

имеет программное обеспечение и связь с портом USB персонального компьютера для передачи оцифрованных данных и их обработки.

SPECTROPHOTOMETRIC EQUIPMENT COMPLEX FOR MEASURING LIGHT CHARACTERISTICS SCATTERED BY BIOLOGICAL TISSUES AND HUMORAL MEDIA

A.P. IVANOV, V.V. BARUN, V.P. DICK

Abstract

An equipment complex having a modular construction is designed to measure spectral reflectances and angular patterns of scattered light from skin, spectral direct and diffuse transmittance coefficients of humoral media.

Keywords: light, scattering, biological tissue, humoral liquid, spectrum, diffuse reflectance coefficient.

Список литературы

1. Барун В.В., Иванов А.П., Кватернюк С.М., Петрук В.Г. Способ определения степени агрегации эритроцитов / Заявка на патент РБ на изобретение № а20100492.
2. Барун В.В., Иванов А.П., Волотовская А.В. и др. // Журн. прикл. спектр. 2007. № 74 (387).
3. Кулешова Д.В., Лощенов В.Б., Шевчик С.А. и др. // Мат. VI Межд. конф. «Лазерная физ. и оптич. технологии». Ч. 2. Гродно. 2006. С. 184.

УДК 612.15, 616.5, 57.087

ДИАГНОСТИКА МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ БИОТКАНЕЙ ПРИ АРТРИТЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ БИОСПЕКЛОВ

С.К. ДИК, Т.В. ГОРДЕЙЧУК, Д.А. ЗАВАЦКИЙ, Т.Б. МЕЛИК-КАСУМОВ*, Т.О. ПАВЛЮТЬ*, Н.И. СЧАСТНАЯ*, Е.Н. РУНКЕВИЧ, И.В. КИШКЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси»
Академическая 28, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 11 ноября 2016

Приведены результаты исследования микроциркуляции в поверхностных сосудах кожи в области правой задней конечности лабораторных крыс до и после моделирования артрита на основе метода динамического измерения биоспеклов. Исследования выполнены с использованием разработанного авторами аппаратного и программного обеспечения динамического измерения биоспеклов. Установлено, что метод динамического измерения и цифровой обработки биоспеклов кожи позволяет выявить первичные изменения в микроциркуляции, происходящие на начальной стадии развития артрита, а также отслеживать дальнейшие изменения, происходящие в процессе развития заболевания. Результаты анализа спекл-изображений согласуются с общей клинической картиной течения заболевания.

Ключевые слова: биоспеклы, спекл-исследования, спекл-изображение, микроциркуляция, артрит.

Введение

Воспалительные процессы в суставах и соединительной ткани относятся к распространенным патологиям ревматологических заболеваний, приводящих к снижению качества жизни и частой инвалидизации пациентов [1]. Разновидностью данных патологических процессов являются артриты: инфекционный неспецифический (ревматоидный) полиартрит; ревматический полиартрит; инфекционные специфические артриты (туберкулезный, сифилитический, гонорейный бруцеллезный и т.д.); анкилозирующий спондилоартрит; инфекционно-аллергический полиартрит; псориатический полиартрит; болезнь Рейтера), характеризующиеся воспалительно-деструктивным поражением суставов и внесуставными проявлениями с вовлечением в патологический процесс различных органов и систем [2, 3]. Для выявления артритов используют комплексный подход, включающий в себя лабораторную и инструментальную диагностику. В качестве инструментальных методов выделяют: рентгенологические исследования, ультразвуковую диагностику, компьютерную томографию, магниторезонансную томографию, артроскопию, миелографию. Перечисленные методы выявляют патологические процессы, характерные для более поздних стадий развития артрита, которые выражаются в необратимых изменениях в костях и суставах. В связи с этим актуальной общемедицинской задачей является разработка методов и технических средств, реализующих возможность проведения своевременной, быстрой и качественной диагностики артрита на начальных стадиях его возникновения, а также позволяющих осуществлять контроль эффективности лечения.

