

hemostasiological status of the patients. A comparative analysis of morpho-functional platelet parameters has shown the increase of intravascular platelet activation and the formation of spontaneous platelet aggregates in bloodstream in patients with unstable angina.

*Keywords:* atomic force microscopy, platelets, ischemic heart disease.

### Список литературы

1. Radmacher M., Fritz M., Kacher C.M. et al. // Biophys. J. 1996. P. 556–567.
2. Liu X., Li Y., Zhu H. et al. // Platelets. 2015. Vol. 26 (5). P. 480–485.
3. Sorrentino S., Studt J.-D., Horev M. et al. // Cell Adhesion and Migration. 2016. Vol. 10. P. 568–575.

УДК 615.831.7; 615.832.1

## УСТРОЙСТВО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С ЦЕЛЬЮ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЕГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

А.Н. ОСИПОВ<sup>1</sup>, М.Х.-М. ТХОСТОВ<sup>1</sup>, М.М. МЕЖЕННАЯ<sup>1</sup>,  
Н.И. СТЕТЮКЕВИЧ<sup>2</sup>, В.Ф. ШЕВЦОВ<sup>2</sup>, В.А. КУЛЬЧИЦКИЙ<sup>3</sup>,  
Д.А. КОТОВ<sup>1</sup>, Н.С. ДАВЫДОВА<sup>1</sup>, В.Ю. ДРАПЕЗА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

<sup>2</sup>Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси  
П. Бровка, 15, Минск, 220013, Беларусь

<sup>3</sup>Институт физиологии НАН Беларуси  
Академическая, 28, Минск, 220072, Беларусь

Поступила в редакцию 15 ноября 2016

Разработано устройство для восстановления функциональных резервов человеческого организма в лечебной, оздоровительной и спортивной практике посредством воздействия низкоинтенсивным инфракрасным (ИК) излучением. Устройство представляет собой замкнутую кабину с входной дверью, системой вентилирования воздуха и размещенными внутри нее ИК-источниками, рефлекторами для защиты головы человека от действия ИК-излучения, датчиками тепловой нагрузки и влажности, таймером. ИК-кабина обеспечивает повышение эффективности воздействия ИК-излучения на тело человека за счет использования излучателей преимущественно ближнего ИК-диапазона. Конструктивное исполнение ИК кабины позволяет устранить избыточную тепловую нагрузку на сердечно-сосудистую систему человека и минимизировать энергозатраты.

*Ключевые слова:* инфракрасное излучение, инфракрасная кабина, коротковолновой диапазон инфракрасного излучения.

### Введение

Перспективным направлением развития восстановительной медицины является использование инфракрасного (ИК) излучения в клинической и спортивной практике для проведения тепловых процедур. Данный метод реализуется посредством ИК-кабины, в которой размещается человек.

В отличие от традиционных саун и бань ИК-кабина характеризуется прямым воздействием энергии излучения тела человека ИК-излучением без промежуточного теплоносителя: до 90 % энергии, генерируемой излучателями, поступает непосредственно в тело человека, и только 10 % идет на нагрев воздуха [1]. Этим объясняется невысокая относительно традиционной бани температура в ИК-сауне (45–50 °С) [1-3]. ИК излучатели с герметичной колбой не сжигают кислород в кабине, тем самым не допускают обезвоживания и иссушения кожи. К другим преимуществам ИК-кабин относятся их эксплуатационные показатели: время готовности (10 мин), потребляемая мощность (0,9–1,8 кВт), абсолютная пожаробезопасность [1, 2]. ИК-излучение способствует расширению кровеносных сосудов, интенсификации обмена веществ, восстановлению иммунной системы, улучшению питания мышц кислородом, тем самым обеспечивая противовоспалительный, рассасывающий, противоспазматический и обезболивающий эффекты. Прогревая ткани тела, ИК излучение вызывает самопроизвольное потоотделение. При этом потовая жидкость состоит на 80 % из воды и на 20 % из твердых веществ (жир, кислоты, токсины, холестерин), в то время как при потоотделении в обычной сауне пот содержит 95 % воды и 5 % твердых веществ [1].

Достижимый терапевтический эффект воздействия ИК-излучения зависит от начального функционального состояния человека и адекватного выбора параметров облучения. Существующие ИК-кабины преимущественно воздействуют длинноволновым диапазоном ИК-спектра [4–8], способным разогревать только верхние слои кожи без глубокого проникновения в ткани человека [1, 9–11]. Кроме того подобная ИК-терапия противопоказана при артериальной гипертензии и сердечно-сосудистой недостаточности, так как используемые ИК-излучатели генерируют избыточный поток энергии, существенно повышая температуру тела человека. При этом показатели энергопотребления остаются достаточно высокими.

