

Проксимально-дистальный температурный градиент на кистях рук как тепловизионный признак нарушения углеводного обмена. Варианты, перспективы применения

И. М. Долгов, д.м.н.
М. Г. Воловик, д.б.н.

ООО «Дигносис», Москва

Temperature proximal-to-distal dorsal hand gradient as a thermography signs of altered glucose metabolism. Variations and perspective to use

I. M. Dolgov, M. G. Volovik
Dignosys LLC, Moscow

Резюме

Цель исследования. Изучить значения проксимально-дистального градиента (ПДГ) температуры на тыле кисти у пациентов с диагнозом «сахарный диабет» (СД) и другими нарушениями обмена глюкозы.

Метод. В исследование включены пациенты с нарушением обмена глюкозы любого генеза и давности, находящиеся под амбулаторным наблюдением. Выборка состояла из 120 пациентов, разделенных на три группы: 1 группа — с диагнозами: повышенное содержание глюкозы в крови [R73] и СД 2 типа без осложнений [E11.9] (50 пациентов, из них 30 муж./20 жен., средний возраст $61,5 \pm 11,1$ лет); 2 группа — СД 1 типа [E10] (25 пациентов, из них 7 муж./18 жен., средний возраст $44,4 \pm 13,1$ лет); 3 группа — СД с множественными осложнениями [E11.7] и СД с неуточненными осложнениями [E11.8] (45 пациентов, из них 14 муж./31 жен., средний возраст $62,2 \pm 10,8$ лет). Регистрацию проводили тепловизором «ТВС-300мед» (СИЛАР, Россия) с матрицей 388×360 пикселей и температурной чувствительностью $0,03^\circ\text{C}$. У каждого пациента для правой и левой рук определяли среднюю температуру проксимальных и дистальных фаланг пальцев, на основании которой по каждой кисти рассчитывали проксимально-дистальный градиент (ПДГпр, ПДГлев) посредством вычитания средней температуры дистальных фаланг пальцев из средней температуры проксимальных.

Результаты. Определены два тепловизионных (ТПВ) признака СД: — температура дистальной фаланги выше проксимальной («обратный» ПДГ), который чаще встречался в 1 группе; — температура проксимальной фаланги выше проксимальной «квазинормальный» ПДГ, хотя соотношения температур соответствовало норме, встречался он чаще в группах 2 и 3. Выявлено достоверное ($p < 0,05$) различие средних значений ПДГ между 1 и 3 группами («неосложненное и осложненное течение сахарного диабета») на правой и левой руках соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о наличии на руках ТПВ признаков СД, что открывает перспективы для развития методики ТПВ скрининга этой патологии в определенных группах пациентов и разработки инструмента оценки эффективности терапии: повышение значения ПДГ или ложная «нормализация» показателя могут быть критериями прогрессирования диабета.

Ключевые слова: тепловидение, сахарный диабет, нарушение толерантности к глюкозе (повышенное содержание глюкозы в крови), кисти рук, проксимально-дистальный градиент температуры.

Summary

Aim. To evaluate the temperature proximal-to-distal dorsal hand gradient (PDG) in patients with altered glucose metabolism.

Methods. Analyzed 120 patients with altered glucose metabolism, divided to three groups: group 1 — abnormal glucose tolerance test (R73) and type 2 diabetes mellitus without complications (E11.9) — 50 pts, 30 m/20 f, mean age $61,5 \pm 11,1$, group 2 — Type 1 diabetes mellitus [E10] — 25 pts, 7 m/18 f, mean age $44,4 \pm 13,1$; group 3 — type 2 diabetes mellitus with multiple complications [E11.7] and type 2 diabetes mellitus with unspecified complications [E11.8] — 45 pts, 14 m /31 f., mean age $62,2 \pm 10,8$. Thermal images were shoot by Russian made thermography camera TVS-300med, 388×360 pix, sensitivity $0,03^\circ\text{C}$. PDG calculated as a difference between mean temp of proximal and distal phalanges of 2–5 fingers and estimated for right or left hand separately. **Results.** Two thermography signs were observed: «inverted» PDG, when temperature of distal phalanges is higher than proximal and founded more often in group 1 and «false normal», when temperature of proximal phalanges is higher than distal, and name in this manner, because founded more often in «complicated» groups 2 and 3. Analysis confirmed that group 1 and group 3 pts significantly differed in mean PDG value ($p < 0,05$).

