

УДК 681.3 : 617.7

Система обработки и анализа изображений глазного дна / С. Л. Бранчевский, А. Ю. Миллер, К. В. Овчинников, М. Г. Пакман // Научное приборостроение. — 1993. — Т. 3. — N 1: Дифракционная плоская оптика и обработка изображений. — С. 102—110.

Описана система цифровой обработки изображений на базе ПЭВМ, предназначенная для ввода, предобработки и анализа медицинских диагностических изображений, получаемых при флюоресцентной ангиографии глазного дна. Предложенная система позволяет расширить возможности диагностики заболеваний глаз и может быть взята за основу при создании систем обработки изображений медицинского назначения. Библ. 4 назв. Ил. 5.

---

С. Л. Бранчевский, А. Ю. Миллер, К. В. Овчинников, М. Г. Пакман  
(Самарский филиал ЦКБ уникального приборостроения РАН)

## СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ГЛАЗНОГО ДНА

*A system has been developed for digital data processing based on a personal computer and aimed at entering, preliminary processing and analysis of medical images produced by fluorescent angiography of retina. The proposed system extend the possibilities for making diagnosis of the eye disease and can form the basis for new medicine-oriented system for data processing.*

### Введение

Данная работа посвящена разработке и созданию опытной компьютерной системы ввода и обработки изображений глазного дна при флюоресцентной ангиографии. С помощью системы могут быть выполнены ввод, предобработка и анализ диагностических изображений, получаемых при исследовании глазного дна методом флюоресцентной ангиографии.

Классификация тяжести диабетической ретинопатии является важнейшей частью системы диспансеризации больных сахарным диабетом. Поэтому для динамического наблюдения за состоянием сетчатки необходима точная система градации ретинопатии, которая бы обеспечивала полной информацией об эволюции изменений на глазном дне.

В настоящее время для этих целей используются различные классификационные схемы, однако они весьма ограничены в возможностях давать количественную информацию, особенно при наличии микросимптомов в ранней стадии заболевания. Флюоресцентная ангиография сетчатки дает наиболее полную информацию о диабетической ретинопатии, однако количественные методы оценки ангиограмм в нашей стране практически не разработаны.

При исследовании глазного дна по методу флюоресцентной ангиографии полезная для диагностики информация может быть получена путем проведения измерений распределений яркости вдоль изображения кровеносных сосудов и анализа изменения этих величин в зависимости от времени [1—4]. Диагностическую ценность имеют также сведения, получаемые путем измерений геометрических и яркостных параметров областей изображения глазного дна (например, макулярной области). При наблюдении изображений глазного дна или визуальном изучении фотографий невозможно проводить какие-либо количественные измерения. Применение системы обработки изображений на основе персонального компьютера позволит ввести объективные количественные критерии состояния глазного дна и повысить возможности дифференциальной диагностики заболеваний.

## Принцип действия и общее описание системы

Рассматриваемая система предназначена для ввода, предобработки и анализа диагностических изображений, получаемых при исследовании глазного дна. Имеющие диагностическую ценность изображения получают при исследовании по методике флюоресцентной ангиографии [1], заключающейся в том, что пациенту внутривенно вводится некоторое количество раствора флюоресцеина натрия, а затем выполняется фотосъемка последовательности ангиограмм глазного дна. Под действием внешнего освещения происходит свечение флюоресцина, концентрация которого меняется в кровеносном русле глазного дна в зависимости от времени, и, соответственно, изменяется интенсивность свечения.

Принцип действия системы основан на преобразовании в цифровую форму изображений глазного дна пациента, вводе полученного массива данных в персональную ЭВМ и последующей обработке и анализе его при помощи специально разработанного пакета прикладных программ.

Система состоит из следующих основных частей (рис. 1): устройства наблюдения глазного дна; телевизионной камеры; устройства ввода изображений в ПЭВМ; персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением.

В качестве управляющего компьютера может быть использован любой IBM/PC-совместимый компьютер.

Для наблюдения и освещения глазного дна существуют специальные оптические устройства, например, аппараты типа "ФУНДУС-КАМЕРА", "РЕТИНОФОТ-211", используемые в офтальмологии. Эти устройства могут быть снабжены фотоприставками для документирования получаемых ангиограмм. Вместо окулярной насадки, используемой для визуального изучения глазного дна, на специальном переходнике установлена телевизионная камера марки КТП-67.

