

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**И. Е. Давыдов, Ю. П. Потехина, М. В. Голованова**

**Тепловизионное диагностирование лиц с лихорадкой и ОРВИ**

Электронное учебно-методическое пособие

Работа выполнена по мероприятию блока 2 «Развитие и повышение эффективности научно-инновационной деятельности» и блока 3 «Развитие информационной научно-образовательной среды и инфраструктуры» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка мультиспектральных систем мониторинга инфракрасного и терагерцового диапазонов»  
Соглашение № 2/20 от 3.06.2013 г.

САМАРА  
2013

УДК 621.38(075)  
ББК 32.85я7  
Д 138

**Авторы: Давыдов Игорь Евгеньевич,  
Потехина Юлия Павловна,  
Голованова Маргарита Владимировна**

Редакторская обработка И. Е. Давыдов  
Компьютерная верстка И. Е. Давыдов  
Доверстка И. Е. Давыдов

**Давыдов И. Е.** Тепловизионное диагностирование лиц с лихорадкой и ОРВИ [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / И. Е. Давыдов, Ю. П. Потехина, М. В. Голованова; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. и граф. дан. ( 1,0 Мбайт). - Самара, 2013. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Электронное учебно-методическое пособие посвящено вопросам выявления лиц с лихорадкой и ОРВИ с помощью тепловизора.

Настоящее электронное учебно-методическое пособие предназначено для специалистов, выполняющих скрининговые обследования большого количества людей с целью выявления больных ОРВИ.

Электронное учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров направления 210100.62 «Электроника и наноэлектроника» радиотехнического факультета, изучающих дисциплину «Основы проектирования интегральной оптики и фотоники» в 7 семестре.

Разработано на кафедре нанотехнологий.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2013

## **ВВЕДЕНИЕ**

Развитие различных видов транспорта в сочетании с ростом мобильности человеческих популяций приводит к более интенсивному распространению инфекционных заболеваний любую точку мира в течение 24 часов. Наиболее заразными являются острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ), которые вызываются более чем 200 видами вирусов, в том числе и такими опасными, как вирус гриппа.

Этот факт привел к необходимости разработки быстрых методов скрининга инфекции в местах пребывания большого количества людей, особенно в аэропортах и на вокзалах. Поскольку лихорадка является общим показателем многих инфекционных заболеваний, быстрое выявление лихорадки является основным компонентом скрининга [3]. Однако, традиционные методы термометрии отнимает много времени и требует тесного контакта с потенциально инфицированными пациентами. Инфракрасные тепловые системы обнаружения (тепловизоры) являются удобной альтернативой термометрии. Эта технология была использована для скрининга лихорадки в больницах, аэропортах и других местах общественного транспорта [5].

Тепловой сканер может быть использован в качестве инструмента первой линии для массового скрининга на лихорадку с чувствительностью 85,4% и специфичностью 95% [4].

## **1. СОВРЕМЕННАЯ ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА**

### **1.1. Тепловизионные методы медицинской диагностики**

Медицинское тепловизионное исследование основано на регистрации инфракрасного излучения, испускаемого объектом исследования. Предметом исследования живого объекта являются различные типы тканей: кожная, мышечная, сосудистая, костная и т.п. Для

неинвазивных температурных измерений самой доступной из тканей является кожа, поэтому в большинстве случаев тепловидение имеет дело с поверхностной кожной тканью. А единственным органом, свободно доступным для непосредственного тепловизионного наблюдения, являются глаза.

Кожа человека имеет высокий коэффициент излучения, значение которого близко к значению коэффициента излучения абсолютно черного тела ( $\epsilon = 1$ ), поэтому изменение её температуры приводит к значительному изменению мощности испускаемого ИК излучения, детектируемого тепловизором. Низкий коэффициент отражения кожи в дальнем ИК диапазоне минимизирует влияние нагретых предметов окружающей среды на определение температуры кожи. С использованием тепловизионной техники это позволяет с высоким разрешением регистрировать точечную температуру, статичное распределение температуры и динамику температурного распределения.

Неоднородное поверхностное распределение температуры тела человека (рис.1.) при неизменных окружающих условиях обусловлено, состоянием сосудов, наличием в коже и подкожных слоях кровеносных сосудов и капилляров, мышц, внутренних органов, а также подкожного жира, а также обменными процессами во внутренних органах.

Нагрев участков тела происходит на 90% за счет окисления углеводов в клетках: кровь, снабжающая клетки различных тканей, нагревается и переносит образовавшееся тепло к поверхности, где оно может регистрироваться тепловизором как ИК-излучение. В состоянии покоя кровь нагревается преимущественно в сердце, печени и почках, при интенсивных физических нагрузках - в мышцах [9]. Объемное и поверхностное перераспределение крови регулируется сосудистыми реакциями дилатации и констрикции. В условиях охлаждения организма за счет сужения сосудов конечностей кровь «стягивается» от поверхности к ядру тела (см. рис.1.), а в теплых условиях происходит обратный отток

объема крови, обеспечивая увеличение поверхностной отдачи тепла.

Изменение поверхностного распределения температуры может происходить:

- при изменении внешних условий, когда активизируются *механизмы терморегуляции* в ответ на изменение температуры, конвективного теплообмена, влажности окружающей среды; в ответ на замену вещества окружающей среды, например, при погружении объекта в жидкость; когда проявляются *сосудистые реакции* на искусственное нарушение кровотока, например, при окклюзионной пробе;

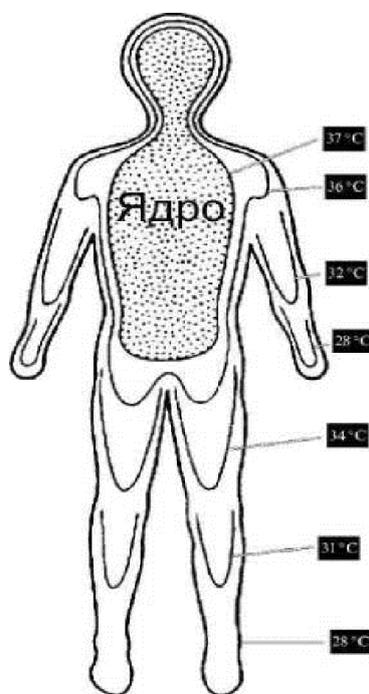


Рисунок 1.- Распределение температуры тела человека. Линиями показаны участки с одинаковой температурой на поверхности тела, которая может изменяться под воздействием многих факторов. Точками изображено ядро, область которого захватывает важнейшие органы человека, поэтому его температура поддерживается постоянной, температура поверхности может изменяться под воздействием многих факторов [9].

- при *физической нагрузке*, когда происходит активизация работы групп мышц, приводящая к росту скорости окислительных процессов, потребления кислорода, изменению сердечного ритма. При

этом изменяется общая гемодинамика тела человека, происходит распространение тепла по направлению от ядра к поверхности, осуществляется терморегуляция за счет потоотделения (конвективная теплоотдача в воздух) и излучения в окружающую среду;

- при *эмоциональной нагрузке*, когда создаются условия легкого стресса, например, предъявлением тестов, с заданиями, требующих умственных затрат и выполняемые в условиях ограниченного времени. Это может приводить к изменению химического состава крови выработкой гормонов; влияющих на тонус сердечнососудистой системы и состояние сосудов кожи;

- при *фармакологической пробе*, которая осуществляется введением в организм препаратов различного назначения и последующим наблюдением изменения периферического кровообращения.