Conclusion. Our results show that thermography examination pointed out variety of dorsal hand signs for altered glucose metabolism and significant difference in mean PDG value for group 1 and 3. Therefore infrared thermography could be suggested as an objective tool for screening and monitoring of disease.

Key words: thermal imaging, diabetes mellitus, abnormal glucose tolerance (altered glucose metabolism), hand, proximal-to-distal temperature gradient.

Введение

Общая численность пациентов с сахарным диабетом (СД) в РФ на 01.01.2019 г. составила 4584575 (3,12% населения РФ, рост численности с 2000 года — в 2,2 раза), в том числе: СД-1 — 5,6% (256,2 тыс.), СД-2 — 92,4% (4,24 млн.). Однако и эти цифры недооценивают истинные масштабы неинфекционной «эпидемии», поскольку в регистре фиксируются только выявленные случаи заболевания. Так, по данным националь-

ного эпидемиологического исследования «NATION», доля не выявленного СД-2 в РФ в среднем составляет 54%. Таким образом, фактическая распространенность СД-2 при активном скрининге по уровню гликированного гемоглобина (HbA1c) почти в 2 раза выше регистрируемой и может достигать в РФ 8–9 млн. человек. Эти данные еще раз подчеркивают необходимость государственных мер, направленных на разработку программ активного раннего выявления СД в группах риска [5].

Безальтернативным методом постановки диагноза является определение содержания глюкозы и гликозилированного гемоглобина в крови. В то же время, прогрессирующие симптомы диабетической ангио- и нейропатии, особенно на ранних стадиях, когда они еще не приносят существенных страданий, выявляются сложнее: лазерная доплеровская флоуметрия и нейромиография не относятся к рутинным методам, а оценка нарушений различных видов чувствительности имеет сугубо субъективный характер.

Очень удобным, простым в использовании и объективным методом визуализации, в том числе, минимальных нейрососудистых нарушений является медицинское тепловидение. Поиск в базе данных «Pubmed» [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed] по ключевым словам '(Thermography) OR (Thermal imaging) AND (Diabetes)' во всех областях на глубину до 1967 года (с выхода первой известной нам публикации [12]) дал 318 работ (с добавлением отечественных авторов), и только за период с 2010 по 2020 годы обнаружил 197 исследований (рис. 1). Для сравнения приводим гистограмму распределения по годам публикаций на данную тему из статьи [20]. Авторы, проанализировав данные по 154 работам, пришли к выводу, что на момент исследования (2017) отсутствует специальная база данных медицинских тепловизионных (ТПВ) изображений для диабетической нейропатии и сосудистых расстройств. Возможно, несмотря на большое количество публикаций, это и есть причина, по которой в авторитетном современном обзоре методов ранней диагностики диабетической периферической нейропатии тепловидение отсутствует [29]. Не упомянуто оно и в российских «Клинических рекомендациях по диагностике и лечению синдрома диабетической стопы» 2015 года [3], хотя актуальность запроса обнаруживается в указании при осмотре стоп и голеней «пальпаторно определить их температуру (холодные, теплые, горячие)» и в наличии в списке литературы ряда известных апологетов медицинского тепловидения (Armstrong D. G., Frykberg R. G., Lavery L. A., Higgins K. R.).

