

Н. А. Недзьведь
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КРОВОТОКА В СОСУДАХ
БУЛЬБАРНОЙ КОНЪЮНКТИВЫ**

Научный руководитель: д-р мед. наук, проф. А. И. Кубарко

Кафедра нормальной физиологии,

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

***Резюме.** Работа посвящена разработке метода и оценке возможности его применения для измерения линейной скорости кровотока в сосудах микроциркуляторного русла.*

***Ключевые слова:** микроциркуляторное русло, сосуды бульбарной конъюнктивы, линейная и скорость кровотока.*

***Resume.** The study describes development of method and evaluation of its possibility for analysis of linear velocity of bulbar conjunctivas vessels hemocirculation.*

***Keywords:** microcirculatory, bulbar conjunctivas vessels, linear and volume velocity.*

Актуальность. Поиск неинвазивных способов определения состояния сосудов и кровотока в них остается актуальной проблемой разработки современных эффективных методов диагностики. В данной работе внимание уделено разработке неинвазивного метода исследования сосудов бульбарной конъюнктивы глаза, так как они доступны для такого исследования, изменение кровотока в них отражает изменения

кровотока в микроциркуляторном русле таких областей сосудистого русла как сосуды мозга, сердца, почек. Таким образом, измеряя диаметр сосудов конъюнктивы, линейную и объемную скорость кровотока, можно судить о состоянии микроциркуляторного кровотока и его нарушениях при атеросклерозе, артериальной гипертензии, сахарном диабете и других заболеваниях. [2, 3]

Известны такие методы измерения скорости кровотока как ультразвуковой на основе эффекта Доплера, электромагнитный на основе эффекта Холла, офтальмография. Однако, в отличие от метода, используемого в данной работе, данные методы позволяют анализировать только суммарный кровоток, без его привязки к какому-либо кровеносному сосуду, и не позволяют оценить диаметр сосуда и его природу, т.е. является ли данный сосуд артериальным или венозным.

Цель: разработать неинвазивный метод измерения линейной скорости кровотока в сосудах микроциркуляторного русла и оценить с его помощью влияние гиперкапнии и гипероксии на кровоток в сосудах бульбарной конъюнктивы.

Задачи:

1. Разработать методику анализа видеопоследовательности кадров.
2. Разработать методику стабилизации видеоизображений.
3. Получить и исследование видеозаписи кровотока в микрососудах.
4. Проверить воспроизводимость получаемых результатов.
5. Применить разработанную методику для исследования влияния гиперкапнии и гипероксии на кровоток в сосудах бульбарной конъюнктивы.

Материалы и методы. Работа выполнялась с помощью разработанного ранее на кафедре компьютерного комплекса для измерения морфометрических параметров сосудов бульбарной конъюнктивы глаза, который состоит из персонального компьютера, монохромной камеры Imperx Bobcat IGV-B1410M, лазерного устройства для наведения и фокусировки камеры на сосудах бульбарной конъюнктивы и устройства синхронизации импульсной подсветки, имеющей регулируемую частоту и яркость света. С помощью монохромной видеокамеры высокого разрешения с объективом от микроскопа с фокусным расстоянием 40 мм получаемое изображение имеет масштаб 2 мкм в 1 пикселе.

На рисунке 1 изображен алгоритм получения и анализа используемых видеопоследовательностей кадров видеосъемки сосудов. Далее рассматриваются его ключевые этапы. Захват и стабилизация видеопоследовательности обеспечивают возможность проведения анализа одного и того же сосуда на разных кадрах видеозаписи сосудов у одного человека. Несмотря на кажущуюся простоту, этот этап играет ключевую роль в анализе изменений параметров сосудов и кровотока в них при изменении каких-либо условий.

