

Определение зоны максимальной регулярности астигматизма по кератопограмме

А. О. Удалов¹, Ю. А. Живолупова²

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

udalovaleksandr@list.ru¹, iulia.zhivolupova@gmail.com²

Ш. Ш. Кудлахмедов³

Северо-Западный государственный медицинский
университет им. И.И. Мечникова
shakir47@yandex.ru³

Аннотация. Currently, almost one in four people suffers from varying degrees of eye astigmatism, an ophthalmic disease characterized by impaired refractive ability of the visual organs as a result of the irregular shape of the lens or cornea. That eye disease can occur at any age and causes a significant deterioration in vision in the absence of timely treatment. One of the ways to treat astigmatism of medium and high degrees is the implantation of intraocular toric lens. The choice of lens parameters is made by a doctor on the basis of many factors, and one of the decisive is the regularity of astigmatism in certain areas of the cornea. In this regard, the purpose of the research is to develop a program to assess the regularity of different corneal topogram zones, which would facilitate the work of the doctor.

This work is dedicated to the development the automatic definition regularity of astigmatism method based on image analysis. The method allows us to estimate the asymmetry of pathology area. Asymmetry is one of the major signs indicating that the astigmatism is irregular.

Ключевые слова: astigmatism; image processing; corneal topogram; areas of the cornea; intraocular toric lens; symmetry

I. ВВЕДЕНИЕ

Цифровая обработка изображений – интенсивно развивающаяся научная область, которая находит все более широкое применение в различных информационных технических системах. Многие отрасли техники, имеющие отношение к получению, обработке, хранению и передаче информации, в значительной степени ориентируются в настоящее время на развитие систем, в которых информация имеет характер изображений. Одной из таких областей, где широко применяются методы цифровой обработки изображений, является медицина, в частности, офтальмология, где цифровую обработку изображений используют для диагностики различных зрительных заболеваний таких как астигматизм [1].

Астигматизм – это патология зрения, возникающая в результате нарушения строения хрусталика (реже роговицы), деформация его формы, заключающаяся в расфокусировании оптических лучей, проходящих через среды глаза. В результате изображение не точно падает на сетчатку, и дает искажения. Часто астигматизм сочетается с нарушениями зрения в виде близорукости или дальнозоркости.

Выделяют три степени астигматизма: слабая степень (до 3 диоптрий), средняя степень (от 3 до 6 диоптрий) и сильная степень (выше 6 диоптрий).

Для коррекции астигматизма существуют 3 основных метода: очковая коррекция, ношение или имплантация линз и эксимер-лазерная коррекция. Как правило, хирургическое вмешательство производится только в случаях наличия астигматизма средней и высокой степени [2].

Астигматическая разность определяет силу астигматизма как разность рефракций двух главных меридианов. Она зависит от выбора меридианов и от радиуса, в котором анализируется кератопограммы. Чем более регулярный астигматизм, тем выше вероятность его скорректировать.

На данный момент врач вынужден определять зону расчета астигматической разности исходя из своего опыта, так как стандартная кератопограмма не предоставляет необходимых для этого данных.

Данная работа посвящена разработке метода определения зоны максимальной регулярности астигматизма на основе анализа кератопограммы, который позволит обосновать выбор радиуса для расчета астигматической разности. Метод основан на оценке симметрии актуальной зоны роговицы (угол между меридианами), а также отношений между площадью реальной актуальной зоны и идеального случая.

II. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЕГУЛЯРНОСТИ

В ходе обсуждения термина «регулярность» или «правильность» астигматизма с практикующими врачами-офтальмологами было решено понимать под этим совокупность таких параметров как симметрия актуальной зоны роговицы относительно ее центра, отношения площадей реального и идеального случаев астигматизма.

Для оценки данных параметров кератопограммы в рамках данной работы решаются следующие задачи [3]:

- сегментация изображения с целью выделения области интереса;
- оценка симметрии актуальной зоны по углу между меридианами;

- оценка отношения площадей реальной и идеальной актуальных зон.

Метод предназначен для помощи специалисту в подборе интраокулярной линзы. Исходными данными являются кератопограммы роговицы глаза пациента.

