

Современные возможности и перспективы развития медицинского тепловидения

М. Г. Воловик, д.б.н.

И. М. Долгов, д.м.н.

ООО «Дигнозис», г. Москва

Current status and perspectives for the development of medical thermal imaging

M. G. Volovik, I. M. Dolgov

Dignosys Ltd, Moscow, Russia

Резюме

От громоздких приборов 1960-х годов — до современных скоростных матриц, от энтузиазма до скепсиса: ренессанс медицинского тепловидения, завоевание им новых позиций в медицине в течение последних 10 лет. Причины событий, современное состояние и перспективы развития метода анализируются в настоящей статье.

Ключевые слова: медицинское тепловидение, инфракрасное излучение, функциональная диагностика, аппаратно-программный комплекс, телемедицина

Summary

Since the early days of thermography in 1960-ies, from bulky boxes — to elegant devices with speedy sensors, from enthusiasm to skepticism and again to the high level of interest, covering new fields in medicine — this is the modern history of medical thermography. The reasons, present conditions and perspectives are discussed in this paper.

Key words: medical thermal imaging, infrared radiation, functional diagnostics, hardware-software complex, telemedicine.

Современные методы визуализации предоставляют медицинскому сообществу высокоэффективные инструменты для решения ключевых диагностических задач.

Тепловидение, или термография — регистрация теплового излучения тела человека в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн с помощью специального прибора — тепловизора, преобразующего интенсивность теплового потока от поверхности объекта в матрицу температур, визуальный образ которой привнесен глазу и доступен интерпретации.

Формирование тепловизионной картины на поверхности кожных покровов является результатом взаимодействия локальных и центральных механизмов терморегуляции. Любое местное изменение кровотока или метаболизма отражается в изменении карты температур на поверхности тела, что фиксирует и объективизирует тепловизор, принцип действия которого — именно пространственно-временная визуализация мощности ИК (то есть теплового) потока от объекта. Несмотря на то, что ИК излучение регистрируется от кожи, знание теплоемкости и теплопроводности тканей, механизмов теплопередачи позволяет оценивать вклад в поверхностное излучение глубже расположенных структур, в частности, при различном развитии подкожно-жировой клетчатки, разным

функциональном состоянии мышц, а также при патологических процессах, подлежащих коже, — опухолях, воспалении, нагноениях, локальных нарушениях кровоснабжения и т.п.

Тепловидение как физический инструмент изучения в реальном масштабе времени объектов со сложной структурой поверхностных тепловых полей является высокоэффективным каналом получения важной информации о живых системах [1]. Преимущества использования этого абсолютно безвредного метода очевидны: отсутствие рисков для здоровья испытуемых и исследователя, невысокая стоимость реализации и низкие эксплуатационные расходы, удобство и оперативность применения. Определение температурной нормы, накопленная база данных по термосемиотике заболеваний не случайно сделали тепловидение очень популярным в 70–80-е годы прошлого века. В нашей стране в период расцвета насчитывалось до 1000 кабинетов тепловизионной диагностики, существовали всесоюзный (в Ленинграде) и региональные (в Москве, Горьком, Архангельске, Киеве, Тбилиси и др.) центры медицинского тепловидения.

Однако на рубеже веков тепловидение неожиданно утратило свои позиции даже там, где его применение наиболее логично, — при периферических сосудистых и неврологических

нарушениях. Почему же метод, обладающий набором признаков «идеального метода диагностики» [2] и до 1990-х годов активно расширявший области применения в клинике, вдруг практически исчез из поля зрения клиницистов?

Сегодня, на фоне очевидного «ренессанса» медицинского тепловидения во всем мире, мы понимаем причины временного упадка метода.

Во-первых, коварная иллюзия анатомической точности отображения проблем на кожных покровах: ведь это так наглядно! Увы, без знания закономерностей формирования термопаттернов на поверхности тела кажущаяся простота интерпретации получаемых данных оказалась обманчива. Анализ тепловизионных изображений требует знания механизмов терморегуляции, термогенеза и теплопередачи в разных тканях организма; понимания этиологии и патогенеза, обуславливающих формирование локальных температурных отклонений от нормы и характерную динамику термореакций; применения таких методов обработки данных, которые позволяли бы форматизовать ИК информацию, сделав ее языком, доступным как клиницистам, так и исследователям смежных с медициной специальностей (разработчикам диагностической аппаратуры, физиологам, биофизикам и другим). Это было неблизким и непростым путем.