Устройство для наблюдения глазного дна обеспечивает формирование изображения глазного дна в нужном масштабе и с требуемой освещенностью. Это изображение преобразуется телевизионной камерой в стандартный видеосигнал, который приводится к цифровой форме и вводится в ПЭВМ устройством ввода телевизионного сигнала.

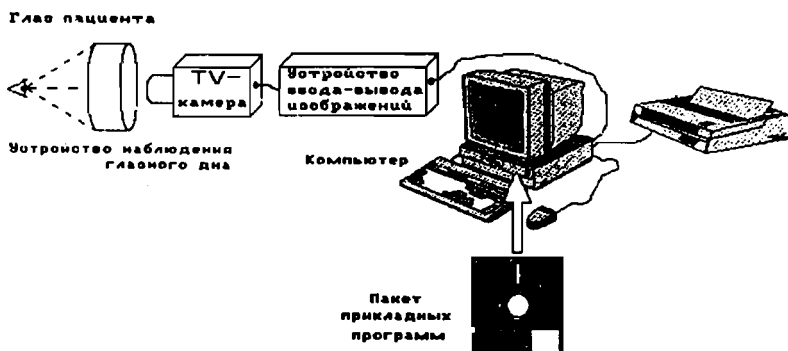


Рис. 1. Упрощенная структурная схема системы.  
Объяснение в тексте.

В разработанной системе исключена промежуточная регистрация ангиограмм на фотоносителях, так как аппаратура и программное обеспечение позволяют выполнять запись изображений непосредственно на диск ПЭВМ в темпе 1 кадр/с, достаточном для проведения исследования.

Использованное в системе устройство ввода/вывода изображений (УВВИ) предназначено для аппаратной поддержки ввода, обработки и визуализации изображений в системах обработки изображений, построенных на основе ПЭВМ класса IBM PC. Оно реализует ввод и визуализацию изображений, представленных стандартным телевизионным сигналом, а также осуществляет простейшие операции обработки данных. Ввод данных осуществляется в матрицу  $256 \times 256$  точек со значениями яркости в точке 0...255 (байт на точку) за время развертки одного телевизионного полукадра (20 мс). Имеется возможность хранения и отображения дополнительного бинарного изображения ("графического слоя").

После ввода в ПЭВМ изображения глазного дна запоминаются на жестком диске и могут быть подвергнуты дальнейшей обработке и анализу. Программное обеспечение системы предназначено для предобработки (т. е. улучшения визуального качества и выполнения подготовительных операций над изображениями) и анализа флюоресцентных ангиограмм. Пример введенного в ПЭВМ изображения глазного дна приведен на рис. 2.

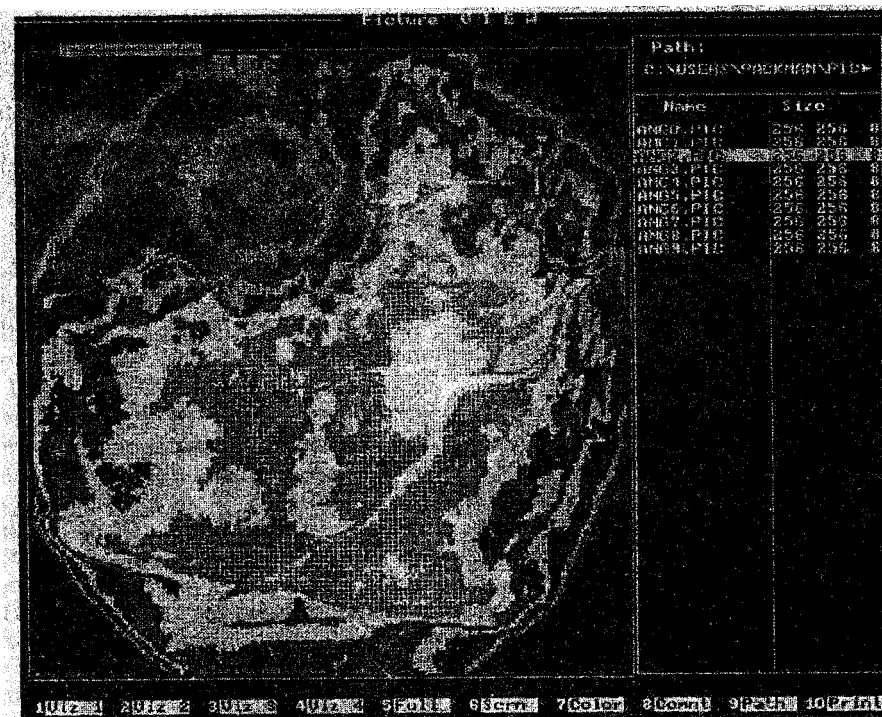


Рис. 2. Пример изображения глазного дна, введенного в ПЭВМ.

