УДК 621.397.4

**А.Н. Дементьев, Р.Р. Базаржапова, С.В. Бянкина,
Е.А. Карнышова, А.А. Романова, Г.В. Дементьева**

Алгоритмы определения параметров бульбарной конъюнктивы

Автоматическая обработка и анализ изображений нашли применение при распознавании символов, обнаружении объектов, в медицинской диагностике, анализе биомедицинских изображений, дистанционном зондировании, при идентификации людей по портретам и отпечаткам пальцев. Изучение микроциркуляции (МЦ) является одной из важнейших проблем в современной теоретической и клинической медицине. В этой связи представляется важным комплексное изучение МЦ с использованием современных клинических, клинико-инструментальных, биофизических и морфологических методов в сопоставлении с данными общеклинического исследования. Целью предлагаемой статьи является изучение признаков, характеризующих состояние микроциркуляторного русла (МЦР) и внедрение нового способа диагностики нарушений (МЦ) с использованием автоматизированного телевизионно-вычислительного комплекса для функциональной диагностики.

Ключевые слова: микроциркуляторное русло, бульбарная конъюнктива, телевизионное изображение, математическая модель изображения, цифровая фильтрация, сегментирование изображений.

В настоящее время расширяются возможности для прижизненного неинвазивного изучения микроциркуляторного русла. Оценка состояния микроциркуляторного русла по изображению бульбарной конъюнктивы (БК) является перспективным направлением в связи с неинвазивностью и оперативностью обследования.

Это обусловливает важность проблемы создания методики автоматизированной оценки состояния микроциркуляторного русла, разработки алгоритмического и программного обеспечения для обработки телевизионных изображений бульбарной конъюнктивы и реализации на их основе автоматизированного комплекса для диагностики нарушений микроциркуляции.

Количественная оценка с учетом пола и возраста обследуемых. Важным количественным показателем, характеризующим состояние приносящих и отводящих кровь микрососудов, является артериоло-венулярный коэффициент. В норме артериоло-венулярный коэффициент находится в пределах 0,7–0,8. При этом установлено, что артериоло-венулярный коэффициент у лиц в возрасте 20–29 лет равен 0,93±0,20, а в возрасте 30–39 лет – 2,45±0,20. Следует отметить, что в этих возрастных группах не установлено половых различий. В возрасте старше 40 лет артериоло-венулярный коэффициент как у мужчин, так и у женщин увеличивался (соответственно 4,10±0,29 и 3,59±0,31), а в возрасте старше 50 лет возрастал значительно (у мужчин 6,90± 0,38, а у женщин 5,74+0,38). Таким образом, в возрасте старше 40 лет артериоло-венулярный коэффициент у мужчин увеличивается гораздо больше, чем у женщин.

Метод биомикроскопии бульбарной конъюнктивы (БМБК). Биомикроскопия, т.е. прижизненная микроскопия тканевых структур, является одним из основных методов изучения микроциркуляции. Существует два вида биомикроскопии глаза: неконтактная (с помощью щелевых ламп) и контактная (с помощью контактных микроскопов). Биомикроскопическое исследование сосудов переднего сегмента глаза с помощью щелевых ламп широко применяется в клинике. Результаты исследования микроциркуляции в большинстве случаев носят описательный характер. Общепринято подразделение патологических изменений микроциркуляции на внесосудистые (периваскулярные), сосудистые (васкулярные) и внутрисосудистые (интроваскулярные). При оценке состояние микроциркуляции учитываются следующие признаки внесосудистых изменений конъюнктивы – микрогеморрагии, периваскулярный отек, липоидоз, гемосидероз. Сосудистыми изменениями считают: изменения диаметров микрососудов, изменение артериоло-венулярного коэффициента, облитерапию, неравномерность калибра сосудов, микроаневризмы, ампулообразные расширения. К внутрисосудистым изменениям относят нарушения гемодинамики в микроциркуляторном русле в виде обрат-

ного кровотока и реологических свойств крови в возникновении агрегации эритроцитов, сладжа, стаза крови.