Теоретический анализ

Начальная стадия развития заболевания сопровождается инфицированием организма, появлением отечности, нарушением микроциркуляции. В связи с этим в качестве инструмента диагностики артрита целесообразно использовать оптические методы: данные методы позволяют оценить состояние кровотока биологических тканей на различной глубине и с различной разрешающей способностью, характеризуются бесконтактностью, высокой точностью и чувствительностью, дистанционностью, высоким пространственным разрешением и воспроизводимостью результатов [4]. Среди оптических методов перспективным является метод спекл-визуализации, использующая лазерное излучение для исследования биоспеклов кожи. Оптические свойства дермы и скорость кровотока изменяются при артрите (гипо- и гипертермия, нарушение кровоснабжения конечностей и т.п.), а происходящие изменения могут быть зафиксированы на спекл-изображениях. Следовательно, применение данных методов для диагностики состояния биологических тканей организма человека является обоснованным. 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 [5, 6]. При этом быстрота смены новых реализаций спекл-картины (динамика спеклов) зависит от скорости движения рассеивателей (клетки покровной ткани (дермиса, эпидермиса) и клетки крови) [4]. Целью данной работы является проведение исследований микроциркуляции в поверхностных сосудах кожи лабораторных крыс в области правой задней конечности при моделировании артрита на базе разработанного авторами аппаратного и программного обеспечения динамического измерения биоспеклов.

Методика исследований

Диагностические исследования артрита проводились на базе ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси» на крысах-самцах линии Wistar массой 180–220 г, содержащихся в стандартных условиях вивария. Для моделирования артрита крысе в голеностопный сустав задней правой лапы вводили 50 мкл стерильного физраствора (ОАО «Несвижский завод медицинских препаратов»), содержащего 4 мг зимозана (Sigma) [7]. Диагностику

микроциркуляции у животных выполняли с помощью разработанного авторами устройства динамического измерения биоспеклов кожи [4].

В процессе измерения динамических биоспеклов на исследуемый участок кожного покрова фокусировался пучок лазерного излучения, сформированного красным лазером мощностью 3 мВт с длиной волны 660 нм, на которой наблюдается существенное рассеяние зондируемого излучения эритроцитами [8]. Интерференционная картина рассеянного биообъектом лазерного излучения регистрировалась с помощью высокоскоростной камеры с интерфейсом GigE, CCD-матрицей и частотой 120 кадров в секунду при разрешении VGA. Оптическая система камеры представлена объективом Kowa LM50HC.

Разработанное устройство позволяет отображать и обрабатывать данные в режиме реального времени. Программное обеспечение для пространственно-временной обработки спекл-изображений на базе метода tLASCA [9] было реализовано в среде MatLab и обеспечивало расчет значения контрастности для каждого пикселя спекл-изображения для центральной точки в окне 3×3 по $n = 12$ накопленным кадрам:

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

где $\sigma_{i,j,t}$ – среднеквадратическое отклонение всех пикселей в пространственной (i, j) и временной (t) областях, полученное для векторизированной трехмерной матрицы; $I_{i,j,t}$ – среднее арифметическое значение интенсивности всех пикселей в пространственной (i, j) и временной (t) областях.

Основными особенностями разработанного и реализованного в программном обеспечении алгоритма являются: высокая скорость обработки данных, меньшие потери в разрешении итогового изображения за счет использования минимального размера окна, высокая точность результатов за счет использованием значений интенсивности пикселей из ряда предыдущих кадров [4].

Состояние микроциркуляции оценивали в поверхностных сосудах кожи крыс в области голеностопного сустава правой задней конечности. Спекл-оптические исследования выполнялись у интактных крыс и у крыс с экспериментальным артритом на первые, пятые, десятые, семнадцатые и двадцать восьмые сутки его развития.

