

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto676947>

EDN: VQGJFC



О возможности применения инфракрасной термографии в оценке состояния нижних конечностей

А.М. Морозов, А.Н. Сергеев, К.Д. Егорова, А.С. Бурлакова

Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Медицинская инфракрасная термография (МИТ) — метод регистрации тепловых излучений с поверхности тела человека, позволяющий на доклинической стадии выявить патологические состояния организма, а также в динамике отслеживать процесс лечения и реабилитации. К достоинствам данного метода можно отнести бесконтактность обследования, неинвазивность, безвредность, отсутствие необходимости в высокоспециализированном персонале и дорогостоящих расходных материалах.

Цель. Оценка состояния нижних конечностей с помощью медицинской инфракрасной термографии.

Материалы и методы. Настоящее исследование является экспериментальным, ослеплённым, одномоментным, выборочным, неконтролируемым, одноцентровым. Включались респонденты в возрасте 18–21 лет с отсутствием соматических заболеваний нижних конечностей в анамнезе. В ходе исследования были выполнены термографические снимки передней и задней поверхностей обеих нижних конечностей, после чего на каждом из них были выставлены точки, показывающие температуру заданных областей. Данные точки были выбраны согласно анатомическому расположению сосудов нижних конечностей. Основным исходом являются средние значения процентного изменения температуры, дополнительным — выявление зависимости между процентным изменением температуры и объёмом подкожно-жировой клетчатки. Время проведения исследования составило 2,5 месяца. Для расчёта статистической значимости исследования использовался критерий хи-квадрат.

Результаты. При проведении данного исследования было выявлено, что физиологический феномен снижения температуры на нижних конечностях от проксимальных отделов к дистальным может применяться в практической деятельности ($p < 0,001$). Построенные в ходе работы графики доказали отсутствие зависимости величины процентного изменения температуры от состояния подкожно-жировой клетчатки, что отличается от температуры анатомических точек, значения которой полностью зависят от объёма жирового слоя у человека.

Заключение. Представленное исследование является первой ступенью на пути к использованию среднестатистических данных о процентном изменении температуры между анатомическими точками на нижних конечностях в практической деятельности. С помощью измерений, расчётов и построения графиков было доказано, что подобный способ проведения термографического обследования универсален для лиц с разной комплекцией и индексом массы тела, что сильно упростит его применение в диагностике врачами разных специальностей.

Ключевые слова: травматология; медицинская инфракрасная термография; артерии; нижние конечности; диагностика; подкожно-жировая клетчатка; калипер.

Как цитировать:

Морозов А.М., Сергеев А.Н., Егорова К.Д., Бурлакова А.С. О возможности применения инфракрасной термографии в оценке состояния нижних конечностей // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2025. Т. 32, № 3. С. 596–612. DOI: 10.17816/vto676947 EDN: VQGJFC

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto676947>

EDN: VQGJFC

Potential of infrared thermography for assessing the condition of the lower limbs

Artem M. Morozov, Alexey N. Sergeev, Kseniya D. Egorova, Arina S. Burlakova

Tver State Medical University, Tver, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Medical infrared thermography is a method for recording thermal radiation from the surface of the human body, allowing for the identification of pathological conditions at a preclinical stage, as well as for monitoring of treatment and rehabilitation processes. The advantages of this method include its non-contact nature, non-invasiveness, safety, and the lack of need for highly specialized personnel or costly consumables.

AIM: The work aimed to assess the condition of the lower limbs using medical infrared thermography.

METHODS: It was an experimental, blinded, cross-sectional, uncontrolled, single-center study. Respondents aged 18–21 years with no history of somatic diseases of the lower limbs were included. Thermographic images of the anterior and posterior surfaces of both lower limbs were obtained, after which specific points were marked on each image to indicate the temperature of predefined areas. These points were selected based on the anatomical location of the lower limb vessels. The primary outcome was the mean percentage change in temperature; the secondary outcome was the identification of any association between the percentage change in temperature and the volume of subcutaneous adipose tissue. The duration of the study was 2.5 months. Statistical significance was determined using the chi-square test.

RESULTS: The study revealed that the physiological phenomenon of temperature decrease from proximal to distal segments of the lower limbs can be applied in clinical practice ($p < 0.001$). Graphs constructed during the study demonstrated the absence of an association between the percentage change in temperature and the volume of subcutaneous adipose tissue, in contrast to the absolute temperatures at anatomical points, which were entirely dependent on the thickness of the adipose layer.

CONCLUSION: This study represents a first step toward using population-average data on percentage temperature changes between anatomical points of the lower limbs in clinical practice. Through measurements, calculations, and the construction of graphs, this approach to thermographic examination was demonstrated to be universal for individuals with various body compositions and body mass index, which may significantly facilitate its diagnostic application by physicians across various specialties.

Keywords: traumatology; medical infrared thermography; arteries; lower limbs; diagnostics; subcutaneous adipose tissue; caliper.

To cite this article:

Morozov AM, Sergeev AN, Egorova KD, Burlakova AS. Potential of infrared thermography for assessing the condition of the lower limbs. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2025;32(3):596–612. DOI: 10.17816/vto676947 EDN: VQGJFC

ОБОСНОВАНИЕ

Метод медицинской инфракрасной термографии (МИТ) основан на регистрации тепловых полей различных участков тела человека в невидимой инфракрасной области электромагнитного спектра [1–3]. Температурные показатели поверхности кожи являются важным индикатором развития патологий, в связи с чем их используют для диагностики заболеваний различного генеза. Картина пространственного распределения температур на тепловых изображениях открытой поверхности биоткани человека может указывать не только на наличие и локализацию патологического процесса, но и на степень его выраженности [4–6]. Медицинская инфракрасная термография позволяет выявить зоны с повышенной теплопродукцией и теплопереносом, а следовательно, обнаружить нарушения кровотока, свидетельствующие о развитии онкологических, травматологических, ортопедических и других заболеваний [1, 7–8]. Положительным аспектом данного метода является его абсолютная безвредность, что означает отсутствие противопоказаний и возможность применения неограниченное количество раз для обследования пациентов всех возрастов. Уникальность данного метода обусловлена и другими его достоинствами, такими как бесконтактность обследования и неинвазивность [9]. Помимо этого, МИТ не требует высокоспециализированного персонала и не нуждается в дорогостоящих расходных материалах [5, 10]. К преимуществам термографии, в отличие от стандартных методов лучевой диагностики, можно отнести её способность выявлять патологию задолго до её клинического проявления, при бессимптомном течении болезни и даже при отсутствии обширных структурных изменений. Медицинская инфракрасная термография позволяет выявить соотношение между выраженностью клинических проявлений заболевания и поверхностной температурой, обусловленной состоянием кровообращения в тканях, которое не всегда коррелирует с жалобами больного, что позволяет диагностировать патологию в доклинической стадии.

В травматологии и ортопедии температурный показатель является важным маркером в диагностике заболеваний различного генеза. В исследовании В.О. Белаша (2018) описывается применение локальной термометрии и медицинской инфракрасной термографии в качестве диагностических мероприятий у пациентов с дорсопатией на шейно-грудном уровне. Врач-ортопед может применять данный метод исследования для выявления зон соматических дисфункций организма, то есть нарушения микроциркуляции, подвижности и нервной регуляции [11]. В исследовании G. Schiavon и соавт. (2021) отмечается применение МИТ при таких патологиях опорно-двигательного аппарата, как остеоартрит и ревматические заболевания. Авторы указывают, что медицинская инфракрасная термография является методом выбора при диагностике воспалительных процессов в суставах [12]. Таким образом, данный метод может облегчить работу травматологов на этапе

раннего выявления патологий опорно-двигательного аппарата, в том числе патологий суставов дегенеративно-дистрофического характера и метаболических нарушений костной ткани при ортопедической инфекции [13, 14].