Метод лазерной доплеровской флуометрии. В основе лазерной доплеровской флуометрии лежит регистрация потока крови в микроциркуляторном русле (артериолах, прекапиллярах, капиллярах, венулах) посредством анализа доплеровского сдвига лазерного излучения от движущихся эритроцитов. Сигнал ЛДФ-граммы, регистрируемый из исследуемой зоны, содержит осцилляции микрокровотока, связанные с функционированием механизмов регуляции микрососудистого тонуса, а также обусловленные дыхательными и сердечными ритмами. С помощью амплитудно-частотного анализа спектра ЛДФ-граммы (математический аппарат вейвлет-анализа) применяемый метод позволяет изучить зарегистрированные осцилляции микрокровотока. По виду спектра колебаний возможно определить вклад отдельных механизмов регуляции в общем управлении микрокровотоком. Осцилляции микрокровотока подразделяются на пассивные (пульсовые и дыхательные) и активные (миогенные и нейрогенные).

Важное значение в оценке активности механизмов регуляции кровотока имеет соотношение миогенного (МТ) и нейрогенного (НТ) тонуса сосудистого русла. Нейрогенный тонус контролирует артериолы. Миогенный тонус регулирует приток крови в капиллярное (нутритивное) звено микроциркуляторного русла, при его повышении происходит закрытие прекапиллярных сфинктеров, и, как следствие, кровоток движется по обходным артериоло-венулярным анастомозам, происходит шунтирование кровотока (рис. 1).

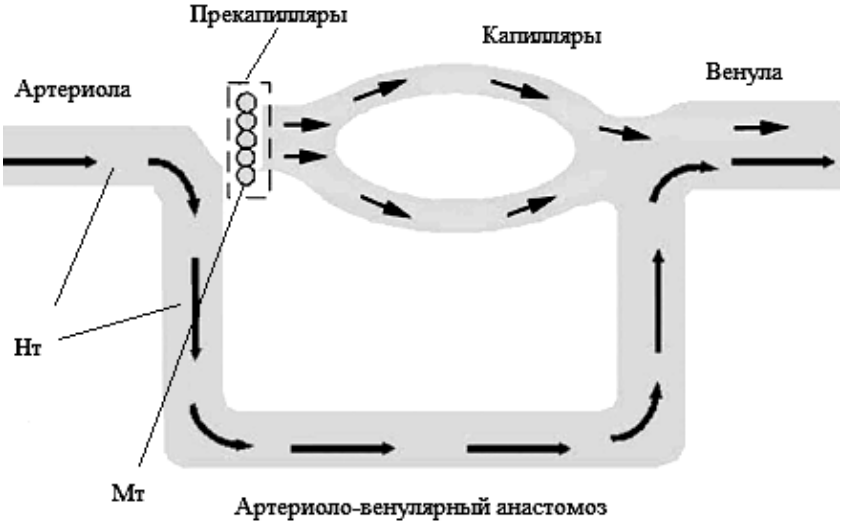


Рис. 1. Механизмы регуляции микроциркуляторного русла

Математическая модель изображения бульбарной конъюнктивы. Для проверки работоспособности алгоритмического обеспечения, которое предполагается использовать для обработки изображений БК, создана математическая модель сосудистой сети БК, которая представляет собой изображение контурных линий различной ориентации и ширины с размытыми краями и плоской вершиной. При рассмотрении одномерного сечения изображения сосуда его форма схожа с формой сигнала от подвижного объекта в телевизионных датчиках с накоплением энергии. Поэтому математическая модель изображения БК может быть записана следующим образом:

$$B(x,y)=\sum_{n=1}^{N} M_n(x,y)+n(x,y)+d(x,y)\,,$$

где $M_n(x,y)=A_n(x,y)\cdot\left\{\mathrm{erf}\left[\dfrac{x-(x0_n-0{,}5b_n(y)+f_n(y))}{s_n}\right]-\mathrm{erf}\left[\dfrac{x-(x0_n+0{,}5b_n(y)+f_n(y))}{s_n}\right]\right\}$;

$M_n(x, y)$ – изображение n-го сосуда; n – количество сосудов; $A_n(x, y)$ – амплитуда n-го сосуда; $b_n(y)$ – ширина n-го сосуда; $f_n(y)$ – траектория n-го сосуда; s_n – крутизна склонов n-го сосуда; $n(x, y)$ – шумовая составляющая изображения; $d(x, y)$ – неравномерная фоновая составляющая изображения. Пример модели участка изображения БК приведен на рис. 2.

