

## Средства компьютерной обработки показателей состояния пациента

Бабков В.С., Семисалов С.Я.

Донецкий национальный технический университет,  
Донецкий национальный медицинский университет  
victor.babkov@gmail.com

### Abstract

*Babkov V.S., Semisalov S.Y. "Tools for computer processing measures of patient state" Principles of organization of the computer system are considered for complex research patient state after a craniocerebral injury. Original methods and algorithms of treatment of research results are offered.*

*Key words: craniocerebral injury, image processing, temperature, mobile device, statistic, patient state.*

### Введение

Черепно-мозговая травма (ЧМТ) в медицинской практике – источник многочисленных последствий для пациента, которые достаточно сложно поддаются диагностированию на ранней стадии и, в особенности, объективизации, т.к. в общем случае отсутствуют общепринятые нормы и методы расчета показателей, особенно с использованием компьютерных средств диагностики.

В условиях Донецкого областного клинического территориального объединения разработан комплекс средств для общей оценки состояния пациента после ЧМТ на основе множественных критериев.

В качестве оцениваемых параметров в результате анализа были выбраны следующие показатели:

- микроциркуляция (состояние системы кровообращения на уровне капилляров, венул и артериол);
- температурное состояние основания черепа (в частности, позвонков шейного отдела);
- координация движений конечностей (так называемые координатные пробы).

Наиболее распространенными методами исследования состояния микроциркуляции на практике являются биомикроскопия, радионуклидные методы, доплерометрия [1]. Ряд преимуществ бульбарной конъюнктивы как объекта исследования (отсутствие существенных особенностей анатомического характера; беспорядочное расположение сосудов, не имеющее органной специфичности; хорошая контрастируемость на белом фоне склеры; наличие естественной ирригационной системы, позволяющей сводить к минимуму возникающий при микроскопии тепловой эффект на сосуды) делают ее наиболее

перспективной для использования в клинической практике.

С развитием цифровой и аналоговой техники в настоящее время появились широкие возможности визуализации и получения качественных изображений микроциркуляторного русла бульбарной конъюнктивы в электронном и графическом виде. Использование компьютерных технологий фиксации и обработки изображений открывает перспективы количественной оценки статических и динамических характеристик микроциркуляции. Однако среди методов оценки состояния микроциркуляторного русла конъюнктивы в настоящее время наиболее распространенной остается балльная система, основанная на отдельном рассмотрении степени сосудистых, внутри- и внесосудистых изменений с соответствующим присвоением баллов, по которым рассчитываются различные индексы [2].

В свою очередь, создание термограмм (карт распределения температуры) на основе тепловых изображений находит в медицине множество применений. Это связано с тем, что в процессе физиологической деятельности различные органы излучают тепло с различной интенсивностью в нормальном состоянии и при наличии патологий. Фиксация тепловых отклонений может быть использована для диагностирования тех или иных заболеваний. В частности, при исследовании повреждений и заболеваний позвоночника (например, после ЧМТ) важным показателем является температурный режим позвонков. В литературе доказано, что такие факторы как смещение позвоночных дисков, ущемления, воспаления вызывают изменение локальной температурной картины [3].

Также важную теоретическую и практическую проблему представляет количественное описание системы,

обеспечивающей координированные движения конечностей и тела. Известно, что координация движений осуществляется за счет сложного взаимодействия центральной нервной системы, сенсорных систем организма, суставно-связочного аппарата позвоночника и др. Изучение механизмов взаимодействия этих систем позволяет не только описать их количественно, но и использовать полученные результаты в диагностике ряда заболеваний [4]. Для исследования таких показателей, в частности поддержания вертикального положения, соответствующая аппаратура (стабиллометры) широко используются на практике [5], а вот для оценки результатов координатных проб автоматизированных средств получения и обработки данных практически не существует.

Таким образом, разработка средств для оценки ранее перечисленных показателей является актуальной задачей, которая требует для своего решения разработки целого ряда алгоритмов и методов в области анализа изображений, обработки сигналов и т.п.

В данной работе описываются методы решения возникших в процессе разработки комплекса технических и научных задач.

Структурно комплекс исследования состоит из следующих подсистем:

- оценки состояния микроциркуляции бульбарной конъюнктивы;
- ввода и обработки термографических данных;
- анализа координации конечностей (в составе мобильного и стационарного модулей).

### **Подсистема анализа микроциркуляции**

Для исследования бульбарной конъюнктивы и получения видео- и фотоизображений, пригодных для количественной оценки процесса микроциркуляции разработана установка, структура которой показана на рис. 1.



