

ТЕПЛОВИДЕНИЕ В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В РЕВМАТОЛОГИИ
(научный обзор литературы)

О.А. КАМЗОЛОВА

Тульский государственный университет

Аннотация. В данной работе рассмотрена возможность применения матричных инфракрасных радиометрических систем высокого разрешения в ревматологии с целью диагностики и контроля эффективности лечения ревматических заболеваний. При обследовании пациентов с наиболее распространенными видами ревматической патологии проводилось определение корреляционных соотношений между характером поражения костно-мышечной системы и пространственным распределением поверхностных температур, сравнительный анализ между распределением поверхностных температур в норме и при наличии ревматической патологии. При проведении курса терапии оценивалась динамика показателей термовизионного контроля.

Ключевые слова: ревматические заболевания, термография, артриты.

THERMAL IMAGING IN THE EVALUATION OF THE EFFICIENCY
OF REMEDIAL ACTION IN RHEUMATOLOGY
(scientific review)

O.A. KAMZOLOVA

Tula State University

Abstract. This paper presents the possibility of applying the matrix radiometric infrared systems and high-resolution rheumatology for the purpose of diagnostics and treatment efficiency control of rheumatic diseases. Definition of correlations between the nature of bone-muscular system and spatial distribution of surface temperatures, a comparative analysis between the distribution of the surface temperature in the norm and in the presence of rheumatic pathology were carried out during the examination of patients with the most common types of rheumatic pathology. During the course of therapy dynamics of indicators thermo-visual control was estimated.

Key words: rheumatic diseases, thermography, arthritis.

Ревматические заболевания (РЗ) – большая группа различных по происхождению воспалительных и дегенеративно-метаболических болезней, поражающих все структуры соединительной ткани, сосуды, внутренние органы, кожные покровы и слизистые оболочки, и носящих, как правило, системный характер. Объединяющими большинство РЗ синдромами являются различной степени выраженности артрит (от проходящей припухлости суставов до стойкого прогрессирующего деструктивного полиартрита) и боль, прежде всего – суставная и мышечная. Проблема РЗ актуальна во всем мире. Об этом свидетельствует провозглашение по инициативе *Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ)* первого десятилетия XXI века Декадой костей и суставов («Bone and Joint Decade, 2000–2010») [3, 6]. Это обусловлено распространенностью и разнообразием РЗ, объединяющих более 100 различных воспалительных, невоспалительных и метаболических болезней и синдромов, проявляющихся патологией суставов и околоуставных мягких тканей, позвоночника, мышц, хрящей и костей, а также системным поражением соединительной ткани. РЗ встречаются у людей любого возраста, начиная с детского, но имеют четкую тенденцию к значительному накоплению по мере старения населения.

Становится очевидным тот факт, что хронические РЗ, если и не приводят непосредственно к летальному исходу, то достоверно сокращают продолжительность жизни больных, в частности, вследствие индуцирования раннего атеротромбоза и связанных с последним сосудистых катастроф (инсульты, инфаркты миокарда) [14]. РЗ являются причиной существенных временных и стойких трудовых потерь общества и способствуют преждевременной смерти значительных контингентов населения.

Существуют различные методы функциональной диагностики РЗ. Первоначально изменения в суставах определяют на основании опроса и осмотра пациентов, которые ограничены субъективностью восприятия информации врачом и субъективной оценкой своих ощущений пациентом. Кроме обычного клинического обследования и некоторых неспецифических лабораторных тестов, используются биохимические исследования *синовиальной жидкости (СЖ)*, рентгенографическое исследование, *магнитно-резонансную томографию (МРТ)*, остеосцинтиграфию, *ультразвуковое исследование (УЗИ)*, а также *артроскопию* и *биопсию* синовиальной оболочки.

Артроскопия, как прямое визуальное исследование полости сустава, позволяет выявлять воспалительные, травматические или дегенеративные поражения менисков, связочного аппарата, поражений хряща, синовиальной оболочки. При этом имеется возможность прицельной биопсии пораженных участков суставов. Артроскопические манипуляции могут выполняться как для диагностики, так и для лечения многих ортопедических нарушений.

