

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ТЕПЛОВИЗИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У СЕВЕРЯН

Б. Г. Вайнер

Рассмотрены методические вопросы, посвященные изучению возможности применения современного тепловизионного метода (матричного тепловидения), для выявления особенностей протекания физиологических процессов в организме людей, кратковременно и длительно проживающих в экстремальных условиях Крайнего Севера. Применительно к данной проблеме обсуждены результаты исследований, выполненных на людях и лабораторных животных в условиях средней полосы России.

Ключевые слова: тепловидение, терморегуляция, системная реактивность организма, условия Крайнего Севера, метод сорбционно-усиленной инфракрасной термографии (SEIRT).

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что климатический фактор способен заметно влиять на характер протекания физиологических процессов в организме человека и животных [1–7]. Длительное пребывание на Крайнем Севере, а также переезд в такие районы тех, кто ранее проживал в средней полосе, сопровождается целым комплексом физиолого-биохимических приспособительных перестроек организма, связанных со специфической адаптацией, позволяющей поддерживать нормальный гомеостаз в этих подчас экстремальных условиях. К таким условиям относят прежде всего природно-климатические (длинная холодная зима и короткое лето, недостаток солнечной инсоляции, для переселенцев – изменение привычного фотопериода, изменения пищевого рациона).

Немаловажную роль во внутриорганизменной перестройке играют также психологические факторы (оторванность от привычной, устоявшейся и переход к новой социальной среде). Они создают напряжение для физиологических систем организма, что может вызывать функциональные расстройства и даже сопровождаться разного рода патологическими проявлениями, главным образом – обострением хронических, в частности, латентных, не проявлявшихся ранее явно

заболеваний. В ряде исследований установлено, что пребывание в непривычной для организма холодной среде и получение холодовых травм увеличивает риск заболеваемости в последующие периоды [5, 8]. К наиболее значимым сюда можно отнести болезни сердечно-сосудистой системы.

Для человека, оказавшегося в экстремальных условиях, нарушение работы механизмов теплопродукции и терморегуляции, не подстроившихся к новой обстановке, опасно не только в отношении переохлаждения или перегрева организма, но и в отношении развития вегетативных дисфункций. Это имеет крайне важное значение для детского возраста, когда может происходить нарушение вегетативной регуляции, инициированное влиянием климатических особенностей. Сегодня практикующий врач не располагает техническими возможностями для проведения объективных (количественных) оценок состояния вегетативной нервной системы, и диагностика синдрома вегетативной дисфункции (СВД) носит, в основном, субъективный характер. Поэтому актуальны разработка методов объективной оценки СВД и выявления тесно связанных с ними доминирующих механизмов терморегуляции организма человека, проживающего в экстремальных по климату районах.

THE POTENTIAL OF MODERN INFRARED THERMOGRAPHY FOR THE STUDIES OF PHYSIOLOGICAL DISTINCTIVE FEATURES IN NORTHERNERS

B. G. Vainer

Modern infrared thermography applicability (focal plane array-based infrared thermography) to the studies of physiological peculiarities in northerners subjected to short-term or prolonged stay in the Extreme North conditions is discussed. The results obtained in humans and laboratory animals in the moderate climate Russian zone are discussed.

Keywords: infrared thermography, thermoregulation, systemic organism reactions, Extreme North conditions, sorption-enhanced infrared thermography (SEIRT).

Несмотря на то, что рассмотрению медицинских и физиологических аспектов, сопровождающих адаптацию человека к проживанию в экологических условиях Крайнего Севера, посвящено значительное количество исследований, требуется дальнейшее всестороннее изучение этой проблемы по следующим причинам.

Во-первых, с расширением транспортной доступности отдаленных северных населенных пунктов и мобильности измерительной аппаратуры облегчилась возможность проведения новых исследований, привязанных к конкретной обстановке в определенном районе, имеющем свою природно-климатическую и социально-психологическую специфику.

Во-вторых, сама стратегия биомедицинских исследований способна претерпеть кардинальное изменение: не северян и их выборочные группы можно теперь приглашать в стационарные диагностические центры для проведения обследования, а сами исследователи могут выезжать в места проживания и профессиональной деятельности северян с аппаратурой, способной получать результаты не менее информативные, чем аппаратура стационарных научных центров. Такое стало возможным благодаря прогрессу в области биомедицинской измерительной техники, ее компьютеризации, автоматизации и, что особенно важно, миниатюризации без потери качества. К такому процессу будут привлечены новейшие методы биофизических, физиологических и иных исследований с целью более глубокого изучения динамики адаптации живого организма к условиям Крайнего Севера. Не последнюю роль могут сыграть и телемедицинские технологии.

