

6. Сауна / Патент Японии № 3959477.
7. Infrason – сауны солнца. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infrason.ru/infrason/suncarbon/>. – Дата доступа: 15.10.2016.
8. Инфракрасные кабины Infradoc. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infradoc.spb.ru/princip.htm>. – Дата доступа: 15.10.2016.
9. Пономаренко Г.М., Турковский И.И. Биофизические основы физиотерапии. М., 2006.
10. Энциклопедия по охране и безопасности труда. Международная Организация Труда, 1988.
11. Journal of Biomedical Optics. 2007. № 12(4). P. 044012.
12. Инфракрасная зеркальная сауна / Патент РФ № 2303433.

УДК 612.15, 616.5, 57.087

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МИКРОЦИРКУЛЯЦИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ БИОТКАНЕЙ

С.Н. ТАБУНОВ*, Т.В. ГОРДЕЙЧУК, М.Х.-М. ТХОСТОВ, П.Н. НИКИТЕНКО,
Е.Н. РУНКЕВИЧ, И.В. КИШКЕВИЧ, Э.С. КАШИЦКИЙ**

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

**Санаторий «Лесное»
Витебская обл., Докишцкий район, 211741, Беларусь*

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

Поступила в редакцию 15 ноября 2016

Представлены результаты применения разработанного авторами аппаратного и программного обеспечения динамического измерения биоспектров для мониторинга микроциркуляции поверхностных биотканей человека при проведении физиотерапевтических процедур.

Ключевые слова: микроциркуляция, биоспектры, инфракрасная сауна, криосауна, барокамера.

Введение

Мониторинг состояния системы микроциркуляции как основного звена, обеспечивающего метаболический гомеостаз в органах и тканях, является одной из важных проблем современной медицинской диагностики, так как функциональные и морфологические изменения в микроциркуляторном русле наблюдаются при многих заболеваниях: сердечно-сосудистых осложнениях, атеросклерозе, сахарном диабете, хронической венозной недостаточности и других [1]. В настоящее время мониторинг микроциркуляционной функции ограничен по ряду причин, основными из которых являются: существование ограниченного числа безопасных методов исследования и сложность интерпретации получаемых данных. Для изучения системы микроциркуляции все чаще применяются оптические методы диагностики, обладающие следующими преимуществами: высокой точностью и чувствительностью, дистанционностью, высоким пространственным разрешением и воспроизводимостью результатов измерений [2]. По сравнению с традиционно используемыми в медицинской практике морфологическими исследованиями, проводящимися в большинстве случаев биопсийным методом, отражающими состояние микроциркуляции только в конкретной точке и не дающие представлений о динамических процессах, данные методы характеризуются неинвазивностью и безопасностью для

пациента [2, 3]. Возможность проведения диагностики состояния сосудистой системы и микроциркуляции крови в режиме реального времени обеспечивается рядом оптических методов: лазерная доплеровская флуометрия, доплеровская оптическая когерентная томография, интравитальная микроскопия, магнитнорезонансная томография и ангиография, транскраниальная доплерография, лазерная спекл-визуализация и др. Однако, некоторые из них имеют ряд существенных ограничений: недостаточно высокое пространственное и временное разрешение, ограниченность информации о потоке частиц, особенно при сканировании по глубине биоткани, некоторая инвазивность измерений и др. [4].

Основная часть

Одним из перспективных направлений в изучении системы микроциркуляции является лазерная спекл-визуализация, основанная на использовании лазерного излучения для исследования биоспеклов кожи. Актуальной задачей данного направления является разработка устройства и программного обеспечения для реализации метода исследований динамических биоспеклов. Данный метод обеспечивает визуализацию кровеносных сосудов и обнаружение в исследуемой области без инвазивного вмешательства относительных изменений капиллярного кровотока, связанных со снижением либо повышением его интенсивности [1, 5].

