитывалась по следующей формуле: $SЭП = ((SЭ1 / SP1) - (SЭ2 / SP2)) \times 100\%$, где SЭ 1 / SP1 — относительная площадь эрозии до лечения, SЭ 2 / SP2 — относительная площадь эрозии после лечения. Такой метод приобрел большую распространенность ввиду доступности [9]. Единственным недостатком данной методики является трудность выполнения исследования, что определяется необходимостью освоения функционала Adobe Photoshop или аналога. Также известно, что большинство программ не рассчитано для подобных задач, поэтому все расчеты производятся отдельно. В связи с этим актуальна разработка специального программного обеспечения для одномоментного подсчета площади дефектов роговиц.

Цель.

Разработка специального программного обеспечения для расчета площади дефектов роговицы.

Материалы и методы

Код программы написан в программе Visual Studio Code на языке программирования Python версия 3.10. При запуске приложения для выбора фотографии необходимо нажать кнопку “Open Image”, выбранное фото отобразится в окне слева. Рекомендовано использовать фотографии переднего отрезка глаза, предварительно окрашенного витальным красителем, 2% раствором флюоресцеина с целью более качественной визуализации краев зоны деэпителизации. Для того, чтобы отметить границы дефекта необходимо активировать кнопку “Toggle Defect Points”. Далее проводится маркировка краев дефекта отмечается весь периметр. По аналогии для области роговицы нужно активировать кнопку “Toggle Cornea Points”. В случае необходимости перемещение точек производится посредством “Drag Points”, а удаление с помощью активной клавиши “Remove Points”. Когда все границы указаны

верно, при нажатии на “Compute” в графе Ratio отобразится относительная площадь дефекта роговицы (рисунок 1).

Расчет производится по формуле Гаусса, которая позволяет рассчитать площадь сложного многоугольника по заданным координатам [10–11]. Также данная модель известна как «формула шнурования». Алгоритм основан на векторном произведении соседних вершин. Суммируя векторные произведения для каждой пары координат вершин многоугольника в порядке их обхода и беря половину модуля полученной суммы, получают общую площадь фигуры. Формула автоматически корректно обрабатывает многоугольники с самопересечениями, учитывая ориентацию контуров: площади внешних контуров складываются, а площади внутренних «вырезаются». Формула представлена следующим образом:

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} x_i y_{i+1} + x_n y_1 - \sum_{i=1}^{n-1} x_{i+1} y_i - x_1 y_n \right|$$

где S — площадь, n — количество сторон многоугольника. Координаты при этом соответствуют координатам пикселей.

Этика

Все пациенты, чьи фотографии переднего отрезка глаза представлены в данной статье, подписали добровольное информированное согласие на участие в клиническом исследовании. Проведение исследования выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией и одобрено локальным этическим комитетом Клиники высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова Санкт-Петербургского государственного университета от 07.05.2025.