В-третьих, в настоящее время появилась возможность получать высокоинформативные данные о состоянии организма путем применения малоинвазивных, полностью неинвазивных и даже бесконтактных биомедицинских методов и технологий, ненавязчивых для испытуемого. Это позволяет проводить обширные скрининговые программы для населения и отдельных профессиональных групп, практически не нарушая их привычного жизненного цикла и не создавая причин для негативного отношения к самой диагностической процедуре. Безусловным преимуществом ненавязчивых (комфортных) методов обследования перед теми, которые до сих пор еще широко используются в научной физиологии и практической медицине, служит то, что соответствующие им диагностические манипуляции не оказывают влияния на текущее состояние организма и поэтому не вызывают рефлекторных реакций, сдвигающих гомеостаз и провоцирующих получение необъективных результатов и сделанных по ним заключений. Одной из современных неинвазивных и бесконтактных технологий, успешно зарекомендовавших себя в биомедицинской исследовательской практике, является матричное тепловидение.

Цель работы – продемонстрировать потенциальные возможности применения современного матричного тепловидения в биомедицинских задачах, направленных на выявление особенностей динамиче-

ских перестроек организма, подвергнутого кратковременным и продолжительным климатическим испытаниям в условиях Крайнего Севера. В конечном счете работа направлена на то, чтобы развитые и внедренные в практику с ее помощью новые современные подходы в диагностической медицине сыграли роль существенного фактора, обеспечившего сохранение здоровья и активности населения, проживающего в северных районах с экстремальным климатом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Современное тепловидение (инфракрасная термография) – это научно-обоснованный широко используемый в разных областях науки, техники и народного хозяйства метод регистрации поверхностного распределения температуры тел с возможностью преобразования полученных двумерных тепловых картин в цифровую форму, пригодную для качественного и количественного анализа. Особое значение тепловидение приобрело в медицине, где давно служит одним из независимых средств диагностики и контроля [9–10]. Выявление физических и биологических механизмов, ответственных за формирование тепловых полей на поверхности тела человека, естественным образом пересекается с вопросами медицины, поскольку текущее состояние и динамическое изменение во времени поверхностного температурного поля может не только свидетельствовать о норме, но также сигнализировать о вполне определенных нарушениях процессов жизнедеятельности внутри организма.

Следует принять во внимание такой факт, что большинство медицинских диагностических тепловизионных измерений в мире реализуется в режиме получения однократных температурных портретов с проведением последующей оценки тепловых картин преимущественно на уровне качественных рассуждений [9]. Нами был развит и активно внедряется в практику иной подход, названный интервентной тепловизионной диагностикой [11–12]. Он представляет собой современное продолжение метода функциональной тепловизионной диагностики [13–14] и предполагает регистрацию непрерывных термофильмов со скоростью измерений и сохранения двумерных термограмм порядка 100 кадров в секунду (практически в режиме реального времени) с обязательным применением тех или иных специфических для предполагаемого заболевания провоцирующих кратковременных воздействий на живой объект (специфические функциональные пробы). Такая технология нами рассматривается как наиболее прогрессивная в современном тепловидении и может быть рекомендована для большинства биомедицинских исследований, в частности, для целей, обсуждаемых в настоящей работе.

Уникальность тепловизионного метода для использования в медицине определяется не только абсолютной его безвредностью, высокой производительностью и простотой восприятия пациентами любого возраста и в любом состоянии. Результаты диагностических измерений, полученные с помощью тепловидения, чрезвычайно информативны. Они при корректной интерпретации предоставляют объективные сведения

как о возможных локальных нарушениях, так и о функционировании сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем организма. Последнее достигается в ходе 15–20-минутного обследования с использованием интервентного подхода [15–16]. Акцентируем внимание на том, что здесь мы, в первую очередь, обсуждаем не традиционное классическое применение тепловидения с устоявшимися принципами его использования, когда сравниваются лишь статические температурные поля на разных (чаще симметричных) участках тела [9], а тепловидение динамическое, применение которого еще только начинает набирать обороты в диагностической медицине [10].

