

Г.М.Карапетян, Л.Н.Марченко, И.И.Косик, А.А.Далидович, Т.В.Качан
УО Белорусский государственный медицинский университет

Параметризация сосудистой сети глазного дна с использованием возможностей автоматизированного рабочего места офтальмолога

Резюме. Рассматривается применение нестандартных параметров для объективного описания качественных и количественных признаков сосудистых заболеваний глазного дна и контроля за эффективностью проводимого лечения с использованием возможностей разрабатываемой в УО БГМУ компьютерной системы.

Ключевые слова: сосудистая сеть, глазное дно, автоматизированное рабочее место офтальмолога

Resume. Presents the possibility of using non-standard parameters for the objective analysis of qualitative and quantitative features of vascular pathology of the fundus and the monitoring of the effectiveness of the treatment.

Keywords: vascular network, fundus, automated workplace of ophthalmologist

Введение. Автоматизированный анализ патологических изменений, визуализируемых на глазном дне, – задача, актуальность и важность решения которой обусловлена не только научным интересом, но и практической значимостью. Последнее связано с ограниченными возможностями в осуществлении детального параметризованного анализа качества и адекватности проводимой терапии. Существуют достаточно подробные описания признаков морфологических изменений различных структур глазного дна [1], однако, ввиду многообразия и сложности их оптико-геометрических проявлений, оценить с достаточной степенью точности динамику их положительных или отрицательных трансформаций порой весьма непросто. Эта сложность одинаково характерна для анализа изображений, получаемых разными методами, – офтальмоскопическими, оптикотомографическими или с помощью флюоресцентной ангиографии [2]. Между тем, четкая классификация визуализируемых признаков заболеваний, их параметриза-

ция могли бы стать важным инструментом объективизации диагностических и прогностических заключений [3]. В связи с этим весьма актуальной является проблема систематизации большого объема информации о возможных проявлениях заболеваний сетчатки, диска зрительного нерва и хориоидеи для формирования адекватного набора основных количественных и качественных характеристик, позволяющих судить о степени патологических изменений при глазных заболеваниях.

Проведенные в УО БГМУ исследования позволили разработать и реализовать в составе автоматизированного рабочего места (АРМ) офтальмолога значительный спектр параметров, количественно описывающих эти изменения.

Цель работы. Описать методами компьютерной математики состояние сосудистой сети глазного дна пациента с пролиферативной диабетической ретинопатией до лечения и после проведения таргетной терапии против фактора роста эндотелия сосудов.

Материалы и методы. Проведено обследование 65-летнего пациента с сахарным диабетом II типа, у которого выявлена диабетическая пролиферативная ретинопатия обоих глаз, менее выраженная в ОД (рис.1, а). На рисунке видны очаги лазерной коагуляции, выполненной не в полном объеме панретинального воздействия. Результатом такого недостаточного лечения является развитие сети новообразованных сосудов вокруг и на диске зрительного нерва, а также диабетического макулярного отека (ДМО).

Пациенту в правый глаз выполнена интравитреальная инъекция 1,25 мг бевацизумаба (Avastin, La Roche) против фактора роста эндотелия сосудов (ФРЭС). Через две недели острота зрения правого глаза с 0,1 по таблице Сивцева повысилась до 0,2. На глазном дне отмечено частичное запустевание мелких новообразованных сосудов (рис.1, б), уменьшение ДМО.

Задача исследования заключалась в объективной оценке состояния сосудистой сети заднего полюса глаза, включая поверхность зрительного нерва, до и после лечения. Больному выполнены фоторегистрации глазного дна в формате tiff. Изображения импортированы в компьютерную систему «АРМ офтальмолога». С

помощью полуавтоматической сегментации и морфологической идентификации выделен «скелет» сосудистой сети заднего полюса глаза, автоматически помечены точками участки ветвления сосудов. С использованием встроенных в «АРМ офтальмолога» функций произведен расчет следующих параметров: длина сосудистой сети, ее ветвистость, компактность и извилистость.

В качестве основных критериев оценки состояния сосудистого русла заднего полюса глазного дна были приняты его общая протяжённость и ветвистость. Каждое локальное ветвление характеризуется точкой, в которой один сосуд делится на два. Выделив и определив автоматически количество точек ветвления на фотоизображении, полученном до интравитреального введения антиФРЭС препарата, а затем, сравнив с аналогичными данными, полученными на изображении после лечения, клиницист получает объективную информацию о запуске новообразованных сосудов.