Анализ причин такого положения, в целом для метода проведенный нами в работе [3], а также результаты собственных исследований последних лет побудили нас изучить возможность диагностики нарушения углеводного обмена по ТПВ картине рук. Это тем более актуально, что подавляющее большинство ТПВ исследований в диагностике нарушения

углеводного обмена посвящены температурным нарушениям на нижних конечностях, связанным с риском развития синдрома диабетической стопы. По-нашему же мнению, возможности скрининга СД, в том числе его ранних стадий развития по ТПВ феноменам на верхних конечностях находят все более убедительное обоснование в многочисленных клинических, лабораторных и экспериментальных данных о патогенезе СД и в накопленной базе данных ТПВ исследований.

Для нормы, принятой в современном медицинском тепловидении, характерно:

— симметричное распределение температур на всех сегментах конечностей и отсутствие разницы температур более $0,4^{\circ}\text{C}$ между отдельными пальцами и между одноименными фалангами на разных пальцах;

— положительный проксимально-дистальный градиент (ПДГ) температур, когда имеется относительно плавное и умеренное их снижение от проксимальных сегментов кисти (фаланг пальцев) к дистальным [14, 22, 26, 27]. (рис. 2).

Цель исследования

Изучить значения проксимально-дистального градиента температуры на тыле кисти у пациентов с диагнозом «сахарный диабет» и другими нарушениями обмена глюкозы.

Материалы и методы

Критерий включения в исследование — пациенты с нарушением обмена глюкозы любого генеза и давности, находящиеся под амбулаторным наблюдением. Выборка состояла из 120 пациентов с диагнозами: повышенное содержание глюкозы в крови (код по МКБ-10 [R73]) — 15, СД-1 [E10] — 25, СД-2 без осложнений [E11.9] — 35, СД с множественными осложнениями [E11.7] и СД с неуточненными осложнениями [E11.8] — 45 человек.

Пациенты были объединены в три группы: 1 группа — с диагнозами [R73] и [E11.9] (50 пациентов, из них 30 муж./20 жен., средний возраст $61,5 \pm 11,1$ лет); 2 группа — [E10] (25 пациентов, из них 7 муж./18 жен., средний возраст $44,4 \pm 13,1$ лет); 3 группа — [E11.7] и [E11.8] (45 пациентов, из них 14 муж./31 жен., средний возраст $62,2 \pm 10,8$ лет).

Регистрацию проводили тепловизором «ТВС-300мед» (СИЛАР, Россия) с матрицей 388×360 пикселей и температурной чувствительностью $0,03^{\circ}\text{C}$. Перед съемкой пациент с открытыми кистями рук находился в течение 10 мин.

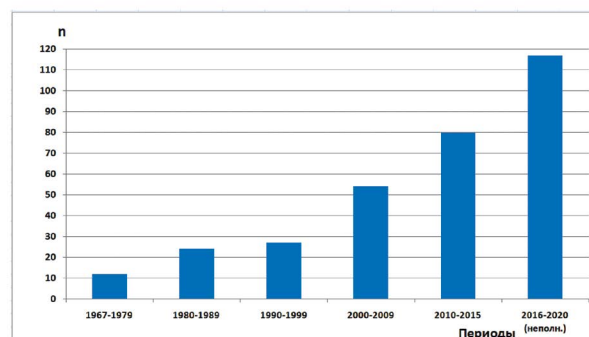
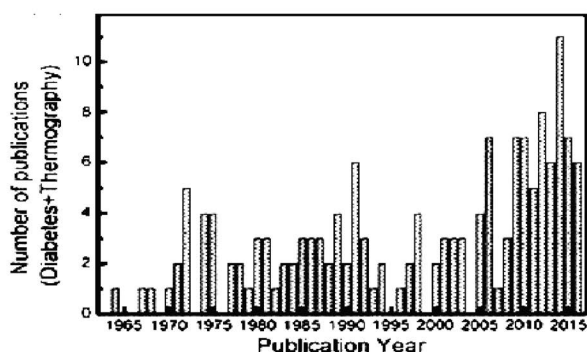


Рисунок 1. Динамика публикационной активности по применению тепловидения в диагностике СД, n/год: слева — из работы [20], справа — по результатам нашего поиска в базе «PubMed».

