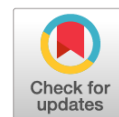


DOI: <https://doi.org/10.17816/vto636883>

EDN: RHMGMML



О возможности применения медицинской термографии в профилактике и диагностике осложнений в периоперационном периоде при оказании экстренной травматологической помощи

А.М. Морозов¹, П.Г. Коган², К.И. Хорак², М.Е. Пискарева¹¹ Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Россия;² Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Температурный показатель можно назвать одним из ключевых индикаторов при выявлении большей части патологий хирургического и травматологического профиля. В современной медицинской практике одним из наиболее востребованных и актуальных является метод инфракрасной термографии. В настоящее время методика ещё не получила широкого распространения, и её использование недостаточно сильно освещено в научном сообществе. Целью настоящего исследования является анализ данных о практическом значении и роли метода медицинской термографии в диагностике и прогнозировании исхода послеоперационных осложнений у больных травматологического профиля. В ходе данного исследования был проведён анализ как отечественных, так и зарубежных литературных источников на тему возможностей и перспективы использования медицинской термографии в современной травматологии. В травматологической и ортопедической практике методика инфракрасной термографии чаще используется с целью диагностики хронических поражений позвоночного столба и костей в целом, таких как сколиоз, остеопороз и остеохондроз. При острых травматических повреждениях она чаще применяется для интраоперационного, а также послеоперационного мониторинга с целью предупреждения или наиболее ранней диагностики развития осложнений, так как исход заболевания напрямую зависит от своевременной и адекватной диагностики, а также определения доминирующего повреждения. Мнения представителей научного сообщества об использовании методики медицинской термографии неоднозначны. С одной стороны, абсолютное большинство исследователей, изучающих возможности применения медицинской термографии, считают её хорошим дополнением к основным инструментальным методам исследования, однако, несмотря на все преимущества и большой потенциал применения, методика ещё не получила широкого распространения. Метод инфракрасной термографии является одним из перспективных методов диагностики в современной медицине, особенно в травматологии. Проведение большого количества исследований, раскрывающих потенциал медицинского тепловидения, поможет привлечь к нему внимание и поспособствует его распространению, в том числе в травматологической практике.

Ключевые слова: травматология; термография; тепловидение; послеоперационные осложнения; инструментальные исследования.

Как цитировать:

Морозов А.М., Коган П.Г., Хорак К.И., Пискарева М.Е. О возможности применения медицинской термографии в профилактике и диагностике осложнений в периоперационном периоде при оказании экстренной травматологической помощи // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2025. Т. 32, № 2. С. 529–542. DOI: 10.17816/vto636883 EDN: RHMGMML

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto636883>

EDN: RHMGMML

Potential Use of Medical Thermography in the Prevention and Diagnosis of Perioperative Complications in Emergency Trauma Care

Artem M. Morozov¹, Pavel G. Kogan², Konstantin I. Khorak², Maria E. Piskareva¹

¹ Tver State Medical University, Tver, Russia;

² Vreden National Medical Center for Traumatology and Orthopedics, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

Body temperature is one of the key indicators for diagnosing a variety of surgical and trauma-related conditions. Infrared thermography is one of the most relevant and widely used methods in modern clinical practice. This technique has not yet received general acceptance, and its use is currently underrepresented in the scientific community. The aim of this study was to analyze existing data on the practical significance and role of medical thermography in diagnosing and predicting postoperative complications in trauma patients. An analysis of both Russian and international publications was conducted to explore the potential and future prospects of medical thermography in current trauma practice. In orthopedic and trauma practice, infrared thermography is more commonly used to diagnose chronic musculoskeletal conditions such as scoliosis, osteoporosis, and osteochondrosis. In acute traumatic injuries, it is more commonly used for intraoperative and postoperative monitoring to prevent complications or enable their early detection, as treatment outcomes largely depend on timely and adequate diagnosis and identification of the primary injury. Opinions within the scientific community on the use of medical thermography remain divided. On the one hand, the vast majority of researchers studying the potential of medical thermography consider it a valuable supplement to conventional imaging methods. However, despite its numerous advantages and significant application potential, the technique has yet to be widely adopted. Infrared thermography is a promising diagnostic tool in modern medicine, especially in traumatology. Conducting more studies to explore its capabilities could help raise awareness and promote its integration into trauma care practice.

Keywords: traumatology; thermography; thermal imaging; postoperative complications; instrumental studies.

To cite this article:

Morozov AM, Kogan PG, Khorak KI, Piskareva ME. Potential Use of Medical Thermography in the Prevention and Diagnosis of Perioperative Complications in Emergency Trauma Care. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2025;32(2):529–542. DOI: 10.17816/vto636883 EDN: RHMGMML

ВВЕДЕНИЕ

Стихийные бедствия, региональные конфликты и широкое использование транспортных средств привели к тому, что последствия травматических повреждений стали четвёртой ведущей причиной летальных исходов. Помимо этого, данная патология является первой причиной летальных исходов среди молодёжи в возрасте до 45 лет. В настоящее время травматологическая помощь сталкивается с тремя основными проблемами: это догоспитальная срочная медицинская помощь, неотложная помощь в стационарах, а также профилактика и интенсивное лечение травматических осложнений [1].

Послеоперационные осложнения являются проблемой, не теряющей своей актуальности на протяжении многих лет, в особенности для травматологического профиля. По статистике Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), каждый год в мире выполняется около 234 млн обширных оперативных вмешательств. Несмотря на пристальное внимание к данному вопросу со стороны системы здравоохранения и повышение качества жизни населения, риск развития послеоперационных осложнений по-прежнему остаётся значительным и составляет до 16%, из которых 20% приходится на инфекционные осложнения. Показатели состояния больного являются важным критерием при подготовке к оперативному вмешательству и прогнозировании его осложнений [2, 3].

Точная диагностика травматического повреждения и адекватный подход к его лечению способствуют снижению частоты развития осложнений. Современные неинвазивные методы лучевой диагностики способны предоставить сочетание высокой информативности и скорости выполнения, а также объективной регистрации показателей [4]. Традиционные методы визуализации в диагностике послеоперационных осложнений, такие как компьютерная и магнитно-резонансная томография, а также ультразвуковое исследование, не теряют своей актуальности в современной травматологии, однако являются более экономически затратными, а для их проведения и описания полученных результатов требуются узкие специалисты. На фоне вышеописанных методов существенно выделяется методика инфракрасной термографии (тепловидения) — она несколько уступает им в точности и информативности, однако способна существенно их дополнить [5]. Так, например, S. Derruau и соавт. (2018) оценили в своём исследовании возможности объединения медицинской термографии с другими методами инструментальной визуализации. Авторы продемонстрировали потенциал совместного использования тепловидения с магнитно-резонансной томографией [6]. В то же время в статье G. Nazzaro (2020) описано применение комбинации термографии и цветной доплерографии, что также показало положительные результаты в диагностике и оценке возможных осложнений в послеоперационном периоде. Кроме того, термография может применяться

в качестве метода для визуализации результатов лечения в режиме реального времени при проведении различного рода манипуляций, в том числе и интраоперационно [7].

Применение инфракрасной термографии варьирует в широких пределах. Тепловидение применяется в области медицины для исследования кровотока, работы мышц и выявления патологий онкологического профиля. Метод предоставляет данные о тканевой микрососудистой гемодинамике при мониторинге равновесия между доставкой кислорода и его потреблением. Технология может применяться для диагностики сосудистых нарушений и оценки перфузии тканей во время движения или реакции на лечение либо во время его проведения в связи с её простотой в использовании для прикроватных измерений [8].

В травматологической и ортопедической практике методика инфракрасной термографии чаще используется с целью диагностики хронических поражений позвоночного столба и костей в целом, таких как сколиоз, остеопороз и остеохондроз [9]. При острых травматических повреждениях она чаще применяется для интраоперационного, а также послеоперационного мониторинга с целью предупреждения или наиболее ранней диагностики развития осложнений, так как исход заболевания напрямую зависит от своевременной и адекватной диагностики, а также определения доминирующего повреждения [4, 10–12].

Распространение метода термографии в медицинской практике обладает большим потенциалом и способен быстро предоставить объективную информацию о состоянии организма больного [13].

Целью настоящего обзора является анализ данных о практическом значении и роли метода медицинской термографии в диагностике и прогнозировании исхода послеоперационных осложнений у больных травматологического профиля.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

В ходе настоящего исследования был проведён анализ как отечественных, так и зарубежных литературных источников на тему возможностей и перспективы использования медицинской термографии в современной травматологии. Базой для поиска информации послужили MedLine (PubMed), Научная электронная библиотека, интегрированная с Российским индексом научного цитирования, eLIBRARY, а также Scopus.

ОБСУЖДЕНИЕ

Температурный показатель можно назвать одним из ключевых индикаторов при выявлении большей части патологий хирургического и травматологического профиля. Температура кожи здорового человека в стандартизированных условиях окружающей среды находится в узком диапазоне и зависит от интенсивности кровообращения в нижних слоях кожи. Любые отклонения в температуре

поверхности могут иметь множество причин, таких как воспалительные, опухолевые, инфекционные и др. В современной медицинской практике метод инфракрасной термографии является одним из наиболее востребованных и актуальных, однако в настоящее время методика ещё не получила широкого распространения, и её использование недостаточно сильно освещено в научном сообществе [14–17].