Результаты исследований

На протяжении первых трех суток после моделирования артрита правая стопа задней конечности у всех исследуемых животных отекала (рис. 1, б, в), кожа была значительно гиперемирована, двигательная активность снижена. В среднем увеличение размеров голеностопного сустава составило 45–55 % по сравнению с начальными значениями (рис 1, а).



Рис. 1. Фотографии голеностопного сустава крысы № 5 до моделирования артрита (а), на первые (б) и на третьи сутки (в) после моделирования артрита

Результаты спекл-оптических исследований в данный период подтвердили наличие отечности и нарушения микроциркуляции в поверхностных сосудах кожи в области голеностопного сустава задней конечности (рис.2, б, в). К десятым суткам эдема со всей стопы

спадала, локализуясь только в области голеностопного сустава, происходило формирование артрита разной степени выраженности, двигательная активность постепенно восстанавливалась, однако нарушения микроциркуляции по-прежнему сохранялись (рис. 2, *з*). На семнадцатые сутки после моделирования артрита окружность голеностопного сустава продолжала постепенно увеличиваться в размерах, артрит переходил в хроническую форму, формировались артритные шишки, признаки гиперемии уменьшались либо полностью отсутствовали, кожа приобретала нормальный, здоровый оттенок (рис. 2, *д*). К двадцать восьмым суткам наблюдалось полное восстановление кровообращения в области голеностопного сустава (рис. 2, *е*).

На графике (рис. 3) приведены результаты цифровой обработки полученной видеоинформации, отражающие зависимости средней интенсивности по кадру от стадии развития заболевания.

На основании проведенных исследований были сформулированы следующие выводы.

1. Метод динамического измерения и цифровой обработки биоспектров кожи позволяет выявить первичные изменения в микроциркуляции, происходящие на начальной стадии развития артрита.

2. Метод динамического измерения и цифровой обработки биоспектров кожи чувствителен к патологическим изменениям, происходящим в конечности при дальнейшем течении заболевания.

3. Результаты анализа спекл-изображений согласуются с общей клинической картиной течения заболевания.

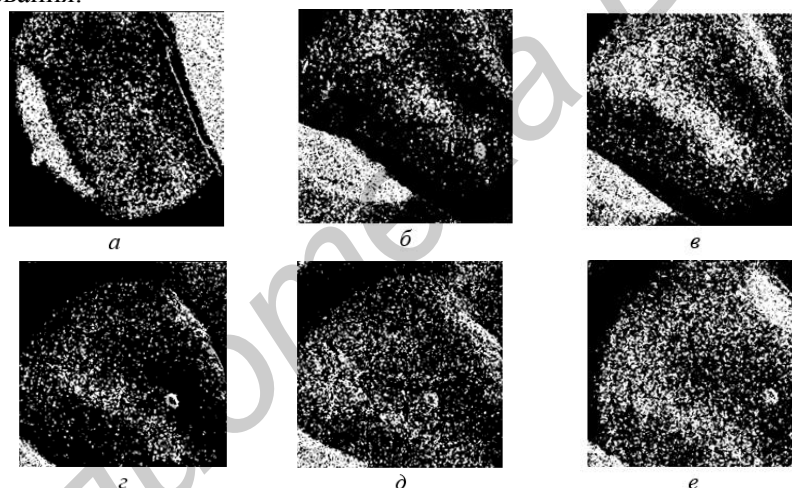


Рис. 2. Спекл-изображения голеностопного сустава крысы № 5 до моделирования артрита (*а*), на первые (*б*), третьи (*в*), десятые (*з*), семнадцатые (*д*) и двадцать восьмые (*е*) сутки после моделирования артрита

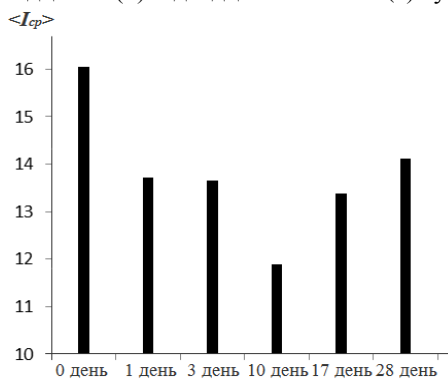


Рис. 3. График зависимости средней интенсивности по кадру от стадии развития заболевания: до моделирования артрита, на первые, третьи, десятые, семнадцатые и двадцать восьмые сутки после моделирования артрита

Таким образом, метод динамического измерения и цифровой обработки биоспектров

кожи является эффективным инструментом быстрой и качественной диагностики артрита, что в результате позволяет сформировать заключение о состоянии микроциркуляции в пораженной конечности на различных стадиях возникновения заболевания.