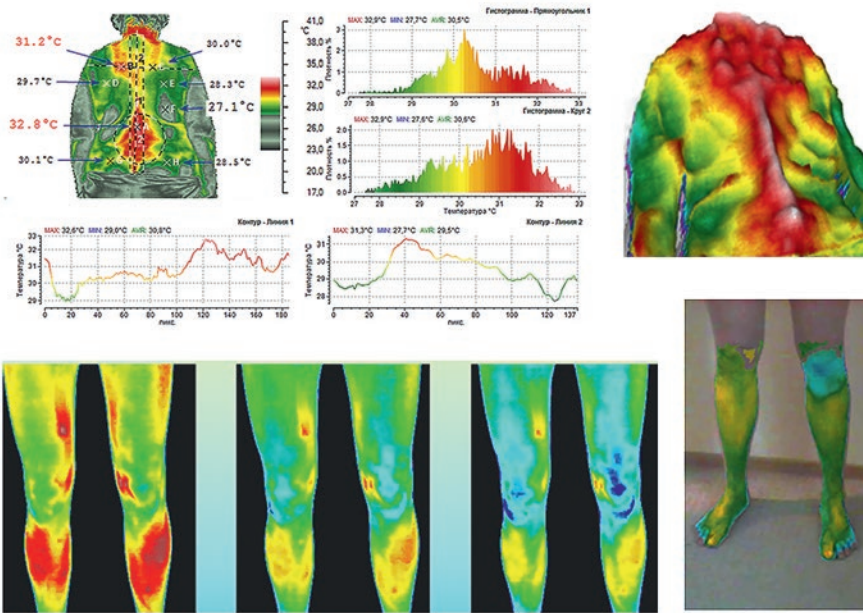


Рисунок 1. Примеры реализации современных возможностей обработки тепловизионных данных.

Вторая причина — техническое несовершенство аппаратуры: громоздкость, низкая чувствительность, нестабильность характеристик. Низкое качество изображений требовало сложных когнитивных операций для перевода тепловизионного «языка» в плоскость клинического мышления, ведь ИК излучение — канал специфической информации, для обработки которой у человека нет эволюционно сформированной нейронной сети [3]. Кроме того, сканирующие системы и регистрация стационарных картин не позволяли наблюдать динамику процессов в реальном времени.

Третья причина — гипердиагностика: повышение чувствительности и пространственного разрешения приборов привело к регистрации незначительных по размеру и температурному контрасту отклонений, однозначная трактовка которых первоначально напрашивалась по принципу «что-то есть, значит, это не норма». Поэтому ранняя диагностика, например, онкологических заболеваний молочных желез приводила к необходимости подтверждать тепловизионные данные выявленной «группы риска» методами структурной визуализации. В то же время, оказалось, что очаг патологии, в проекции которого тепловизор зарегистрировал термоаномалии, маммографией обнаруживается только через 2–4 года (там, где указывал тепловизор!). Позднее столь высокая чувствительность тепловидения была обоснована изучением динамики роста злокачественных опухолей молочных желез [4].

Наконец, четвертое: разработка эффективной методологии тепловизионных исследований тормозилась — и вследствие уже перечисленных «базовых» причин, и вследствие недоверия со стороны клиницистов к неспецифичности получаемой информации. Методу предстояло освоить современные подходы как в отношении интерпретации, так и в отношении сбора и обработки данных. И это произошло к настоящему моменту, а начало было положено в первом десятилетии 21-го века.

Медицинское тепловидение сегодня является продуктом многих новых и ярких идей, концепций и технологий, которые обуславливают более широкое внедрение метода в скрининг-диагностику, мониторинг лечения и прогноз течения множества заболеваний. Быстрая эволюция технических достижений в технологии ИК датчиков, обработка изображений, «умные» алгоритмы, базы данных и системная интеграция открывают путь для новых методов исследования и использования в медицинской ИК визуализации. Динамическое тепловое изображение, термотомография, важная роль тепловидения в мультимодальных системах визуализации и передовые технологии машинной обработки изображений — вот только некоторые из ключевых достижений современной науки и техники, которые делают вспомогательную ИК информацию все более актуальной. С их помощью функциональное тепловидение может достоверно оценивать

значимость, стадийность и прогрессирование заболеваний, предупреждать возникновение осложнений.

