



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-3-14-19>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 615.831.7; 615.832.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РЕЖИМА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРАПИИ*

ВОРОБЕЙ А.В., ОСИПОВ А.Н., ТХОСТОВ М.Х-М., ТЕЛЕШ И.А.

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

Поступила в редакцию 26 января 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Авторами разработана инфракрасная (ИК) кабина с биотехнической обратной связью, решающая задачи повышения эффективности и безопасности процедуры ИК прогревания. Целевая аудитория для разработанной ИК кабины включает два сегмента: 1) молодые люди, ведущие активный образ жизни (использование ИК кабины в целях оздоровления); 2) люди зрелого и пожилого возраста, в том числе люди с сердечно-сосудистыми заболеваниями (использование ИК кабины с лечебной целью). Проведены исследования по определению эффективного режима воздействия ИК излучения на организм человека. Для оценки эффективности воздействия предложен коэффициент, равный отношению потери веса пользователя к максимальной рабочей температуре воздуха в ИК кабине на уровне тела человека. Установлено, что эффективное прогревание человека происходит при рабочих температурах воздуха внутри ИК кабины (на уровне тела человека) в интервале от 40 до 42 °С. Такой температурный режим уже способствует интенсивному потоотделению, но еще не приводит к дискомфортным ощущениям и нежелательной нагрузке на сердечно-сосудистую систему. Началом ИК прогревания следует считать момент выхода ИК кабины на рабочую температуру 40 °С. На основании мониторинга показателей теплового режима ИК кабины необходимо автоматически поддерживать внутри нее температурный режим от 40 до 42 °С во время периода ИК прогревания. Контроль состояния физиологических параметров пользователя при проведении ИК терапии и автоматическая корректировка мощности ИК излучателей позволят сделать процедуру ИК прогревания безопасной для пользователей. Разработанная ИК кабина может быть использована в санаторно-курортных организациях и учреждениях здравоохранения Республики Беларусь.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, инфракрасная кабина, мониторинг физиологических показателей человека, эффективный режим работы инфракрасной кабины, потоотделение.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Воробей А.В., Осипов А.Н., Тхостов М.Х-М., Телеш И.А. Экспериментальное обоснование эффективного режима воздействия инфракрасного излучения на организм человека при проведении инфракрасной терапии. Доклады БГУИР. 2020; 18(3): 14-19.

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

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE EFFECTIVE MODE OF INFRARED RADIATION EXPOSURE ON HUMAN BODY DURING INFRARED THERAPY*

ANASTASIYA V. VOROBAY, ANATOLIY N. OSIPOV, MICHAEL H-M. THOSTOV,
INNA A. TELESH

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

Submitted 26 January 2020

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. The authors developed an infrared (IR) cabin with biotechnical feedback, which solves the problems of increasing the efficiency and safety of IR heating procedure. The target audience for the developed IR cabin includes two groups: 1) young people who embrace an active lifestyle (using the IR cabin for health purposes); 2) mature and elderly people, including those with cardiovascular diseases (using the IR cabin for therapeutic purposes). The research conducted determines the effective mode of infrared radiation exposure to a human body. To assess the effectiveness of exposure the authors propose a coefficient equal to the ratio of weight loss of the user to the maximum operating temperature in the infrared cabin at body level. It is established that a person experiences effective heating at the working temperature of air inside the IR cabin (at body level) in the range from 40 to 42 °C. This temperature regime already contributes to intense sweating, but does not yet lead to discomfort and undesirable load on the cardiovascular system. The beginning of the IR heating should be considered the moment when the IR cabin reaches the operating temperature of 40 °C. Based on the monitoring of indicators of the thermal conditions of the IR cabin, it is necessary to automatically maintain the temperature range from 40 to 42 °C during IR heating. Control of the user's physiological parameters during IR therapy and automatic correction of the power of IR radiators will make the IR heating procedure safe for users. The developed IR cabin can be used in health resort and healthcare institutions of the Republic of Belarus.

