

УДК 57.087; 57.083.32

© Коллектив авторов, 2025

ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ И ЦИФРОВОЙ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КОЖНЫХ ТЕСТОВ С ИНФЕКЦИОННЫМИ АЛЛЕРГЕНАМИ

Митин Ю.А.¹, Пастушенков В.Л.²

¹ ООО «Витамед», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУ «СПб НИИ ЛОР» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Возможность регистрации инфракрасного излучения обусловила целесообразность создания тепловидения (термографии) для исследования температурных аномалий. Медицинское тепловидение – это метод дистанционной визуализации инфракрасного излучения тканей, осуществляемый с помощью специальных оптико-электронных приборов – тепловизоров, преобразующих инфракрасное излучение в видимый свет. Излучение тела с помощью специального объектива проецируется на матрицу тепловизора. После преобразования на экране формируется детальный тепловой портрет. Участки с различными температурами отличаются цветом или интенсивностью. Пилотным экспериментальным исследованием, на примере туберкулезной инфекции, показана возможность получения и цифровой обработки инфракрасной термографической картины результатов кожных проб с allergенами, включая измерение температурных параметров очагов изменений кожи в местах кожных проб с сохранением результатов измерений и картины инфракрасного излучения в местах проведения кожных проб. Отработаны условия, включающие диапазон температурных условий измерения, ограничения, связанные с искусственной вентиляцией и освещением, создана и запатентована методика оценки результатов кожных проб с помощью измерения и цифровой обработки термограмм.

Ключевые слова:

тепловидение, allergены, воспаление, оценка результатов кожных проб.

POSSIBILITIES OF REGISTRATION AND DIGITAL THERMOGRAPHIC ASSESSMENT OF SKIN TESTS WITH INFECTIOUS ALLERGENS

Mitin Yu.A.¹, Pastushenkov V.L.²

¹ LLC "Vitamed", St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

Abstract

The possibility of recording infrared radiation has made it expedient to create thermal imaging (thermography) for the study of temperature anomalies. Medical thermal imaging is a method of remote visualization of infrared radiation from tissues, carried out using special optoelectronic devices – thermal imagers that convert infrared radiation into visible light. The radiation from the body is projected onto the thermal imaging sensor using a special lens. After the conversion, a detailed thermal portrait is formed on the screen. Areas with different temperatures differ in color or intensity. A pilot experimental study, using the example of tuberculosis infection, has shown the possibility of obtaining and digitally processing an infrared thermographic picture of the results of skin tests with allergens, including measuring the temperature parameters of skin lesions at the sites of skin tests while preserving the measurement results and infrared radiation patterns at the sites of skin tests. Conditions have been worked out, including a range of temperature measurement conditions, restrictions related to artificial ventilation and lighting, and a methodology for evaluating skin test results using measurement and digital processing of thermograms has been created and patented.

Keywords:

thermal imaging, allergens, inflammation, evaluation of skin test results.

Введение

Организм человека, как и любое нагретое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, излучает электромагнитные волны в широком спектре частот. Физическая сущность теплового радиоизлучения заключается в наличии заряженных частиц (электроны, ионы), которые находятся в хаотическом движении и обладают свойства-

ми электрической или магнитной полярности. Интенсивность этих процессов пропорциональна температуре тела и его излучающей способности. Поскольку движение частиц хаотическое, они создают радиоволны различной длины.

Инфракрасное (ИК) излучение или инфракрасные лучи, это электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между крас-

ным концом видимого света (с длиной волны 0,74 мкм) и коротковолновым радиоизлучением (1-2 мм). Инфракрасную область спектра согласно международной классификации разделяют на ближнюю IR-A (от 0,7 до 1,4 мкм), среднюю IR-B (1,4 - 3 мкм) и далёкую IR-C (свыше 3 мкм). Нагретые твёрдые тела излучают непрерывный инфракрасный спектр, т.е. в излучении твердых тел присутствуют все частоты в определенном диапазоне (спектре) волн.