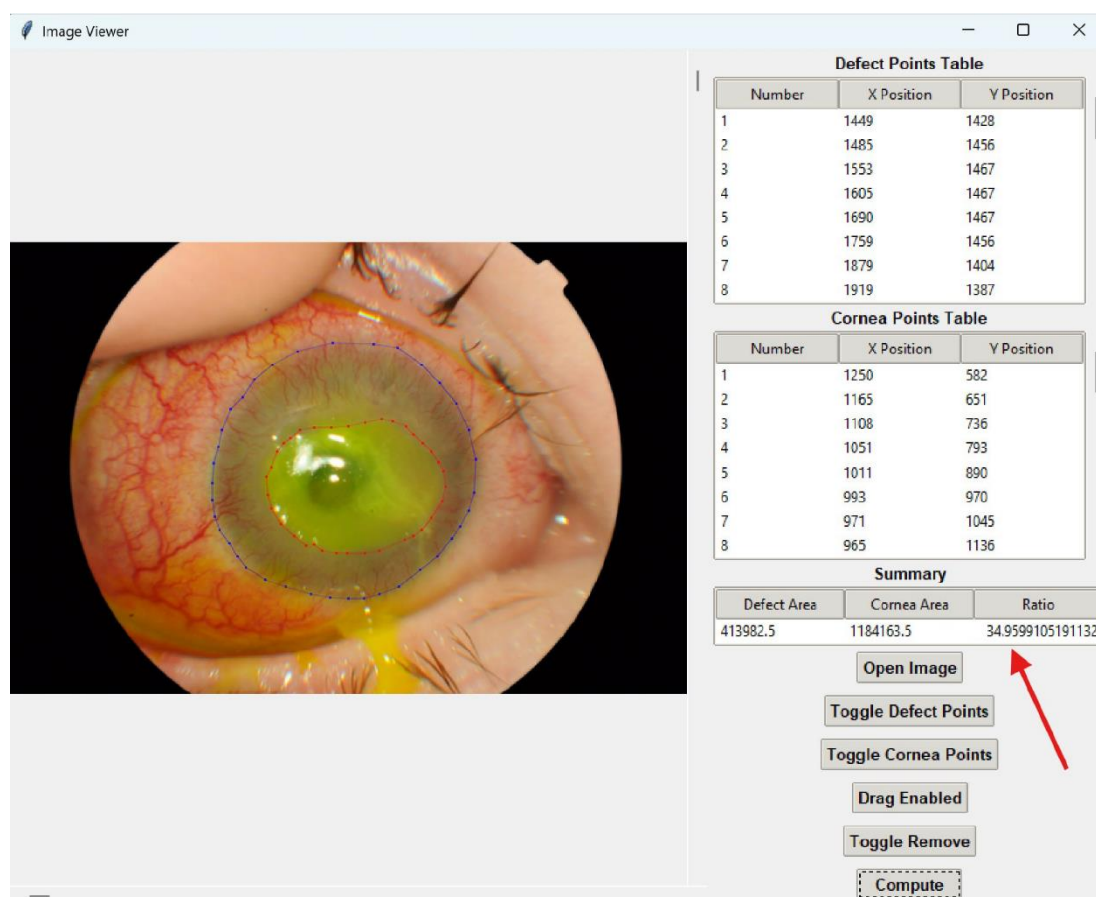


Рисунок 1. Интерфейс программы для подсчета дефектов роговицы (красной стрелкой отмечена площадь дефекта по отношению к общей площади роговицы (%))

Результаты

Возможности применения программы продемонстрированы на клиническом примере. Пациентка 3., 69 лет, была госпитализирована с персистирующим на протяжении двух месяцев язвенным дефектом, ассоциированным с нейротрофической кератопатией правого глаза. При проведении биомикроскопии переднего отрезка глаза визуализируется язвенный дефект бобовидной формы. С помощью ретинальной камеры TRC-NW7SF Mark II (Торсон, Япония) выполнена фотография в режиме желтом свете. Предварительно дефект был окрашен флюоресцеиновым витальным красителем (рисунок 2). По результатам подсчетов площадь язвы составила 28,04% от общей площади роговицы.

