

# Тепловизионный комплекс для медицинской диагностики

Д. А. Терешко, Н. Н. Потрахов, С. А. Ростачев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

datereshko@etu.ru

**Аннотация.** Предлагаемая методика термодиагностики предполагает измерение температуры в каждой точке отдельного участка на поверхности пациента одновременно (в статике) или на протяжении некоторого времени (в динамике). В отличие от традиционного подхода для этой цели используются два тепловизионных датчика: матричный малоформатный, а потому «малобюджетный», и точечный. Такая комбинация датчиков при съемке с уменьшенного в разы расстояния, по сравнению с традиционным подходом, обеспечивает необходимую дискретизацию картины температурного поля даже больших по площади участков поверхности тела человека.

**Ключевые слова:** микроциркуляция, микрокровоток, тепловизор, термограмма, распределение температур

## I. ВВЕДЕНИЕ

Проблема системных нарушений микроциркуляции (органный гипоперфузии) является одной из важнейших в лечении пациентов в критическом состоянии. Однако до сих пор в клинической практике отсутствует возможность объективно и быстро оценивать состояние системного микрокровотока, а также мониторировать микрогемодинамику для оценки тяжести состояния, эффективности терапии и своевременной смены тактики лечения.

Клиницистами достаточно часто используются косвенные методы оценки микрокровотока в качестве скрининга наличия нарушений микроциркуляции. При этом доказано, что они достаточно информативны и отражают тяжесть нарушений органной перфузии, независимо от состояния системной гемодинамики. Однако они не позволяют постоянно мониторировать состояние микрокровотока, в связи с чем нарушения нередко выявляются слишком поздно [1].

Современные данные свидетельствуют о том, что в норме температура поверхности тела человека характеризуется не только временными изменениями, но и пространственными паттернами [2]. Имеющиеся результаты исследований позволяют утверждать, что интенсивность микрокровотока непосредственно влияет на значения температуры ткани [3].

Для решения проблемы эффективным методом скрининга и мониторинга состояния микроциркуляции у больных в критическом состоянии может быть инфракрасная термография, позволяющая без контакта с кожей, определять ее температуру в разных анатомических областях. Температурный градиент, например, между кистями и стопами или между ними в динамике может оказаться важным критерием эффективности проводимой терапии.

Для реализации метода косвенной оценки состояния системного микрокровотока был изготовлен тепловизионный диагностический комплекс, в состав которого входят устройство для измерения температуры на поверхности тела пациента, собственно тепловизор и персональный компьютер с установленным оригинальным программным обеспечением [4].

## II. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОМПЛЕКСА

Основными элементами тепловизора являются:

- матричный тепловизионный датчик (МТД) MLX90640 с форматом  $24 \times 32$  пикселя, размер пикселя 20 мкм, разрешение при определении температуры в каждом пикселе  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- точечный тепловизионный датчик (ТТД) MLX90614, разрешение при определении температуры  $0.02 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- широкоугольная телевизионная (ТВ) камера типа OV2643 форматом  $1200 \times 1600$  пикселей с углом обзора  $120^\circ$ .

Принцип действия и структурная схема тепловизора ТВС-2 проиллюстрированы на рис. 1, 2.

