

УДК 621.397

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОГО ТЕПЛОВИДЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТРАНЗИТОРНЫХ ИШЕМИЧЕСКИХ АТАК

Зарецкий А.П., Митягин К.С., Прохоров И.Б.

Московский физико-технический институт, Россия, г. Долгопрудный

В данной работе приводится краткий обзор аппаратных решений в области инфракрасного тепловидения, предназначенных для решения задачи медицинской диагностики. Проведен анализ применимости существующих технических средств для разработки и реализации технологии бесконтактного мониторинга атак ишемического инсульта на основе методов медицинской термографии.

Ключевые слова: инфракрасное тепловидение, аппаратные средства, диагностика, транзиторные ишемические атаки, неинвазивный мониторинг, инсульт.

MEDICAL THERMAL IMAGING HARDWARE CAPABILITIES FOR MONITORING TRANSIENT ISCHEMIC ATTACKS

Zaretskiy A., Mityagin K., Prokhorov I.

This paper provides an overview of technical hardware decisions in the field of infrared thermal imaging used in medical diagnosis. We analyzed the applicability of prevalent hardware devices for implementation of the designed technology aimed at non-invasive monitoring of attacks of ischemic stroke based on medical thermography.

Keywords: infrared thermal imaging, hardware, diagnostics, transient ischemic attacks, non-invasive monitoring, stroke.

Температура тела является самым универсальным показателем биологической активности человека. Распределение и интенсивность теплового излучения в норме определяются особенностью физиологических процессов, протекающих в организме, и в их формировании принимают участие множество факторов: сосудистая сеть, уровень метаболизма в органах и теплопроводность кожи [1-2].

Современные системы медицинского тепловидения способны предоставить данные об анатомо-топографических и функциональных изменениях в поражённой зоне при помощи анализа полученных термограмм человеческого тела, характеризующих распределение температуры по его поверхности. Визуализированные температурные поля позволяют судить о состоянии периферийного кровотока и получать информацию о глубинных процессах, протекающих в

организме. Увеличение притока крови или, наоборот, его уменьшение, вызванное сужением или окклюзией сосудов, приводит к изменению температуры тканей [3]. Многие патологические процессы вызывают неоднородное распределение температуры на поверхности тела, причем во многих случаях изменения температуры опережают другие клинические проявления, что очень важно для ранней диагностики и своевременного лечения. Динамический анализ термограмм позволяет выделить анатомическую область патологических изменений, а также определить характер и степень активности протекающих процессов.

Круг заболеваний, в которых для диагностики и мониторинга лечения начинают использовать современные дистантные тепловизоры, в последнее время расширяется; медиками используются различные марки тепловизоров, как отечественных, так и зарубежных [4]. Преимущества современных инфракрасных камер в том, что они обеспечивают очень высокую температурную чувствительность и точность измерения температуры. Сочетание высокой разрешающей способности по пространству и чувствительности по температуре сделало возможным детальное изучение тепловой картины объекта. Использование портативных приборов нового поколения в кабинете врача, в палате у постели больного, в операционной и даже в полевых условиях позволяет осуществлять динамическое инфракрасное термокартирование и анализ полученных термограмм в виде динамического тепловизионного фильма.

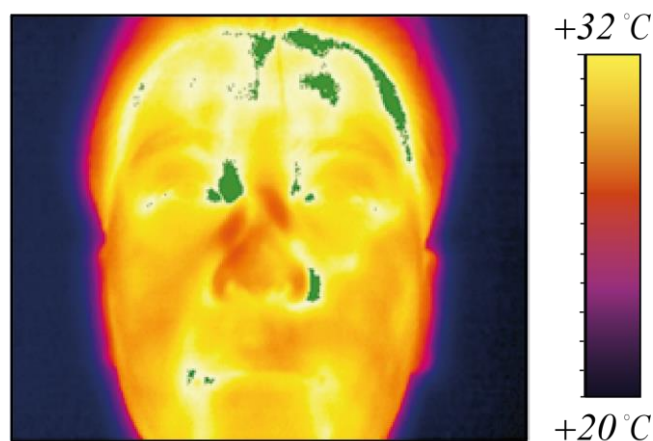


Рисунок 1 – Термографический снимок лица человека с наличием сужения коронарных артерий

В настоящее время актуальной задачей в области медицины является раннее выявление лиц с высоким риском развития инсульта на фоне возникающих транзиторных ишемических атак. Стандартом инструментального исследования сердечно-сосудистой системы являются доплерография и магнитно-резонансная томография [5]. С их помощью оценивают параметры, характеризующие функциональное и органическое поражения сосудов, а также особенности регуляции их деятельности. Причина транзиторной ишемической атаки заключается в