Биопсия синовиальной оболочки проводится двумя способами – с помощью пункции сустава или во время артроскопии.

Исследование СЖ позволяет дифференцировать дистрофические и воспалительные заболевания суставов, выделять в ряде случаев определенные нозологические формы. Лабораторный анализ СЖ предусматривает определение физико-химических характеристик, а также проведение микроскопического, бактериоскопического и бактериологического исследований. Определяют количество, цвет, прозрачность, вязкость, муциновый сгусток, pH, оптическую плотность. Визуальная оценка состояния СЖ и ее вязкости делается во время пункции большого сустава, что является процедурой небезопасной и может вызвать серьезные осложнения.

Рентгенографическое исследование позволяет оценить только структурные изменения в суставах и костях и взаимоотношение костных образований, но не визуализирует мягкие ткани сустава. Источником же боли зачастую являются воспалительные процессы мягких тканей: синовиты, бурситы, тендиниты, лигаментиты. Рентгенография не отражает тяжесть и стадию воспалительного процесса на момент исследования.

МРТ позволяет определять строение суставов, получить очень четкую картину мягких тканей, дегенеративных заболеваний суставов. При этом определяются даже небольшие разрывы сухожилий, связок и мышц, переломы, не видимые на обычных рентгенограммах. Высокая разрешающая способность МРТ позволяет выявить объекты размером до нескольких миллиметров, обеспечивает возможность получения изображений в любой проекции, визуализацию любых тканей в норме и при наличии патологии. Принцип работы МРТ основан на динамике магнитных полей, процесс исследования абсолютно безопасен, не представляет риска для здоровья пациента. Но этот метод неприемлем для пациентов при наличии искусственного хрусталика, кардиостимулятора, протезов клапанов сердца, металлических протезов и имплантатов (в т.ч. – ферромагнитных и электронных имплантатов среднего уха), осколков после ранения, наличия аппарата Илизарова, массы 120 и более кг, клаустрофобии, а также при необходимости в физиологическом мониторинге. К недостаткам МРТ относятся дороговизна и возможность неверной трактовки изменений с необходимостью дополнительных исследований.

УЗИ является наиболее быстро развивающимся методом визуализации костно-мышечной системы, основными преимуществами которого, кроме отсутствия лучевой нагрузки, являются: неинвазивность, возможность визуализации мягкотканых компонентов (мышцы, связки, хрящи, сухожилия) и динамического наблюдения в ходе лечения, исследование в режиме реального времени, возможность использования портативной аппаратуры, и экономическая доступность исследования. Ультразвук визуализирует все суставы, кроме височно-нижнечелюстного, из-за малого «акустического окна». При исследовании можно оценить выраженность воспалительного процесса по объему видимой жидкости. Если жидкости много, значит и воспаление в суставе большое и наоборот. При УЗИ визуализируется не только количество, но и структура жидкости – по степени ее неоднородности можно определить давность воспаления.

Остеосцинтиграфия, или скintiграфия скелета (англ. bone scan или bone scintigraphy) – метод радионуклидной диагностики, основанный на введении в организм пациента тропного к костной ткани *радиофармацевтического препарата* (РФП) и последующей регистрации его распределения и накопления в скелете с помощью гамма-камеры. Этот метод востребован ядерной медициной из-за высокой чувствительности выявления патологии возможности дифференциальной диагностики воспалительных и дистрофических поражений суставов. Чувствительность метода основана на способности обнаруживать функциональные, а не структурные изменения. Так на скintiграммах при артропатиях отмечают: увеличение захвата в сосудистой фазе (гиперемия), увеличение захвата в мягкотканой фазе (повышенная проницаемость).

Следует отметить, что все выше названные диагностические методы обеспечивают получение изображений на основе только одного физического параметра (при рентгенографии это коэффициент поглощения рентгеновских лучей, при МРТ – использование физического явления ядерно-магнитного резонанса, при УЗИ это эхогенность тканей, при радионуклидных исследованиях – регистрация гамма-излучения радионуклидов).