Изменение поверхностного распределения температуры также может наблюдаться при воздействии излучений в рамках научных исследований или во время стандартных физиотерапевтических процедур.

В статических термограммах диагностическую информацию можно извлекать из анализа температурной асимметрии в контралатеральных областях, например, лица, груди, спины, конечностей одного и того же объекта или при сравнении термограммы исследуемого объекта с термограммой, представляющей распределение температуры в норме.

В динамических термограммах, образующихся как запись последовательности тепловизионных кадров, диагностика может осуществляться при выявлении отклонений физиологической реакции на экзо - и эндогенные факторы при нагрузочном тестировании.

Таким образом, температурный рельеф поверхности тела человека зависит, в конечном счете, от уровня наполненности тканей кровью, от степени её нагревания при функциональной активности мышц и внутренних органов, от перераспределения крови при регулировании

просвета сосудов, а также от тепловых свойств ткани (теплопроводности, теплоемкости). Эти параметры составляют основу тепловизионной диагностики и дают возможность определить класс патологий выявляемых посредством регистрации термограмм. Основные области применения тепловидения в медицине перечислены в таблице 1 [9].

Опишем разновидности тепловизионных методов.

*Статические тепловизионные методы* основаны на получении и анализе единичных тепловизионных снимков.

*Динамические тепловизионные методы* основаны на получении и анализе последовательности тепловизионных снимков. Одно из направлений динамического тепловидения - DAT (Dynamic Area Telethermometry - динамическая зонная телетермометрия) было описано Михаэлем Анбаром (Michael Anbar) в его монографии. Исследования Анбара в начале 90-х показали, что быстрое изменение температуры кожи человека, регистрируемое тепловизором, содержат значительную физиологическую и патофизиологическую информацию, которая не может быть получена из статических термограмм.

К конкретным современным динамическим методам относятся: импульсный метод (PT- Pulsed Thermography), активный динамический метод (ADT - Active Dynamic Thermal IR-Imaging), импульсно - фазовый метод (PPT- Pulse Phase Thermography), метод тепловой томографии (TT- *Thermal Tomography*) [14].

■ *Импульсный метод (PT)* - основан на проведении вычислений функции температурного контраста между патологическими и нормальными участками поверхности. Для наблюдения динамики температуры используется возбуждение нагреванием или охлаждением поверхности.

Таблица 1. Тепловизионные методы и области применения тепловидения в медицине

Области применения тепловидения	Тепловизионные методы
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Онкология (рак груди, кожи)</li> <li>• Сосудистые расстройства (диабет, глубокий венозный тромбоз)</li> <li>• Артрит/ ревматизм</li> <li>• Неврология</li> <li>• Хирургия (операции на открытом сердце, трансплантация органов и т.д.)</li> <li>• Офтальмология (при удалении катаракты)</li> <li>• Оценка жизнеспособности ткани (ожоги)</li> <li>• Дерматологические болезни</li> <li>• Мониторинг воздействия лекарств и процесса лечения</li> <li>• Болезни щитовидной железы</li> <li>• Стоматология</li> <li>• Респираторные заболевания (аллергии, атипичная пневмония)</li> <li>• Спортивная и реабилитационная медицина</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Статические (классические)</li> <li>• Динамические</li> <li>• Мультиспектральные</li> <li>• Мультимодальные</li> <li>• Использующие тепловизор в составе объединенной сенсорной системы (sensor fusion)</li> </ul>

■ *Активный динамический метод (ADT)* - основан на регистрации температуры в процессе нагрева или охлаждения, по полученной зависимости идентифицируется математическая модель поверхности, представленной в виде слоев, с помощью которой определяются свойства каждого слоя. К похожей технике относится *tau - метод* (τ - technique), который основан на выявлении характеристического времени восстановления стабильной температуры, измененной принудительным охлаждением или нагревом. *Tau — метод* выявляет патологические участки кожи, основываясь на отличии времени восстановления их температуры, от времени восстановления здоровых участков (см. Использование Tau – метода для диагностики венозного тромбоза).

■ *Импульсно - фазовый метод (PPT)* - основан на вычислении амплитуды и фазы температурной динамики на последовательности тепловизионных кадров с использованием преобразования Фурье. Этот метод пока не нашел применения в медицинской диагностике.

■ *Метод тепловой томографии (TT)* - основан на решении обратной задачи определения объемных свойств объекта по распределению температуры на его поверхности. Данный метод успешно применяется для

оценки объемного распределения коэффициента теплопроводности, по которому оценивается глубина ожога кожи.

■ *Мультиспектральные тепловизионные методы основаны на* проведении исследований и сопоставлении тепловых свойств объекта в нескольких спектральных диапазонах.

■ *Мультимодальные методы* — основаны на совместном использовании тепловизоров с измерительной аппаратурой, получающей сигнал иной физической природы. Примером может являться совместное исследование рака груди термографическим методом и методом рентгеновской маммографии.

### *Тепловидение как метод выявления патофизиологии*

Тепловизионная процедура является физиологическим тестом, при котором измеряются тонкие физиологические изменения, вызванные многими условиями, например, ушибом, разрывом мягких тканей, ожогом, опухолью, кожными заболеваниями, ревматоидным артритом, диабетом, глубоким венозным тромбозом, бактериальными инфекциями и т.д. Эти условия связаны с региональным расширением сосудов, гипертермией, гиперемией, повышенным метаболизмом или повышенной васкуляризацией тканей [9], которые образуют высокотемпературные источники тепла. В отличие от визуализации с помощью рентгеновского исследования или компьютерной томографии, при использовании которых обращают внимание преимущественно на анатомическую структуру, тепловизионная визуализация дает информацию о функционировании тканей и органов, не так просто измеряемую другими методами. Для корректной интерпретации тепловизионной информации необходимо глубокое знание и понимание физиологии человека.

Покажем, как с помощью тепловидения можно выявлять наличие раковых опухолей. Раковые клетки возникают из нормальных клеток, генетически измененных под воздействием химических веществ, рентгеновских лучей, ультрафиолетового излучения и т.д. Все типы

раковых клеток имеют несбалансированную метаболическую активность, которая приводит к потреблению из крови больших количеств глюкозы и выбросу в кровь молочной кислоты. Высокая скорость обмена веществ в раковых клетках приводит к повышению локальной температуры в сравнении с нормальными клетками. На тепловизионных кадрах опухоль будет видна как пятно, имеющее повышенную температуру.

Испускание тепла с поверхности от источника, окруженного потоком крови, может быть описано количественно с использованием теплового уравнения Пеннеса (Pennes bio-heat equation) [9]. Это уравнение учитывает влияние тепла передаваемого через ткань, образование объемного тепла как результата метаболических реакций и скорость объемной перфузии крови, интенсивность которой определяется артерио-венозной разницей температур [9].

Уравнение записывается в следующем виде:

$$kA^2T - c_b w_b (T - T_a) + q_a = 0,$$

где  $k$  - удельная теплопроводность,  $q_a$  - объемная скорость метаболизма в ткани,  $c_b$  - удельная теплоемкость крови,  $w_b$  - скорость массопереноса крови на единицу объема ткани,  $T$  - неизвестная температура ткани,  $T_a$  - температура артерии.

