

УДК 532.51

Н.М. Скорнякова, Н. Г. Мансурова

Московский энергетический институт (технический университет), Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: omfi@mpei.ac.ru

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ СОСУДОВ МИКРОАНЕМОМЕТРИЕЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЧАСТИЦ

Поток крови в микроциркуляции характеризуется в основном потоком красных кровяных телец (эритроцитов), которые могут быть нормальными или патологическими. Несмотря на большое количество исследований микроциркуляции, нет детальных экспериментальных данных о скорости потока профилей, деформируемости, или агрегация в микрососудах.

В настоящее время при исследовании различных потоков в жидкости все большее распространение получают методы микроPIV. Метод PIV - оптический метод измерения полей скорости жидкости или газа в выбранном сечении потока. Основными преимуществами метода являются: бесконтактность; возможность измерения мгновенных распределений скорости; широкий диапазон измеряемых скоростей.

PIV, КРОВЕНОСНЫЕ СОСУДЫ, МИКРОЦИРКУЛЯЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Уникальные свойства лазерного луча открыли широкие возможности его применения в различных областях: хирургии, терапии и диагностике.

Сегодня развиваются несколько перспективных направлений медицинской оптической лазерной диагностики – лазерная когерентная и диффузионная томография, спекл-корреляционные методы, спектроскопия упругого рассеяния, флуоресцентная диагностика, лазерная доплеровская флоуметрия, тканевая оксиметрия, лазерная сканирующая микроскопия и ряд других направлений. История использования света для мониторинга состояния биотканей и клеток с целью диагностики заболеваний насчитывает уже более 150 лет.

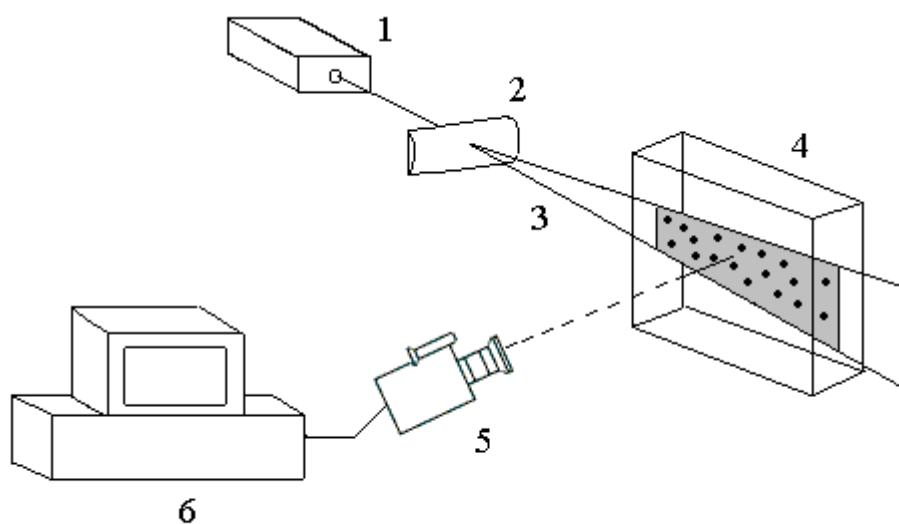
В работе используется метод микроанемометрии изображения частиц. С помощью данного метода можно определить скорости течения потока и векторные поля как свободного течения жидкости (здоровый, чистый сосуд), так и с различными препятствиями и искривлениями (наличие бляшек, отложений на стенках сосуда, пережатий и т.п.).

В экспериментальной модели диагностического комплекса роль сосуда играет пластиковая прозрачная полая трубка, внутри которой течет жидкость со светоотражающими частицами. Для визуального контроля проведения эксперимента взят лазер с длиной волны видимого диапазона (0,6328 мкм), хотя в дальнейшем предполагается применение излучения с длиной волны, проходящей через человеческую кожу. Для регистрации и обработки изображений в методе микроанемометрии изображения частиц использует цифровая видеокамера.