Keywords: infrared radiation, infrared cabin, near infrared range, monitoring of human parameters, effective operating mode of infrared cabin, sweating.

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

For citation. Vorobey A.V., Osipov A.N., Thostov M. H-M., Telesh I.A. Experimental substantiation of the effective mode of infrared radiation exposure on human body during infrared therapy. Doklady BGUIR. 2020; 18(3): 14-19.

Введение

Инфракрасная кабина предназначена для быстрого, эффективного и глубокого внутреннего прогрева организма человека инфракрасным (тепловым) излучением до интенсивного потоотделения [1]. В табл. 1 представлены существующие аналоги ИК кабины и их характеристики. Недостатками аналогов являются: высокая рабочая температура ИК кабины, отсутствие контроля за состоянием физиологических показателей пользователя, высокое потребление мощности при проведении ИК терапии, преимущественно сидячее положение пользователя при проведении ИК терапии¹.

Коллективом авторов (М.Х-М. Тхостов, А.Н. Осипов, М.М. Меженная, В.Ю. Драпеза, А.В. Воробей) разработана инновационная инфракрасная кабина с биотехнической обратной связью, решающая задачу повышения эффективности и безопасности физиотерапевтической

*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).

¹ Mezhenneya M.M., Vorobey A.V., Drapeza V.Y., Osipov A.N., Dick S.K., Thostov M. X.-M. Profile Forming of Infrared Cabin User's Biomedical Indicators. ICNBME-2019: 4-я Международная конференция по нанотехнологиям и биомедицинской инженерии. 2019; 77: 421-425.

процедуры ИК прогревания [1]. По сравнению с существующими аналогами разработанная ИК кабина обладает следующими преимуществами: коротковолновой диапазон ИК излучения (0,75–1,5 мкм), низкий рабочий диапазон температур ИК кабины (40–42 °С), низкое энергопотребление (потребляемая мощность составляет 0,4 кВт/ч), автоматическое управление мощностью ИК излучателей на основании регистрации физиологических показателей пользователя в реальном режиме времени [2], удобство конструкции (небольшой вес ИК кабины – 11 кг) [1].

Таблица 1. Существующие аналоги ИК кабины и их характеристики
Table 1. Existing analogues of the infrared cabin and their characteristics

Бренд ИК кабины IR cabin brand	Диапазон ИК излучения, мкм IR radiation range, μm	Рабочая температура, °С Operating temperature, °C	Рабочее положение ИК кабины Operating position of IR cabin	Мощность, Вт Power, W	Контроль теплового режима Thermal conditions control	Контроль состояния человека Monitoring of human state	Размещение человека Position of person
Harvia (Финляндия)	4–17	60	вертикальное	1340–1820	нет	нет	сидя/стоя
WELLNESS (Австрия)	4–17	40–60	вертикальное	1500–1750	нет	нет	сидя/стоя
Balio (Россия)	4–4,5	До 45	вертикальное	550–825	нет	нет	сидя
TW (Германия)	4–4,5	60–65	вертикальное	600–800	автоматический	нет	сидя
Коу (Россия)	2–10	35–50	вертикальное	1500–1820	нет	нет	сидя/стоя
Uborg (Россия)	0,7–3	35–47	вертикальное	1500–1850	нет	нет	сидя/стоя
KLAFS (Германия)	4–4,5	40–45	вертикальное	1280–1900	автоматический	нет	сидя/лежа

С целью результативного прогревания организма человека (для интенсивного выведения токсинов за счет усиленного потоотделения) требуется экспериментально установить эффективный режим воздействия инфракрасного излучения на организм человека с последующей его реализацией в разработанной ИК кабине.

