

ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ КОЖИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ БИОСПЕКЛОВ

Д.А. Завацкий¹, Т.В. Гордейчук², С.К. Дик¹, М.М. Меженная², И.И. Хлудеев²

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ЭТТ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938540
E-mail: sdick@bsuir.by, zavatskida@gmail.com*

²*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 4, БГУИР, каф. ИПиЭ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938824
E-mail: mezhennaya@bsuir.by, t.gordeychuk@bsuir.by*

Abstract. Many pathological processes accompanied by changes in the microcirculation of the skin. Also, the microcirculation of the skin is sensitive to the majority of pharmacological and cosmetological impacts. Noninvasive methods are optimal to monitor the optical properties and blood flow of the skin. One of them is a promising method of dynamic speckles monitoring. We used a specialized camera and a low-power laser source to register the change of the microcirculation of the skin before and after mechanical stimulation. The results of dynamic speckles monitoring confirm the effectiveness of the rapid diagnosis of the state of human skin.

Оптические методы являются перспективным инструментом диагностики и лечения заболеваний человека вследствие присущих им преимуществ: бесконтактность, высокая точность и чувствительность, дистанционность, высокое пространственное разрешение и воспроизводимость результатов измерений [1,2].

Использование оптических методов для исследования кожного покрова человека позволяет оценить состояние биологических тканей на различной глубине и с различной разрешающей способностью. По сравнению с традиционно используемой в медицинской практике биопсией данные методы характеризуются неинвазивностью и безопасностью для пациента. При этом большинство современных оптических методов (дерматоскопия, оптический видеомониторинг, оптическая топометрия, 3D-моделирование кожи, оптическая когерентная томография) нацелены на анализ морфологических характеристик кожи на клеточном уровне, что существенно повышает их стоимость и усложняет техническую реализацию [1-3]. В связи с этим актуальной является задача разработки методов и технических средств, реализующих возможность проведения экспресс-диагностики заболеваний и системных нарушений кожи, а также позволяющих осуществлять контроль эффективности терапевтических процедур. Перспективным направлением при этом является использование лазерного излучения для исследования биоспеклов кожи.

Неинвазивные спекл-оптические методы диагностики основываются на анализе параметров динамического спекл-поля, которое образуется в результате интерференции отраженного или рассеянного биообъектом когерентного излучения. Спекл-поле в плоскости наблюдения формирует картину, состоящую из множества спеклов (пятен), интенсивность света и форма которых меняются при наличии в объекте движущихся рассеивателей. При этом быстрота смены новых реализаций спекл-картины (динамика спеклов) зависит от скорости движения рассеивателей

Кожа как биологическая ткань представляет собой оптическую неоднородную поглощающую среду, имеющую более высокий (относительно воздуха) показатель преломления [3,4]. При освещении лазерным излучением кожи, имеющей многослойную структуру, динамическое спекл-поле формируется в результате когерентного сложения многих элементарных волн, рассеянных на движущихся частицах, представляющих собой клетки покровной ткани (дермиса, эпидермиса) и клетки крови (в первую очередь эритроциты) [1].

Диффузно отраженное лазерное излучение модулируется следующими тремя факторами: общим перемещением кожи (ввиду функционирования внутренних органов),

пульсирующими колебаниями крупных подкожных сосудов и капиллярным кровотоком. С другой стороны, оптические свойства дермы и скорость кровотока зависят от множества патологических факторов, таких как гипо- и гипертермия, посттравматическое нарушение кровоснабжения конечностей, диабетическая микроангиопатия, экзема, ангииты кожи и онкологические заболевания кожи [3]. В связи с этим измерение биоспеклов кожи целесообразно использовать для диагностики состояния организма биологических тканей человека. Однако это в свою очередь требует проведения дополнительных исследований для выявления диагностических показателей состояния кожи в норме и патологии.

В данной работе представлены результаты применения разработанного авторами метода и устройства динамического измерения биоспеклов для экспресс-диагностики состояния кожного покрова человека.

Методика проведения исследований. Устройство динамического измерения биоспеклов кожи реализовано на базе лазера мощностью 3 мВт и длиной волны 660 нм и скоростной камеры с интерфейсом GigE, CCD-матрицей и частотой 120 кадров в секунду при разрешении VGA.

Предварительно записанный на персональный компьютер видеопоток, считывался и обрабатывался по заданному алгоритму. Исходное изображение и результат обработки выводились на экран с частотой 30 кадров/с, что соответствует реальному времени (видеопоток не замедлен и не ускорен).

Алгоритм работы программы включает четыре основных этапа:
 инициализация и предварительная обработка данных;
 накопление и одновременная подготовка значений интенсивности пикселей из n кадров;
 проведение расчетов значений контрастности спеклов для каждого пикселя;
 визуализация полученных данных с применением псевдоцветов для лучшего восприятия оператором.

