

УДК 772.96:61

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ В СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНЕ (обзор литературы)

© 2017 г. **И. С. Кожевникова, М. Н. Панков, А. В. Грибанов, Л. Ф. Старцева, *Н. А. Ермошина**

Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

В статье приведены данные по материалам отечественных и зарубежных публикаций, полученные с использованием метода инфракрасной термографии. Методика получила новый виток развития в последние годы в связи с техническим усовершенствованием оборудования и повышением качества термоснимков. Показаны возможности применения инфракрасной термографии в диагностике и мониторинге лечения заболеваний в различных областях медицины: травматологии, ортопедии и спортивной медицине, терапии и эндокринологии, неврологии, неонатологии, диагностике сосудистых и онкологических заболеваний. Описаны основные достоинства (безопасность, неинвазивность, относительная дешевизна исследования, способность обнаруживать патологические изменения на доклинической стадии) и недостатки (недостаточно автоматизированный вид диагностики на настоящий момент, значительная роль субъективной оценки исследователя) метода. Рассмотрены перспективы его развития (создание математических алгоритмов для автоматической обработки термоснимков) и внедрения в клиническую практику. Применение унифицированных автоматических программ для обработки термографических изображений позволяет избежать такого недостатка, как субъективность оценки данных термограмм. В настоящее время автоматические методы анализа активно разрабатываются и внедряются в практику, в частности, успехи в разработках алгоритмов автоматического распознавания изображений позволили успешно решать задачи анализа термоизображений, автоматизировать диагностику онкологических заболеваний.

Ключевые слова: инфракрасная термография (ИКТ), функциональная диагностика, мониторинг лечения

THE USE OF INFRARED THERMOGRAPHY IN MODERN MEDICINE (Literature Review)

I. S. Kozhevnikova, M. N. Pankov, A. V. Griбанov, L. F. Startseva, *N. A. Ermoshina

Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk

*Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia

The article provides a systematic review on the recent applications of the infrared thermography in medicine reported by Russian and foreign researchers. Advances in IRT technology and equipment, resulted in significant improvement of thermo-images quality and opened new opportunities for the practical application. Application possibilities of infrared thermography in diagnostics and treatment of diseases in different branches of medicine including traumatology and orthopedics, sport medicine, therapy and endocrinology, neurology, neonatology, diagnosis of vessels disorders and oncology are demonstrated in the article. The description of advantages (such as noninvasiveness, safety, relatively low cost and the ability to reveal pathologies on early stages) and disadvantages (insufficiently automated diagnostic type, subjective interpretation of data) of this method have been made. Perspectives of its development (creation of mathematical algorithms for automatic processing of thermo-images) and its introduction in to clinical practice have been analyzed. The use of consistent autoprogams for the thermographic images analysis allows to avoiding subjective interpretation of thermogram data. Nowadays, automatic methods of analysis are actively developed and put into practice, in particular, achievements in development of automatic image recognition algorithms allowed to solve problems of thermal images, automate cancer diagnostics.

Keywords: infrared thermography (IRT), functional diagnostics, monitoring of treatment

Библиографическая ссылка:

Кожевникова И. С., Панков М. Н., Грибанов А. В., Старцева Л. Ф., Ермошина Н. А. Применение инфракрасной термографии в современной медицине (обзор литературы) // Экология человека. 2017. № 2. С. 39–46.

Kozhevnikova I. S., Pankov M. N., Griбанov A. V., Startseva L. F., Ermoshina N. A. The Use of Infrared Thermography in Modern Medicine (Literature Review). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 2, pp. 39-46.

Температурные показатели поверхности кожи человека с давних пор использовались в медицине для диагностики и ведения пациентов с патологиями различного типа.

Картина пространственного распределения температур по телу человека может свидетельствовать о наличии патологических процессов, связанных с различными формами нарушения кровотока, изменениями метаболизма и иннервации биологических тканей.

В настоящее время наиболее совершенным методом регистрации температурных показателей тела человека является метод инфракрасной термографии (ИКТ) [10, 20, 21]. Инфракрасная термография основана на регистрации собственного теплового излучения объектов в инфракрасном диапазоне. Обследование производится с помощью специального тепловизионного оборудования (тепловизора), способного улавливать, регистрировать и преобразо-

вывать в изображение (термограмму) инфракрасное излучение объекта. Тепловизор представляет собой фотоприемную камеру с особой фоточувствительной матрицей и германиевым объективом. Современные тепловизоры работают с подключением и передачей данных на компьютер, что позволяет сохранять большие объемы данных, оценивать их в динамике и даже просматривать как термофильм в режиме реального времени. Современные термограммы позволяют увидеть объект в инфракрасном диапазоне целиком, распознать и классифицировать его существенные признаки [7].

Метод ИКТ регистрирует только собственное тепловое излучение объектов в инфракрасном диапазоне, поэтому он абсолютно безопасен для человека, как для исследователя, так и для обследуемого. Может без ограничений использоваться как для диагностических, так и для профилактических обследований, выполнять различного рода исследовательские задачи [9, 11, 13].

Несмотря на вышеописанные преимущества термографии, достаточно широкого распространения в клинической практике она до сих пор не получила по ряду причин. Основная проблема связана с переоценкой диагностических возможностей этого метода на ранних стадиях применения. Более 40 лет назад, когда тепловизоры только внедрялись в медицинскую практику, диагностические возможности метода ИКТ были ограничены по техническим причинам (недостаточная чувствительность и пространственное разрешение инфракрасных камер), что не позволило выработать достаточно надежных диагностических критериев [7, 20].