Основные результаты исследований, их научная и практическая значимость

Для исследования воздействия ИК излучения на физиологические параметры человека были проведены три серии экспериментов. В рамках всех экспериментов пользователь размещался в горизонтально расположенной ИК кабине. На теле пользователя фиксировались датчики температуры, пульса и давления для контроля физиологических параметров. Далее выполнялось включение ИК кабины и датчиков теплового режима. В рамках исследования проводились и анализировались следующие процессы: разогрев ИК кабины, собственно ИК прогревание, а также восстановление физиологических показателей пользователя по окончании процедуры. В течение каждого этапа пользователь находился в ИК кабине, выполнялась регистрация параметров теплового режима, а также физиологических показателей человека. До начала и после окончания исследования измерялся вес пользователя для оценки интенсивности потоотделения, что является косвенным показателем эффективности процедуры ИК терапии.

В первой серии экспериментов приняло участие 8 человек (7 мужчин, 1 женщина, средний возраст – 21 год). Суммарное время разогрева ИК кабины и ИК прогревания каждого испытуемого составило 20 минут, при этом температура окружающей среды равнялась 22 °С. Температура воздуха внутри ИК кабины в области тела человека после 10 минут процедуры составляла 37–38 °С, а к концу терапии равнялась 40–42 °С. За время ИК терапии верхнее давление уменьшилось на $4,13 \pm 6,15$ мм.рт.ст., нижнее давление уменьшилось на $13,25 \pm 13,75$ мм.рт.ст. При этом потеря веса составила -368 ± 342 г.

Во второй серии экспериментов участвовало 10 человек (7 мужчин и 3 женщины, средний возраст – 22 года). Суммарное время процедуры каждого испытуемого составило 30 минут, при этом температура окружающей среды равнялась 17 °С. Температура воздуха внутри ИК кабины в области тела человека после 10 минут процедуры составляла 34–36 °С, а к концу терапии равнялась 38–40 °С. За время ИК терапии верхнее давление уменьшилось на $14,57 \pm 14,94$ мм.рт.ст., нижнее давление уменьшилось на $16,00 \pm 9,78$ мм.рт.ст. При этом потеря веса составила всего -93 ± 53 г.

В третьей серии экспериментов участвовало 5 человек (5 мужчин, средний возраст – 22 года). Суммарное время терапии каждого испытуемого составило 50 минут, при этом температура окружающей среды составляла 21 °С. Температура воздуха внутри ИК кабины в области тела человека после 10 минут процедуры составляла 37–38 °С, а к концу процедуры равнялась 40–42 °С. Верхнее артериальное давление уменьшилось на $3,20 \pm 8,96$ мм.рт.ст., а нижнее артериальное давление уменьшилось на $5,40 \pm 11,52$ мм.рт.ст. При этом потеря веса составила -418 ± 171 г, что значительно больше, чем в предыдущих исследованиях.

Для оценки эффективности режима воздействия ИК излучения на организм человека предложен коэффициент K , равный отношению потери веса пользователя ΔW к максимальной рабочей температуре воздуха в ИК кабине на уровне тела человека $T_{\max}^{\text{air near body}}$:

$$K = \frac{\Delta W}{T_{\max}^{\text{air near body}}}.$$

Основные результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные результаты исследований
Table 2. Main research results

Параметры исследований Research parameters		Результаты исследований Research results		
Исследование		1	2	3
Количество испытуемых, человек		8	10	5
Время процедуры, минут		20	30	50
Температура окружающей среды, °С		22	17	21
Рабочий диапазон температуры, °С	После 10 минут	37–38	34–36	37–38
	В конце процедуры	40–42	38–40	40–42
Температура головы (после окончания процедуры), °С		31–32	30,5	29–30,5
Температура человека вдоль туловища (после окончания процедуры), °С		40	38–39	38–39
Вес, г		-368 ± 342	-93 ± 53	-418 ± 171
Давление верхнее, мм.рт.ст.		$-4,13 \pm 6,15$	$-14,57 \pm 14,94$	$-3,20 \pm 8,96$
Давление нижнее, мм.рт.ст.		$-13,25 \pm 13,75$	$-16,00 \pm 9,78$	$-5,40 \pm 11,52$
Пульс, ударов в минуту		$12,63 \pm 9,16$	$14,00 \pm 13,08$	$20,60 \pm 9,29$
Коэффициент эффективности (К), г/°С		8,76	2,33	9,95