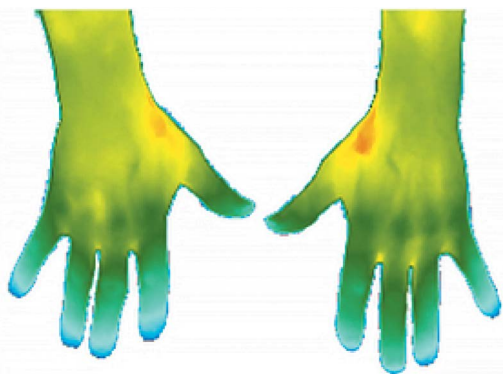


Рисунок 2. Тепловизионное изображение тыла кистей здорового человека. ПДГ на правой кисти $+0,6^{\circ}\text{C}$, на левой $+0,7^{\circ}\text{C}$.

в помещении с температурой $22\text{--}24^{\circ}\text{C}$ (адаптация), при этом запрещались активные движения в кистях и пальцах и контакт с объектами. Исследование проводили в положении «стоя» на фоне неотражающей поверхности. Кадр включал тыл кистей и предплечий до границы их средней и нижней трети. Заполнение термограммы объектом составляло не менее 50%.

Разметку изображения выполняли согласно поставленным задачам (проксимальные и дистальные фаланги 2–5 пальцев обеих кистей) (рис. 3).

У каждого пациента для правой и левой рук определяли среднюю температуру проксимальных и дистальных фаланг пальцев, на основании которой по каждой кисти рассчитывали проксимально-дистальный градиент (ПДГ_{пр}, ПДГ_{лев}) посредством вычитания средней температуры дистальных фаланг пальцев из средней температуры проксимальных.

Значения ПДГ представлены в виде $M \pm SD$. Статистический анализ данных выполняли в пакете IBM SPSS. Проверку нормальности распределения значений ПДГ проводили по критерию Колмогорова-Смирнова. Поскольку все исследуемые показатели имели нормальное распределение, для оценки различий средних значений ПДГ между группами применяли t-критерий Стьюдента для независимых выборок.

Результаты

В изученных группах выявлены два варианта значений ПДГ:

— отрицательное, когда температура дистальных фаланг была выше температуры проксимальных («обратный» ПДГ) (рис. 4),

— положительное («квазинормальный» ПДГ), когда температура дистальных фаланг была ниже температуры проксимальных (рис. 5).

«Обратный» ПДГ чаще встречался в 1 группе (СД–2 без осложнений), «квазинормальный» — у пациентов 2 группы (СД–1) и 3 группы (СД–2 с осложненным течением) (табл. 1). Средние значения ПДГ в группах представлены в табл. 2. При анализе средних значений попарно в группах по t-критерию Стьюдента для независимых выборок, достоверная разница ($p < 0,05$) по правой и левой рукам выявлена для групп 1 и 3.

Обсуждение

Сахарный диабет (СД) — это группа метаболических (обменных) заболеваний, характеризующихся хронической гипергликемией, которая является результатом нарушения секреции инсулина, действия инсулина или обоих этих факторов [18]. Хроническая гипергликемия при СД сопровождается повреждением, дисфункцией и недостаточностью различных органов и систем, прежде всего нервных волокон, сердца и кровеносных сосудов, глаз, почек.

Не ставя перед собой задачу глубокого изложения патогенеза, считаем необходимым акцентировать внимание на аспектах, важных для тепловидения, а именно на температуре кожного покрова кистей рук как отражении патологических изменений в микрососудах, неизбежно возникающих в процессе развития диабета.