Разработанный алгоритм реализует метод Temporally Derived Contrast (tLASCA) на языке программирования Python [7]. Схематично метод tLASCA представлен на рис.1.



Рисунок 1 – Схематичное представление алгоритма расчета контрастности в методе tLASCA

В основе алгоритма лежит расчет значения контрастности спекла по формуле 1, приведенной для окна 3×3 пикселя:

$$K_{\text{tLASCA}(i,j)} = \frac{1}{9} \cdot \sum_{r=i-1}^{r=i+1} \sum_{c=j-1}^{c=j+1} \frac{\sigma_{i,j,t}}{\langle I_{i,j,t} \rangle}, \quad (1)$$

где $\sigma_{i,j}$ – среднеквадратичное отклонение всех пикселей (i, j) ;

$\langle I_{i,j,t} \rangle$ – среднее арифметическое значение интенсивности всех пикселей (i, j) среди n кадров.

Основными особенностями разработанного и реализованного в программном обеспечении алгоритма являются: скорость работы, обеспечивающая обработку данных и меньшие потери в разрешении итогового изображения за счет использования минимального размера окна, потеря входных данных скомпенсирована использованием значений интенсивности пикселей из ряда предыдущих кадров.

Диагностика состояния кожного покрова человека выполнялась на базе вышеописанного устройства и программного обеспечения для участка кожи в форме квадрата размером 1×1 см. Исходное состояние исследуемого участка соответствовало норме. Далее участок кожи испытуемого подвергался механическому воздействию, результатом которого были поверхностные царапины, визуально неразличимые (рисунок 2а, 3а, 4а). Мониторинг состояния кожи посредством облучения исследуемого участка лазером и одновременной регистрации видеоинформации с отображением в режиме реального времени осуществлялся от момента исходного состояния, в течение механического воздействия и в период 5 минут после него.

Результат исследований. Исходное состояние исследуемого участка кожи после обработки полученной видеоинформации характеризовалось равномерными пульсациями кровотока на всей поверхности (рисунок 2, б).

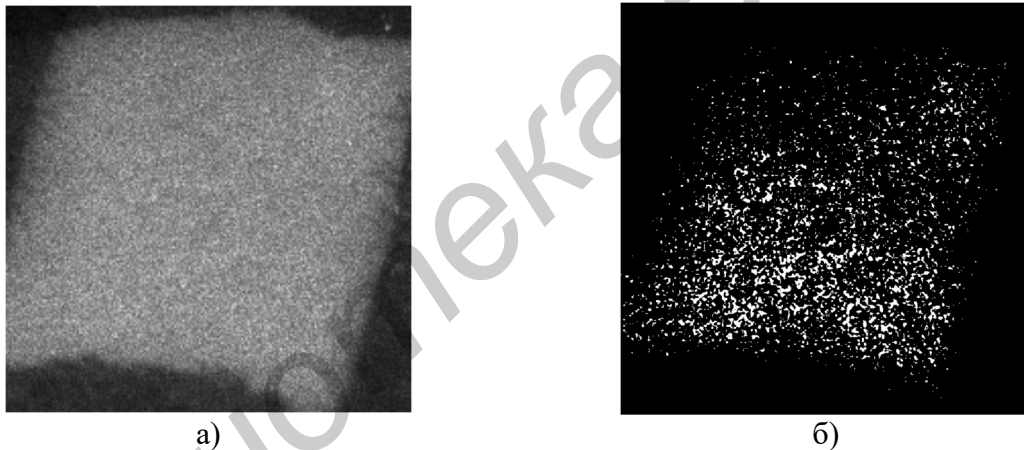


Рисунок 2 – Видеокادر участка кожи в исходном состоянии: спекл-изображение до обработки (а) и после обработки (б)

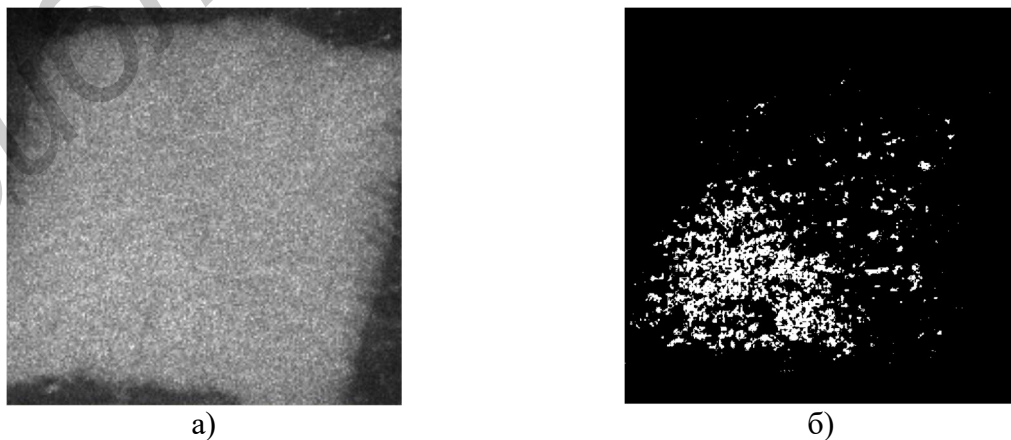


Рисунок 3 – Видеокادر участка кожи после механического воздействия: спекл-изображение до обработки (а) и после обработки (б)

