



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-3-36-41>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 615.831.7; 615.832.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ И АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СПЕКЛ-ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАГНОСТИКЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ БИОТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА*

КИШКЕВИЧ И.В., РУНКЕВИЧ Е.Н., МЕЖЕННАЯ М.М., КАЛИЛЕЦ Т.В.,
ЛАЦЕТКО Р.А., ДИК С.К.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 31 января 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. В современной клинической практике крайне актуальны оценка состояния микроциркуляции крови и диагностика микроциркуляторных расстройств при самых различных заболеваниях: в кардиологии, диабетологии, при онкологии, в дерматологии, стоматологии, хирургии и реаниматологии. Расстройства микроциркуляции весьма разнообразны как по своему патогенезу, так и по клиническим проявлениям. Поэтому в клинике различных заболеваний и экстремальных состояний, а также при коррекции микроциркуляторных нарушений необходимы методы как оперативной оценки состояния кровотока на тканевом уровне, так и длительного его мониторинга. Интерес к исследованию микрососудистого русла системы кровообращения обусловлен значительной ролью капилляров в осуществлении основных процессов жизнедеятельности организма, в трофическом обеспечении органов и их непосредственном участии в тканевом и клеточном дыхании. От согласованной работы сердца, крупных кровеносных магистралей и сосудов микроциркуляции в целом зависит здоровье и продолжительность жизни человека. Авторами изучены современные оптические методы диагностики микроциркуляции. Обоснована целесообразность применения метода спекл-визуализации для неинвазивной экспресс-оценки состояния микроциркуляторного русла поверхностных биотканей человека. Для реализации метода спекл-визуализации разработано методическое и программное обеспечение. Экспериментально обоснованы параметры обработки, наиболее оптимальные с точки зрения соотношения пространственно-временного разрешения и времени вычислений. Целью данной работы является экспериментальная апробация разработанного методического и аппаратного обеспечения спекл-визуализации для диагностики микроциркуляции поверхностных биотканей человека. Проведены исследования состояния микроциркуляции в поверхностных сосудах кожи при прохождении физиотерапевтических процедур и при имитации патологии. Результаты проведенных исследований доказали целесообразность использования разработанного программного обеспечения для качественной диагностики состояния микроциркуляции поверхностных биотканей человека: выявлены первичные изменения в микроциркуляции, обеспечена визуализация дальнейших изменений, происходящих в процессе прохождения физиотерапевтических процедур.

Ключевые слова: микроциркуляция крови, кровоток, спекл-визуализация, спекл-изображение, контраст, неинвазивная диагностика, перфузия тканей.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

* Статья рекомендована для опубликования организационным комитетом Белорусско-Китайского конкурса научно-технического творчества студентов (г. Минск, 22 ноября – 27 декабря 2019 г.).

Для цитирования. Кишкевич И.В., Рункевич Е.Н., Меженная М.М., Калилец Т.В., Лащетко Р.А., Дик С.К. Экспериментальная апробация методических и аппаратно-программных средств спекл-визуализации в диагностике микроциркуляции поверхностных биотканей человека. Доклады БГУИР. 2020; 18(3): 36-41.

EXPERIMENTAL APPROBATION OF METHODOLOGICAL AND HARDWARE-SOFTWARE SPECK-VISUALIZATION IN DIAGNOSIS OF MICROCIRCULATION OF HUMAN SURFACE BIOLOGICAL TISSUES*

INNA V. KISHKEVICH, KATERINA N. RUNKEVICH, MARINA M. MEZHENNAYA,
TATYANA V. KALILEC, RUSLAN A. LASCHETKO, SERGEI K. DZIK

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 31 January 2020

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. In modern clinical practice, the assessment of the state of blood microcirculation and the diagnosis of microcirculatory disorders are extremely relevant in a variety of diseases: in cardiology, diabetology, oncology, dermatology, dentistry, surgery and resuscitation. Microcirculatory disorders are very diverse both in their pathogenesis and in clinical manifestations. Therefore, in the pattern of various diseases and extreme conditions, as well as in the correction of microcirculatory disorders the methods are needed for both operative assessment of the state of blood flow at tissue level and for its long-term monitoring. The interest in the study of the microvascular bed of the circulatory system is sparked by the significant role of capillaries in the implementation of the basic processes of the body's vital activity, in the trophic support of organs and their direct participation in tissue and cellular respiration. The health and life expectancy of a person depend on the coordinated work of the heart, large blood lines, and microcirculation vessels. The authors have studied modern optical methods for diagnosing microcirculation. The feasibility of using the speckle imaging method for noninvasive rapid assessment of the state of the microvasculature of human surface biological tissues has been substantiated. To implement the speckle-visualization method, methodological and software have been developed. The processing parameters that are most optimal from the point of view of the ratio of spatio-temporal resolution and computation time have been experimentally substantiated. The purpose of this work is the experimental testing of the developed methodological and hardware speckle imaging for the diagnosis of microcirculation of human surface biological tissues. The authors have carried out the studies of the state of microcirculation in the superficial blood vessels of the skin during physiotherapeutic procedures and in the imitation of pathology. The results of the studies have proved the feasibility of using the developed software for a high-quality diagnosis of the state of microcirculation of human surface biological tissues: primary changes in microcirculation are revealed, further changes to occur during physiotherapeutic procedures are visualized.