Человеческое тело имеет температуру в интервале от 31 до 42°C и является источником преимущественно ИК излучения в диапазоне волн длиной от 4 до 50 мкм. При этом максимальная плотность излучения кожи человека происходит при длине волны 9-16 и более мкм. Таким образом, в длинноволновой области величина инфракрасного излучения примерно составляет: при длине волны до 5 мкм – до 1%, от 5 до 9 мкм – 20%, от 9 до 16 мкм – 30%, выше 16 мкм – более 41%.

Глубина эффективного измерения температуры равна толщине излучающего слоя, например, кожи тела человека, и определяется как расстояние, на которое распространяется электромагнитная волна от поверхности объекта до того слоя, в котором ее интенсивность уменьшается в 2,73 раза. При прочих равных условиях чем больше длина волны, тем больше глубина, с которой можно регистрировать температурные изменения.

Возможность регистрации инфракрасного излучения обусловила целесообразность создания ИК тепловидения (термографии) для исследования температурных аномалий [1].

Существующие в настоящее время способы регистрации ИК излучения кожи человека можно разделить на две группы: контактные и дистанционные. Во всех случаях используется специальный диагностический подход – тепловизионная термография, основанная на измерении и регистрации теплового излучения тела человека или его отдельных участков [2].

Так, распределение температуры на небольшом участке поверхности кожи можно определить контактным методом, с помощью специальных жидкокристаллических пленок. Такие пленки чувствительны к небольшим изменениям температуры (меняют цвет). В основе метода лежит способность холестерических кристаллов изменять цвет в зависимости от интенсивности и волнового диапазона инфракрасного излучения поверхностей, на которую они нанесены. Поэтому на пленке возникает цветной тепловой «портрет» участка тела, на который она наложена.

Однако, измерение теплового излучения тела человека в ИК диапазоне дает истинную температуру только самого верхнего слоя кожи толщиной в доли миллиметра. О температуре подлежащих тканей и органов можно судить опосредованно и только, когда температурные изменения «проецируются» на кожные покровы.

Медицинское тепловидение – это метод дистантной визуализации ИК излучения тканей, осуществляемый с помощью специальных оптико-электронных приборов – тепловизоров [3]. Метод основан на использовании тепловизоров, преобразующих инфракрасное излучение в видимый свет. Излучение тела с помощью специального объектива проецируется на матрицу тепловизора. После преобразования на экране формируется детальный тепловой портрет. Участки с различными температурами отличаются цветом или интенсивностью.

Такие тепловые портреты, получаемые с помощью стационарных тепловизионных комплексов, широко используются в современной функциональной диагностике. Различные патологии внутренних органов могут образовывать на поверхности кожные зоны с измененной картиной инфракрасного излучения. Обнаружение таких зон указывает на наличие патологии. Этот метод является объективным средством контроля за эффективностью терапевтических методов лечения.

Так, при термографическом исследовании больных псориазом было установлено, что при наличии выраженной инфильтрации и гиперемии в бляшках отмечается повышение температуры. Снижение температуры до уровня окружающих участков в большинстве случаев свидетельствует о регрессии процесса на коже. По данным научных исследований показано, что в длинноволновой инфракрасной области (8-14 мкм) кожа человека излучает почти как абсолютно черное тело, независимо от возраста, степени пигментации и других особенностей. На практике доказано [3], что различие между характеристиками излучения кожи человека и абсолютно черного тела невелико (не более 1%) и зависит, в основном, от влияния окружающего фона, а температура поверхности кожи находится в узком диапазоне +31,6-36,1 °C. Интенсивность излучения связана с температурой поверхности кожи, и применительно к такому диапазону изменений температуры, данные измерения отличаются высокой точностью.

В современной медицинской практике используются различные аллергические кожные пробы, постановка которых осуществляется путем введе-

ния в кожу различных аллергенов и оценки через фиксированное время последующей величины и характера возникающего отёка, воспаления и инфильтрации кожи в ответ на конкретный аллерген. В настоящее время постановка кожных аллергических проб (кожных тестов) проводится с помощью известных методик. В зависимости от способа введения аллергена используют различные варианты методик кожных тестов, например, прик-тесты, скарификационные, внутрикожные, капельные, аппликационные. Оценка результатов кожных проб производится известным способом, применяемым с 60-х годов 20 века, на основе сочетания визуальной оценки воспалительных изменений кожи в местах введения аллергенов, а также измерения с помощью прозрачной линейки размера элементов в миллиметрах.