Термография (тепловидение) объективно выявляет активные участки повышения либо понижения локальной температуры как до развития явных структурных изменений, так и на стадии выраженных изменений. Метод является неинвазивным, абсолютно безопасным, визуализирующим и объективизирующим способом. При артрите пораженный сустав на термограмме выглядит горячим. Величина температуры коррелирует с тяжестью заболевания и является хорошим индикатором оценки стадии воспаления по ходу лечения. При артрозах – над областью пораженного сустава возникает область снижения температуры. Метод приобретает особенно большую ценность при стертой или скрытой форме поражения малоподвижных суставов, в случаях отсутствия кожных проявлений. При тепловизионном исследовании выявляется повышение местной температуры в проекции пораженного сустава, которое обычно возникает раньше других клиниче-

ских проявлений и сохраняется продолжительное время. При одностороннем поражении диагностическое значение имеет термоасимметрия более $0,6^{\circ}\text{C}$.

Среди существующих диагностических методов исследований *термография, инфракрасная термография* (ИКТ) занимает особое место, учитывая возможность корреляции между выраженностью клинических проявлений заболевания и температурой кожных покровов. Накопленный к настоящему времени клинический опыт применения инфракрасной компьютерной дистанционной ИКТ в различных областях медицины, а также появление нового поколения термографической аппаратуры позволяет регистрировать и адекватно интерпретировать разнообразные и порой весьма незначительные изменения нормального теплового рисунка поверхности тела исследуемого пациента. Особое значение приобретает ИКТ для массовых скрининговых обследований. Многопозиционная обзорная регистрация статического инфракрасного излучения может быть дополнена оценкой динамики тепловых реакций в ответ на функциональные пробы. ИКТ, как диагностический метод, позволяет сколь угодно часто проходить обследование без возрастных и временных ограничений, является одним из методов, обладающим абсолютной безвредностью и отсутствием противопоказаний к ее использованию.

Температура является важной характеристикой функционального состояния биологических тканей и на протяжении многих лет используется в медицинской практике в качестве первоочередного критерия для диагностики различных заболеваний.

ИКТ основана на принципе регистрации температурных распределений по собственному тепловому излучению объектов. Пространственное распределение температур позволяет определить локализацию патологических процессов. Оптический диапазон – очень узкая часть всего спектра электромагнитных волн, большая же часть мира для нашего восприятия попросту закрыта. Около 70% исходящих от человека излучений приходится на зону ИК-излучения, что позволяет увеличить диапазон визуализации при ИКТ.

Температура кожи является интегральным показателем, и в ее формировании принимают участие несколько факторов: сосудистая сеть (артерии и вены, лимфатическая система), уровень метаболизма в органах и теплопроводность кожи. ИКТ, как метод функциональной диагностики, в последнее время завоевывает все большее признание в различных областях медицины, науки и клинической практики [8, 9, 15, 16].

В отличие от большинства применяемых в современной медицине методов обследования, ИКТ удовлетворяет критериям диагностических методов, которые могут применяться для целей профилактического обследования. При этом обеспечивается безопасность для здоровья пациента и врача, так как аппараты только регистрируют тепловое излучение от поверхности тела пациента, не излучая; обследование абсолютно безвредно, дистанционно, неинвазивно. Противопоказаний к ИКТ не существует. Ни один из известных сегодня диагностических методов не имеет такой широты диагностического диапазона, возможности выявления сразу многих групп заболеваний.

Исследование теплового радиоизлучения тела человека с целью ранней диагностики заболеваний было начато В.С. Троицким, первоначально занимавшимся радиоастрономией. Разработка была настолько успешна, что позволяла определять температуру внутренних органов с точностью до $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$. Временем становления ИК-радиотермографии как диагностического теста следует считать конец 50-х – и начало 60-х годов 20-го века, когда во многих клиниках мира появились термографы (теповизоры) – приборы, позволяющие его осуществлять. За последние несколько лет появились медицинские устройства, выполненные с применением матричной ИК-камеры с чувствительностью $0,03^{\circ}\text{C}$ и пространственным разрешением 128×128 элементов на кадр (производства Института физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск), показывающие существенное увеличение диагностических возможностей по сравнению с предыдущими менее чувствительными термовизионными системами [5, 27].