Предложенная модель была использована для аппроксимации срезов сосудов, взятых из реальных изображений бульбарной конъюнктивы, разностью интегралов вероятности. При аппроксимации для определения параметров аппроксимирующей функции использован метод наименьших квадратов. Был сформирован следующий функционал:

$$J(a,b,c)=\sum_{i=1}^{N}\left[Y_i-F(i,a,b,c)\right]^2\,,$$

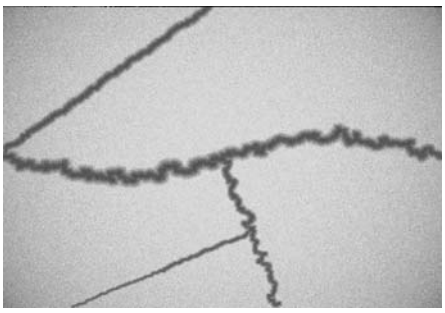


Рис. 2. Модель изображения участка бульбарной конъюнктивы

где Y_i – i-й отсчет реального среза сосуда; N – количество отсчетов в срезе; a – оценка максимального значения сосуда; b – оценка ширины сосуда; s – оценка крутизны сосуда; $F(i, a, b, s)$ – аппроксимирующая функция (разность интегралов вероятности).

За оптимальные значения параметров аппроксимирующей функции взяты такие a, b и s, для которых

$$J(a, b, s) = \min.$$

Пример аппроксимации срезов реального сосуда разностью интегралов вероятности приведен на рис. 3.

Были получены средние значения и дисперсии ошибки аппроксимации для сосудов различной ширины по 60 срезам изображений реальных сосудов. Среднее значение ошибки, как и ожидалось, оказалось близким к нулю. Дисперсия ошибки увеличивается на краях диапазона, т.е. при самых узких (< 3 элементов) и самых широких (> 9 элементов) сосудах (рис. 4).

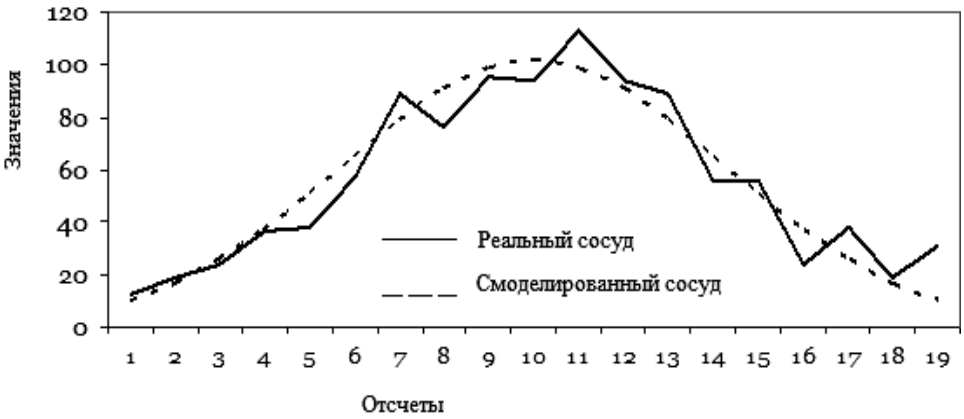
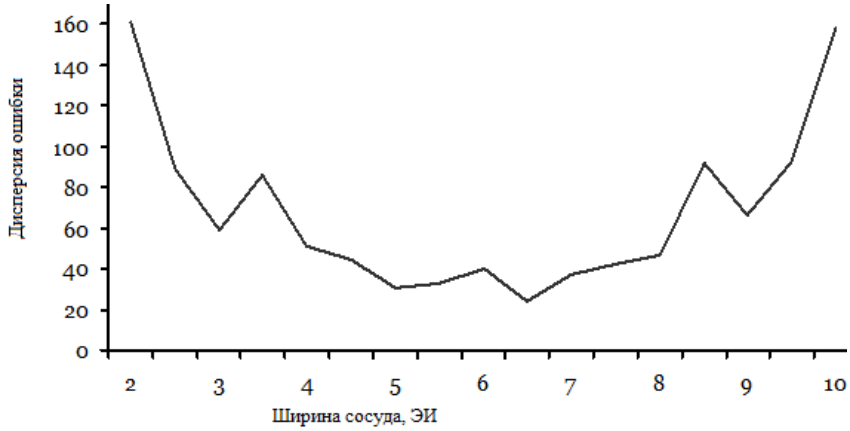


Рис. 3. Аппроксимация среза сосуда на реальном изображении разностью интегралов вероятности



На реальных изображениях сосуды такой ширины встречаются довольно редко: ширина сосудов колеблется в пределах от 3 до 8 элементов.