Симпатическая кожная реакция и, соответственно, температура кожи, как правило, регулируется через постганглионарные немиелинизированные тонкие волокна [24]. В случае СД симпатические нейропатии приводят к открытию артериовенозных шунтов в акральных зонах и увеличению притока крови к коже [15]. Во многих исследованиях описаны нарушения ПДГ у диабетиков из-за повышенной температуры кожи стоп, что объясняется артериовенозным шунтирующим кровотоком и является ранним показателем диабетической нейропатии [6, 13, 25, 28]. Симптом «горячих стоп» патогномоничен преимущественно для нейропатической формы синдрома диабетической стопы, а при ишемической и смешанной (нейроишемической) формах термограммы характеризуются дистальной гипотермией с резкой границей и высоким перепадом температур [4, 23]. В расшифровке механизмов формирования этих нарушений несомненно полезными окажутся дальнейшие углубленные комплексные исследования патофизиологии форм и стадий развития СД.

Диабетическая нейропатия поражает крупные и мелкие волокна, влияя на температурную дискриминацию и сенсорные функции. Степень периферической нейропатии увеличивается с возрастом или длительностью диабета [11]. В дебюте диабетической нейропатии температура кожи повышена, тогда как на более поздних стадиях значения температуры в пораженных участках снижаются по сравнению с нормой из-за значительного повреждения сосудов [10]. О том, что стопы с повышенной температурой кожи у диабетиков считаются

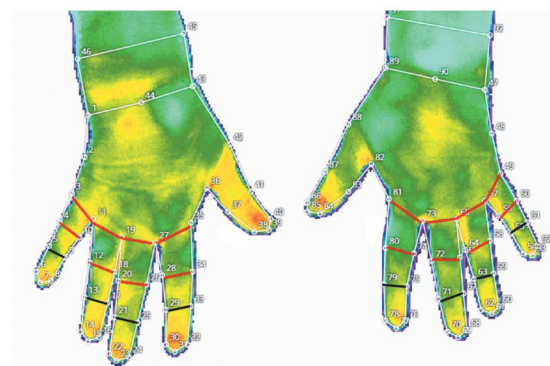


Рисунок 3. Разметка областей интереса на тыльной стороне кистей. Между красными линиями — зона проксимальных фаланг, дистальнее черных линий — зона дистальных фаланг.

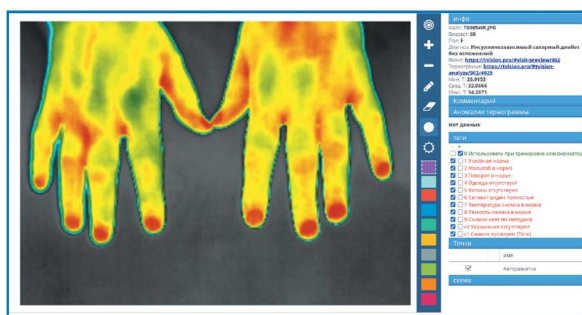


Рисунок 4. Термограмма кистей пациента (жен., 68 лет). Диагноз: СД 2 типа без осложнений [E11.9]. «Обратный» ПДГ: справа минус 1,1°C, слева минус 1,0°C. Гликемия 6–7–8,2 ммоль, гликированный гемоглобин 6,8%.

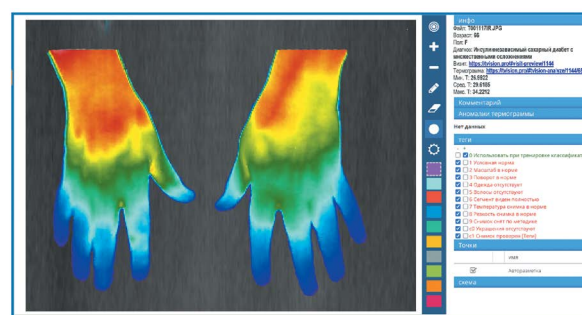


Рисунок 5. Термограмма кистей пациента (жен., 66 лет). Диагноз: СД первого типа [E10] с декомпенсацией: диабетическая полинейропатия. «Квазинормальный» ПДГ: справа +1,2°C, слева +1,1°C. Гликемия 7,5–12 ммоль, гликированный гемоглобин 8,7%.

показателем ранней диабетической нейропатии, и тепловидение надежно в ее оценке, свидетельствуют многие другие работы [8, 9, 16, 21].