Следует отметить, что травматизм является одной из главных угроз здоровью. Среди взрослого населения Российской Федерации в 2017 году переломы различной локализации составили 23,5% от прочих повреждений. Такой высокий процент говорит о необходимости постоянного контроля за организацией травматологической помощи населению [15, 16]. МИТ не требует высокоспециализированного персонала, отдельного кабинета для проведения исследования и значительных финансовых вложений, что даёт ей преимущество перед другими методами обследования, а также возможность внедрить её для осмотра пациентов травматологического профиля [17]. Травмы мягких тканей и переломы костей могут сопровождаться гнойно-септическими осложнениями, что способно привести к снижению качества жизни больного, удлинению периода лечения и реабилитации и повышению нагрузки на систему здравоохранения [18–21]. МИТ способна на доклинической стадии идентифицировать воспалительный процесс, которому свойственно повышение температуры кожных покровов. Также следует отметить, что данный метод можно использовать и на этапе реабилитации после полученной травмы, в том числе нижних конечностей, так как он позволяет отслеживать динамику регенерации, то есть контролировать разницу температур между рубцовой и здоровой тканью [22–24].

ЦЕЛЬ

Оценка состояния нижних конечностей с помощью медицинской инфракрасной термографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Настоящее исследование является экспериментальным, ослеплённым, одномоментным, выборочным, неконтролируемым, одноцентровым. Исследование выполнялось по следующей схеме:

- 1-й этап — анализ метода медицинской инфракрасной термографии и составление плана проведения исследования;
- 2-й этап — поиск респондентов с отсутствием заболеваний нижних конечностей;
- 3-й этап — проведение термографического обследования нижних конечностей;
- 4-й этап — анализ полученных термографических снимков;
- 5-й этап — составление сводных таблиц и графиков в Excel;
- 6-й этап — оценка результатов и выведение заключения;

- 7-й этап — обобщение выводов и написание научной публикации.

Критерии соответствия

В настоящее исследование *включались* респонденты, соответствующие следующим критериям:

- возраст 18–21 год;
- отсутствие соматических заболеваний нижних конечностей в анамнезе;
- отсутствие жалоб на боли в нижних конечностях при предварительном опросе.

Критериями исключения респондентов из данного исследования являлись:

- соматические заболевания нижних конечностей в анамнезе или предъявление жалоб на момент опроса;
- коморбидные состояния;
- отсутствие информированного согласия на обработку персональных данных;
- отсутствие информированного согласия на публикацию в научных статьях.

Условия проведения

Исследование реализовывалось на базе 7-й городской клинической больницы города Твери. Поиск участников осуществлялся только среди молодых здоровых респондентов. При проведении термографического обследования температура (18–20 °C) и влажность (55–65%) помещения поддерживались постоянными, после освобождения

нижних конечностей от одежды респонденты адаптировались к условиям помещения в течение 10 мин. Термоснимки производились на расстоянии 1,5 метра от тепловизора в положении респондентов стоя [25, 26].

Продолжительность исследования

Исследование проводилось в период с 01.09.2024 по 29.12.2024 г. Запланированная продолжительность периода включения составляла 2 недели, продолжительность периода проведения термографического обследования, сбора и анализа данных — 3 недели, оценка полученных результатов и написание научно-исследовательской работы заняли 1 месяц. В ходе исследования все этапы выполнялись в срок.

Описание медицинского вмешательства

При проведении исследования были выполнены термографические снимки передней и задней поверхности обеих нижних конечностей, после чего на каждом из них были выставлены точки, показывающие температуру заданных областей в градусах Цельсия. Данные точки были выбраны согласно анатомическому расположению крупных артерий и лежащих рядом вен нижних конечностей.

На передней поверхности нижних конечностей проецируется передняя большеберцовая артерия (a. tibialis anterior), соответственно её расположению были определены 4 термометрические точки (рис. 1, 2). Рассмотрим анатомическое расположение каждой из них:

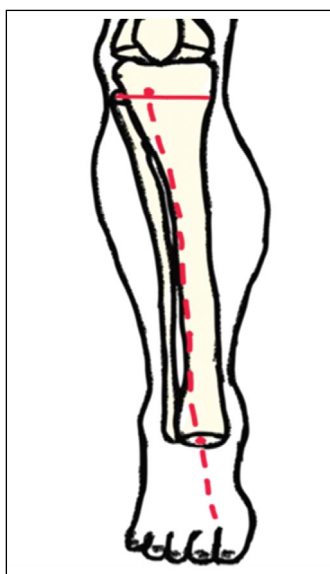


Рис. 1. Проекция передней большеберцовой артерии на переднюю поверхность голени: большеберцовый сосудисто-нервный пучок проецируется по линии, проведённой от середины подколенной ямки вверх к середине расстояния между медиальной лодыжкой и ахилловым сухожилием вниз.

Fig. 1. Projection of the anterior tibial artery on the anterior surface of the lower leg: the tibial neurovascular bundle projects along a line from the middle of the popliteal fossa at the top to the middle of the distance between the medial malleolus and Achilles tendon at the bottom.

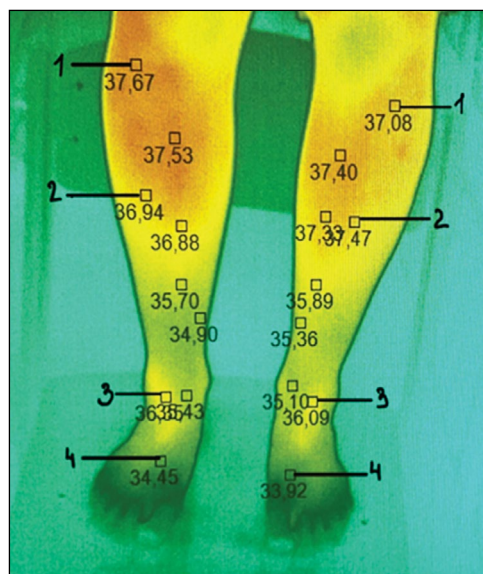


Рис. 2. Расположение точек на термографических снимках передней поверхности нижних конечностей. Дата получения добровольного информированного согласия на обработку персональных данных и публикацию в научных статьях — 30.09.2024 г.

Fig. 2. Location of points on thermographic images of the anterior surface of the lower limbs.

- 1-я точка — переход передней большеберцовой артерии (a. tibialis anterior) в переднее ложе через отверстие в membrana interossea после отделения от подколенной артерии (a. poplitea) (промежуток между tuberositas tibiae и caput fibulae);
- 2-я точка — по ходу передней большеберцовой артерии (a. tibialis anterior), в месте расположения сосудисто-нервного пучка в верхней половине голени (лежит на membrana interossea между m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus);
- 3-я точка — по ходу передней большеберцовой артерии (a. tibialis anterior); в нижнем отделе голени сосудисто-нервный пучок смещается медиально и лежит в промежутке между m. tibialis anterior и extensor hallucis longus (середина расстояния между лодыжками);
- 4-я точка — переход передней большеберцовой артерии (a. tibialis anterior) на стопу (a. dorsalis pedis) в межкостном промежутке 1-го и 2-го пальцев.

На задней поверхности нижних конечностей проецируется подколенная артерия (a. poplitea), переходящая в голени в заднюю большеберцовую артерию (a. tibialis posterior), соответственно её расположению было определено 5 термометрических точек (рис. 3, 4). Рассмотрим анатомическое расположение каждой:

- 1-я точка — выход подколенной артерии (a. poplitea) из подколенной ямки;
- 2-я точка — деление подколенной артерии (a. poplitea) на переднюю и заднюю большеберцо-

вые артерии (a. tibialis anterior et posterior) у входного отверстия в голеноподколенный канал;

- 3-я точка — расположение заднего сосудисто-нервного пучка на задней поверхности m. tibialis posterior;
- 4-я точка — по ходу a. tibialis posterior: на голени идёт между m. soleus позади и m. flexor digitorum longus спереди;
- 5-я точка — выход a. tibialis posterior на медиальную лодыжку (огibt сзади на середине расстояния между лодыжкой и краем пяточного сухожилия).

Основной исход исследования

Исходом исследования являются средние значения процентного изменения температуры между анатомическими точками, выбранными для оценки состояния нижних конечностей.

Дополнительные исходы исследования

Дополнительным исходом исследования является выявление зависимости (или её отсутствия) процентного изменения между точками в заданных областях от количества подкожно-жировой клетчатки. Для этого у 17 респондентов был определён процент жира с помощью калипера и расчётных таблиц.