Данное уравнение дает возможность решать обратную задачу определения формы различных внутренних элементов тела по излучению, испускаемому его поверхностью. Такие расчеты можно выполнять с использованием термодинамических уравнений, однако, такой подход является труднореализуемым из-за сложности граничных условий, связанных с биологическим объектом [9]. Опишем различные способы использования тепловизионной информации

### *Некоторые подходы к анализу тепловизионной информации*

Метод анализа тепловой системы, основанный на аналогии с термоэлектрическими процессами и теорией электрических цепей был предложен Лиу (Liu) и др. [9]. Этот метод не требует непосредственного

решения обратной задачи распространения тепла. Он позволяет оценивать глубину теплового источника и помогает понять метаболические процессы, происходящие внутри тела человека. Данный метод использовался для обнаружения рака груди у женщин на ранних стадиях и достиг высокой чувствительности. Диагностический протокол включает следующие пункты: увеличение лимфатических узлов в подмышке; размер и внешний вид патологической зоны; сосудистый рисунок патологической области; структура соска и околососкового кружка; результаты динамической диагностики с введением препаратов, например, антибиотиков.

При анализе термограмм симметричных объектов можно сравнивать контралатеральные области. Подозрительными считаются участки с выявленной температурной асимметрией. Такой подход может быть использован для обнаружения рака груди и выявления температурных аномалий других участков тела человека. Однако малые температурные асимметрии бывает трудно обнаружить, поэтому важно разрабатывать методы обработки и анализа термограмм, при использовании которых уменьшается влияние человеческого фактора. Хед (Head) и др. в своих исследованиях [9] анализировали температурную асимметрию с предварительной сегментацией тепловизионного изображения оператором. Далее сегменты, содержащие грудь, определялись автоматически по точкам на подбородке и крайним левым, правым и нижним точкам груди. Кьюай (Qi) и др. [9] исследовали автоматический подход к анализу асимметрии термограмм, состоящий из автоматической сегментации и классификации выявляемых термографических рисунков. Для сегментации левой и правой груди использовалось преобразование Хафа (Hough), которое выделяет группы пикселей, удовлетворяющих уравнению некоторой плоской кривой, например параболы или эллипса. Строились четыре характерных кривых: две кривые очерчивают левую и правую границы тела, а две параболические кривые - нижнюю границу левой и правой груди.

Поскольку поверхностное распределение температуры уникально для каждого человека, то во многих исследованиях выполняется относительный анализ температурной асимметрии, при котором вычитаются значения каждого пикселя одной половины термограммы из соответствующих значений зеркально-симметричных пикселей противоположной половины и формируется разностное изображение температур.

Другой трудностью тепловидения является отсутствие единообразия в классификации термограмм. Фуджимаса (Fujimasa) в своей новаторской работе [9] предложил восемь термофизиологических категорий для идентификации термограмм различной структуры. Такие категории были названы терматомами (thermatomes) и обозначают причины вызывающие температурные отклонения, категории и соответствующие им причины приведены в таблице 2.

Упомянувшиеся ранее исследования Анбара, показали, что использование классического быстрого преобразования Фурье и элементарной статистики позволяет большое число последовательных наблюдений свести к единичному диагностическому параметру без участия эксперта.

В другом направлении исследований, которое развивают Павлидис (Pavlidis) и Левин (Levin) [9], используется нелинейное моделирование теплопередачи, которое позволило отслеживать окологлазничный кровоток в состоянии взволнованности испытуемого. В результате с помощью такой техники можно извлекать информацию о незначительных флуктуациях формы температурных контуров лицевой области и использовать тепловизионный канал при проверке на полиграфе для повышения достоверности итоговых заключений об истинности или ложности ответов. Бесконтактное определение жизненно важных параметров организма человека.

Таблица 2. Вариант классификации термограмм по источнику, вызывающему температурные аномалии

<b>Категория</b>	<b>Причины температурного отклонения</b>
Ангиологическая	Органические сосудистые нарушения
Функциональная ангиологическая	Сосудистые расстройства
Нейро - дерматомическая	Соматосенсорное нейронное (neurogal) расстройство
Миотомическая	Нарушения кровотока в мышцах
Метаболическая	Пониженная или повышенная теплопродукция в тканях, приводящая к образованию более теплых
Динамическая, зависящая от окружающей среды	Нетипичная температурная реакция пациента на созданную тепловую нагрузку
Динамическая, зависящая от вводимого препарата	Нетипичная температурная реакция на препарат, принимаемый пациентом
Динамическая, зависящая от различных стрессов	Не нормальная температурная реакция пациента на другие виды нагрузок

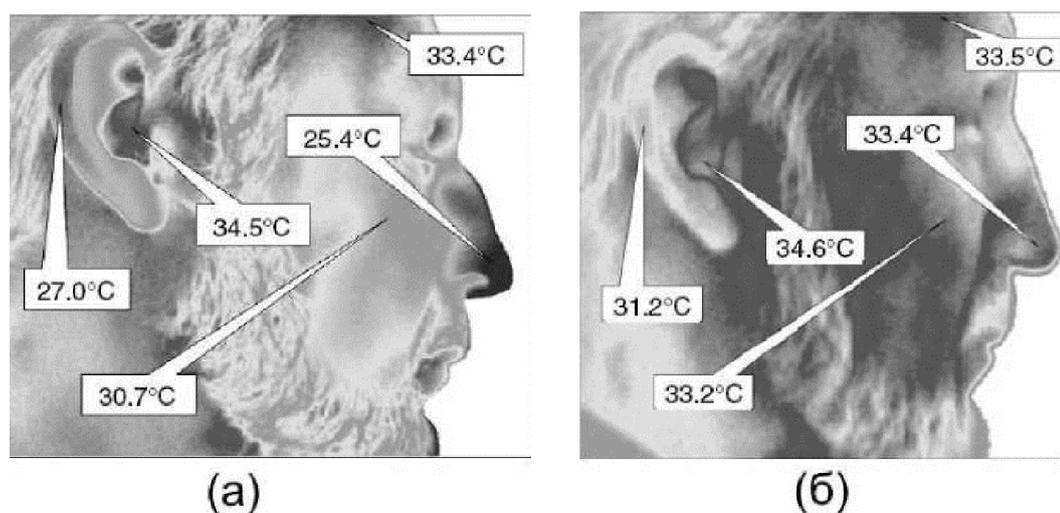
## 1.2. Поиск информативных участков на поверхности лица человека

Распределение температуры на поверхности тела человека зависит от состояния внутренней и внешней среды. Для каждого человека распределение температуры имеет свои физиологические особенности, изучение и интерпретация которых могут быть значимыми для идентификации конкретных патологий или определения общего (психофизического) состояния организма человека.

Тепловидение по статическому температурному распределению и его динамике во времени выявляет функциональную активность различных участков тела человека. Сравнительно небольшое разрешение матричных приемников, используемых в тепловизорах, не позволяет получать на одном кадре изображение всего тела человека с высоким пространственным разрешением, которое необходимо для последующей количественной обработки термограмм. При реализации такой высокоразрешающей съемки будет актуальной задача интегрального

анализа термограмм, результаты которого основываются на сопоставлении и взаимном согласовании тепловизионной информации, получаемой одновременно с различных областей тела человека. Во всех случаях имеется тенденция к выделению высокоинформативных участков, где тепловые эффекты и реакции проявляются наиболее интенсивно на фоне соседних участков.