Главным компонентом, необходимым для проведения тепловизионного исследования, является термографическая камера, которая фиксирует интенсивность длинных инфракрасных лучей, преобразуя их в электрические сигналы и сравнивая с зависимостью от излучения температуры в памяти камеры [18]. Современные термографические устройства имеют небольшие размеры, обладают высокой чувствительностью (0,02 °C) и высоким разрешением для обеспечения более чётких изображений. Вместе с тем в последние годы некоторые производители медицинских тепловизоров начали выпускать недорогие камеры с ограниченными функциями, что существенно снизило качество получаемого изображения, а также надёжность проведения метода [19].

Методики проведения термографии

В основе метода медицинской термографии лежит измерение естественного теплового излучения от поверхности тела человека в невидимой инфракрасной области электромагнитного спектра, что позволяет визуализировать и количественно оценить температуру поверхности объекта. На данный момент выделяют три основные методики проведения термографического исследования: локально-проеекционную, дистантно-проеекционную и динамическую [9].

Локально-проеекционная методика фиксирует излучение, исходящее от кожного покрова в очаге локализации патологического процесса и основывается на трансформации механизмов терморегуляции под воздействием патологического процесса [20].

Дистантно-проеекционная методика фиксирует особенности инфракрасного излучения за пределами проекции очага локализации патологического процесса. В основе данной методики лежит нервно-рефлекторный механизм, сообщающий тепловую информацию об очаге поражения за его пределы [21].

Динамическая методика фиксирует модификацию инфракрасного излучения в течение определённого временного промежутка (в динамике). В основе данной методики лежит изменение объёма инфракрасного излучения за счёт изменения активности патологического процесса. Исследование проводится с применением провоцирующих тестов, способствующих быстрому изменению интенсивности излучения, а также повышающих нагрузку на механизмы терморегуляции и, как следствие, многократно усиливающих проявление имеющихся синдромов [9, 21].

Методика медицинского тепловидения помогает достаточно точно выявить изменения теплопродукции и теплопереноса на поверхности тела и, следовательно, установить расстройства кровообращения, иннервации, а также другие патологические изменения. За счёт выраженного развития сосудистой сети в коже и подкожно-жировой клетчатке поверхностный кровоток является важным индикатором патологического процесса. Температура кожных покровов зависит от интенсивности кровообращения, метаболических процессов, протекающих в тканях, а также от теплопроводности самих тканей. Таким образом, инфракрасная термография позволяет косвенно судить о функциональных нарушениях микроциркуляции [22–24]. Локальные нарушения микроциркуляции, как правило, указывают на наличие воспалительных или дистрофических процессов [25]. В качестве подтверждения чувствительности термографического метода для оценки микроциркуляторного русла может быть проведена регистрация сосудистых реакций [26, 27].

Преимущества и недостатки термографии

Применение инфракрасной термографии имеет ряд преимуществ перед другими методами инструментальной диагностики. Данная методика представляет собой быстрый, безболезненный, бесконтактный, неинвазивный и безрадиационный способ фотографического изображения различий в температуре поверхности кожи, что позволяет произвольно повторять запись неограниченное количество раз без малейшего вреда для здоровья человека [28–31]. Термическая визуализация помогает выявить мельчайшие изменения в подлежащих тканях, а также неврологические, сосудистые и метаболические патологии. Для данной цели применяются современные инфракрасные тепловизионные камеры, которые обладают высокой температурной чувствительностью и производят тепловые изображения с высоким разрешением. В сравнении с другими, более привычными, методами визуализации, используемыми для диагностики послеоперационных осложнений, такими как ультразвуковое исследование и магнитно-резонансная томография, метод инфракрасной термографии отличается полным отсутствием специфических противопоказаний. Помимо этого, среди преимуществ медицинского тепловидения стоит выделить низкие эксплуатационные расходы и более короткое время обработки изображений. Процесс проведения процедуры является менее трудоёмким по сравнению с другими инструментальными методами диагностики, не требует значительной квалификационной подготовки и может проводиться средним или даже младшим медицинским персоналом [32–35]. Кроме того, техника, применяемая для проведения термографического исследования, не требует дополнительных расходных материалов или какого-либо обслуживания и практически не подвержена влиянию человеческого фактора [36, 37].

Однако, несмотря на все свои преимущества, термография имеет также ряд недостатков, среди которых можно выделить техническое несовершенство аппаратуры и относительно небольшое качество полученных в ходе исследования изображений, а также неспецифичность метода и гипердиагностику. Результаты термографических измерений могут варьировать даже при отсутствии патологических изменений в зависимости от таких факторов, как время суток и время года, состояние сознания, возраст, гормональный фон, а также от ряда лекарственных препаратов [38, 39]. Дополнительно из недостатков можно выделить относительно небольшую проникающую способность. С.В. Мельников и соавт. (2024) отмечают неспособность выявления патологий на глубине более 2 см, что делает невозможным использование медицинской термографии в качестве единственного метода диагностики [5]. Помимо этого, широкому применению метода в данный момент препятствует недостаточная объективность данных анализа термограмм, однако М.Е. Виндерлих и соавт. (2020) считают, что изменить данную ситуацию возможно за счёт применения современных моделей тепловизоров, имеющих более высокое разрешение, а также использования унифицированных автоматических программ для обработки термоизображений [40].

При этом следует отметить различную ценность тепловизионного исследования при разных патологических процессах. Так, в ряде случаев по результатам нативного исследования органов и тканей, обладающих явной патологией, на их термограммах могут отсутствовать какие-либо отклонения, что происходит за счёт нивелирования возможных температурных нарушений, так как температура глубоких тканей шунтируется и видоизменяется при прохождении покровных тканей, связочного и костного аппаратов. Однако термография позволяет точно выявлять локальные изменения температуры. Существуют и диаметрально противоположные клинические ситуации, когда верное заключение может быть сформировано только на основании термограмм [39, 40].

Термография в предоперационном периоде

Изменение распределения энергии и, как следствие, изменение теплового излучения и его визуализации на термограмме происходит при любых трансформациях, существующих в норме морфофункциональных характеристик тканей конечности, а также её топографии. Поскольку паттерн инфракрасного излучения в первую очередь определяется местной и общей регуляцией кровотока в ткани, условной норме соответствуют здоровые ткани с неизменённым кровотоком и сохранными нервными путями управления терморегуляции. Использование тепловидения помогает оценить и сравнить состояние до и после оперативного вмешательства, а также отследить изменения в динамике, что даёт возможность определить эффективность проводимого лечения

и предупредить или выявить развивающиеся осложнения на ранних стадиях [41, 42].

В целях более детального определения локализации патологического процесса ряд авторов предлагают составление термотопографических карт. Для их создания производится серия тепловых и оптических снимков, которые впоследствии объединяются в единое краевое изображение и используются для оценки преобразований шаблонов конечностей в процессе локализации. В соответствии с преобразованиями шаблонов температурные карты рассчитываются и сопоставляются друг с другом с целью определения группы областей, превышающих определённый температурный порог. Полученный набор потенциальных областей локализации патологического процесса фильтруется в соответствии с особенностями изменения температуры, чтобы получить окончательный список поражённых областей [43, 44]. Так, в исследовании D. Kesztyűs (2023) было проанализировано 168 термографических изображений, и описанный выше алгоритм дал точность 95,83% для обнаружения контура стопы и 94,28% для областей воспаления. Данный автоматизированный алгоритм обладает повышенной точностью выявления патологических процессов и может быть использован для улучшения термографической диагностики, а также для разработки мобильной системы тепловидения [33].

Аналогичным образом R. Vardasca (2012) исследовал на модели симметричность распределения температуры верхних и нижних конечностей, используя инфракрасную термографию для составления и анализа отличий теплового профиля у здоровых и больных людей [45]. Поскольку температурное поле на поверхности любого организма отражает внутренние воспалительные процессы, происходящие в нём, вазодилатация и формирование местной воспалительной реакции должны сопровождаться изменением распределения температуры кожных покровов повреждённого участка тканей [40, 46]. Сразу после травматического эпизода происходят разрыв сосудов и немедленная воспалительная реакция области травмы в окружающих её тканях [47]. Острый воспалительный процесс стимулирует выработку цитокинов, которые накапливаются в месте травматического поражения, что повышает метаболизм и температуру окружающих тканей [19, 48]. Воспалительный процесс и изменения в перфузии крови вызывают изменение термической картины, видимой на коже с помощью медицинской инфракрасной термографии [49, 50]. С учётом данных аспектов методику инфракрасной термографии возможно применять с диагностической целью при травматических повреждениях конечностей [51]. Известны корреляционные соотношения между пространственным перераспределением поверхностной температуры и анатомической структурой подкожных тепловых источников как в норме, так и при различных патологиях. При инфекционных и воспалительных реакциях, как и в начальных стадиях травмы, отмечается местное повышение температуры тела [9, 52].