Одним из основных факторов успеха стало техническое усовершенствование тепловизионной техники: современный тепловизор миниатюрен (весит от 500 до 1200 г), снабжен матрицей высокого разрешения (до 1280 × 960 пикселей — это более 1000000 элементов), системой автокалибровки, не требует охлаждения, работает с частотой до 70 герц и имеет специализированное программное обеспечение для анализа результатов. Температурная чувствительность лучших приборов, применяемых в медицине, достигает: охлаждаемых приборов — до 0,006°C и неохлаждаемых — 0,015°C. Для широкого применения необходимым и достаточным (с учетом показателей цены и качества приборов) является использование тепловизоров с чувствительностью от 0,01°C до 0,05°C. Это позволяет подойти к решению сложных диагностических задач на новом уровне.

Результаты обследования воспроизводятся в реальном времени, представляют собой детальное отображение терморельефа кожных покровов с регистрацией цифровых температурных показателей, они в обязательном порядке анализируются и архивируются. Реализованы и новые возможности обработки полученной информации. С помощью программного обеспечения можно оценить как абсолютные значения температуры в конкретной точке, так и усредненные ее значения на выделенной площади произвольной формы, с последующим представлением этих данных в виде таблиц, гистограмм, графиков и объемных 3D изображений, записать и обработать термофильмы динамических исследований (рис. 1).

Для реализации возможностей современной тепловизионной техники разработаны детальные протоколы тепловизионных измерений и стандарты исследований [5, 6], что обеспечивает получение достоверных и воспроизводимых результатов и определяет тепловидение как конкурентоспособный, экономически выгодный, безопасный способ обнаружения заболеваний, в том числе, «первой линии» (Табл. 1).

Так, например, чувствительность метода достаточно высока при обнаружении новообразований молочной железы (от 83 до 100%) [7, 8]. При

Таблица 1
Динамика публикационной активности по медицинскому тепловидению
(по архивам ООО «Дигносис» — <https://www.dignosys.com/info/>)

Направления исследований \ Периоды	До 1980 года (24 года)	1980–1990-е годы (20 лет)	2000-е годы (10 лет)	2010-е годы (включая 2017 г.)	Всего
Методология медицинского тепловидения	37	102	182	196	517
Неврология и нейрохирургия	50	157	33	69	309
Патология молочных желез	73	65	62	107	307
Физиология	10	49	55	90	204
Спортивная физиология и медицина	6	23	33	139	201
Ревматология, заболевания суставов, алгология	30	69	33	45	177
Тепловизионные измерения на лице (офтальмология, оториноларингология, стоматология и др. приложения)	6	38	30	101	175
Интраоперационное применение	5	58	63	49	175
Сахарный диабет и патология щитовидной железы	10	28	42	93	173
Дерматология, дерматоонкология и косметология	15	26	39	80	160
Внутренние болезни, онкология, педиатрия	26	29	21	56	132
Ангиология и кардиология	21	41	37	31	130
Психофизиология	0	3	30	58	91
Профзаболевания, скрининг инфекционных пандемий	3	17	27	40	87
Реконструктивная и пластическая хирургия	7	22	16	36	81
Анестезиология	2	24	23	21	70
Комбустиология	6	20	15	22	63
Реабилитация физиотерапия	0	17	17	28	62
Травматология и ортопедия	3	16	9	29	57
Патология щитовидной железы	6	10	5	22	43
Всего:	310	804	764	1293	3171

заболеваниях соединительной ткани эффективность метода в диагностике синдрома Рейно практически не уступает «золотому стандарту» — капилляроскопии [9]. При ревматоидных артритах чувствительность составляет до 100 %, специфичность — 67 % [10]. Нет альтернативы методу в спортивной медицине для обнаружения признаков мышечно-тонического синдрома, перегрузки опорно-двигательного аппарата, профилактики спортивного травматизма [11]. Чувствительность тепловидения при выявлении признаков осложнений сахарного диабета (формирование «диабетической стопы», изъязвлений и т.д.) позволяет на 85 % сократить число ампутаций [12].

Разумеется, не исчерпывающие (в последние годы новые статьи по медицинскому тепловидению публикуются практически ежедневно), эти данные (см. Табл. 1) позволяют сделать ряд важных выводов.

Прежде всего, обращает на себя внимание «провал», приходящийся на первое десятилетие 21-го века. Особенно это касается таких областей, как невро-

логия и нейрохирургия, ревматология, в меньшей степени — ангиология, реконструктивно-пластическая хирургия, а также патология молочных желез и щитовидной железы. Объяснение последнему факту мы находим в вышеизложенных причинах падения интереса к медицинскому тепловидению. Социальная значимость и сохраняющаяся неразрешенность проблем в диагностике этих заболеваний продолжала, тем не менее, стимулировать специалистов к поиску новых, по возможности неинвазивных методов раннего выявления признаков патологии. Таким «новым» методом предложило себя незаслуженно забытое тепловидение.