Анализ в подгруппах

Оценка результатов исследования проводилась у всех 57 респондентов одновременно для выявления феномена

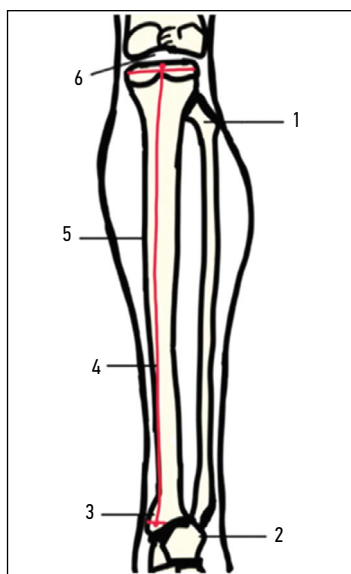


Рис. 3. Проекция задней большеберцовой артерии на заднюю поверхность голени: 1 — caput fibulae, 2 — tendo calcaneus, 3 — malleolus medialis, 4 — проекционная линия a. tibialis posterior, 5 — margo medialis tibiae, 6 — fossa poplitea.

Fig. 3. Projection of the posterior tibial artery on the posterior surface of the lower leg. 1 — caput fibulae, 2 — tendo calcaneus, 3 — malleolus medialis, 4 — projection line a. tibialis posterior, 5 — margo medialis tibiae, 6 — fossa poplitea.

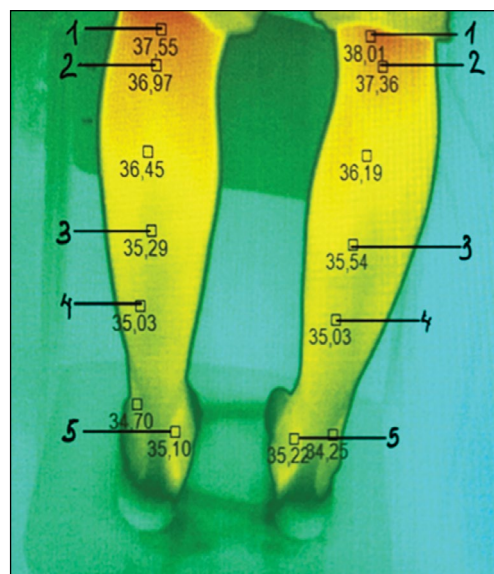


Рис. 4. Расположение точек на термографических снимках задней поверхности нижних конечностей.

Fig. 4. Location of points on thermographic images of the posterior surface of the lower limbs.

снижения температуры от проксимальных к дистальным отделам нижних конечностей. Отдельно у 17 респондентов проводился анализ зависимости процентного изменения от процента жира. При составлении графиков и анализе полученных данных были выделены группы с различным процентным содержанием жира (избыточным, недостаточным, нормальным).

Методы регистрации исходов

Для проведения термографического обследования использовался тепловизор «Пергамед 640». Все температурные значения исходных точек и процентные изменения между ними были выделены в сводную таблицу в Excel, после чего были вычислены процентные изменения между ними. Для выявления связи состояния подкожно-жировой клетчатки и температурных изменений были составлены графики в Excel и проведён их анализ.

Этическая экспертиза

Все участники настоящего исследования подписывали информированное согласие на обработку персональных данных и публикацию в научных статьях. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом (ЭК). Итоговое заключение этического комитета: «Члены ЭК одобрили представленные документы без замечаний. Проведение исследования одобрено единогласно» (выписка из протокола заседания ЭК ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России № 6 от 29 июня 2020 года).

Статистический анализ

Принципы расчёта размера выборки

Размер выборки предварительно не рассчитывался.

Методы статистического анализа данных

Применялись текстовый редактор Microsoft Word 2016 (Microsoft Corporation, США), табличный редактор Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, США). С целью определения статистической значимости результатов исследования использовался критерий хи-квадрат, показывающий различия между фактическими данными в выборке и теоретическими результатами, которые были предложены перед началом исследования. Все критерии, кроме одного, статистически значимы и имеют критический уровень значимости $p < 0,05$. Один из показателей, который был рассмотрен в работе, показал отсутствие ожидаемой закономерности, что является поводом для исключения его из конечных результатов. Неудобство использования критерия хи-квадрат в данной работе заключается в том, что при определении значимости встретился показатель, который по расчётным формулам является статистически значимым, но для данной работы несёт отрицательное значение. Он показал закономерность, обратную ожидаемой. Остальные изученные пункты были оценены данным критерием без погрешности и полностью соответствовали запросам данного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В ходе настоящего исследования с помощью медицинской инфракрасной термографии была проведена диагностика нижних конечностей у 57 респондентов с отсутствием соматических заболеваний.

Основные результаты исследования

Медицинская инфракрасная термография — это метод диагностической визуализации, который преобразует информацию о поверхностной температуре тела человека в визуальные термограммы. Снимки представляют собой распределение температуры в десятках или сотнях тысяч точек и способны отображать температурные изменения поверхности тела от 0,03 °C [27]. На термограммах изображаются температурные градиенты, цвета которых соответствуют температурам от самых низких до самых высоких: чёрный, тёмно-фиолетовый и его оттенки (от 24 до 26 °C), тёмно-синий и его оттенки (от 26 до 28,5 °C), светло-голубой (от 28,5 до 30 °C), зелёный и его оттенки (от 30 до 33 °C), жёлтый и оранжевый (от 33 до 35 °C), оттенки красного (от 35 °C) [28]. В зависимости от моделей тепловизоров и программ, которые осуществляют обработку термоснимков, данные показатели могут варьировать. Как правило, температура проксимальных отделов нижних конечностей выше дистальных, что обусловлено движением крови по сосудам, уменьшением количества и диаметра сосудов в нижних областях. Рассмотрим на примере респондента № 17 температурные показатели, представленные на рис. 5, 6 и в табл. 1.

На представленных термограммах верхняя треть голени имеет самые высокие значения температуры и окрашена в оранжево-красные цвета по сравнению со средней и нижней третью, имеющей жёлтые оттенки; область стоп имеет минимальные значения и обозначена светло-жёлтыми, зелёными и голубыми цветами. Цветовой переход от тёплых зон к холодным в данном случае наблюдается примерно с 33 °C.

Анализируя табл. 1, можно сделать вывод, что на передней поверхности голени температура находится в диапазоне от 31,35 до 34,77 °C на правой нижней конечности и от 30,98 до 34,01 °C на левой. В первом случае верхняя точка горячее нижней на 3,4 °C, а во втором градиент снижения можно вычислить только начиная со второй точки (3,1 °C), так как первая точка на левой конечности холоднее второй.

На задней поверхности правой нижней конечности температура находится в диапазоне от 32,59 до 35,35 °C, причём показатель 5-й точки больше 4-й, а градиент снижения от 1-й к 4-й точке равняется 2,76 °C. На левой нижней конечности диапазон температур — от 32,29 до 35,17 °C, показатель 5-й точки также выше показателя 4-й точки, градиент снижения от 1-й к 4-й точке равняется 2,88 °C.

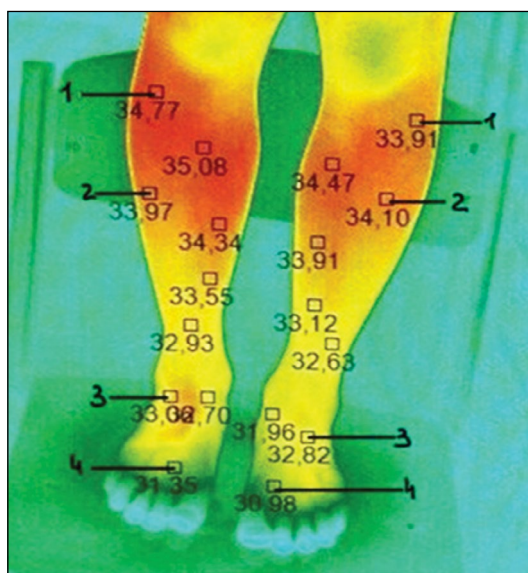


Рис. 5. Термографический снимок передней поверхности нижних конечностей респондента № 17.

Fig. 5. Thermographic image of the anterior surface of the lower limbs of respondent No. 17.

Использование факта, что в норме происходит снижение температуры от проксимальных отделов к дистальным в определённом числовом диапазоне, в практической медицине может служить индикатором наличия патологического нарушения кровообращения. Для выявления градиента снижения было высчитано процентное изменение между термометрическими точками у каждого респондента, то есть определено, на сколько процентов в норме снижается температура между разными областями нижних конечностей. Рассмотрим (также на примере респондента № 17) полученные результаты, приведённые в табл. 2.