## Программное обеспечение системы

В ходе предварительных исследований был проведен подбор методов обработки изображений глазного дна для диагностики заболеваний кровеносного русла. Установлено, что кроме традиционных методов, используемых в предобработке медицинских диагностических изображений, необходимо использовать специально разработанные методы интерактивной обработки групп изображений, а также процедуры редактирования и измерений на изображениях. Специфической особенностью в обработке изображений глазного дна, получаемых при флюоресцентной ангиографии глазного дна, является необходимость измерений на изображении размеров и яркостей с пересчетом к другим параметрам. Методы пространственной фильтрации могут иметь при обработке изображений глазного дна лишь ограниченное применение, так как при использовании пространственных фильтров искажаются величины яркости мелких деталей изображения, что снижает диагностическую ценность изображения.

Предложен алгоритм обработки последовательностей изображений глазного дна, полученных с интервалом во времени, и позволяющий определить наличие застойных явлений в кровеносном русле глазного дна и оценить скорость кровотока в крупных сосудах. Он основан на совмещении и поэлементной обработке последовательности изображений, полученных непосредственно после введения флюоресцеина. Построение развертки во времени яркости изображения (соответствующей концентрации флюоресцеина) для различных точек изображения кровеносного сосуда дает информацию о характере кровотока в нем и количественные данные для определения патологии.

Программное обеспечение компьютерной системы ввода и обработки изображений глазного дна при флюоресцентной ангиографии образует пакет прикладных программ, реализующих следующие основные функции:

- интерфейс пользователя — программа организации диалога, позволяющая неподготовленному пользователю выбрать изображения для обработки, установить необходимые параметры для работы прикладных программ и запустить выполнение любой из программ обработки изображений;

- программы ввода и отображения изображений — для организации ввода изображения в ЭВМ через УВВИ и визуализации изображений;

- расчет статистических параметров изображения — расчет гистограммы яркостей и ее отображение;

- поэлементные преобразования над одним изображением — перекодировка яркости элементов изображения;

- пространственные фильтры — обработка изображения линейными фильтрами с размером окна обработки от  $3 \times 3$  до  $15 \times 15$  отсчетов;

- совмещение изображений — программы, обеспечивающие привязку изображения по заданным координатам "одноименных" точек с одновременным поворотом и изменением масштаба изображения;

- редактор изображений — программа, позволяющая выполнять измерения на изображении, как геометрических размеров, так и яркостей, с одновременным расчетом параметров изображения (гистограмм яркостей, периметров и площадей области), а также рисование на изображениях;

- программа построения профилей — построение графиков (разрезов) изображения вдоль ломаных или кривых линий, размеченных на изображении;

- печать изображений — создание копии изображения на бумаге при помощи принтера с целью документирования.

Ниже приводится краткое описание основных программ пакета.

Программа РСР является диалоговой оболочкой пакета прикладных программ обработки изображений. Обработка выполняется с помощью внешних исполняемых модулей, которые могут быть использованы и самостоятельно. Оболочка позволяет выбрать из списка имеющихся модулей необходимый (при этом в нижней строке выводится краткая справка о его назначении), из списка изображений выбрать нужные для обработки, подставить их имена в командную строку, отредактировать ее для задания дополнительных ключей, получив при необходимости более подробную справку по использованию выбранного модуля, и исполнить подготовленную таким образом команду. В случае возникновения ошибки можно получить более подробное ее толкование. Программа ведет протокол уже исполненных команд, которые затем можно вызвать для редактирования и повторного исполнения. Оболочкой предоставляются некоторые возможности непосредственной работы с файлами изображений: визуализация (при помощи заданного модуля), удаление, переименование, просмотр комментария, формирование списка изображений по заданной маске (с использованием мета-символов ? и \* ). В любой момент доступна контекстная подсказка по любому выбранному действию. Имеется возможность сохранения текущей конфигурации оболочки: расположение окон, история выполненных команд и видеорежим (25 или 43/50 строк для EGA/VGA ). Характерный вид экрана при работе с программой РСР приведен на рис. 3\*.