Keywords: blood microcirculation, bloodstream, speckle visualization, speckle image, contrast, tissue perfusion.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Kishkevich I.V., Runkevich E.N., Mezhennaya M.M., Kalilec T.V., Laschetko R.A., Dzik S.K. Experimental approbation of methodological and hardware-software speck-visualization in diagnosis of microcirculation of human surface biological tissues. Doklady BSUIR. 2020; 18(3): 36-41.

Введение

Для реализации метода спекл-визуализации авторами разработано методическое и аппаратно-программное обеспечение (рис. 1) [1]. Экспериментально обоснованы параметры

*The manuscript has been recommended for publication by the Organizing Committee of the Belarusian-Chinese Competition of Scientific and Technical Creativity of Students (Minsk, November 22 - December 27, 2019).

обработки. Наиболее показательными параметрами обработки являются: пространственная обработка с размером окна 5×5 ; временная обработка с количеством кадров, равным 21; пространственно-временная обработка в кубе $5 \times 5 \times 7$ [2]. В целом пространственная обработка имеет существенный недостаток – она уменьшает пространственное разрешение спекл-изображений. Временная обработка подходит для идентификации движущихся частиц, т. е. для оценки общего уровня микроциркуляции в исследуемой области, а пространственно-временная передает топологию поверхностных кровеносных сосудов.

Основные результаты исследований, их научная и практическая значимость

С целью выявления изменений в состоянии микроциркуляции в норме и при патологии были проведены исследования кровотока на основе метода спекл-визуализации при механических повреждениях поверхностных тканей. Имитацией патологии послужило механическое воздействие (нанесение царапин) на выделенный участок (размер 40×40 мм) поверхностных тканей испытуемых. В испытаниях приняли участие 10 человек: 4 женщины, 6 мужчин. Средний возраст 22 года. Регистрировалось исходное состояние микроциркуляции исследуемых участков кожи (0 мин), после завершения сеанса (10 мин) и спустя 20 мин. Наблюдались визуальные изменения на исследуемых участках после нанесения механических повреждений. Полученные спекл-изображения (рис. 1) показывают, что ведущей реакцией микроциркуляционного кровотока в условиях дисфункции кожи явилось снижение интенсивности микроциркуляции, связанное с процессом гемостаза (свертывание крови).

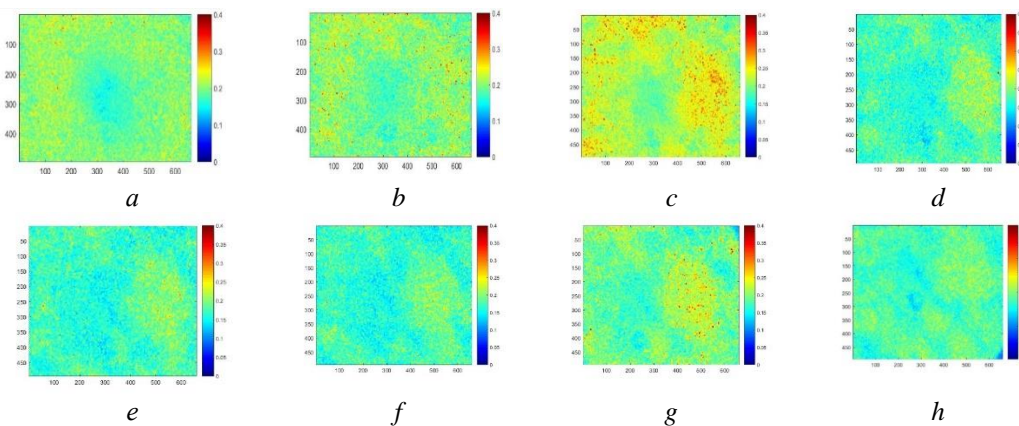


Рис. 1. Спекл-изображения микроциркуляции испытуемого В (участок кожи запястье), полученные в результате пространственно-временной обработки, до нанесения повреждений (*a*), непосредственно после нанесения повреждений (*b*), через 5 мин после нанесения повреждений (*c*), через 10 мин после нанесения повреждений (*d*), через 15 мин после нанесения повреждений (*e*), через 20 мин после нанесения повреждений (*f*), через 25 мин нанесения повреждений (*g*), через 30 мин после нанесения повреждений (*h*)

