

Термосемиотика кистей рук. Нейропатические нарушения в термотопографии кистей

М. Г. Воловик^{1,3}, И. М. Долгов^{2,3}

¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород

²ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства России», Москва

³ООО «Дигносис», Москва

РЕЗЮМЕ

Центральная и периферическая неврологическая патология, влияющая на термопаттерн и терморекции кистей рук, многообразна как по этиологии и патогенезу, так и по характеру и выраженности тепловизионных признаков в зависимости от локализации, тяжести и давности заболевания, индивидуальных адаптационно-компенсаторных особенностей и ряда иных причин. Изучаемые с помощью тепловидения варианты температурного распределения на поверхности кистей и его изменений под действием специализированных функциональных проб при травмах и заболеваниях периферических нервов верхней конечности, а также при нарушениях сегментарного и надсегментарного генеза являются предметом рассмотрения настоящей статьи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловидение, температура, кисти рук, неврологическая патология, периферические нервы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Thermosemiotics of hands. Neuropathic disorders in thermotopography of hands

M. G. Volovik^{1,3}, I. M. Dolgov^{2,3}

¹Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

²Federal Clinical and Scientific Centre for Sport Medicine of Russian Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

³Dignosys Co., Moscow, Russia

SUMMARY

Central and peripheral neurological pathology, which affects the thermal pattern and thermoreactions of the hands, is diverse both in etiology and pathogenesis, and in the nature and severity of thermal imaging signs, depending on the localization, severity and duration of the disease, individual adaptive and compensatory features, and a number of other reasons. The variants of the temperature distribution on the surface of the hands and its changes under the influence of specialized functional tests in injuries and diseases of the peripheral nerves of the upper limb, as well as in disorders of segmental and suprasegmental genesis, studied with the help of thermal imaging, are the subject of this article.

KEY WORDS: thermal imaging, temperature, hands, neurological pathology, peripheral nerves.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

Сокращения: АЗИ – автономная зона иннервации, ВСУ – вегетативно-сосудистое угнетение, ВСИ – вегетативно-сосудистая ирритация, ИК – инфракрасный, КРБС – комплексный регионарный болевой синдром, ТА – термоасимметрия, ТПВ – тепловизионный, ХП – холодовая проба.

Введение

Варианты исходной тепловизионной (ТПВ) картины кистей при травмах и заболеваниях периферических нервов верхней конечности, нарушениях сегментарного и надсегментарного генеза (рис. 1) могут включать в себя как гипотермические (соответствующие синдрому вегетативно-сосудистого угнетения кровоснабжения [ВСУ]), так и гипертермические (при синдроме вегетативно-сосудистой ирритации [ВСИ]) области в автономной зоне иннервации (АЗИ) страдающего периферического нерва или спинномозгового корешка, нередко в АЗИ соседних нервов, а также на контралатеральной здоровой конечности [1]. Температурные аномалии могут быть равномерные, мозаичные, четко очерченные очаговые или с размытыми контурами, совпадающие или не совпадающие с анатомическими границами АЗИ и т.п. Обширная литература по ТПВ диагностике этого «репертуара» проблем, в том числе наши исследования, является предметом рассмотрения настоящей статьи.

1. Травмы и заболевания периферических нервов верхней конечности

1.1. Туннельные синдромы: карпальный канал (срединный нерв), кубитальный канал и канал Гийона (локтевой нерв)

Эпидемиологическими исследованиями подтверждено, что запястье и кисть руки – анатомические области, в которых наиболее распространены травмы и заболевания в сфере профпатологии, что связано с повторяющимися и интенсивными мануальными задачами [2]. Неудобные и «крайние» положения предплечья и запястья, вибрации и низкие температуры могут порождать и усугублять эти нарушения [3]. Подробное рассмотрение профпатологических термоаномалий на кисти мы предполагаем в следующей статье.

Температура кожи отражает паттерн симпатической регуляции кровотока, и при синдроме запястного канала (карпальный синдром) тепловидение особенно информативно для его выявления на ранней стадии развития [4, 5].

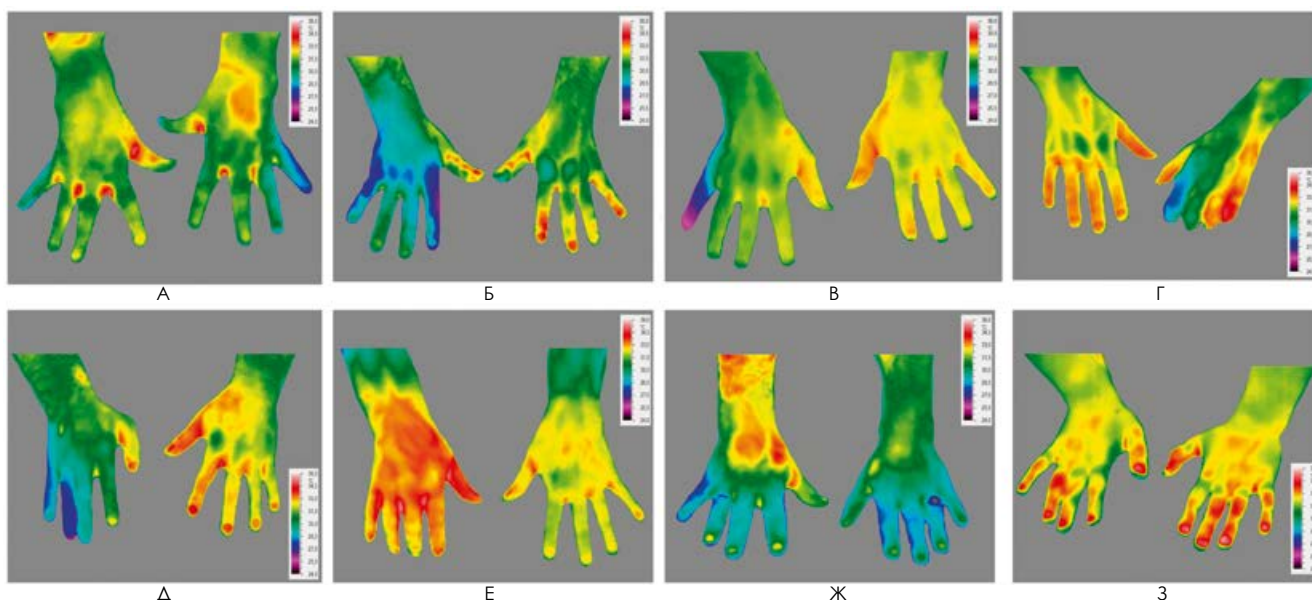


Рисунок 1. Варианты нарушения термопаттерна кистей при различных заболеваниях неврологического генеза (собственные данные): А – женщина, 79 лет, диагноз «остеохондроз позвоночника у взрослых» [M42.1]. Выраженный компрессионный корешковый синдром С8 слева (с ТПВ синдромом ВСУ) и ТПВ зеркальный синдром (симметричное снижение); Б – мужчина, 58 лет, диагноз «синдром запястного канала» [G56.0] справа с ТПВ синдромом ВСУ в АЗИ срединного нерва; В – мужчина, 50 лет, диагноз «поражения локтевого нерва» [G56.2]. Полный перерыв правого локтевого нерва с ТПВ синдромом ВСУ в его АЗИ; Г – мужчина, 26 лет, диагноз «травма нерва (нервов) неуточненной области тела» [T14.4]. Брахиоплексопатия слева в результате ножевого ранения левой подмышечной области с повреждением подмышечной артерии и ветвей плечевого сплетения. Положительная динамика функции лучевого нерва после операции. ТПВ синдромы ВСУ в АЗИ срединного, ВСИ в АЗИ локтевого нервов;

Д – мужчина, 59 лет, диагноз «контрактура сустава» [M24.5]. ТПВ синдром ВСУ с неполным восстановлением проводимости по локтевому и срединному нервам справа после их микрохирургического шва; Е – женщина, 68 лет, диагноз «алгонейродистрофия» [M89.0]. КРБС-2 (алгонейродистрофия) через 3 месяца после травмы (перелом дистального метаэпифиза правой лучевой кости) и закрытой репозиции. ТПВ синдром ВСИ всей кисти и ТПВ зеркальный синдром (симметричная гипертермичная «перчатка»); Ж – мужчина, 35 лет, диагноз «последствия внутричерепной травмы» [T90.5] По КТ – посттравматическая локальная зона атрофии вещества мозга в правой теменной доле, клинически – левосторонний спастический гемипарез, более выраженный в руке, термоасимметрия (ТА) за счет снижения температуры слева; З – мужчина, 6 лет, диагноз «ДЦП, спастическая диплегия» [G80.1]. GMFCS I уровень, нижний спастический парепарез. Нарушение (инверсия) проксимально-дистального градиента температур. Шкала на всех термограммах от 24 до 36 °C.