Биологические ткани являются оптически неоднородными поглощающими средами, средний показатель преломления которых выше, чем у воздуха, поэтому взаимодействие лазерного излучения с ними определяется процессами отражения, поглощения, рассеивания и проникновения [6]. Метод исследования динамических биоспеклов кожи основывается 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 изменяются при наличии в объекте движущихся рассеивателей (клетки покровной ткани (дермиса, эпидермиса) и форменные элементы крови) [7]. Оптические свойства дермы и скорость кровотока изменяются не только при развитии патологических процессов в организме человека (гипо- и гипертермия, посттравматическое нарушение кровоснабжения конечностей, диабетическая микроангиопатия, экзема, ангииты кожи и онкологические заболевания кожи), но и возникают как ответ на различные внешние физиотерапевтические факторы воздействия [3]. В качестве физиотерапевтических факторов активации терморегуляционных механизмов организма человека, сопровождающихся в том числе и изменениями в микроциркуляции, могут выступать различные физиотерапевтические процедуры: инфракрасная (ИК) терапия, криотерапия, гипербарическая оксигенация (ГБО). Влияние инфракрасного излучения на организм человека проявляется в его нагреве, который способствует расширению и увеличению количества функционирующих капилляров в покровных тканях тела человека, облегчению продвижения крови по артериям, повышению скорости кровотока [8]. Криотерапия представляет собой совокупность физических методов лечения, основанных на использовании холодного фактора для отведения тепла от тканей, органов или всего тела человека, в результате чего их температура снижается в пределах криоустойчивости (5–10 °С) без выраженных сдвигов терморегуляции организма [9]. Воздействие холодом приводит к выраженным фазовым изменениям деятельности периферических сосудов, которые проявляются сначала спазмом мелких артерий и артериол, прекапиллярных сфинктеров, замедлением скорости кровотока и повышением вязкости крови. Фазовые изменения состояния сосудов кожи и подкожной клетчатки дают адекватную тренирующую нагрузку системе кровообращения [10]. ГБО заключается в лечении кислородом под давлением в медицинских бароаппаратах. Эффект применения ГБО проявляется в увеличении кислородной емкости крови. Сущность метода заключается в повышении содержания кислорода в тканях организма, что достигается вдыханием кислорода под повышенным давлением. Под влиянием кислородного насыщения стимулируются и нормализуются биохимические процессы в мозге, миокарде, печени. ГБО мобилизует собственные системы организма, отвечающие за

обезвреживание и выведение токсинов, повышает метаболические системы защиты мозга, сердца, печени, почек от отравляющего воздействия аммиака при нарушении кровоснабжения органов. В данной работе представлены результаты применения разработанного авторами аппаратного и программного обеспечения динамического измерения биоспектров для мониторинга микроциркуляции человека до и после проведения физиотерапевтических процедур.

Теоретический анализ

Диагностика состояния кожного покрова человека выполнялась на базе устройства динамического измерения биоспектров кожи с последующей цифровой обработкой спекл-изображений [7]. Исследования проводились на базе ИК-камеры (рис. 1, а), представляющей собой кабину с входной дверью, воздушными отверстиями и размещенными внутри нее источниками инфракрасного излучения, рефлекторами для защиты головы человека от действия ИК-излучения, датчиками температуры и влажности, таймером; барокамеры «Vitaeris 320 Hyperbaric Chamber» (рис. 1, б); криосауны «Kältekammer -110°C» (рис. 1, в). Объектом исследования являлся участок кожи на пальце правой руки в форме квадрата 10×10 мм. Расстояния от источника света, а также от объектива камеры до исследуемого участка составляли 275 мм.



Рис. 1. Физиотерапевтические аппараты: а – ИК-камера для многозонального низкоинтенсивного воздействия; б – барокамера «Vitaeris 320 Hyperbaric Chamber»; в – криосауна «Kältekammer -110 °C»

На первом этапе, исследования проводились в ИК камере для многозонального низкоинтенсивного воздействия на тело человека. Регистрировалось исходное состояние микроциркуляции исследуемых участков кожи (0 мин), после завершения сеанса (30 мин), и спустя 30 мин после завершения сеанса (60 мин). Температура внутри кабины во время сеанса в кабине составляла 39 °C. 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. 2).