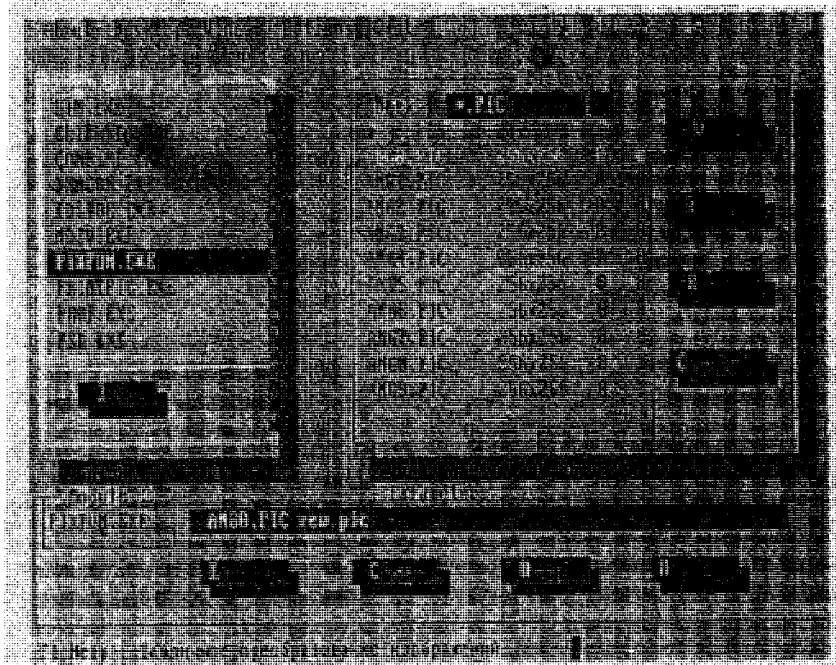


Рис. 3. Вид экрана при работе программы РСР.

\* Программа РСР разработана М. А. Широбсковым.

Для работы с УВВИ специально разработан ряд программ поддержки ввода—вывода. Кроме программ настройки режимов, отображения и ввода статических изображений, разработана программа динамического ввода, позволяющая производить регистрацию изображений с записью их на жесткий диск в темпе 1 кадр/с. Последовательность из десяти кадров, зафиксированная данной программой, охватывает основные стадии процесса распространения флюоресцеина в кровеносном русле глазного дна.

Программы предварительной обработки изображений предназначены для выполнения над введенными изображениями ряда операций, имеющих целью приведение их к виду, удобному для дальнейшего анализа. К программам предварительной обработки в рассматриваемом пакете относятся программа поэлементных преобразований PIXFUN, программа линейной фильтрации FILT, программа совмещения изображений COMBINE.

Разработанная для рассматриваемой системы программа COMBINE предназначена для совмещения 2-х изображений путем аффинного преобразования координат, задаваемого соответствием 3-х точек на исходном и эталонном изображениях. Три точки на исходном изображении и соответствующие им три точки на эталонном изображении отмечаются "мышью", затем преобразованное изображение записывается на диск.

Программы измерений и анализа изображений EDITOR и PROF позволяют выполнять различные измерения на изображениях, в том числе производить совместные измерения на последовательностях изображений, строить разрезы (профили яркости) вдоль произвольных линий, выполнять рисование на изображениях и т. п.

Программа EDITOR предназначена для редактирования изображений и проведения измерений на изображениях. Функции редактирования: рисование