После механического воздействия, помимо равномерных пульсаций кровотока на спекл-изображении наблюдается очаг постоянного свечения в области наибольшего повреждения поверхностного покрова (рисунок 3, б). С течением времени очаг свечения на исследуемом участке кожи увеличивается, о чем свидетельствуют результаты обработки видеоинформации, представленные на рисунке 4, б (время, прошедшее со времени механического воздействия на исследуемый участок кожи, составило 5 минут).

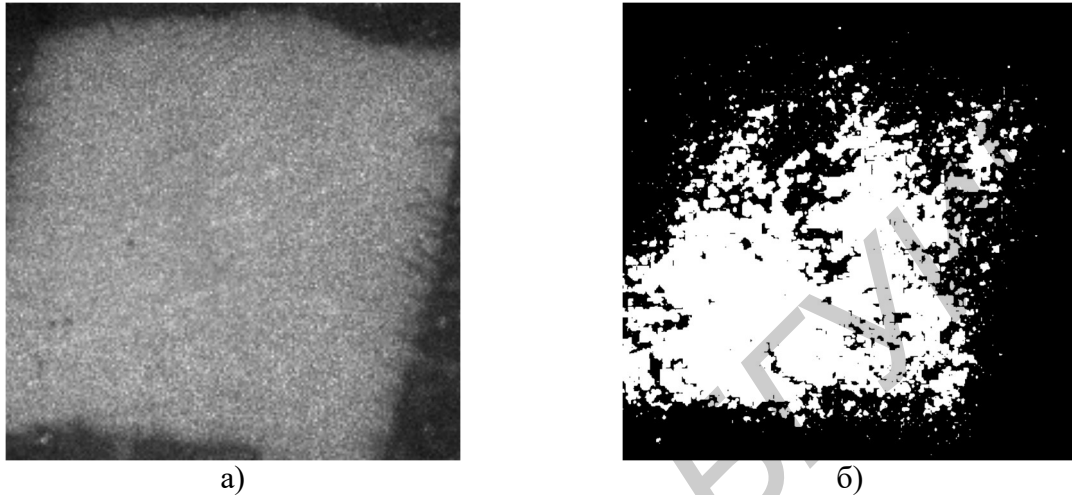


Рисунок 4 – Видеокادر участка кожи через 5 минут после механического воздействия: спекл-изображение до обработки (а) и после обработки (б)

Заключение. Результаты применения разработанного метода и устройства динамического измерения биоспеклов подтверждают эффективность проведения экспресс-диагностики состояния кожного покрова человека, а также позволяют осуществлять контроль эффективности терапевтических процедур. Данная методика может использоваться в клинической и исследовательской практике.

Полученные результаты представляют интерес для инженеров и врачей, специализирующихся в области разработки систем диагностики и лечения заболеваний кожи.

Литература

1. Дик, С. К. Лазерно-оптические методы и технические средства контроля функционального состояния биообъектов / С. К. Дик. – Минск : БГУИР, 2014. – 235 с.
2. Штиршнайдер, Ю. Ю. Современные неинвазивные технологии визуализации в дерматологии / Ю. Ю. Штиршнайдер, А. В. Минченко, О. Р. Катунина, А. Р. Зубарев. – Вестник дерматологии и венерологии, вып. №5, 2011, с. 41-53.
3. Шебалин, А. Состояние организма по биоспеклам кожи – Фотоника, №1, 2008, с.14-18.
4. Франсон, М. Оптика спеклов. / Пер.с англ. под ред. Ю.И.Островского. – М. : Мир, 1980. 171 с.
5. Барун, В.В., Иванов, А.П., Вологовская, А.В. // ЖПС. 2007. Т 74. С. 391-398.
6. Хлудеев, И.И. Неинвазивный контроль микрогемодиализации при фотодинамическом воздействии / И.И. Хлудеев, С.К. Дик, А.С. Терех, А.В. Смирнов, В.П. Зорин // Фундаментальные науки – медицине. В 2 ч. Ч 2. : материалы Междунар. науч. конф. – Минск : Беларус. Навука, 2013. – с. 346-350
7. Le, T.M. // IEEE Transactions on Medical Imaging. 2007. Vol. 26(6). P.833-842.
8. Барун, В. В., Иванов, А. П., Вологовская, А. В., Улащик, В. С. Спектры поглощения и глубина проникновения света в нормальную и патологически измененную кожу человека // Журн. прикл. спектроскопии, Т.74, №3 – 2007. – с.387-394.