В последние годы параметры инфракрасных камер существенно улучшились. Чувствительность современных матричных систем достигает $0,0007-0,01$ °С при пространственном разрешении 640×480 и скорости регистрации порядка $50-100$ кадров в секунду, что открывает новые возможности метода. Такая высокая точность восприятия температурного портрета объекта значительно расширила возможности применения ИКТ в различных областях медицины как для тепловизионной диагностики, так и для оценки эффективности проведенного лечения.

Возможности использования ИКТ для дифференциальной диагностики сосудистых заболеваний и использование метода для оценки эффекта проводимого лечения рассмотрены во многих отечественных и зарубежных публикациях [8, 12, 21, 23]. Результаты клинического исследования показывают, что обследование пациентов с помощью ИКТ в кабинете врача при физикальном обследовании больного как с нагрузочной пробой, так и без нее информативно и дополняет диагностическую картину о состоянии сосудов нижних конечностей [43]. Инфракрасная термография показывает высокую корреляцию с другими методами исследования сосудов нижних конечностей. В областях с патологическим изменением кровотока нижних конечностей наблюдается повышение температуры на термоснимках. Температурный

контраст между пораженными и здоровыми областями составляет $0,7-1,0$ °С [25].

Хижняк Л. Н. описывает положительные результаты лечения заболеваний сосудов нижних конечностей с использованием перфторана. При термографическом обследовании пациентов для оценки эффективности лечения облитерирующего атеросклероза сосудов нижних конечностей перфтораном было установлено уменьшение перепада температур между пальцами и стопой в случаях успешного проведения терапевтических методов лечения [19].

Был изучен термографический профиль поверхности голени больных с венозной болезнью нижних конечностей (ВБНК) с помощью ИКТ и радиотермографии (РТ) для определения диагностической ценности различных термографических методов в диагностике ВБНК. В качестве референтного метода, подтверждающего наличие или отсутствие патологии вен, использовали ультразвуковое ангиосканирование (УЗАС). Специфичность и чувствительность комбинированной термографии составили $86,7$ и $87,9$ % соответственно. Венозная болезнь (ВБ) выявлена при УЗАС в 35 случаях, посттромботическая болезнь в стадии реканализации — в 32, острый венозный тромбоз — в 16, патологии вен не обнаружено в 31 наблюдении. По мнению авторов, изменения поверхностных и глубоких температур у больных с ВБ нижних конечностей имеют определенное диагностическое значение, но не достигают возможностей УЗАС. Особенно явно недостаточная эффективность термографии проявляется при начальных стадиях ВБ, когда практически отсутствуют признаки венозного застоя, поэтому термографические методы будут иметь большее клиническое значение не в диагностике, а в контроле эффективности лечения заболевания [6].

Клинические исследования показали наличие отклонений от температурных норм и термотопологии при различных заболеваниях позвоночника. В норме перепады температуры по всей поверхности спины не превышает $0,2$ °С. При патологиях наблюдается градиент температур в проблемных областях $0,8-3$ °С в зависимости от индивидуальных особенностей организма и вида патологии. По мнению исследователей, метод ИКТ значительно расширяет возможности диагностики, может использоваться как дополнительное исследование при болях в спине, дополняя традиционные методы диагностики [3, 4].

В другом исследовании позвоночного столба авторы доказывают, что функциональные нарушения на ранней стадии заболевания, когда еще отсутствуют структурные изменения, выявляются методом ИКТ. Например, при обследовании пациентов с остеохондрозом позвоночника термографические признаки остеохондроза выявлялись при отсутствии таковых на рентгенограммах. ИК-визуализация позволяла выявить различные нейрососудистые нарушения еще до появления клинической картины [1].

При переломах костей термографическое обследование сталкивается с трудностью в трактовке

результатов по причине многогранности и вариативности изменений в структуре костной и прилежащих тканей. Повреждения мышечной ткани (растяжения, гематомы и т. п.) тоже дают индивидуальные отклики на термограмме, но при этом также наблюдается тенденция к изменению профиля распределения температур [14].

В ряде зарубежных работ показано, что метод ИКТ является надёжным и объективно оценивает признаки воспаления при диагностике остеоартрита колена (при воспалениях различной этиологии). Полученные результаты коррелируют с данными рентгеновских исследований, но при этом безопасность метода ИКТ гораздо выше [27, 44].

Использование ИКТ оправдано и *в спортивной медицине* для диагностики и мониторинга спортивных травм и заболеваний [2, 5].

Имеется опыт оценки возможностей инфракрасной цветной жидкокристаллической термографии и ИКТ *в комплексном лечении больных циррозом печени* (ЦП), осложнённом портальной гипертензией (ПГ). Полученные с помощью тепловизора результаты дают объективную информацию о степени кровоснабжения передней брюшной стенки у больных ЦП, осложнённым ПГ. Метод позволяет объективно оценить выраженность окольного кровотока по сосудистым коллатералям передней брюшной стенки. Термографические показатели коррелируют с ультразвуковыми и эндоскопическими данными, что позволяет хирургам определять целесообразность оперативного лечения и проводить неинвазивный мониторинг состояния пациента в послеоперационном периоде [21, 22].

Современные тепловизионные технологии открывают новые перспективы в создании температурных карт тела и позволяют проводить их оценку в динамике на протяжении многих месяцев и лет. Что важно, например, *в диабетологии*, где необходимо тщательно мониторировать периферическую перфузию и жизнеспособность тканей для планирования тактики дальнейшего ведения пациентов, а также оценки результатов проведенного лечения [36, 38, 40].