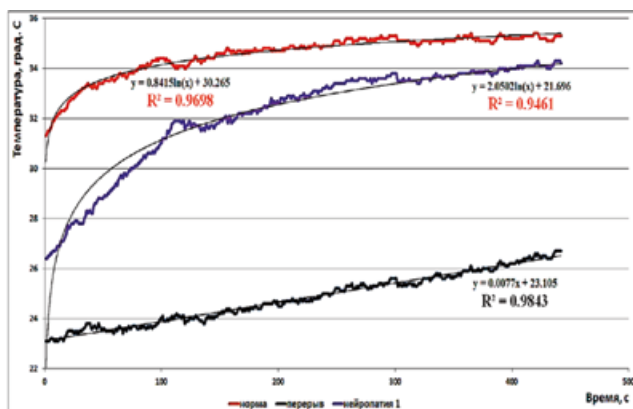
В ряде работ показано, что возможности ТПВ-диагностики карпального синдрома повышает применение холодной пробы (ХП) [6, 7], несмотря на то, что реакции на нее могут быть разнонаправленными. Последнее может объясняться разной давностью и тяжестью синдрома, характеризующегося в отсутствие лечения прогрессивным развитием [8]. Имеет значение также травматическая или идиопатическая причина его формирования.

С целью оценки успешности хирургического вмешательства на карпальном канале и мониторинга восстановления функций срединного нерва тепловидение применили в [9]. В работе [10] авторы пришли к выводу, что метод не позволяет объективно визуализировать жалобы пациента в послеоперационном периоде. Однако, по мнению [11], сравнение данных до и через 6 месяцев после невролиза срединного нерва помогает оценить эффективность операции по динамике патологических ТПВ признаков синдрома по мере улучшения проводимости по нерву. Чувствительность и специфичность метода составили 84 и 91 % соответственно. Влияние степени нарушения проводимости по нервному стволу на выраженность ТПВ аномалий в его АЗИ изучали также в [12].

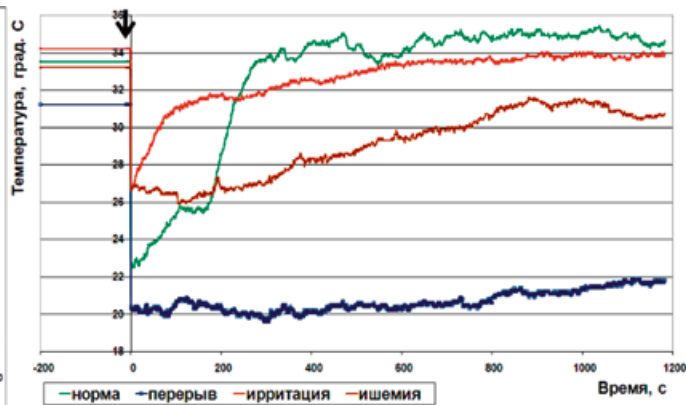
Авторы разработки автоматизированного ТПВ скрининга, разметки и оценки карпального синдрома в раннем исследовании сочли метод малоэффективным, выявив точность от 72,2 до 80,6 %, но позднее все же

признали его диагностическую ценность в случае грубых нарушений [13]. В то же время исследование [14] дало точность 83,0 % при чувствительности 86,6 % и специфичности 79,0 %. Показано также, что если до ХП кисти изотермичны или имеется снижение температуры III пальца на стороне поражения, а после пробы восстановление температуры на этом пальце замедленное, то определяют поражение порции срединного нерва и диагностируют карпальный синдром [15]. Диагностическую и прогностическую эффективность тепловидения при карпальном синдроме подтверждают ряд работ [16, 17, 18 и др.].

Аналогично ТПВ оценке страдания срединного нерва при синдроме карпального канала метод оказался эффективным и чувствительным при других периферических компрессионных нейропатиях, включая шейный остеохондроз, синдром лестничной мышцы, а также синдром кубитального канала и синдром канала Гийона [19]. Чувствительность метода в первых исследованиях при кубитальном и карпальном синдромах оказалась значительно ниже, чем у традиционной электродиагностики: ТПВ аномалии были неспецифическими и не позволяли достоверно идентифицировать сторону поражения или различать поражение срединного или локтевого нерва. Однако современная технология восстановления и отображения термограмм позволила успешно дифферен-



А



Б

Рисунок 2. А. Особенности динамики термореакций при нарушении проводимости в периферических нервах: верхняя кривая – норма; средняя – ишемическая нейропатия с угнетением проводимости, по данным электронейромиографии, и с ТПВ синдромом ВСУ; нижняя – полный анатомический перерыв с блоком проведения и грубым синдромом ВСУ. Красным выделены значения логарифмической, черным – линейной зависимости. Б. Варианты ИК-динамики в ответ на ХП в АЗИ периферических нервов при их разном состоянии. Стрелка – момент аппликации холодагента [24].

цировать последствия нарушения проводимости в локтевом нерве при синдроме канала Гийона от первичного синдрома Рейно [20].

Таким образом, при туннельных синдромах тепловидение в настоящее время имеет ограниченное клиническое применение и служит в основном для научных целей, однако является перспективным в ряде клинических контекстов.

1.2. Изолированные и сочетанные повреждения периферических нервов и стволов плечевого сплетения

Частота повреждений периферических нервов составляет от 1,5 до 10,0% от всех видов травм. Изолированное повреждение нерва встречается относительно редко, чаще имеется сочетанное страдание нервов с переломами длинных трубчатых костей (25,0–45,2% случаев) и повреждением магистральных сосудов (15,0% случаев) [21].

Термоаномалии в АЗИ локтевого и срединного нервов при их травмах, в отличие от туннельных синдромов, могут быть легко идентифицированы с помощью тепловидения. Специфичность результатов ниже при парезе лучевой мышцы и более проксимальных поражениях (плечевое сплетение, корешки шейного отдела спинного мозга) [22].

В первых ТПВ работах на эту тему авторы регистрировали три варианта тепловой картины в АЗИ поврежденного нерва: повышение интенсивности ИК-излучения при рубцовом раздражении нервного ствола, умеренное снижение его при сдавлении и грубое снижение при полном анатомическом перерыве [1]. С точки зрения механизмов, травматические нарушения проводимости периферических нервов конечностей выражаются в снижении кровотока в их АЗИ (ТПВ синдром ВСУ): при полном перерыве – практически сразу, при повреждении с раздражением нерва – в отдаленном периоде после кратковременного периода «горячей фазы» с ТПВ синдромом ВСИ [23]. В большинстве случаев (65–70%) это соответствует истине.

Однако впоследствии было показано, что без функциональных нагрузок (прежде всего температурных проб) в ряде случаев точный топический диагноз невозможен. Эффективность ТПВ диагностики, прогноза и мониторинга

лечения при различных неврологических нарушениях обеспечивает учет установленных в работе [24] особенностей динамики термопаттерна в АЗИ нервов при специализированных функциональных пробах. При нарушении проводимости в периферических нервах термореакции на ХП на кистях рук показывают зависимость скорости прироста температуры от времени на этапе восстановления после пробы. Установлено, что в норме восстановление следует логарифмическому закону, а та или иная степень редукции системных механизмов ведет к отклонению от логарифмической зависимости и переходу к линейной (рис. 2 А).

Термограммы реакции в АЗИ полностью прерванного нерва демонстрируют отсутствие признаков активной регуляции. Факт различного характера искажения механизмов терморегуляции при одинаковом уровне нарушения проводимости (рис. 2Б) позволяет с помощью тепловидения дифференцировать степень поражения нервного ствола. Полное прерывание связи между управляющими и эффекторными структурами выражается в нормальном распределении, при несоответствии же динамики температур нормальности можно констатировать сохранение активного компонента регуляции.