Итак, способ оценки результатов всех видов кожных тестов в настоящее время – визуальный, с оценкой гиперемии кожи, наличия волдыря, псевдоподий или инфильтрата (папулы), с измерением длины данных объектов с помощью прозрачной линейки в миллиметрах.

Материалы и методы.

С целью определения возможности регистрации и цифровой термографической оценки кожных тестов с инфекционными аллергенами нами были проведены кожные пробы с инфекционными аллергенами, специальными для возбудителя туберкулезной инфекции. В настоящее время в РФ, соответствии с приказом МЗ РФ №124н от 21.03.2017, с целью диагностики и профилактики туберкулеза проводятся кожные тесты с инфекционными аллергенами – проба Манту или Диаскинвест. Результаты этих проб оценивают

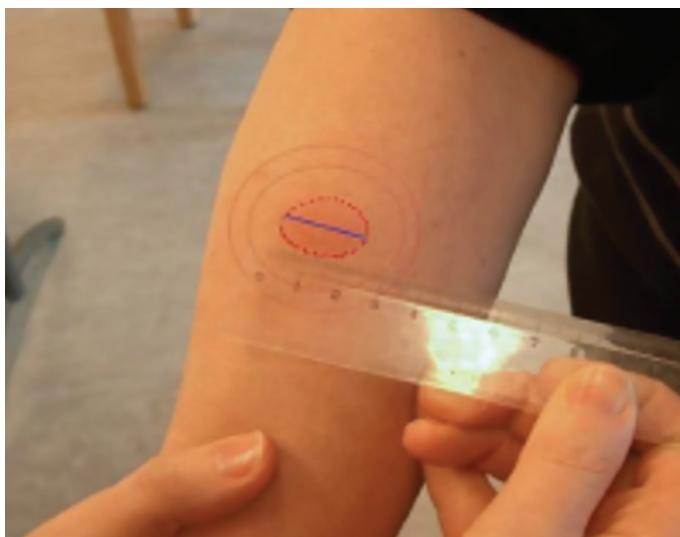


Рис. 1. Оценка результатов кожного теста с помощью прозрачной линейки

через 72 часа. Линейкой с миллиметровыми делениями измеряют и регистрируют поперечный (по отношению к оси предплечья) размер инфильтрата, а при отсутствии инфильтрата измеряют и регистрируют гиперемию.

В настоящее время чаще всего в медицинской практике используется Диаскинвест. При внутрикожном введении аллерген Диаскинвеста вызывает у лиц с туберкулезной инфекцией специфическую кожную реакцию, являющуюся проявлением гиперчувствительности замедленного типа [4].

Всего нами были проведены 93 внутрикожных пробы с аллергеном туберкулезным рекомбинантным в стандартном разведении (Диаскинвеста). Аллерген, используемый при проведении исследования для постановки кожной пробы, представлял собой рекомбинантный белок, продуцируемый генетически модифицированной культурой *Escherichia coli* BL21(DE3)/pCFP-ESAT. Содержал 2 антигена, присутствующие в вирулентных штаммах микобактерий туберкулеза и отсутствующие в вакцинном штамме БЦЖ.

Постановку пробы проводили обследуемому в положении сидя. После обработки участка кожи на внутренней поверхности средней трети предплечья 70% этиловым спиртом, в верхние слои натянутой кожи параллельно ее поверхности вводили 0.1 мл препарата туберкулезного рекомбинантного аллергена. В соответствии с методическими рекомендациями через 72 часа после введения инфекционного аллергена, проводилась стандартная оценка реакции кожи на месте введения данного аллергена [5].

В соответствии с методическими рекомендациями реакцию на пробу с аллергеном туберкулезным рекомбинантным считали:

1. Отрицательной – при полном отсутствии инфильтрата (папулы) или гиперемии или при наличии узелочной реакции (возможно в виде «синячка» 2–3 мм);
2. Сомнительной – при наличии гиперемии любого размера без инфильтрата;
3. Положительной – при наличии инфильтрата (папулы) любого размера.