В качестве легко реализуемых, диагностически эффективных и протестированных нами интервентных воздействий на организм человека и животных можно назвать принудительную механическую окклюзию артерий [15–16], гипоксию, гипероксию и гиперкапнию [17], локальный нагрев или охлаждение участка тела [18–19], кратковременную задержку легочного дыхания [20], принудительную стабилизацию частоты дыхания [21], электрическое воздействие, осуществляемое, например, с помощью стандартного медицинского аппарата для стимуляции периферической лимфо-гемоциркуляции, и др. Интенсивный отклик поверхностной температурной картины проявляется также в ответ на физическую и общую тепловую нагрузку на организм [22–23].

Прецизионный анализ быстрой эволюции поверхностного температурного поля, обусловленной динамикой кровообращения и задающей вариабельную топографию кожного теплообмена с окружающей средой в ответ на интервентное воздействие [15–16, 24], а также регистрация других быстропротекающих тепловых процессов, сопровождающих жизнедеятельность организма, является инновационным направлением, возможность реализации которого появилась не так давно – с приходом в медицину высокопроизводительных матричных тепловизоров, вполне доступных сегодня в ценовом отношении для широкого применения. Последнее поколение тепловизионных приборов построено на основе детекторов излучения с двумерным (матричным) многоэлементным фотоприемником, что позволяет отказаться от неотъемлемого для прежнего оборудования атрибута – внутреннего оптико-механического сканирования. Типичные тепловизоры нового класса достаточно легкие (около 1–3 кг), обладают температурной чувствительностью порядка нескольких сотых долей градуса, быстродействием порядка ста кадров в секунду и форматом фоточувствительной матрицы, обеспечивающим фотографическое качество изображения. Сегодня с указанными техническими характеристиками можно найти тепловизоры, не требующие глубокого охлаждения детектора, что делает их удобными для эксплуатации в условиях отдаленных районов.

Необходимо отметить, что медицинское тепловидение, построенное на базе новой инфракрасной и компьютерной техники, существенно расширило свои функциональные возможности и перестало быть лишь средством измерения кожной температуры. К примеру, нами было предложено путем определенного усо-

вершенствования тепловизионного метода проводить прецизионный анализ внешнего дыхания у людей и животных [25–26]. Оригинальный подход, названный сорбционно-усиленной инфракрасной термографией, или тепловизионным методом адсорбционной индикации, в англоязычном варианте – *sorption-enhanced infrared thermography (SEIRT)* [27], позволяет в 10–100 раз улучшить точность определения динамических характеристик легочного дыхания по сравнению с другими бесконтактными методами, используемыми для этой цели. Разработанный подход успешно опробован на людях [28–29] и биологических моделях – карликовых свиньях [17] и лабораторных крысах линий Вистар и НИСАГ [30].

Современный тепловизионный метод хорошо зарекомендовал себя также при исследовании процессов потоотделения [22–23]. Поскольку особенности потоотделения определяются функционированием вегетативной нервной системы, тепловизионная регистрация динамики перспирации может оказаться диагностически значимой при разработке специфических функциональных тестов.

Кроме того, за последние несколько лет нами успешно продемонстрирован высокоэффективный экспериментальный подход к изучению функциональных характеристик организма млекопитающих (людей, животных), основанный на применении тепловидения нового поколения синхронно с высокоразрешающей цифровой электрокардиографией [17, 29–30]. При этом было показано, что существенный объем новых знаний о системной реактивности организма можно приобрести, применяя адекватную совместную математическую обработку синхронно полученных тепловизионных и интервалометрических данных, в частности, путем использования популярного в биомедицинской сфере метода Блэнда – Алтмана, высокоэффективная модификация которого была предложена и опробована нами в исследованиях [17, 29–30]. Известно, что при изменении состояния организма (например, в условиях адаптации) кардиоритм подстраивается под новый функциональный уровень [31]. В этом процессе изменение вариабельности кардиоритма представляет собой универсальную реакцию организма на воздействие внешних факторов [32–33]. Тем самым установлено, что продуктивным приемом в диагностике служит математический и компьютерный анализ динамических рядов R-R-интервалов различными (статистическими, спектральными, нелинейными) методами с целью извлечения информации о протекании регуляторных процессов на уровне всего организма.

