

## РОЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

В.И. КУЗНЕЦОВ\*, С.А. ТАРАКАНОВ\*\*, Н.И. РЫЖАКОВ\*, А.А. РАССАДИНА\*\*

\* *Общество с ограниченной ответственностью «Конструкторское бюро современных технологий Санкт-Петербургского государственного университета ИТМО», 197101, г. Санкт-Петербург, просп. Кронверкский, 49*

\*\* *Центр медицинского, экологического приборостроения и биотехнологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49*

**Аннотация.** Оптические технологии в оценке колебаний объема и скорости движения крови в сосудах позволяют достаточно точно оценить неинвазивными методами объем кровенаполнения конечностей, гемодинамику периферической сосудистой системы и артериальное давление. Цель нашей публикации – обобщить данные по применению современных оптических технологий в сфере окклюзионной плетизмографии; познакомить читателя с применением технологий машинного зрения для оценки колебаний объема конечности; описать оптический метод определения скорости движения крови в сосудах конечности (лазерная доплеровская флоуметрия).

**Ключевые слова:** оптическая окклюзионная плетизмография, технологии машинного зрения, лазерная доплеровская флоуметрия.

## THE ROLE OF OPTICAL TECHNOLOGIES IN MEDICAL INSTRUMENTATION TECHNOLOGY

V. I. KUZNETSOV\*, S. A. TARAKANOV\*\*, N. I. RYZHAKOV\*, A. A. RASSADINA\*\*

\* *Limited liability company «Design office of modern technologies of the St. Petersburg State University ITMO»*

\*\* *Center of medical, ecological instrumentation and biotechnologies of the Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Opticians*

**Abstract.** At the fluctuation capacity and blood momentum assessment the optical technologies allows to estimate sufficiently precisely noninvasive the capacity of blood filling of limbs, the haemodynamics of peripheral vascular system and blood (arterial) pressure. The purpose of this paper is to generalize the data to application assessment the optical technologies at the sphere of the occlusal plethysmography; to introduce to readership with application the machine vision technologies for the assessment the limb capacity momentum; to define the optical method of the definition the blood momentum in limbs vessels (the laser Doppler flowmetry).

**Key words:** optical occlusal plethysmography, machine vision technologies, laser Doppler flowmetry.

В основе многих медицинских приборов и устройств современные оптические технологии. Разнообразие таких устройств велико. Это и лечебная аппаратура (лазерная и оптоволоконная техника), и диагностическая (томографы, фотометры, фотоплетизмографы, масс-спектрометры и др.).

Мы познакомим читателей с применением оптических технологий в диагностике колебаний объема конечностей под действием кровенаполнения периферических сосудов (методы фотодетектирования и окклюзионной плетизмографии машинного зрения) и определения скорости движения крови в сосудах (лазерная доплеровская флоуметрия).

Оценка колебаний объемов и скорости движения крови в сосудах конечностей позволяет определить состояние дыхательной и сердечно-сосудистой систем, артериальное давление крови. Области применения методов охватывают кардиологию, флебологию, диабетологию, фтизиатрию, гастроэнтерологию, дерматологию, стоматологию.

**Оптические методы в оценке объема конечностей.** Оценка объема конечностей под действием кровотока осуществляется методами локальной плетизмографии. Традиционный оптический метод локальной плетизмографии – фотодетектирование – является косвенным методом, т. к. предназначен для определения кровенаполнения периферических сосудов по изменению оптической плотности тканей при циркуляции крови. Авторами публикации ведутся работы по созданию нового локального плетизмографического метода, предназначенного для прямого измерения объема конечности технологиями машинного зрения. Метод получил название окклюзионная плетизмография машинного зрения и также будет представлен в публикации.

**Описание метода фотодетектирования.** По области применения, особенностям функционирования и получаемым результатам фотодетектирующие устройства делятся на два типа:

– фотоплетизмограф – диагностика кровенаполнения (качественное измерение объема), формы и времени пульсовой волны;

– пульсоксиметр – диагностика кровенаполнения, параметров пульсовой волны и оксигенации крови.

В основе работы устройств вне зависимости от типа фотодетектора – принцип оптической денситометрии – измерения интенсивности отраженного от конечности и прошедшего через нее рассеянного света. Интенсивность света, отраженного или рассеянного исследуемым участком ткани (органа) пропорциональна изменению объема крови в исследуемой ткани при условии стабильности прочих параметров, таких как давление, уровень сахара в крови и др.