Рисунок 1. – Структура установки для исследования микроциркуляции

Щелевая лампа выполняет функции источника подсветки, который освещает поверхность глазного яблока и позволяет в отраженном свете получить контрастное изображение склеры. Оптическая система обеспечивает увеличение изображения. Цифровой фотоаппарат или камера

обеспечивают фиксацию изображения склеры в виде видеозаписи или одиночного фрагмента. Фото или видеоданные сохраняются на носитель или могут быть непосредственно считаны из памяти устройства в компьютер, на котором будет выполняться программа обработки.

Выходными данными установки и входными для подсистемы являются видеоролики или одиночные изображения распространенных графических форматов. Пример такого изображения показан на рис. 2.

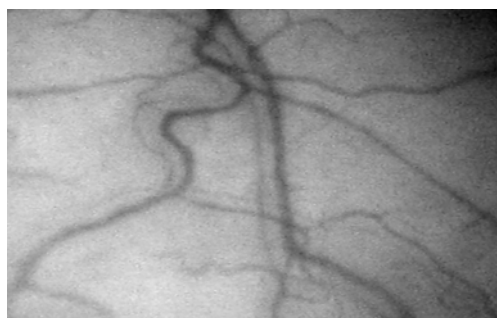


Рисунок 2. – Образец результата съемки поверхности склеры

При проектировании подсистемы была поставлена задача создать двухмодульную структуру (модуль А, модуль В), позволяющую реализовать многопользовательскую работу с системой средствами телемедицины (см. рис. 3) [6].

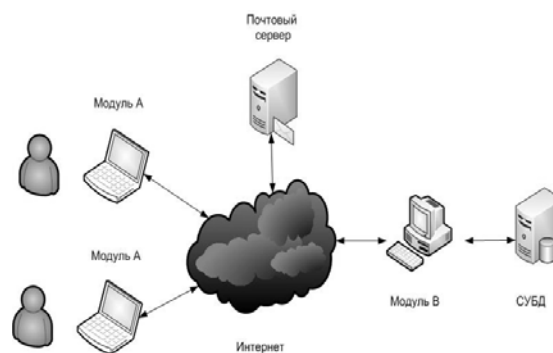


Рисунок 3. – Структура связей между модулями подсистемы

Множество модулей типа «А» устанавливаются в местах проведения исследований. Результаты исследований передаются через публичную сеть Интернет на центральный узел — модуль В. Как средство коммуникации предлагается использовать службу электронной почты и почтовый сервер как хранилище данных. Модуль В имеет связь с СУБД.

Функции модуля А:

- ввод данных в виде видеоролика или одиночного изображения;
  - обеспечение просмотра видео в покадровом режиме с выбором кадра;
  - отображение изображения с наложением мерной сетки и выбор произвольного фрагмента для анализа;
  - ввод сопутствующей информации (метаданных), описывающей объект исследования;
  - экспорт изображения и метаданных в формат, удобный для передачи на удаленную систему;
  - перенос данных на удаленную систему в ручном режиме и посредством средств коммуникации;
  - получение данных от удаленной системы в ручном режиме и посредством средств коммуникации;
  - отображение результатов исследования в табличной форме;
  - печать результатов исследования.
- Функции модуля В:
- ввод данных от модуля А в ручном режиме и посредством средств коммуникации;
  - автоматический анализ изображения и расчет характеризующих индексов;
  - формирование отчета;
  - сохранение отчета в базе данных;
  - экспорт отчета в формат, удобный для передачи на модуль А;
  - перенос данных на модуль А в ручном режиме и посредством средств коммуникации;
  - печать отчета;
  - манипуляции с базой данных.

На этапе обработки изображения и расчета характеризующих индексов, исходя из характера рассчитываемых коэффициентов [1] и характеристик изображения (зашумленность, неравномерная освещенность и т.п.), предложено использование следующих методов обработки [7, 8] (см. табл. 1). Этап расчет коэффициентов заключается в трассировке графа кровеносной сети и расчете интегральных характеристик венул, артериол и капилляров на основе характеристик ребер графа.

Например:

- коэффициент неравномерности калибра сосудов — оценка равномерности диаметра вдоль соответствующего участка;
- коэффициент извитости сосудов - оценка количества изгибов соответствующего участка кровеносной сети на единицу длины;
- коэффициент капилляризации — оценка отсутствия капилляров или занятия ими всей площади;
- коэффициент площади различных структур — оценка отношения количества интересующих объектов к занимаемой площади;

- коэффициент неравномерности кровотока — оценка равномерности оттенка вдоль соответствующего участка кровеносной сети.