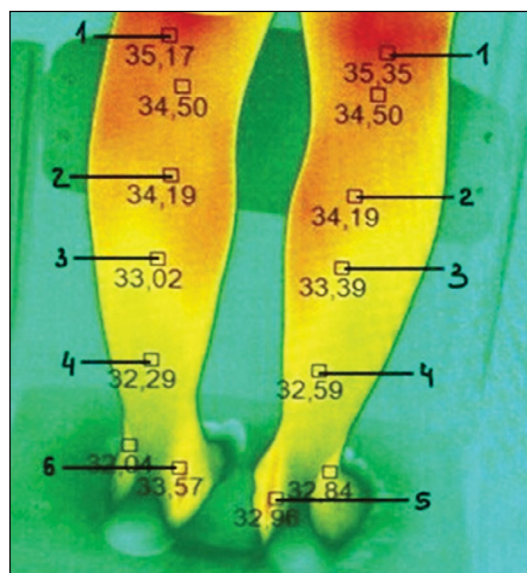


Рис. 6. Термографический снимок задней поверхности нижних конечностей респондента № 17.

Fig. 6. Thermographic image of the posterior surface of the lower limbs of respondent No. 17.

По данным табл. 2, процентные изменения между точками на передней поверхности голени показывают, что на правой нижней конечности происходит равномерное снижение температуры; между наиболее удалёнными точками (1 и 4) процентное изменение равно 10,9%. На левой нижней конечности можно обратить внимание на отрицательный процент между точками 1 и 2, а в последующих областях — на равномерное снижение температуры между точками 2 и 4 на 10%. На задней поверхности правой нижней конечности температура снижается на 8,5% (значение сравнения точек 1 и 4), за исключением отрицательного процента, выявленного между точками

Таблица 1. Числовые значения температуры в выбранных областях нижних конечностей респондента № 17, °C

Table 1. Numerical values of temperature in selected areas of the lower limbs of respondent No. 17, °C

Проекция	Конечность	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Передняя поверхность	Правая	34,77	33,97	33,06	31,35	—
	Левая	33,91	34,10	32,82	30,98	—
Задняя поверхность	Правая	35,35	34,19	33,39	32,59	32,96
	Левая	35,17	34,19	33,02	32,29	33,57

Таблица 2. Процентные изменения между анатомическими точками на передней и задней поверхностях нижних конечностей респондента № 17

Table 2. Percentage changes between anatomical points on the anterior and posterior surfaces of the lower limbs of respondent No. 17

Проекция	Конечность	Точки 1 и 2	Точки 1 и 3	Точки 2 и 3	Точки 1 и 4	Точки 2 и 4	Точки 3 и 4	Точки 1 и 5	Точки 2 и 5	Точки 3 и 5	Точки 4 и 5
Передняя поверхность	Правая	2,3	5,17	2,57	10,9	8,36	5,45	—	—	—	—
	Левая	0,56	3,32	3,90	9,46	10,07	5,94	—	—	—	—
Задняя поверхность	Правая	3,39	5,87	2,40	8,47	4,90	2,45	7,25	3,73	1,30	1,12
	Левая	2,87	6,51	3,54	8,92	5,88	2,26	4,77	1,85	1,64	3,81

4 и 5. На задней поверхности левой нижней конечности 5-я точка горячее 3-й и 4-й, поэтому наблюдаются два отрицательных значения, но при этом можно выделить градиент снижения между точками 1 и 4, равный 8,9%.

Для того, чтобы доказать практическую значимость полученных результатов, был определён уровень статистической значимости для всех респондентов с помощью критерия хи-квадрат (результат исследования статистически значим при $p < 0,05$) (табл. 3).

Обратимся к табл. 3, в которой указано, какое количество положительных и отрицательных процентных изменений было выявлено при сравнении точек, а также приведён уровень значимости для каждого показателя. Анализируя таблицу, можно сделать вывод, что все полученные значения процентных изменений статистически значимы (при $p < 0,05$), кроме результатов сравнения точек 3 и 5 на задней поверхности нижних конечностей. Если анализировать количество отрицательных и положительных процентов, то также можно отметить, что в большинстве случаев наблюдается явная тенденция к снижению температуры в дистальных областях. Точки 4 и 5, описанные выше, статистически значимы только относительно того, что 5-я точка, расположенная на медиальной лодыжке, чаще всего имеет более

высокую температуру, чем 4-я, расположенная на задней поверхности голени.

При проведении данных измерений и расчётов были определены некоторые среднестатистические данные, способные найти место в практической медицине. В табл. 4 представлены средняя температура в отмеченных анатомических точках на передней и задней поверхностях нижних конечностей и средние процентные изменения между ними.

Таким образом, данные значения можно применить для усовершенствования термографического метода исследования патологий нижних конечностей. Зная среднюю температуру заданных областей и процентное изменение между ними в норме, можно более точно определять наличие патологии, и проводить непосредственно анализ снимков станет гораздо легче и быстрее.

В качестве результатов исследования, имеющих практическое значение, были выведены средние данные о процентном изменении температуры между анатомическими точками у 57 респондентов, которые могут встречаться в норме. У здорового человека на передней поверхности нижних конечностей процентное изменение между точками 1 и 2 равняется $0,37\% \pm 3,42\%$; между точками 1 и 3 — $2,87\% \pm 8,56\%$; между точками 2 и 3 — $2,5\% \pm 8,02\%$; между точками 1 и 4 — $6,69\% \pm 12,69\%$;

Таблица 3. Статистическая значимость результатов исследования в виде процентных изменений между термометрическими точками нижних конечностей

Table 3. Statistical significance of the study results in the form of percentage changes between thermometric points on the lower limbs

Проекция	Изменения	«+», %	«-», %	Уровень статистической значимости, p
Передняя поверхность	Точки 1 и 2	58	42	$<0,05$ (0,018)
	Точки 1 и 3	81	19	$<0,001$
	Точки 2 и 3	77	23	$<0,001$
	Точки 1 и 4	95	5	$<0,001$
	Точки 2 и 4	92	8	$<0,001$
	Точки 3 и 4	89	11	$<0,001$
Задняя поверхность	Точки 1 и 2	96	4	$<0,001$
	Точки 1 и 3	96	4	$<0,001$
	Точки 2 и 3	89	11	$<0,001$
	Точки 1 и 4	98	2	$<0,001$
	Точки 2 и 4	89	11	$<0,001$
	Точки 3 и 4	76	24	$<0,001$
	Точки 1 и 5	91	9	$<0,001$
	Точки 2 и 5	68	32	$<0,001$
	Точки 3 и 5	52	48	$>0,05$ (0,597)
	Точки 4 и 5	39	61	$<0,001$

Таблица 4. Средние температурные значения на передней и задней поверхности нижних конечностей и процентные изменения между заданными областями**Table 4.** Average temperatures on the anterior and posterior surfaces of the lower limbs and percentage changes between predefined areas

Проекция	Конечность	Точка 1, °C	Точка 2, °C	Изменение t (1–2), %	Точка 3, °C	Изменение t (1–3), %	Изменение t (2–3), %	Точка 4, °C	Изменение t (1–4), %	Изменение t (2–4), %	Изменение t (3–4), %	Точка 5, °C	Изменение t (1–5), %	Изменение t (2–5), %	Изменение t (3–5), %	Изменение t (4–5), %
Передняя поверхность	Правая	34,66	34,41	0,72	33,74	2,77	2,04	32,55	6,60	5,86	3,74	–	–	–	–	–
	Левая	34,37	34,37	0,01	33,39	2,98	2,97	32,22	6,78	6,78	3,72	–	–	–	–	–
	Обе	34,52	34,39	0,37	33,57	2,87	2,50	32,28	6,69	6,32	3,73	–	–	–	–	–
Задняя поверхность	Правая	35,19	33,77	4,24	33,27	5,78	1,49	32,93	6,89	2,54	1,04	33,47	5,22	0,92	-0,55	-1,58
	Левая	35,04	33,69	4,03	33,18	5,66	1,57	32,89	6,57	2,45	0,87	32,87	6,72	2,59	1,01	0,16
	Обе	35,12	33,73	4,13	33,22	5,72	1,53	32,91	6,73	2,50	0,95	33,17	5,97	1,76	0,23	-0,71

между точками 2 и 4 — $6,32\pm 13,11\%$; между точками 3 и 4 — $3,73\pm 9,35\%$.