Различали следующие ответные положительные кожные пробы: слабо выраженная – при наличии инфильтрата размером до 5 мм; умеренно выраженная – при размере инфильтрата 5–9 мм; выраженная – при размере инфильтрата 10 мм и более; гиперергическая – при размере инфильтрата 15 мм и более, а также везикуло-некротические реакции, независимо от размера инфильтрата, с лимфангиитом или без него.

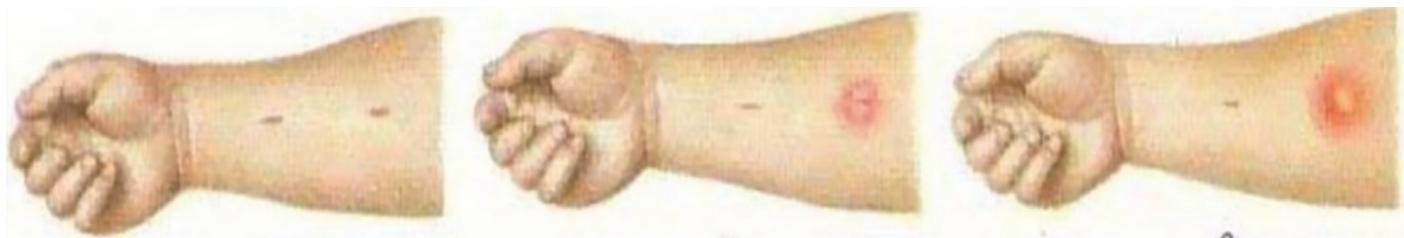


Рис. 2. Варианты оценки реакции методикой Диаскнеста А – Слабо выраженная; Б – Умеренно выраженная; В – Гиперergicическая

Прозрачной линейкой фабричного изготовления измеряли поперечный (по отношению к оси предплечья) размер инфильтрата (папулы) в миллиметрах [6]. При отсутствии инфильтрата измеряли гиперемию.

Одновременно с стандартной методикой оценки кожных проб проводилась их фото- и термографическая съемка с фиксацией фото и термограмм на цифровой носитель для последующей обработки.

Результаты и обсуждение

Задача тепловизионной оценки результатов кожных аллергических проб с инфекционными аллергенами решалась с помощью тепловизора, расположенного на минимальном фокусном расстоянии – не менее 50 см от поверхности кожи в термонейтральной зоне, при отсутствии принудительной вентиляции.

Исследование проводили в соответствии с требованиями главы I СанПиН 2.1.3.2630-10 (приложение 3) для процедурных кабинетов, в условиях температуры окружающего воздуха в диапазоне +22–26°C. Данный диапазон температуры является оптимальным условием для проведения тепловизионных исследований. Для контроля за изменениями внешних температурных условий, совместно с тепловизионным исследованием, проводили термометрию воздуха в помещении кабинета.

До начала исследования пациент в течение 30 минут, в соответствии с рекомендациями для проведения тепловизионных исследований, проходил температурную адаптацию в соседнем помещении с температурой, близкой к температуре помещения кабинета для проведения и оценки кожных проб. Все исследования проводились исключительно в позе сидя, предплечье пациента лежало на столике для постановки кожных проб.

С целью лучшей визуализации при проведении исследований использовался диапазон измере-

ния тепловизора, включающий оттенки синего и красного цветов, что позволяло различать неизмененные (синего цвета) и воспаленные (различные оттенки красного цвета) участки кожи. Измерение температуры проб проводилось в диапазоне температур +30°C - +37°C, с целью повышения точности проводимых исследований.

Инфракрасное излучение участка тела, куда ранее вводились аллергены, с помощью специального объектива проецировалось на матрицу тепловизора. После преобразования на экране формировалась инфракрасная термограмма. Участки с различными температурами отличались цветом и его интенсивностью. С целью устранения возможного влияния на результаты измерений факторов погрешности, при проведении процедуры измерения, постоянно осуществлялся контроль внешних условий.