Результаты и их обсуждение. В качестве примера практической работы «АРМ офтальмолога» представлен анализ эффективности интравитреальной антиФРЭС терапии бевацизумабом пациента с выраженными признаками пролиферативной диабетической ретинопатии.

Исходные изображения приведены на рисунке 1.

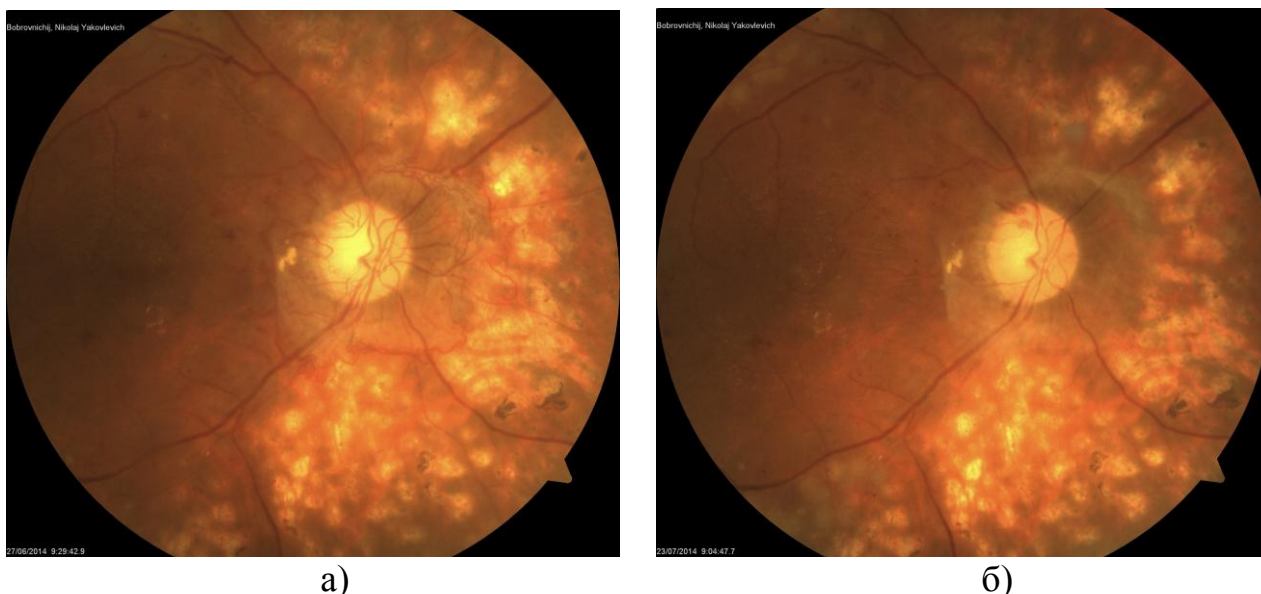


Рисунок 1 - а) состояние сосудистой сети глазного дна до лечения, б) состояние сосудистой сети глазного дна после лечения.

Процедура автоматизированного анализа подробнее демонстрируется на первом изображении (рис. 1, а)

1. Исходное изображение из цветного переводится в полутоновую форму, в которой каждый объект имеет свои оттенки серого. По серому изображению осуществляется бинарная сегментация [4]. Т.е. проводится выделение всех объектов, по уровню яркости аналогичных сосудистой сети (рисунок 2).