Разработка специализированных функциональных проб позволила группе исследователей под руководством С. Н. Колесова разработать ряд эффективных новаторских способов ТПВ диагностики в сложных клинических случаях. В основе концепции – оценка вариантов нарушения ИК излучения в АЗИ кожных нервов, отходящих от основного нервного ствола на разных уровнях. Количество областей и последовательность их обследования определяются информацией, выявленной на первой диагностически значимой области (кисти и дистальные отделы предплечий), где имеются АЗИ конечных кожных ветвей периферических нервов. По результатам обследования выбирается вторая диагностически значимая область, где представлены АЗИ кожных нервов, отходящих от этого же периферического ствола, но на более высоких уровнях. Так, для диагностики патологии волокон заднего вторичного пучка плечевого сплетения первая диагностически значимая область – АЗИ локтевого нерва на кисти, вторая – АЗИ медиального кож-

ного нерва на предплечье или на плече, а для диагностики волокон медиального вторичного пучка первая диагностически значимая область – АЗИ поверхностной ветви лучевого нерва на кисти, вторая – АЗИ заднего кожного нерва на предплечье или наружного кожного нерва на плече [25]. Аналогичная методика разработана для диагностики вариантов поражения лучевого нерва [23].

Как при травме периферического нерва, так и после шва поврежденного нервного ствола в течение 3–4 недель определяется «горячая фаза» – зона гипертермии, которая шире АЗИ заинтересованного нерва, иногда распространяющаяся на всю кисть. Данное ограничение делает нативное тепловидение малоинформативным как в первые недели при травме нерва, так и в ближайшем послеоперационном периоде. Однако применение ХП позволяет и в эти периоды судить о состоянии проводимости по нерву и ее динамике. Так, в работе [26] показано, что активное согревание после ХП у пациентов с травмой локтевого или срединного нерва было связано с восстановлением чувствительности и уменьшением жалоб на посттравматическую непереносимость холода. В то же время, судя по динамике восстановления температур после ХП, регулирование температуры рук у пациентов с неврологически осложненными переломами может и не быть причиной симптомов непереносимости холода [27].

ТПВ исследование передней поверхности предплечий и кистей успешно использовано для оценки перфузии в АЗИ локтевого нерва в отдаленном периоде после шва нерва и артерии с подшиванием артериализованного комплекса [28]. Комплексное применение тепловидения и лазерной доплеровской флоуметрии позволяет оценить состояние тонких автономных и сенсорных нервных волокон, улучшая результаты диагностики функционального состояния нерва после травмы, а также способствуя раннему выявлению признаков реиннервации тканей после реконструкции нервов и выбору адекватной тактики ведения таких пациентов [29].

Результаты исследования вазомоторной активности симпатических нервов у пациентов с периферической нейропатией [30] показали, что тепловидение является более чувствительным тестом (82,9%) для оценки симпатической дисфункции, чем симпатический кожный ответ (68,6%). Однако у тепловидения – ограниченные возможности диагностики при симметричной двусторонней периферической нейропатии, когда ТА не соответствует аномальным значениям. Последний факт относится к области симметричных реакций, регулируемых на системном уровне, и будет рассмотрен нами в специальной работе, посвященной так называемому ТПВ – зеркальному синдрому, описанному С. Н. Колесовым [1].

При нейропатии тонких С-волокон, характеризующейся температурозависимой спонтанной болью, гипералгезией, аллодинией и признаками нейрогенного воспаления, тепловидение выявило гипертермию, ограниченную болезненной и гипералгезирующей кожей дистальных отделов конечностей [31].

Для объективизации болевого синдрома тепловидение использовали у пациентов с болевыми невромами

культей пальцев кисти [32]. На ладонной поверхности увечной кисти при невромах торцовых поверхностей культей пальцев выявлена их гипотермия с ТА с симметричными пальцами интактной кисти $1,33 \pm 0,25$ °С, а также снижение температуры культи по сравнению со здоровыми пальцами той же кисти на $0,94 \pm 0,15$ °С. В зависимости от того, ветвью какого нерва являлся поврежденный пальцевый нерв, в качестве контрольного участка использовали область тенара (при повреждении ветви локтевого нерва) или гипотенара (при повреждении ветви срединного нерва) на ладонных поверхностях обеих кистей. Механическое раздражение зоны невromы вызвало достоверное прогрессивное снижение температуры в течение 4–5 минут с обеих сторон, больше на увечной кисти, с последующим возвращением температур к исходным в течение 10–20 минут. После оперативного устранения болевого синдрома изменений температуры при том же раздражителе не наблюдали. Предложенная проба может служить для объективизации и оценки выраженности болевого синдрома, а также оценки эффективности денервации культей.

Таким образом, современное тепловидение с высокой точностью и достоверностью позволяет проводить диагностику количества страдающих периферических нервов, определять уровень и степень нарушения нервной проводимости каждого из них, а также оценивать механизмы формирования клинико-тепловизионных симптомов.

1.3. Комплексный регионарный болевой синдром (КРБС)

КРБС I типа может развиваться после любых повреждений конечности, не затрагивающих при этом периферические нервы. Сюда относят случаи, индуцированные преимущественно повреждением костей или мягких тканей и не связанные с поражением периферического нерва. Этому типу соответствует ранее употреблявшийся термин «рефлекторная симпатическая дистрофия» (РСД), а также «синдром Зудека», «алгонейродистрофия». КРБС II типа включает случаи развития болевого синдрома на фоне объективно определяемого органического поражения периферического нерва, ранее этот синдром обозначали как каузалгия. Эти болевые синдромы не имеют четко определяемого анатомического субстрата и характеризуются нарушением кортикальной репрезентации тела и окружающего пространства [33].

Раннее выявление и дифференциация типов КРБС необходимы для успешного лечения, хотя обнаружение на ранней стадии затруднено, поскольку признаки и симптомы имитируют симптомы других заболеваний. «Золотой стандарт» инструментальной диагностики КРБС еще не найден [14], и тепловидение может стать полезным инструментом для оценки подобного типа хронической боли. Согласно [34], большинство участков боли гипотермичны. Однако в работе [35] показано, что на стороне поражения температура кожи была значительно повышена как при острой травме, так и у пациентов с КРБС-I, хотя симпатическая недостаточность в виде нарушения вазоконстрикторных рефлексов и гипергидроза была обнаружена

исключительно у пациентов с КРБС. Ряд авторов считают, что КРБС-I, как одностороннее подавление симпатических вазоконстрикторных нейронов, ведет к потеплению пораженной конечности в острой стадии, а вторичные изменения нейроваскулярной передачи могут вести к вазоконстрикции и охлаждению кожных покровов при хронической стадии КРБС-I, хотя симпатическая активность все еще подавлена [36].

Зарегистрированы следующие варианты нарушения исходной термотопографии кистей и пальцев [37]: ТПВ признак КРБС-I – асимметрия тепловой картины за счет повышения ИК-излучения пальцев только больной кисти; ТПВ признак КРБС-II – тепловая картина повышения ИК-излучения пальцев больной кисти с дополнительным повышением температуры в АЗИ симметричного нерва. Поэтому, если после двусторонней региональной ХП на кистях происходит прирост температуры в АЗИ периферического нерва кисти не только на стороне поражения, но и в симметричной области на кисти здоровой конечности, можно сделать вывод о наличии КРБС-II, а при реакции только на больной руке – КРБС-I. Согласно [38], ТА между пораженной и контралатеральной конечностями составляет больше 2 °C и отражает тяжесть дисфункции. Уже на ранних стадиях этого нейровегетативного синдрома тепловидение может выявить связанные с вазомоторной нестабильностью асимметричные изменения температуры. С чувствительностью 93 % и специфичностью 89 % метод позволяет определить наличие симпатического блока, что особенно ценно при дифференциальной диагностике КРБС с имитирующими его признаками и симптомами – периферическими мононевропатиями, посттравматическим синдромом, местным воспалением или спазмом сосудов [39].