На полученных тепловизионных инфракрасных термограммах фиксировали участки изменений кожи, в местах введения аллергенов, после чего сохраняли фото и теплографмы результатов кожных проб и данные измерений, в том числе, показатели температуры окружающего воздуха. Также совместно с оценкой участков кожи в местах постановки кожных проб с сохраняли данные термометрии воздуха в момент оценки проб.

Как мы уже отмечали, стандартный способ оценки обладает существенными недостатками, к которым относятся: субъективный характер оценки изменений кожи, измерение только одного параметра (длины), а не площади участка воспаления; измерение проводится с помощью линейки, отсутствие возможности измерения инфракрасного излучения, характерного для воспалительных изменений участков кожи в месте введения аллергенов, невозможность сохранения и цифровой обработки материалов исследования.

В результате проведенных исследований были отработаны условия, включающие диапазон тем-

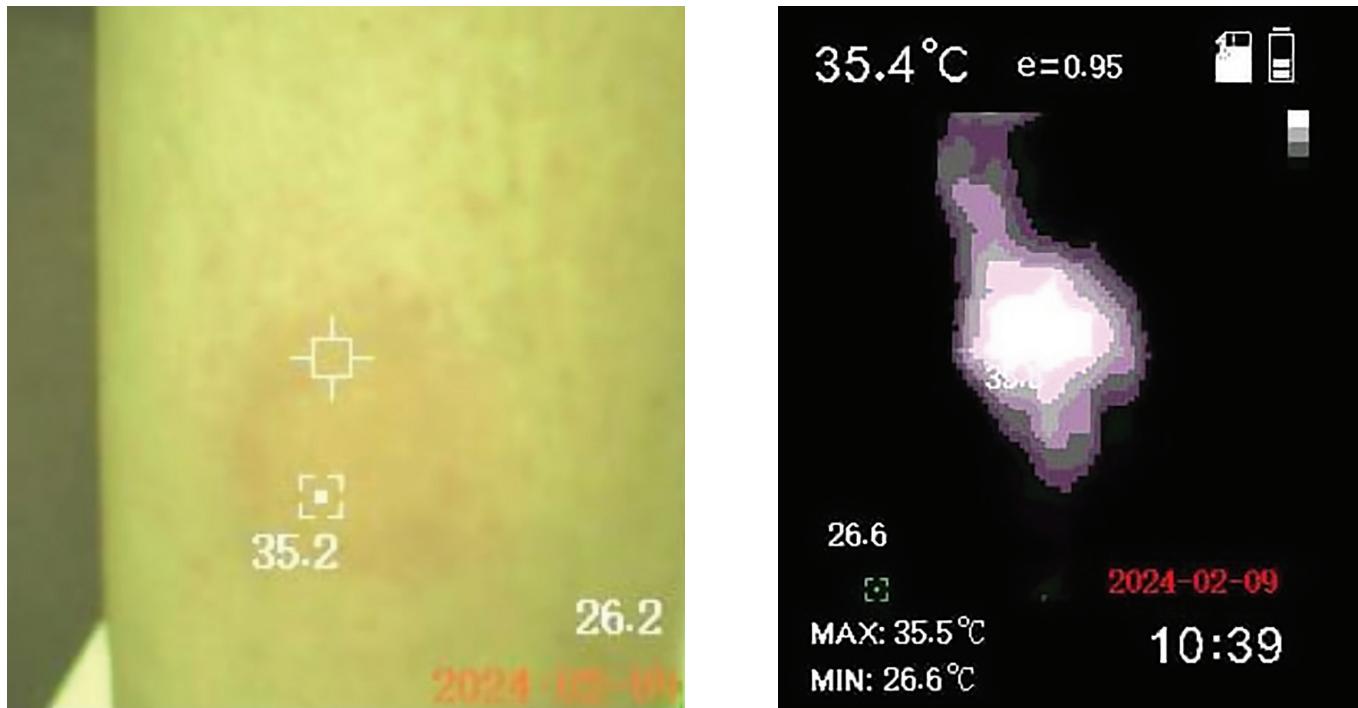


Рис. 3. Положительная проба в видимом спектре (слева) и на теплограмме (справа)

пературных условий измерения, ограничения, связанные с искусственной вентиляцией и освещением, создана и запатентована методика оценки кожных проб с помощью тепловизионного измерения и обработки.