Заключение

Авторами разработана ИК кабина с биотехнической обратной связью. Проведены исследования по определению эффективного режима воздействия ИК излучения на организм человека. Для оценки эффективности воздействия предложен коэффициент, равный отношению потери веса пользователя к максимальной рабочей температуре воздуха в ИК кабине на уровне тела человека. По результатам трех серий экспериментов сделаны выводы: эффективное прогревание человека происходит при рабочих температурах воздуха внутри ИК кабины (на уровне тела человека) в интервале от 40 до 42 °С; началом ИК прогревания следует считать момент выхода ИК кабины на рабочую температуру 40 °С; время разогрева (и, соответственно, время выхода на рабочую температуру) зависит от температуры окружающей среды; на основании мониторинга показателей теплового режима ИК кабины

необходимо автоматически поддерживать внутри нее температурный режим от 40 до 42 °С во время периода ИК прогрева; длительность процедуры собственно ИК прогрева определяется врачом, при этом рекомендуемой является длительность в 30 минут; контроль состояния физиологических параметров пользователя при проведении ИК терапии и автоматическая корректировка мощности ИК излучателей позволит сделать ИК терапию безопасной для пользователей. Разработанная ИК кабина может быть использована в санаторно-курортных организациях и учреждениях здравоохранения Республики Беларусь.

Список литературы

1. Осипов А.Н., Тхостов М.Х.-М., Меженная М.М., Давыдов М.В., Драпеза В.Ю., Стетюкевич Н.И., Шевцов В.Ф., Кульчицкий В.А. Инфракрасная кабина с автоматическим управлением параметрами воздействия на основе физиологических показателей пользователя. *Новости медико-биологических наук*. 2017;15:66-71.

References

1. Osipov A.N., Thostov M.X.-M., Mezhenaya M.M., Kulchitsky V.A., Davydov M.V., Kotov D.A., Stetyukevich N.I., Shevtsov V.F., Davydova N.S., Drapeza V.Y. [Infrared cabin with automatic control of exposure parameters based on the physiological parameters of the user]. *Novosti mediko-biologicheskikh nauk = News of biomedical sciences*. 2017;15:66-71. (In Russ.)

Вклад авторов

Воробей А.В. разработала методики исследований, приняла участие в проведении исследований, анализе результатов, разработке алгоритмов и практических рекомендаций к проведению ИК терапии по результатам исследований.

Осипов А.Н. выполнил постановку задач, научное руководство.

Тхостов М.Х.-М. осуществил технический контроль за проведением исследований.

Телеш И.А. выполнил обобщение и интерпретацию результатов исследований.

Authors' contribution

Vorobey A.V. has developed the methodology of the research, contributed to the research, the analysis of results, the development of algorithms and practical recommendations for conducting IR therapy based on the research results.

Osipov A.N. has set out the problems and acted as a scientific advisor.

Thostov M.H.-M. has carried out technical control over the research.

Telesh I.A. has performed generalization and interpretation of the results.

Сведения об авторах

Воробей А.В., магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Осипов А.Н., к.т.н., доцент, проректор по научной работе Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Тхостов М.Х.-М., научный сотрудник кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Телеш И.А. к.г.н., доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Vorobey A.V., master student of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Osipov A.N., PhD, Associate Professor, Vice-Rector for Research of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Thostov M.H.-M., Research Associate of Electronic equipment and Technology Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Telesh I.A., PhD, Associate Professor of Human Engineering and Ergonomics Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. : +375-33-670-50-77;
e-mail: vorobey@bsuir.by
Воробей Анастасия Владимировна

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka str., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-33-670-50-77;
e-mail: vorobey@bsuir.by
Vorobey Anastasiya Vladimirovna