МЕТОД PIV

В данный момент теория анемометрии по изображениям частиц (PIV-метод) достаточно хорошо разработана для оптически однородных потоков. В основу этого метода положена запись двух последовательных положений частиц, движущихся вместе с потоком в два момента различных момента времени, и последующего анализа их смещения [1 – 6]. Область измерения ограничивается либо тонкой лазерной плоскостью (двухмерное поперечное сечение), либо освещается весь поток (полный трехмерный поток). Таким образом, PIV метод позволяет определить произвольное распределение скорости в любой заданный момент времени, а так же пространственное распределение скорости частиц для всего потока. Изображение частиц записывается с помощью фоточувствительной среды (фотопленка или матричный фотодетектор) (рис. 1). Скорость потока определяется из анализа смещения частиц.

Записанные изображения в два момента времени t_1 и $t_2 = t_1 + \Delta t$ складываются и затем с помощью различных средств обработки изображений, которые будут рассмотрены далее, получают информацию о скорости движения потока. Для визуализации движения всего потока строят векторное поле (рис. 2).



1 – лазер, 2 – цилиндрическая линза, 3 – лазерная плоскость,
4 – исследуемый поток, 5 – цифровая видеокамера, 6 – компьютер
Рис. 1. Схема установки для измерения скорости потока по PIV-методу [7]

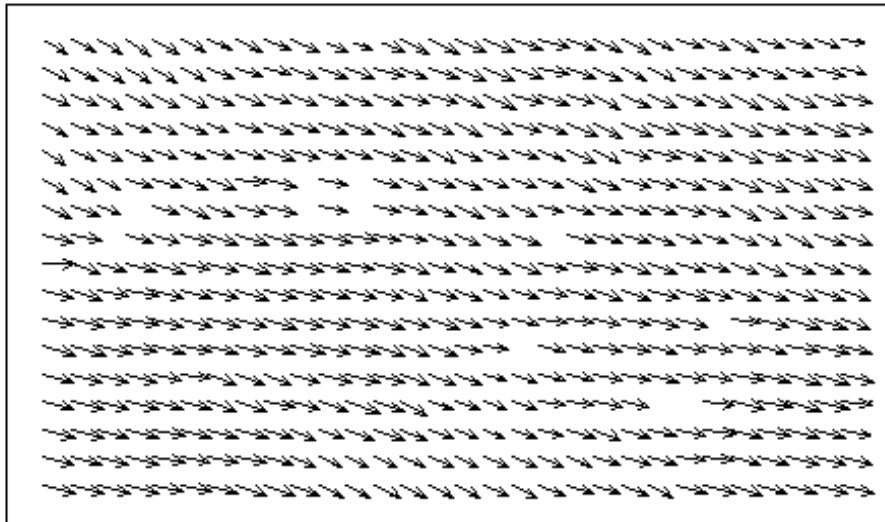


Рис. 2. Векторное поле скоростей потока[7]

ФИЗИКА КРОВИ

Кровь является одной из важнейших биологических жидкостей. Ее значимость обусловлена способностью эритроцитов обратимо связывать и переносить кислород. Большинство живых клеток зависят в осуществлении своих функций от окислительного метаболизма; при этом циркуляторная и дыхательная системы организма работают совместно, обеспечивая необходимый приток кислорода. Почти весь циркулирующий кислород связан с молекулами гемоглобина, а остаток растворен в цитозоле эритроцитов и плазме крови. Таким образом, доставка кислорода к различным органам определяется содержанием кислорода в крови и интенсивностью локального кровотока.