Представленные выше оригинальные диагностические методы, разработанные за последние годы и основанные на использовании современных технических возможностей и преимуществ тепловидения нового поколения, являются высокоэффективным инструментом биомедицинских исследований, пригодным для изучения особенностей организма человека, подверженного влиянию экстремальных климатических условий, включая климат Крайнего Севера. До настоящего момента современная тепловизионная методология к данной категории людей не применялась.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пример системного температурного отклика организма человека в ответ на интервентное воздействие, реализованное в виде кратковременного (2 мин) охлаждения верхней конечности (рис. 1), приведен на рис. 2. Из графика, изображенного на рис. 2, можно заметить, что контрлатеральная (правая) рука реагирует на охлаждение левой. А именно, ее температура сразу после начала воздействия начинает снижаться (см. верхнюю кривую). В свою очередь, через короткое время после завершения воздействия на левую руку и помещения охлажденной руки в обычные, комнатные условия температура правой конечности аналогично начинает повторять температурное поведение левой, а именно – разогреваться. Также из графика хорошо заметен эффект разнесения временных порогов восстановления кожной температуры на разных пальцах охлажденной руки, что объективно характеризует особенности механизмов регуляции у данного индивидуума. Отметим, что ноги волонтера, обследованного в данном опыте, не проявили никакой реакции на внешнее воздействие.

Результаты с применением воздействия другого типа – локального поверхностного сухого нагрева – приведены на рис. 3. Здесь изображены временные зависимости температуры пальцев рук и ног, а также измеренная синхронно с этим временная зависимость дыхательного ритма. Представленные данные получены путем выборки из непрерывного потока термограмм, измеренных с частотой 100 кадров в секунду до, в процессе и после 4-минутного нагрева участка правого предплечья молодой женщины. Температурное воздействие производилось с помощью ленточного нагревателя, обмотанного вокруг руки, с достижением максимальной температуры около 45 °С.

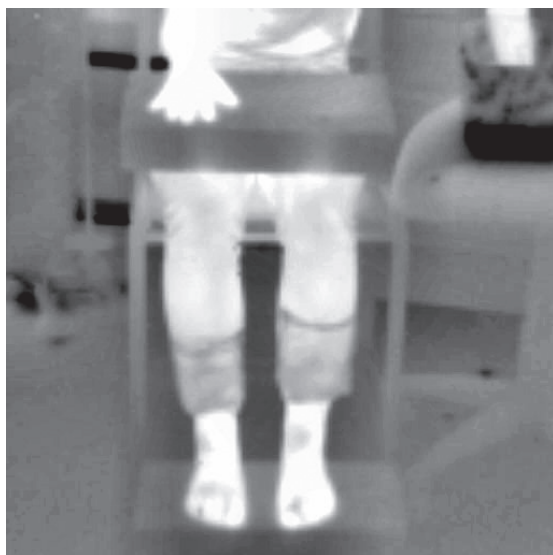


Рис. 1. Термограмма нижней части туловища обследуемой, подверженной локальной холодовой пробе. Левая рука, защищенная непромокаемым пакетом, опущена в прохладную воду с температурой около 19 °С. Правая рука и обе ноги помещены на теплоизолирующие подставки и подвергаются непрерывному тепловизионному контролю. Светлые поля на термограмме соответствуют высоким температурам, темные – низким

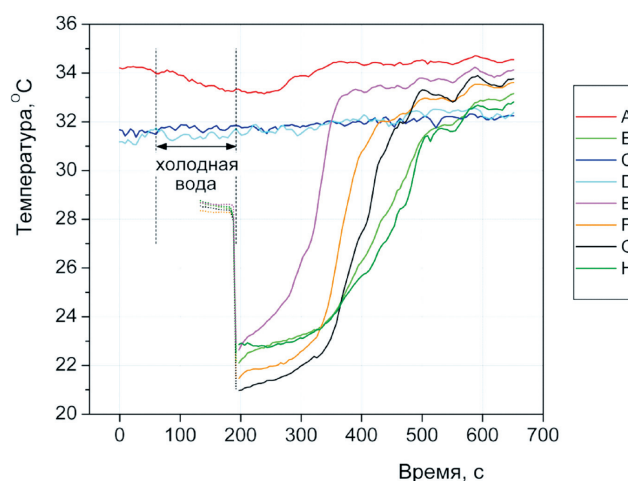
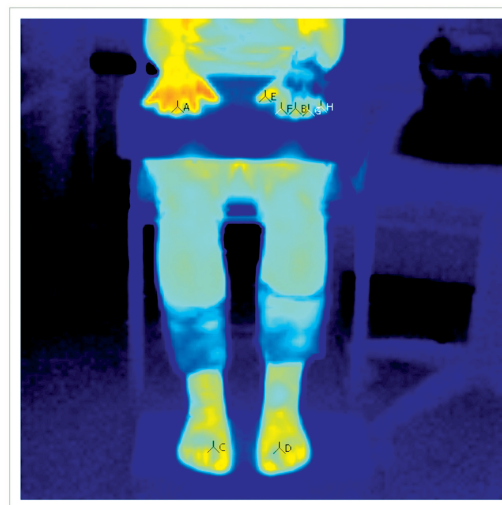