Термография может быть использована *в диагностике патологии щитовидной железы*. Так как щитовидная железа располагает обширным кровоснабжением, активно участвует в обмене веществ, то и температурные значения над ее поверхностью быстро реагируют на различные патологические изменения. На термограммах щитовидной железы при отсутствии функциональных отклонений нет четких границ органа, так как поверхность над щитовидной железой имеет изотермический характер. После 40 лет при инволюции щитовидной железы часто на термограммах наблюдается мягкая гипотермия. При гиперплазии щитовидной железы на термограммах фиксируется гипертермия в проекции органа, при снижении функциональной активности органа обнаруживается снижение температуры. При диффузном токсическом зобе гипертермия носит гомогенный характер и часто повторяет форму органа, при узловой

гиперплазии — становится негетогенной. При токсической аденоме и раке щитовидной железы проекция патологического очага дает на термограммах область с очень высоким повышением температуры [16]. В настоящее время ученые работают над созданием компьютерных моделей и математических алгоритмов, которые могли бы быть внедрены в клиническую практику и использоваться для диагностики различных патологий щитовидной железы [41].

Исследования по использованию диагностики ИКТ проводятся и *в неврологии*. Так, при лечении пациентов с кокцигодинией показано снижение поверхностной температуры в исследуемой области при положительном эффекте лечебных мероприятий в комплексе с сеансами мануальной терапии, что коррелировало со снижением уровня боли в процессе лечения. Данный подход более информативен и безопасен, чем классический, по субъективной оценке уровня боли (по опросникам и шкалам) и динамической рентгенографии [49].

Зарубежные авторы Ford R. D., Ford K. T. предлагают использовать термографию для диагностики головных болей [28]. Выделены термографические признаки кластерных головных болей [32].

Термографические признаки одностороннего синдрома позвоночной артерии (СПА) выявлены у 53,2 % обследуемых подростков, и это в 100 % случаев соответствовало данным, полученным другими методами исследования мозгового кровотока. Термографические признаки вертебробазилярной недостаточности (ВБН) выявлены у 19 % обследуемых, соответствие составило 86,7 %; термографические признаки венозного застоя выявлены у 64,6 % подростков и в 100 % соответствовали данным ультразвуковой доплерографии и реоэнцефалографии. Термографические признаки нестабильности шейного отдела позвоночника и дегенеративно-дистрофических изменений в нем выявлены у 58 и 56 % подростков соответственно и практически всегда были подтверждены данными рентгенографии. Проведённые исследования продемонстрировали высокую эффективность и достаточную точность комплекса доступных и неинвазивных методов исследования области головы и шеи при патологии шейного отдела позвоночника у подростков как комплекса объективизации болевого синдрома и выявления патологии и компенсаторных возможностей мозгового кровотока при нарушении мозгового кровообращения в вертебробазилярной системе головного мозга [21].

Все более широкое применение метод инфракрасной термографии ввиду его полной безопасности и бесконтактности находит *в неонатологии* и перинатальной психологии. Исследование терморегуляции у новорожденных позволили исследователям оценить распределение температур у недоношенных детей и определить дальнейшую тактику их ведения, позволили изучить взаимосвязь между температурой тела и развитием некротизирующего энтероколита у недоношенных новорожденных [30]. К. Mizukami с соавт.

с помощью ИКТ было показано, что температура кожи лица младенцев изменялась, когда они были отлучены от матери. В момент расставания с матерью было зафиксировано, что температура в области лба у младенцев снижалась в 9, 13, 29 недель, таким образом, исследователи пришли к заключению, что младенцы развивают эмоциональную привязанность к матери в возрасте от двух до четырех месяцев [33, 34].

Тепловизионный метод может быть использован *в акушерстве*. В ряде работ описан тепловизионный мониторинг температуры кожи головы плода, проводимый после ее прорезывания. Температура коры головного мозга является производной аэробного метаболизма и отражает обеспеченность кислородом [18]. Установлено, что при нормальном течении родов вся поверхность головы плода имеет либо одинаковую температуру, либо в области центральной щели черепа температура кожи может быть повышена [46]. При ишемии головного мозга плода: в состоянии фетоплацентарной недостаточности, внутриутробной гипоксии плода, при низкой устойчивости плода к гипоксии, а также при рождении плода в мекониальных водах кожа головы над центральным швом черепа может периодически иметь более низкую температуру в потужном периоде родов в связи с углублением гипоксии [47]. Авторы полагают, что тепловизионный мониторинг температуры кожи головы плода в потужном периоде родов может стать частью стандарта акушерского пособия [17, 46].

Очень востребован метод ИКТ *в онкологии*, поскольку позволяет на ранней стадии диагностировать такие патологии, как мастопатии, новообразования, метастазирование злокачественных новообразований. Исследования доказывают, что раннее обнаружение новообразований молочной железы повышает уровень выживаемости до 85 %, тогда как позднее обнаружение дает лишь 10 %. Таким образом, раннее обнаружение опухоли в данном случае является ключевым фактором в успешном лечении рака молочной железы. Метод ИКТ способен фиксировать патологическую картину, предшествующую значительным морфологическим изменениям, и превышает по информативности маммографию, он отражает физиологическую сторону процесса, воспроизводит картину ранней васкуляризации и метаболических изменений, соответствующих росту опухоли [24, 37]. При обследовании и соответствующем диагнозу лечении возможно частое повторение ИКТ, так как метод неинвазивен и не сопровождается облучением пациента.

Прогнозирование развития злокачественных опухолей является важной задачей. Использование современных приборов с чувствительностью, достаточной для устойчивой регистрации различий в минимальных температурных показателях нормальной и патологически изменённой тканей, позволяет зафиксировать опухоль в начальном состоянии, до того как диагноз подтверждается другими методами исследований [15].

Кроме вышеизложенных областей применения, термография может быть использована в ряде других

областей медицины, например, в терапии для диагностики заболеваний дыхательной, пищеварительной и мочеполовой систем, в офтальмологии и стоматологии, в гинекологии и дерматологии, и др.