Много лет различные экспериментальные методы применялись для анализа поведения крови в мелких сосудах кровеносной системы. Большинство современных знаний о микроциркуляции крови базируется на макроскопических явлениях таких как эффект Фареуса и Фареуса-Линдквиста (движение в капиллярах останавливается, когда они заполняются только плазмой крови. Но стоит попасть туда эритроцитам, диаметр которых может даже превосходить просвет капилляров, кровоток опять возобновляется. И чем больше в капиллярах эритроцитов, тем он интенсивнее. [14]). В настоящее время, в связи с развитием компьютерной, оптической и техники цифровой обработки изображений, стало возможным комбинировать PIV-системы с микроскопами. В результате этих комбинаций, известных как микро-PIV, значительно увеличилось разрешение PIV. Хотя обычный метод микро-PIV оказался полезным при измерении поведения потока в микропоточных устройствах, течение всего поля освещено и, следовательно, вне фокуса это может привести к высокому уровню фонового шума, что снижает точность поля скоростей. В последнее время значительный прогресс в развитии конфокальных микроскопов и преимущества их по сравнению с обычными микроскопами привели к появлению новой технологии, известной как конфокальная микро-PIV. Этот метод сочетает в себе обычную систему PIV с вращающимся диском конфокального микроскопа (SDCM), которая имеет возможность получить в фокусе изображения с оптической толщиной менее 1 мкм (оптический эффект секционирования) для улучшения контрастности изображения частиц и увеличения пространственного разрешения. Эта новая техника была успешно применена для измерения однородной жидкости, однако вопрос о том, являются ли подходящими конфокальные системы микро-PIV для изучения поведения крови в капиллярах до сих пор не решён.

Поток крови в микроциркуляции (микрососуды менее 300 мкм в диаметре) характеризуется в основном потоком красных кровяных телец (эритроцитов), которые могут быть нормальными или патологическими. Несмотря на большое количество исследований

микроциркуляции, нет детальных экспериментальных данных о скорости потока профилей, деформируемости, или агрегация в микрососудах.

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для кросскорреляционной обработки изображений была написана программа на языке Python. Для её написания был использован фреймворк Python(x,y). Рассмотрим подробнее какие библиотеки в него входят:

- Spyder (Scientific PYthon Development EnviRonment) — IDE для интерактивных вычислений и визуализации данных
- PyQwt — привязка Python к библиотеке Qwt для построения двумерной графики на Qt
- NumPy — популярный модуль для высокоэффективной работы с многомерными массивами (ядро модуля SciPy)
- SciPy — содержит модули для математической оптимизации, интегрирования, специальных функций, обработки сигналов, обработки изображений, генетических алгоритмов, решения обыкновенных дифференциальных уравнений
- guiqwt — инструменты быстрого создания GUI, более объемная реализация идей предыдущего модуля,
- Matplotlib — графическая 2D- и псевдо 3D-библиотека, имеющая во многих случаях синтаксис близкий к MATLAB
- PIL (Python Imaging Library) — работа с растровой графикой различных форматов, чтение и запись, конвертирование, редактирование
- ТК — программное обеспечение для обработки изображений из области медицины
- pydicom — обработка медицинских изображений стандарта DICOM
- PyWavelets — модуль вейвлет-преобразований

Программа состоит из функций – обработчиков данных и классов, которые отвечают за наборы данных и их визуальное представление.

Основные функции программы:

- преобразования массивы номеров строк и столбцов в один массив
- преобразования массива строк и столбцов в один двумерный массив
- функция нахождения максимума корреляционной функции
- функция нахождения смещения

Основные классы программы:

- класс создания канвы для визуального окна программы
- класс объектов содержащих исходные данные (параметры обработки)
- класс обработчиков изображения
- класс панелей управления

Внешний вид окна программы представлен на рис. 3.