Высокая точность составления температурного портрета значительно увеличивает потенциал использования метода термографии, однако стоит также учитывать, что в норме на поверхности тела присутствуют определённые перепады температуры, что не является проявлением патологического процесса. Так, например, температурные перепады на поверхности спины в норме не превышают 0,2 °C, а при наличии патологий температурный градиент может достигать 0,8–3,0 °C [17]. Е.П. Хижняк и соавт. (2020) отмечают, что коррекция термографических изменений по образцу типа «чёрное тело», расположенному в поле зрения тепловизора, может способствовать снижению погрешности температурных измерений до 0,2 °C, существенно увеличивая надёжность методики и, как следствие, своевременного выявления и предупреждения развития осложнений [53]. Также необходимо учитывать наличие тепловых помех, что особенно важно при использовании более простых и дешёвых устройств, так как температура кожи на различных участках тела может колебаться на целых 8 °C в зависимости от таких факторов, как наличие одежды, температура и влажность в помещении [5].

Термография в интраоперационном периоде

Контроль температуры в интраоперационном периоде помогает выявить лихорадку, злокачественную гипертермию или, наоборот, гипотермию организма [54]. Интраоперационная гипотермия может привести к ряду различных осложнений, включая снижение скорости репарации раневой поверхности, коагулопатию и др. Тем не менее исследования показали, что, несмотря на активные меры предотвращения снижения температуры, переохлаждение в течение первого часа анестезии остаётся довольно распространённым явлением. Чтобы стимулировать поддержание интраоперационной нормотермии, в качестве показателя её качества было введено управление температурой. Для соблюдения данного показателя все оперативные вмешательства продолжительностью более 60 минут и с использованием общей анестезии должны содержать доказательства активного внутриоперационного потепления. Если активное согревание не применяется, температура тела больного должна быть не менее 36 °C в течение 30 минут до документально подтверждённого прекращения анестезии и 15 минут после него. Через некоторое время данная методика была обновлена, температурный порог был изменён минимум до 35,5 °C, также была устранена возможность только сообщать об «использовании активного согревания» [55, 56].

D.I. Sessler и соавт. (2021) отмечают, что «неразогретые» пациенты во время оперативного вмешательства становятся наиболее подверженными гипотермии, что нередко приводит к развитию осложнений, при этом даже незначительная степень гипотермии может спровоцировать серьёзные осложнения вплоть до коагулопатии. Целью мониторинга температуры является выявление

тепловых нарушений и поддержание соответствующей температуры тела во время анестезии. Большинству пациентов, получающих общую анестезию, следует измерять или достоверно оценивать основную температуру тела в течение более 30 минут. Если гипотермия специально не показана (например, для защиты от ишемии), следует приложить усилия для поддержания интраоперационной температуры выше 36 °C [54].

Любые оперативные вмешательства представляют собой потенциальный триггер, провоцирующий развитие воспалительной реакции, а несбалансированное и неограниченное интраоперационное воспаление может развиваться вплоть до системной воспалительной реакции, включающей активацию эндотелиальных клеток, повреждение гликокаликса, высвобождение воспалительных медиаторов и активацию нейтрофилов и других иммунных клеток и, в конечном итоге, разрушение тканей и органов [57]. Помимо воспалительного стимула прямой травмы тканей оперативное вмешательство также несёт в себе высокий риск развития интра- и послеоперационных инфекций [58, 59]. Знание основных патофизиологических изменений в воспалительных условиях, в особенности температурных, имеет решающее значение для клиницистов, чтобы интерпретировать диагностические тесты и принимать решения об адекватных терапевтических вмешательствах [52].

Некоторые авторы проводили тепловизионную оценку воспалительного процесса в ходе операции. G. Polidori и соавт. (2017) выполнили интраоперационную термографию, при этом антисептический спиртовой раствор был нанесён на воспалительные участки перед визуализацией, чтобы сделать различия между здоровой и воспалённой кожей более очевидными [60]. Кроме того, о возможностях комбинирования термографии с другими инструментальными методами визуализации доложили S. Derruau и соавт. (2018). В своём исследовании они продемонстрировали потенциал применения тепловидения совместно с магнитно-резонансной томографией. Первоначально участки воспаления были выявлены в предоперационном периоде с помощью МРТ, а термография проводилась в режиме реального времени непосредственно в операционной [6].

S.K. Chava и соавт. (2023) применяли инфракрасную термографию в процессе проведения операций по пересадке тканей и заметили, что после отсепарирования лоскута от донорской области он вступает в стадию ишемии, во время которой его температура понижается до комнатной и теряется активная циркуляция. После создания сосудистых анастомозов лоскуты становятся теплее из-за восстановления кровообращения, о чём свидетельствуют динамическая инфракрасная термография, серийные статические изображения или видео. При выявлении на термограммах нарушений восстановления температуры принимались коррективные меры для предотвращения сжатия и перегиперемии сосудов [61].

Термография в послеоперационном периоде

Термографический мониторинг больных в послеоперационном периоде имеет не меньшее значение, чем в интраоперационном, он помогает выявить первые признаки развивающихся осложнений. Особую эффективность метод демонстрирует на ранних стадиях, когда клинические признаки ещё не проявили себя [4, 62].

Гнойно-воспалительные осложнения

Послеоперационные инфекционные осложнения развиваются в 0,5–3% случаев всех оперативных вмешательств. Инфекция области оперативного вмешательства является основным источником внутрибольничных инфекций у травматологических больных и характеризуется сложным и многофакторным патогенезом. Поверхностные раневые инфекции составляют более 50% среди всех послеоперационных инфекций и характеризуются поражением кожи и мягких тканей, регулярно проявляющимся и персистирующим в виде абсцессов, требующих оперативного вмешательства [63–65]. Ультразвуковое исследование при абсцессах выявляет неспецифические скопления жидкости в мягких тканях с характерной зернистостью. Отмечается, что разница температур между поражённой и контралатеральной незатронутой стороной для абсцесса составляет $1,49 \pm 1,0$ °C [66]. Больные с данной патологией обычно не проявляют системных признаков инфекционного поражения, могут присутствовать лихорадка и лейкоцитоз. При этом термографическое исследование может первоначально выявить признаки воспалительного процесса в поражённой области, проявляющиеся в виде ограниченных зон гипертермии более 0,5 °C. Однако для составления более точной клинической картины его использование рекомендуется совместно с дополнительными методами лучевой и лабораторной диагностики [67, 68].

Глубокие раневые инфекции поражают глуболежащие ткани, включая мышцы и фасции. Причины послеоперационных раневых осложнений разнообразны, начиная от прямого контакта или воздушно-капельного пути передачи и заканчивая загрязнением эндогенными микроорганизмами, на чувствительность которых влияют различные факторы. Схемы инфицирования могут варьировать в зависимости от хирургической манипуляции, оперативного подхода и географического местоположения. Факторы риска можно классифицировать на факторы пациента и процедуры. Пациенты с глубокими раневыми инфекциями с большей вероятностью будут демонстрировать системные признаки инфекционного процесса. Лабораторное обследование обычно показывает лейкоцитоз со сдвигом влево, при проведении также может наблюдаться повышенный уровень прокальцитонина и С-реактивного белка. При использовании медицинской термографии можно увидеть локальные изменения температурного фона, что даст возможность заподозрить наличие инфекционного раневого процесса [65].

Отдельную группу представляют некротизирующие инфекции мягких тканей, так как они способны затрагивать любые ткани, включая мышцы и фасции, а также быстро распространяться по фасциальным или тканевым плоскостям. Термографические исследования могут помочь подтвердить диагноз, но при этом не должны задерживать оперативное вмешательство [69].

Концепция применения медицинского тепловидения в диагностике патологий основана на измерении выделяемого в ответ на воспаление тепла и количественной оценке температуры поверхности, тем самым обеспечивая оценку микроциркуляции в определённой области. М.А. Aboushady и соавт. (2021) отмечают, что разница температур более 3 °C, как правило, указывает на наличие инфекционного процесса [67]. Несмотря на то, что диагностика поверхностной раневой инфекции обычно не вызывает затруднений, выявление глубоких раневых патологий, особенно у пациентов с ожирением, может привести к определённым проблемам в ходе установления диагноза. Визуализация поражённой области с помощью инфракрасной термографии в комплексе с ультразвуковыми методами или компьютерной томографией может помочь установить глубину, масштаб и анатомическое поражение [70].