Рис. 2. Результат холодовой функциональной пробы (рис. 1), проведенной с практически здоровым волонтером (девушка 16 лет). Вверху на термограмме отмечены контрольные точки, в которых регистрировалось изменение температуры с течением времени. Внизу – график изменения температуры в вышеуказанных контрольных точках. Поля красного цвета на термограмме соответствуют высоким температурам, синего – низким

Из рис. 3. хорошо видно, что в данном случае весь организм отреагировал на внешнюю интервенцию. При этом на разогретой конечности вновь, как мы уже наблюдали у людей в процессе исследования [18], проявляется парадоксальная реакция – пальцы руки охлаждаются в ходе нагрева ипсилатерального предплечья. Также из графика рис. 3 видно, что примерно на такую же величину охлаждаются и пальцы остальных трех конечностей.

По мере того как теплоприток от нагревателя становится для испытуемого ощутимым, интервалы между дыхательными циклами уменьшаются, при этом частота дыхания увеличивается почти синхронно с падением кожной температуры. Физиологический механизм такой реактивности организма требует дальнейшей обоснованной интерпретации, но схожесть явлений, обнаруженных нами у разных людей, а также у лабораторных крыс [19], свидетельствует в пользу закономерного характера таких физиологических проявлений у млекопитающих.

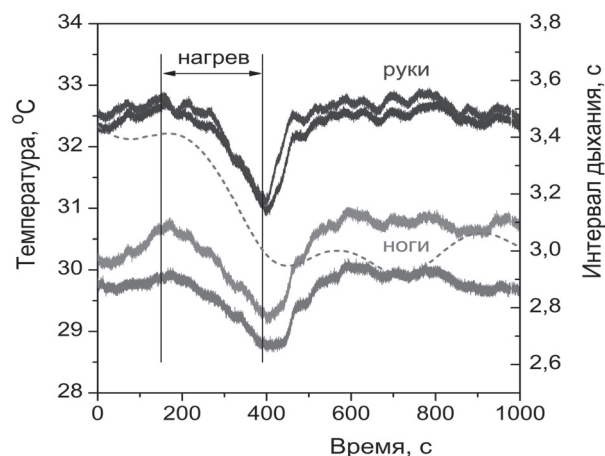


Рис. 3. Количественное представление системной реакции организма человека (женщина 18 лет) в ответ на поверхностный 4-минутный сухой нагрев правого предплечья. Сплошные линии — температура пальцев рук и ног (шкала слева), пунктир — усредненный интервал легочного дыхания (шкала справа)

Реакция дыхания на внезапные интервентные воздействия является по нашему убеждению весьма значимым признаком, который следует принимать во внимание при диагностировании физиологических систем организма. Однако всесторонний анализ современной научной литературы и существующая медицинская практика показывают, что в этой сфере до сих пор отсутствуют удовлетворительные методы прецизионной регистрации респираторной динамики, пригодные для широкого применения, а не только в специальных лабораторных условиях. Первым серьезным шагом к решению этой проблемы явился предложенный нами и уже упоминавшийся выше тепловизионный метод сорбционно-усиленной инфракрасной термографии (SEIRT) [25–26].