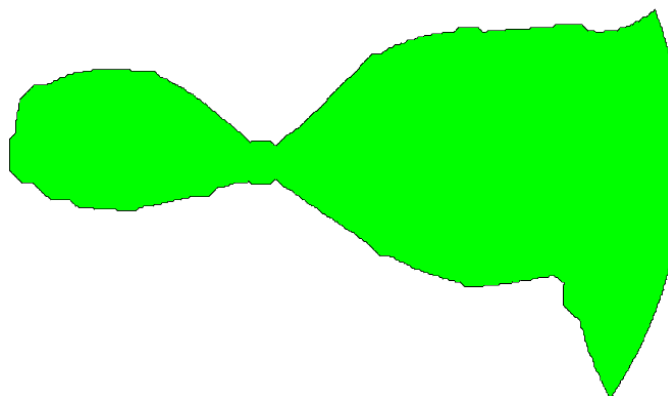
A. Алгоритм сегментации области интереса

Алгоритм сегментации включает следующие шаги:

- пересчет цветowych координат элементов изображения и системы RGB в оттенки серого [4];
- обрезка изображения до круга необходимого радиуса, задающегося специалистом;
- задание специалистом порогового значения и бинаризация изображения;
- удаление лишних линий и цифр с изображения (при наличии);
- определение актуальной зоны.

Так как исходное изображение содержит большое количество информации в виде цифр и линий - необходимо ее убрать. Производится это при помощи операции морфологического раскрытия. При выполнении данной операции используется структурный элемент в виде диска с радиусом 15 [5].

На рис. 1 представлен результат работы программы по сегментации области интереса.



б

Рис. 1. Результат работы программы по сегментации области интереса: исходное изображение роговицы а); результат сегментации б)

B. Алгоритм оценки симметрии актуальной зоны

Для удобства оценки симметрии изображение поворачивается таким образом, чтобы один из меридианов актуальной зоны совпал с координатной осью x. Меридианом актуальной зоны считается линия, расположенная внутри контура зоны, один конец которой находится в центре роговицы и при этом длина которой максимальна.

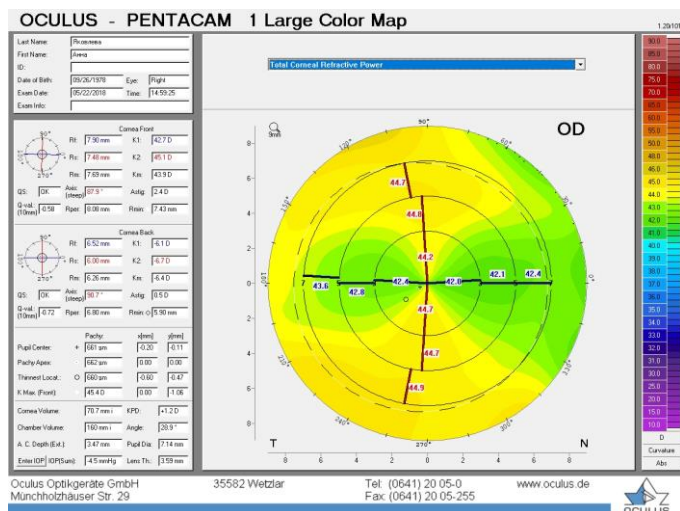
После определения расположения обоих меридианов и поворота изображения рассчитывается коэффициент симметрии как отношение угла между меридианами и 180 градусами:

$$K_{SIMM} = \frac{\arccos\left(\frac{\overline{q_1} \cdot \overline{q_2}}{|\overline{q_1}| \cdot |\overline{q_2}|}\right)}{180^\circ} \cdot 100\%$$

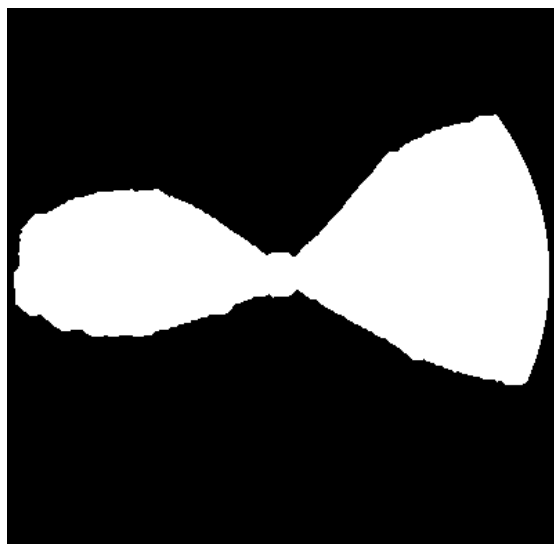
где $\overline{q_1}$ и $\overline{q_2}$ – направляющие вектора меридианов, $|\overline{q_1}|$, $|\overline{q_2}|$ – их длина.