Инфракрасная термография как метод медицинской диагностики имеет высокий потенциал, так как множество различных патологий дают изотермические изменения, регистрируемые на термограммах. Методика абсолютно неинвазивна, универсальна, проста в выполнении и безопасна как для врача, так и для пациента. В то же время широкого применения в клинической практике термография не получает из-за недостатка в объективности данных анализа термограмм. Избежать этого недостатка возможно с применением унифицированных автоматических программ для обработки термоизображений.

Автоматические методы анализа только разрабатываются в настоящее время, лишь частично внедряются в практику исследования той или иной патологии и пока не находят широкого клинического применения. О необходимости расширения практики применения автоматического анализа термограмм пишут многие авторы [14, 29, 42, 45, 48, 50]. Успехи в разработках алгоритмов автоматического распознавания изображений уже позволили успешно решать задачи анализа термоизображений, автоматизировать диагностику ряда заболеваний по термоснимкам. Как правило, работа с изображением состоит из нескольких этапов, среди них: определение области анализа (ROI), трансформация этого участка изображения в набор количественных измерений, которые принято называть признаками, и построение классификатора, то есть решающей процедуры, которая относит изображение к одному из заранее установленных классов. Методы получили широкое распространение в разработках систем ранней диагностики рака груди. Например, рассмотрен метод автоматической классификации снимков на два класса: больной/здоровый [35]. На основе разработанного авторами алгоритма сегментации снимка определяется область анализа, описывается с помощью совокупности статистических и текстурных признаков, затем с помощью метода опорных векторов производится классификация. По результатам экспериментальных исследований точность метода достигает 100 %. В другом исследовании [31] для выявления патологии на термоснимках авторы предлагают алгоритм автоматического анализа асимметрий между определенными участками левой и правой груди на тепловом снимке. Авторы предлагают построить вектор признаков, описывающий разницу между тепловыми паттернами и состоящий из 38 элементов, для каждого изображения. Сформированное таким образом пространство признаков авторы предлагают разделять на классы с помощью композиционного классификатора.

Очень важными параметрами для медицинской диагностики и дальнейшей автоматической обработки термоснимков являются условия эксперимента, такие как влажность воздуха, температура в комнате

исследования, наличие потоков воздуха, расположение объекта исследования относительно окон и тепловых приборов в кабинете и прочее. Таким образом, в медицинской диагностике, где температура варьирует в узком коридоре колебаний, необходимо строго соблюдать все параметры диагностического исследования и следовать стандартам протокола. В зарубежной литературе описаны версии таких стандартов [26, 39]. В работе Е. F. J. Ring, K. Ammer [39] показано, что ИКТ может давать достоверные результаты только при соблюдении исследователями определенных стандартов, таких как параметры кабинета для обследования, обработки изображений и анализа результатов. Итоги данной работы легли в основу актуального сегодня руководства для исследований в области медицинской термографии.

Таким образом, обобщая результаты исследований в области ИКТ, можно сделать вывод о том, что использование термографии в клинической практике в настоящее время носит прогрессирующий характер. Методика безопасна и невазизвна как для обследуемого, так и для исследователя, относительно дешевая в проведении, позволяет диагностировать патологические изменения на ранней доклинической стадии заболевания, дает возможность проводить мониторинг лечения (как хирургического, так и консервативного), повторять исследование в динамике, дает дополнительную диагностическую информацию по ряду различных патологий. Однако для повсеместного внедрения в практику методика ИКТ требует дополнительных исследований отдельно для каждой нозологической формы, диагностика которой возможна с помощью термографии и создания автоматических программ для обработки термоснимков.