Результаты исследования на фотодетекторах могут быть интерпретированы в качестве *фотоплетизмограмм* (PPG), отображающих колебание объема крови в ткани.

В фотоплетизмографе [6, 7, 9, 13-15] исследуемую конечность просвечивают с одной стороны некогерентным светом, который после рассеивания и отражения в ней, поступает на фотоприемник.

Метод применим для регистрации амплитуды колебаний объема крови в ткани или органе при условии стабильности таких параметров, как давление, уровень сахара в крови и т.д. (рис. 1). Показания к применению фотоплетизмографии – определение ригидности и эластичности стенок сосудов. На основе метода фотоплетизмографии также возможно измерение параметров пульсовой волны (ее формы и скорости) при условии детектирования двух точек на поверхности биологической ткани.



Рис. 1. Фотоплетизмограф Vasoquant 2000 (D-PPG/LRR) фирмы Braeal (Германия)

Пульсоксиметр [1, 8, 11, 16] является разновидностью фотоплетизмографа, позволяющим проводить измерения пульсовых волн, а так же дающим информацию об уровне оксигенации крови (рис. 2). Контроль оксигенации важен при комплексных диагностических исследованиях дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Но, если в фотоплетизмографе в качестве источника света используют один канал, то в пульсоксиметре таких каналов – два.



Рис. 2. Пульсоксиметр Rad-5v фирмы Masimo (Япония)

В основе пульсоксиметрии лежат следующие физические принципы: (1) пульсирующий сигнал формирует артериальная кровь, которая относительно независима от не пульсирующих венозной и капиллярной; (2) оксигемоглобин и дезоксигемоглобин имеют разные спектры. Поэтому в устройстве реализовано два светоизлучающих диода – один с длиной волны 660 нм (красный свет для оксигемоглобина), а второй, как опорный, с длиной волны 940 нм (инфракрасное излучение для дезоксигемоглобина). Перед использованием диоды калибруют на поглощающую способность их оптических плотностей. Результаты калибровки помогают специалистам отличить сигнал от артефактов.

Измерение формы и скорости пульсовых волн выполняется при одновременном диагностировании двух зон на поверхности кожи.

**Достоинства фотодетекторов.** Сопоставление фотоплетизмограмм (PPG), функции колебания давления и ЭКГ позволяет получить ряд важных диагностических данных, производить мониторинг состояния пациента при клиническом стационарном лечении. Методы могут служить первой меткой в определении пульсовой волны.

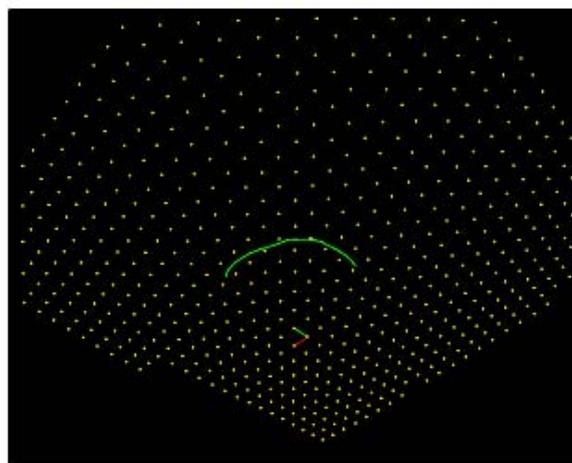
**Недостатки фотодетекторов.** Как и все косвенные методы метод имеет один недостаток: неявная зависимость интенсивности отраженного или рассеянного света, падающего на фотоприемник, от изменения объема крови в исследуемой ткани, влияние на результат диагностики таких факторов как уровень сахара в крови, давление, оксигенация, изменение тонуса сосудов и др.

Таким образом, результат измерений не всегда может быть интерпретирован однозначно.

**Описание метода машинного зрения.** В отличие от фотоплетизмографии плетизмография машинного зрения является прямым методом измерения объема конечности. Для этого расположенными по всему периметру корпуса плетизмографа лазерными диодами, проецируются маркеры (линии, сетки и др.), которые выявляют форму диагностируемой поверхности (рис. 3). Далее положение маркеров регистрируется видеокамерами, также расположенными по периметру плетизмографа. С помощью специального программного обеспечения на персональном компьютере, восстанавливаются геометрические параметры исследуемой конечности.