Fig. 1. Speckle images of microcirculation obtained as a result of spatio-temporal processing of test subject B (wrist skin area) before damage (*a*), immediately after damage (*b*), 5 min after damage (*c*), 10 min after application damage (*d*), 15 minutes after causing damage (*e*), 20 minutes after causing damage (*f*), after 25 minutes of causing damage (*g*), after 30 minutes of causing damage (*h*)

Исследования состояния микроциркуляции человека при проведении физиотерапевтических процедур проводились на базе инфракрасной (ИК) камеры для низкоинтенсивного воздействия на тело человека. В испытаниях приняли участие 15 человек: 9 женщин, 6 мужчин. Средний возраст 22 года. Объектом исследования являлся участок кожи на запястье и ладони правой руки пациента в форме квадрата 40×40 мм. Расстояния от источника света, а также от объектива камеры до исследуемого участка составляли 400 мм. Продолжительность сеанса составила 30 мин. Температура внутри кабины во время сеанса составляла 39°C . Регистрировалось исходное состояние микроциркуляции исследуемых участков кожи (0 мин), после завершения сеанса (5, 10, 15 мин) и спустя 20 минут. Визуальных изменений на исследуемых участках после проведения процедуры не наблюдалось.

Полученные спекл-изображения показывают, что ведущей реакцией микроциркулярного кровотока в условиях гипертермии явилась его выраженная интенсификация (рис. 3).

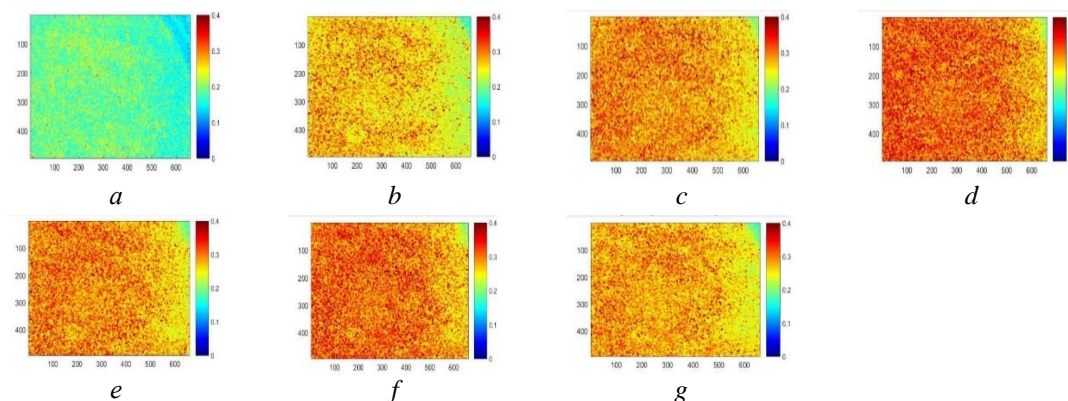


Рис. 2. Спекл-изображения микроциркуляции испытуемого А (участок кожи запястье), полученные в результате пространственно-временной обработки, до проведения сеанса ИК терапии (а), непосредственно после окончания сеанса ИК терапии (b), через 5 мин после окончания сеанса ИК терапии (c), через 10 мин после окончания сеанса ИК терапии (d), через 15 мин после окончания сеанса ИК терапии (e), через 20 мин после окончания сеанса ИК терапии (f), через 25 мин после окончания сеанса ИК терапии (g)

Fig. 2. Speckle images of microcirculation obtained as a result of spatio-temporal processing of test subject A (wrist skin area) before the IR therapy session (a), immediately after the end of the IR therapy session (b), 5 minutes after the end of the IR therapy session (c), 10 minutes after the end of the IR therapy session (d), 15 minutes after the end of the IR therapy session (e), 20 minutes after the end of the IR therapy session (f), 25 minutes after the end of the IR therapy session (g)

В табл. 1, 2 представлены значения среднего контраста испытуемых В, А.

Таблица 1. Значение среднего контраста испытуемого В (на участке кожи запястье) при имитации патологии
Table 1. The value of the average contrast of test subject B (on the wrist) at simulating pathology

До нанесения механических повреждений	Непосредственно после нанесения механических повреждений	Через 5 мин после нанесения механических повреждений	Через 10 мин после нанесения механических повреждений	Через 15 мин после нанесения механических повреждений	Через 20 мин после нанесения механических повреждений	Через 25 мин после нанесения механических повреждений	Через 30 мин после нанесения механических повреждений
0,198	0,2	0,223	0,176	0,173	0,172	0,193	0,179

Таблица 2. Значение среднего контраста испытуемого А (на участке кожи запястье) при проведении инфракрасной терапии

Table 2. The value of the average contrast of the test subject A (on the wrist) at infrared therapy