Среди существующих диагностических методов исследований ИКТ занимает особое место, учитывая возможность корреляции между выраженностью клинических проявлений заболевания и температурой кожных покровов. Этот метод открывает новые широкие возможности в диагностике различных заболеваний человека. ИКТ относится к категории исследований, которые расширяют возможности анализа биологических процессов, происходящих в органах и тканях организма. Установлено, что интенсивность ИК-излучения зависит от состояния кровообращения в тканях, активности сосудистых реакций, характера общих и местных обменных процессов, анатомических особенностей участков тела и других факторов и не всегда коррелирует с жалобами больного.

Возможности ИКТ для дифференциальной диагностики сосудистых заболеваний, раннего выявления лиц с риском развития ИБС, в диабетологии [19, 22-26], для оценки эффекта проводимого лечения, выявления предпатологических симптомов и вариантов условной физиологической нормы представлены во многих отечественных и зарубежных публикациях. Возможности ИКТ используются в различных областях неврологии, хирургии, в травматологии, ортопедии, спортивной медицине [7, 12].

Впервые тепловизионное исследование в диагностике костно-суставных поражений ревматической этиологии было применено в институте артрологии Д.Ф. Рингом в 1967 году. Визуализация ревматических поражений обусловлена сосудистым компонентом механизма воспаления. Кровь, притекающая в сосудистое русло при гипертермии, обеспечивает повышение температуры в зоне воспаления, что и отражается на термографической картине. Некоторые исследователи считают, что ИКТ может быть использована как само-

стоятельный метод исследования, в то время, как биохимические признаки воспаления еще отсутствуют. Это единственный инструментальный метод, с помощью которого можно объективно выявить воспаление. Поскольку была доказана корреляция колебаний температуры кожных покровов над поражёнными суставами с тяжестью ревматоидного артрита, подтвердилось предположение поэтапного развития воспаления дистального артрита [20, 28]. Исследовались связи между данными *дистанционной компьютерной термографии* (ДКТ), рентгенографии и УЗИ коленных суставов, пораженных остеоартрозом [1, 2]. Была выявлена корреляционная связь между данными ДКТ, с одной стороны, и клинической характеристикой суставного синдрома у обследованных больных с остеоартрозом, рентгенологической стадией болезни и результатами УЗИ – с другой. Установлена целесообразность использования комплекса инструментальных диагностических методов, включающего рентгенографию, ДКТ и УЗИ, что обеспечивает больший объем информации о состоянии внутрисуставных и внесуставных тканей. Исследовались также возможности диагностики и оценивалась эффективность лечения реактивных артритов [11] с положительным результатом.

При помощи тепловизора оценивалась эффективность и переносимость энзимотерапии на фоне физиотерапевтических процедур в лечении больных остеоартрозом коленных суставов, осложненным реактивным синовитом [10].

При изучении проблемы ранней диагностики *спондилоартропатий* (СА) был сделан вывод, что обследование пациента с подозрением на наличие СА должно начинаться с термографического исследования. Этот метод необходимо использовать в качестве скрининга, показатели чувствительности и точности этого метода достаточно высоки (86,1 и 77% соответственно). Низкая специфичность *термографии* требует уточнения характера выявленных изменений с помощью методов с высокой специфичностью [4].

Для диагностики микрососудистых нарушений при системном склерозе и синдроме Рейно использовали капилляроскопию (капиллярографию), тепловидение и лазерную доплеровскую флоуметрию [23]. Эффективность диагностики в применённых методиках 89, 74 и 72% соответственно, следовательно каждый способ, независимо друг от друга, может использоваться для диагностики перечисленных заболеваний, но точность диагноза повышается при применении всех трёх методов одновременно. Данные по динамическим изменениям микроциркуляции, полученные с помощью лазерной доплеровской флоуметрии и тепловидения, близки, но их результативность значительно уступает методу капиллярографии.