На задней поверхности нижних конечностей в норме процентное изменение температуры является следующим: между точками 1 и 2 — $4,13\pm 6,7\%$; между точками 1 и 3 — $5,72\pm 6,66\%$; между точками 2 и 3 — $1,53\pm 3,8\%$; между точками 1 и 4 — $6,73\pm 7,12\%$; между точками 2 и 4 — $2,5\pm 4,86\%$; между точками 3 и 4 — $0,95\pm 3,4\%$; между точками 1 и 5 — $5,97\pm 12,73\%$; между точками 2 и 5 — $1,76\pm 9,54\%$; между точками 3 и 5 — $0,23\pm 8,57\%$; между точками 4 и 5 — $(-0,71)\pm 8,39\%$.

Нежелательные явления

Наличие в результатах исследования отрицательных значений процентных изменений указывает на их вариабельность, то есть вопреки утверждению, что происходит равномерное снижение температуры от проксимальных областей к дистальным, встречались случаи, когда верхняя точка оказывалась холоднее, чем точка, расположенная ниже. У некоторых респондентов не был выявлен градиент снижения температуры в определённых областях. Точки, между которыми получился отрицательный процент, разные во всех случаях. Данный феномен связан в одних случаях с индивидуальными особенностями расположения сосудов и невозможностью заранее определить их точную локализацию, в других — с возможным некорректным расположением нижних точек задней поверхности непосредственно на снимках, что может быть связано с незначительным разворотом голени относительно другой конечности. К примеру, у многих респондентов наблюдалось отрицательное значение процентного изменения между

точками 4 и 5 на задней поверхности, что связано с расположением 4-й точки у некоторых на сухожилиях мышц голени по сравнению с 5-й точкой, лежащей на медиальной лодыжке и прикрытой лишь глубоким и поверхностным листками фасции голени.

Дополнительные результаты исследования

Состояние подкожно-жировой клетчатки влияет на поверхностную температуру тела: чем больше жировой слой, тем ниже температура данной области, так как жир — это естественный теплоизолятор, поглощающий тепло, излучаемое от сосудов и окружающих тканей. В исследовании A.C.C. Salamunes и соавт. (2017) отмечается, что подкожно-жировая клетчатка действует как изолятор, препятствуя теплообмену между телом и окружающей средой, тем самым приводя к снижению температуры поверхности кожи [29]. Данный факт сильно осложняет термографическую диагностику, не позволяя использовать среднестатистические данные и определённый диапазон температур конкретных областей при анализе снимков. В настоящее время любое термографическое обследование сводится к изучению термограмм со стороны сравнения температур симметричных участков тела одного пациента, при этом врачу приходится обращать внимание на индекс массы тела и состояние подкожно-жировой клетчатки, чтобы правильно интерпретировать результаты. Это один из главных недостатков метода, который в числе других позволил ему отойти на задний план. В данной работе при проведении обследования и анализе снимков делался упор на вычисление процентного изменения между конкретными анатомическими точками. Абсолютно точно известно влияние процента жира на температуру определённой

области, но вопрос в том, влияет ли он на процентное изменение температуры в ряду анатомических точек, расположенных последовательно. При проведении данного исследования у 17 респондентов был измерен процент жира и вычислены процентные изменения между термометрическими точками, описанными выше.

Рассмотрим двух респондентов, имеющих разный процент жира: респондента № 41 с процентом жира 6,23, имеющего низкий индекс массы тела, и респондента № 54 с процентом жира 31,2 и большим по сравнению с респондентом № 41 индексом массы тела. Сравним данные

термограммы (рис. 7, 8 и 9, 10) и температуры выбранных точек (табл. 5, 6).

Анализируя термограммы на рис. 7 и 8, можно отметить преобладание жёлтого цвета — это говорит о том, что температура не опускалась ниже 33 °С и её значительных перепадов не было отмечено. Локальные участки красного цвета показывают температуру, превышающую 36,5 °С.

По данным табл. 5 можно сделать вывод, что на передней поверхности нижних конечностей температура находится в диапазоне от 35,6 до 37,66 °С, а градиент снижения



Рис. 7. Термограмма передней поверхности нижних конечностей респондента № 41.

Fig. 7. Thermogram of the anterior surface of the lower limbs of respondent No. 41.

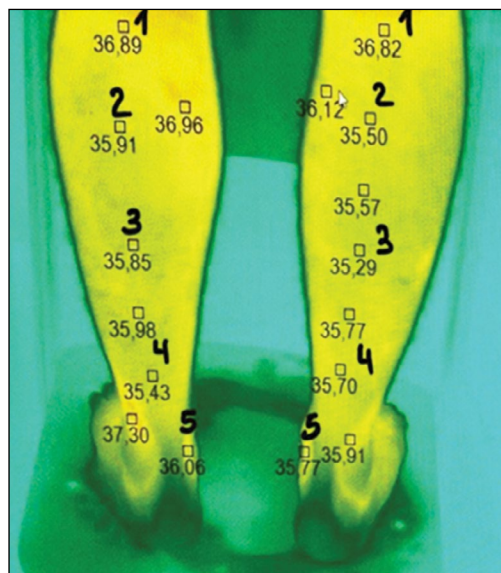


Рис. 8. Термограмма задней поверхности нижних конечностей респондента № 41.

Fig. 8. Thermogram of the posterior surface of the lower limbs of respondent No. 41.

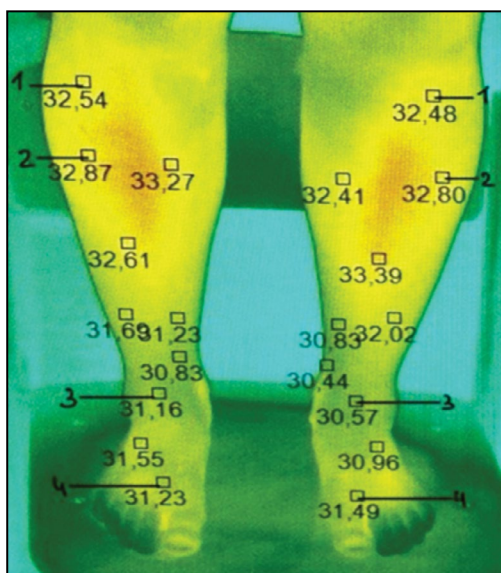


Рис. 9. Термограмма передней поверхности нижних конечностей респондента № 54.

Fig. 9. Thermogram of the anterior surface of the lower limbs of respondent No. 54.

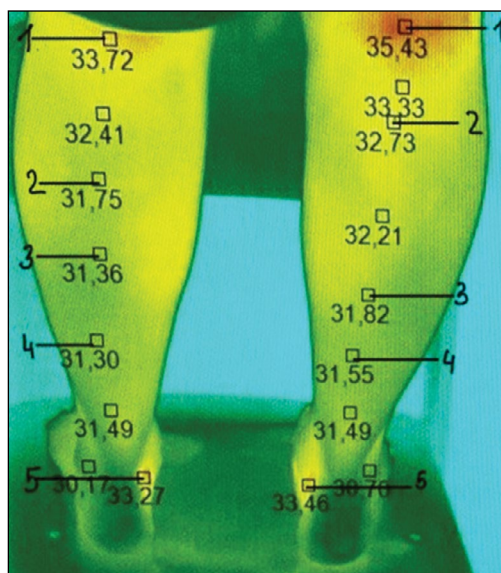


Рис. 10. Термограмма задней поверхности нижних конечностей респондента № 54.

Fig. 10. Thermogram of the posterior surface of the lower limbs of respondent No. 54.

Таблица 5. Числовые значения температуры в выбранных областях нижних конечностей респондента № 41 (процент жира — 6,23), °C**Table 5.** Numerical values of temperature in selected areas of the lower limbs of respondent No. 41 (body fat percentage 6.23%), °C

Проекция	Конечность	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Передняя поверхность	Правая	36,89	37,03	37,66	36,33	—
	Левая	37,45	36,96	36,89	35,57	—
Задняя поверхность	Правая	36,82	35,5	35,29	35,7	35,77
	Левая	36,89	35,91	35,85	35,43	36,06

Таблица 6. Числовые значения температуры в выбранных областях нижних конечностей респондента № 54 (процент жира — 31,2), °C**Table 6.** Numerical values of temperature in selected areas of the lower limbs of respondent No. 54 (body fat percentage 31.2%), °C

Проекция	Конечность	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Передняя поверхность	Правая	32,54	32,87	31,16	31,23	—
	Левая	32,48	32,80	30,57	31,49	—
Задняя поверхность	Правая	35,43	32,73	31,82	31,55	33,46
	Левая	33,72	31,75	31,36	31,30	33,27

равняется 2,06 °C, но на правой нижней конечности 2-я точка имеет температуру выше, чем у 1-й. На задней поверхности диапазон температур составляет от 35,29 до 36,89 °C, а градиент снижения — 1,6 °C. При этом на задней поверхности можно отметить 5-ю точку, которая горячее, чем 2, 3 и 4-я точки.