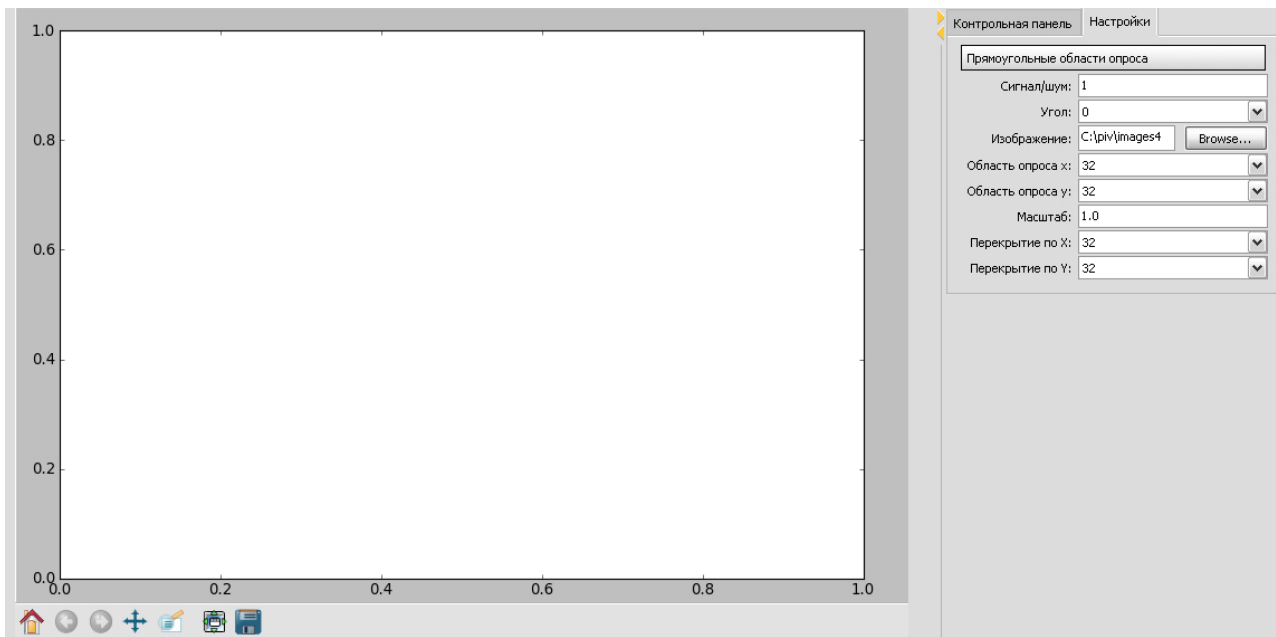
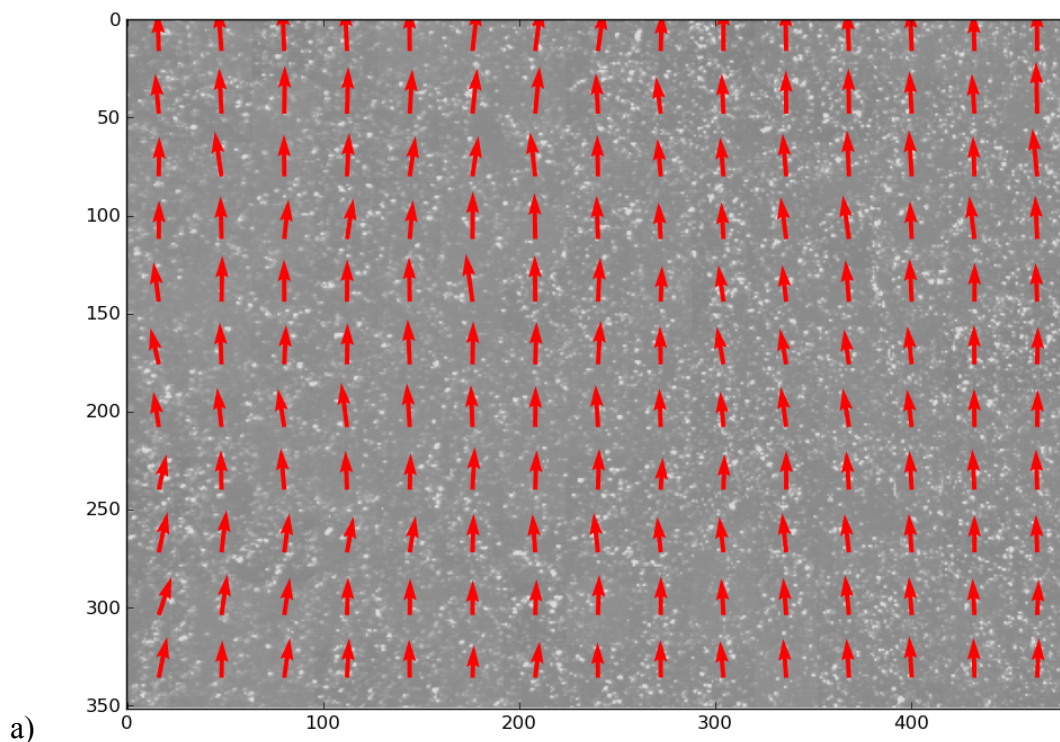