В настоящее время стандартно проводят съемку сравнительно небольшого выбранного участка тела человека, представляющего интерес для данного исследования. Важную диагностическую роль могут играть участки поверхности, в которых ярко проявляются температурные реакции на изменение окружения или внутренней среды. В таких единичных участках должна быть сконцентрирована информация об общем состоянии организма.



Р

Рисунок 2. - Термограмма лица мужчины, находящегося в теплых - а и прохладных условиях-б [9]

Поверхность лица физически здорового человека имеет неоднородное распределение температуры. В области лица представлены все сенсорные системы (визуальная (зрение), аудиальная (слух), густаторная (вкус), обфакторная (чувство запаха), тактильная (ощущение прикосновений)). Дополнительным преимуществом зоны лица является беспрепятственная тепловизионная съемка, т.к. лицо чаще всего является

открытым участком не закрытым одеждой. На рис. 2 приведены термограммы лица мужчины 52 летнего возраста в прохладных ( $T=15^{\circ}\text{C}$ ) и теплых ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ) условиях. Заметно, что при смене температуры окружающей среды температура поверхности лица в некоторых участках изменяется (нос, ушная раковина, щека), а в других частях поддерживается почти постоянной (наружный слуховой проход, лоб). Это объясняется тем, что в прохладных условиях артериовенозные анастомозы\* области носа и ушной раковины закрыты, кровоток снижен, что приводит к их относительно низкой температуре.

В условиях перегрева действие симпатических нервов, управляющих вазоконстрикцией ослабевает, происходит расширение анастомозов, позволяя теплой крови заполнить подкожное венозное сплетение, обеспечивая отдачу большого количества тепла в окружающую среду.

\*Артериовенозный анастомоз - анастомоз, соединительным звеном которого является извитая артерия, имеющая во внутренней оболочке мощный слой продольных мышечных клеток. При сокращении и расслаблении этих клеток просвет сосуда то сужается вплоть до полного перекрытия, то расширяется.

По-видимому, обеспечение стабильной температуры в области лба и наружного слухового прохода объясняется близостью лобных долей коры головного мозга и органа слуха, соответственно. Рассмотрим подробнее различные области лица

### *Неустойчивость температуры носа*

Нос, предположительно, может являться наиболее чувствительным индикатором внутреннего состояния организма, обладая повышенной чувствительностью к внешним и внутренним раздражителям [9]. Исследования показали возможность изменения температуры поверхности носа на протяжении всего лишь нескольких минут на несколько градусов, одновременно с тем, как другие зоны лица сохраняют термостабильность.

Наглядной иллюстрацией может служить рис. 3., где на двух графиках собраны семейства температурных кривых, полученных соответственно при вертикальном и горизонтальном сечениях нескольких

последовательно измеренных термограмм лица, подверженного повторяющемуся импульсному электрическому воздействию одного из штатных аппаратов косметического салона. При этом наблюдались значительные по амплитуде сосудистые реакции в области носа. Такое поведение лицевого "органа - индикатора" интерпретировалось в рамках предположений о высокой чувствительности путей иннервации, регулирующих просвет артерий носа и их ветвей к эмоциональному состоянию человека, к различным внешним раздражителям [9].

Особенные тепловые свойства носа могут также объясняться тем, что он является самой выступающей частью лица, поэтому образующееся здесь тепло не рассеивается в окружающие ткани и тепловая картина поверхности отражает именно свойства области носа. Выступающее положение носа обеспечивает более сильное влияние условий окружающей среды за счет хорошей конвекции и относительно низкого кровоснабжения этой области. По этим причинам у большинства здоровых людей область носа является самой холодной областью лица.

На изменение температуры в области носа может влиять ментальная (умственная) нагрузка, имитация которой может создаваться, например, с помощью теста Струпа.

Целенаправленное изучение особенностей терморегуляции в области носа может привести к созданию методик, позволяющих проводить быстрые диагностические и физиологические пробы применительно к задачам психиатрии, неврологии и иных медицинских направлений.

#### *Особенности распределения температуры в области глаз*

В работе [9] при помощи тепловизионных камер диапазона 3-5 мкм и 8-12 мкм приведены результаты исследований распределения температуры в области глаз и изменения температуры глаз в процессе акта моргания. В исследовании использовались 20 относительно здоровых людей в возрасте от 20 до 65 лет. Термограмма области глаз человека и распределение температур вдоль линий  $A_1V_1$  и  $A_2V_2$  приведены на рис. 2.4.

б и в.