На рис. 9 и 10, изображающих термограммы респондента с индексом массы тела, превышающим первый случай, можно отметить, что на передней и задней поверхностях преобладает зелёный цвет, означающий, что температура в среднем находилась в пределах 31–32 °C. В отдельных областях, где сосуды лежат близко к поверхности, присутствовали участки жёлтого цвета, показывающие температуру выше 32,5 °C.

Анализируя табл. 6, можно отметить, что на передней поверхности нижних конечностей диапазон температур составляет от 30,57 до 32,87 °C. Температурный показатель 2-й точки на правой и левой нижних конечностях выше, чем у 1-й, также значение 4-й точки в обоих случаях выше значения 3-й точки, что не позволяет вывести градиент снижения на передней поверхности.

На задней проекции диапазон температур составляет от 31,30 до 35,43 °C. Происходит плавное снижение температуры на обеих конечностях до 4-й точки в связи с наличием у 5-й точки в каждом случае значения, превышающего таковое у 2, 3 и 4-й точки. Градиент снижения температуры до 4-й точки равен 2,42 °C.

На термограммах, представленных на рис. 7–10, цветовая визуализация показывает, что поверхность нижних конечностей у респондента с большим процентом жира холоднее. На рис. 9, 10 наблюдается преобладание зелёного цвета, а на стопах — даже тёмно-зелёного и голубого, по сравнению с респондентом № 41, у которого преобладает жёлтый цвет. Анализируя числовые данные, можно отметить тенденцию к уменьшению температуры каждой точки на 2–5 градусов у человека с большим объёмом

подкожно-жировой клетчатки. Данные наблюдения доказывают приведённое выше утверждение. Рассмотрим значения процентных изменений температуры между точками в данных примерах, представленные в табл. 7.

Анализируя табл. 7, сложно выделить определённые закономерности, свойственные каждому из респондентов. В качестве примера приведём процентное изменение между точками 1 и 4 на передней поверхности нижних конечностей: значения у респондента № 41 составляют 1,54 и 5,29%, у респондента № 54 — 4,19 и 3,14%. По данным показателям видно, что зависимости от жира, как у температуры, в данном примере нет, значения находятся в одном диапазоне. Приведём другой пример — процентное изменение между точками 4 и 5 на задней поверхности нижних конечностей: значения у респондента № 41 составляют (–0,2) и (–1,75)%, у респондента № 54 — (–5,7) и (–5,92)%. В обоих случаях отмечен отрицательный процент, показывающий тенденцию к увеличению температуры на 5-й точке по сравнению с 4-й.

Для выявления наличия или отсутствия зависимости процентного изменения от процента были составлены графики, на которых ось ординат — это процентное изменение температуры, а ось абсцисс — процент жира у 17 респондентов. Количество графиков соответствует количеству сравниваемых точек, то есть процентным изменениям, и равняется 32 (по 6 графиков зависимости на снимки передней поверхности и по 10 графиков на снимки задней поверхности). Рассмотрим это на четырёх примерах (рис. 11–14).

На рис. 11 в левой части графика приведены показатели респондентов, имеющих наименьший объём подкожно-жировой клетчатки, а в правой — показатели респондентов с большим объёмом. Как видно на графике, большая часть исследуемых имела средние значения процента жирового слоя. При более детальном рассмотрении мы видим, что у группы респондентов с процентом

Таблица 7. Процентные изменения между анатомическими точками на передней и задней поверхностях нижних конечностей респондентов № 41 (процент жира — 6,23) и № 54 (процент жира — 31,2)

Table 7. Percentage changes between anatomical points on the anterior and posterior surfaces of the lower limbs of respondents No. 41 (body fat percentage 6.23%) and No. 54 (body fat percentage 31.2%)

Проекция	Конечность	Точки 1 и 2	Точки 1 и 3	Точки 2 и 3	Точки 1 и 4	Точки 2 и 4	Точки 3 и 4	Точки 1 и 5	Точки 2 и 5	Точки 3 и 5	Точки 4 и 5
Передняя поверхность респондента № 41	Правая	-0,38	-2,04	-1,67	1,54	1,93	3,66	—	—	—	—
	Левая	1,33	1,52	0,19	5,29	3,90	3,71	—	—	—	—
Задняя поверхность респондента № 41	Правая	3,72	4,34	0,60	3,14	-0,56	-1,15	2,94	-0,75	-1,34	-0,2
	Левая	2,73	2,90	0,17	4,12	1,35	1,19	2,30	-0,42	-0,58	-1,75
Передняя поверхность респондента № 54	Правая	-1,00	4,43	5,49	4,19	5,25	-0,22	—	—	—	—
	Левая	-0,98	6,25	7,29	3,14	4,16	-2,92	—	—	—	—
Задняя поверхность респондента № 54	Правая	8,25	11,35	2,86	12,29	3,74	0,86	5,89	-2,18	-4,9	-5,7
	Левая	6,20	7,53	1,24	7,73	1,44	0,19	1,35	-4,57	-5,74	-5,92



Рис. 11. График зависимости процентного изменения температуры между точками 1 и 3 на передней поверхности правой нижней конечности.

Fig. 11. Graph of the association of the percentage change in temperature between points 1 and 3 on the anterior surface of the right lower limb.



Рис. 12. График зависимости процентного изменения температуры между точками 3 и 4 на передней поверхности левой нижней конечности.

Fig. 12. Graph of the association of the percentage change in temperature between points 3 and 4 on the anterior surface of the left lower limb.



Рис. 13. График зависимости процентного изменения температуры между точками 1 и 3 на задней поверхности правой нижней конечности.

Fig. 13. Graph of the association of the percentage change in temperature between points 1 and 3 on the posterior surface of the right lower limb.



Рис. 14. График зависимости процентного изменения температуры между точками 2 и 5 на задней поверхности левой нижней конечности.

Fig. 14. Graph of the association of the percentage change in temperature between points 2 and 5 on the posterior surface of the left lower limb.

жира от 5 до 15 процентные изменения между точками 1 и 3 на передней поверхности имеют абсолютно разные значения, в том числе и отрицательные (9; (-2); 7; 2%); у группы со средними значениями диапазон процентных изменений довольно широкий (9; 2; 1; (-1,5); (-2)%); у респондентов с содержанием жира более 25% наблюдаются точно такие же значения (2,4; 4; 0,4; (-2,69)%).

На графике, изображённом на рис. 12, у группы респондентов с процентом жира от 5 до 15 все процентные изменения между точками 3 и 4 на передней поверхности положительны (0,8; 3; 6,8%); у группы со средними показателями объёма жира диапазон изменений также широк (от (-2,8) до 6%); у группы лиц с самым большим индексом массы тела значения находятся в тех же пределах (от (-2,9) до 8%).

На рис. 13 график, показывающий зависимость процентного изменения между точками 1 и 3 на задней поверхности от процента жира, весь находится в области положительных значений, при этом группа респондентов с минимальными показателями объёма жирового слоя имеет диапазон значений от 3,33 до 6,93%, средняя группа — от 1,67 до 8,29%, исследуемые с большими показателями процента жира имеют диапазон изменений от 5 до 11%.

График на рис. 14 показывает зависимость процентного изменения температуры между точками 2 и 5 на задней поверхности. На нём группа респондентов с минимальным индексом массы тела имеет следующие значения: (-1,6); 9,8; 2,2%; средняя группа с небольшим диапазоном — от (-2,2) до 4%; у группы лиц с самым большим процентом

жира значения находятся примерно в тех же пределах (от $(-4,5)$ до 5%).