Список литературы

1. Виноградов В. И., Веретенков И. С., Слезко В. Н., Пугач Г. И., Ланда В. А., Большакова Г. И. Некоторые аспекты применения термографии при реабилитации пациентов с нарушением функций опорно-двигательной и нервной систем // *Функциональная диагностика*. 2005. № 3. С. 72–78.
2. Дехтярев Ю. П., Мироненко С. А., Нечипорук В. И., Венгер Е. Ф., Голлюх А. Г., Дунаевский В. И., Котовский В. И. Применение дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний и последствий травм у спортсменов // *Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии»*. 2009. № 1. С. 220–223.
3. Дехтярев Ю. П., Нечипорук В. И., Мироненко С. А., Венгер Е. Ф., Дунаевский В. И., Котовский В. И., Соловьев Е. А. Инфракрасная дистанционная термография как вспомогательный метод в диагностике и лечении вертеброгенных болей у спортсменов // *Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии»*. 2010. № 3. С. 122–125.
4. Дехтярев Ю. П., Нечипорук В. И., Мироненко С. А., Ковальчук И. С., Венгер Е. Ф., Дунаевский В. И., Котовский В. И. Место и роль дистанционной инфракрасной термографии среди современных диагностических методов // *Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии»*. 2010. № 2. С. 192–196.
5. Жарова И. А. Показатели термографии у больных остеохондрозом и плоскостопием до и после курса физической реабилитации // *Физическое воспитание студентов творческих специальностей*. 2005. № 2. С. 66–73.
6. Замечник Т. В., Ларин С. И. Возможности термографии в диагностике варикозной болезни нижних конечностей // *Флебология*. 2009. № 3. С. 10–14.
7. Иваницкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине // *Успехи физических наук*. 2006. Т. 176, № 12. С. 1293–1320.
8. Иваницкий Г. Р. Тепловидение в медицине // *Вестник Российской академии наук*. 2006. Т. 76, № 1. С. 48–58.
9. Иваницкий Г. Р., Деев А. А., Хижняк Е. П., Хижняк Л. Н. Анализ теплового рельефа на теле человека // *Технологии живых систем*. 2007. Т. 4, № 5–6. С. 43–50.
10. Макаров А. И. Термографическая визуализация заживления ран // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2011. № 7. С. 37–38.
11. Попова Н. В., Попов В. А., Гудков А. Б. Возможности тепловидения и вариабельности сердечного ритма при прогностической оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы // *Экология человека*. 2012. № 11. С. 33–37.
12. Попова Н. В., Попов В. А., Гудков А. Б. Диагностическое значение термографии рук, ультразвукового исследования сонных артерий и артериального давления у больных ишемической болезнью сердца // *Экология человека*. 2013. № 10. С. 32–36.
13. Попова Н. В., Попов В. А., Гудков А. Б. Тепловизионная оценка ишемической болезни сердца // *Экология человека*. 2012. № 5. С. 51–57.
14. Ставоровский К. М. Автоматическая диагностика и анализ термограмм в медицинской практике // *Биомедицинские приборы и системы*. 2014. С. 47–55.
15. Терновой Н. К., Державин А. Е. Возможности и перспективы дистанционной инфракрасной термографии при изучении патологии опорно-двигательного аппарата // *Ортопедия и травматология*. 1985. № 5. С. 68–71.
16. Каченко Ю. А., Голованова М. В., Овечкин А. М. Клиническая термография (обзор основных возможностей). Нижний Новгород: Закрытое акционерное общество Союз восточной и западной медицины, 1998. 96 с.
17. Ураков А. Л. Инфракрасная термография и тепловая томография в медицинской диагностике: преимущества и ограничения // *Электронный научно-образовательный Вестник «Здоровье и образование в XXI веке»*. 2013. Т. 15, № 11. С. 45–51.
18. Уракова Н. А., Ураков А. Л. Теплоизучение поверхности головы плода как показатель обеспеченности коры головного мозга кислородом в родах // *Проблемы экспертизы в медицине*. 2012. № 3–4. С. 32–36.
19. Хижняк Л. Н. Диагностика и контроль эффективности лечения заболеваний сосудов нижних конечностей с использованием матричных тепловизионных систем: автореф. ... канд. мед. наук. Пушкино, 2006. 23 с.
20. Хижняк Л. Н., Хижняк Е. П., Иваницкий Г. Р. Диагностические возможности матричной инфракрасной термографии // *Вестник новых медицинских технологий*. 2012. Т. 19, № 4. С. 170.
21. Шушарин А. Г., Морозов В. В., Половинка М. П. Медицинское тепловидение – современные возможности метода // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 4. С. 1–18.
22. Якупов А. Ф., Анисимов А. Ю., Галимзянов А. Ф., Буеров Р. К. Возможности термографии в диагностике и

лечении больных циррозом печени, осложненным портальной гипертензией // Казанский медицинский журнал. 2008. Т. 89, № 6. С. 842–846.

23. *Ahmadi N., Nabavi V., Nuguri V., Hajsadeghi F., Flores F., Akhtar M., Kleis S., Hecht H., Naghavi M., Budoff M.* Low fingertip temperature rebound measured by digital thermal monitoring strongly correlates with the presence and extent of coronary artery disease diagnosed by 64-slice multi-detector computed tomography // *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2009. Vol. 25. P. 725–738.

24. *Arora N., Martins D., Ruggerio D., Tousimis E., Swistel A. J., Osborne M. P., Simmons R. M.* Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer // *The American Journal of Surgery*. 2008. N 196. P. 523–526.

25. *Bagavathiappan S., Saravanan T., Philip J., Jayakumar T., Raj B., Karunanithi R., Panicker T., Korath M. P., Jagadeesan K.* Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders // *J. Med Phys*. 2009. N 34. P. 43–47.

26. *Clark R. P., Calcina-Goff M. L.* d. International standardization in medical thermography // 18th Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Amsterdam. The Netherlands, 1996. P. 2089–2090.

27. *Denoble A. E., Hall N., Pieper C. F., Kraus V. B.* Patellar Skin Surface Temperature by Thermography Reflects Knee Osteoarthritis Severity // *Clinical Medicine Insights : Arthritis and Musculoskeletal Disorders*. 2010. N 3. P. 69–75.

28. *Ford R. G., Ford K. T.* Thermography in the diagnosis of headache // *Semin Neurol*. 1997. N 17 (4). P. 343–349.

29. *Ibarra-Castanedo C., D. Gonzalez M., Klein M., Pilla S., Vallerand X.* Maldague Infrared image processing and data analysis // *Infrared Physics & Technology*. 2004. Vol. 46, Iss. 1–2. P. 75–83.

30. *Knobel R. B., Guenther B. D., Rice H. E.* Thermoregulation and thermography in neonatal physiology and disease // *Biological research for nursing*. 2011. Vol. 13, N 3. P. 274–282.

31. *Krawczyk B., Schaefer G.* Effective multiple classifier systems for breast thermogram analysis // *Pattern Recognition (ICPR)* // 21st International Conference, 2012. P. 334–3348.

32. *Lee Kudrow M. D.* A Distinctive Facial Thermographic Pattern in Cluster Headache the “Chai” Sign // *Headache : The Journal of Head and Face Pain*. 1985. Vol. 25, iss. 1. P. 33–36.

33. *Mizukami K., Kobayashi N., Ishii T., Iwata H.* First selective attachment begins in early infancy: A study using telethermography // *Infant Behavior and Development*. 1990. N 13. P. 257–271.

34. *Mizukami K., Kobayashi N., Iwata H., Ishii. T.* Telethermography in infant’s emotional behavioral research // *Lancet*. 1987. N 11. P. 38–39.