В то же время, не прекращалась активная разработка тепловизионных методик в физиологических исследованиях (их накопленный потенциал

сыграл решающую роль в преобразовании тепловидения), при сахарном диабете и в дерматологии. Значительно возрос интерес к изучению возможностей метода в реабилитации и физиотерапии, в травматологии и ортопедии, в педиатрии. Огромный прогресс отмечается в тепловизионных исследованиях в спортивной физиологии и медицине. Появились и новые перспективные приложения для метода, такие как психофизиология, скрининг инфекционных пандемий.

Благодаря техническому усовершенствованию метод вышел за пределы специализированных кабинетов. Сегодня тепловизор можно увидеть в операционной, где нейрохирурги изучают состояние перитуморальной зоны (рис. 2) [13], а кардиохирурги оценивают качество артериовенозных

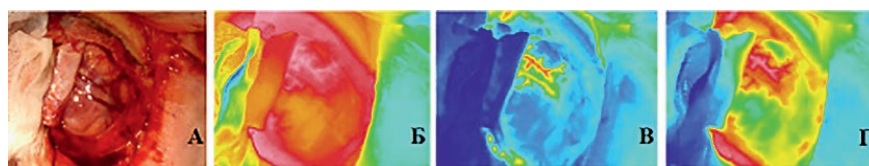


Рисунок 2. Холодовая проба на открытой коре головного мозга: А — фото, Б — до пробы, В — 3 с после пробы, Г — 15 с после пробы.

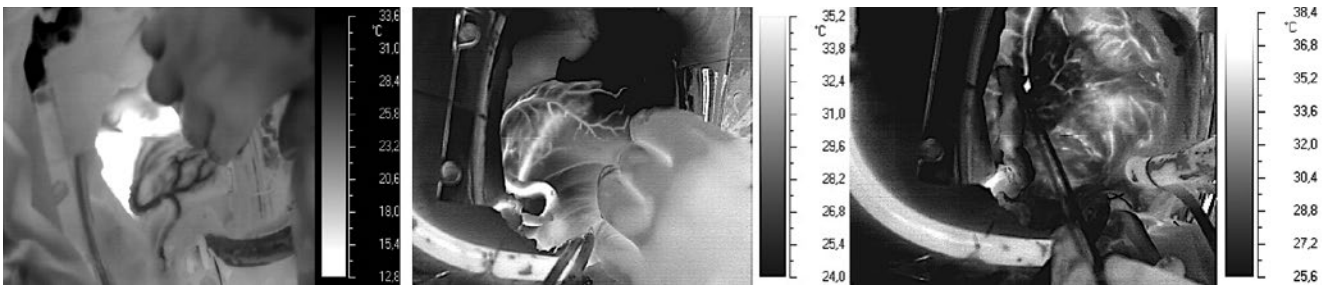


Рисунок 3. Контроль адекватности операции коронарного шунтирования и проверка качества анастомозов.

анастомозов (рис. 3) [14], в палатах интенсивной терапии, где он входит в комплекс аппаратуры для непрерывного мониторинга функционального состояния пациента [15], или на стадионе, где проводится тепловизионный контроль правильности выполнения спортсменом конкретных упражнений [16] или хода восстановления [17].

Мировая тенденция к расширению тепловизионного сообщества — а наряду с привычными в списке развитыми странами (США, Великобритания, Канада, Германия, Италия, Франция, Япония, Китай) все более видную роль начинают играть такие страны, как Испания, Португалия, Польша, Бразилия, Индия, Австралия и др., — не характерна пока для России. Существенный процент отечественных публикаций в общемировом потоке, имевший место в 1970–80-х годах, резко снизился в 1990-х и еще более в 2000-х (рис. 4).

В настоящее время на мировом уровне публикуются едва ли более десятка авторов и небольших коллективов из России, что обусловлено как слабой материально-технической базой клиник, так и кадровым дефицитом в российском тепловидении. К сожа-

лению, устойчивой положительной репутации в медицинском сообществе, подобной западной, отечественное тепловидение пока еще не завоевало. Только в некоторых областях отечественные исследователи традиционно авторитетны для мирового научного сообщества. Прежде всего, это неврология и нейрохирургия, особенно в интраоперационном периоде лечения больных с внутричерепной патологией, а также при травмах и заболеваниях периферических нервов конечностей.