Отдельно следует выделить остеомиелит, так как он занимает особое место среди осложнений травматологического профиля. Диагностика остеомиелита является многогранной, так как для постановки диагноза требуется сочетание клинического обследования и диагностической оценки [71, 72]. Как правило, для постановки диагноза «остеомиелит» необходимо наличие у больного хотя бы одного из четырёх клинических признаков, таких как лихорадка (более 38 °C), явления местного воспаления, подозрение на остеоартериальную инфекцию и снижение подвижности и отёк суставов, а также одного положительного исследования (культуральное исследование крови, гнойная суставная жидкость, культура от аспирации сустава или визуализация воспалительного процесса области поражённой кости или сустава). При этом визуализация играет решающую роль в диагностике остеомиелита, но в то же время влечёт за собой дополнительные расходы для пациента или системы здравоохранения. Наиболее распространённым методом является рентгенологическое исследование: оно даёт возможность выявления признаков остеомиелита, таких как остеопения, разрушение костной ткани с последующими периостальными реакциями. Однако описанные признаки проявляются на более поздних стадиях и отсутствуют у 80% больных в первые 2 недели, что существенно затрудняет диагностику и удлиняет начало проведения терапии. При цветной доплерографии вокруг поражённой кости определяется отёк мягких тканей. Компьютерная томография имеет более высокое разрешение по сравнению с вышеперечисленными методами и более точно определяет периостальные реакции и секвестрацию. Вместе с тем данные методы

информативны только на более поздних стадиях развития остеомиелита. Термография способна выявить признаки остеомиелита ещё на доклинических стадиях за счёт локального усиления микроциркуляции и, как следствие, повышения температуры [73–75].

Тромбоз вен травмированных конечностей

Тромбоз является не менее частым и серьёзным осложнением оперативного вмешательства и характеризуется прижизненным свёртыванием крови в просветах сосудов, обтурирующим их и препятствующим нормальной гемодинамике. Чаще всего для переломов характерно образование тромбов как в поверхностных, так и в глубоких венах конечностей. При этом тромбоз глубоких вен более проблематичен в диагностике и наиболее опасен с точки зрения дальнейших осложнений, так как является промежуточным звеном развития тромбоэмболии магистральных сосудов. Статистика говорит об увеличении частоты возникновения тромбозов и тромбоэмболий, а также о высокой летальности больных, составляющей от 20 до 35%. В основе своевременной специализированной помощи лежит ранняя и наиболее точная диагностика развивающихся осложнений [76–79]. Вместе с тем стоит отметить, что в 3–5% известных случаев тромбоэмболия протекает в практически бессимптомной форме. Невозможность своевременной диагностики приводит к летальным осложнениям — тромбоэмболии лёгочной артерии и её крупных ветвей, при этом тромбоэмболия развивается раньше, чем проявляются первые клинические признаки тромбоза, что сильно усложняет её профилактику [80–83].

Патогенез тромбоза имеет мультифакторное происхождение, в его основе лежит повышенная агрегация тромбоцитов, которая усиливается под воздействием катехоламинов, выбрасываемых в кровь ещё в процессе оперативного вмешательства. Вынужденное положение травмированной конечности в послеоперационном периоде и длительная иммобилизация приводят к компрессии сосудов, замедлению кровотока, перерастяжению и микроразрывам сосудистой стенки, что также способствует образованию тромбов. Использование средств внешней фиксации практически полностью перекрывает отток крови по поверхностным венам, нарушая работу мышечной помпы, а малоподвижность на фоне постельного режима заметно снижает функцию диафрагмы брюшной полости как главного насоса для оттока венозной крови от таза и нижних конечностей. Заметно усугубляет ситуацию и послеоперационная воспалительная реакция, которая активирует систему свёртывания крови и ещё больше увеличивает вероятность тромбообразования [76, 84, 85]. Так, практически каждый пациент травматологического профиля имеет несколько факторов риска развития тромбоза вен, что говорит об особой актуальности данной проблемы и необходимости постоянного мониторинга функционирования венозного русла. На поздних стадиях развития заболевания может наблюдаться местное снижение

температуры кожных покровов, локальная гипотермия более 1 °С также характерна и для прочих дистрофических процессов. Стоит отметить, что нередко тромбоз глубоких вен протекает в бессимптомной форме и без явных клинических проявлений, в особенности температурных, поэтому для более точной диагностики и выявления заболевания на более ранних стадиях рекомендуется использовать термографию в комплексе с другими методами лабораторной и инструментальной диагностики тромбоза [68, 84, 86, 87].

При этом С.А. Божкова и соавт. (2022) отмечают, что больные с переломами костей нижних конечностей и таза, а также с политравмой представляют собой отдельную группу риска развития послеоперационного тромбоза. Это происходит за счёт многоэтапной активации свёртывающей системы, так как помимо первичной травмы они переносят оперативные вмешательства по остеосинтезу, которые повторно стимулируют гемостатический каскад. При этом пострадавшие с политравмой, как правило, нуждаются в проведении нескольких этапных операций с относительно небольшими интервалами, что в разы увеличивает риск развития послеоперационных тромбов [76].

Несращение переломов

Несращение перелома является достаточно распространённым травматологическим осложнением, и в зависимости от локализации перелома и проводимого лечения риск нарушения сращения кости колеблется от 5 до 10%. Данное осложнение может возникнуть в процессе заживления перелома и обуславливается отсутствием образования новой костной ткани в период заживления, которое может усугубиться сегментарной потерей костной массы, инфекциями, типом перелома, деформацией или нарушением внутренней фиксации. Внутренние термические изменения во время заживления костей отражаются на соседних тканях и связаны с изменениями в кровотоке и/или инфекцией области травмы, которые в конечном итоге проявляются в виде изменений температуры кожи [88, 89].

Выделяют несколько стадий заживления костной ткани. Первая стадия представляет собой воспалительный процесс, при котором наблюдается усиление микроциркуляции в месте перелома с очаговым отёком и местным увеличением температуры кожи. Вторая фаза заключается в образовании мягкой костной мозоли, для неё характерно повышение внутренней температуры кости, а также прилегающих областей за счёт увеличенного кровоснабжения, необходимого для ремоделирования костной ткани. На третьей стадии образуется твёрдая костная мозоль, температура кости и прилежащих к ней тканей постепенно начинает снижаться и полностью возвращается к физиологической при полном завершении процессов ремоделирования, что соответствует четвёртой фазе заживления кости. Последующее наблюдение за клинической динамикой заживления переломов костей

проводится при помощи метода рентгенологического исследования, который считается золотым стандартом в оценке ортопедической травмы [47, 90].

Хорошая васкуляризация с достаточным кровоснабжением признана важным фактором для сращения костных фрагментов, так как ишемические и гипоксические среды не благоприятствуют восстановлению костей. При диагностике несращения перелома температура травмированной конечности становится ниже из-за отсутствия достаточного количества сосудов для ремоделирования кости, за счёт чего кость прерывает процесс репарации [91]. M. Di Benedetto и соавт. (1996) в своём исследовании наблюдали области с понижением температуры при нетяжёлых травматических повреждениях [92].

Лёгочные осложнения

Пневмония является одним из наиболее распространённых послеоперационных осложнений, в том числе и травматологического профиля. Так, у больных, перенёвших оперативное вмешательство по поводу перелома бедра, она развивается в 3–9% случаев [93, 94]. Послеоперационная пневмония связана с негативным прогнозом и высокими показателями летальности [95]. Для обеспечения рациональной реализации профилактических мероприятий при лёгочных инфекциях после переломов бедра у пожилых людей необходимо оценивать ряд факторов риска, которые могут быть связаны с лёгочными инфекциями. В их числе можно выделить пожилой возраст, более низкий индекс массы тела, более длительную продолжительность операции [96], а также мужской пол и более низкий уровень альбумина в сыворотке крови [97]. Эффективной стратегией лечения послеоперационной пневмонии при переломе бедра является выявление факторов риска и их предотвращение путём своевременного скрининга и лечения [98, 99].

Лёгочные инфекционно-воспалительные осложнения, такие как пневмония, являются одним из наиболее распространённых осложнений при травмах грудной клетки и политравме. Травматические повреждения структуры лёгочной ткани, а также общая тяжесть травмы играют решающую роль в развитии воспаления. В целях предупреждения развития осложнений и упрощения их диагностики рекомендуется провести анализ результатов компьютерной томографии грудной клетки при поступлении в стационар и по итогам проведённого лечения, а также регулярно проводить термографические исследования с целью определения динамики состояния лёгочной ткани в процессе проведения лечения и оценки проводимой терапии [4].

Вазодилатация капилляров лёгочной ткани вследствие гиперемии и воспаления связана с повышением температуры над областью грудной клетки. Инфракрасная термография очень чувствительна для выявления даже небольших изменений в распределении температуры. Однако M.A. Martinez-Jimenez и соавт. (2021) отмечают:

несмотря на то, что измерение температуры с помощью инфракрасных термографов широко используется в качестве скринингового инструмента при диагностике пневмоний, его диагностическая эффективность по-прежнему недостаточно освещена в научном сообществе. В настоящее время в диагностике послеоперационных пневмоний большей распространённостью по-прежнему обладают методы флюорографии, компьютерной и магнитно-резонансной томографии, при этом проведение термографического исследования способно существенно дополнить полученные результаты [100].

Диагностика и профилактика осложнений при трансплантации

Отдельно необходимо остановиться на восстановительном периоде у больных с дефектами мягких тканей нижних конечностей при проведении оперативного вмешательства с использованием трансплантации [12, 54, 101, 102].