При остром КРБС I типа пораженная конечность гипотермична, однако после ХП на контралатеральной здоровой конечности возникает реактивная гиперемия на пораженной конечности вследствие угнетения сосудосуживающего рефлекса, при этом температура возрастает более чем на 1 °C [39]. Заболевание подтверждает ТПВ реакция на специфические лекарственные препараты и блокаду симпатического ганглия: при посттравматическом повреждении, в отличие от КРБС-I, гипотермия сохраняется или увеличивается. При мононевропатии С-волокон высвобождение сосудорасширяющих веществ в нервных окончаниях вызывает повышение температуры кожи в АЗИ этих волокон. Холодовое тестирование автономной функции полезно для выявления пациентов с симпатически опосредованным компонентом, который будет реагировать на блокаду нерва. Пациенты, не отвечающие на ХП и не реагирующие на симпатическую блокаду, склонны к формированию синдрома симпатически независимой боли (КРБС-II). Таким образом, тепловидение может определять показания к симпатической блокаде, симпатэктомии или электростимуляции спинного мозга и оценивать их эффективность.

Описана клиническая ситуация преимущества тепловидения в выявлении КРБС перед электронейромиографией [40]. Проведено также сравнение диагностической эффективности тепловидения с другими методами, причем показана его уникальность в оценке вегетативного

компонента в развитии заболевания и перспективность комплексного применения тепловидения с гониометрией, волюметрией и оценкой болевого синдрома. По крайней мере для нижних конечностей при развитии на них КРБС показано, что тепловидение предлагает объективную оценку вазомоторной дисфункции, и предлагается интегрировать метод в клиническую оценку как дополнительный инструмент для подтверждения диагноза [41, 42]. Высокая степень корреляции данных тепловидения и лазерной доплеровской флоуметрии выявлена при оценке эффективности торакоскопического клипирования Th3 ганглия, периваскулярной симпатэктомии на уровне плечевой артерии и вен и периапериартериальной симпатэктомии на уровне плечевой артерии у больных с КРБС [43]. Контроль эффективности физиотерапии при КРБС также является предметом ТПВ исследований [44].

Низкие значения чувствительности и специфичности метода были получены в работе [45], где изучали возможность ранней ТПВ диагностики КРБС-I после переломов лучевой кости. Однако в более поздней работе авторы показали высокую значимость оценки симпатической дисфункции для прогноза в острой фазе КРБС-I [46]. Повышают чувствительность и специфичность метода применение ХП [47] и специальная компьютерная обработка термограмм [48, 49]. Большой интерес представляют, на наш взгляд, работы, посвященные асимметричному поражению периферических нервов как в результате их травмы, так и при КРБС-I различного генеза [50–53].

Исследования последних лет [54–59] позволяют рассчитывать на то, что тепловидение может занять достойное место в диагностическом комплексе такой сложной и многоаспектной патологии, как КРБС.

1.4. Блокады периферических нервов верхней конечности

Симпатическая блокада периферических нервов, в противоположность нарушению проводимости в результате их перерыва или сдавления, повышает температуру в их АЗИ. В работе [60] показано увеличение кожной температуры после избирательной ультразвуковой блокады в АЗИ мышечно-кожного, лучевого, локтевого или срединного нерва более чем на 5 °C, а на кончиках пальцев до 8 °C. Блокировка срединного нерва увеличивает температуру также в АЗИ лучевого нерва, что может быть свидетельством перекрестной иннервации вследствие разного количества симпатических волокон в нервных стволах, в лучевом их очень мало. Эти результаты полезны для объективной оценки успешности блокады плечевого сплетения, а также дифференциальной ТПВ диагностики страдания вторичных стволов этого сплетения [25].

В исследованиях S. Asghar с коллегами [61, 62] показано, что повышение температуры кожи в АЗИ периферических нервов, образованных соответствующими вторичными ветвями плечевого сплетения, может быть использовано в качестве раннего предиктора успеха его межлестничной блокады. Все успешные блоки продемонстрировали значимое ($p < 0,0001$) увеличение дистальной температуры кожи большого пальца (на 6,68 °C за 30 минут,

достигая статистической значимости уже через 5 минут). Напротив, температура значительно (более 1,5 °C) снизилась после неудачной блокады (2 случая из 44), в том числе и в контралатеральной интактной руке. В исследовании получена чувствительность 83 % при специфичности 100 %.

Блокада звездчатого ганглия не всегда обеспечивает полный симпатический блок. Успешность блокады в работе [63] констатировали, когда: а) изменение температуры ипсилатеральной кисти минус изменение температуры контралатеральной (от до к после блокады) было больше или равно 1,5 °C; б) имелся синдром Горнера; в) происходило изменение теста на потоотделение с позитивного на негативный. Повышение ТА (ипси-, контралатерально) более 2 °C – хороший прогностический признак симпатического блока, но не гарантирующий полной симпатической блокады во всех случаях, а добавление потоотделительного теста повышает диагностические возможности тепловидения.

Показано, что продленная в течение 24 часов после реплантационной микрососудистой операции на конечности подмышечная блокада плечевого сплетения 0,75 %-ным ропивакаином, помимо анальгезирующего эффекта, улучшает перфузию тканей, повышая выживаемость реконструированных пальцев [64].

Оценка температуры кожи с помощью тепловидения является надежным, простым и ранним индикатором успешной блокады плечевого сплетения (для всех его вторичных стволов) [65]. Если изменения температуры в АЗИ блокируемого нерва были отмечены через 5 и 10 минут, блок был успешным и через 30 минут. Никаких изменений контралатеральной температуры или внутренней температуры тела не наблюдали.

2. Спинальный и надсегментарный уровни

2.1. Шейный остеохондроз

Нервные связи в организме человека проявляются в виде висцеро-кожных (или кожно-висцеральных) рефлексов, протекающих по типу сегментарных, проекционных рефлексов либо аксон-рефлексов. Таким образом, кожа человека представляет собой обширную зону, отражающую в той или иной степени процессы, происходящие в различных внутренних органах. Это определяет, с одной стороны, высокую информативность ТПВ метода, а с другой – неспецифичность получаемой информации, трактовать которую можно только с учетом данных клиники. Так, ТПВ картина корешкового синдрома имеет сходный характер при опухоли спинного мозга и при остеохондрозе позвоночника, поэтому объективизация этого синдрома не позволяет высказаться о причине его появления. Только при наличии у пациента соответствующего анамнеза и клиники можно сделать предположение о связи этого синдрома с тем или иным заболеванием, а окончательный нозологический диагноз можно выставить только по данным методов прямой визуализации позвоночника, спинного мозга и его корешков.

Большинство работ по ТПВ оценке дегенеративно-дистрофических нарушений в шейном отделе позвоночника ограничиваются паравerteбральной областью, исследования по возможностям метода в оценке перифериче-

ских ТПВ проявлений этой патологии немногочисленны. Перспективность использования тепловидения у таких пациентов с описанием особенностей ИК-излучения в АЗИ шейных спинномозговых корешков при различных вариантах их страдания, различных неврологических синдромов остеохондроза представлена в ряде работ С. Н. Колесова. Им показано, что получаемая информация в большинстве случаев коррелирует с неврологической симптоматикой, а в ряде случаев регистрируется даже при минимальных ее проявлениях [66].

При раздражении корешка чаще выявляется рефлекторно-сосудистый синдром с преобладанием вазодилатации (ВСИ), при его сдавлении – с преобладанием вазоконстрикции (ВСУ) как универсальной реакции на боль. Вовлечение в процесс одного корешка проявляется вегетативно-сосудистыми изменениями с четко очерченными границами на протяжении его АЗИ. При поражении нескольких корешков термоаномалии более распространенные и больше в дистальных отделах конечностей. В целом, на верхних конечностях только в единичных случаях регистрировался патологический термопаттерн в АЗИ шейных корешков, чаще же – неомогенное снижение общего фона ИК-излучения, более выраженное в проксимальных отделах. У больных с грыжами межпозвонковых дисков в шейном отделе позвоночника выявляется разнонаправленный характер ТПВ картины: очерченная зона гипертермии в заднешейной области и гипотермия в АЗИ страдающего корешка на руках, где представлены АЗИ корешков C5–C8. Раздражение (ирритация) вегетативных волокон в страдающем корешке вызывает вазодилатацию с локальной зоной гипертермии, длительная компрессия ведет к их ишемизации и к картине периферической гипотермии. Различные варианты клиники и течения диско-радикулярного конфликта зависят обычно не от выраженности изменений дисков, а от степени вовлечения в процесс тех или иных нервно-сосудистых образований, расположенных в позвоночном канале [66].