35. *Mona A. S. Ali, Gehad Ismail Sayed, Tarek Gaber, Aboul Ella Hassanien, Vaclav Snasel, Lincoln F. Silva.* Detection of Breast Abnormalities of Thermograms based on a New Segmentation Method // *Proceedings of the 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems / eds. M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki. ACSIS, 2015. Vol. 5. P. 255–261.*

36. *Naicker A. S., Roohi S. A., Lee C. S., Chan W. H., Tay L. S., Din X. J., Eow L. H.* Alteration of foot temperature in diabetic neuropathy: is it another piece of puzzle? // *Med. J. Malaysia*. 2006. Vol. 61, suppl. A. P. 10–13.

37. *Ng E. Y. K.* A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor // *International Journal of Thermal Sciences*. 2009. N 48. P. 849–859.

38. *Papanas N., Papatheodorou K., Papazoglou D., Kotsiou, S., Maltezos, E.* Association between Foot temperature and SodomotorDisfunction in Type 2 Diabetes // *J. Journal of Diabetes Science and Technology*. 2010. Vol. 4, N 4. P. 803–807.

39. *Ring E. F. J., Ammer K.* The technique of infrared imaging in medicine // *Thermology International*. 2000. P. 7–14.

40. *Ring E. F.* Thermal Imaging Today and Its Relevance to diabetes // *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2010. Vol. 4, N 4. P. 857–862.

41. *Rizkalla J., Tilbury W., Helmy A., Kumar Suryadevara V., Rizkalla M., Holdmann M.* Computer Simulation/ Practical Models for Human Thyroid Thermographic Imaging // *J. Biomedical Science and Engineering*. 2015. N 8. P. 246–256.

42. *Selvarasu N., Alamelu Nachiappan, Nandhitha N. M.* Extraction Algorithms for Abnormality Quantification from Medical Thermograms // *International Journal of Recent Trends in Engineering*. 2009. Vol. 1, N 3. P. 73–75.

43. *Sowa M. G., Friesen J. R., Hain M.* Evaluating the Potential of Infrared Thermography in the Study of Peripheral Arterial Occlusive Disease // *MEASUREMENT 2009 : Proceedings of the 7th International Conference*. Smolenice, Slovakia, 2009. P. 427–430.

44. *Spalding S. J., Kwok C. K., Boudreau R., Enama J., Lunish J., Huber D., Denes L., Hirsch R.* Three-dimensional and thermal surface imaging produces reliable measures of joint shape and temperature: a potential tool for quantifying arthritis // *Arthritis Res. Ther*. 2008. Vol. 10, N 1. P. 10.

45. *Szentkuti A., Kavanagh H. S., Grazio S.* Infrared thermography and image analysis for biomedical use // *Periodicumbiologorum*. 2011. Vol. 113, N 4. P. 385–392.

46. *Urakov A., Urakova N., Kasatkin A.* Temperature of newborns as a sign of life in Russia - time to change in World // *J. Perinat. Med*. 2013. Vol. 41. P. 473.

47. *Urakova N.* Decrease of the temperature of the head of the fetus during birth as a symptom of Hypoxia // *Thermology International*. 2013. Vol. 23, N 2. P. 74–75.

48. *Wakamiya J.* Data-processing method for standardization of thermographic diagnosis // *Engineering in Medicine and Biology Society*. 2000 : *Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE*, 2000. Vol. 2. P. 1432–1435.

49. *Wu C. L., Yu K. L., Chuang H. Y., Huang M. N., Chen T. W., Chen C. H.* The application of infrared thermography in the assessment of patients with coccygodynia before and after manual therapy combined with diathermy // *J. Manipulative Physiol. Ther*. 2009. Vol. 32, N 4. P. 287–293.

50. *Zivcak J., Hudac R., Madarasz L., Rudas I. J.* Methodology, Models and Algorithms in Thermographic Diagnostics (Topics in Intelligent Engineering and Informatics) // *Springer*. 2013. 222 p.

References

1. Vinogradov V. I., Veretenov I. S., Slezko V. N., Pugach G. I., Landa V. A., Bol’shakova G. I. Some aspects of application of thermography in the rehabilitation of patients with dysfunction of the musculoskeletal and nervous systems. *Funktsional’naya diagnostika* [Functional diagnostics]. 2005, 3, pp. 72–78. [in Russian]

2. Dekhtyarev Yu. P., Mironenko S. A., Nechiporuk V. I., Venger E. F., Gollyukh A. G., Dunaevskii V. I., Kotovskii V. I. The use of remote infrared thermography in the diagnosis of disease and trauma in athletes. *Elektronika i svyaz’. Tematicheskii vypusk «Elektronika i nanotekhnologii»*

[Electronics & Communications. The thematic issue of "Electronics and Nanotechnology"]. 2009, 1, pp. 220-223. [in Russian]

3. Dekhtyarev Yu. P., Nechiporuk V. I., Mironenko S. A., Venger E. F., Dunaevskii V. I., Kotovskii V. I., Solov'ev E. A. Infrared remote thermography as an auxiliary method in the diagnosis and treatment of vertebral pain in athletes. *Elektronika i svyaz'. Tematicheskii vypusk «Elektronika i nanotekhnologii»* [Electronics & Communications. The thematic issue of "Electronics and Nanotechnology"]. 2010, 3, pp. 122-125. [in Russian]

4. Dekhtyarev Yu. P., Nechiporuk V. I., Mironenko S. A., Koval'chuk I. S., Venger E. F., Dunaevskii V. I., Kotovskii V. I. The place and role of remote infrared thermography among modern diagnostic methods. *Elektronika i svyaz'. Tematicheskii vypusk «Elektronika i nanotekhnologii»* [Electronics & Communications. The thematic issue of "Electronics and Nanotechnology"]. 2010, 2, pp. 192-196. [in Russian]