При построении графиков ожидалось найти определённую закономерность — убывание или возрастание отрезков графиков, соответствующих определённому проценту жира. Исходя из данных о зависимости температуры от количества подкожно-жировой клетчатки, логично было предположить, что точки, соответствующие большему проценту жира, в отличие от точек, соответствующих респондентам с меньшим индексом массы тела, вероятнее всего, на графике должны располагаться в определённой области, то есть все графики должны были иметь определённые отрезки возрастания и снижения. При детальном анализе данных примеров и остальных 15 респондентов не было выявлено корреляционной зависимости между величиной процента жира и процентным изменением температуры между точками. В связи с этим можно сделать предположение, что никакой связи нет (отсутствуют закономерные участки повышения или снижения процентного изменения температуры): построенные графики не показывают зависимости, а значит, толщина жирового слоя не оказывает влияния на процентные изменения.

Безусловно, если рассматривать каждый график по отдельности, то можно вывести определённые значения процентного изменения между каждыми точками в зависимости от процента жира, но эти данные не будут иметь практической значимости. Гораздо важнее было сравнить все 32 графика одновременно. В данной работе представлено 4 графика, составленных по разным процентным изменениям, поверхностям и конечностям. На примере даже 4 графиков можно отметить, что жир не оказывает влияния на процент изменения температуры: значения у респондентов с разным содержанием жира в организме могут быть одинаково высокими и одинаково низкими в разных случаях.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

В ходе данного исследования было выявлено, что новые методы медицинской инфракрасной термографии способны упростить и улучшить её использование в практической деятельности врачей многих специальностей, в особенности травматологов. Определение процентного изменения между анатомическими точками является новым, уникальным методом, требующим большего внимания и изучения.

Обсуждение основного результата исследования

Метод медицинской инфракрасной термографии упоминается и описывается во многих исследованиях. Как правило, актуальность данных работ связана с применением МИТ в диагностике различных патологических процессов. В настоящем исследовании метод рассматривается со стороны изучения нормы, что довольно

редко встречается в научных трудах по данной теме [30]. Несмотря на это, в большом количестве источников информации говорится о том, что подкожно-жировая клетчатка обладает термоизоляционными свойствами [31], но при этом нет достоверных данных о том, как именно жир влияет на различные показатели температуры тела человека. В данной научной работе было рассмотрено и доказано отсутствие корреляционной зависимости между процентным изменением температуры между точками на нижних конечностях и процентом жира. Следует отметить, что помимо индекса массы тела существует множество других малоизученных факторов, оказывающих влияние на температуру тела человека, например метаболизм: чем интенсивнее происходят процессы обмена веществ, тем активнее будет теплопродукция, а соответственно, и теплоотдача, то есть увеличивается температурный показатель тела человека [32–35]. Большое значение имеет изменение процессов терморегуляции при скрытых патологических состояниях вегетативной нервной системы, например расстройство гипоталамической терморегуляции. Помимо этого, необходимо учитывать влияние зависимости изменения температуры кожи от фазы активации мышц при проведении термографического исследования, возникшей в результате действия симпатической нервной системы на сосуды (вазоконстрикция) [36], а также состояние микроциркуляторного русла и перфузии ткани каждого исследуемого на момент проведения обследования [37]. Во многих источниках при описании применения метода инфракрасной термографии производится сравнение температур симметричных участков тела, а также близлежащих тканей у одного человека для выявления патологии [38–39]. Уникальность данного исследования заключается в том, что оно предлагает изменить данный подход, выявив новые способы оценки состояния нижних конечностей, используя среднестатистические данные, не имеющие зависимости от индивидуальных особенностей каждого пациента.

Ограничения исследования

Ограничением использования данного метода является его низкая диагностическая показательность при наличии коморбидности у больного, что может затруднять постановку верного диагноза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование является первой ступенью на пути к использованию среднестатистических данных о процентном изменении температуры между анатомическими точками на нижних конечностях в практической деятельности. С помощью измерений, расчётов и построения графиков было доказано, что подобный способ проведения термографического обследования универсален для лиц с разной комплекцией и индексом массы тела,

что сильно упрощает применение его в диагностике врачами разных специальностей.

В ходе проведения данной работы был не только изучен и доказан новый метод использования медицинской инфракрасной термографии, но и представлены средние значения температурных показателей, которые могут послужить основой для дальнейших научных изысканий. На передней поверхности нижних конечностей процентные изменения между точками в среднем находятся в пределах $3,75\% \pm 9,1\%$; на задней поверхности — в пределах $2,88\% \pm 7,2\%$. Приведённые значения получены на основе анализа термографических снимков 57 респондентов, поэтому для получения более точных данных необходимо продолжить исследование на большем количестве респондентов, затрагивая все возрастные категории.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.М. Морозов — концепция и дизайн исследования, редактирование; А.Н. Сергеев — статистическая обработка данных; К.Д. Егорова — написание текста; А.С. Бурлакова — сбор и обработка материала. Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Этическая экспертиза. Протокол исследования был одобрен этическим комитетом ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России (выписка № 6 от 29 июня 2020 года).

Согласие на публикацию. Все участники настоящего исследования подписывали информированное согласие на обработку персональных данных и публикацию в научных статьях.

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, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

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: A.M. Morozov: conceptualization, methodology, writing—review & editing; A.N. Sergeev: formal analysis; K.D. Egorova: writing—original draft; A.S. Burlakova: investigation, data curation. All authors made substantial contributions to the investigation and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication.

Ethics approval: The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Tver State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Excerpt No. 6 dated June 29, 2020).

Consent for publication: Written informed consent was obtained from all participants of this study for the processing and publication of personal data in scientific articles.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests (personal, professional, or financial) for the last three years related to for-profit or not-for-profit 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, images, or data) was used in this article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

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. Morozov AM, Mokhov EM, Kadykov VA, et al. Medical thermography: capabilities and perspectives. *Kazan Medical Journal*. 2018;99(2):264–270. doi: 10.17816/KMJ2018-264 EDN: YVEYPG
2. Konov PA, Chushkin NA, Zhelezov NA. Thermal radiation. The laws of thermal radiation. The influence of thermal radiation on human health. *Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2023;(9):213–218. doi: 10.24412/2071-6168-2023-9-213-214 EDN: BSNHLC
3. Ivanov AP. Distribution of IR radiation from a non-local source inside the biological tissue. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus Physics and Mathematics Series*. 2018;54(3):316–325. doi: 10.29235/1561-2430-2018-54-3-316-325 EDN: YNMDUL
4. Morozov AM, Zhukov SV, Sorokovikova TV, et al. Medical thermovision: possibilities and prospects of the method. *Medical Council*. 2022;16(6):256–263. doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-6-256-263 EDN: QZSAKC
5. Kozhevnikova IS, Pankov MN, Gribanov AV, et al. The use of infrared thermography in modern medicine (Literature Review). *Human Ecology*. 2017;(2):39–46. doi: 10.33396/1728-0869-2017-2-39-46 EDN: LYIZMT
6. Sushkov AI, Maltseva AP, Rudakov VS, Gubarev KK, Voskanyan SE. The use of infrared thermography in or-gan donation and transplantation: state of the issue and own results. *Clinical and Experimental Surgery. Petrovsky Journal*. 2021;9(2):96–107. doi: 10.33029/2308-1198-2021-9-2-96-107 EDN: LXZZSD
7. Khizhnyak LN, Khizhnyak EP, Mayevsky EP. The possibility of using miniature infrared cameras a new generation for medical diagnostics. *Journal of New Medical Technologies*. 2018;25(4):101–109. doi: 10.24411/1609-2163-2018-16279 EDN: YRWKPR
8. Sergeev AN, Morozov AM, Charyev YuO, et al. On the possibility of using medical thermography in clinical practice. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022;25(4):82–88. doi: 10.17116/profmed2022504182 EDN: ENVGDT