Существуют достаточные доказательства того, что полинейропатия тонких волокон может предшествовать СД, вовлекая верхние конечности в патологический процесс [1, 17]. Из-за большей уязвимости мало- и немиелинизированных нервных волокон к метаболическим изменениям их повреждения при гипергликемии могут проявляться раньше и менее выражено, чем сенсорно-моторные нейропатии [7].

Несмотря на противоречивость данных о нарушениях в капиллярном звене при диабетической микроангиопатии, большинство авторов сходится в том, что выраженность этих изменений коррелирует со стадией развития СД и степенью компенсации. Важно отметить, что на пальцах рук капилляров больше, чем на пальцах ног [19].

Опираясь на приведенные выше факты, можно предположить, что развитие патологии приведет к изменению нормального соотношения температур проксимальных и дистальных фаланг пальцев на руках. У пациентов с нарушением глюкозного обмена в результате патофизиологических изменений можно ожидать превышения температуры дистальных фаланг над проксимальными («инверсия ПДГ») в начальных (не исключено, что и в доклинических), стади-

ях заболевания. В дальнейшем по мере прогрессирования заболевания или при тяжелом течении процесса возможно возвращение к условно нормальному ПДГ, который можно назвать «квазинормальным», поскольку он является, скорее всего, свидетельством не восстановления, а углубления периферической ангионейропатии с последующим переходом к ишемизации дистальных отделов (что более характерно для нижних конечностей).

Следовательно, у пациентов с нарушением обмена глюкозы можно ожидать появления двух вариантов термопаттерна: «обратный ПДГ» и «квазинормальный ПДГ», — что, вероятно, зависит от длительности и тяжести нарушений, и, несомненно, должно явиться предметом углубленного изучения.

И действительно, оба эти варианта обнаружены у исследованных пациентов. При этом, согласно высказанным предположениям, вариант «инверсии» существенно чаще фиксировали у пациентов 1 группы (88%), второй вариант, — чаще во второй (у 32% пациентов) и третьей (18%) группах с более тяжелыми проявлениями болезни.

Важность выявленной достоверной разницы средних значений ПДГ между группами пациентов с неосложненным и осложненным течением СД, с нашей точки зрения, состоит в том, что измеряемый цифровой показатель, определение которого не зависит ни от опыта и навыков исследователя,

Таблица 1
Распределение вариантов ПДГ на кистях рук

	1 группа (n=50)		2 группа (n=25)		3 группа (n=45)	
	Пр. рука	Лев. рука	Пр. рука	Лев. рука	Пр. рука	Лев. рука
«Квазинормальный» ПДГ	6 (12%)	5 (10%)	8 (32%)	8 (32%)	8 (18%)	8 (18%)
«Обратный» ПДГ	44 (88%)	45 (90%)	17 (68%)	17 (68%)	37 (82%)	37 (82%)

Таблица 2
Средние значения ПДГ на пальцах рук в группах пациентов (°C)

	1 группа	2 группа	3 группа
ПДГ пр.	-0,75±0,61	-0,39±0,9	-0,44±0,69
ПДГ лев.	-0,71±0,54	-0,27±0,94	-0,37±0,64

ни от субъективных ощущений пациента, может быть маркером определенной стадии и способен отразить тенденцию течения болезни: повышение значения ПДГ у конкретного пациента, согласно полученным данным, может отражать переход к более тяжелому, осложненному течению диабета.

Таким образом:

— полученные данные подтверждают высказанные предположения о существовании на руках ТПВ признаков нарушения обмена глюкозы в виде отличных от принятой нормы проксимально-дистальных температурных градиентов;

— оценка численного значения ПДГ (сохранение «обратного» градиента, его повышение или трансформация в «квазинормальный») может быть полезной при оценке тяжести течения инсулиннезависимого СД и эффективности проводимого лечения.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о наличии на руках ТПВ признаков СД, что открывает перспективы для развития методики ТПВ скрининга этой патологии в определенных группах пациентов и разработки инструмента оценки эффективности терапии: повышение значения ПДГ или ложная «нормализация» показателя могут быть критериями прогрессирования заболевания.