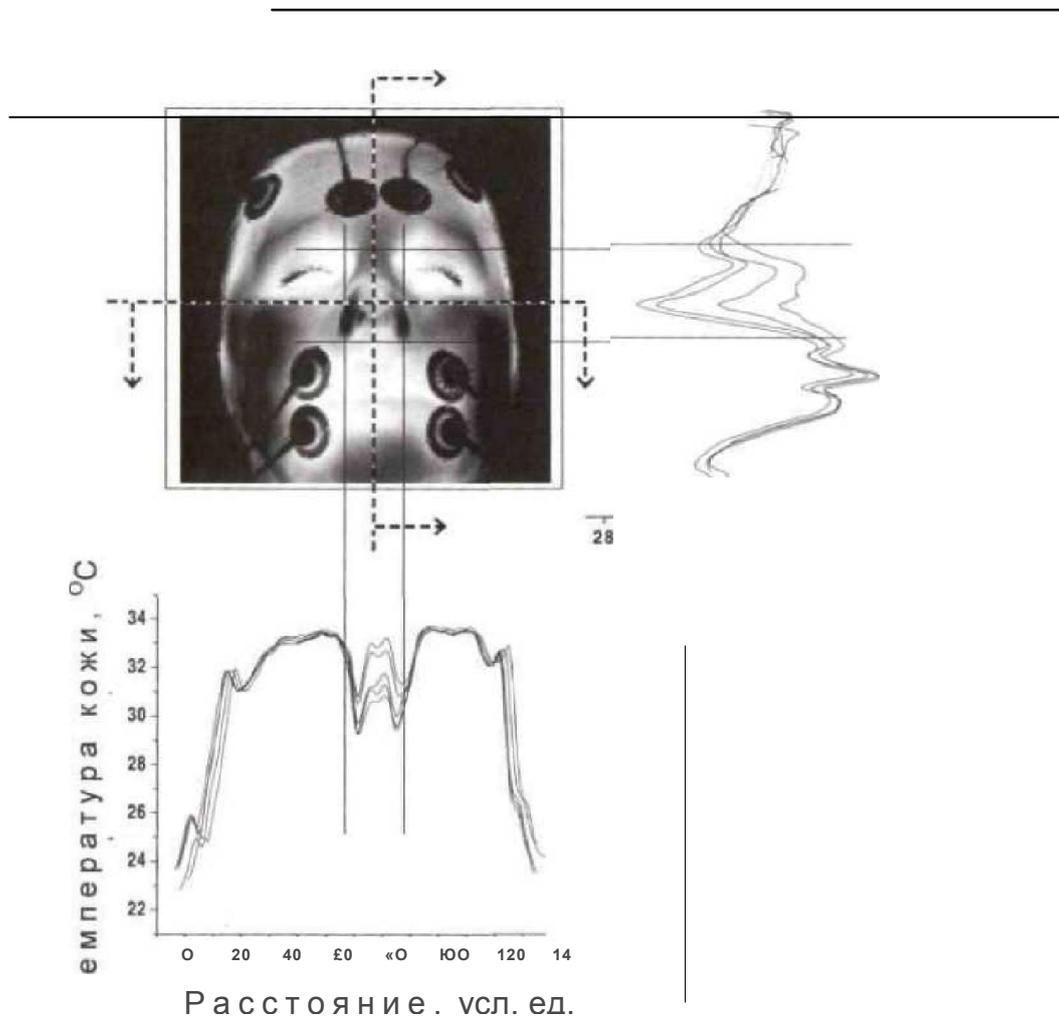


Рисунок 3. - Распределение температуры в центральных (вертикальном и горизонтальном) сечениях нескольких последовательных термограмм, измеренных в течение косметологической процедуры миолифтинга (воздействия импульсным электрическим током, приводящего к сокращению мышц лица) [9]

Вдоль линий  $A_1V_1$  и  $A_2B_2$  оценивалась асимметрия температурных профилей левого и правого глаза. В большинстве случаев выявлена асимметричность тепловых профилей для левого и правого глаза. В различных случаях, в соответствующих точках левого и правого глаза экспериментально наблюдается:

- одинаковая форма профилей, но различные значения температур;
- близкие значения температур, но различные формы профилей;
- различные значения температур и различная форма профилей;
- совпадение формы профилей и значений температур.

- Установлено, что температура века в области переносицы (точки  $C_1$

и Ст рис.5. б) максимальна ( $T=36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), и может использоваться в качестве дистанционного диагностического критерия для определения температуры человека. Она хорошо коррелирует с соответствующими (левая/правая сторона) значениями температуры в области слухового прохода, измеряемой с помощью стандартных медицинских ИК-термометров. Температура во внутреннем уголке глаза вблизи переносицы отличается от температуры в области слухового прохода не более чем на  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Хорошую корреляцию максимальной температуры глаз и средней температуры наружного слухового прохода наблюдали в других исследованиях [9] (рис. 6.).

- Высокая температура век в области переносицы может объясняться наличием шести интенсивно работающих мышц глаза и разветвленной сети кровоснабжения (напр, ресничная артерия). Эписклера и цилиарное тело, богатые кровеносными сосудами, могут испускать в окружающее пространство излучение, вызванное выделением тепла как за счет окислительно-метаболических процессов в мышцах, так и за счет хорошего кровоснабжения.

Помимо области глаз относительно высокую температуру на лице имеет область губ. Изменяя порог дискриминации температур на термограмме (рис. 7. а) можно добиться яркой видимости самых нагретых участков поверхности лица. Выделяются группы людей с высокой температурой в области глаз и губ (рис.7. б) и группы людей с максимальной температурой только в области глаз (рис.7. в) [9].

На рис. 8. приведены зависимости температуры глаза от времени при открытии век, которые измерялись в двух участках - ближе к виску и ближе к переносице (черные кружки на рис. 5. а).

Анализ формы температурных кривых при остывании стекловидного тела после открывания век выявил, что эта характеристика является индивидуальной для каждого человека [9].

При комнатной температуре (около  $20^{\circ}\text{C}$ ) после открытия век в

течение первых 5 секунд происходит охлаждение стекловидного тела (рис. 8), в течение последующих 5 секунд температура глаз растет, превышая конечную температуру на 0.3 - 1 °С, далее температура постепенно снижается

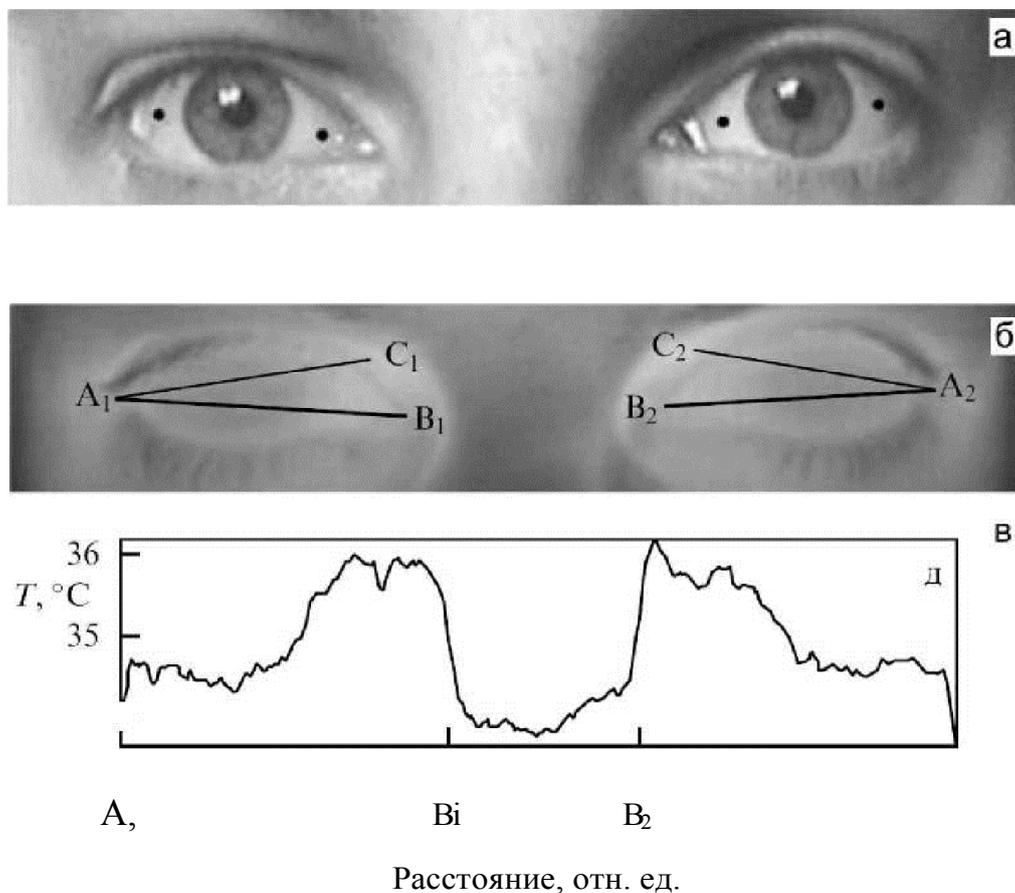


Рисунок 5.-Видимое изображение глаз, где точками обозначены области измерения температуры после открытия век - а, термограмма области глаз - б и температурный профиль вдоль линий A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> и A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>-в [9]