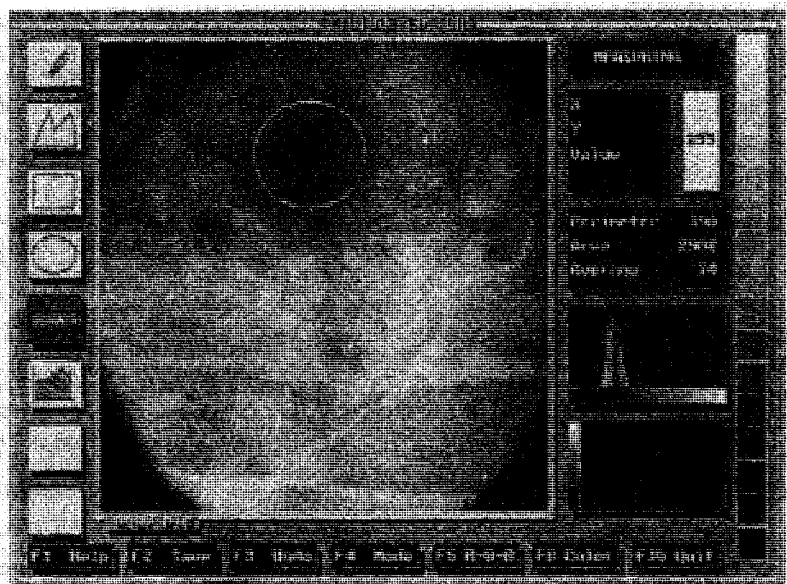


Рис. 4. Пример работы программы EDITOR.

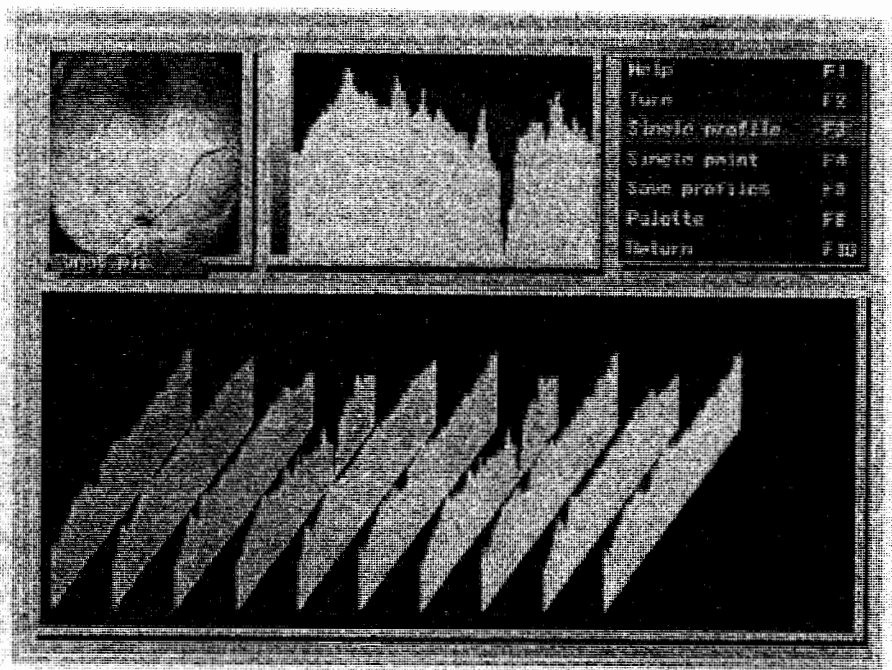


Рис. 5. Пример работы программы PROF.

прямых, рисование кривых, рисование многоугольников, закрашивание, рисование графических примитивов, запись отредактированного изображения на диск. Функции измерения: измерение координат и яркости в точке, измерение периметра области, измерение площади области, измерение среднего в области, построение гистограммы по области, построение профилей изображения вдоль линий произвольного направления. На рис. 4 приведен характерный вид экрана компьютера при использовании программы для измерений параметров изображения в заданной области.

Программа PROF предназначена для построения профилей вдоль линий для последовательности нескольких изображений. Развертка при построении профилей может быть выбрана как вдоль линии, задаваемой на изображении при помощи манипулятора "мышь", так и вдоль оси времени (по возрастанию номеров изображений). Программа работает в интерактивном режиме. Пример использования программы приведен на рис. 5.

Сервисные программы обеспечивают дополнительные удобства в работе с изображениями. Сюда относятся: программа визуализации изображений на экране монитора компьютера VGM и программа печати изображения на бумаге PRINTPIC.