Рис. 3. Окно программы обработки

Для проверки работы программы были использованы тестовые изображения, на которых элементы были смещены вверх относительно друг друга. Обработка программой проводилась с областями перекрытия 0 и 16 пикс. Результаты представлены на рис. 4.



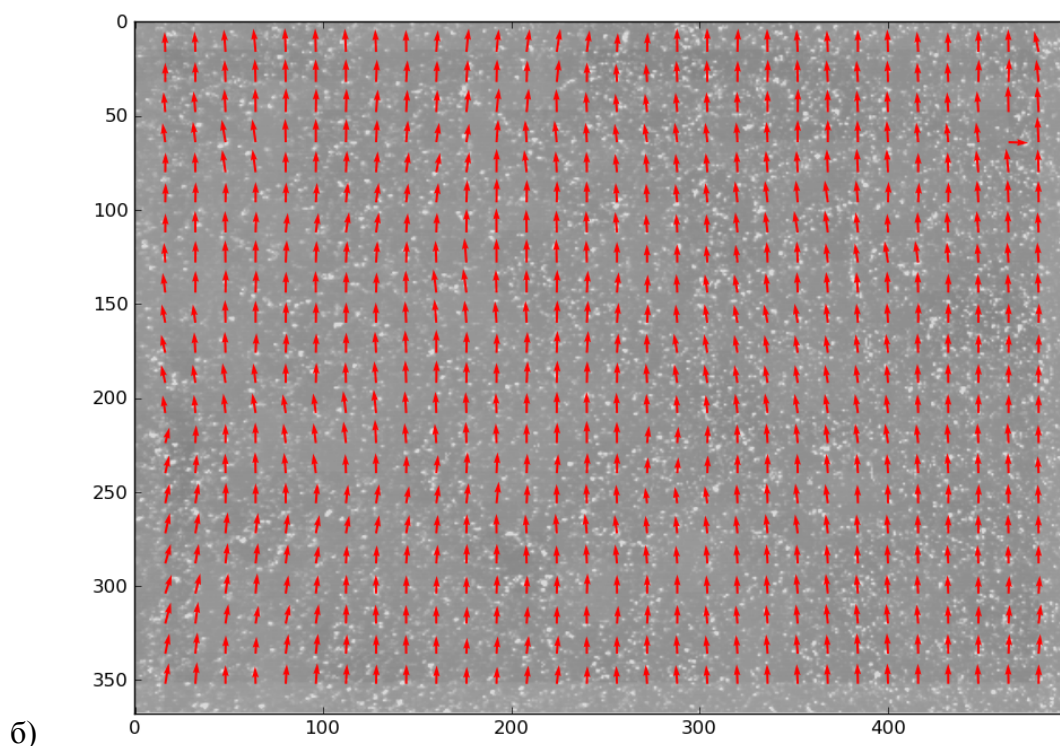


Рис. 4. Результаты обработки тестовых изображений (а – перекрытие 0, б – перекрытие 16 пикс)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие цифровой и компьютерной техники и, как следствие, применение цифровых методов регистрации изображений и обработки данных для анемометрии изображения частиц еще более укрепило позиции PIV среди оптических методов исследования потоков, сократив время регистрации и обработки на порядки. Применение корреляционного анализа для определения смещения частиц, а также изобретение цифровой кросскорреляционной камеры для записи пар изображений обеспечили еще больший прогресс и создали условия для дальнейшего совершенствования алгоритмов обработки.