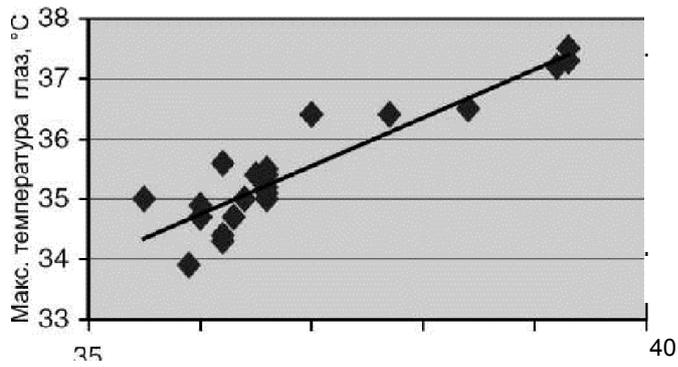


Рисунок 6. Соотношение максимальной температуры области глаз и температуры наружного слухового прохода [9]

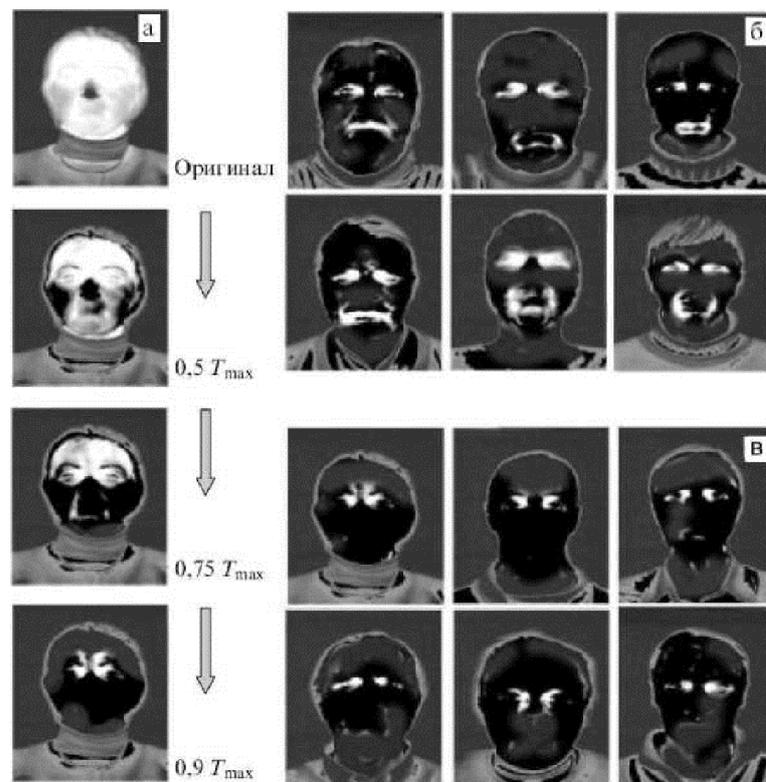


Рисунок 7.-Термограммы, выделяющие зоны лица с относительно высокой температурой: а - вид термограммы лица одного и того же человека при различных уровнях дискриминации температуры; б - термограммы группы людей с высокой температурой в области глаз и губ; в -термограммы группы людей с максимальной температурой в области глаз[9]

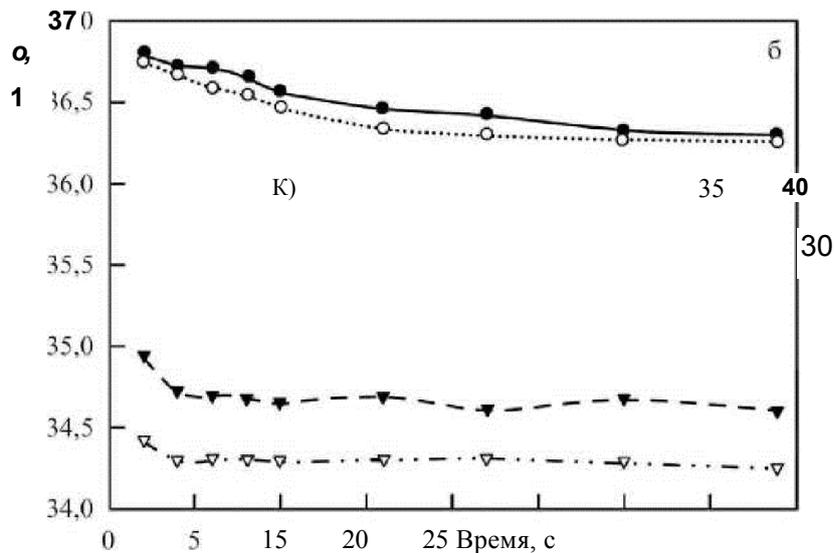


Рисунок 8.-Зависимость температуры глаз от времени после открытия век для двух различных людей (а) и (б) [9]

и достигает стационарного значения приблизительно через 10 секунд. Суммарное время переходного процесса составляет около 20 секунд. На рис. 8.6 приведены временные зависимости температуры при открытии века, когда адаптационная способность кровеносных сосудов и системы увлажнения глаз снижена. Наблюдается различный характер переходного температурного процесса в одинаковых точках левого и правого глаза [9].

Температура в области зрачка ниже максимальной температуры в условиях отсутствия моргания в течение 5-10 секунд. Эта область может рассматриваться как область с наиболее равномерным распределением температур, среднеквадратичное отклонение значений температур составляет от 0.06 до 0.15 °C [9].

Стандартно в медицинской практике выполняются измерения температуры контактными термометрами в четырех областях: подмышечной впадине (в норме  $T \sim 36.6 - 36.8^{\circ}\text{C}$ ), под языком (в норме  $T \sim 36.7 - 36.8^{\circ}\text{C}$ ), в прямой кишке (в норме  $T \sim 37^{\circ}\text{C}$ ), наружном слуховом проходе. При необходимости дистанционного измерения температуры первые три области являются недоступными, в такой ситуации область лица оказывается наиболее выгодной. Выявленные особенности распределения температуры в области глаз и наружного слухового прохода могут способствовать созданию систем предварительной экспресс диагностики в случае эпидемий и контроля

инфекционных заболеваний в местах скопления большого количества народа (аэропортах, вокзалах). Тепловизор обеспечивает дистанционность термометрии, а знание особенностей распределения температуры на лице человека позволяет осуществить такую первичную диагностику



Рисунок 9.- Скрининговое обследование реализуемое с использованием тепловизионной техники [9]

Использование тепловизоров в скрининговой диагностике реализуется на специализированных пунктах (рис. 9.). Человек останавливается в квадратной зоне, отмеченной на полу (рис. 9. а), проводится запись статичной термограммы в фас и профиль (рис.9. б), по которым измеряются температуры нескольких информативных областей. Таким образом, можно контролировать пересечение границ государства людьми с атипичной пневмонией и другими пандемиями. Для группы людей с лихорадкой столбик гистограммы с максимальной амплитудой (мода гистограммы) смещается в сторону более высоких температур относительно гистограмм группы людей, представляющих норму, что в аэропортах и вокзалах позволяет выявлять инфицированных людей.

Пример на рис.3. показал, что температура в области лба относительно стабильна при изменении окружающих условий. При проведении дыхательного теста на здоровых людях обнаружилось, что температура в области лба и сонной артерии изменяются со временем, но отношение температуры лба к температуре сонной артерии для здоровых людей является почти постоянной

величиной:  $1.005 \pm 0.025$  [9].

Дыхательный тест проводился на 30 сравнительно здоровых людях разного пола и возраста (от 20 до 69 лет). Суть теста состояла в том, что испытуемому предлагалось сделать не менее 5 глубоких вдохов и выдохов, а затем задержать дыхание на 25-30 секунд, во время проведения теста проводилась тепловизионная запись.