Таблица 1. – Методы обработки данных в системе

Этап обработки	Методы обработки
Устранение шума	Фильтрация медианным фильтром
Выравнивание яркости	Метод балансировки изображений [8]
Формирование раstra кровеносной сети	Бинаризация изображения
Топологический анализ	Построение графа кровеносной сети (скелетизация)
Классификация	Разделение по физическим характеристикам участков
Расчет коэффициентов	Оценка топологических характеристик графа кровеносной сети

Для расчета всех коэффициентов применяется весовой подход, при котором минимальное значение коэффициента — 0, а максимальное — 1.

На рис. 4 показан образец результатов исследования (таблица коэффициентов и обработанное изображение).

#### **Подсистема анализа термограмм позвонков**

Структура подсистемы анализа температурной карты предложена в [9].

Матрица тепловых датчиков обеспечивает формирование значений напряжений, пропорциональных измеряемой температуре в 36 точках. Блок АЦП обеспечивает преобразование аналогового значения в цифровой код для ввода в микроконтроллер.

Микроконтроллер системы обеспечивает считывание значений цифрового кода из АЦП и формирование пакетов данных для передачи на ПК. Для передачи в контроллер управляющих команд (измерение, сброс, калибровка) и получения данных используется контроллер последовательного интерфейса (COM или USB).

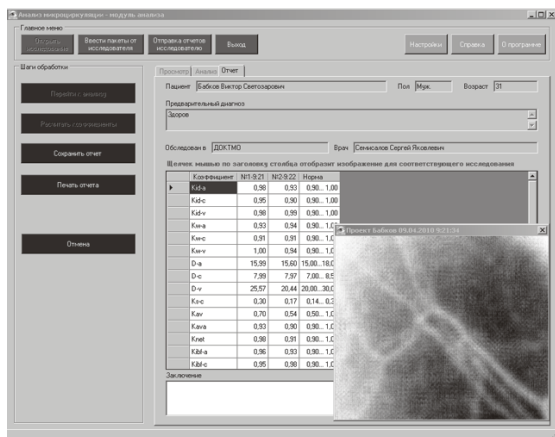


Рисунок 4. – Отчет о результатах исследования микроциркуляции

В задачи подсистемы входит:

- обеспечение ввода данных и вывода команд через последовательный интерфейс;
- обеспечение интерфейса пользователя для задания управляющих команд устройства;
- непрерывное и разовое считывание данных из устройства;
- накопление результатов измерения (статистическая обработка);
- визуализация тепловой карты в режиме реального времени;
- ввод вспомогательных описательных данных (формирование карты исследования для каждого пациента);
- вывод отчетов на печать;
- занесение результатов исследования в базу данных;
- манипуляция с данными в БД.

Для представления результатов предлагается использовать:

- визуальное представление (карта температур);
- сохранение данных в файле в виде графического изображения и сопутствующих данных;
- занесение данных в БД.

Пример визуализации карты температур показан на рис. 5.

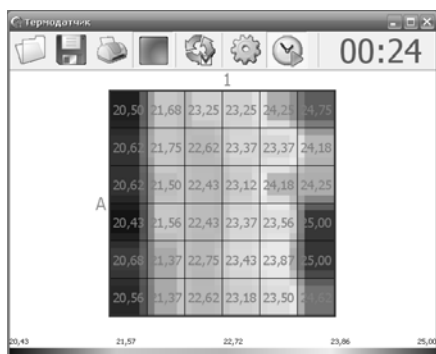


Рисунок 5. – Визуализация карты температур

## Подсистема анализа координации

В разрабатываемой системе источником информации о пространственном перемещении конечностей является пара датчиков-акселерометров (LIS3L02AQ – линейный акселерометр с тремя осями измерения), представленных в виде автономных модулей. Значения ускорения с датчиков после преобразования в цифровой код передаются на базовую станцию (персональный компьютер) с использованием беспроводного интерфейса передачи данных (IEEE 802.14), что обеспечивает мобильность и удобство использования системы.

Программное обеспечение, запущенное на базовом компьютере обеспечивает:

- непрерывное считывание данных с автономных датчиков;
- визуализацию пространственного перемещения конечностей для левого, правого каналов и совместно;
- сохранение информации об исследовании в виде файлов проекта и в базе данных для обеспечения возможности дальнейшего анализа и сопоставления результатов для разных пациентов и для одного и того же пациента после воздействия различных нагрузок.