Представленные данные, разумеется, не отражают всего спектра вопросов ТПВ диагностики СД. Для верификации результатов и изучения ТПВ признаков в различных возрастных и клинических группах, безусловно, требуется продолжение исследования.

Список литературы:

- Белова А.Н., Кудыкин М.Н., Шейко Г.Е. Диабетическая периферическая нейропатия: эпидемиология, патогенез, клиника, диагностика, лечение // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. 2016;24(4):139–151. doi:10.23888/pavlovj20164139–151.
- Воловик М.Г., Долгов И.М. Современные возможности и перспективы развития медицинского тепловидения // Медицинский алфавит. 2018;3(25):45–51.
- Дедов И.И., Токмакова А.Ю., Егорова Д.Н., Галстян Г.Р. Клинические рекомендации по диагностике и лечению синдрома диабетической стопы. М., 2015. 17 с.
- Павлов Ю.И. Характеристика параметров кровотока при различных формах синдрома диабетической стопы // Ангиология и сосудистая хирургия 2005;11(3):21–25.
- Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В. и др. Эпидемиология сахарного диабета в Российской Федерации: что изменилось за последнее десятилетие? // Терапевтический архив. 2019;91(10):4–13. doi:10.26442/00403660.2019.10.000364.
- Ahmad J. The diabetic foot // *Diabetes Metab Syndr Clin Res Rev*. 2016;10:48–60. doi:10.1016/j.dsx.2015.04.002
- Albers J.M., Hermann W.H., Pop-Bususi R. et al. Subclinical neuropathy at trial completion possible predictors of incident neuropathy? // *Diabetes Care*. 2007;30(10):2613–18. <http://dx.doi.org/10.2337/dc07-0850>.
- Astasio-Picado Á., Escamilla Martínez E., Gómez-Martín B. Comparison of thermal foot maps between diabetic patients with neuropathic vascular neurovascular and no complications // *Current Diabetes Reviews* 2019; 15 (6): 503–509. doi:10.2174/1573399815666190206160711.
- Bagavathiappan S., Philip J., Jayakumar T. et al. Correlation between Plantar Foot Temperature and Diabetic Neuropathy: a case study by using an infrared thermal imaging technique // *J Diabetes Sci Technol*. 2010 Nov;4(6):1386–1392. doi:10.1177/193229681000400613.
- Bharara M., Cobb J.E., Claremont D.J. Thermography and thermometry in the assessment of diabetic neuropathic foot: a case for furthering the role of thermal techniques // *Int J Low Extrem Wounds*. 2006;5:250–260. doi:10.1177/1534734606293481.
- Bharara M., Schoess J., Armstrong D.G. Coming events cast their shadows before: detecting inflammation in the acute diabetic foot and the foot in remission // *Diabetes Metab Res Rev*. 2012;28(1):15–20. doi:10.1002/dmrr.2231.
- Bränemark P.I., Fagerberg S.E., Langer L., Save-Söderbergh J. Infrared thermography in diabetes mellitus. A preliminary study // *Diabetologia*. 1967 Dec 1; 3 (6): 529–532. <https://doi.org/10.1007/BF01213572>.
- Frykberg R.G., Gordon I.L., Reyzelman A.M. et al. Feasibility and efficacy of a smart mat technology to predict development of diabetic plantar ulcers // *Diabetes Care*. 2017;40:973–980. doi:10.2337/dc16-2294.
- Gatt A., Formosa C., Cassar K. et al. Thermographic patterns of the upper and lower limbs: baseline data // *Int. J. Vasc. Med.*, 2015;15:831369. doi:10.1155/2015/831369.
- Guimarães C.M.D.de Sá, Balbino L.F., Brioschi M.L. Imagens infravermelhas na avaliação do pé diabético // *Surg Cosmet Dermatol*. Rio de Janeiro, abr-jun. 2018;10(2):116–120. doi: <http://www.dx.doi.org/10.5935/scd1984-8773.20181021154> [in Portugal].