Проблемы, с которыми сталкивается метод в клинических условиях, не всегда лежат на поверхности, и их решение потребовало значительных усилий от специалистов многих смежных областей. Из основных назовем следующие:

- не разработаны либо не применяются функциональные подходы [18];
- технические возможности аппаратуры в медицине используются неэффективно и не все, нет критериев необходимости и достаточности характеристик для решения конкретных клинических задач [19];
- при обилии технологических решений отсутствует их внедрение в практику [20];

- не определены конкретные контексты для повышения информативности регистрируемых ИК сигналов и количественной оценки энергообеспечения процессов в биологических тканях [21];
- слабая связь между ИК отображением и пониманием принципов терморегуляции, особенно на системном уровне [22];
- узкая клиническая направленность исследований без достаточных предварительных экспериментальных разработок [23];
- неиспользование корреляций тепловизионных данных с результатами референтных методов диагностики [24];
- малое количество эффективных информационных технологий для решения социально значимых проблем, вследствие этого — преобладание принципов экспертной (прецедентной) диагностики с сохранением влияния человеческого фактора [25];
- малые выборки пациентов (что связано, в том числе, с необходимостью преодоления этических ограничений) [26].

Осознание необходимости методологических перемен в медицинском тепловидении привело к разработке и последующему полноценному внедрению в практику функционального подхода [27], динамического ИК картирования терморегуляторных нарушений [3].

В частности, было показано, что применение контролируемых температурных нагрузок позволяет по пространственной и амплитудной динамике термореакций исследовать механизмы терморегуляции в норме, а при диагностированных поражениях на разных уровнях регуляции периферического кровотока — соотносить искажения нормальных ответов с ха-



Рисунок 4. Соотношение количества отечественных и иностранных публикаций по медицинскому тепловидению за 1956–2017 гг.

рактором нарушений. Это позволяет количественно оценить соотношение сосудистого и нервного контроля в различных патофизиологических контекстах и обеспечивает возможность дифференциальной диагностики нарушений микроциркуляции.

Адекватно подобранные нагрузочные пробы способны тестировать адаптационные и компенсаторные резервы системы кровообращения.

При таком подходе метод становится инструментом, позволяющим изучать состояние не только кожных покровов, но и нервной регуляции внутрикожного кровотока на всем протяжении пути передачи сигналов в терморегуляторной системе. Динамика термопаттерна в ответ на правильно подобранные параметры функциональной пробы может быть специфичной для характера повреждения нервных структур и кожных покровов и применима для дифференциальной диагностики вариантов неврологических и сосудистых нарушений.

Развитие принципов формализованного описания тепловизионных отображений терморегуляторных процессов в биологических тканях открывает перспективы создания информационных технологий поддержки принятия решений в области функциональной диагностики.

Каковы же перспективы медицинского тепловидения?

Ни один из существующих сегодня диагностических методов не имеет такой широты диагностического диапазона в отношении возможности выявления признаков сразу многих групп заболеваний, поэтому один из важнейших векторов развития — максимально эффективная реализация его мультимодального потенциала.

Для этого необходима возможность удаленного доступа к многофункциональным системам обработки, анализа и автоматизированного формирования протоколов обследования, то есть к системам помощи принятия решения, размещенным в базах данных «облачной» программной архитектуры. В этом случае система тепловизионного скрининга и динамического тепловидения оказывается эффективной не только в медицинском, но и в экономическом плане.

По мере развития тепловизионной техники возникли объективные условия для создания многоуровневых и многофункциональных программно-математических продуктов для обработки и анализа получаемых результатов обследований. В настоящее время разработано довольно много специализированных программ для тепловидения. Их возможности в полной мере отвечают основным требованиям к программному обеспечению для функциональной тепловизионной диагностики, а именно:

- анализ термограмм, их качественная и количественная оценка с возможностью измерения абсолютных температур в любой точке или области интереса, построения температурных срезов, в том числе в реальном режиме времени в ходе исследования;
- построение гистограмм и профилей изображения;
- быстрая обработка термограмм при скрининг-диагностике и формирование карты термографических обследований пациентов;
- создание баз данных (архивов), малоразмерных файлов для быстрой передачи по локальным сетям и сетям удаленного доступа, в том числе по сетям телемедицины;

- запись термофильмов с возможностью обрабатывать каждый кадр в режиме стоп-кадра для создания отдельных термограмм.