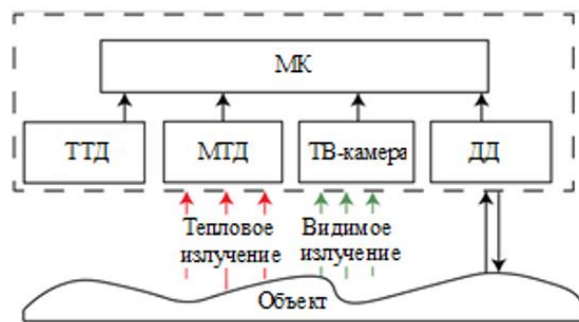


Рис. 1. Принцип действия тепловизионного комплекса

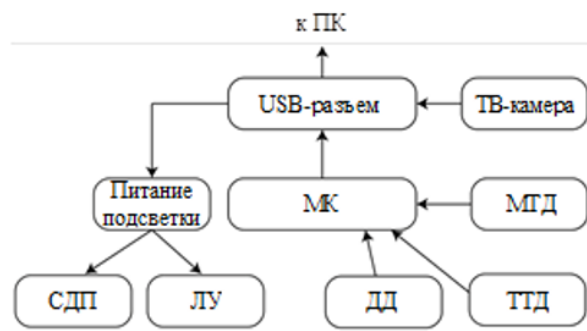


Рис. 2. Структурная схема тепловизионного комплекса

МТД, ТТД, ТВ-камера, а также лазерный датчик дальности (ДД) располагаются в одной плоскости. Микроконтроллер (МК) осуществляет непрерывный сбор данных о температуре на поверхности объекта и расстоянии до него через интерфейс I<sup>2</sup>C. ПК получает эту информацию от МК, а также видеоизображение участка поверхности от ТВ-камеры объекта по USB-разъему.

Для более точного определения местоположения диагностируемого участка на поверхности объекта используются лазерный указатель (ЛУ) и светодиодная подсветка (СДП). Совмещение теплового и видеоизображения участка поверхности объекта термодиагностики при наличии ДД (указателя дальности) и световой метки от ЛУ позволяет проводить термографию (тепловое сканирование) всей поверхности объекта и получать точную количественную информацию о пространственном распределении температуры на его конкретном участке. Таким образом, основной «недостаток» выбранного тепловизионного датчика – малый формат не ограничивает возможность тепловизора ТВС-2 при проведении тепловой съемки с малого расстояния. Наоборот, бюджетный малоформатный датчик при наличии дальномера позволяет вычислять размер пикселя теплового изображения, его температуру и отображать на экране ПК все пиксели, т. е. количественно оценить размеры области интереса на термограмме.

Был разработан опытный макет тепловизора (рис. 3) и специальное программное обеспечение.

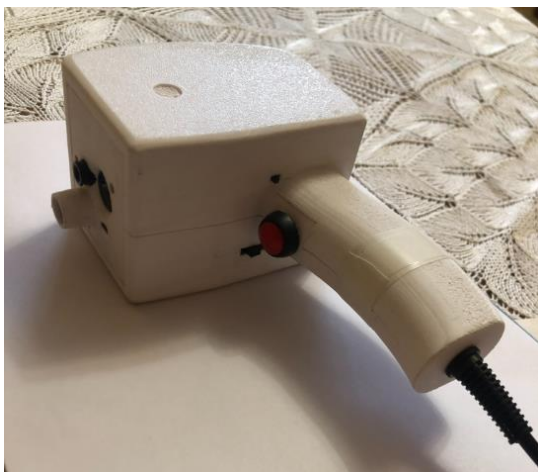


Рис. 3. Опытный макет тепловизора

Разработанное специальное программное обеспечение позволяет визуализировать тепловизионную картину с матричного и точечного датчиков, осуществлять запись показателей, а также выполнять пост обработку путем построения гистограмм распределения температур, полученных с матричного датчика.

### III. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняло участие 30 пациентов с сепсисом (основная группа) и 30 относительно здоровых добровольцев старше 18 лет (группа сравнения). Измерение заявленных температурных показателей в основной группе планируется проводить в течение 5 суток один раз в сутки, примерно в одно и то же время.

Большая часть пациентов с сепсисом находилась на инвазивной вентиляции легких (11 человек), кроме того, наибольшее количество пациентов было с тяжелой степенью мультиорганной дисфункции (9 баллов по шкале SOFA).

У 11 пациентов была потребность в вазопрессорной поддержке норадреналином.

У 12 пациентов имелись клинические признаки нарушения микроциркуляции: замедленное наполнение капилляров кожи (симптом белого пятна), наличие пролежней, петехиальной сыпи, мраморного цианоза.