Мониторинг трансплантированного лоскута в послеоперационном периоде имеет большое значение, так как исход развивающихся осложнений напрямую зависит от количества времени, прошедшего с момента развития до его устранения. Если кровообращение в лоскуте не будет восстановлено в течение 8–12 часов, жизнеспособность данного свободного тканевого трансплантата может оказаться невозможной из-за феномена «no-reflow». Данное явление возникает из-за накопления осадка и тромбоза в микроциркуляции наряду с набуханием эндотелиальных клеток. Раннее распознавание нарушения приживаемости лоскута приводит к успешному восстановлению [61].

Для повышения эффективности лечения и улучшения послеоперационного качества жизни пациентов H. Shen и соавт. (2022) предлагали применение медицинского тепловидения. Инфракрасная термография может использоваться для картирования и разметки трансплантационных лоскутов, а также интра- и послеоперационного мониторинга, что способствует снижению травматизации и профилактике осложнений в донорской зоне [101].

В исследовании С.В. Мельникова (2024) было продемонстрировано использование медицинского тепловидения с целью выявления нарушений перфузии трансплантационного лоскута. При этом мониторингирование проводилось спустя 4, 8, 12 и 24 часа после оперативного вмешательства и, начиная со второго дня, по 2 раза в сутки через каждые 12 часов вплоть до седьмого дня. Подобная схема проведения обследования способствовала более точной регистрации динамики изменений прооперированной конечности [5].

Кроме того, Ji Xiaogang и соавт. (2023) предложили новую методику автоматизированного предоперационного проектирования лоскута. Авторами был предложен морфологический алгоритм выравнивания кожных ран, основанный на иерархических значениях. В первую очередь

производится трёхмерное термографическое сканирование кожной раны с целью получения пространственной сетчатой модели, затем многослойная сетка топологически сопоставляется с плоскостью. Впоследствии напряжение кожи моделируется с помощью механического метода, и форма кожной раны оптимизируется слой за слоем. Наконец, метод сглаживания с несколькими разрешениями используется для сглаживания разработанного пограничного контура и подгонки кривой для получения плана руководства для предоперационного проектирования аутотрансплантата. Результаты исследования показали, что использование термографии может помочь точно определить форму кожных ран и количественно проанализировать результаты предоперационного дизайна кожных лоскутов [103].

Дополнительно следует отметить, что разница температур между здоровой и травмированной конечностями продолжает сохраняться на протяжении достаточно длительного времени. В статье М.Н. Величко (2023) описан случай полного восстановления температурной симметрии по окончании 18 месяцев с момента реабилитации, что говорит об увеличении метаболической активности и местном усилении кровотока, характерных как для активных регенераторных, так и для локальных воспалительных процессов. Таким образом, использование медицинской термографии способно помочь не только в предупреждении и диагностике послеоперационных осложнений, но и в оценке проведённого лечения [13].

Поражения нервной системы

В качестве отдельной группы следует выделить поражения нервной системы, так как нарушения микро- и макроциркуляции, развивающиеся на фоне травмы или перенесённого оперативного вмешательства, в первую очередь нарушают трофику нервной ткани и способны привести к наиболее тяжёлым осложнениям, вплоть до полной потери функции травмированной части тела. Выявление нарушений гемодинамики и восстановление локального кровотока являются основополагающими звеньями в лечении подобных патологий. Так, для болевого синдрома вследствие односторонней радикулопатии будет характерна гипотермия более 0,5 °C как в дистальных зонах, так и на поверхности дерматома поражённого корешка по сравнению с симметричной зоной здоровой конечности. При этом медицинская термография обладает высокой эффективностью при исследовании функции тонких миелинизированных волокон и достигает до 81% с учётом того, что в подобных случаях электронейромиография демонстрирует сравнительно небольшую эффективность. Применение тепловидения в качестве диагностического метода при оценке состояния нервной системы является перспективным и взаимодополняющим в отношении других методов диагностики, таких как лазерная доплеровская флоуметрия. Данная методика позволяет оценить функциональное

состояние тонких немиелинизированных нервных волокон и объективизировать динамику восстановительных процессов [68, 104, 105].

Мнения представителей научного сообщества об использовании методик медицинской термографии неоднозначны. Так, например, И.Х. Яруллина (2021) высказывает мнение о значимой роли термографии в определении причин патологии и подборе эффективной тактики лечения, но в то же время отмечает её недостаточную распространённость в клинической практике [25]. С.Н. Марина и соавт. (2019) было проведено перспективное исследование для оценки пред- и послеоперационного статуса пациентов травматологического профиля. Предоперационная оценка помогла оценить вовлечение костей, площадь воспалительного процесса и инфицирования, а также определить необходимость оперативного вмешательства. Послеоперационная оценка была полезна для предотвращения и снижения частоты осложнений. По их мнению, термография может стать новым полезным и неинвазивным методом инструментальной диагностики, особенно в больницах неотложной помощи, чтобы быстро и объективно оценивать состояние ран и при необходимости оперативно прибегать к оперативному лечению [106].

В то же время канадский исследователь G.C. Allen (2022) отмечает, что термографический мониторинг всё ещё не является обязательным при проведении оперативных вмешательств, несмотря на то что он «настоятельно рекомендуется» к применению [101]. Интраоперационный мониторинг температуры является не менее важным, чем послеоперационный, так как не выявленные во время проведения оперативного вмешательства нарушения способны привести к более серьёзным осложнениям в послеоперационном периоде. Данную позицию также поддерживают Е.С. Владимирова (2021) [4], М.Е. Виндерлих (2020) [40] и Г.В. Яровенко (2020) [26].

А.Д. Каштанова (2019) и С.В. Бондаренко (2019) придерживаются целесообразности применения неинвазивных методов мониторинга раневого процесса, к которым относится термография. Результаты термографии могут подтверждать и отрицать наличие раневых осложнений, а также предоставить более точное понимание клеточных процессов регенерации за счёт оценки изменения площади раневой поверхности [107, 108].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод инфракрасной термографии является одним из перспективных методов диагностики в современной медицине, особенно в травматологии. Он обладает рядом преимуществ в сравнении с другими методами инструментальной диагностики, таких как неинвазивность, полное отсутствие противопоказаний и ограничений по количеству проведённых исследований, в силу отсутствия какого-либо излучения, исходящего

от аппарата. В то же время метод не является полностью самостоятельным, однако способен существенно увеличить информативность обследования при использовании в комплексе с другими диагностическими методиками. Вместе с тем в настоящее время данный метод ещё не получил достаточно широкого применения в силу недостаточной освещённости со стороны медицинского сообщества. Проведение большего количества исследований, раскрывающих потенциал медицинского тепловидения, поможет привлечь к нему внимание и способствует его распространению, в том числе в травматологической практике.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы одобрили финальную версию перед публикацией, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов (личных, профессиональных или финансовых), связанных с третьими лицами (коммерческими, некоммерческими, частными), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи, а также иных отношений, деятельности и интересов за последние три года, о которых необходимо сообщить.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, данные).

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: All the authors approved the final version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests (personal, professional, or financial) related to for-profit, not-for-profit, or private third parties whose interests may be affected by the content of the article, as well as no other relationships, activities, or interests in the past three years to disclose.