### Библиотека поддержки графики для УВВИ

При работе с программами обработки изображений глазного дна весьма полезным было бы использование устройства ввода/вывода изображений



(УВВИ) для визуализации изображений, так как оно дает лучшее качество визуализации (256 × 256 × 8 бит) по сравнению с мониторами персонального компьютера EGA (640 × 350 × 4) и VGA (640 × 480 × 4 или 320 × 200 × 8). Недостатком визуализации изображений с помощью УВВИ можно считать невозможность использования псевдоцветов, однако для системы компьютерной ангиографии глазного дна разрешение монитора и качество изображения являются более существенными факторами, поскольку позволяют специалисту извлекать из изображения большее количество информации. Для удобства написания программ, использующих УВВИ, и в расчете на дальнейшее развитие системы обработки изображений была разработана графическая библиотека IMOD. Библиотека реализует функциональные аналоги многих графических функций языка Си. Она содержит функции, позволяющие визуализировать изображение на мониторе УВВИ и вычерчивать ряд графических примитивов, а также функции, работающие с графическим слоем и таблицами преобразований. Тексты программ для библиотеки IMOD написаны на языке Си. Библиотека может быть использована в дальнейшем как для разработки программ обработки изображений глазного дна, так и для разработки других систем обработки изображений.

Библиотека содержит функции 2-х типов: позволяющие визуализировать изображение на мониторе УВВИ и вычерчивать ряд графических примитивов, а также функции, работающие с графическим слоем и таблицами преобразований. Перечень реализованных функций и их назначение приведены ниже.

ViewFromFile	Визуализирует изображение
ViewPic	Визуализирует изображение на полный экран
Rectangle	Вычерчивает прямоугольник
Bar	Вычерчивает полосу
Ellipse	Вычерчивает эллипс
Fillellipse	Вычерчивает заполненный эллипс
Fillpoly	Вычерчивает и заполняет многоугольник
Line	Вычерчивает линию между двумя заданными точками
Lineto	Вычерчивает прямую от текущей позиции до заданной
Putpixel	Вычерчивает заданную точку
Getpixel	Возвращает яркость заданной точки
Moveto	Устанавливает текущую позицию в заданную точку
SetColor	Устанавливает текущий цвет вычерчивания
Setpattern	Устанавливает текущий цвет заполнения
InitMod	Инициализирует УВВИ
ClearGraphLayer	Очищает графический слой
GraphLayerOn	Включает графическую память
GraphLayerOff	Выключает графическую память

Программы построения профилей, редактирования и совмещения изображений были разработаны в двух вариантах: с использованием для визуализации УВВИ или дисплея компьютера. По набору функций варианты программ EDITOR, COMBINER и PROF практически эквивалентны.

Таким образом, первый опыт нашей работы с компьютерной системой мониторинга состояния глазного дна показал ее высокую эффективность в определении тяжести поражения сетчатки. Наибольший интерес, по нашему мнению, представляют методы обработки, позволяющие выделять слабоструктурированные участки изображений и разделять зоны с различным уровнем яркости изображения. Эти методы позволяют точно локализовать неперфузируемые зоны и зоны отека и проводить их прицельную лазер-коагуляцию. Для ранней диагностики такого опасного осложнения диабетической ретинопатии, как макулярный отек, наиболее эффективными являются количественные методы оценки распределения яркости изображения (построение профилей макулы). Разработанное программное обеспечение позволяет сократить затраты времени при исследовании по методу флюоресцентной ангиографии и использовать количественные критерии в дифференциальной диагностике заболеваний глазного дна.

Описанная система нуждается в дальнейшем техническом и программном совершенствовании, однако уже сейчас она может с успехом применяться в клинической практике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бранчевская С. Я., Овчинников К. В., Бранчевский С. Л. // Матер. XXII итоговой научной конф. проф.-препод. состава военно-медицинского факультета при Куйбышевском мед. институте им. Д. И. Ульянова. Куйбышев: Воен.-мед. факультет при Куйбышевском мед. ин-те. 1989. С. 72—73.

2. Бранчевский С. Л., Овчинников К. В., Миллер А. Ю. // Офтальмологический журнал. 1990. № 9. С. 470—471.

3. Бранчевский С. Л., Овчинников К. В. // Новое, прогрессивное — в практику здравоохранения: Тезисы XXIV научно-практич. конф. врачей Ульяновской обл. Ульяновск, 1989. С. 135—137.

4. Бранчевский С. Л. Компьютерный мониторинг состояния глазного дна у больных сахарным диабетом: Автореф. канд. дис. Самара. 1991.

*Рукопись поступила 25.01.93*