Температура в наблюдаемых областях может повышаться, понижаться или поддерживаться на относительно постоянном уровне. Зависимости индивидуальны для каждого испытуемого.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИДЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЛИЦ С ЛИХОРАДКОЙ И ОРВИ**

Тепловидение - это неинвазивный метод функциональной диагностики, в основе которого лежит дистанционная регистрация теплового излучения тела человека. Тепловидение дает одновременное представление об анатомо-топографических и функциональных изменениях. Изменение локальной температуры обусловлено изменениями микроциркуляции, связанными с воспалительными и дегенеративными процессами.

В норме распределение температуры на поверхности тела симметрично, разница между симметричными зонами не превышает  $0,2^{\circ}-0,4^{\circ}\text{C}$ . Каждая область человеческого тела имеет характерную термографическую картину. Причем у здоровых людей отмечается стабильность термографических паттернов [8]. Изменение этой картины - явный признак патологического процесса. Основные черты нормальной тепловизионной картины лица:

- Волосистая часть головы и брови на тепловизоре выглядят холодными, так как волосы являются экраном для ИК-излучения.
- Нос и уши всегда холоднее других зон.
- Губы изотермичны или немного теплее, их температура повышается при менструации и беременности.

- Внутренний угол глаза является зоной с самой высокой температурой и всегда теплее наружного угла глаза на 0,4-0,8°C.

Различные патологические процессы характеризуются термоасимметрией и наличием температурного градиента между зоной повышенного или пониженного излучения и окружающими кожными покровами, что отражается на термографической картине. Поэтому количественная оценка основана на сравнении температуры кожного покрова в проблемной области с симметричным участком тела человека или с окружающими участками. Многие патологические процессы (воспалительные, опухолевые и дегенеративные процессы, нарушения кровообращения) меняют нормальное распределение температуры на поверхности тела, причем эти изменения тем более выражены, чем поверхностнее расположен патологический очаг. Во многих случаях локальные изменения температуры опережают другие клинические проявления, что очень важно для ранней диагностики и своевременного лечения.

Тепловидение - это высокочувствительный и низкоспецифичный метод, который не имеет противопоказаний к многократному применению вследствие своей абсолютной безвредности. Благодаря этому тепловидение подходит для скрининга. Этот метод позволяет объективизировать такие симптомы, как лихорадка и воспаление в ЛОР-области. Может выявляться гипертермия в области лба и в области внутренних углов глаз как показатель повышения общей температуры тела. Внутренний угол глаза кровоснабжается веткой внутренней сонной артерии, которая питает и головной мозг, в то время как остальная часть лица кровоснабжается от наружной сонной артерии и, следовательно, именно внутренний угол глаза является наиболее надежным индикатором температуры температурного ядра (Рис. 1). Воспаление слизистых оболочек носа и околоносовых пазух также может приводить к гипертермии в этих зонных, а также приводить к термоасимметрии.

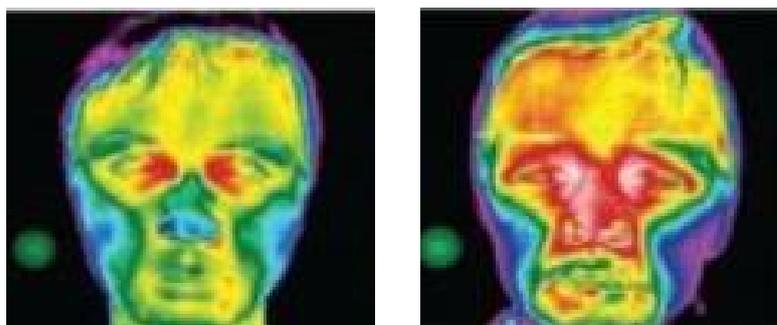


Рисунок 10 - Термограммы лица здорового человека (слева) и больного лихорадкой (справа) [6].

Нужно иметь в виду, что температура внутреннего угла глаза или любой другой зоны кожи, отличается от глубокой температура тела и всегда будет несколько ниже. Также, поверхностная температура зависит от внешних условий. Например, при увеличении температуры воздуха от  $15,5^{\circ}\text{C}$  до  $26,6^{\circ}\text{C}$  температура внутренних углов глаз увеличивается с  $35,7^{\circ}\text{C}$  до  $37,6^{\circ}\text{C}$ , хотя в глубине температура тела остается неизменной.

Повышенную температуру в области внутренних углов глаз относительно легко обнаружить. Однако, зависимость между этой температурой и общей температурой тела не является четкой линейной. Температура в области внутренних углов глаз у лихорадящего человек будет по крайней мере на  $1-2^{\circ}\text{C}$  выше, чем у здорового человека. Субфебрилитет обнаружить труднее [1].

Метод тепловидения используется в медицине уже более 50 лет. Первая публикация появилась в 1956 году [2], и касалась она скрининга на рак молочной железы.

Применение тепловидения для скринингового обследования позволяет выявить признаки лихорадки и воспаления в ЛОР-области на ранней стадии течения ОРВИ. Метод приобретает особенно большую ценность при обследовании большого количества людей.

Использование термосканеров в аэропортах с целью выявления лихорадки имело место в нескольких странах на протяжении пандемии гриппа H1N1 в прошлом году, а также вспышки в 2003 г. тяжёлого острого респираторного синдрома, который унёс жизни 800 человек, прежде чем было

остановлено его распространение. Поэтому в случае существования угрозы быстрого распространения инфекции некоторые эксперты рекомендуют проводить скрининг пассажиров авиарейсов на предмет наличия ранних симптомов заболевания, наиболее типичным из которых является лихорадка. В противном случае вновь заболевшие могут появиться в любой стране мира в течение нескольких часов.

Однако, невозможно обнаружить инфицированных лиц на ранних и поздних стадиях развития лихорадки. Всегда будут возникать ситуации, когда инфицированные лица могут не иметь повышенной температуры тела. Например, во время инкубационного периода, после приступа лихорадки, а также на фоне приема жаропонижающих средств.

Неправильное использование ИК-камеры и конструктивные недостатки в камере также являются причинами для некачественного скрининга. Особенно имеют значение слишком большое расстояние до объекта, плохой фокус и низкое разрешение камеры. Необходимо соблюдение нового стандарта ISO / IEC TC121/SC 3N.

### **3. УСЛОВИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ**

Пассажиры должны быть предварительно оповещены, что проверка не связана с каким-либо воздействием и не имеет никакого риска. Пассажиры должны организованно приближаться к области сканирования таким образом, чтобы идти на разумной скорости, то есть поток людей должен контролироваться [7].