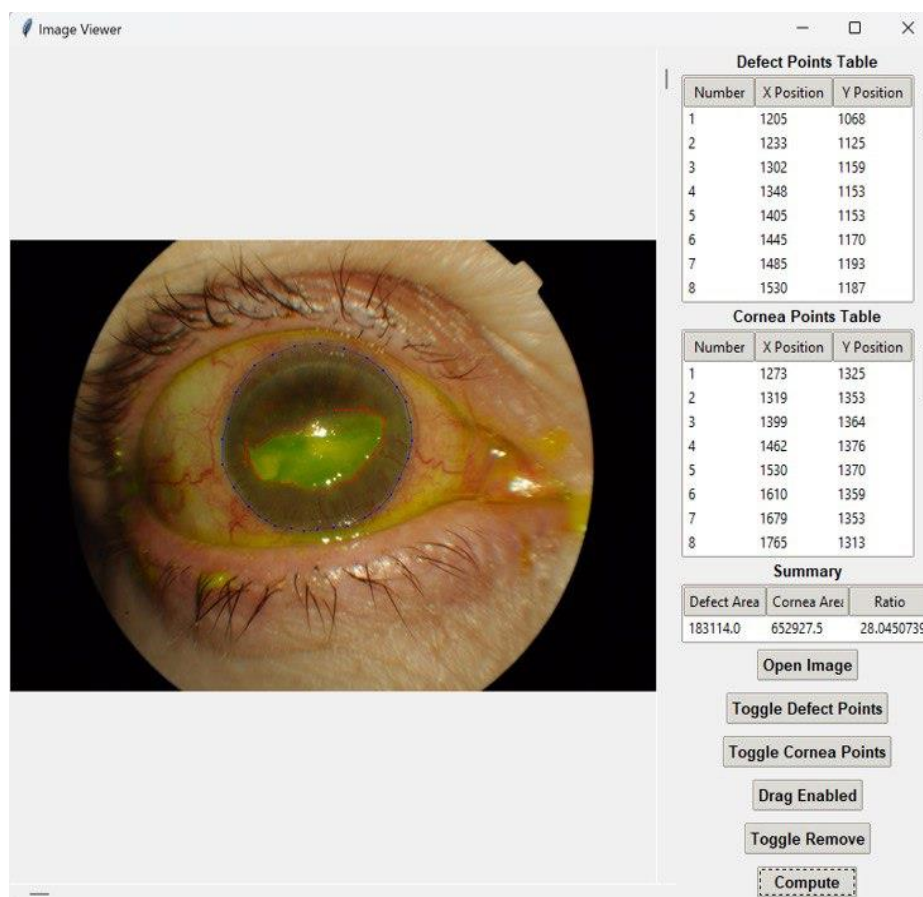


Рисунок 2. Интерфейс программы с демонстрацией изменения площади дефекта пациентки 3. до проведения оперативного вмешательства

Из данных анамнеза известно, что помимо терапии в виде лубрикантов, репарантов роговицы и антибиотиков в виде капель, предпринимались попытки использования бандажных контактных линз, а также аутологичной крови. На фоне вышеописанного лечения, однако, наблюдалась отрицательная динамика. В связи с неэффективностью терапии пациентке было выполнено сублимбальное перемещение орбитальной клетчатки.

Через неделю была выполнена повторная фотофиксация оперированного глаза, а также проведены расчеты с помощью описанной выше программы (рисунок 3).

Было отмечено уменьшение площади дефекта до 5,84% от всей площади роговицы.

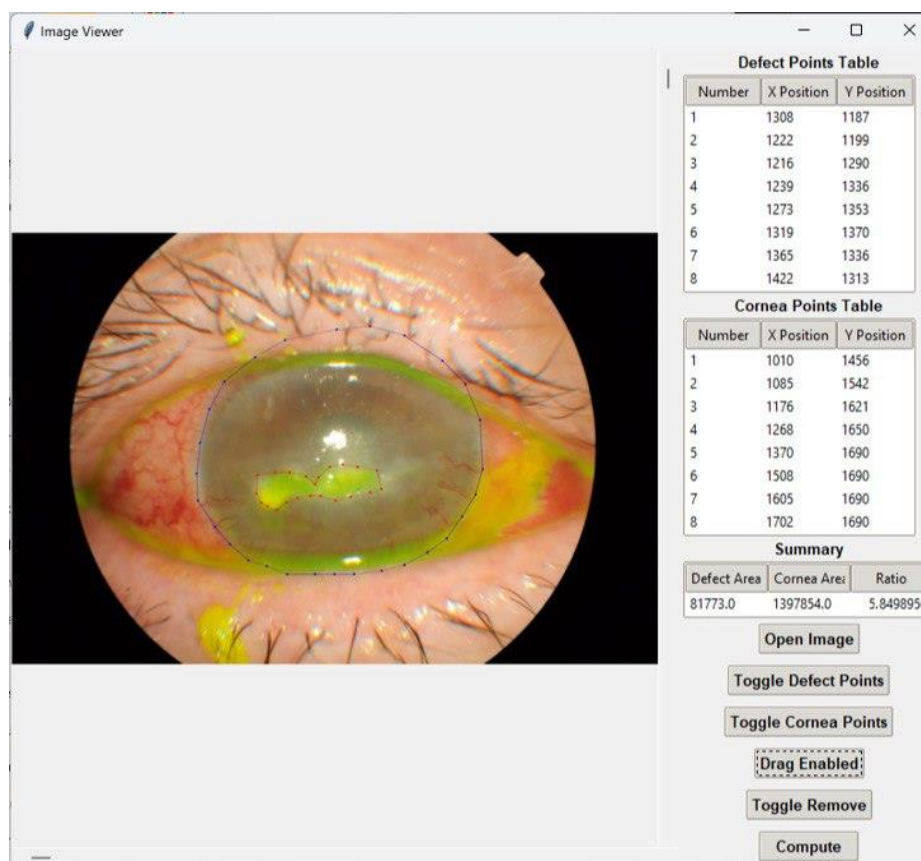


Рисунок 3. Интерфейс программы с демонстрацией изменения площади дефекта пациентки 3. через неделю после вмешательства

Спустя еще одну неделю также была выполнена фотофиксация с оценкой площади дефекта, однако на фоне полной эпителизации площадь составила 0,0% (рисунок 4).