Statement of originality: No previously published material (text, or data) was used in this article.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Tian Y, Liu GE, Zhao WJ, et al. Review of Chinese Journal of Traumatology in the year 2018. *Chin J Traumatol*. 2019;22(1):21–23. doi: 10.1016/j.cjtee.2019.01.001
2. Voronin KA, Malyugina OA, Maslova MYu, Tolemishov RB. Retrospective analysis of trauma and surgical patients with infectious complications. *Zametki uchenogo*. 2021;(9–1):82–85. (In Russ.). EDN: ALVNRG
3. Timerbulatov VM, Timerbulatov SV, Timerbulatov MV. Classification of surgical complications. *Khirurgiya (Mosk)*. 2018;(9):62–67. (In Russ.). doi: 10.17116/hirurgia2018090162 EDN: VKFVAF
4. Vladimirova ES, Tarabrin EA, Popova IE, et al. The influence of traumatic injuries early diagnosis on the development of pulmonary complications in patients with multisystem chest trauma. *Neotlozhnaya medicinskaya pomoshch'. Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo*. 2021;10(4):702–711. (In Russ.). doi: 10.23934/2223-9022-2021-10-4-702-711 EDN: LWMAMT
5. Mel'nikov VS, Dubrov VE, Zelyanin AS, et al. Capabilities of dynamic infrared thermography for planning and monitoring of perforating flaps. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2024;30(1):99–109. (In Russ.). doi: 10.17816/2311-2905-17460 EDN: AFMXVI
6. Derruau S, Renard Y, Pron H, et al. Combining Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Medical Infrared Thermography (MIT) in the pre- and perioperating management of severe Hidradenitis Suppurativa (HS). *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2018;23:9–11. doi: 10.1016/j.pdpdt.2018.05.007
7. Nazzaro G, Moltrasio C, Marzano AV. Infrared thermography and color Doppler: Two combined tools for assessing inflammation in hidradenitis suppurativa. *Skin Res Technol*. 2020;26(1):140–141. doi: 10.1111/srt.12750
8. Djajakusumah TM, Candrawinata VS, Ho JP, et al. The predictive value of infrared thermal imaging (IRT) for peripheral artery disease: A systematic review. *Medicine (Baltimore)*. 2023;102(43):e35639. doi: 10.1097/MD.00000000000035639
9. Morozov AM, Zhukov SV, Sorokovikova TV, et al. Medical thermovision: possibilities and prospects of the method. *Medicinskij sovet*. 2022;16(6):256–263. (In Russ.). doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-6-256-263 EDN: QZSAKC
10. Moran-Romero MA, Mendoza FJL. Postoperative monitoring of free flaps using smartphone thermal imaging may lead to ambiguous results: Three case reports. *Int Microsurg J*. 2022;6:4. doi: 10.24983/scitemed.imj.2022.00163
11. Hummelink S, Kruit AS, van Vlaenderen ARW, et al. Post-operative monitoring of free flaps using a low-cost thermal camera: A pilot study. *Eur J Plast Surg*. 2020;43:589–596. doi: 10.1007/s00238-020-01642-y
12. Sowa MG, Friesen JR, Levasseur M, et al. The Utility of near Infrared Imaging in Intra-Operative Prediction of Flap Outcome: A Reverse McFarlane Skin Flap Model Study. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 2012;20(5):601–615. doi: 10.1255/jnirs.1007
13. Velichko MN, Shturmin AV, Terskov AYU, Samojlov AS, Belyakova AM. The use of infrared thermography in rehabilitation after anterior cruciate ligament surgery. *Medicinskij alfavit*. 2023;(32):50–53. (In Russ.). doi: 10.33667/2078-5631-2023-32-50-53 EDN: OUPUCN
14. Barbosa JS, Amorim A, Arruda M, et al. Infrared thermography assessment of patients with temporomandibular disorders. *Dentomaxillofac Radiol*. 2020;49(4):20190392. doi: 10.1259/dmfr.20190392
15. Damião CP, Montero JRG, Moran MBH, et al. Application of thermography in the diagnostic investigation of thyroid nodules. *Endocr J*. 2021;68(5):573–581. doi: 10.1507/endocrj.EJ20-0541
16. Ilo A, Ronsi P, Mäkelä J. Infrared Thermography and Vascular Disorders in Diabetic Feet. *J Diabetes Sci Technol*. 2020;14(1):28–36. doi: 10.1177/1932296819871270
17. Nergård S, Mercer JB, de Weerd L. Impact on Abdominal Skin Perfusion following Abdominoplasty. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2021;9(1):e3343. doi: 10.1097/GOX.00000000000003343

18. Tattersall GJ. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2016;202:78–98. doi: 10.1016/j.cbpa.2016.02.022
19. Mazeika E, Jariene V, Valiukeviciene S. Medical infrared thermography as hidradenitis suppurativa diagnostic tool: literature review. *Postepy Dermatol Alergol*. 2021;38(2):32–35. doi: 10.5114/ada.2021.104274
20. Datsenko AV, Kazmin VI. Use of a remote infrared thermography in experimental medicine at extreme influences. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2016;12(4):685–691. (In Russ.). EDN: YPYFLP
21. Kozhevnikova IS, Pankov MN, Gribanov AV, Startseva LF, Ermoshina NA. The use of infrared thermography in modern medicine (literature review). *Human Ecology*. 2017;24(2):39–46. (In Russ.). doi: 10.33396/1728-0869-2017-2-39-46 EDN: LYIZMT
22. Novikov AY, Novikov YuO. The Use Of Medical Infrared Thermography In Musculo-Skeletal Pain. *Medicinskij vestnik Bashkortostana*. 2019;14(4):100–103. (In Russ.). EDN: BVJAJJ
23. Cruz-Segura A, Cruz-Domínguez MP, Jara LJ, et al. Early Detection of Vascular Obstruction in Microvascular Flaps Using a Thermographic Camera. *J Reconstr Microsurg*. 2019;35(7):541–548. doi: 10.1055/s-0039-1688749
24. Chava SK, Agrawal M, Vidya K, et al. Role of Infrared Thermography in Planning and Monitoring of Head and Neck Microvascular Flap Reconstruction. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2023;11(9):e5158. doi: 10.1097/GOX.00000000000005158
25. Yarullina IH, Sadykova GA. Radiological research methods for musculoskeletal pain. *Medicinskij vestnik Bashkortostana*. 2021;16(2):79–83. (In Russ.). EDN: ONSRTE
26. Yarovenko GV. Diagnostic possibilities of thermal vision study of trophic ulcers. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrocirkulyaciya*. 2020;19(2):38–42. (In Russ.). doi: 10.24884/1682-6655-2020-19-2-38-42
27. Saygin D, Highland KB, Tonelli AR. Microvascular involvement in systemic sclerosis and systemic lupus erythematosus. *Microcirculation*. 2019;26(3):e12440. doi: 10.1111/micc.12440
28. Asif A, Poyiatzis C, Raheman FJ, Rojoa DM. The use of infrared thermography (IRT) in burns depth assessment: A diagnostic accuracy meta-analysis. *Eur Burn J*. 2022;3:432–446. doi: 10.3390/ebj3030038
29. Rabbani MJ, Bhatti AZ, Shahzad A. Flap Monitoring using Thermal Imaging Camera: A Contactless Method. *J Coll Physicians Surg Pak*. 2021;31(6):703–706. doi: 10.29271/jcpsp.2021.06.703
30. Sergeev AN, Morozov AM, Charyev YuO, Belyak MA. On the possibility of using medical thermography in clinical practice. *Profilakticheskaya medicina*. 2022;25(4):82–88. (In Russ.). doi: 10.17116/profmed2022504182 EDN: ENVGDT
31. Sergeev A, Morozov A, Mokhov N, Sergeev N. The use of thermography for diagnosis of acute appendicitis. *Archiv EuroMedica*. 2019;9(3):53–54. doi: 10.35630/2199885X/2019/9/3.16
32. Kow J, Tan YK. An update on thermal imaging in rheumatoid arthritis. *Joint Bone Spine*. 2023;90(3):105496. doi: 10.1016/j.jbspin.2022.105496
33. Kesztyüs D, Brucher S, Wilson C, Kesztyüs T. Use of Infrared Thermography in Medical Diagnosis, Screening, and Disease Monitoring: A Scoping Review. *Medicina*. 2023;59(12):2139. doi: 10.3390/medicina59122139
34. Cwajda-Białasik J, Mościcka P, Jawień A, Szewczyk MT. Infrared thermography to prognose the venous leg ulcer healing process-preliminary results of a 12-week, prospective observational study. *Wound Repair Regen*. 2020;28(2):224–233. doi: 10.1111/wrr.12781
35. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Phys Technol*. 2012;55(4):221–235. doi: 10.1016/j.infrared.2012.03.007
36. Dolgov IM, Volovik MG, Zheleznyak IS, et al. Possibilities of medical thermal imaging in the organization of primary health care. *Medicinskij alfavit*. 2023;7(4):2–50. (In Russ.). doi: 10.33667/2078-5631-2023-7-42-50 EDN: ILOQWI
37. Kim H, Kwak SH, Byeon JY, et al. An Experimental and Clinical Study of Flap Monitoring with an Analysis of the Clinical Course of the Flap Using an Infrared Thermal Camera. *Bioengineering*. 2024;11(7):688. doi: 10.3390/bioengineering11070688
38. Roust M, Cracowski JL. Non-invasive assessment of skin microvascular function in humans: an insight into methods. *Microcirculation*. 2012;19(1):47–64. doi: 10.1111/j.15498719.2011.00129.x
39. Morozov AM, Mohov EM, Kadykov VA, Panova AV. Medical thermography: capabilities and perspectives. *Kazanskij medicinskij zhurnal*. 2018;99(2):264–270. (In Russ.). doi: 10.17816/KMJ2018-264
40. Vinderlih ME, Shchekolova NB. Use of thermal imager in complex diagnosis and treatment of musculoskeletal system diseases: literature review. *Permskij medicinskij zhurnal*. 2020;37(4):54–61. (In Russ.). doi: 10.17816/pmj37454-61 EDN: XXWEYW
41. Volovik MG, Dolgov IM. Thermotopography of the hands of a healthy person as a basis for thermal diagnosis (narrative review). *Medicinskij alfavit*. 2020;3(2):62–68. (In Russ.). doi: 10.33667/2078-5631-2020-32-62-68 EDN: DRBQJS
42. Volovik MG, Dolgov IM. Thermosemantics of the hands. Report 2. Thermal patterns of the hands in patients with upper limbs vascular disorders, Raynaud's phenomenon, after thoracic sympathectomy, in ischemic heart disease and a number of other diseases. *Medicinskij alfavit*. 2021;5(5):62–70. (In Russ.). doi: 10.33667/2078-5631-2021-5-62-70 EDN: SWFUSZ
43. Petrova NL, Whittam A, Macdonald A, et al. Reliability of a novel thermal imaging system for temperature assessment of healthy feet. *J Foot Ankle Res*. 2018;11:1–6.
44. Astasio-Picado A, Martínez EE, Nova AM, Rodríguez RS, Gómez-Martín B. Thermal map of the diabetic foot using infrared thermography. *Infrared Phys Technol*. 2018;93:59–62. doi: 10.1016/j.infrared.2018.11.002
45. Vardasca R, Ring E, Plassmann P, Jones CD. Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. *Thermol Inter*. 2012;22(2):53–60.
46. Hizhnyak EP, Hizhnyak LN, Maevskij EI. Early recognition of allergic reactions using high resolution digital infrared thermography. *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij*. 2019;26(4):152–156. (In Russ.). doi: 10.24411/1609-2163-2019-16589 EDN: WWSIZT
47. der Strasse WA, Campos DP, Mendonça CJA, et al. Detecting bone lesions in the emergency room with medical infrared thermography. *BioMed Eng OnLine*. 2022;21:35. doi: 10.1186/s12938-022-01005-7
48. Haluzan D, Davila S, Antabak A, et al. Thermal changes during healing of distal radius fractures — Preliminary findings. *Injury*. 2015;46:S103–S106. doi: 10.1016/j.injury.2015.10.046
49. Corte ACR, Hernandez AJ. Application of medical infrared thermography to sports medicine. *Rev Bras Med Esporte*. 2016;22:315–319. doi: 10.1590/1517-869220162204160783
50. Morozov AM, Sergeev AN, Armasov AR, et al. Temperature circulation index as an indicator of the state of the wound process. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2021;(1):41. (In Russ.). doi: 10.17513/spno.30496 EDN: FNYAIM
51. Silva CT, Naveed N, Bokhari S, et al. Early assessment of the efficacy of digital infrared thermal imaging in pediatric extremity trauma. *Emerg Radiol*. 2012;19(3):203–209. doi: 10.1007/s10140-012-1027-2
52. Mambou SJ, Maresova P, Krejcar O, Selamat A, Kuca K. Breast Cancer Detection Using Infrared Thermal Imaging and a Deep Learning Model. *Sensors (Basel)*. 2018;18(9):2799. doi: 10.3390/s18092799
53. Khizhnyak EP, Khizhnyak LN, Maevsky EI, Smurov SV. Possibilities of detection of the patients using a thermography. Challenges and prospects. *Journal of New Medical Technologies*. 2020;27(4):110–114. (In Russ.). doi: 10.24411/1609-2163-2020-16775 EDN: KGMWRV
54. Sessler DI. Perioperative Temperature Monitoring. *Anesthesiology*. 2021;134(1):111118. doi: 10.1097/ALN.0000000000003481
55. Freundlich RE, Nelson SE, Qiu Y, et al. A retrospective evaluation of the risk of bias in perioperative temperature metrics. *J Clin Monit Comput*. 2019;33(5):911–916. doi: 10.1007/s10877-018-0233-1
56. Munday J, Delaforce A, Heidke P, et al. Perioperative temperature monitoring for patient safety: A period prevalence study of five hospitals. *Int J Nurs Stud*. 2023;143:104508. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2023.104508
57. Margraf A, Ludwig N, Zarbock A, Rossaint J. Systemic Inflammatory Response Syndrome After Surgery: Mechanisms and Protection. *Anesth Analg*. 2020;131(6):1693–1707. doi: 10.1213/ANE.0000000000005175