Современные программы для тепловизионных исследований могут архивировать все обработанные термограммы в первоначальном виде («реликтовые», или «сырые», термограммы) с автоматическим сохранением всех параметров съемки, что создает возможность многократной их обработки, позволяет проводить корректное сравнение данных динамики обследований, проведенных в разное время. В наиболее продвинутых программах можно выстроить одновременно весь динамический ряд термограмм обследований (рис. 5).

Современное программное обеспечение, связанное с технологиями «облачной архитектуры» и телемедицины, выводит медицинское тепловидение на новый уровень, соответствующий передовым методам инструментальной диагностики. Такие программы неразрывно связаны с техническими средствами для тепловизионной диагностики и образуют с ними многофункциональные ИК аппаратно-программные комплексы (ИК АПК), работающие на платформе «облачных» систем.

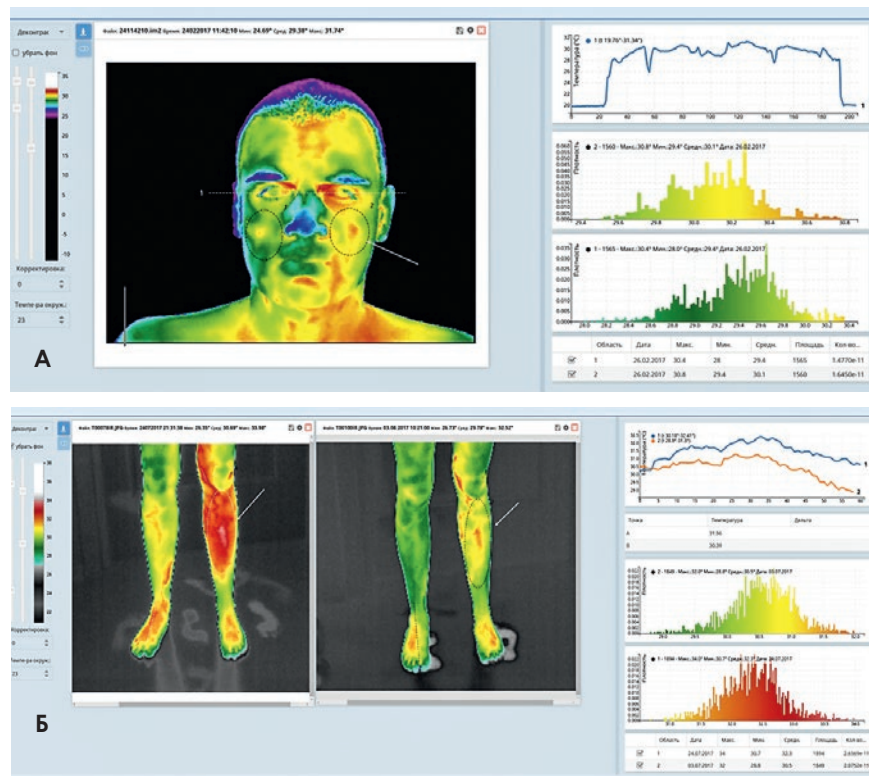


Рисунок 5. Примеры обработки термограммы (А) и термограмм динамического исследования (Б).



Рисунок 6. Вид интерфейса программы «TVision» (слева), пример обработки термограммы в этой программе (в центре) и автоматически сформированного результата обследования в удаленном доступе (справа).

Такие комплексы, как, например, АПК «Диносис» (ООО «Дигносис», Москва), включающий в себя отечественный тепловизор «ТВС300-мед» и «облачную» программу «TVision», позволяют проводить обследования пациентов, передавать эти данные в облачную базу для обработки и анализа полученных термоизображений пациентов с целью обнаружения тепловизионных признаков возможных заболеваний, формировать в автоматизированном режиме карты обследований пациентов (рис. 6).

Данный АПК, как и другие подобные продукты, в полной мере отвечает требованиям к базовой функциональности программного продукта, представляющего собой пользовательский веб-интерфейс, и позволяет:

- проводить фиксацию факта проведения тепловизионного обследования с сохранением результатов обследования в веб-интерфейсе;
- хранить историю посещений с привязкой к текущему состоянию пациента, а также данные о наличии заболеваний (в том числе, подтвержденных референтными методами);
- работать с большинством существующих на настоящее время типов и форматов тепловизионных файлов;
- получать изображения непосредственно с тепловизионной камеры (при работе в составе АПК) или загружать ранее снятый материал;
- осуществлять доступ к существующей базе исследований в режиме 24/7;
- обрабатывать тепловизионные данные по пациенту встроенными инструментами аналитики, а именно:

- обрабатывать и анализировать тепловизионные изображения в момент их регистрации для поиска типичных температурных признаков определенных групп заболеваний;
- выстраивать и анализировать серии термограмм, зафиксированных в разное время в анамнезе данного заболевания для мониторинга течения процесса и оценки качества проводимого лечения;
- работать в многопользовательском режиме (типа конференц-связи), организовывать консилиумы непосредственно в интерфейсе.