Нейрососудистые (нейродистрофические) расстройства в большинстве случаев проявляются зонами патологической гипотермии в АЗИ заинтересованного корешка с нарастанием в дистальных отделах конечностей, что позволяет выявить признаки различных нарушений еще до появления клинической картины [67]. При корешковых синдромах шейного отдела позвоночника и плечелопаточном периартрозе гипотермия определяется на верхних конечностях преимущественно на уровне дистальных фаланг пальцев, при одностороннем поражении отчетливо выявляется ТА конечностей. Снижение температуры обычно достигает 1,0–1,5 °C, при выраженном болевом синдроме и значительном поражении корешка, по данным авторов, может достигать 5–6 °C.

Гипотермия в АЗИ компримированного и воспаленного корешка на шейном уровне вызывает корешковую боль в руках [68] по причине симпатического возбуждения и активного сужения сосудов конечностей на стороне поражения [69]. Вазоконстрикция доступна ТПВ оценке, что позволяет выявить страдающий дерматом и пораженный корешок и делает метод эффективным дополнительным

диагностическим инструментом. Значимой считается ТА более 0,1 °C в проксимальной части конечности и более 0,3 °C – в дистальной части конечностей [70]. Однако иногда формируется гипертермическая реакция, что может затруднить диагностику. Это парадоксальное явление может быть обусловлено комбинированной диабетической или периферической нейропатией, двусторонней спинномозговой радикулопатией, предшествующей операцией на позвоночнике в анамнезе либо ошибкой обследования [71]. В работе [72] в группе гипертермии продолжительность болевых симптомов была достоверно короче, а результат по аналоговой шкале боли был выше, чем в группе гипотермии.

Степень и стойкость нарушений ТПВ картины при различных проявлениях остеохондроза позвоночника позволяют в процессе лечения объективно оценивать эффективность купирования болевого синдрома, воздействия конкретных лекарственных препаратов, лечебных блокад, различных комбинаций комплексных реабилитационных мероприятий и, при необходимости, своевременно изменять тактику ведения больного. ТПВ контроль в конце реабилитационного курса помогает уточнить прогноз и необходимость повторных лечебных курсов.

2.2. Последствия позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ)

У спортсменов-колясочников с хлыстовой травмой шейного отдела позвоночника и тетраплегией с помощью тепловидения изучали реакции на физические нагрузки [73]. Даже после коротких упражнений их кожная температура быстро росла. Более быстрое снижение температуры кистей, по сравнению со здоровыми, может соответствовать более короткой фазе перераспределения крови от неактивных областей к активным мышцам и меньшему испарению пота с иннервируемой кожи по сравнению с денервированной. В сходном клиническом контексте корейские авторы [74], к сожалению, ограничились уровнями заднешейной области и плеча. Тем не менее, они установили, что при свежей травме конечность со стороны поражения «горячая», и гипертермия в корреляции со снижением болевого синдрома постепенно снижалась через две недели, приближаясь к нормальной температуре. Поэтому, несмотря на неспецифичность тепловидения, авторы предлагают использовать его в качестве полезного инструмента оценки динамики болевого синдрома при таких сложных расстройствах, как хлыстовая травма.

Нами разработана методика ТПВ выявления и оценки повреждения бокового рога спинного мозга при травме среднегрудного отдела [75]. Известно, что интегративные центры, определяющие вазомоторные реакции сосудов шеи и головы, находятся в боковых рогах спинного мозга сегментов Th1–4, для верхних конечностей – Th4–6, для туловища – Th7–9, для нижних конечностей – в сегментах Th10–L2. При травме на уровне Th4–6 возможно повреждение симпатических структур, иннервирующих сосуды верхних конечностей, в частности при переломо-вывихах позвонков среднегрудного отдела, даже не осложненных

компрессией спинного мозга. Субклинические нарушения могут проявляться более контрастно после нагрузочной пробы. Нарушенная сосудистая регуляция проявляется в виде извращенного проксимально-дистального градиента температур со стороны поражения. Таким образом, при заинтересованности шейного (C5–8) и верхнегрудного (Th4–6) отделов отчетлива разница в ТПВ признаках нарушений: при повреждении шейного отдела они соответствуют границам АЗИ корешков, при повреждении верхнегрудного отдела – не имеют привязки к конкретным корешкам. Адекватной пробой в первом случае является провоцирующая нагрузка только на кисть для оценки реактивности сосудов в представленных на ней АЗИ периферических нервов (например, классическая ХП), а во втором – на кисть и предплечье (плечо) с последующим сравнением динамики восстановления в дистальных и проксимальных отделах верхних конечностей (спиртовая проба). Эффективной может оказаться и спиртовая проба на соответствующих дерматомах туловища, провоцирующая термореакцию на кисти со стороны поражения.

2.3. Детский церебральный паралич (ДЦП)

С помощью тепловидения обследованы 31 ребенок 4–7 лет с двумя спастическими формами ДЦП (G80.1 и G80.2) с I и II степенью нарушения двигательных функций по шкале GMFCS [76]. Детально описаны распределение температур на конечностях и его динамика в ответ на дозированную двигательную нагрузку на спастичные группы мышц. Для группы пациентов с гемипарезом (G80.2) характерны ТА на конечностях, связанные со стороной поражения, а для группы с диплегией (G80.1) – инверсия нормального проксимально-дистального градиента, наиболее выраженная в сегментах «голень – стопа» и «плечо – предплечье» и менее – «предплечье – кисть», и аномально высокий перепад температур на спине между грудным и поясничным отделами. Физическая нагрузка вела к контрастированию термоаномалий за счет дополнительного снижения температуры в проекции страдающих мышц.

Год спустя в этих двух группах пациентов 5–8 лет со спастическими формами ДЦП (по 10 детей с диагнозом G80.1 и G80.2) авторы провели комплексное обследование с применением стандартизированных шкал и тепловидения с целью оценки эффективности реабилитационных мероприятий [77]. Реабилитация проходила в стационарных (два раза в год курсами по 14 дней), амбулаторных (2–3 курса массажа по 10 дней, ботулинотерапия) и домашних (ежедневные физические упражнения) условиях. Получено расхождение в ряде случаев ТПВ и клинических результатов лечения, предпринята попытка теоретического объяснения этих несовпадений. Продемонстрированные возможности ТПВ оценки эффективности лечения у детей со спастическими формами ДЦП позволяют рассчитывать на успех в разработке рабочих методик удобного, неинвазивного и высокоточного способа объективизации двигательных нарушений на этапах реабилитации и создание надежного средства валидации стандартизированных клинических шкал.

2.4. Гемиплегия

Отмечено, что некоторые пациенты после инсульта жалуются на мучительную непроходящую холодность руки с гемиплегией, гипотермия на стороне поражения достигает 1–5 °C при объективно сниженном кровотоке [69]. ХП еще более увеличивала ТА за счет значительного отставания восстановления. У 53% пациентов после инсульта (средний возраст – 74 года, средняя давность – 19 месяцев) выявлено одностороннее похолодание руки с гемиплегией [78]. Симптом развивался в среднем через месяц после инсульта. 15 пациентов соответствовали диагностическим критериям КРБС.

В работе [79] сообщили о двух случаях псевдорадикулярного сенсорного нарушения (дизестезия) с последующей слабостью в конечности после инсульта в правую постцентральную извилину. В АЗИ заинтересованных нервов (левого локтевого и левого лучевого) с помощью тепловидения у этих больных были выявлены участки гипотермии.

2.5. Паркинсонизм

У пациентов с болезнью Паркинсона часто наблюдается периферическая вегетативная дисфункция. ТПВ различия реакции на региональную ХП на руках, ногах и туловище между здоровыми людьми и пациентами с паркинсонизмом сопоставлены с симптомами и признаками дизавтономии [80]. Корреляционный анализ между изменениями температуры кожи и вегетативной дисфункцией выявил наиболее значительную межгрупповую разницу через 10 минут после ХП на дистальной фаланге V пальца кисти ($p < 0,003$). Пациенты с паркинсонизмом продемонстрировали значительное снижение скорости восстановления и измененные термореакции в изученных областях интереса, не связанных с АЗИ конкретных периферических нервов. Таким образом, тепловидение может стать важным инструментом будущего в исследовании вегетативной недостаточности при болезни Паркинсона.