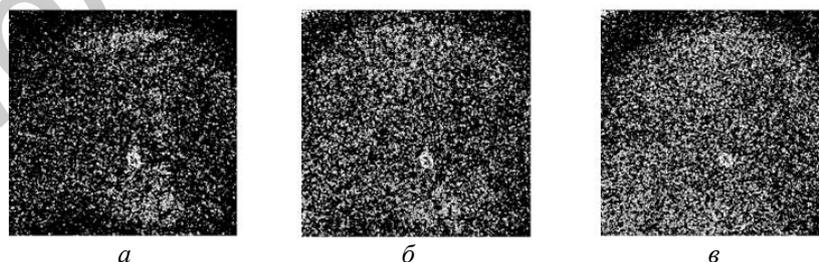


Рис. 2. Спекл-изображения микроциркуляции до проведения сеанса ИК терапии (а), непосредственно после окончания сеанса ИК терапии (б), через 30 мин после окончания сеанса ИК терапии (в)

На втором этапе исследования проводились в Барокамере «Vitaeris 320 Hyperbaric Chamber». Продолжительность сеанса составила 20 мин. Регистрация микроциркуляции проводилась в исходном состоянии (0 мин), после процедуры (20 мин), спустя 30 мин после процедуры (50 мин). После процедуры гипербарической оксигенации наблюдается значительное снижение кровотока, который уже через 30 мин после процедуры восстанавливается (рис. 3).

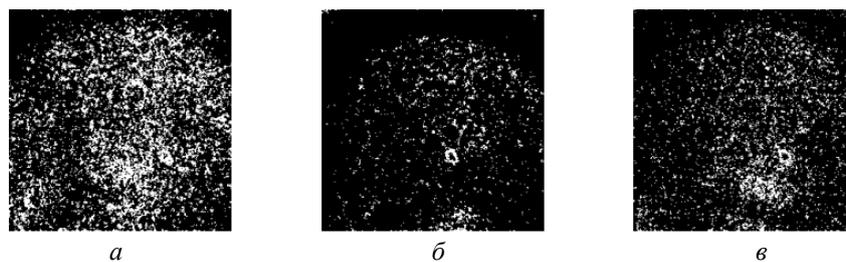


Рис. 3. Спекл-изображения микроциркуляции до проведения сеанса процедуры гипербарической оксигенации (*а*), непосредственно после окончания сеанса процедуры гипербарической оксигенации (*б*), через 30 мин после окончания сеанса процедуры гипербарической оксигенации (*в*)

На третьем этапе, исследования проводились в криосауна «Kältekammer -110°C ». Испытуемый помещался в кабину на 3 мин, температура внутри кабины составляла -110°C . Полученные в результате обработки спекл-изображения (рис. 4) отображают снижение процессов микроциркуляции в поверхностных тканях человека непосредственно после окончания процедуры криотерапии и постепенное их восстановление спустя 30 мин.

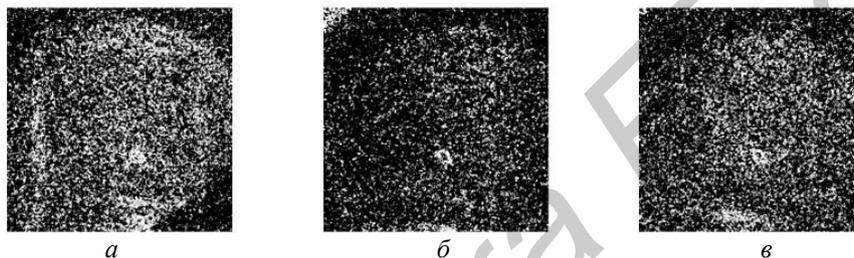


Рис. 4. Спекл-изображения микроциркуляции до проведения сеанса криотерапии (*а*), непосредственно после окончания сеанса криотерапии (*б*), через 30 мин после окончания сеанса криотерапии (*в*)

На основании проведенных исследований были сформулированы следующие выводы.