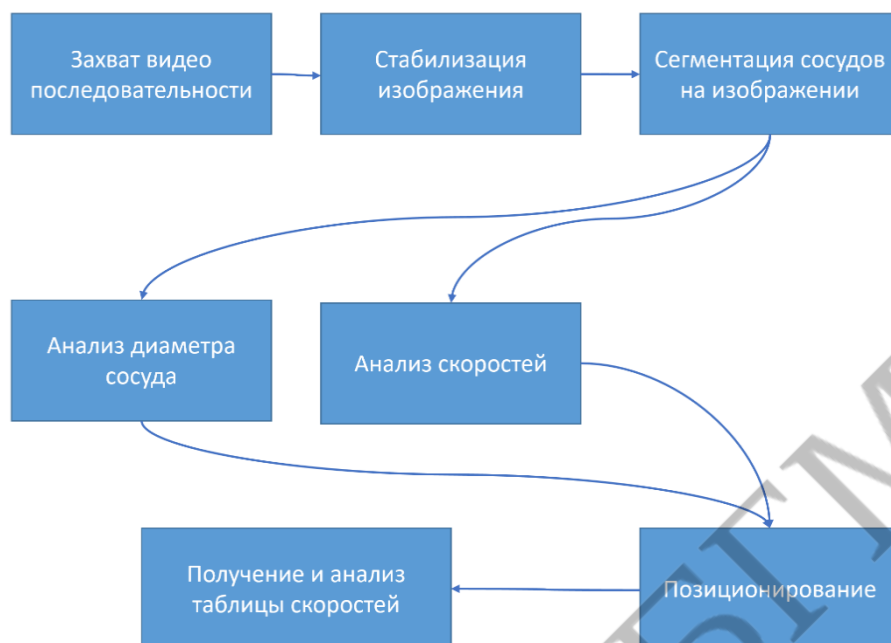


Рисунок 1 – Общий алгоритм получения и анализа видеопоследовательности кадров

Стабилизация изображения при помощи традиционных алгоритмов не является эффективной, так как несмотря на то, что для большинства сосудов свойственны одни и те же геометрические особенности, вследствие постоянного физиологического тремора глазного яблока при съемке сосудов глаза с большим увеличением наблюдается их смещение на относительно большие расстояния. Поэтому стабилизация выполнялась на основе корреляции изображений в видеопоследовательности. Стабилизацию можно условно разделить на следующие этапы: обработка первого кадра; обработка всех последующих кадров. На первом кадре вручную производилось определение и выделение интересующей области сосудистой сети. Далее определялось новое положение выделенного фрагмента на последующих кадрах, по которому вычислялось смещение относительно первого кадра, согласно которому для каждого изображения задавалось положение, в котором координаты заданного фрагмента были стабильны во всей видеопоследовательности. Стабилизация обеспечивает постоянное положение сосудов, что предоставляет возможность проведения мониторинга в каждой заданной координате.

Следующим этапом является сегментация. Она выполняется на отдельном синтезированном изображении, которое соответствует нормализованной интегральной сумме всех кадров видеопоследовательности. Данное изображение обладает важным свойством – в нем отсутствуют фрагменты сосудов, не заполненные кровью, в результате появляется возможность полного выделения сосуда.

Затем интерактивно выделялась сосудистая сеть и выполнялось утоньшение полученного бинарного образа сосудов с целью получения сосудистого скелета, одновременно для них строилась карта расстояний (рисунок 2). По пересечению скелета с картой расстояний вычислялось распределение толщины сосудов.

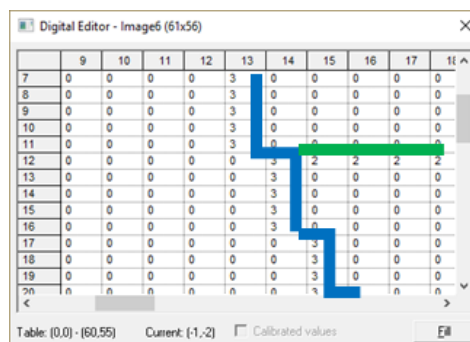


Рисунок 2 – Карта расстояний

Определение скоростей базировалось на значениях векторов оптического потока. Оптический поток представляет собой численную оценку изменения положения объектов на изображении, анализируя которое, можно получить информацию о направлении и скорости движения клеток крови [2]. Таким образом, в результате вычисления оптического потока, определяется вектор движения для каждого пикселя. Зная время, за которое положение пикселя изменилось, мы можем подсчитать мгновенную линейную скорость кровотока. Отношение мгновенной скорости к площади поперечного сечения определяет объёмную скорость кровотока.

В рамках данной работы была исследована гемодинамика в сосудах бульбарной конъюнктивы 9 молодых людей в возрасте от 18 до 20 лет. Для каждого испытуемого было выполнено 3 измерения скорости кровотока: при дыхании атмосферным воздухом (контроль); при дыхании атмосферным воздухом с 5% углекислого газа; при дыхании карбогеном (95% O₂; 5% CO₂). Для каждого измерения была получена и исследована видеопоследовательность.

Результаты и их обсуждение. Средняя линейная скорость кровотока в сосудах бульбарной конъюнктивы глаза составила 0,65 относительных единиц или 29 мкм/с, что сопоставимо с литературными данными [3]. Скорость при гипероксии и гиперкапнии составила 0,8 и 0,54 относительных единиц соответственно. Полученные различия, ввиду малого числа наблюдений и большой разности между скоростями кровотока у различных испытуемых, не достоверны ($p > 0.05$) и показывают лишь определенную тенденцию в характере влияния гиперкапнии и гипероксии на кровоток.

Однако после нормализация полученных значений относительно скорости кровотока в контроле (коэффициент Стьюдента составил 0,001 для гипероксии; 0,0004 для гиперкапнии). Таким образом, проведенные измерения скорости кровотока в сосудах бульбарной конъюнктивы показали, что в условиях гипероксии скорость в среднем увеличивается на 30%, а при гиперкапнии – уменьшается на 17%.

Выводы:

Разработанные методы анализа видеопоследовательности и расчета величины оптического потока позволяют дать количественную оценку изменения линейной скорости кровотока в них у здоровых людей при моделировании гиперкапнии и гипероксии.

N. A. Nedzvedz

**DETERMINATION OF BLOOD SPEED IN BULBARY CONJUNCTIVES
VESSELS**

Tutors: Professor A. I. Kubarko

Department of normal physiology,

Belarusian State Medical University, Minsk

Литература

1. Horn B K P, Schunck B G. Determining optical flow. / Horn B K P, Schunck B G. // Artificial intelligence – 1981 - №17 - pp. 185-203
2. Фираго В.А., Анисимов А.А., Волкова И.И. Получение и обработка цифровых изображений сосудов склеры глаза. / В.А. Фираго, А.А. Анисимов, И.И. Волкова. // Доклады БГУИР. – 2016 г. - №7 – С. 209-213
3. Фираго В.А., Кубарко А.И., Волкова И.А. Оценка гемодинамики бульбарной конъюнктивы глаза / Фираго В.А., Кубарко А.И., Волкова И.А. // Сб. научн. трудов V Конгресса физиков Беларуси Минск - 27–30 октября 2015 г. - С. 167–168.