а



б

Рис. 3. Модель плетизмографа машинного зрения ООО «КБСТ ИТМО» (Россия):  
а – проецирование лазерного маркера на руке; б – восстановленная геометрическая форма руки

Окклюзионный плетизмограф машинного зрения обладает следующими преимуществами:

- производятся прямые измерения динамических изменений объема конечности, позволяющие определить объемную скорость кровотока, венозную емкость, венозный тонус;
- простота и удобство в эксплуатации, универсальность устройства, т.к. при проведении измерений не требуется перестроение измерительного узла для различных конечностей.

**Оптические методы в оценке гемодинамики периферической сосудистой системы.** Определение скорости распространения пульсовой волны является наиболее достоверным методом изучения упруговязкого состояния сосудов. Скорость распространения пульсовой волны обусловлена изменениями скорости движения эритроцитов в микрососудах вследствие перепадов систолического и диастолического давления. Для оценки микроциркуляции крови по скорости пульсовой волны пользуются методами лазерной доплеровской флоуметрии.



Рис. 4. Применение лазерной доплеровской флоуметрии при оценке состояния микроциркуляции крови

Лазерная доплеровская флоуметрия [2-5, 10, 12] позволяет выделить ритмические составляющие гемодинамических потоков в тканях, и в своей основе имеет эффект доплеровского смещения частоты (длины волны) света при отражении его от движущегося с определенной скоростью вещества. Зная изначальную длину волны когерентного источника излучения и измерив длину волны отраженной и попавшей на детектор части излучения, – можно с высокой точностью оценить скорость движения вещества или физического тела (рис. 4, 5).

В качестве когерентного источника в доплеровском двухканальном анализаторе применяются два одинаковых световодных зондирующих канала. Световые оптические каналы выполнены из оптоволоконна, ориентированного при измерениях перпендикулярно исследуемой поверхности. Один из этих каналов используется в качестве контрольного, а второй предназначен для исследуемой области. Каналы могут быть расположены симметрично друг относительно друга, или на пораженной и здоровой областях конечности. Исследования микроциркуляции в симметричных зонах следует рассматривать как самостоятельный диагностический подход при коррекционных мероприятиях восстановительной медицины.

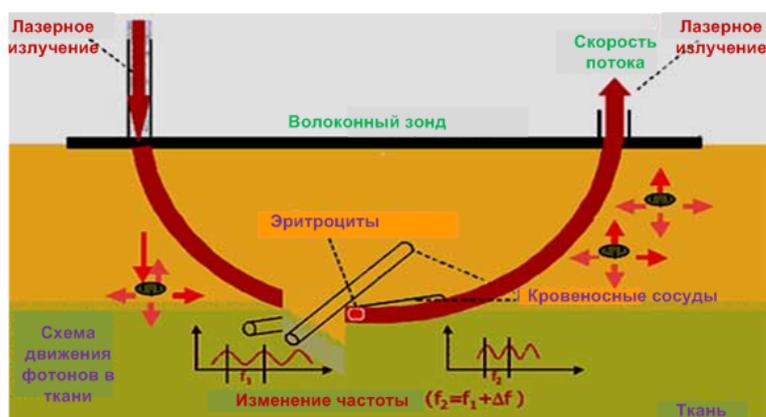


Рис. 5. Принцип работы метода лазерной доплеровской флоуметрии

При наложении излучения от световодных зондирующих каналов на диагностируемой поверхности тела образуется интерференционная картина в виде чередования полос, которая детектируется фотоприемником. Интерференционная картина стабильна при отсутствии движения крови в исследуемой ткани; при наличии кровотока (упорядоченного движения клеток крови), возникают биения интенсивности света, обу-

словенные доплеровским сдвигом длины волны. Зная частоту биений и исходную длину волны, можно точно определить частотный сдвиг излучения. Т.к. амплитуда светового отраженного сигнала формируется от всех эритроцитов, находящихся в области зондирования, движущихся с разными скоростями и по разному количественно распределенных в артериолах, капиллярах, венах и артериовенулярных анастомозах, центральная длина волны является усредненной для всех движущихся частиц крови. Полученные данные смещения длины волны относительно изначальной могут быть усреднены и интерпретированы в качестве средней скорости кровотока в сосудах на данном участке исследуемой ткани.

Метод ЛДФ позволяет оценить общий уровень периферической перфузии, выявить особенности состояния и регуляции кровотока в микроциркуляторном русле, что особенно важно при дифференцированном подборе терапии.