Обсуждение

Применение специального программного обеспечения для подсчета площади дефектов роговицы может повысить эффективность их лечения благодаря отслеживанию мельчайших изменений. Также данная программа может представлять интерес для исследовательских работ в качестве показателя эффективности лечения.

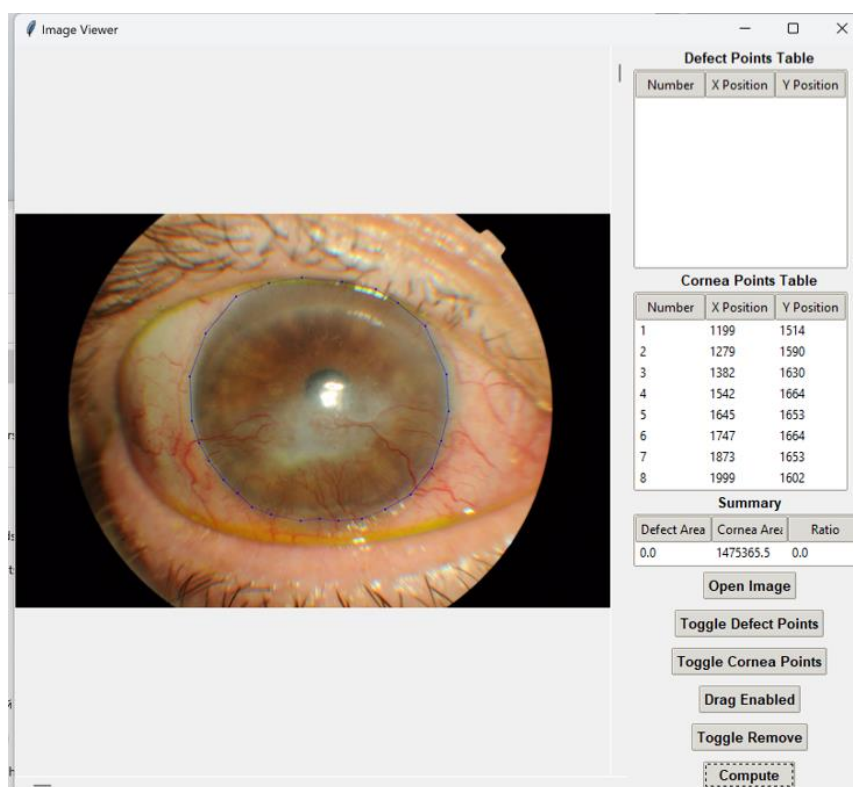


Рисунок 4. Интерфейс программы с демонстрацией изменения площади дефекта пациентки 3. через 2 недели после вмешательства

Заключение

Предложенное приложение простое и удобное в применении для расчета дефектов роговицы различной этиологии, так как имеет высокую репрезентативность результатов, а также не требует дополнительных расчетов, так как программа производит их самостоятельно. Также оно позволяет учитывать индивидуальные особенности роговицы, поэтому для подсчета необходимы только прибор фотофиксации и компьютер.