Список литературы / References

1. Kolesov S.N. Thermal vision in the evaluation of adaptation and compensation mechanisms accompanying isolated and combined damage of the peripheral nerves. *Journal of Optical Technology*. 2013; 80 (6): 386–392. <https://doi.org/10.1364/JOT.80.000386>
2. Viikari-Juntura E., Silverstein B. Role of physical load factors in carpal tunnel syndrome. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 1999; 25(3): 163–185. DOI: 10.5271/sjweh.423.
3. Bernard B.P. *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back*. National Institute for Occupational Safety and Health, 1997. P. 5a1–5a27.
4. Ming Z., Zaproudina N., Siivola J. et al. Sympathetic pathology evidenced by hand thermal anomalies in carpal tunnel syndrome. *Pathophysiology*. 2005; 12 (2): 137–141. DOI: 10.1016/j.pathophys.2005.05.002.
5. Orlin J.R., Stranden E., Slagsvold C.E. Effects of mechanical irritation on the autonomic part of the median nerve. *Eur J Neurol*. 2005 Feb; 12 (2): 144–149. DOI: 10.1111/j.1468–1331.2004.00925.x.
6. Moxel X., Bodnar J.L., Marin T., Stubbe L. Detection of carpal tunnel syndrome by infrared thermography. *QJRT-2014*. January 2014. 7 pp. DOI: 10.21611/qirt.2014.103.
7. Pascoe D.D., Herrick R.T., Purohit R.C. Thermographic Evaluation of the Response Time of Normal and Carpal Tunnel Syndrome Subjects after a Cold Water Stress Test. *Eur J Thermol*. 1997; 7: 138–141.
8. Moxel X., Bodnar J.L., Stubbe L. Detection of carpal tunnel syndrome by infrared thermography. *Mech Ind*. 2014; 15: 363–370. DOI: 10.1051/meca/2014034.
9. Baic A., Kasprzyk T., Rzymski M. et al. Can we use thermal imaging to evaluate the effects of carpal tunnel syndrome surgical decompression? *Medicine (United States)*. 2017; 96 (39): e7982. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000007982>
10. Bargiel P., Czaplina N., Prowski P. et al. Thermography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Open Med (Wars)*. 2021 Jan 27; 16 (1): 175–182. DOI: 10.1515/med-2021-0007.
11. Ming Z., Siivola J., Pietikainen S. et al. Postoperative relieve of abnormal vasoregulation in carpal tunnel syndrome. *Clin Neurol Neurosurg*. 2007; 109 (5): 413–417. DOI: 10.1016/j.clineuro.2007.02.014.
12. Ammer K., Engelbert B., Melnizky P., Scharfelmüller T. The Thermal Image of Patients Suffering from Carpal Tunnel Syndrome with a Distal Latency Higher than 6.0 msec. *Thermology International*. 1999; 9 (1): 15–19.
13. Papež B.J., Palfy M. EMG vs. Thermography in Severe Carpal Tunnel Syndrome. In: Schwartz M., ed., *EMG Methods for Evaluating Muscle and Nerve Function*, ISBN 978–953–307–793–2, InTech: January 2012.
14. Peltz E., Seifert F., Maihöfner C. Internationale Gesellschaft zum Studium des Schmerzes (IASP). Leitfaden zur Diagnostik des komplexen regionalen Schmerzsyndroms [Diagnostic guidelines for complex regional pain syndrome]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2012 Jun; 44 (3): 135–141. DOI: 10.1055/s-0032–1321775. [in German]
15. Колесов С.Н., Воловик М.Г., Прилучный М.А. и др. Способ диагностики патологии периферических нервов. Патент РФ № 2402258 от 27.10.2010. Приор. справка № 2009118115 от 12.05.2009.
16. Kolesov S.N., Volovik M.G., Priluchnyi M.A. Method for diagnosing pathology of peripheral nerves. RU Patent 2402258 (2010). Priority 12.05.2009.
17. Ammer K., Melnizky P. Determination of Regions of Interest on Thermal Images of the Hands of Patients Suffering from Carpal Tunnel Syndrome. *Thermology International*. 1999; 9 (2): 56–61.
18. Robinson H., Howell G., Hardaker N. et al. Investigation of a method of thermal imaging with the potential to assist in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Thermology International*. 2010; 20 (2): 53–59.
19. Zivčák J., Hudák R., Tkáčová M., Švehlík J. A role of thermography in the diagnostics of carpal tunnel syndrome. *Acta Mechanica Slov*. 2010; 14. DOI: 10.2478/v10147-011-0017-9.
20. Herrick R.T., Herrick S.K. Thermography in the detection of carpal tunnel syndrome and other compressive neuropathies. *The Journal of Hand Surgery*. 1987 Sep 1; 12 (5): 943–949. DOI: 10.1016/s0363-5023(87)80262-9.
21. Alpar O., Krejcar O. Detection of Raynaud's Phenomenon by Thermographic Testing for Finger Thermoregulation. *Lecture Notes in Computer Science*. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-54430-4_46.
22. Гайдар Б.В. Военная нейрохирургия. СПб.: ВМЕА, 1998.
23. Gaidar B.V. *Military neurosurgery*. Saint Petersburg: VMEa, 1998.
24. Mundt B., Kallwells G., Röder H. Thermographic studies with fluid crystals in peripheral nerve damage. *Psychiatr Neurol Med Psychol (Leipzig)*. 1986 Jan; 38 (1): 9–15. PMID: 3008206. [in German]
25. Kolesov S.N. Improving the technique for thermal-vision diagnosis of damage to the peripheral nerves of the upper extremities. *J Opt Technol*. 2015; 82 (7): 436–444. DOI: 10.1364/JOT.82.000436.
26. Воловик М.Г. Динамическое инфракрасное картирование терморегуляторных процессов в биологических тканях. Автореф. дис... доктора биологических наук. Пушчино, 2016. 45 с.
27. Volovik M.G. Dynamic infrared mapping of thermoregulatory processes in biological tissues. Abstract of Thesis. Dis ... Doctor of Biological Sciences. Pushchino, 2016.45 p.
28. Колесов С.Н., Воловик М.Г., Прилучный М.А. и др. Способ тепловизионной диагностики патологии вторичных пучков плечевого сплетения. Патент РФ № 2440784 от 27.01.2012. Приор. справка № 2009140566 от 02.11.2009.
29. Kolesov S.N., Volovik M.G., Priluchnyi M.A. et al. Method for thermal imaging diagnostics of pathology of secondary bundles of the brachial plexus. RU Patent 2440784 (2012). Priority 12.11.2009.
30. Ruijs A.C., Niehof S.P., Selles R.W. et al. Digital rewarming patterns after median and ulnar nerve injury. *J Hand Surg Am*. 2009; 34 (1): 54–64. DOI: 10.1016/j.jhsa.2008.09.014.
31. Smits E.S., Nijhuis T.H., Huygen F.J. et al. Rewarming patterns in hand fracture patients with and without cold intolerance. *J Hand Surg Am*. 2011 Apr; 36 (4): 670–676. DOI: 10.1016/j.jhsa.2010.12.034.
32. Casal D., Pais D., Mota-Silva E. et al. Reconstruction of a long defect of the ulnar artery and nerve with an arterialized neurovascular free flap in a teenager: A case report and literature review. *Microsurgery*. 2018 Feb; 38 (2): 209–217. DOI: 10.1002/micr.30265.
33. Голубев В.Г., Еськин Н.А., Крупаткин А.И. Применение новых диагностических технологий при повреждениях периферических нервов. *Вестник РАМН*, 2008; 8: 40–44.
34. Golubev V.G., Eskin N.A., Krupatkin A.I. Application of new diagnostic technologies in peripheral nerve injuries. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2008; 8: 40–44.
35. Park E.S., Park C.I., Jung K.I., Chun S. Comparison of sympathetic skin response and digital infrared thermographic imaging in peripheral neuropathy. *Yonsei Med J*. 1994 Dec; 35 (4): 429–437. DOI: 10.3349/ymj.1994.35.4.429.
36. Bostok H., Campero M., Serra J., Ochoa J.L. Temperature-dependent double spikes in C-nociceptors of neuropathic pain patients. *Brain*. 2005 Sept; 128 (9): 2154–2163. <https://doi.org/10.1093/brain/awh552>
37. Короткова Н.А., Воловик М.Г., Прилучный М.А. Возможности тепловидения в уточнении характера повреждения периферических нервов верхних конечностей у пациентов с болевым синдромом. Второй Съезд нейрохирургов Российской Федерации. Материалы съезда. СПб., 1998. С. 312.
38. Короткова Н.А., Воловик М.Г., Прилучный М.А. The possibilities of thermal imaging in clarifying the nature of damage to the peripheral nerves of the upper extremities in patients with pain syndrome. Second Congress of Neurosurgeons of the Russian Federation. Materials of the Congress. Saint Petersburg, 1998. P. 312.
39. Moseley G.I., Gallace A., Iannetti G.D. Spatially defined modulation of skin temperature and hand ownership of both hands in patients with unilateral complex regional pain syndrome. *Brain*. 2012 Dec; 135 (pr12): 3676–3686. DOI: 10.1093/brain/awh529.
40. van der Veen P.H.E. Infrared thermography for pain influenced by a Xanthine derivative: An attempt to assess chronic pain objectively. *Thermology International*. 2014; 24 (2): 39–48.
41. Birkefeld F., Künzel W., Sieweke N. Despite clinical similarities there are significant differences between acute limb trauma and complex regional pain syndrome I (CRPS I). *Pain*. August 2001; 93 (2): 165–171. DOI: 10.1016/S0304-3959(01)00309-8.
42. Bruggeman A.W., Oerlemans M.H., Frölke J.P. Warm and cold complex regional pain syndromes: differences beyond skin temperature? *Neurology*. 2009; 73 (20): 1711–1712. DOI: 10.1212/WNL.0b013e3181bd6b0d.
43. Колесов С.Н., Муравина Н.Л., Новиков А.В., Щедрина М.А. Способ определения повреждений вегетативных волокон периферических нервов верхних конечностей. Патент РФ № 2555383 от 10.07.2015. Приор. справка № 2014118720 от 07.05.2014.
44. Kolesov S.N., Muravina N.L., Novikov A.V., Stchedrina M.A. A method for determining damage to the vegetative fibers of the peripheral nerves of the upper extremities. RU Patent 2555383 (2015). Priority 07.05.2014.
45. Krumova E.K., Frettlöh J., Klavenberg S. et al. Long-term skin temperature measurements – a practical diagnostic tool in complex regional pain syndrome. *Pain*. 2008; 140 (1): 8–22. DOI: 10.1016/j.pain.2008.07.003.