ограничении кровоснабжения участков головного мозга из-за возникновения тромбов или атеросклеротических бляшек в сосудах. Если повреждения локализуются в каротидном бассейне и повреждены сонные артерии, то у человека нарушается координация движений, речь, зрение (возможна временная слепота или снижение зрения на одном глазу). Также развивается парез, причем поражается преимущественно какая-либо одна область тела или группа мышц, например, парез кисти или стопы и пальцев [6]. К сожалению, транзиторную ишемическую атаку в 60 % случаев не распознают вовремя. Это происходит из-за того, что многие больные часто недооценивают серьезность симптомов и не обращаются к врачу. Кроме того, данное состояние зачастую возникает во сне и не имеет видимых последствий.

Мониторинг нарушений кровоснабжения сосудов и артерий головного мозга с помощью методов инфракрасного тепловидения представляет собой новый неинвазивный тест, основанный на анализе изменений поверхностной температурной картины при помощи записанных термограмм. В этом ключе был проведен анализ температурной реакции кожи на участках васкуляризации внутренней сонной артерии и средней мозговой артерии в области лица, которые продемонстрировали высокую степень корреляционной зависимости между наблюдаемыми на термографических снимках головы очагами тепловой дисрегуляции и участками локализации тромба [7]. В качестве первичного диагностического критерия выполняется сравнение тепловой картины на симметричных участках лица. Учитывая, что относительно средней линии распределение областей с одинаковой температурой носит строго зеркальный характер, любое нарушение этого принципа может свидетельствовать в пользу патологии. При нарушении мозгового кровообращения (ангиоспазм, сужение или полный стеноз сосуда) определяется зона гипотермии в области лица, которая по положению, форме и размерам соответствует области снижения кровотока. Результаты проведенных клинических исследований показали, что почти у каждого пациента с острой окклюзией сосудов головного мозга наблюдаются характерные паттерны тепловой асимметрии с дифференциальной разностью температур, принимающей значение в диапазоне 0.5 до 1.5 °С [8]. Для пациентов контрольной группы разница средней температуры между левой и правой половинами лица (рис. 1) на участках васкуляризации внутренней сонной артерии и средней мозговой артерии не превышает 0.5°С.

Создание технологии бесконтактного мониторинга атак ишемического инсульта предполагает использование тепловизионного устройства, способного в режиме реального времени осуществлять регистрацию поверхностных термограмм пациента с высокой температурной чувствительностью. Проведенный нами обзор позволил выявить группу наиболее перспективных технических решений в области инфракрасного тепловидения, подходящих для решения данной задачи. Рассмотрим некоторые зарубежные и отечественные разработки.



Рисунок 2–Медицинский тепловизор TBC300-Мед

Передовые разработки группы компаний «Силар» в области тепловизионных модулей и камер на микроболометрах позволили представить на рынок серийно изготавливаемый неохлаждаемый портативный тепловизор TBC300-Мед. Данный тепловизионный комплекс (рис. 2) работает без жидкого азота, имеет высокое пространственное разрешение 640×480 пикселей, высокую частоту кадрирования видеоизображения до 70 Гц, что позволяет вести наблюдения в реальном масштабе времени, аналоговый и цифровой выходы, высокую температурную разрешающую способность – до 0,02 °С [9]. Кроме того, для реализации тепловизионных методов неинвазивного обследования пациентов разработан специальный программный комплекс «TVision» и многофункциональная стойка для крепления и перемещения тепловизора TBC300-Мед, оснащенная программным электроприводом, датчиками движения и расстояния. Управление тепловизором и датчиками наблюдения осуществляется с персонального компьютера, в котором осуществляется накопление данных обследования пациента и их передача по сетям телемедицины в базу хранения, обработки и анализа полученных результатов. Базовая функциональность программного продукта разработана в виде пользовательского Web-интерфейса с возможностями: хранения истории посещений с привязкой к текущему состоянию пациента, а также данных о наличии заболеваний; обработки и анализа тепловизионных изображений в момент их регистрации для поиска типичных температурных признаков определенных групп заболеваний; построения серии термограмм, зафиксированных в разное время в течение данного заболевания для мониторинга течения процесса и оценки качества проводимого лечения.