5. Zharova I. A. Indicators of thermography in patients with osteochondrosis and flat feet before and after a course of physical rehabilitation. *Fizicheskoe vospitanie studentov tvorcheskikh spetsial'nostey* [Physical training of students of creative specialties]. 2005, 2, pp. 66-73. [in Russian]

6. Zamechnik T. V., Larin S. I. The possibilities of the thermography in the diagnosis of varicose veins of the lower extremities. *Flebologiya* [Phlebology]. 2009, 3, pp. 10-14. [in Russian]

7. Ivanitskiy G. R. Modern matrix thermovision in biomedicine. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical sciences]. 2006, 176 (12), pp. 1293-1320. [in Russian]

8. Ivanitskiy G. R. Thermal imaging in medicine. *Vestnik RAN* [Herald of the Russian Academy of Sciences]. 2006, 76 (1), pp. 48-58. [in Russian]

9. Ivanitskiy G. R., Deev A. A., Khizhnyak E. P., Khizhnyak L. N. Analysis of the thermal relief on the human body. *Tekhnologii zhiyokh sistem* [Living Systems Technologies]. 2007, 4 (5-6), pp. 43-50. [in Russian]

10. Makarov A. I. Thermographic imaging of wound healing. *Mejdnarodnii jurnal prikladnih i fundamental'nih issledovaniy* [International journal of applied and fundamental research]. 2011, 7, pp. 37-38. [in Russian]

11. Popova N. V., Popov V. A., Gudkov A. B. Opportunities of Thermography and Heart Rate Variability in Predictive Valuation of Cardiovascular System Functional State. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 11, pp. 33-37. [in Russian]

12. Popova N. V., Popov V. A., Gudkov A. B. Diagnostic Significance of Hand Thermography, Ultrasonic Research of Carotid and Arterial Pressure in Patients with Ischemic Heart Disease. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 10, pp. 32-36. [in Russian]

13. Popova N. V., Popov V. A., Gudkov A. B. Thermal Imaging Assessment of Ischemic Heart Disease. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 5, pp. 51-57. [in Russian]

14. Stavorovskiy K. M. Automatic diagnosis and analysis of thermal images in medical practice. *Biomeditsinskiy pribory i sistemy* [Biomedical Devices and Systems]. 2014, pp. 47-55. [in Russian]

15. Ternovoy N. K., Derzhavin A. E. Opportunities and prospects of remote infrared thermography in the study of diseases of the musculoskeletal system. *Ortopediya i travmatologiya* [Orthopedics and Traumatology]. 1985, 5, pp. 68-71. [in Russian]

16. Tkachenko Yu. A., Golovanova M. V., Ovechkin A. M. *Klinicheskaya termografiya (obzor osnovnykh vozmozh-*

nostey) [Clinical Thermography (an overview of the main features)]. Nizhny Novgorod, Closed Joint Union of Eastern and Western medicine. 1998, 96 p.

17. Urakov A. L. Infrared thermography and thermal imaging in medical diagnosis: the benefits and limitations. *Elektronnyy nauchno-obrazovatel'nyy Vestnik «Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke»* [E-scientific-educational Herald "Health and Education in the XXI century"]. 2013, 15 (11), pp. 45-51. [in Russian]

18. Urakova N. A., Urakov A. L. Heat radiation surface of the fetal head as a measure of security cortical oxygen delivery. *Problemy ekspertizy v meditsine* [Problems of expertise in medicine]. 2012, 3-4, pp. 32-36. [in Russian]

19. Khizhnyak L. N. *Diagnostika i kontrol' effektivnosti lecheniya zabolevaniy sosudov nizhnikh konechnostey s ispol'zovaniem matrichnykh termovizionnykh sistem. Avtoref. kand. diss.* [Diagnosis and monitoring the effectiveness of treatment of lower extremity vascular disease using matrix thermovision systems. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Pushchino, 2006, 23 p.

20. Khizhnyak L. N., Khizhnyak E. P., Ivanitskiy G. R. The diagnostic capabilities of infrared thermography matrix. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of new medical technologies]. 2012, 19 (4), p. 170. [in Russian]

21. Shusharin A. G., Morozov V. V., Polovinka M. P. Medical thermal imaging - the method of advanced features. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2011, 4, pp. 1-18. [in Russian]

22. Yakupov A. F., Anisimov A. Yu., Galimzyanov A. F., Bugrov R. K. The possibilities of thermography in the diagnosis and treatment of patients with liver cirrhosis complicated by portal hypertension. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal* [Kazan Medical Journal]. 2008, 89 (6), pp. 842-846. [in Russian]

23. Ahmadi N., Nabavi V., Nuguri V., Hajsadeghi F., Flores F., Akhtar M., Kleis S., Hecht H., Naghavi M., Budoff M. Low fingertip temperature rebound measured by digital thermal monitoring strongly correlates with the presence and extent of coronary artery disease diagnosed by 64-slice multi-detector computed tomography. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*. 2009, 25, pp. 725-738.

24. Arora N., Martins D., Ruggerio D., Tousimis E., Swistel A. J., Osborne M. P., Simmons R. M. Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer. *The American Journal of Surgery*. 2008, 196, pp. 523-526.

25. Bagavathiappan S., Saravanan T., Philip J., Jayakumar T., Raj B., Karunanithi R., Panicker T., Korath M. P., Jagadeesan K. Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders. *J. Med Phys.* 2009, 34, pp. 43-47.