Показательный пример его использования продемонстрирован на рис. 4, из которого можно сделать вывод, что несмотря на синхронность свободного спонтанного дыхания волонтера обеими ноздрями, пропускная способность его дыхательных носовых каналов неодинакова и по-разному ведет себя с течением времени. Об этом свидетельствуют разные формы кривых, отражающие аэродинамические характеристики воздушных потоков, циркулирующих в области каждой из ноздрей. Наблюдаемый эффект никак нельзя отнести на счет неточности измерений, если учесть, что регистрируемый на рис. 4 размах температурного сигнала достигает десяти градусов при температурной чувствительности использованного тепловизора, составляющей всего лишь 0,03 градуса.

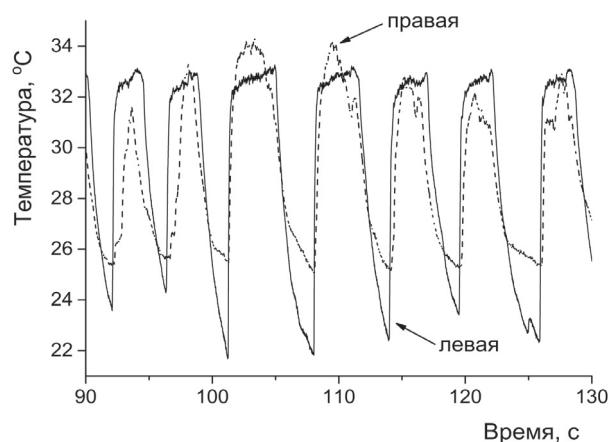


Рис. 4. Фрагмент динамической характеристики температуры сорбционного индикатора, измеренной напротив правой и левой ноздрей свободно дышащего практически здорового юноши (возраст 16 лет). Характеристика получена с применением метода сорбционно-усиленной инфракрасной термографии (SEIRT) [25–26], при частоте записи термограмм 100 кадров в секунду

Ранее в пилотных исследованиях с участием практически здоровых волонтеров нами была продемонстрирована высокая точность, воспроизводимость и информативность тепловизионного контроля физиологических функций организма, в частности, системной сосудистой реактивности организма человека, проявляющейся в виде поверхностного температурного отклика [12, 15, 34], вариабельности сердечного и дыхательного ритмов [17, 29–30] и изменений других

биофизических параметров в ответ на внешние интервентные воздействия. При этом были достоверно выявлены когорты людей, проявляющих заведомо разный тип реактивности [15–16]. В соответствии с природными условиями проживания людей, характерными для Крайнего Севера, видится актуальной и вполне осуществимой разработка нестандартных для «тепловидения средней полосы» специфических диагностических функциональных проб с динамической

(скоростной) регистрацией температурных полей, кардиоритма и их компьютерным анализом. С использованием стандартных и новых провоцирующих тестов появляется возможность детальнее изучить особенности механизмов теплопродукции и терморегуляции у жителей Крайнего Севера. Последнее, в частности, может позволить выработать количественные тепловизионные или скомбинированные с тепловидением критерии для объективной количественной оценки синдрома вегетативной дисфункции – заболевания, характерного для северных районов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование матричного тепловидения и комбинаций этого современного инструмента исследований с другими неинвазивными биомедицинскими методами, проведение сравнительного анализа и совместной математической обработки результатов

мультимодальных измерений и организация объемных скринингов населения позволят извлечь прежде недоступные сведения об особенностях протекания физиологических процессов у северян. Активное использование динамического тепловизионного подхода применительно к изучению когорт людей, проживающих в условиях Крайнего Севера, обогатит новыми знаниями физиологию, обеспечит новыми эффективными решениями производственную медицину, позволит сформулировать научно обоснованные рекомендации по профессиональному отбору людей для решения народнохозяйственных задач в экстремальных климатических условиях.

Автор благодарит В. И. Баранова, Е. Г. Вергунова, А. Л. Маркеля за полезные обсуждения проблемы. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-02-07680).