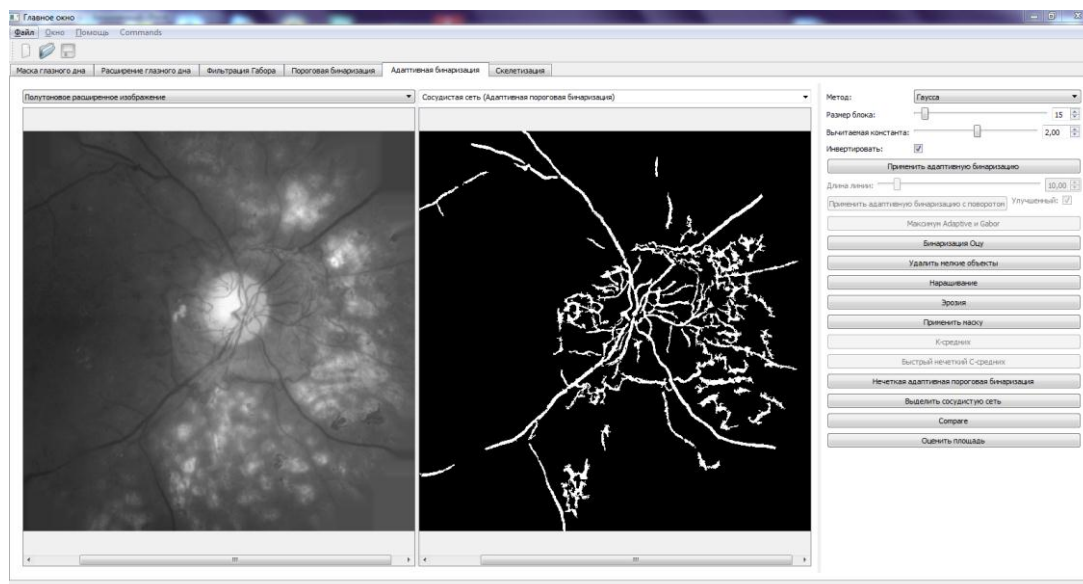


Рисунок 2 - Бинарная сегментация сосудистой сети

Следующим шагом становится морфологическая сегментация, то есть выделение объекта исследования по каким-то признакам формы [4]. Отдельно лежащие объекты, не отвечающие этим признакам, автоматически удаляются. В данном случае удаляются объекты, меньшие определенной заданной исследователем длины (правое окно на рисунке 3). Одновременно в левом окне интерфейса полутоновое изображение заменяется исходным цветным для визуальной оценки адекватности проведенного с помощью компьютерной математики выделения сосудистой сети.

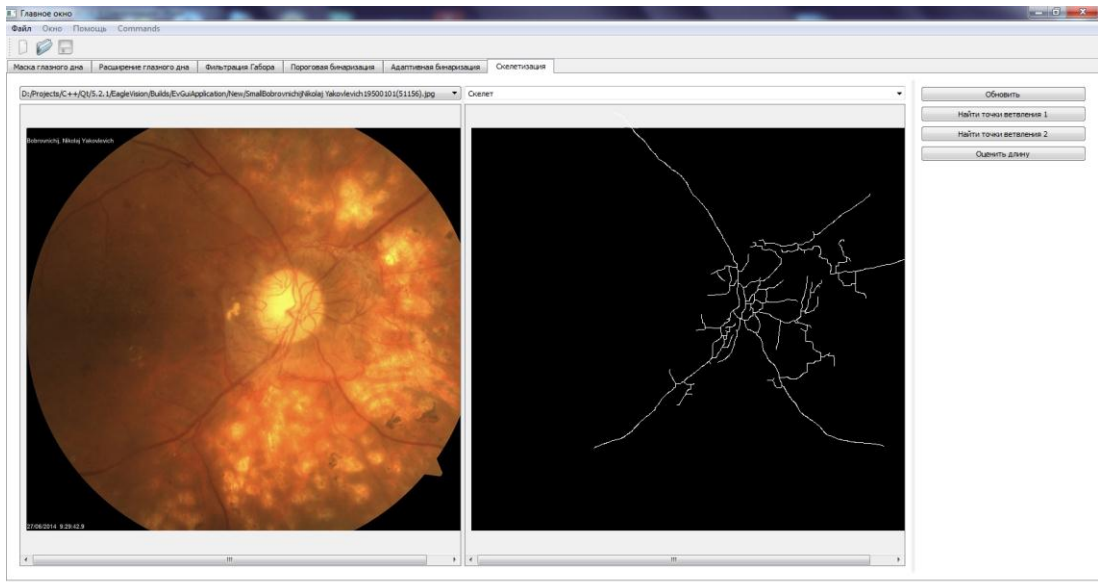


Рисунок 3 - Морфологическая сегментация сосудистой сети.

Завершается процедура анализа автоматической разметкой точек ветвления сосудов и расчетом выбранных параметров - количества точек ветвления, длины сосудистой сети. На рисунках 4 и 5 представлены результаты автоматизированной обработки, позволяющие делать точные оценки, подкрепленные численными показателями.