1. Метод динамического измерения и цифровой обработки биоспеклов кожи позволяет проводить неинвазивную диагностику в режиме реального времени и получать оптические изображения внутренней структуры поверхностного кровотока. 2. Метод динамического измерения и цифровой обработки биоспеклов кожи позволяет выявить изменения в микроциркуляции, происходящие при проведении различных физиотерапевтических процедур. 3. Результаты анализа спекл-изображений согласуются с общей реакцией микроциркулярного кровотока в условиях различных воздействий на покровные ткани человека. 4. Результаты анализа спекл-изображений согласуются с общей реакцией микроциркулярного кровотока в условиях различных воздействий на покровные ткани человека. Мониторинг состояния системы микроциркуляции при воздействии различных физиотерапевтических факторов позволяет оценить эффективность проводимых мероприятий по профилактике и лечению функциональных систем человека. С другой стороны, мониторинг состояния системы микроциркуляции содержит диагностическую информацию, так как позволяет оценить происходящие в организме естественные адаптивные процессы терморегуляции. Значения времени для возвращения уровня микроциркуляции в исходное состояние после окончания физиотерапевтической процедуры варьируются у каждого человека, однако важным критерием нормального функционирования регуляторных механизмов является тенденция к восстановлению исходных функциональных показателей и их последующее достижение в пределах временных параметров нормы. Иная тенденция к восстановлению функциональных показателей является поводом для прекращения сеансов физиотерапевтических процедур и последующей консультации с врачом.

Заключение

Разработанное авторами аппаратное и программное обеспечение динамического измерения биоспеклов использовано для мониторинга состояния системы микроциркуляции при воздействии различных физиотерапевтических факторов. Результаты исследований показали целесообразность

применения метода регистрации и анализа биоспеклов для оценки эффективности проводимых физиотерапевтических процедур. Кроме того, указанный метод может быть использован в разработке лечебно-диагностических комплексов, основанных на воздействии физиотерапевтических факторов, для обеспечения функций диагностики и контроля состояния микроциркуляции поверхностных биотканей, а также управления режимами воздействия.

THE SPEKL-VISUALIZATION METHOD IN THE MICROCIRCULATION RESEARCH

S.N. TABUNOV, T.V. HARDZEICHUK, M.H.-M. TKHOSTOV, P.N. NIKITENKO,
K.N. RUNKEVICH; I.V. KISHKEVICH, E.S. KASHITSKI

Abstract

In this operation results of the application developed by authors hardware and the software of dynamic measurement of biospeckles for monitoring of microcirculation of the person when holding physiotherapeutic procedures are provided.

Keywords: microcirculation, biospeckles, IR sauna, cryosauna, pressure chamber.

Список литературы

1. Тимошина П.А. Мониторинг микроциркуляции крови методом спекл-контрастной визуализации в исследованиях модельных патологий на животных: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Саратов, 2016.
2. Дик С.К. Лазерно-оптические методы и технические средства контроля функционального состояния биообъектов. Минск, 2014.
3. Штиршайдер Ю.Ю., Минченко А.В., Катунина О.Р. и др. // Вестн. дерматологии и венерологии. 2011. Вып. № 5. С. 41–53.
4. Виленский М.А., Агафонов Д.Н., Зимняков Д.А. и др. // Квантовая электроника. 2011. Т. 41, № 4. С. 324–328.
5. Семячкина-Глушаковская О.В., Абдурашитов А.С., Синдеев С.С. и др. // Квантовая электроника. 2016. Т. 46, № 6. С. 496–501.
6. Барун В.В., Иванов А.П., Волотовская А.В. // ЖПС. 2007. Т. 74. С. 391–398.
7. Дик С.К., Меженная М.М., Завацкий Д.А. и др. // Сб. матер. второй Междунар. научн.-практ. конф. «BIG DATA and Advanced Analytics BIG DATA и анализ высокого уровня» Минск, 15–17 июня 2016. С. 282–289.
8. Пономаренко Г.М., Турковский И.И. Биофизические основы физиотерапии. М., 2006.
9. Физиотерапия: национальное руководство / Под ред. Г.Н. Пономаренко. М., 2009.
10. Волотовская А.В., Колтович Г.К., Козловская Л.Е. и др. Криотерапия. Минск, 2010.

УДК 608.2

ЗАЩИТА МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ ПАЦИЕНТОВ

А.А. ГИВОЙНО, В.Н. РОСТОВЦЕВ

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

Республиканский научно-практический центр медицинских технологий,
информатизации, управления и экономики здравоохранения
П. Бровки, 7а, Минск, 220600, Беларусь

Поступила в редакцию 14 ноября 2016

Приведен один из вариантов защиты медицинской информации с помощью архиватора данных, кодирующего информацию по биометрии глаза. Показан принципиальный