ЛИТЕРАТУРА

- Menegassi S. R., Pereira G. R., Dias E. A., Koetz C. Jr., Lopes F. G., Bremm C., Pimentel C., Lopes R. B., da Rocha M. K., Carvalho H. R., Barcellos J. O. The uses of infrared thermography to evaluate the effects of climatic variables in bull's reproduction // *Int J Biometeorol.* 2016. V. 60. P. 151–157.
- Menegassi S. R., Pereira G. R., Bremm C., Koetz C. Jr., Lopes F. G., Fiorentini E. C., McManus C., Dias E. A., da Rocha M. K., Lopes R. B., Barcellos J. O. Effects of ambient air temperature, humidity, and wind speed on seminal traits in Braford and Nellore bulls at the Brazilian Pantanal // *Int J Biometeorol.* 2016. V. 60. P. 1787–1794.
- Codde S. A., Allen S. G., Houser D. S., Crocker D. E. Effects of environmental variables on surface temperature of breeding adult female northern elephant seals, *Mirounga angustirostris*, and pups // *J Therm Biol.* 2016. V. 61. P. 98–105.
- Brändström H., Grip H., Hallberg P., Grönlund C., Angquist K. A., Giesbrecht G. G. Hand cold recovery responses before and after 15 months of military training in a cold climate // *Aviat Space Environ Med.* 2008. V. 79. P. 904–908.
- Kanayama N., Tsujimura R., She L., Maehara K., Terao T. Cold-induced stress stimulates the sympathetic nervous system, causing hypertension and proteinuria in rats // *J Hypertens.* 1997. V. 15. P. 383–389.
- Minami J., Kawano Y., Ishimitsu T., Yoshimi H., Takishita S. Seasonal variations in office, home and 24 h ambulatory blood pressure in patients with essential hypertension // *J Hypertens.* 1996. V. 14. P. 1421–1425.
- Kuneš J., Tremblay J., Bellavance F., Hamet P. Influence of environmental temperature on the blood pressure of hypertensive patients in Montréal // *Am J Hypertens.* 1991. V. 4. P. 422–426.
- Golden F. S., Francis T. J., Gallimore D., Pethybridge R. Lessons from history: morbidity of cold injury in the Royal Marines during the Falklands Conflict of 1982 // *Extrem Physiol Med.* 2013. V. 2. P. 23.
- Ring E. F. J., Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine // *Physiol Meas.* 2012. V. 33. P. R33–R46.
- Vainer B. G. Applications of infrared thermography to medicine // *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends* / Ed Carosena Meola. Chapter 3. Bentham Science Publishers Ltd., Bentham e-Books, 2012. P. 61–84.
- Вайнер Б. Г. Интервентная тепловизионная диагностика в медицине и физиологии // *Современные тенденции в науке: новый взгляд* : сб. науч. тр. по материалам Междунар. заоч. науч.-практич. конф. 29 ноября 2011 г. Ч. 7. Тамбов : Бизнес-Наука-Общество, 2011. С. 21–24.
- Vainer B. G. Interventional infrared thermal diagnostics in medicine and physiology // 11-th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, QIRT-2012. 11–14 June, 2012. Naples-Italy. E-Book Proceedings. Italy : University of Naples, 2012. ID-340.
- Godik E. E., Gulyaev Y. V. Functional imaging of the human body // *IEEE Eng Med Biol Mag.* 1991. V. 10. P. 21–29.
- Merla A., Romani G. L. Functional infrared imaging in medicine: A quantitative diagnostic approach // *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference.* New York City, USA, Aug 30–Sept 3, 2006. New York : IEEE, 2006. P. 224–227.
- Vainer B. G., Markel A. L. Systemic vascular response to brachial arteries crossclamping may prognosticate the outcome of remote ischemic preconditioning // *Med Hypoth.* 2015. V. 84. P. 298–300.
- Vainer B. G., Morozov V. V. Infrared thermography-based biophotonics: Integrated diagnostic technique for systemic reaction monitoring // *Physics Procedia.* 2017. V. 86. P. 81–85.
- Вайнер Б. Г., Вергунов Е. Г., Сергеевичев Д. С. Согласованность ритмов дыхания и сердца у экспериментальных животных при разном составе дыхательной смеси // *Вестн. психофизиологии.* 2016. № 4. С. 24–33.
- Вайнер Б. Г., Прокопенко Я. Г., Прокопенко К. Г., Муклаев С. М. Применение динамического матрич-