Важно и то, что такие программные средства АПК способны работать с радиометрическими форматами термограмм, получаемых с любых тепловизоров, используемых в настоящее время в медицине, независимо от их типа и производителя.

Как представляется, в ближайшие годы медицинское тепловидение будет развиваться в нескольких направлениях. В отношении развития техники и технологий — прогресс уже сегодня ведет к миниатюризации тепловизионных устройств, повышению их разрешающей способности, быстродействия. Повышение чувствительности камер возможно до 0,001 °С, что является физическим пределом, обусловленным длиной волны ИК излучения. Дальнейшие перспективы могут быть связаны, например, с разработкой и внедрением в комплекс аппаратуры для медицинской визуализации приборов терагерцового диапазона, для которого кожа практически не является препятствием. Уже первые опыты с такими приборами дают

поразительные результаты в плане диагностических возможностей [27].

Будет продолжено пополнение базы термосемиотики для решения диагностических задач и определено место тепловидения как полноценного диагностического метода. Важным компонентом развития станут программы автоматической обработки тепловизионных изображений в режиме системы поддержки принятия решений. Прогнозируется широкое внедрение удаленных облачных технологий и вхождение в рамки задач и возможностей телемедицины. И основная цель всех этих изменений — полноценное внедрение медицинского тепловидения в практическое здравоохранение, причем как в амбулаторное (например, диспансеризация), так и в клиническое звено.

Список литературы

1. Иванецкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине // Успехи физических наук, 2006; 176 (12): 1293–1320.
2. Лихтерман А. Б. Ультразвуковая томография и тепловидение в нейрохирургии. М.: Медицина, 1983. 143 с.
3. Воловик М. Г. Динамическое инфракрасное картирование терморегуляторных процессов в биологических тканях. Автореф. дис... доктора биологических наук. Пущино, 2016. 45 с.
4. Пантелеев И. А., Плехов О. А., Наймарк О. Б. Механобиологическое исследование структурного гомеостаза в опухолях по данным инфракрасной термографии // Физическая мезомеханика, 2012; 15 (3): 105–113.
5. Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body // Thermology Intern., 2008; 18/4: 125–129.
6. Sillero-Quintana M.S., Fernandez-Cuevas I., Lastras J. A., Marins J. C.B. TERMOINEF group protocol for thermographic assessment in humans // Faculty of Physical Activity and Sport Sciences (INEF-Madrid), 2 Sept. 2015. Ed. for the Pre-Congr. XIII EAT Congr. 57 p.