**Достоинства.** Метод является объективным, воспроизводимым, высокочувствительным по отношению к малейшим изменениям кровотока и точным, благодаря возможности длительной экспозиции.

**Заключение.** По состоянию кровеносной системы можно судить о состоянии организма в целом, а также о развитии некоторых заболеваний сосудов, сердца, легких и др. органов. Оптические методы позволяют достаточно точно оценить объем кровенаполнения конечности, гемодинамику периферической сосудистой системы. Оценка гемодинамики сосудов зависит от артериального давления.

### Литературы

1. Бузунов, Р.В. Компьютерная мониторинговая пульсоксиметрия в диагностике нарушений дыхания во сне / Р.В. Бузунов, И.В. Легейда, В.А. Ерошина // Кардиология.– 2009.– Т. 49.– № 5.– С. 93–96.
2. Козлов, В.И. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови. Методическое пособие для врачей / В.И. Козлов, Г.А. Азизов, О.А. Гурова, Ф.Б. Литвин.– М.: Российский университет дружбы народов ГНЦ лазерной медицины.– 2012.– 32 с.
3. Крупаткин, А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров.– М.: Медицина.– 2005.– 256 с.
4. Кульчицкая, Д.Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке эффективности магнитных воздействий у больных с хронической венозной недостаточностью нижних конечностей / Д.Б. Кульчицкая // Физотерапия, бальнеология и реабилитация.– 2010.– № 1.– С. 13–15.
5. Диагностика лимфедермы нижних конечностей при помощи метода лазерной доплеровской флоуметрии / Е.Е. Ладожская-Гапеевко [и др.] // Регионарное кровообращение и микроциркуляция.– 2011.– Т. 10.– № 1. С. 20–28.
6. Ларюшин, А.И. Двухканальный лазерный фотоплетизмограф / А.И. Ларюшин, М.А. Галкин, Р.Н. Хизбуллин, В.А. Новиков// Мир измерений.– 2010.– № 7.– С. 22–28.
7. Лебедев, П.А. Фотоплетизмография в оценке эластичных свойств и реактивности периферических артерий / П.А. Лебедев, Л.И. Калакутский, С.П. Власова, А.П. Горлов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция.– 2004.– Т. 3.– № 1.– С. 31–36.
8. Парфёнов, А.С. Экспресс-диагностика сердечно-сосудистых заболеваний / А.С. Парфёнов // Мир измерений.– 2008.– № 6.– С. 74–82.
9. Перминов, А.С. Исследование характеристик макета фотоплетизмографа. / А.С. Перминов, О.С. Нохрина, С.И. Юран, Н. Або Исса // Научное обеспечение инновационного развития АПК: материалы Всероссийской НПК (16-19 февраля 2010).– Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА.– 2010.– Т.3.– С. 216–222.
10. Петров, С.В. Лазерная доплеровская флоуметрия в комплексном обследовании больных хронической венозной недостаточностью / С.В. Петров, В.И. Козлов, Г.А. Азизов // Лазерная медицина.– 2008.– Т. 12.– № 2.– С. 36–41.
11. Сидоренко, В.М. Влияние размеров эритроцитов на результаты пульсоксиметрического определения уровня оксигенации крови / В.М. Сидоренко // Известия Южного федерального университета. Технические науки.– 2010.– Т. 109.– № 8.– С. 176–181.
12. Allen, J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement / J. Allen // Physiological measurement.– 2007.– № 28.– P. 1–39.
13. Clark, E. The inter-rater reliability of two devices measuring pulse wave velocity: A comparison of applanation tonometry and infra-red photoplethysmography / E. Clark, R. Rombough, E. Toffelmire, T.L. Parsons // Canadian Journal of Cardiology.– 2011.– Vol. 27.– № 5.– P. 70–71.
14. A technique based on laser Doppler flowmetry and photoplethysmography for simultaneously monitoring blood flow at different tissue depths / J. Hagblad [et al.] // Medical & Biological Engineering & Computing.– 2010.– Vol. 48.– № 5.– P. 415–422.
15. Non-invasive hemodynamic assessment using photoplethysmography (PPG) for CRT optimization / W. Hou [et al.] // EP Europace.– Vol. 13.– № 3.– P. 1152–1153
16. Jubran, A. Pulse oximetry / A. Jubran // Applied Physiology in Intensive Care Medicine.– 2009.– P. 45–48.