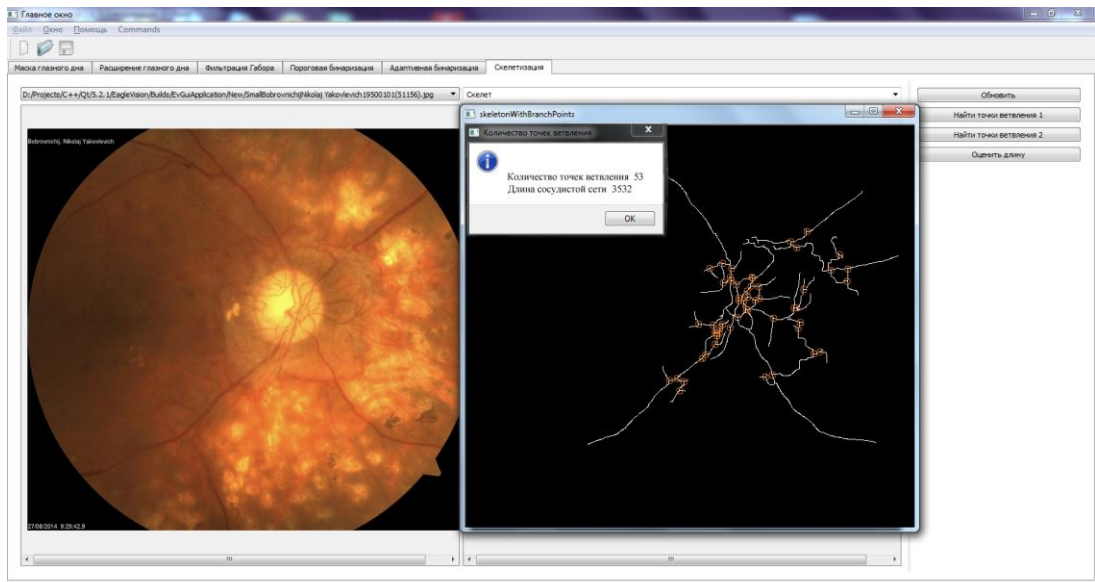


Рисунок 4 - Автоматическое выделение точек ветвления и расчет параметров на изображении, полученном до лечения. Количество точек ветвления - 53, общая длина сосудистой сети - 3532 пикселя.

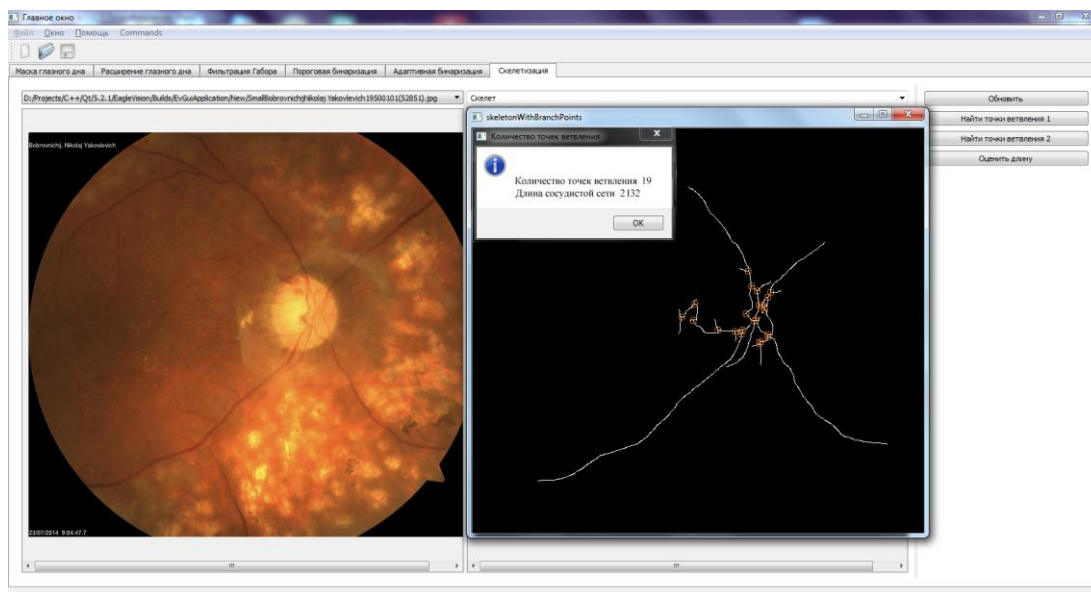


Рисунок 5 - Автоматическое выделение точек ветвления и расчёт параметров на изображении, полученном после лечения. Количество точек ветвления - 19, общая длина сосудистой сети - 2132 пикселя.

Таким образом, положительные результаты проведенной антиФРЭС терапии подтверждены объективными численными показателями. Роль автоматизированных методов возрастает в случаях, когда изменения не являются столь явными, и их визуальный анализ не позволяет сделать однозначного заключения.