39. Brioschi M.L., Yeng L.T., Teixeira M.J. Indicações da termografia infravermelha no estudo da dor. *DOR é coisa séria*. Janeiro. 2009; 5 (1): 8–14. [in Portuguese]
40. Jeong M.-Y., Yu J.-S., Chung W.-B. Usefulness of Thermography in Diagnosis of Complex Regional Pain Syndrome Type I After Transradial Coronary Intervention. *J Invasive Cardiol*. 2013 Sep; 25 (9): E 183–185. PMID: 23995728.
41. Schuffried O., Herceg M., Reichel-Vacariu G., Paternostro-Sluga T. Das infrarot-thermografische Muster beim Komplexen Regionalen Schmerzsyndrom Typ I der unteren Extremität und Korrelation mit Schmerz Krankheitsdauer und Symptomen. *Physikalische Medizin Rehabilitationsmedizin Kurortmedizin* 2016; 26 (06): 288–292. DOI: 10.1055/s-0042-115478. [in German]
42. Seixas A. Infrared thermographic assessment in lower limb complex regional pain syndrome type 1. *Thermology International*. March 2017; 27 (1): 9–10.
43. Крупаткин А.И., Голубев И.О., Меркулов М.В. и др. Эффективность десимпатизации кисти после разных вариантов симпатэктоми при комплексном регионарном болевом синдроме. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2011; 7: 43–47. Krupatkin A.I., Golubev I.O., Merkulov M.V. et al. Efficiency of hand desympathization after different types of sympathectomy in complex regional pain syndrome. *Surgery. Journal named after N.I. Pirogov*. 2011; 7: 43–47.
44. Kocić M., Lazović M., Dimitrijević I. et al. Evaluation of low level laser and interferential current in the therapy of complex regional pain syndrome by infrared thermographic camera. *Vojnosanit Pregl*. 2010; 67 (9): 755–760. DOI: <http://dx.doi.org/10.2298/VSP1009755K>
45. Gradd G., Steinborn M., Witzgall I. et al. Acute CRPS I (Morbus sudeck) following distal radial fractures – Methods for early diagnosis. *Zentralblatt Fur Chirurgie*. 2003; 128: 1020–1026. DOI: 10.1055/s-2003-44851. [in German]
46. Gradd G., Schürmann M. Sympathetic dysfunction as a temporary phenomenon in acute posttraumatic CRPS I. *Clin Auton Res*. 2005 Feb; 15 (1): 29–34. DOI: 10.1007/s10286-005-0237-z.
47. Gulevich S.J., Conwell T.D., Lane J. et al. Stress infrared telethermography is useful in the diagnosis of complex regional pain syndrome, type I (formerly reflex sympathetic dystrophy). *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2004; 2: 1178. PMID: 17271895.
48. Huygen F.J., Niehof S., Klein J., Zijlstra F.J. Computer-assisted skin videothermography is a highly sensitive quality tool in the diagnosis and monitoring of complex regional pain syndrome type I. *Eur J Appl Physiol*. 2004; 91 (5–6): 516–524. DOI: 10.1007/s00421-003-1037-6.
49. Niehof S.P., Huygen F.J., Stronks D.L. et al. Reliability of observer assessment of thermographic images in complex regional pain syndrome type I. *Acta Orthop Belg*. 2007; 2 (73): 1–31. PMID: 17441655.
50. Cho C.W., Nahm F.S., Choi E. et al. Multicenter study on the asymmetry of skin temperature in complex regional pain syndrome: An examination of temperature distribution and symptom duration. *Medicine (United States)* 2016; 95 (52): e5548. DOI: 10.1097/MD.0000000000005548.
51. Eberle T., Doganci B., Krämer H.H. et al. Warm and cold complex regional pain syndromes: differences beyond skin temperature? *Neurology*. 2009; 72 (6): 505–512. DOI: 10.1212/01.wnl.0000341930.35494.66.
52. Laino L. Idiopathic dysesthesia, complex regional pain syndrome and video-thermography: a new tool for diagnosis? *Eur J Dermatol*. 2012 Sep-Oct; 22 (5): 700–701. DOI: 10.1684/ejod.2012.1814.
53. Uematsu S. Thermographic imaging of cutaneous sensory segment in patient with peripheral nerve injury. Skin temperature stability between sides of the body. *J Neurosurg*. 1985; 62: 716–720. DOI: 10.3171/jns.1985.62.5.0716.
54. Choi E., Lee P.B., Nahm F.S. Interexaminer reliability of infrared thermography for the diagnosis of complex regional pain syndrome. *Skin Res Technol*. 2013; 19: 189–193. DOI: 10.1111/srt.12032.
55. Cohen S.P., Raja S.N. Does prolonged skin temperature measurement improve the diagnosis of complex regional pain syndrome? *Nat Clin Pract Neurol*. 2009; 5 (1): 14–15. DOI: 10.1038/ncpneu0987.
56. Conwell T.D., Lind K.E. Comparison of the Diagnostic Accuracy of Three Infrared Imaging Methods in Evaluating Patients with Presumptive Complex Regional Pain Syndrome, Type 1. *Thermology International*. 2015; 25 (2): 54–63.
57. Jung A., Mróz J., Žuber J., Kalicki B. Application of thermography in the diagnosis and treatment monitoring of the Complex Regional Pain Syndrome type I (CRPS I) (extended abstract). *Thermology International*. 2015; 25 (1): 26.
58. Kim H.J., Yang H.E., Kim D.H., Park Y.G. Predictive value of sympathetic skin response in diagnosing complex regional pain syndrome: A case-control study. *Ann Rehabil Med*. 2015; 39. DOI: 10.5535/arm.2015.39.1.116.
59. Mróz J., Kalicki B., Lipinska-Opalka A. et al. Application of thermography in the diagnosis and treatment monitoring of the Complex Regional Pain Syndrome type I (extended abstract). *Thermology International* 2014; 24 (2): 62.
60. Lange K.H.W., Jansen T., Asghar S. et al. Skin temperature measured by infrared thermography after specific ultrasound-guided blocking of the musculocutaneous, radial, ulnar, and median nerves in the upper extremity. *Br J Anaesth*. 2011; 106: 887–895. DOI: 10.1093/bja/aer085.
61. Asghar S., Bjerregaard L.S., Lundström L.H. et al. Distal infrared thermography and skin temperature after ultrasound-guided interscalene brachial plexus block: A prospective observational study. *European Journal of Anaesthesiology* 2014; 31 (11): 626–634. DOI: 10.1097/EJA.0000000000000152.
62. Asghar S., Lange K.H., Lundström L.H. Blinded observer evaluation of distal skin temperature for predicting lateral infraclavicular block success. *Anesthesia & Analgesia*. 2015; 120 (1): 246–251. DOI: 10.1213/ane.0000000000000475.
63. Stevens M.F., Stoltz K., Kao T.C. et al. The relative increase in skin temperature after stellate ganglion block is predictive of a complete sympathectomy of the hand. *Reg Anesth Pain Med*. 1998 May-Jun; 23 (3): 266–270. DOI: 10.1016/s1098-7339(98)90053-0.
64. Su H.-H., Lui P.-W., Yu C.-L. et al. The effects of continuous axillary brachial plexus block with ropivacaine infusion on skin temperature and survival of crushed fingers after microsurgical replantation. *Chang Gung Med J*. 2005; 28 (8): 567–574. PMID: 16265847.
65. Minville V., Gendre A., Hirsch J. et al. The efficacy of skin temperature for block assessment after infraclavicular brachial plexus block. *Anesth Analg*. 2009; 108 (3): 1034–1036. DOI: 10.1213/ane.0b013e318195bf94.
66. Колесов С.Н. Остеохондроз позвоночника: неврологические и тепловизионные синдромы. Нижний Новгород: ООО Типография «Приволжье», 2006. Kolesov S.N. Spinal osteochondrosis: neurological and thermal imaging syndromes. Nizhny Novgorod: Privolzhie Printing House LLC. 2006.
67. Виноградов В.И., Митбрет И.М., Веретенов И.С., Слезко В.Н. Компьютерная термография при медицинской реабилитации больных остеонхондрозом позвоночника. *Медицинский Вестник*. 2007; 14 (321). Vinogradov V.I., Mitbreit I.M., Veretenov I.S., Slezko V.N. Computer thermography in medical rehabilitation of patients with spinal osteochondrosis. *Medical Bulletin*. 2007; 14 (321).
68. Ben-Eliyahu D.J. Thermographic imaging of pathoneurophysiology due to cervical disc herniation. *J Manipulative Physiol Ther*. 1989 Dec; 12 (6): 482–490. PMID: 2697738.
69. Thurston N.M., Kent B., Jewell M.J., Blood H. Thermographic evaluation of the painful shoulder in the hemiplegic patient. *Phys Ther*. 1986; 66: 1376–1381. DOI: 10.1093/ptj/66.9.1376.
70. Zhang H.Y., Kim Y.S., Cho Y.E. Thermatomatic changes in cervical disc herniations. *Yonsei Med J*. 1999; 40: 401–412. DOI: 10.3349/yjmj.1999.40.5.401.
71. Ring F. Thermal imaging today and its relevance to diabetes. *J Diabetes Sci Technol*. 2010; 4: 857–862.
72. Park T.Y., Son S., Lim T.G., Jeong T. Hyperthermia associated with spinal radiculopathy as determined by digital infrared thermographic imaging. *Medicine (Baltimore)*. 2020; 99 (11): e19483. DOI: 10.1097/MD.00000000000019483.
73. Rossignoli I., Fernandez-Cuevas I., Benito P.J., Herrero A.J. Relationship between shoulder pain and skin temperature measured by infrared thermography in a wheelchair propulsion test. *Infrared Physics and Technology*. 2016; 76: 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.02.007>
74. Lee Y.S., Paeng S.H., Farhadi H.F. et al. The Effectiveness of Infrared Thermography in Patients with Whiplash Injury. *Journal of Korean Neurosurgical Society*. 2015; 57 (4): 283–288. DOI: 10.3340/jkns.2015.57.4.283.
75. Колесов С.Н., Воловик М.Г., Мавык С.Г., Лерунова С.В. Обоснование методологии тепловизионных исследований при позвоночно-спинномозговой травме. VIII Междунар. конф. «Прикладная оптика – 2008». Сб. трудов. СПб, 2008. С. 208–212. Kolesov S.N., Volovik M.G., Mlyavyyk S.G., Legurova S.V. Substantiation of the methodology of thermal imaging studies in spinal cord injury. VIII International Conference «Applied Optics-2008». Collection of works. Saint Petersburg, 2008. P. 208–212.
76. Воловик М.Г., Шейко Г.Е., Кузнецов А.Н. Тепловизионные признаки спастических форм ДЦП у детей 4–7 лет: протокол и анализ данных. *Медицинский алфавит*. 2019; 3 (24): 28–38. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-24\(399\)-28-38](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-24(399)-28-38) Volovik M.G., Sheiko G.E., Kuznetsov A.N. Thermographic signs of spastic type cerebral palsy in 4–7 years old children: protocol and data analysis. *Medical alphabet*. 2019; 3 (24): 28–38. [In Russ.] [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-24\(399\)-28-38](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-24(399)-28-38)
77. Воловик М.Г., Шейко Г.Е., Кузнецов А.Н. Эффективность реабилитации детей 5–8 лет со спастическими формами ДЦП, по данным клинической оценки и тепловидения. *Медицинский алфавит*. 2019; 4 (39): 14–22. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-4-39\(414\)-14-22](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-4-39(414)-14-22) Volovik M.G., Sheiko G.E., Kuznetsov A.N. The effectiveness of rehabilitation of children 5–8 years old with spastic forms of cerebral palsy, according to clinical assessment and thermal imaging. *Medical alphabet*. 2019; 4 (39): 14–22. [In Russ.] [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-4-39\(414\)-14-22](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-4-39(414)-14-22)
78. Wanklyn P., Forster A., Young J., Mulley G.P. Prevalence and Associated Features of the Cold Hemiplegic Arm. *Stroke*, October 1995; 26 (10): 1867–1870. DOI: 10.1161/01.STR.26.10.1867.
79. Ishii K., Ohkoshi N., Tamaoka A. et al. [Pseudoradicular sensory impairment caused by parietal lesions: report of two cases]. *Rinsho Shinkeigaku*. 1996 Aug; 36 (8): 951–956. [in Japanese]. PMID: 8958747.
80. Purup M.M., Knudsen K., Karlsson P.K. et al. Skin Temperature in Parkinson's Disease Measured by Infrared Thermography. *Parkinson's Disease*. Volume 2020, Article ID 2349469, 7 pp. <https://doi.org/10.1155/2020/2349469>