Метод анемометрии изображения частиц, относящийся к классу бесконтактных оптических методов, позволяет регистрировать мгновенные поля скоростей в плоскости измерения. Одним из важнейших его преимуществ является отсутствие возмущающего влияния на поток. К достоинствам метода можно также отнести широкий динамический диапазон измеряемых скоростей (порядка 500:1), что позволяет использовать его для исследования сложных турбулентных течений. Еще одно преимущество PIV состоит в возможности набирать и обрабатывать на обычном персональном компьютере значительный объем экспериментальных данных для расчета статистических характеристик течения.

Область применения метода PIV довольно обширна. Она включает в себя фундаментальные научные исследования, направленные на изучение динамики и масштабов вихревых структур в потоках жидкости и газа, получение дифференциальных и статистических характеристик. Помимо этого, метод PIV широко применяется и в прикладных исследованиях. Здесь можно выделить задачи оптимизации обтекания летательных аппаратов и судов в авиастроении, кораблестроении, конструкций промышленных агрегатов в энергетике и нефтегазовой промышленности, изучение процессов в двигателях внутреннего сгорания. Постепенно увеличивается число приложений PIV для задач исследования микропотоков, таких как управление процессами синтеза веществ в

микрофлюидных аналитических системах (μ TAS), физическое моделирование работы искусственных сосудов и клапанов в медицине и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Adrian R.J., Yao C.S.** Development of pulsed laser velocimetry (PLV) for measurement of fluid flow // Proc. of the 8th Biennial Symp. on Turbulence, Rolla, Missouri, Sept., 1984. P. 170–186.
2. **Willert C.E., Gharib M.** Digital particle image velocimetry // Exp. Fluid. 1991. Vol. 10. P. 181–193.
3. **Алексеев С.В., Бильский А.В., Маркович Д.М.** Применение метода цифровой трассерной визуализации для анализа турбулентных потоков с периодической составляющей // Приборы и техника эксперимента. 2004. №. 11. С. 145–153.
4. **Бильский А.В.** Гидродинамическая структура осесимметричной импактной струи: Дис.канд. физ. –мат. наук. Новосибирск, 2006. 184 с.
5. **Scarano F., Riethmuller M.L.** Iterative multigrid approach in PIV image processing with discrete offset // Exp. Fluids. 1999. Vol. 26. P. 513 – 523. //
6. **Nogueira J., Lecuona A., Rodrigues P., Alfaro J.A., Acosta A.** Limits on the resolution of correlation PIV iterative methods. Practical implementation and design of weighting functions // Exp. Fluids. 2005. Vol. 39. P. 314 – 321.
7. **Е Зо Тейк,** Диагностика деформации модели кровеносного сосуда методом микроанемометрии изображения частиц

N.M. Skornyakova, N.G Mansurova

Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Russia,
111250, Moscow, ul., 14, E-mail: omfi@mpei.ac.ru

DIAGNOSIS OF VESSELS ON MIKROANEMOMETRY PIV

Blood flow in the microcirculation is characterized mainly by the flow of red blood cells (erythrocytes), which may be normal or abnormal. Despite the large number of studies of microcirculation, there is no detailed experimental danyh of flow velocity profiles, the deformability or aggregation in microvessels.

Currently, the study of various streams in the liquid becoming more common methods mikroPIV. The method of PIV - optical method for measuring velocity fields of fluid in a selected section of the flow. The main advantages of this method are: non-contact, the ability to measure the instantaneous velocity distribution, a wide range of measured velocities.

PIV, BLOOD VESSELS, THE MICROCIRCULATION