Заключение

Проведены исследования микроциркуляции в поверхностных сосудах кожи в области правой задней конечности лабораторных крыс до и после моделирования артрита на основе метода динамического измерения биоспеклов. Исследования выполнены с использованием разработанного авторами аппаратного и программного обеспечения динамического измерения биоспеклов. Установлено, что метод динамического измерения и цифровой обработки биоспеклов кожи позволяет выявить первичные изменения в микроциркуляции, происходящие на начальной стадии развития артрита, а также отслеживать дальнейшие изменения, происходящие в процессе развития заболевания. Результаты анализа спекл-изображений согласуются с общей клинической картиной течения заболевания. Полученные результаты подтверждают целесообразность и эффективность использования метода спекл-визуализации для оценки состояния микроциркуляции в биологических тканях на разных стадиях развития артрита, а также представляют интерес для инженеров и врачей, специализирующихся в области разработки систем диагностики и лечения различных видов артрита. Перспективным направлением развития исследований является выявление диагностически значимых количественных показателей биоспеклов кожи в норме и на разных стадиях патологии.

Авторы выражают благодарность специалистам ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси» за методическую помощь в проведении научных исследований и консультативную помощь в анализе результатов.

DIAGNOSTIK OF MICROCIRCULATION OF SURFACE BIOLOGICAL TISSUES FOR ARTHRITIS BASED ON THE METHOD OF DYNAMIC MEASUREMENTS BIOSPECKLES

S.K. DZIK, T.V. HARDZEICHUK, D.A. ZAVATSKIY, T.B. MELIK-KASUMOV,
T.O. PAVLUT, N.I. SCHASTNAYA, K.N. RUNKEVICH, I.V. KISHKEVICH

Abstract

Results of investigation of superficial vessels of the microcirculation in the skin in the area of the right hind limb of laboratory rats before and after simulation of arthritis based on dynamic measurement method of bio-speckles are presented. The studies were performed using the authors developed hardware and software dynamic measurement of biospeckles.

Keywords: biospekla, spekl-research, spekl-image, microcirculation, arthritis.

Список литературы

1. Клинические рекомендации. Ревматология / Под ред. Е.Л. Насонова. М., 2006.
2. Насонова В.А., Фоломеева О.М., Эрдес Ш.Ф. // Научно-практическая ревматология. 2003. № (1). С. 6–10.
3. Эрдес Ш., Фоломеева О.М. // Русский медицинский журнал. 2004. № 12 (20). Р. 1121–1122.
4. Дик С.К., Меженная М.М., Завацкий Д.А. и др. // Вторая Междунар. научн.-практ. конф. «BIG DATA and Advanced Analytics BIG DATA и анализ высокого уровня». Минск, 15–17 июня 2016. С. 282–289.
5. Шебалин А. // Фотоника. № 1. 2008. С. 14–18.
6. Дик С.К. Лазерно-оптические методы и технические средства контроля функционального состояния биообъектов. Минск, 2014.
7. Castano A.P., Dai T., Yaroslavsky I. et. al. // Laser Surg Med. 2007. № 39 (6). Р. 543–550.
8. Агафонов Д.Н., Тимошина П.А., Виленский М.А. и др. // Изв. Саратовского университета. 2011 Т. 11, вып. 2.
9. Le T.M. // IEEE Transactionson Medical Imaging. 2007. Vol. 26 (6). Р. 833–842.