- ного тепловидения для исследования системного отклика организма человека при локальном нагреве // Актуальные проблемы электронного приборостроения : тр. XIII Междунар. науч.-техн. конф. АПЭП-2016, г. Новосибирск, 3–6 октября 2016 г. Т. 5. Лазеры и их применение. Медицинская электроника. Новосибирск : НГТУ, IEEE, 2016. С. 33–35.
19. Vainer B. G., Baranov V. I., Vergunov E. G. Infrared thermography as applied to the studies of cardiovascular system in rats // Proceedings of QIRT-2014 Conference, 7–11 July 2014, Bordeaux, France. URL: <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2014/QIRT2014.html> (дата обращения: 10.04.2017).
 20. Епифанцев В. А., Иванова Е. Н., Усманов Т. А., Вайнер Б. Г. Применение инфракрасной термографии для изучения реакции организма людей в ответ на внешнюю задержку дыхания // 55-я Междунар. студ. науч. конф. (школьная секция) ; под ред. Н. И. Яворского. Новосибирск : НГУ, 2017.
 21. Пак С. И., Прокопенко К. Г., Вайнер Б. Г. Тепловизионное исследование поверхностного температурного отклика и отклонений дыхательного ритма у человека в ответ на принудительную стабилизацию дыхания, заданную метрономом // 55-я Междунар. студ. науч. конф. (школьная секция) ; под ред. Н. И. Яворского. Новосибирск : НГУ, 2017.
 22. Вайнер Б. Г. Матричное тепловидение в физиологии: исследование сосудистых реакций, перспирации и терморегуляции у человека. Новосибирск : Сиб. отделение РАН, 2004. 96 с.
 23. Vainer B. G. FPA-based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans // Phys Med. Biol. 2005. V. 50. P. R63–R94.
 24. Vainer B. G. The use of infrared thermography for the investigation of thermoregulation in humans // Body temperature regulation. Austin B. Cisneros and Bryan L. Goins, Editors. Chapter 5. New York : Nova Science Publishers, Inc., 2009. P. 123–153.
 25. Вайнер Б. Г., Баранов В. И. Прецизионные количественные исследования динамики дыхания лабораторных животных // Наука и образование: проблемы и перспективы развития : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практич. конф. 30 августа 2014 г. Ч. 3. Тамбов : Юком, 2014. С. 36–39.
 26. Вайнер Б. Г. Новые способы исследования внешнего дыхания у животных и человека // Наука и образование в XXI веке : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практич. конф. 31 октября 2014 г. Ч. 12. Тамбов : Юком, 2014. С. 35–38.
 27. Vainer B. G. Lasers and infrared thermography: advantageous cooperation // Appl Opt. 2016. V. 55. P. D95–D100.
 28. Вайнер Б. Г. Применение тепловизионного метода адсорбционной индикации для исследования дыхания у человека // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практич. конф. 28 февраля 2015 г. Ч. 8. Тамбов : Юком, 2015. С. 32–34.
 29. Вергунов Е. Г., Вайнер Б. Г. Модификация метода Блэнда-Алмана и ее применение для оценки согласованности сердечного и дыхательного ритмов // Вестн. психофизиологии. 2016. № 4. С. 34–45.
 30. Вайнер Б. Г., Вергунов Е. Г., Баранов В. И., Маркель А. Л., Серяпина А. А., Кармакулова И. В. Комплексный инструментальный мониторинг динамики функционального состояния организма животного, подверженного внешним нагрузкам: изучение согласованности дыхания и сердечного ритма // Науч. альманах. 2015. № 10-3. С. 443–449.
 31. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М. : Медицина, 1997. 265 с.
 32. Berntson G. G., Cacioppo J. T., Quigley K. S., Fabro V. T. Autonomic Space and Psychophysiological // Psychophysiology. 1994. V. 31. P. 44–61.
 33. Cacioppo J. T., Berntson G. G., Binkley Ph. F., Quigley K. S., Uchino B. N., Fieldstone A. Autonomic cardiac control. Noninvasive indices and basal response as revealed by autonomic blockades // Psychophysiology. 1994. V. 31. P. 586–598.
 34. Морозов В. В., Вайнер Б. Г., Новикова Я. В. Медицинское тепловидение: современные возможности и применение в эндоваскулярной хирургии // Фундамент. исследования. 2012. № 12. С. 325–330.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Вайнер Борис Григорьевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, профессор кафедры физики СУНЦ НГУ, г. Новосибирск; e-mail: BGV@isp.nsc.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Boris Grigoryevich Vainer – Doctor of Science (Physics and Mathematics), Leading Researcher, Rzhzanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS, Professor, Novosibirsk State University, Novosibirsk; e-mail: BGV@isp.nsc.ru.