Статья поступила / Received 19.04.21
Получена после рецензирования / Revised 06.05.21
Принята к публикации / Accepted 11.05.21

Сведения об авторах

Воловик Михаил Григорьевич, д.б.н., в.н.с.¹, E-mail: volovik@dignosys.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-6990>. <https://orcid.org/0000-0002-5459-2545>
Долгов Игорь Маратович, д.м.н., лауреат Государственной премии РФ, врач по спортивной медицине. E-mail: Tsadmg@mail.ru.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5511-5679>

¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород
²ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства России», Москва
³ООО «Дигносис», Москва

Автор для переписки: Воловик Михаил Григорьевич. E-mail: volovik@dignosys.com

Для цитирования: Воловик М.Г., Долгов И.М. Термосемиотика кистей рук. Нейропатические нарушения в термографии кистей. *Медицинский алфавит*. 2021; (14): 36–44. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-14-36-44>.

About authors

Volovik Mikhail G., Dr. Bio Sci, leading scientist¹. E-mail: volovik@dignosys.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-6990>. <https://orcid.org/0000-0002-5459-2545>
Dolgov Igor M., MD, PhD, Russian Federation State Prize winner, Doctor for sport medicine. E-mail: Tsadmg@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5511-5679>

¹Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia
²Federal Clinical and Scientific Centre for Sport Medicine of Russian Federal Medical Biological Agency, Moscow
³Dignosys Co., Moscow, Russia

Corresponding author: Volovik Mikhail G. E-mail: volovik@dignosys.com

For citation: Volovik M.G., Dolgov I.M. Thermosemiotics of hands. Neuropathic disorders in thermotopography of hands. *Medical alphabet*. 2021; (14): 36–44. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-14-36-44>