Современный уровень развития технологий позволяет совершенствовать медицинскую технику, в том числе в направлении решения вышеуказанных проблем. В данной работе разработаны технические средства низкоинтенсивного воздействия инфракрасным излучением преимущественно ближнего ИК-диапазона для повышения лечебного эффекта ИК-облучения тела человека и оптимизации эксплуатационных характеристик ИК-кабины.

### Основная часть

Традиционное представление о выборе спектрального диапазона облучения в ИК терапии основано на том, что организм человека излучает ИК-энергию в длинноволновом диапазоне с максимумом на длине волны 10 мкм. Предполагается, что применение низкотемпературных ИК излучателей, генерирующих энергию в длинноволновом диапазоне, обеспечит максимальное поглощение ИК излучения [4–8]. Однако такой подход не учитывает важной особенности реальных биологических объектов, представляющих собой сложную систему крупных молекул с собственными спектрами излучения. В общем случае для такой системы не выполняется закон Кирхгофа, т.е. спектры поглощения и спектры излучения этой системы различны. Вследствие этого диапазон наибольшего проникновения ИК излучения в человеческий организм не находится в области максимума длин волн излучения, генерируемого поверхностью тела человека [1]. Кожа человека представляет собой физиологический экран, прозрачность которого для инфракрасных лучей зависит от длины волны (рис. 1, а): ближние инфракрасные лучи (до 1,5 мкм) характеризуются максимальной проникающей способностью в кожные покровы (60–70 мм), а для инфракрасных лучей с длиной волны более 5 мкм проникающая способность резко снижается до 0,3–0,5 мм, т.е. они практически не проникает в тело человека [9]. В подтверждение данной закономерности на рис. 1, б приведены спектры поглощения оптического излучения для воды и тканей человеческого организма в зависимости от длины волны (ткань человеческого организма состоит из воды на 70 %, что объясняет схожесть характеристик поглощения). В соответствии с рис. 1, б наибольшее проникновение оптического излучения в ткани человеческого организма наблюдается в диапазоне от 0,7 до 1,8 мкм, и этот диапазон называется «окном терапевтической прозрачности» [1].

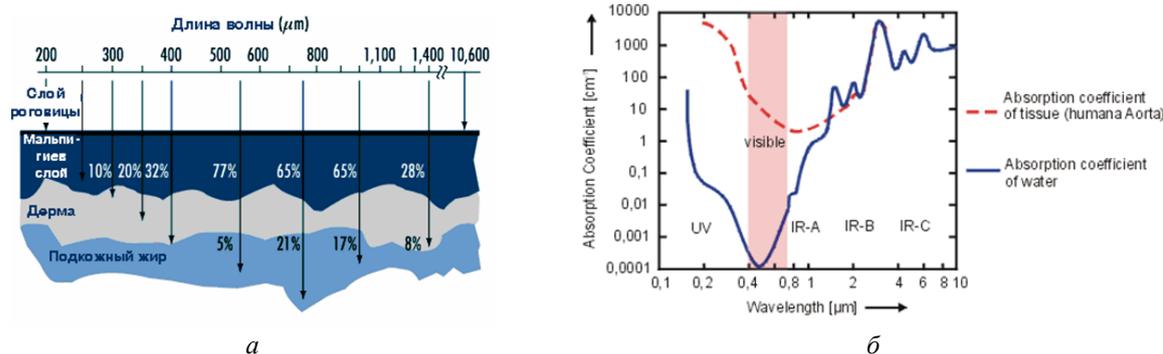


Рис. 1. Проникновение волн различной длины в ткани организма человека (а), коэффициенты поглощения оптического излучения различной длины волны водой и тканью человеческого организма (б) [11]

Для проведения тепловых процедур посредством воздействия на организм человека ИК излучением преимущественно в ближнем ИК-диапазоне разработано устройство, представляющее собой прямоугольную замкнутую кабину (рис. 2).