58. Leijte GP, Custers H, Gerretsen J, et al. Increased plasma levels of danger-associated molecular patterns are associated with immune suppression and postoperative infections in patients undergoing cytoreductive surgery and hyperthermic intraperitoneal chemotherapy. *Front Immunol*. 2018;9:663. doi: 10.3389/fimmu.2018.00663
59. Kumar P, Gaurav A, Rajnish RK, et al. Applications of thermal imaging with infrared thermography in Orthopaedics. *J Clin Orthop Trauma*. 2021;24:101722. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101722
60. Polidori G, Renard Y, Lorimier S, et al. Medical Infrared Thermography assistance in the surgical treatment of axillary Hidradenitis Suppurativa: A case report. *Int J Surg Case Rep*. 2017;34:56–59. doi: 10.1016/j.ijscr.2017.03.015
61. Chava SK, Agrawal M, Vidya K, et al. Role of Infrared Thermography in Planning and Monitoring of Head and Neck Microvascular Flap Reconstruction. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2023;11(9):e5158. doi: 10.1097/GOX.0000000000005158
62. Hazratkulov RB. Postoperative complications in patients with severe traumatic brain injury. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*. 2019;14(3):32–33. doi: 10.25881/BPNMSC.2019.17.23.005
63. Oehme F, Rühle A, Börner K, et al. Simple Wound Irrigation in the Postoperative Treatment for Surgically Drained Spontaneous Soft Tissue Abscesses: A Prospective, Randomized Controlled Trial. *World J Surg*. 2020;44(12):4041–4051. doi: 10.1007/s00268-020-05738-1
64. Rühle A, Oehme F, Metzger J, et al. International survey evaluating treatment of primary superficial skin abscesses. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2021;47(4):1049–1056. doi: 10.1007/s00068-019-01279-y.
65. Zabaglo M, Leslie SW, Sharman T. *Postoperative Wound Infections*. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
66. Ammouh M, Gzawi M, Warawreh A, Hijazin R, Jafar H. Clinical evaluation of thermography as a diagnostic tool in oral and maxillo-facial lesions. *JRMS*. 2018;25(3):45–49. doi: 10.12816/00532
67. Aboushady MA, Talaat W, Hamdoon Z, et al. Thermography as a non-ionizing quantitative tool for diagnosing periapical inflammatory lesions. *BMC Oral Health*. 2021;21(1):260. doi: 10.1186/s12903-021-01618-9
68. Beresten NF. *Functional diagnostics: a national guide*. Beresten NF, Sandrikov VA, Fedorova SI, editors. Moscow: GEOTAR-Media; 2019. 784 p. (In Russ.).
69. Young PY, Khadaroo RG. Surgical site infections. *Surg Clin North Am*. 2014;94(6):1245–64. doi: 10.1016/j.suc.2014.08.008
70. Bustamante-Munguira J, Herrera-Gómez F, Ruiz-Álvarez M, Figuerola-Tejerina A, Hernández-Aceituno A. A New Surgical Site Infection Risk Score: Infection Risk Index in Cardiac Surgery. *J Clin Med*. 2019;8(4):480. doi: 10.3390/jcm8040480
71. Kremers HM, Nwojio ME, Ransom JE, et al. Trends in the epidemiology of osteomyelitis: a population-based study, 1969 to 2009. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(10):837–45. doi: 10.2106/JBJS.N.01350
72. Slyamova G, Gusmanov A, Batpenov A, Kaliev N, Viderman D. Risk Factors for Postoperative Osteomyelitis among Patients after Bone Fracture: A Matched Case-Control Study. *J Clin Med*. 2022;11(20):6072. doi: 10.3390/jcm11206072
73. Zhou AK, Girish M, Thahir A, et al. Radiological evaluation of postoperative osteomyelitis in long bones: Which is the best tool? *J Perioper Pract*. 2022;32(1–2):15–21. doi: 10.1177/1750458920961347
74. Heitzmann LG, Battisti R, Rodrigues AF, et al. Postoperative Chronic Osteomyelitis in the Long Bones — Current Knowledge and Management of the Problem. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*. 2019;54(6):627–635. doi: 10.1016/j.rbo.2017.12.013
75. Kliushin NM, Burnashov SI, Mekki WA, Leonchuk DS, Sudnitsyn AS. Treatment of postoperative tibial chronic osteomyelitis using bone transport techniques; an observational study. *J Clin Orthop Trauma*. 2021;24:101652. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101652
76. Bozhkova SA, Tihilov RM, Andriyashkin VV, et al. Prevention, diagnosis and treatment of thromboembolic complications in traumatology and orthopedics: methodological guidelines. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2022;28(3):136–166. (In Russ.). doi: 10.17816/2311-2905-1993 EDN: HMUVVU
77. Shuvaev DB, Biryukova Yul, Ermolaev VA, Lebedev AI. Prevention of thromboembolic complications in the trauma department. *Mnogoprofil'nyj stacionar*. 2021;8(1):36–40. (In Russ.). EDN: NAOOKV
78. Paciullo F, Bury L, Noris P, et al. Antithrombotic prophylaxis for surgery-associated venous thromboembolism risk in patients with inherited platelet disorders. The SPATA-DVT Study. *Haematologica*. 2020;105(7):1948–1956. doi: 10.3324/haematol.2019.227876
79. Poon MC, d'Oiron R, Zotz RB, et al.; Glanzmann Thrombasthenia Registry Investigators. The international, prospective Glanzmann Thrombasthenia Registry: treatment and outcomes in surgical intervention. *Haematologica*. 2015;100(8):1038–44. doi: 10.3324/haematol.2014.121384
80. Sivec NF, Babaren' VV, Danilenko OA, Chirak VE. Postoperative complications after total endoprosthesis of major joints. *Zdravookhranenie (Minsk)*. 2019;(8):26–38. (In Russ.). EDN: TIFRFQ
81. Arcelus Martínez JI, Leiva Jiménez B, Ruiz Barrera L, et al. Prophylaxis of venous thromboembolism in general surgery in Spain. Analysis of a national survey. *Cir Esp (Engl Ed)*. 2020;98(9):516–524. doi: 10.1016/j.ciresp.2020.04.020
82. Paciullo F, Bury L, Noris P, et al. Antithrombotic prophylaxis for surgery-associated venous thromboembolism risk in patients with inherited platelet disorders. The SPATA-DVT Study. *Haematologica*. 2020;105(7):1948–1956. doi: 10.3324/haematol.2019.227876
83. Bikdeli B, Jimenez D, Hawkins M, et al.; RIETE Investigators. Rationale, Design and Methodology of the Computerized Registry of Patients with Venous Thromboembolism (RIETE). *Thromb Haemost*. 2018;118(1):214–224. doi: 10.1160/TH17-07-0511
84. Samodaj VG, Ryl'kov MI, Fedorishchev AP. Preduprezhdenie tromboembolicheskikh oslozhnenij v travmatologii i ortopedii. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2021;(74–1):115–119. (In Russ.). doi: 10.18411/lj-06-2021-26 EDN: SQQACN
85. Perng C-K, Ma H, Chiu Y-J, Lin P-H, Tsai C-H. Detection of free flap pedicle thrombosis by infrared surface temperature imaging. *J Surg Res*. 2018;229:169–176. doi: 10.1016/j.jss.2018.03.054
86. Sachdeva A, Dalton M, Lees T. Graduated compression stockings for prevention of deep vein thrombosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;11(11):CD001484. doi: 10.1002/14651858.CD001484.pub4
87. Knedler S, Hoch CC, Huelsboemer L, et al. Postoperative free flap monitoring in reconstructive surgery—man or machine? *Front Surg*. 2023;10:1130566. doi: 10.3389/fsurg.2023.1130566
88. Smolle MA, Leitner L, Böhrer N, et al. Fracture, nonunion and postoperative infection risk in the smoking orthopaedic patient: a systematic review and metaanalysis. *EFORT Open Rev*. 2021;6(11):1006–1019. doi: 10.1302/20585241.6.210058
89. Wang Z, Li K, Gu Z, Fan H, Li H. The risk assessment model of fracture nonunion after intramedullary nailing for subtrochanteric femur fracture. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(12):e25274. doi: 10.1097/MD.00000000000025274
90. Lee JI, Park JW, Park KC, Kim DH, Lee DH. Predictors for nonunion of unrepaired ulnar styloid fracture associated with distal radius fractures in patients treated with volar locking plate fixation and their effect on functional outcomes. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2022;108(5):103322. doi: 10.1016/j.otsr.2022.103322
91. Prado Campos D, Aguiar Mendonça CJ, Mendes J, Soni JF, Nohama P. Thermal variations in osteoporosis after aclasta administration: case study. *Int J Onl Biomed Eng*. 2020;16(10):82. doi: 10.3991/ijoe.v16i10.14635
92. Di Benedetto M, Huston CW, Sharp MW, Jones B. Regional hypothermia in response to minor injury. *Am J Phys Med Rehabil*. 1996;75(4):270–277. doi: 10.1097/00002060-19960700000006
93. Bohl DD, Sershon RA, Saltzman BM, Darrith B, Della Valle CJ. Incidence, Risk Factors, and Clinical Implications of Pneumonia After Surgery for Geriatric Hip Fracture. *The Journal of Arthroplasty*. 2018;33(5):1552–1556. e1. doi: 10.1016/j.arth.2017.11.068
94. Lv H, Yin P, Gao Y, Zhao Z, Li J. Clinical characteristics and risk factors of postoperative pneumonia after hip fracture surgery: a prospective cohort study. *Osteoporos Int*. 2016;27(10):3001–9. doi: 10.1007/s00198-016-3624-5
95. Salarbaks AM, Lindeboom R, Nijmeijer W. Pneumonia in hospitalized elderly hip fracture patients: the effects on length of hospital-stay, in-