Результат работы алгоритма для примера на рис. 2б – коэффициент симметрии оказался равен 91,84. Для той же актуальной зоны, но с радиусом 3мм коэффициент симметрии увеличился до 95,84.

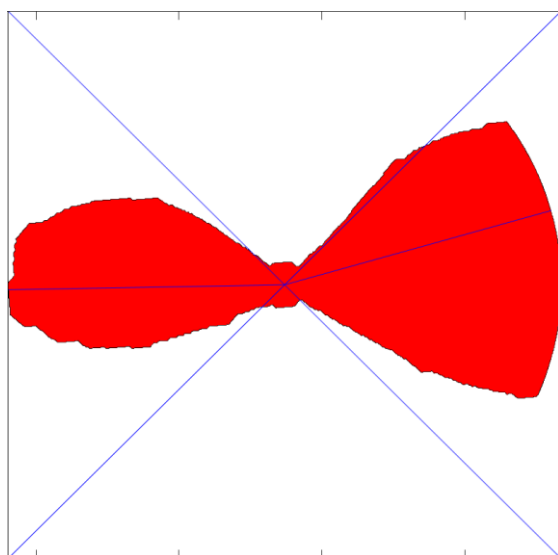
На рис. 2 представлен результат работы алгоритма оценки симметрии актуальной зоны.



а



а



б

Рис. 2. Результат работы алгоритма оценки симметрии актуальной зоны: выделенная область интереса, обрезанная по заданному радиусу (5 мм) а); результат определения меридианов актуальной зоны, на которую будет наложена линза (квадрат) б)

С. Алгоритм оценки отношения площадей реальной и идеальной актуальных зон

На данном этапе определяются следующие параметры:

- отношение площади каждой половины реальной актуальной зоны к идеальной;
- отношение площадей половин между собой.

Вначале необходимо определить площади пересечения каждой половины реальной актуальной зоны и идеального случая. Далее происходит расчет отношения всех площадей.

Для приведенного на рис. 2б примера были получены следующие результаты:

- отношение правой половины актуальной зоны к идеальному случаю: 63,46%;
- отношение левой половины актуальной зоны к идеальному случаю: 39,66%;
- отношение площади левой половины к правой: 62,50%.

Результаты для той же актуальной зоны, но с радиусом 3 мм:

- отношение правой половины актуальной зоны к идеальному случаю: 68,59%;
- отношение левой половины актуальной зоны к идеальному случаю: 57,70%;
- отношение площади левой половины к правой: 84,13%.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были разработаны и исследованы следующие алгоритмы для оценки регулярности астигматизма на основе анализа изображений:

- алгоритм сегментации изображения;
- алгоритм оценки симметрии актуальной зоны по углу между меридианами;
- алгоритм оценки отношения площадей реальной и идеальной актуальных зон.

В дальнейшем полученные значения планируется свести к единому коэффициенту регулярности астигматизма, что должно упростить выбор участка роговицы для определения астигматической разности и повысить эффективность коррекции астигматизма с использованием интраокулярных линз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Использование сверточных нейронных сетей для определения астигматизма / Бадилю П., Живолупова Ю.А., Кудлахмедов Ш.Ш. // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – биомедсистемы-2019 / Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, 2019. С. 387-390.
- [2] Егоров Е.А., Басинский С.Н., Клинические лекции по офтальмологии: Учебное пособие ГЭОТАР-Медиа, 2007. 320 с.
- [3] Левина М.Е. Разработка алгоритма ранней диагностики кератоконуса на основе современных методов клинического обследования органа зрения: Автореф. дис. ... канд. медиц. наук / Институт повышения квалификации Федерального медико-биологического агентства, 2014. 120 стр.
- [4] Детектирование округлостей на изображении средствами MATLAB.: цифры и рейтинги. URL: <https://habr.com/ru/post/114335/>
- [5] Пример обработки изображения в пакете Matlab.: цифры и рейтинги. URL: <http://masters.donntu.org/2009/kita/pogorelaya/library/article6.html>