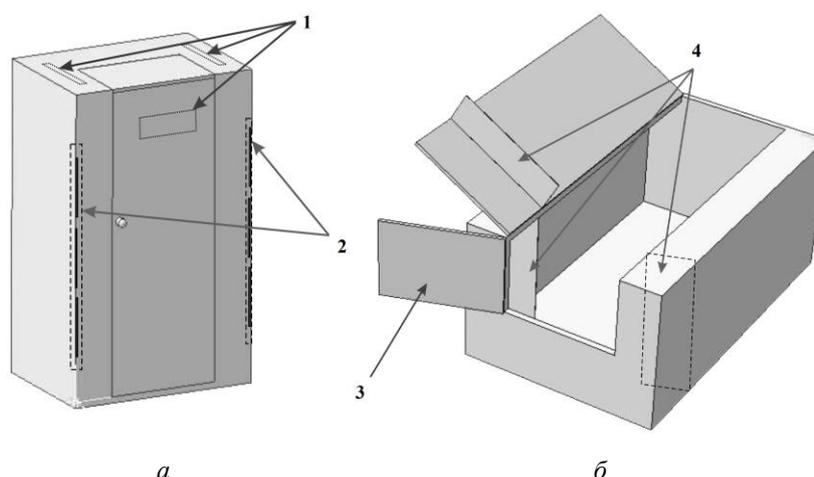


Рис. 2. Схематичное изображение ИК-камеры для проведения тепловых процедур: в вертикальном положении (а) и горизонтальном положении (б): 1 – открывающиеся окна для обеспечения притока воздуха; 2 – держатели ИК излучателей; 3 – откидная крышка для удобства входа в горизонтально расположенную кабину; 4 – рефлекторы для защиты головы человека от нежелательного перегрева

Устройство имеет входную дверь и откидную крышку, систему вентиляции (открывающиеся окна на уровне головы человека) для обеспечения притока воздуха извне кабины во время проведения тепловых процедур, рефлекторы для защиты головы человека от действия ИК-излучения. Внутри ИК-кабины размещаются источники инфракрасного излучения, датчики тепловой нагрузки и влажности, таймер. Рабочие положения ИК-кабины: вертикальное и горизонтальное.

Максимальный физиотерапевтический эффект достигается за счет использования ИК-излучателей коротковолнового диапазона, обеспечивающих наибольшую глубину проникновения ИК-излучения в ткани человеческого организма. Для быстрого разогрева кабины в устройстве дополнительно размещены источники средневолнового диапазона.

Материал внутренней обшивки кабины – теплоизоляция с зеркальным в ИК диапазоне покрытием из алюминиевой фольги – снижает энергетические затраты и позволяет повысить эффективность прогревания за счет отражения внутренней поверхностью кабины ИК-излучения и перенаправления его в центральную зону. Материал внешней обшивки кабины – поликарбонат – предпочтителен с точки зрения дизайна, обеспечивает легкость и мобильность конструкции (рис. 3). ИК-кабина рассчитана на одного человека. Общий вес устройства составляет 11 кг, что обеспечивает возможность ее перемещения и изменения положения одним человеком.

Наличие в составе ИК-кабины понижающего трансформатора обеспечивает защиту пользователя от случайного поражения электрическим током при проведении терапевтических процедур в случае возникновения неисправности в окружающем оборудовании.

Конструктивное исполнение ИК-кабины обеспечивает следующие ее преимущества по сравнению с аналогичными известными устройствами, описанными ниже:

1) максимальная глубина проникновения ИК-излучения в ткани человеческого организма за счет использования ИК-излучателей преимущественно ближнего ИК-диапазона;

2) мобильность: конструкция ИК-кабины и ее вес позволяют проводить оздоравливающие тепловые процедуры как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях, в то время как выпускаемые ИК-сауны характеризуются вертикальной ориентацией в пространстве при проведении процедур [1, 2, 7, 8, 12]. При этом обеспечивается возможность изменения положения и перемещения устройства силами одного человека;

3) низкое энергопотребление: потребляемая мощность ИК-кабины составляет 0,4 кВт/ч, что значительно ниже по сравнению с существующими аналогами (не менее 0,9 кВт/ч) [1, 2].

4) температура воздуха внутри ИК-кабины задается посредством изменения мощности электропитания источников ИК-излучения и поддерживается на уровне 39 °С в области туловища пациента (что существенно ниже существующих серийных аналогов – более 45 °С) [2, 3] и 32 °С в области головы (из-за наличия защитных рефлекторов и воздушных окошек, расположенных на уровне головы). Температура 39 °С в области туловища является оптимальной для имитации естественной реакции организма человека на подъем глубокой температуры тела во время развития системного воспалительного процесса и активации при этом защитных нейрогуморальных механизмов. При достижении глубокой температуры тела 39 °С у большинства людей обычно не возникает побочных негативных реакций, в первую очередь, со стороны сердечно-сосудистой системы. Это позволяет расширить сферу применения ИК терапии за счет устранения ограничений на использование инфракрасных камер при артериальной гипертензии, сердечно-сосудистой недостаточности.

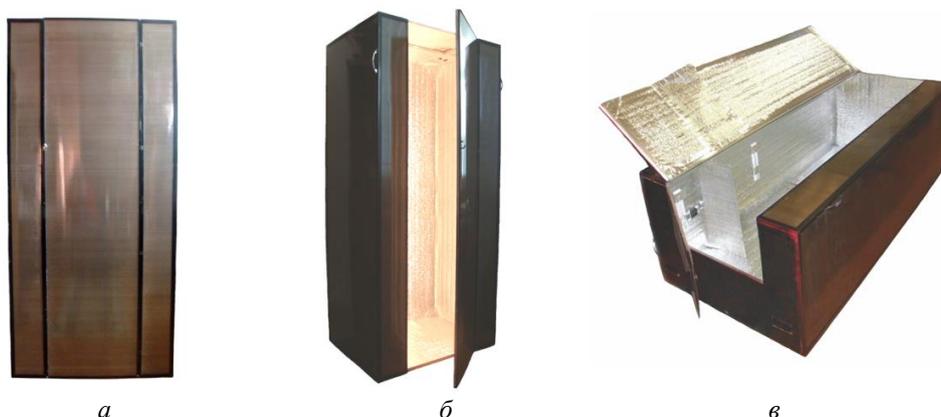


Рис. 3. ИК-камера для проведения тепловых процедур в вертикальном положении: с закрытой (а) и открытой (б) дверью, в горизонтальном положении (в)