- Harding J.R., Wertheim D.F., Williams R.J. et al. Infrared Imaging in Diabetic Foot Ulceration // *European Journal of Thermology*. October 1988;8:145–149. doi:10.1109/IEMBS.1998.745591.
- Hauer J.L., Boland O.M., Ewing D.J., Clarke B.F. Hand skin blood flow in diabetic patients with autonomic neuropathy and microangiopathy // *Diabetes Care*. 1991;14(10):897–902. doi:10.2337/diacare.14.10.897
- IDF diabetes atlas (IDF-2019), 9th ed. International Diabetes Federation, 2019. 176 pp.
- Jung P., Trautinger F. Capillaroscopy of toes // *Dtsch Dermatol Ges*. 2013;11(9):855–866. doi:10.1111/ddg.12117.
- Lahiri B., Bagavathiappan, Raj B., Philip J. Infrared Thermography for Detection of Diabetic Neuropathy and Vascular Disorder. In: *Application of Infrared to Biomedical Sciences, Series in BioEngineering*. E.Y.K.Ng and M.Etehadtavakol (eds.). Springer, Verlag, 2017. pp. 217–247. doi:10.1007/978-981-10-3147-2_13.
- Lavery L.A., Petersen B.J., Linders D.R. et al. Unilateral remote temperature monitoring to predict future ulceration for the diabetic foot in remission // *BMJ Open Diabetes Res Care*. 2019;7(1):e000696. doi:10.1136/bmjdc-2019-000696.
- Macdonald A., Petrova N., Ainarkar S. et al. Thermal symmetry of healthy feet: a precursor to a thermal study of diabetic feet prior to skin breakdown // *Physiol. Meas*. 2017;38(1):33–44. doi:10.1088/1361-6579/38/1/33.
- Renner C.F.-J. The abrupt temperature changes in the plantar skin thermogram of the diabetic patient: looking in to prevent the insidious ulcers // *Diabetic Foot & Ankle*. 2018;9:1,1430950. doi:10.1080/2000625x.2018.1430950.
- Shahani B.T., Halperin J.J., Boulu P., Cohen J. Sympathetic skin response — A method of assessing unmyelinated axon dysfunction in peripheral neuropathies // *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1984;47:536–542. doi:10.1136/jnnp.47.5.536.
- Uccioli L., Mancini L., Giordano A. et al. Lower limb arterio-venous shunts, autonomic neuropathy and diabetic foot // *Diabetes Res Clin Pract*. 1992;16:123–130. doi:10.1016/0168-8227(92)90083-4.
- Uematsu S., Edwin D.H., Jankel W.R. et al. Quantification of thermal asymmetry. Part 1: Normal values and reproducibility // *J Neurosurg*. 1988;69:552–555. doi:10.3171/jns.1988.69.4.0552.
- Vardasca R., Ring E.F.J., Plassmann P., Jones C.D. Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects // *Thermology International* 2012;22(2):53–60.
- Watkins P.J. The diabetic foot // *Br Med J*. 2003;326:977–979. doi:10.1136/bmj.326.7396.977.
- Yang Z., Zhang Y., Chen R. et al. Simple tests to screen for diabetic peripheral neuropathy // *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2018, Issue 7. Art. No.: CD010975. doi:10.1002/14651858.cd010975.pub2

Для цитирования: Долгов И.М., Воловик М.Г. Проксимально-дистальный температурный градиент на кистях рук как тепловизионный признак нарушения углеводного обмена. Варианты, перспективы применения. Медицинский алфавит. 2020; (25): 48–52. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-25-48-52>

For citation: Dolgov I.M., Volovik M.G. Temperature proximal-to-distal hand gradient as a thermography signs of altered glucose metabolism. Variations and perspective to use. Medical alphabet. 2020; (25):48–52. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-25-48-52>