Входные данные в системе подвергаются математической обработке для преобразования значений векторов ускорения по трем осям координат в непосредственно координаты устройства в пространстве, что позволяет фиксировать траекторию перемещения автономного устройства и, соответственно, конечности. Сравнительный анализ траекторий перемещения для нормальных и патологических случаев позволяет оценить коэффициент горизонтального и вертикального отклонения от «нормальной» траектории, коэффициент неравномерности перемещения, степень снижения относительно базовой точки в процессе исследования и другие характеристики. Координаты точек нахождения мобильного устройства в пространстве определяются в момент времени с помощью математического аппарата для описания движения тела по криволинейной траектории. Отсчет положения ведется относительно базовой точки (исходного положения) для однозначности определения положения в пространстве.

Для сопоставления результатов исследований используются следующие параметры:

- коэффициент горизонтального и вертикального отклонения - рассчитываются как отношение среднего отклонения при исследовании к максимальному значению. Под отклонением в данном случае понимается

нормальный вектор, направленный из соответствующей точки эталонной траектории в точку положения устройства в момент времени  $t$ ;

- неравномерность перемещения - оценивается как среднеквадратичное отклонение для выборки отклонений от нормы в течение времени перемещения устройства в пространстве;

- степень снижения - определяется как отношение максимального вертикального перемещения относительно базовой точки к начальной высоте устройства над уровнем пола. Следует отметить, что две первые характеристики определяют такой вид нарушения, как дрожание конечностей (нарушение пространственной координации), а третий параметр позволяет оценить степень ослабления конечностей («парез»).

### **Заключение**

Результатом данной работы является разработанный комплекс аппаратных и программных средств для анализа таких показателей, как микроциркуляция бульбарной конъюнктивы, температурная карта позвонков шейного отдела и координационные возможности конечностей в пространстве с целью оценки состояния пациента после ЧМТ. В рамках разработки комплекса исследованы методы обработки соответствующих входных данных и предложены оригинальные подходы к расчету характеристических параметров, в частности оригинальные алгоритмы расчета коэффициентов микроциркуляции и пространственной координации.

Разработанный комплекс обеспечивает высокую степень достоверности и объективности результатов исследования, что имеет большое значение для выявления нарушений как последствий ЧМТ на ранних стадиях.

На основе клинических испытаний определены нормативные показатели соответствующих характеристических коэффициентов для дальнейшего внедрения в клиническую практику.

### **Литература**

1. Константинова Е.Э. Метод количественной оценки изображений бульбарной конъюнктивы в диагностике состояния микроциркуляции при сердечнососудистой патологии. Инструкция по применению / Е.Э. Константинова, Л.А. Иванова. - Министерство здравоохранения Республики Беларусь, рег. № 97-0603. - 1997. - 10 с.

2. Малая Л.Т. Микроциркуляция в кардиологии / Л.Т. Малая, И.Ю. Микляев, П.Г. Кравчун. - Харьков, изд-во «Вища школа», 1977. - 232 с.
3. Maldague X. P. V., Jones T. S., Kaplan H., Marinetti S. and Prystay M. "Chapter 2: Fundamentals of Infrared and Thermal Testing: Part 1. Principles of Infrared and Thermal Testing," in Nondestructive Handbook, Infrared and Thermal Testing, Volume 3, X. Maldague technical ed., P. O. Moore ed., 3rd edition, Columbus, Ohio, ASNT Press. - 2001. - 718 p.
4. Лях Ю.Е., Гурьянов В.Г. Хоменко В.Н., Панченко О.А. Основы компьютерной биostatистики. Анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat. – Донецк, 2006. – 214 с.
5. Millken G.W., Ferra G., Kraiter K.S., Ross C.L. Reach and Posture Hand Preferences During Arboreal Feeding in Sifakas (*Propithecus* sp.): A Test of the Postural Origins Theory of Behavioral Lateralization // J. Comp. Psychol.– 2005. – 119(4) – P. 430.
6. Бабков В.С., Калашникова С.А. Многопользовательская система для автоматической обработки результатов исследования микроциркуляции глаза // Матеріали V-ї науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених ІКТ-2009 [Електронний збірник на CD]. – Донецьк. – 2009. – С. 81-86.
7. Цисарж В. В. Математические методы компьютерной графики / В. В. Цисарж., Р. И. Марусин. – К.: Факт, 2004. – 464 с.
8. Wei Hong, Xuanqin Mou, Ying Long Lingqiu Jiang A vessel extraction algorithm based on point balance, Proceedings of the 2005 IEEE, Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September 1-4, 2005. – P. 304 – 307.
9. Бабков В.С., Ромазанов С.А. Проектирование программной системы для обработки и визуализации результатов термографии позвонков // Матеріали V-ї науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених ІКТ-2009. – Донецьк. – 2009. – С. 412-415.