Для мониторинга физиологических показателей пользователя предусмотрено использование биометрических датчиков, регистрирующих следующие параметры: пульс, систолическое, диастолическое и среднее артериальное давление, частоту дыхания, глубокую температуру тела (в ротовой полости). Во время мониторинга характер изменения перечисленных биопараметров свидетельствует о происходящих в организме естественных адаптивных процессах терморегуляции, без перехода в режим перегрузки и насыщения. Значения времени для возвращения биопараметров в исходное состояние после окончания ИК-процедуры переменны у каждого человека (от 5 до 30 мин), но не должны превышать 30 мин. Величины отклонений пульса, артериального давления, частоты дыхания, глубокой температуры тела от зафиксированных перед началом процедуры значений также переменны в процессе терапевтического сеанса, однако основным критерием нормального функционирования регуляторных механизмов является появление быстрой тенденции (не

более, чем через 2–3 мин) к восстановлению функциональных показателей. Иная тенденция к восстановлению функциональных показателей является поводом для прекращения ИК-процедуры и последующей консультации с врачом.

В связи с вышеизложенным целесообразно проводить контроль изменения физиологических показателей пользователя и использовать полученную информацию для автоматического управления параметрами ИК-процедуры, начиная от регулировки температурных режимов и заканчивая полным прекращением процедуры при необходимости. Целью дальнейших работ по усовершенствованию предлагаемого устройства является реализация указанной задачи.

### Заключение

Разработано устройство для восстановления функциональных резервов человеческого организма в лечебной, оздоровительной и спортивной практике посредством воздействия низкоинтенсивным инфракрасным излучением. Устройство представляет собой замкнутую кабину с входной дверью, системой вентилирования воздуха и размещенными внутри нее ИК-источниками, рефлекторами для защиты головы человека от действия ИК-излучения, датчиками тепловой нагрузки и влажности, таймером. ИК-кабина обеспечивает повышение эффективности воздействия ИК-излучения на тело человека за счет использования излучателей преимущественно ближнего ИК-диапазона. Конструктивное исполнение ИК-кабины позволяет устранить избыточную тепловую нагрузку на сердечно-сосудистую систему человека и минимизировать энергозатраты. Результаты работы представляют интерес для инженеров, специализирующихся в области разработки технических средств воздействия ИК-излучения на тело человека, а также для врачей физиотерапевтов и кардиологов. Целью дальнейших работ по усовершенствованию предлагаемого устройства является реализация автоматического управления параметрами ИК-процедуры на основе мониторинга физиологических показателей пользователя.

## THE DEVICE OF LOW-INTENSIVE INFLUENCE BY INFRARED RADIATION ON THE HUMAN BODY FOR RESTORATION OF HIS FUNCTIONAL STATE

A.N. OSIPOV, M.H.-M. TKHOSTOV, M.M. MEZHENNAYA, N.I. STETYUKEVICH,  
V.F. SHEVTSOV, V.A. KULCHITSKY, D.A. KOTOV, N.S. DAVYDOVA, V.Yu. DRAPEZA

### Abstract

The device has been developed to restore the human body functional state. The device provides the effect of low intensity infrared (IR) radiation. It is a closed cabin with door, air ventilation system, IR sources, reflectors to protect a person's head, sensors of temperature and humidity, timer. Infrared cabin increases the efficiency of IR heating of human body through the use of the primarily near infrared range emitters. The advantages are also the lack of excessive heat load on the cardiovascular system and minimize energy costs.

*Keywords:* infrared radiation, an infrared cabin, the short-range infrared radiation.

### Список литературы

1. Инфракрасные сауны Uborg. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.uborgsauna.ru>. – Дата доступа : 15.10.2016.
2. Воронежский каталог инфракрасных саун и кабин. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iksauna36.ru/manufacturer.php>. – Дата доступа : 15.10.2016.
3. Сауна и генератор дальнего ИК излучения для нее / Патент WO № 2005060355.
4. Дальнее инфракрасное излучение и лучи жизни. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vitalrays.ru/archives/126>. – Дата доступа : 15.10.2016.
5. Сауна / Патент Германии № 10151789.

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