26. Clark R. P., Calcina-Goff M. L. d. International standardization in medical thermography. 18th Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Amsterdam. *The Netherlands*. 1996, pp. 2089-2090.

27. Denoble A. E., Hall N., Pieper C. F., Kraus V. B. Patellar Skin Surface Temperature by Thermography Reflects Knee Osteoarthritis Severity. *Clinical Medicine Insights. Arthritis and Musculoskeletal Disorders*. 2010, 3, pp. 69-75.

28. Ford R. G., Ford K. T. Thermography in the diagnosis of headache. *Semin Neurol*. 1997, 17 (4), pp. 343-349.

29. Ibarra-Castaneda S., D. Gonzalez M., Klein M., Pilla S., Vallerand X. Maldague Infrared image processing and data analysis. *Infrared Physics & Technology*. 2004, 46 (1-2), pp. 75-83.

30. Knobel R. B., Guenther B. D., Rice H. E. Thermoregulation and thermography in neonatal physiology and disease. *Biological research for nursing*. 2011, 13 (3), pp. 274-282.
31. Krawczyk B., Schaefer G. Effective multiple classifier systems for breast thermogram analysis Pattern Recognition (ICPR). *21st International Conference*. 2012, pp. 334-3348.
32. Lee Kudrow M. D. A Distinctive Facial Thermographic Pattern in Cluster Headache the "Chai" Sign. *Headache. The Journal of Head and Face Pain*. 1985, 25 (1), pp. 33-36.
33. Mizukami K., Kobayashi N., Ishii T., Iwata H. First selective attachment begins in early infancy: A study using telethermography. *Infant Behavior and Development*. 1990, 13, pp. 257-271.
34. Mizukami K., Kobayashi N., Iwata H., Ishii. T. Telethermography in infant's emotional behavioral research. *Lancet*. 1987, 11, pp. 38-39.
35. Mona A. S. Ali, Gehad Ismail Sayed, Tarek Gaber, Aboul Ella Hassanien, Vaclav Snasel, Lincoln F. Silva. Detection of Breast Abnormalities of Thermograms based on a New Segmentation Method. *Proceedings of the 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. Eds. M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki. ACSIS. 2015, 5, pp. 255-261.
36. Naicker A. S., Roohi S. A., Lee C. S., Chan W. H., Tay L. S., Din X. J., Eow L. H. Alteration of foot temperature in diabetic neuropathy: is it another piece of puzzle? *Med. J. Malaysia*. 2006, 61, suppl. A, pp. 10-13.
37. Ng E.Y.K. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *International Journal of Thermal Sciences*. 2009, 48, pp. 849-859.
38. Papanas N., Papatheodorou K., Papazoglou D., Kotsiou, S., Maltezos, E. Assotiation between Foot temperature and Sodomotor Disfunction in Type 2 Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2010, 4 (4), pp. 803-807.
39. Ring E. F. J., Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermology International*. 2000, pp. 7-14.
40. Ring E. F. Thermal Imaging Today and Its Relevance to diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2010, 4 (4), pp. 857-862.
41. Rizkalla J., Tilbury W., Helmy A., Kumar Suryadevara V., Rizkalla M., M. Holdmann M. Computer Simulation/Practical Models for Human Thyroid Thermographic Imaging. *J. Biomedical Science and Engineering*. 2015, 8, pp. 246-256.
42. Selvarasu N., Alamelu Nachiappan, Nandhitha N. M. Extraction Algorithms for Abnormality Quantification from Medical Thermograms. *International Journal of Recent Trends in Engineering*. 2009, 1 (3), pp. 73-75.
43. Sowa M. G., Friesen J. R., Hain M. Evaluating the Potential of Infrared Thermography in the Study of Peripheral Arterial Occlusive Disease. *MEASUREMENT 2009: Proceedings of the 7th International Conference. Smolenice, Slovakia*. 2009, pp. 427-430.
44. Spalding S. J., Kwoh C. K., Boudreau R., Enama J., Lunish J., Huber D., Denes L., Hirsch R. Three-dimensional and thermal surface imaging produces reliable measures of joint shape and temperature: a potential tool for quantifying arthritis. *Arthritis Res. Ther*. 2008, 10 (1), p. 10.
45. Szentkuti A., Kavanagh H. S., Grazio S. Infrared thermography and image analysis for biomedical use. *Periodicumbiologorum*. 2011, 113 (4), pp. 385-392.
46. Urakov A., Urakova N., Kasatkin A. Temperature of newborns as a sign of life in Russia - time to change in World. *J. Perinat. Med*. 2013, 41, p. 473.
47. Urakova N. Decrease of the temperature of the head of the fetus during birth as a symptom of Hypoxia. *Thermology International*. 2013, 23 (2), pp. 74-75.
48. Wakamiya J. Data-processing method for standardization of thermographic diagnosis. *Engineering in Medicine and Biology Society. 2000. Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE*. 2000, 2, pp. 1432-1435.
49. Wu C. L., Yu K. L., Chuang H. Y., Huang M. N., Chen T. W., Chen C. H. The application of infrared thermography in the assessment of patients with coccygodynia before and after manual therapy combined with diathermy. *J. Manipulative Physiol. Ther*. 2009, 32 (4), pp. 287-293.
50. Zivcak J., Hudac R., Madarasz L., Rudas I. J. Methodology, Models and Algorithms in Thermographic Diagnostics (Topics in Intelligent Engineering and Informatics). *Springer*. 2013, 222 p.

Контактная информация:

Панков Михаил Николаевич — кандидат медицинских наук, доцент, директор института медико-биологических исследований ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова» Министерства образования и науки Российской Федерации

Адрес: 163045, г. Архангельск, пр. Бадигина, д. 3

E-mail: m.pankov@narfu.ru