Облачная архитектура программного комплекса позволяет получить доступ ко всем возможностям продукта с любого устройства, имеющего подключение к сети Интернет без дополнительной необходимости установки программного обеспечения на устройство пользователя. При отсутствии доступа в сеть для полноценной работы с термографическими снимками предусмотрена дополнительная десктопная версия приложения. За счет применения

современных технологий безопасного доступа к приложению, систем разграничения прав доступа, а также централизованного хранения данных достигается высокий уровень безопасности и конфиденциальности информации.

Среди зарубежных производителей тепловизионного оборудования стоит выделить шведскую компанию Flir с разработкой ThermaCam SC3000 [10]. В тепловизоре ThermaCam SC 3000 используется передовая QWIP-технология, обеспечивающая получение изображений с высоким разрешением и прецизионное измерение температуры. Высокая температурная чувствительность, широкий динамический диапазон, превосходное качество изображений в длинноволновой области спектра, а также высокая скорость сбора данных позволяют рассматривать камеру ThermaCam SC 3000 в качестве основного выбора для проведения бесконтактного измерения температуры и теплового анализа состояния пациента в условиях стационарного наблюдения. Применение запатентованного FPA датчика в длинноволновой области спектра (8-9 мкм) позволяет получить высокую точность температурных измерений, низкое затухание в атмосфере и высокое разрешение изображений (320 x 240 пикселей) и обеспечить получение стабильных и однородных термограмм.



Рисунок 3 - Портативный термограф Иртис-2000 МЕ

Камера ThermaCam SC 3000 передает в реальном времени данные непосредственно на ноутбук или настольный ПК для записи и анализа. При совместном использовании с пакетом ThermaCam Researcher компании Flir Systems, комплекс позволяет проводить углублённый тепловой анализ как неподвижных, так изменяемых изображений. Имеется возможность цифровой записи, а также оценки в реальном времени высокоскоростных процессов, выводимых с частотой 50 Гц. В качестве опции предоставляется пакет ThermaCam Researcher HS, при помощи которого тепловые изображения могут захватываться и сохраняться с очень высокой частотой кадров, вплоть до 750 Гц для сигналов стандарта PAL, и 900 Гц для сигналов стандарта NTSC. Пакет ThermaCam Researcher имеет встроенные функции температурного измерения и анализа, включая расчёт изотерм, измерение температуры в точке, расчёт линейных профилей, вычитание

изображений по температуре, автоматизированная система смены фильтров, автофокусировка, синхронизация съемки с внешними аналоговыми сигналами.

Портативный термограф Иртис-2000 МЕ обеспечивает высокую температурную чувствительность и точность измерения температуры при медицинском обследовании пациента [11]. Благодаря своим малым размерам и массе камера Иртис-2000 МЕ (рис. 3) при работе с персональным компьютером может использоваться не только в кабинете врача, но и в палате у постели больного, в операционной и даже в полевых условиях. По потребительским качествам и техническим параметрам он не уступает известному прибору TH3106ME японской фирмы NEC, который считается лучшим из зарубежных моделей медицинских термографов, а по некоторым параметрам превосходит его. Тепловизор Иртис-2000 МЕ уже используется в медицинских учреждениях России и за рубежом (Германии, Великобритании, Корея, Китае, Бразилии, Румынии). Благодаря особенностям конструкции камеры достигается высокая повторяемость результатов измерения от кадра к кадру, что позволяет осуществлять динамическое инфракрасное термокартирование (многократную съемку одного и того же участка тела пациента через заданные промежутки времени) и просматривать затем полученные термограммы в виде динамического тепловизионного фильма. Данный метод позволяет исследовать развитие термоактивных процессов во времени, значительно расширяя тем самым диагностические возможности прибора.

Медицинский тепловизор Flir P620 на основе неохлаждаемого микроболометра позволяет получать тепловое визуальное изображение исследуемого объектов с высокой температурной чувствительностью около $0,065^{\circ}\text{C}$, показывает высокую точность работы, что помогает исследовать мельчайшие детали на термограммах. Имеет датчик с разрешением 640×480 пикселей, встроенную систему автоматической и ручной фокусировки, а также линзы с возможностью цифрового масштабирования, что делает более качественными получаемые тепловизионные изображения [12]. Применение наклонного поворотного видеоискателя упрощает процесс измерений и выбор оптимального положения устройства. За счет интеграции цифровой и инфракрасной камеры, датчика GPS, лазерного указателя может реально быстро и качественно осуществлять измерения. Полученные данные передаются на программное обеспечение «Репортер», способное делать автоматические отчеты и анализ температур. Тепловизор обладает гибкими возможностями в эксплуатации, а также способен обследовать малые объекты или их элементы на удаленном расстоянии от объекта наблюдения. Среди расширенных возможностей функционала стоит также выделить: беспроводное управление для дистанционной удаленного доступа на технологии WLAN, оптическая видеокамера 3,2 мегапикселей с режимом автофокусировки, обеспечение режима «картинка в картинке» с полностью регулируемой инфракрасной областью, гибкая система персонализация настроек записи и регистрации.