Условия обследования детально описаны в документе «Protocols for mass screening of airport passengers with Med2000 thermal imaging systems»:

- тепловизор предназначен для работы в стабильной окружающей среде с температурой от 19°C до 27°C и стабильностью  $\pm 1^\circ\text{C}$  (при  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ), при относительной влажности от 40% до 75%;
- из зоны работы ИК-камеры должны быть убраны инфракрасные источники, включая все лампы накаливания, галогенные или любых другие источники

- тепла, освещение должно осуществляться люминесцентными лампами;
- кондиционер не должен дуть холодный воздух на обследуемых;
  - стены или перегородки не должны отражать ИК-излучение;
  - расстояние до объекта должно быть стандартизованное – от 2,5 до 5 метров, оптимально 3 метра ;
  - угол наклона камеры к поверхности лица должен приближаться к 90°, камера должна быть установлен чуть выше уровня голов;
  - объект исследования должен находиться перед камерой в течение  $\approx$  2-3 секунд, чтобы захватить температуру (определяется характеристиками тепловизора);
  - очки, маски, головные уборы должны быть удалены,
  - должна быть термоадаптация человека, то есть ИК-камера должна быть в глубине здания, чтобы по пути к ней человек адаптировался к температуре помещения, желательно, в течение не менее, чем 5 минут.

#### 4. АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ

Программа обработки изображения должна выделять лица людей из окружающих предметов (лица обычно имеют более высокую температуру, чем одежда, волосы и окружающие предметы). На лице программа должна выделять следующие зоны: лоб, область глаз и носа.

Для получения точных измерений нужно так расположить камеру, чтобы получить минимум 16 пикселей в каждом углу глаза. Процедура захвата изображения была разработана в Университете Glamorgan, и была принята в качестве международного стандарта для скрининга лихорадки [6].

Программа должна следовать нижеприведенному алгоритму:

1. выявляется максимальная температура в области внутренних углов глаз, так как область глаз лучше соотносится с общей температурой тела, является одним из наиболее термостабильных мест и видна не только в фас, но и в анфас и профиль, и сравнивается с цифрой 36,3°C: *если максимальная температура более 36,3°C в области внутренних углов глаз, то это является признаком*

*лихорадки и ОРВИ;*

2. выявляется максимальная температура в области лба (например, у людей в очках углы глаз не видны): ***если максимальная температура более 35,8°C в области лба, то это является признаком лихорадки и ОРВИ.***

Эти цифры соответствуют общей температуре тела 37 и более °С при измерении в подмышечной впадине и 37,7 и более °С при измерении в наружном слуховом проходе, и были установлены в исследовании с использованием тепловизора ThermoCAM S60 FLIR система (FLIR Systems, 2004), спектральный диапазон 7,5-13 мкм).

***В случае, если выявляется хотя бы один признак из двух (по пп. 1 или 2), то программа должна давать визуальный и/или звуковой сигнал тревоги.***

Установка температуры отсечения для достижения более высокой чувствительности может привести к большому количеству ложно положительных результатов, которые могут иметь негативные последствия для населения (например, ненужных задержек путешествия, пропустил работу) и увеличению нагрузки на сотрудников, которые проводят скрининг. В условиях, когда подтверждающее обследование может оказаться невозможным, более высокая температура отсечения может быть предпочтительнее.

***Лица с подозрением на лихорадку и ОРВИ должны быть обязательно подвергнуты процедуре измерения общей температуры тела в подмышечной впадине и/или в наружном слуховом проходе с помощью специализированного термометра, а также осмотрены врачом или другим медицинским работником, так как есть факторы, приводящие к ложноположительным результатам (см. ниже).***

При ринитах и синуситах, которые являются частыми симптомами ОРВИ, всегда повышается температура в области внутренних углов глаз, а при односторонних поражениях в этих областях наблюдается термоасимметрия более 0,4°C. Поэтому еще одним пунктом алгоритма обработки может быть вычисление разницы между максимальными температурами в области внутренних углов глаз. Однако, при атеросклерозе внутренних сонных артерий

и их ветвей термоасимметрия в этих зонах может превышать  $0,4^{\circ}\text{C}$ , поэтому термоасимметрию нужно вычислять, только если максимальная температура в этих областях превышает  $36,3^{\circ}\text{C}$ .

## **5. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ КОЖИ ЛИЦА**

- физическая активность повышает температуру (например, человек бежал с чемоданом),
- стресс (изменения температуры зависят от стадии стрессовой реакции и индивидуальных особенностей человека),
- алкоголь повышает температуру кожи лица; наркотики, никотин, кофеин могут менять температуру;
- проблемы кровообращения: недостаточность мозгового кровообращения снижает температуру лица, а артериальная гипертензия повышает;
- головная боль;
- вегетативной дисфункции,
- нарушения функций щитовидной железы;
- травмы и кожные воспалительные процессы в области лица повышают его температуру;
- у женщин при беременности и менструация, а также при заместительной гормональной терапии повышается температура лица;

К ложноотрицательным результатам могут привести использования жаропонижающих и других лекарственных препаратов, большого количества косметики, очки и головные уборы, а также длинные волосы, закрывающие лоб и глаза.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По данным исследователей Центров по контролю и профилактике заболеваний (CDC, США), термосканеры гораздо надёжнее диагностируют наличие лихорадки, нежели обычный опрос людей на предмет наличия у них симптомов ОРВИ, включая повышение температуры тела. В ходе тестирования тепловизионных систем в пунктах неотложной помощи оказалось, что частота достоверного определения высокой температуры тела в сравнении с опросом людей на предмет наличия у них повышенной температуры была значительно выше (90% против 75%). Более того, люди из-за страха задержки рейса могут говорить неправду в отношении наличия у них симптома лихорадки.

Расширение транспортных возможностей, сопряженное с перемещением большого количества людей, неизбежно влечёт за собой распространение инфекционных заболеваний, которые буквально в течение суток могут достигнуть любой точки земного шара. Поскольку лихорадка — характерный признак многих инфекционных заболеваний, максимально быстрая и чёткая её диагностика — главная составляющая всех скрининговых мероприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [http://info.tuwien.ac.at/iflt/safetv/section1/1\\_1.htm](http://info.tuwien.ac.at/iflt/safetv/section1/1_1.htm).
2. Волков, В.Г. Тепловизионные приборы нового поколения [Текст] В.Г. Волков, А.В. Ковалев, В.Г. Федчишин // Специальная Техника - 2001 - №6. С. 19 - 23.
3. Ушакова, М.Б. Тепловизоры на основе неохлаждаемых микроболометрических матриц: современное состояние зарубежного рынка и перспективы развития. [Текст] М.Б.Ушакова// М.: ОНТИ ГУП "НПО "Орион", 2001- С. 27.
4. Иваницкий, Г.Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине [Текст] Г.Р. Иваницкий // УФН. 2006- Т. 176 -№12. С. 1293-1320.
5. Diakides, N.A. Medical infrared imaging [Текст]/ Nicholas A. Diakides, Joseph D. Bronzino. U.S.A., Boca Raton, CRC Press, Taylor & Francis Group., 2008
6. Скрипаль, А.В. Тепловизионная биомедицинская диагностика [Текст]: учеб. пособие / А.В. Скрипаль, А.А. Сагайдачный, Д.А. Усанов - Саратов, 2009. -118 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. СОВРЕМЕННАЯ ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА</b> .....	3
<b>1.1. Тепловизионные методы медицинской диагностики</b> .....	3
<b>1.2. Поиск информативных участков на поверхности лица человека</b> .....	13
<b>2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИДЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЛИЦ С ЛИХОРАДКОЙ И ОРВИ</b> .....	23
<b>3. УСЛОВИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ</b> .....	26
<b>4. АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ</b> .....	27
<b>5. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ КОЖИ ЛИЦА ...</b>	29
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	30
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	31