До проведения ИК терапии	Непосредственно после окончания сеанса ИК терапии	Через 5 мин после окончания сеанса ИК терапии	Через 10 мин после окончания сеанса ИК терапии	Через 15 мин после окончания сеанса ИК терапии	Через 20 мин после окончания сеанса ИК терапии	Через 25 мин после окончания сеанса ИК терапии
0,186	0,263	0,284	0,303	0,286	0,299	0,276

Заключение

Разработанное авторами методическое и аппаратно-программное обеспечение спекл-визуализации апробировано в двух сериях экспериментов по оценке состояния кровотока поверхностных тканей человека: исследование кровотока на основе метода спекл-визуализации при механических повреждениях поверхностных тканей; исследование кровотока при инфракрасной терапии. В результате исследований кровотока при механических

повреждениях поверхностных тканей установлено, что ведущей реакцией микроциркулярного русла в условиях дисфункции кожи явилось снижение интенсивности микроциркуляции, что согласуется с протекающими процессами гемостаза (свертывание крови). В результате исследований кровотока при инфракрасной терапии установлено, что ведущей реакцией микроциркулярного русла явилась его выраженная интенсификация, что отвечает условиям гипертермии.

На основании проведенных исследований доказана целесообразность применения разработанного устройства спекл-визуализации для быстрой неинвазивной диагностики микроциркуляции поверхностных тканей, включая получение оптических изображений интенсивности поверхностного кровотока и количественную его оценку на основе автоматического расчета контраста спекл-картин.

Список литературы

1. Дик С.К., Гордейчук Т.В., Завацкий Д.А., Мелик-Касумов Т.Б., Павлють Т.О., Счастливая Н.И., Рункевич Е.Н., Кишкевич И.В. Диагностика микроциркуляции поверхностных биотканей при артрите на основе метода динамического измерения биоспеклов. *Доклады БГУИР*. 2016;7(101).
2. Меженная М.М., Рункевич Е.Н., Кишкевич И.В., Калилец Т.В., Дик С.К., Лихачевский Д.В., Лащетко Р.А. Расчет контраста спекл-изображений: методическое обеспечение и программная реализация. *Доклады БГУИР*. 2018;7(117).

References

1. Dzik S.K., Gordeychuk T.V., Zavatsky D.A., Melik-Kasumov T.B., Pavlyut T.O., Schastnaya N.I., Runkevich E.N., Kishkevich I.V. [Diagnosis of microcirculation of surface biological tissues in arthritis based on the method of dynamic measurement of bio-speckles]. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR*. 2016;7(101). (in Russ.)
2. Mezhennaya M.M., Runkevich E.N., Kishkevich I.V., Kalilets T.V., Dzik S.K., Likhachevsky D.V., Lashetko R.A. [Calculation of the contrast of speckle images: methodological support and software implementation]. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR*. 2018;7(117). (in Russ.)

Вклад авторов

Кишкевич И.В. разработала методическое обеспечение для анализа спекл-изображений.
Рункевич Е.Н. провела исследование кровотока на основе метода спекл-визуализации при механических повреждениях поверхностных тканей.

Меженная М.М. руководила разработкой программного обеспечения для анализа спекл-изображений.

Калилец Т.В. руководила проведением исследований, разработала аппаратно-программные средства для их проведения, выполнила анализ результатов.

Лащетко Р.А. выполнил обработку данных.

Дик С.К. сформулировал задачу, подлежащую решению в процессе исследования.

Authors' contribution

Kishkevich I.V. has developed methodological support for speckle image analysis.

Runkevich E.N. has conducted the study of blood flow based on speckle imaging for mechanical damage to surface tissues.

Mezhennaya M.M. led the development of speckle image analysis software.

Kalilec T.V. led the research, developed hardware and software for their conduct, and performed the analysis of their results.

Lashetko R.A. has performed data processing.

Dzik S.K. has formulated the problem to be solved in the research.

Сведения об авторах

Кишкевич И.В., магистр техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Рункевич Е.Н., инженер кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Меженная М.М., к.т.н., доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Калилец Т.В., аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Лашетко Р.А., магистрант кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Дик С.К., к.ф.м., доцент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел.: +375-29-660-73-37;
e-mail: kishkevich.inna@gmail.com
Кишкевич Инна Вячеславовна

Information about the authors

Kishkevich I.V., master of Engineering and Technology of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Runkevich E.N., Electronics Engineer of Engineering Psychology and Ergonomics Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Mezhennaya M.M., PhD, Associate Professor of Engineering Psychology and Ergonomics Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kalilec T.V., PG student of Engineering Psychology and Ergonomics Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Laschetko R.A., master student of Electronic Technics and Technology Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Dzik S.K., PhD, Associate Professor of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka str., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel.: +375-29-660-73-37;
e-mail: kishkevich.inna@gmail.com
Kishkevich Inna Vyacheslavovna