Кроме того, был разработан пакет программ дистанционного артрометрического анализа областей тела человека, представляющий собой средство для вычисления угловых, линейных и скоростных показателей движения конечностей [21]. Данные измерения проводятся в конце обычного тепловизионного исследования и позволяют в рамках одного посещения судить о степени локальной активности воспаления, распространенности поражения, а также о функциональном состоянии пораженных суставов [13].

Техника ИКТ существенно улучшилась за последние годы. Были созданы матричные ИК-термовизионные системы на диапазон 3-5 и 8-12 мкм с пространственным разрешением до 320×240 элементов по полю изображения и чувствительностью, ограниченной тепловыми шумами на уровне 0,02°K. Термографическая техника предоставляет прецизионные возможности для оценки температуры поверхности живых организмов. Современные инфракрасные камеры на основе матриц фотоприемников из антимолибдита индия имеют чувствительность (ограниченную температурным эквивалентом шума) 0,015-0,02°С при размере матриц фотоприемников 640×480 элементов на кадр и скорости регистрации 200 кадров секунду [17, 18]. На основе таких камер становится возможной разработка принципиально новых методов диагностики и контроля эффективности лечения заболеваний суставов.

Определение признаков локального воспаления на доклиническом этапе играет, несомненно, важную роль в диагностике РЗ в связи с возможностью своевременно назначить необходимое лечение и по возможности предотвратить прогрессирование воспалительного процесса, чреватого системными проявлениями заболевания. Медицинское тепловидение признано одним из наиболее информативных методов диагностики артритов и контроля эффективности их лечения [11].

Литература

1. *Беляева, Е.А.* Теоретические аспекты восстановительного лечения остеопороза при коморбидной патологии / Е.А. Беляева, А.А. Хадарцев // Вестник новых медицинских технологий.– 2010.– № 3.– С. 96–98.
2. *Беляева, Е.А.* Новая технология безопасной анальгетической терапии при осложненном остеопорозе / Е.А. Беляева, В.Г. Купеев, А.А. Хадарцев // Вестник новых медицинских технологий.– 2010.– № 3.– С. 122–125.
3. *Брундтланд, Г.Х.* Речь на открытии заседания научной группы ВОЗ по ущербу при мышечно-скелетных заболеваниях / Г.Х. Брундтланд // Научно-практическая ревматология.– 2001.– №1.– С. 5–7.
4. *Богданова, Л.Б.* Значение клинических и лучевых методов диагностики в выявлении поражений крестцово-подвздошных сочленений / Л.Б. Богданова.– Челябинск, 2009.
5. *Вайнер, Б.Г.* Медицинское тепловидение высокого разрешения: новые возможности / Б.Г. Вайнер // Врач.– 1999.– № 2.– С. 25–27.
6. *Вялков, А.И.* Основные задачи международной Декады в совершенствовании борьбы с наиболее

распространенными заболеваниями опорно-двигательного аппарата в России / А.И. Вялков, Е.И. Гусев, А.Б. Зборовский, В.А. Насонова // Научно-практическая ревматология.– 2001.– № 2.– С. 4–8.

7. Инфракрасная дистанционная термография как вспомогательный метод в диагностике и лечении вертеброгенных болей у спортсменов / Ю.П. Дехтярев [и др.] // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии».– 2010.

8. Заяц, Г.А. Коваль В.Т. Медицинское тепловидение – современный метод функциональной диагностики / Г.А. Заяц, В.Т. Коваль // Здоровье. Медицинская экология. Наука.– 2010.– Т. 43.– № 3.– С. 27–33.

9. Иваницкий, Г.Р. Тепловидение в медицине / Г.Р. Иваницкий // Вестник РАН.– 2006.– Том 76.– № 1.– С. 48–58.

10. Коваленко, В.Н. Оценка эффективности системной энзимотерапии в лечении остеоартроза / В.Н. Коваленко, Л.Б. Шолохова // Украинский кардиологический журнал.– 2000.– №5.– С. 12–21.

11. Применение тепловидения для диагностики и контроля эффективности лечения реактивных артритов у детей / С.Н. Колесов [и др.] // Курортные ведомости.– 2008.– №3 (48).