7. Morais K. C. C., Vargas J. V. C., Reisem-berger G. et al. An infrared image based methodology for breast lesions screening // *Infrared Physics & Technology*, 2016; 76 (5): 710–721.
8. Ng E. Y. K., Kee E. C. Advanced integrated technique in breast cancer thermogra-phy // *Journal of medical engineering & technology*, 2008; 32(2), 103–114.
9. Chojnowski M. Infrared thermal imaging in connective tissue diseases // *Reumatologia*, 2017; 55(1): 38–43.
10. Spalding S. J., Kwok C. K., Boudreau R. et al. Three-dimensional and thermal surface imaging produces reliable measures of joint shape and temperature: a potential tool for quantifying arthritis // *Arthritis Res. Ther.*, 2008; 10 (1): R10.
11. Fernández-Cuevas I., Arnáiz Lastras J., Escamilla Galindo V., Gómez Carmona P. Infrared Thermography for the Detec-tion of Injury in Sports Medicine. In: Priego Quesada J. (eds) *Application of Infrared Thermography in Sports Science. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineer-ing*. Springer, Cham, 2017.
12. Bharara M., Fitzgerald R., Rilo H. R., Arm-strong D. G. Practical thermal monitoring solutions: empowering diabetic foot care teams for prevention of lower extremity complications // *Can. J. Diabetes*, 2009; 33, 217–218.
13. Воловик М. Г., Макаренко А. В. Параметры тепломатриц открытой коры по результатам ИК термокартирования при удалении опухолей головного мозга человека // *Оптический журнал*, 2015; 82 (7): 90–102.
14. Бранд Я. Б., Чернышев Д. В., Долгов И. М. и др. Термокоронароангиография // *Альманах клинической медицины*, 2006; 12, 9 с.
15. Hochhausen N., Pereira C. B., Leonhardt S. et al. Estimating Respiratory Rate in Post-Anesthesia Care Unit Patients Using Infrared Thermography: An Observational Study // *Sensors*, 2018; 18: 1618–1629.
16. de Oliveira U. F., de Araújo L. C., de An-drade P. R. Skin temperature changes during muscular static stretching exercise // *Journal of Exercise Rehabilitation*, 2018; 14(3): 451–459.
17. Bach A. J., Stewart I. B., Disher A. E., Costello J. T. A comparison between conductive and infrared devices for measuring mean skin temperature at rest, during exercise in the heat, and recovery // *PLoS One*, 2015; 10, e0117907.
18. Gatt A., Formosa C., Cassar K. et al. Ther-mographic patterns of the upper and lower limbs: baseline data // *Int. J. Vasc. Med.*, 2015; 2015: 831369.
19. Diakides M. *Medical infrared imaging. Prin-ciples and practices* / Eds. M. Diakides et al., 2012. CRC Press, Florida, 638 p.
20. Vainer B. G. Applications of infrared ther-mography to medicine / In: *Infrared ther-mography recent advances and future trends*. Chapter 3. 2012. Bentham Science Publishers Ltd., Ed. Carosena Meola. P. 61–84.
21. Diakides M. Infrared imaging. In: *Biomed-ical signals, imaging and informatics* / Ed. by J. D. Bronzino, D. R. Peterson. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, U.S.A., 2015. Ch. III.
22. Fernandez-Cuevas I., Marins B. J. C., Las-tras A. J. et al. Classification of factors in-fluencing the use of infrared thermography in humans: A review // *Infrared Physics & Technology*, 2015; 71: 28–55.
23. Balageas D., Roche J.-M., Leroy F.-H., Gorbach A. M. The thermographic signal reconstruction method: a powerful tool for the enhancement of transient ther-mographic images / *Warszawa seminar on «Advances of IR-thermal imaging in medicine» and submitted to Biocybern. and Biomed. Eng.*, 2013; P. 1–11.
24. Ammer K. Do we need reference data of local skin temperatures? // *Thermology Intern.*, 2015. 25 (2): 45–57.
25. Lahiri B. B., Bagavathiappan S., Jayakumar T., Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review // *Infrared Physics & Technology*, 2012; 55 (4): 221–235.
26. Sadeghi-Goughari M., Mojra A., Sadeghi S. Parameter estimation of brain tumors using intraoperative thermal imaging based on artificial tactile sensing in conjunction with artificial neural network // *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2016; 49: 075404–075420.
27. Колесов С. Н., Воловик М. Г., Прилуч-ный М. А. Медицинское теплорадиови-дение: современный методологический подход. Н. Новгород: ФГУ «ННИИТО Рос-медтехнологий», 2008. 184 с.
28. Вакс В. Л., Домрачева Е. Г., Собакин-ская Е. А., Черняева М. Б. Применение методов и средств нестационарной спектроскопии субТГц и ТГц диапазонов частот для неинвазивной медицинской диагностики // *Всероссийский семинар по терагерцовой оптике и спектроско-пии*. 18–22 октября 2010, Санкт-Петер-бург: Сб. трудов, 2010. С. 382–385.

Тепловизионный аппаратно-программный комплекс «Дигносис»



Новый уровень медицинского тепловидения, соответствующий передовым методам инструментальной диагностики



Быстрое и достоверное выявление термографических признаков аномальных зон при обследовании пациентов, а также мониторинг и оценка эффективности проводимого лечения



Использование «облачных» технологий для передачи, обработки, анализа и хранения тепловизионных данных. Позволяет получить доступ ко всем возможностям предлагаемого продукта с любого устройства, имеющего подключение к сети Интернет без установки дополнительного программного обеспечения



Комплекс ориентирован на применение российских высокочувствительных медицинских тепловизоров, производящихся по программе импортозамещения



ООО «Дигносис» г.Москва, www.dignosis.com E-mail:info@dignosis.com
Тел.+7 (495) 508-0646 +7 916 124 7499