9. Khizhnyak EP, Khizhnyak LN, Maevsky EI, et al. Possibilities of detection of the patients using a thermography. *Challenges and prospects. Journal of New Medical Technologies*. 2020;27(4):110–114. doi: 10.24411/1609-2163-2020-16775 EDN: KGMWRV
10. Dolgov IM, Volovik MG, Zheleznyak IS, et al. Possibilities of medical thermal imaging in the organization of primary health care. *The Medical alphabet*. 2023;(7):42–50. doi: 10.33667/2078-5631-2023-7-42-50 EDN: ILOQWI
11. Belash VO. The possibilities of using local thermometry to objectify the effect of osteopathic correction in patients with dorsopathy at the cervicothoracic level. *Russian Osteopathic Journal*. 2018;(3–4):25–32. doi: 10.32885/2220-0975-2018-3-4-25-32 EDN: YSGAIH
12. Schiavon G, Capone G, Frize M, et al. Infrared Thermography for the Evaluation of Inflammatory and Degenerative Joint Diseases: A Systematic Review. *Cartilage*. 2021;13(2):1790–1801. doi: 10.1177/19476035211063862
13. Zagorodniy NV, Vorotnikov AA, Airapetov GA, et al. Experimental and clinical aspects of combined method of replacement osteochondral defects of the knee. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2019;(2):24–31. doi: 10.17116/vto201902124 EDN: FHZIRG
14. Tsiskarashvili AV, Rodionova SS, Mironov SP, et al. Dynamics of bone tissue metabolism in the complex treatment of chronic posttraumatic osteomyelitis of long bones. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2020;27(4):53–64. doi: 10.17816/vto52895 EDN: QJZZYS
15. Mironov SP, Eskin NA, Andreeva TM, et al. Dynamics of traumatism in adult population of the Russian Federation. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2019;(3):5–13. doi: 10.17116/vto20190315 EDN: DDICJV
16. Solod EI, Lazarev AF, Petrovskiy RA, et al. Clinical experience in the treatment of fragility pelvic fractures. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2019;(4):5–11. doi: 10.17116/vto20190415 EDN: TUMKNF
17. Kolyshnitsyn NYu, Mokhov DE, Smirnova LM, et al. Application of infrared thermography in the study of the osteopathic correction results in patients with amputation defects of the lower extremities. *Russian Osteopathic Journal*. 2022;(4):70–82. doi: 10.32885/2220-0975-2022-4-70-82 EDN: XAZQNS
18. Davydin VI, Ippolitov IYu, Kistkin AI, et al. Clinical results of treating patients with compound lower leg fractures. *Ulyanovsk Medico-Biological Journal*. 2021;(1):92–97. doi: 10.34014/2227-1848-2021-1-92-97 EDN: YQORUQ
19. Podkosov OD, Kalinsky EB, Goncharuk YuR, et al. Treatment of severe multiple soft tissue injuries of the limbs: a case report. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2018;(4):37–43. doi: 10.17238/issn2226-2016.2018.4.37-43 EDN: LMYOMI
20. Samartsev VA, Kadyntsev IV, Voluzhenkov EG. Postoperative extremity metallosynthesis complications. *Perm Medical Journal*. 2018;35(3):5–8. doi: 10.17816/pmj3535-8 EDN: OVBFHB
21. Solod EI, Zagorodniy NV, Lazarev AF, et al. Surgical treatment and rehabilitation capabilities of patients with patellar fractures. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2019;(1):11–16. doi: 10.17116/vto201901111 EDN: NLAMCK
22. Kokorina ML, Alyoshenkova PV, Drevalova YuA, et al. Ways to enhance bone regeneration in traumatology. *Trends in the development of science and education*. 2024;(109–10):80–85. doi: 10.18411/trnio-05-2024-520 EDN: DBQTER
23. Yarovenko GV. Diagnostic possibilities of thermal imaging of trophic ulcers. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2020;19(2):38–42. doi: 10.24884/1682-6655-2020-19-2-38-42 EDN: UYASPB
24. Andreeva VV, Kuzmin EN, Raznitsyna IA. Experience of using optical diagnostics methods to determine the type of cicatricial deformity. *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2019;22(3):33–40. doi: 10.17223/1814147/70/05 EDN: NQLDUU
25. Yarovenko GV, Novozhilov AV. Thermographic examination of patients with pathology of the upper limbs arteries. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2018;17(4):46–50. doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-4-46-50 EDN: VUSDMM
26. Khizhnyak EP, Khizhnyak LN, Maevsky EI. Earlier detection of allergic reactions using high-resolution digital infrared thermography. *Journal of New Medical Technologies*. 2019;26(4):152–156. doi: 10.24411/1609-2163-2019-16589 EDN: WWSIZT
27. Karamyshev YV, Dolgov IM, Zheleznyak IS, et al. Possibilities of infrared medical thermography in the differential diagnosis of pneumonia caused by the SARS-CoV-2 virus and community-acquired pneumonia. *Medical Alphabet*. 2022;(33):40–46. doi: 10.33667/2078-5631-2022-33-40-46 EDN: XXYMBR
28. Lui Q, Li M, Wang W, et al. Infrared thermography in clinical practice: a literature review. *Eur J Med Res*. 2025;30(1):33. doi: 10.1186/s40001-025-02278-z
29. Salamunes ACC, Stadnik AMW, Neves EB. The effect of body fat percentage and body fat distribution on skin surface temperature with infrared thermography. *J Therm Biol*. 2017;66:1–9. doi: 10.1016/j.jtherbio.2017.03.006
30. Azimov A, Azimov M. Thermography of healthy faces. *Journal of oral medicine and craniofacial research*. 2022;(1):72–74. doi: 10.26739.2181-0966-2020-2-15
31. Romantsova TI. Adipose tissue: colors, depots and functions. *Obesity and metabolism*. 2021;18(3):282–301. doi: 10.14341/omet12748 EDN: YDBBNE
32. Petrov AI, Razuvaeva MV. Effect of temperature on metabolism and lifespan in several homeothermic animals. *Technical physics*. 2018;88(10):1457–1461. doi: 10.21883/JTF.2018.10.46485.3-18 EDN: YWBRBB
33. Nikitina EA, Orlova SV, Batysheva TT, et al. Stress and Metabolism: The Role of Individual Micronutrients in Correcting Disorders. *The Medical alphabet*. 2024;(16):31–38. doi: 10.33667/2078-5631-2024-16-31-38 EDN: LGIKWX
34. Levin ML, Makhaniok AA. The effect of age of the patient at whole-body gas cryotherapy. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Refrigeration and Air Conditioning*. 2017;(1):8–14. doi: 10.17586/2310-1148-2017-10-1-8-14 EDN: WUXQBB
35. Shirkavand A, Nazif HR. Numerical study on the effects of blood perfusion and body metabolism on the temperature profile of human forearm in hyperthermia conditions. *J Therm Biol*. 2019;(84):339–350. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.07.023
36. Erlikh VV, Merkasimova OS, Cherepova IV, et al. Thermography measurements of temperature response to different physical activities. *Human. Sport. Medicine*. 2022;22(3):80–90. doi: 10.14529/hsm220310 EDN: WUWUIU
37. Baytinger VF, Selianinov KV. Microvasculature in reperfused flaps: modern possibilities for the correction of hemodynamic disorders (part I). *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2020;23(2):29–40. doi: 10.17223/1814147/73/04 EDN: XLEDRO
38. Pavlova TV, Shkatulova DM. Infrared Thermography in the Diagnosis of Pathological Changes in the Breast (Literature Review). *Radiology — Practice*. 2021;(3):70–76. doi: 10.52560/2713-0118-2021-3-70-76 EDN: ERHHCf
39. Velichko MN, Shturmin AV, Terskov AY, et al. The use of infrared thermography in rehabilitation after anterior cruciate ligament surgery. *Medical alphabet*. 2023;(32):50–53. doi: 10.33667/2078-5631-2023-32-50-53 EDN: OUPUCN

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

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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Сергеев Алексей Николаевич, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-9657-8063;
eLibrary SPIN: 8817-0158;
e-mail: dr.nikolaevich@mail.ru

Егорова Ксения Дмитриевна;
ORCID: 0009-0002-4855-3555;
eLibrary SPIN: 4755-3884;
e-mail: e9orow4ksen@yandex.ru

Бурлакова Арина Сергеевна;
ORCID: 0009-0004-6854-8926;
eLibrary SPIN: 8649-1032;
e-mail: aisha_77_07@mail.ru

Alexey N. Sergeev, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-9657-8063;
eLibrary SPIN: 8817-0158;
e-mail: dr.nikolaevich@mail.ru

Kseniya D. Egorova;
ORCID: 0009-0002-4855-3555;
eLibrary SPIN: 4755-3884;
e-mail: e9orow4ksen@yandex.ru

Arina S. Burlakova;
ORCID: 0009-0004-6854-8926;
eLibrary SPIN: 8649-1032;
e-mail: aisha_77_07@mail.ru