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Список литературы

1. Каспарова Е.А., Каспаров А.А., Амир М.П., и др. Рецидивирующая эрозия роговицы. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2010;(1):51–53.
2. Севостьянов А.Е., Соколов В.А., Мнихович М.В., и др. Сравнение эффективности эпителизирующих веществ при экспериментальном ожоге роговицы. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2011;19(3):110–113. doi:10.17816/PAVLOVJ20113110-113.
3. Боженко Д.А., Ченцова Е.В. Предварительное клиническое исследование нового метода лечения ожоговых дефектов роговицы. *Современные технологии в офтальмологии*. 2022;(3(43)):62–65. doi:10.25276/2312-4911-2022-3-62-65.
4. Майчук Д.Ю., Лошкарева А.О. Особенности терапии пациентов с синдромом сухого глаза, в том числе с нарушением эпителизации роговицы. *Офтальмология*. 2019;16(4):529–536. doi:10.18008/1816-5095-2019-4-529-536.
5. Гололобов В.Г., Гайворонский И.В., Деев Р.В., и др. Репаративная регенерация многослойного эпителия роговицы: биотехнологический потенциал. *Гены и клетки*. 2008;3(4):55–59.
6. Toutain-Kidd CM, Porco TC, Kidd EM, et al. Evaluation of fungal keratitis using a newly developed computer program, Optscore, for grading digital corneal photographs. *Ophthalmic Epidemiology*. 2014;21(1):24–32. doi:10.3109/09286586.2013.868003.
7. Макаров И.А. Способ диагностики эпителиального дефекта (эрозии) роговицы. Патент РФ №2139675. 1999.
8. Бурсов А.И., Светозарский С.Н. Способ диагностики и оценки эффективности лечения эрозий роговицы. Патент РФ №2789965. 2023. URL: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2789965> (дата обращения: 10.04.2025).

9. Трифаненкова И.Г., Темнов А.А. Лечение токсической эрозии роговицы с применением раствора сульфатированных гликозаминогликанов. *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2022;10(4):553–561. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lechenie-toksicheskoy-erozii-rogovitsy-s-primeneniem-rastvora-sulfatirovannyh-glikozaminoglikanov-sgag-v-eksperimente> (дата обращения: 10.04.2025).
10. Stephenson P. The shoelace formula & Pick's theorem. *Mathematics in School*. 2018;47(4):35–38.
11. Lee Y, Lim W. Shoelace formula: connecting the area of a polygon and vector cross product. *The Mathematics Teacher*. 2017;110(8):631–636. doi:10.5951/mathteacher.110.8.0631.

References

1. Kasparova E.A., Kasparov A.A., Amir M.P., et al. Recurrent corneal erosion. *Kataraktalnaya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2010;(1):51–53 (in Russian).
2. Sevostyanov A.E., Sokolov V.A., Mnikhovich M.V., et al. Comparison of efficacy of epithelizing agents in experimental corneal burn. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*. 2011;19(3):110–113. doi:10.17816/PAVLOVJ20113110-113 (in Russian).
3. Bozhenko D.A., Chentsova E.V. Preliminary clinical study of a new method for treatment of corneal burn defects. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii*. 2022;(3(43)):62–65. doi:10.25276/2312-4911-2022-3-62-65 (in Russian).
4. Maychuk D.Yu., Loshkareva A.O. Treatment features of patients with dry eye syndrome including impaired corneal epithelialization. *Oftal'mologiya*. 2019;16(4):529–536. doi:10.18008/1816-5095-2019-4-529-536 (in Russian).
5. Gololobov V.G., Gayvoronskiy I.V., Deev R.V., et al. Reparative regeneration of corneal multilayer epithelium: biotechnological potential. *Geny i kletki*. 2008;3(4):55–59 (in Russian).
6. Toutain-Kidd C.M., Porco T.C., Kidd E.M., et al. Evaluation of fungal keratitis using Optscore software. *Ophthalmic Epidemiology*. 2014;21(1):24–32. doi:10.3109/09286586.2013.868003.

7. Makarov I.A. Method for diagnosis of corneal epithelial defect. Patent RU2139675. 1999 (in Russian).
8. Bursov A.I., Svetozarskiy S.N. Method for diagnosis and evaluation of corneal erosion treatment efficacy. Patent RU2789965. 2023. Available from: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2789965> (accessed 10 Apr 2025) (in Russian).
9. Trifanenkova I.G., Temnov A.A. Treatment of toxic corneal erosion using sulfated glycosaminoglycans. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2022;10(4):553–561. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/lechenie-toksicheskoy-erozii-rogovitsy-s-primeneniem-rastvora-sulfatirovannyh-glikozaminoglikanov-sgag-v-eksperimente> (accessed 10 Apr 2025) (in Russian)/
10. Stephenson P. The shoelace formula and Pick's theorem. *Mathematics in School*. 2018;47(4):35–38.
11. Lee Y., Lim W. Shoelace formula: connecting polygon area and vector cross product. *The Mathematics Teacher*. 2017;110(8):631–636. doi:10.5951/mathteacher.110.8.0631.