12. Использование первого отечественного дистанционного инфракрасного компьютерного термографа в ортопедии и травматологии / Т.В. Лобода [и др.] // Тези доповідей XIV з'їзду ортопедівтравматологів України.– Одеса, 2006.– 346 с.

13. Мельникова, В.П. Диагностические возможности тепловидения в клинической практике / В.П. Мельникова, А.Е. Попова, В.Ф. Суханова, Е.В. Брюнелли // Вестн. клин. иммунологии.– 1996.– Т. 155.– № 4.– С. 75–77.

14. Насонов, Е.Л. Атеротромбоз при ревматических заболеваниях: анализ патогенеза / Е.Л. Насонов // Терапевтический архив.– 1998.– №9.– С. 92–95.

15. Перцов, О.Л. Медико-технические аспекты развития современных тепловизионных методов в теоретической и практической медицине / О.Л. Перцов, В.М. Самков // Материалы IX Международной конференции «Прикладная оптика – 2010».– СПб., 2010.– С. 18–21.

16. Ткаченко, Ю.А. Клиническая термография (обзор основных возможностей) / Ю.А. Ткаченко, М.В. Голованова, А.М. Овечкин.– Нижний Новгород: Союз Восточной и Западной Медицины, 1998.– 270 с.

17. Хижняк, Л.Н. Диагностика и контроль эффективности лечения заболеваний сосудов нижних конечностей с использованием матричных термовизионных систем: Дисс. к.м.н / Л.Н. Хижняк.– Тула: Тульский гос. университет, 2005.

18. Хижняк, Л.Н. Диагностические возможности матричной инфракрасной термографии проблемы и перспективы / Л.Н. Хижняк, Е.П. Хижняк, Г.Р. Иваницкий // Вестник новых медицинских технологий.– 2012.– № 4.– С. 170–177

19. Bharara, M. Thermography and thermometry in the assessment of diabetic neuropathic foot: a case for furthering the role of thermal techniques / M. Bharara, J.E. Cobb, D.J. Claremont // Int. J. Low. Extrem. Wounds.– 2006.– Vol. 5.– № 4.– P. 250–260.

20. Darton, K. The use of infrared thermography in a rheumatology unit / K. Darton, C. Black // Brit. J. Rheumatol.– 1990.– Vol. 29.– N4.– P. 291–293.

21. Gubkin, S. Thermographic and Scintigraphic Characteristics of Joint Lesions During Arthritis / S. Gubkin // Scandinavian Journal of Rheumatology.– 1995.– Supl. 98.– P. 99.

22. Preventing diabetic foot ulcer recurrence in high-risk patients: use of temperature monitoring as a self-assessment tool / L.A. Lavery [et al.] // Diabetes Care.– 2007.– Vol. 30.– № 1.– P. 14–20.

23. Noninvasive imaging techniques in the assessment of scleroderma spectrum disorders / A.K. Murray [et al.] // Arthritis Rheum.– 2009.– Vol. 61.– № 8.– P. 1103–1111.

24. Alteration of foot temperature in diabetic neuropathy: is it another piece of puzzle? / A.S. Naicker [et al.] // Med. J. Malaysia.– 2006.– Vol. 61.– Suppl A.– P. 10–13.

25. Association between Foot Temperature and Sodomotor Dysfunction in Type 2 Diabetes / N. Papanas [et al.] // J. Diabetes Sci. Technol.– 2010.– Vol. 4.– № 4.– P. 803–807.

26. Ring, E.F. Thermal Imaging Today and Its Relevance to Diabetes / E.F. Ring // Journal of Diabetes Science and Technology.– 2010.– Vol. 4.– № 4.– P. 857–862.

27. Vainer, B.G. Limitary operation conditions affecting CID short-wave infrared detector performance / B.G. Vainer // Meas. Sci. Technol.– 2004.– V. 15.– № 5.– P. 821–830.

28. Assessment of hand osteoarthritis: correlation between thermographic and radiographic methods / G. Varjú [et al.] // Rheumatology (Oxford).– 2004.– 43 (7).– P. 915–9.