hospital and thirty-day mortality and a search for potential predictors. *Injury*. 2020;51(8):1846–1850. doi: 10.1016/j.injury.2020.05.017

96. Byun SE, Shon HC, Kim JW, Kim HK, Sim Y. Risk factors and prognostic implications of aspiration pneumonia in older hip fracture patients: A multicenter retrospective analysis. *Geriatr Gerontol Int*. 2019;19(2):119–123. doi: 10.1111/ggi.13559

97. Higashikawa T, Shigemoto K, Goshima K, et al. Risk factors for the development of aspiration pneumonia in elderly patients with femoral neck and trochanteric fractures: A retrospective study of a patient cohort. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(7):e19108. doi: 10.1097/MD.00000000000019108

98. Ahn J, Chang JS, Kim JW. Postoperative Pneumonia and Aspiration Pneumonia Following Elderly Hip Fractures. *J Nutr Health Aging*. 2022;26(7):732–738. doi: 10.1007/s12603-0221821-9

99. Xiang B, Jiao S, Si Y, et al. Risk Factors for Postoperative Pneumonia: A Case-Control Study. *Front Public Health*. 2022;10:913897. doi: 10.3389/fpubh.2022.913897

100. Martinez-Jimenez MA, Loza-Gonzalez VM, Kolosovas-Machuca ES, et al. Diagnostic accuracy of infrared thermal imaging for detecting COVID-19 infection in minimally symptomatic patients. *Eur J Clin Invest*. 2021;51(3):e13474. doi: 10.1111/eci.13474

101. Shen H, Zhao Z, Liu J, Zhou H. The application value of early postoperative pain management (EPPM) combined with skin temperature monitoring (STM) after flap repair of soft tissue defects in the lower limbs: a non-randomized controlled trial. *Ann Palliat Med*. 2022;11(3):1068–1076. doi: 10.21037/apm-22-161

102. Hennessy O, Potter SM. Use of infrared thermography for the assessment of free flap perforators in autologous breast

reconstruction: A systematic review. *JPRAS Open*. 2019;23:60–70. doi: 10.1016/j.jpra.2019.11.006

103. Ji X, Li H, Gong H, Wen G, Sun R. Analysis of material parameter uncertainty propagation in preoperative flap suture simulation. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2024;27(15):2131–2144. doi: 10.1080/10255842.2023.2272009

104. Mironov SP, Vetrile ST, Krupatkin AI, Shvec VV. Peculiarities of regional vegetative regulation and radicular microhemocirculation in patients with osteochondrosis before and after lumbar discectomy. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2008;2:15–19. (In Russ.). EDN: JTGFYB

105. Nazarenko AG, Krupatkin AI, Kuleshov AA, et al. Neuro-microcirculatory interrelationships in patients with kyphoscoliosis associated with neurological deficits. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii*. 2024;23(3):141–148. (In Russ.). doi: 10.37903/vsgma.2024.3.17 EDN: MUKFLN

106. Saygin D, Highland KB, Tonelli AR. Microvascular involvement in systemic sclerosis and systemic lupus erythematosus. *Microcirculation*. 2019;26(3):e12440. doi: 10.1111/micc.12440

107. Kashtanov AD, Vasil'ev YuL, Kuzin AN, Boronihina TV, Chilikov VV. Experience in the use of non-contact thermometry in evaluating the efficacy of treating small shallow wounds with trophic disorders of collagen-based sponge and dihestase. *Operativnaya hirurgiya i klinicheskaya anatomiya (Pirogovskij nauchnyj zhurnal)*. 2019;3(4):21–27. (In Russ.). doi: 10.17116/operhirurg2019304121 EDN: XHSEOR

108. Bondarenko SV. The method of impedanometry and thermometry in assessing the course of postoperative wounds. *Forcipe*. 2019;2(S):918. (In Russ.). EDN: UEPGTG

ОБ АВТОРАХ

*** Морозов Артём Михайлович**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 170100, Тверь, ул. Советская, д. 4;
ORCID: 0000-0003-4213-5379;
eLibrary SPIN: 6815-9332;
e-mail: ammorozovv@gmail.com

Коган Павел Геннадьевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-7179-4851;
eLibrary SPIN: 5532-8870;
e-mail: pgkogan@niiito.ru

Хорак Константин Иосифович;
ORCID: 0000-0003-4043-4164;
eLibrary SPIN: 1961-0790;
e-mail: kostet0808@mail.ru

Пискарева Мария Евгеньевна;
ORCID: 0000-0002-4329-2539;
eLibrary SPIN: 6081-4582;
e-mail: maria-piskareva@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Artem M. Morozov**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 4 Sovetskaya st, Tver, Russia, 170100;
ORCID: 0000-0003-4213-5379;
eLibrary SPIN: 6815-9332;
e-mail: ammorozovv@gmail.com

Pavel G. Kogan, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-7179-4851;
eLibrary SPIN: 5532-8870;
e-mail: pgkogan@niiito.ru

Konstantin I. Khorak, MD;
ORCID: 0000-0003-4043-4164;
eLibrary SPIN: 1961-0790;
e-mail: kostet0808@mail.ru

Maria E. Piskareva;
ORCID: 0000-0002-4329-2539;
eLibrary SPIN: 6081-4582;
e-mail: maria-piskareva@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author