Рисунок 4 - Тепловизионный комплекс ETIP 7320-P

Тепловизионный комплекс ETIP (Epidermal Thermal Imaging Professional Series) 7320-P представляет собой инфракрасную камеру с массивным корпусом и интегрированным программным обеспечением для анализа изображений [13]. Данная серия радиометрических камер является одной из лучших в своем классе для медицинских приложений, так как позволяет распознавать объекты с тепловым разрешением до $0,08^{\circ}\text{C}$. На расстоянии одного метра тепловизионная система (рис. 4) может пространственно разрешать области размером 1,1 мм. Электроника термокамеры составляет 16 бит, что обеспечивает превосходный анализ температурной профиля поверхности кожи пациента. Разработанное программное обеспечение IR Flash Thermal Imaging Software позволяет расширить функциональные возможности термокамеры за счет применения: функции масштабирования для адаптивного отображения термограммы в режиме реального времени, возможности усреднения изображения по выбранному временному окну, конфигурации аварийных сигналов для выбранной зоны изображения с целью настройки системы для постоянного мониторинга изменений, элементов управления изображением для настройки способа отображения изображения на экране персонального компьютера с автоматическим регулированием усиления сигнала датчика.

Вышеуказанный класс тепловизионных камер обладает высокой пространственной разрешающей способностью и большой степенью чувствительности абсолютных температур в сотые доли градуса. Они обеспечивают детальную визуализацию, выявление минимальных перепадов температур при незначительных размерах объекта исследования и цифровую запись обследований непосредственно в персональный компьютер. Создание технологии бесконтактного мониторинга транзиторных ишемических атак требует разработки специализированного программного обеспечения для автоматизированной обработки динамических термоизображений лица пациента. Реализация подобного программно-аппаратного комплекса решает задачу

быстрого и достоверного выявления термографических признаков наступления транзиторных ишемических атак на ранней стадии, что позволяет своевременно и эффективно проводить лечение до наступления необратимых нарушений инсульта.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных №14.У30.17.1897-МК.

Список литературы

1. Хижняк Л., Хижняк Е., Иваницкий Г. Диагностические возможности матричной инфракрасной термографии. Проблемы и перспективы / Вестн. новых мед. технол., 2012. – Т. 19 (4). – С. 170–176.
 2. Diakides M., Bronzino J., Peterson D. Medical infrared imaging: principles and practices / CRC press, 2012.
 3. Ring E., Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine/ Physiological measurement, 2012. – Т. 33(3). – С. 33
 4. Ring E., Phillips B. Recent advances in medical thermology/ Springer Science & Business Media, 2012.
 5. Johnston S. C. Transient ischemic attack //New England Journal of Medicine, 2002. –№ 347 (21) –С. 1687-1692.
 6. Manwani B. et al. Early Magnetic Resonance Imaging Decreases Hospital Length of Stay in Patients with Ischemic Stroke //Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases. – 2018.
 7. Santos E. B., Bianco H. T., Brioschi M. L. Thermography in Assessing Cardiovascular Risk //Pan American Journal of Medical Thermology. – 2015. – Т. 2. – №. 1. – С. 23-25.
 8. Aulmann L. F. et al. Thermal Imaging as a Diagnostic Biomarker in Acute Ischemic Stroke //Stroke. 2017. Т. 48. №. 1. С. 182.
 9. Rusanova D. et al. Vibration disease: hygienic and medical aspects //Hygiene & Sanitation, 2016. – Т. 95 (12). – С. 11.
 10. Van der Tempel L. Thermography of semi-transparent materials by a Flir ThermaCam SC3000 infrared camera. – Philips Research, 2011.
 11. Блюмин Р. Б., Наумова Э. М., Хадарцев А. А. Технологии бесконтактной диагностики //Вестник новых медицинских технологий, 2008. – №. 4.
 12. Kawali A. Thermography in ocular inflammation //The Indian journal of radiology & imaging, 2013. – Т. 23(3). – С. 281.
 13. Morales-Montiel I. et al. Hand Vein Infrared Image Segmentation for Biometric Recognition //Research in Computing Science, 2014. – Т. 80. – С. 55-66.
-