Проведенные исследования позволили получить термографические картины результатов кожных проб. Инфракрасное излучение участка тела, куда ранее вводились аллергены, с помощью специального объектива проецировалось на матрицу тепловизора. После преобразования на экране формировалась инфракрасная термограмма. Участки с различными температурами отличались цветом и его интенсивностью. С целью устранения возможного влияния на результаты измерений факторов погрешности, при проведении процедуры измерения, постоянно осуществлялся контроль внешних условий.

Использование при проведении исследований диапазона измерения тепловизора, включающего оттенки синего и красного цветов, позволяло различать неизмененные (синего цвета) и воспаленные (различные оттенки красного цвета) участки кожи. Измерение температуры кожи в области проб в физиологически соответствующем данному организма диапазоне температур +30–37°C, повышало точность термографических результатов проводимых исследований.

Следовательно, имеются все предпосылки для разработки, а в последующем использования те-

пловизионной оценки воспалительной реакции кожи на введение как инфекционных, так и неинфекционных аллергенов. При этом возникают совершенно новые возможности: объективная приборная сравнительная оценка участков кожи в местах контроля и введения аллергенов, возможность фиксации и сохранения выявленных изменений в виде тепловизионных изображений, а также температурных параметров очагов изменений в местах кожных проб. Появляется возможность сохранения изображений в цифровом и визуальном формате, сравнения их в динамике как инфекционных, так и неинфекционных заболеваний.

Заключение

Проведенные исследования впервые позволили получить термографические картины результатов кожных проб с аллергенами, были отработаны условия, включающие диапазон температурных условий измерения, ограничения, связанные с искусственной вентиляцией и освещением, создана и запатентована методика оценки результатов кожных проб с помощью измерения и обработки термограмм. Патент на изобретение: способ оценки результатов кожных аллергических проб с инфекционными или неинфекциоными аллергенами №2775582 от 04.07.2022г..

Преимущества предложенного способа заключается в объективном приборном способе измерений величины инфракрасного излучения

участков кожи, измененных в результате аллергического воспаления в местах проведения кожных проб; возможности получения и сохранения инфракрасных термограмм и производных температурных параметров очагов аллергического воспаления в местах кожных проб; возможности цифровой обработки результатов измерений инфракрасного излучения в местах проведения кожных проб; возможности сравнительной оценки термограмм в динамике заболевания.

Таким образом, основной задачей, на решение которой было направлено наше исследование, явилось создание методического подхода, а на его основе впоследствии оптико-цифрового аппаратно-программного комплекса, предназначенногодля объективной оценки результатов кожных аллергических проб с возможностью сохранения и оценки выявленных изменений в динамике заболеваний.

Литература

1. Коротаев В.В., Мельников Г.С., Михеев С.В., Самков В.М., Солдатов Ю.И. Основы тепловидения – СПб: НИУ ИТМО, 2012 – 122 стр.
2. Ачкасов Е.Е., Воловик М.Г., Долгов И.М., Колесов С.Н. Медицинское тепловидение - Москва: ИНФРА-М, 2023.-218 с.
3. Ураков А.Л. Инфракрасное тепловидение и термология как основа безопасной лучевой диагностики в медицине // Фундаментальные исследования. – 2013. – №9-4. – С. 747-751.
4. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 21.03.2017 №124н "Об утверждении порядка и сроков проведения профилактических медицинских осмотров граждан в целях выявления туберкулеза".
5. Аллергология. Федеральные клинические рекомендации. Под редакцией академика РАН Р.М. Хайтова, проф. Н.И. Ильиной. //М.: «Фармарус Принт Медиа», 2014., 126 с.
6. Федеральные клинические рекомендации по диагностике аллергических заболеваний. // Москва, 2015, 22 с.
7. Клинические рекомендации – Аллергический ринит – 2024-2025-2026(11.07.2024) – Утверждены Минздравом РФ.М.: 2024, 53 с.

Контакты авторов:

Митин Юрий Алексеевич
e-mail: rgva@mail.ru

Конфликт интересов: отсутствует