Описанные выше показатели могут служить основой для вычисления других нестандартных параметров, в численном виде описывающих ту или иную особенность сосудистой сети. Для примера рассмотрим параметр, количественно характеризующий извилистость сосудистой сети. Известно, что при некоторых патологических состояниях нарастает извилистость хода ретинальных сосудов. В частности, высокое артериальное давление и большая пульсовая амплитуда становятся причиной не только бокового, но и продольного растяжения сосудистой стенки. Для расчета данного показателя в «АРМ офтальмолога» используется следующая методика:

1. Вводится параметр *Компактность сосудистой сети* I_s . Он определяется отношением общей длины сосудистой сети на участке, выделенном исследователем в качестве зоны интереса, к площади этого участка. По сути, это длина сосудов в единице площади:

$$l_s = \frac{L}{S}$$

Выделение на изображении зоны интереса в «АРМ офтальмолога» производится с помощью инструментов редактирования компьютерной графики: окружности произвольно задаваемого радиуса (используется для фиксации зоны интереса, близлежащей к диску зрительного нерва) и полигонального лассо (для оконтуривания зоны интереса произвольной формы).

2. Затем рассчитывается параметр *Ветвистость сосудистой сети* – **B** (от английского *branchy* и русского «ветвистость»). Находится он отношением суммарного количества точек разделения сосудов на ветви к общей длине сосудистой сети:

$$B = \frac{N}{L}$$

Ветвистость показывает среднее число разветвлений сосудистой сети на единицу её длины. В представленном примере ветвистость до лечения имела значение 0,015, а после интравитреальной инъекции бевацизумаба она стала равной 0,009, уменьшившись, таким образом, в 1,7 раза.

3. Заключительный шаг – определение значения параметра *Извилистость сосудов* **Si** (от английского *sinuosity*). Данный параметр показывает в нормализованном виде среднюю длину сосуда между ветвлениями, приходящуюся на единицу площади. Понятно, что чем больше длина сосуда на выбранном участке площадью **S**, тем выше извилистость. Вычисляется данный параметр путём деления компактности на ветвистость:

$$S_i = \frac{l_s}{B} = \frac{L \cdot L}{S \cdot N} = \frac{L^2}{S \cdot N}$$

При оценке степени изменения данного показателя берется отношение его значений в разные периоды наблюдения за пациентом. Параметр **S** сокращается,

поскольку в рассматриваемом нами случае его значение должно быть неизменным:

$$\frac{Si_1}{Si_2} = \frac{L_1^2 \cdot N_2}{L_2^2 \cdot N_1}$$

Применив данную формулу для рассмотренного выше примера, определяем, как изменилась извилистость сосудистой сети после проведенной терапии:

$$\frac{Si_1}{Si_2} = \frac{L_1^2 \cdot N_2}{L_2^2 \cdot N_1} = \frac{3532^2 \cdot 19}{2132^2 \cdot 53} = 0,98$$

Если относительно ветвистости сосудистой сети полученный результат понятен и логичен, так как значения соответствующих параметров подтвердили успешность проведенного лечения, то изменения извилистости требуют более подробного рассмотрения. На первый взгляд, результат кажется неожиданным, ведь она практически не изменилась, хотя, если сравнить рисунки 4 и 5, зрительно представляется, что сосудистая сеть до инъекции гораздо извилистее, чем после вмешательства. На самом деле, в первом случае, до лечения, общая длина сосудов и «витиеватость» (сложность формы) сети определяется не столько их извилистостью, сколько большим количеством достаточно коротких новообразованных сосудов. После их запустевания сократилось количество точек ветвления и уменьшилась суммарная длина сосудистой сети, однако извилистость, входящих в неё сосудов, не изменилась, так как осталась прежней средняя длина сосуда между ветвлениями, приходящаяся на единицу площади фотокадра. Это подтверждает мнение, что визуальное восприятие может быть ошибочным и для повышения достоверности заключения необходимы объективные параметры.

Заключение: Таким образом, применение нестандартных параметров для объективного описания сосудистых изменений при пролиферативной диабетической ретинопатии с использованием возможностей разрабатываемой в УО БГМУ

компьютерной системы позволяет контролировать динамику патологического процесса и эффективность проводимого лечения.

Литература

1. Родин А.С. / Биомикроретинотометрия // Памятники исторической мысли. – М. – 2006. – 96 с.
2. Bernardes R., Serranho P., C. Lobo. / Digital Ocular Fundus Imaging: A Review. // Ophthalmologica. – 2011. – Vol. 226. – P. 161–181.
3. Liew G., Mitchell P., Rochtchina E., Wong T. / Fractal analysis of retinal microvasculature and coronary heart disease mortality // European Heart Journal. –2011. – Vol. 32. – P. 422–429.
4. Недзьведзь А.М., Абламейко С.В. / Анализ изображений для решения задач медицинской диагностики // Минск.– ОИПИ НАН РБ. – 2012.– 240 с.