Рис. 4. Зависимость среднего значения и дисперсии ошибки аппроксимации от ширины сосуда

Алгоритм обработки изображения бульбарной конъюнктивы. В настоящее время разработан алгоритм обработки БК. Алгоритм включает в себя следующие этапы.

1. Выделение контурной сосудистой сети БК. На этом этапе в исходном полутоновом изображении БК подавляется неравномерная фоновая составляющая и детали, отличные от полос определённой ширины. Результатом является полутоновое изображение с выделенной сосудистой сетью.

2. Сегментация изображения. Сегментация разбивает изображение на два класса: сосудистую сеть и фон. Классификация элементов изображения производится по яркости по глобальному порогу. В ходе этого этапа полутоновое изображение преобразуется в бинарное.

3. Подавление шумов. После проведения сегментации на изображении помимо сосудистой сети присутствуют шумы в виде маленьких точек, пятен, тонких (1–2 элемента) штрихов. Эти шумы устраняются на данном этапе, причём в ходе обработки не изменяются параметры сосудов.

4. Формирование пространства признаков. В результате формирования пространства признаков образуются массивы текущих ширины, направления для каждого сосуда, определяется количество

сосудов, их длина и общая площадь сосудов на изображении. Бинарное изображение для визуального контроля разбивается на составляющие сосудистой сети, которые при выводе на экран отмечаются разными цветами.

Применение результатов данной работы в клинической медицине при оценке состояния микроциркуляции пациентов позволит снизить трудоемкость анализа изображения БК и повысить оперативность и достоверность диагностики.

Литература

1. Бунин А.Я.. Микроциркуляция глаза / А.Я. Бунин, Л.А. Кацнельсон, А.А. Яковлев. – М.: Медицина, 1984. – 175 с.

2. Тепляков А.Т. Микроциркуляция при патологии малого круга. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. – 206 с.

3. Основы клеточной логики с приложениями к обработке изображений в медицине / К. Пренстон, М.Дж.Б. Дафф, С. Левьяльди и др. // ТИИЭР. – 1979. – Т. 67, № 5. – С. 149–185.

Дементьев Александр Николаевич
Канд. техн. наук, доцент каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-33-71, 8-913-827-89-24
Эл. почта: dem@tu.tusur.ru

Бянкина Светлана Владимировна
Студентка 5-го курса каф. ТУ
Тел.: 8-953-927-31-19
Эл. почта: svetabyankina@mail.ru

Базаржапова Руслана Ринчиновна
Студентка 5-го курса каф. ТУ

Карнышова Екатерина Анатольевна
Студентка 5-го курса каф. ТУ

Романова Анастасия Андреевна
Студентка 5 курса каф. ТУ

Дементьева Галина Васильевна
Доцент каф. телевидения и управления (ТУ) ТУСУРа
Тел.: (382-2) 70-15-04
Эл. почта: dgv@tu.tusur.ru

Dementyev A.N., Bazarzhapova R.R., Byankina S.V., Karnishova E.A., Romanova A.A., Dementyeva G.V.

Definition of the microcirculatory channel parameters through TV-computing devices

Automatic processing and the analysis of images have found application at recognition of symbols, detection of objects, in medical diagnostics, the analysis of biomedical images, remote sounding, at identification of people by portraits and fingerprints. The studying of microcirculation (MC) is one of the major problems in modern theoretical and clinical medicine. Therefore, complex studying of MC with the use of modern clinical, instrumental, biophysical and morphological methods in comparison to the data of general clinical researches is important for MC. The aim of this paper is to present a new approach to diagnostics of infringements MC and to estimate the efficiency of medical and surgical interventions for a patient with a heart attack of a myocardium by means use of the automated TV-computer complex for functional diagnostics.

Keywords: microcirculatory channel, bulbar conjunctiva, television image, a mathematical model of the image, digital filtering, segmentation of images.