Регистрацию измерений при помощи термографа с использованием точечного и матричных датчиков выполняли в положении лежа, в области обеих нижних конечностей в следующих анатомических областях: большой палец стопы, тыл стопы, над наружной лодыжкой, средняя треть голени полатеральной поверхности. Длительность измерения в каждой точке составляла 20 секунд. При анализе оценивались значения средней температуры тестируемых областей по матричному датчику, температуры по точечному датчику, попиксельное распределение температур на температурной матрице (расчет в процентах доли пикселей с температурой ниже средней более чем на 0,5 градуса).

Наблюдалась значимая разница между пациентами по результатам термографического анализа, что свидетельствует о том, что характер кровотока влияет на распределение температур.

Тепловизионная матрица большого пальца, полученная с помощью тепловизора после замера здорового пациента, представлена на рис. 4.

После этого была построена гистограмма распределения температур на основе тепловизионной матрицы (рис. 5). На гистограмме наблюдается нормальное распределение.

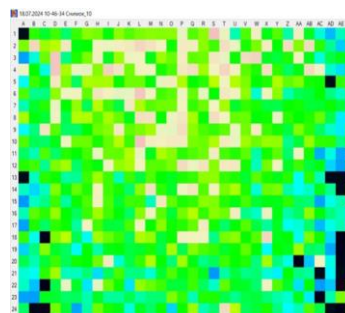


Рис. 4. Тепловизионная матрица участка на поверхности большого пальца стопы (здоровый доброволец)

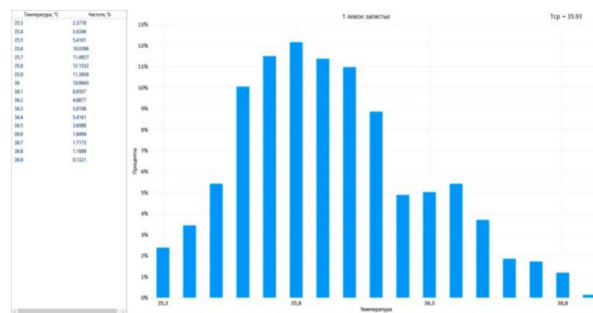


Рис. 5. Гистограмма распределения температур (здоровый доброволец)

Аналогично была получена температурная матрица большого пальца стопы у пациента с сепсисом (рис. 6) и на ее основе построена гистограмма распределения температур (рис. 7).

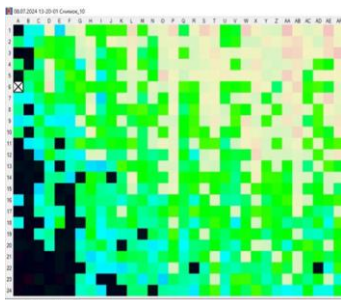


Рис. 6. Тепловизионная матрица большого пальца стопы (пациент с сепсисом)

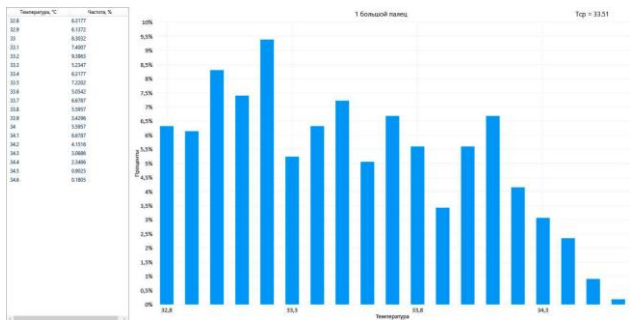


Рис. 7. Гистограмма распределения температур (пациент с сепсисом)

При анализе температурных показателей в области нижних конечностей обращает на себя внимание отсутствие значимой разницы между группами по абсолютному значению температуры в выбранных анатомических областях (табл. 1). Кроме того, у пациентов с сепсисом выявлен большой разброс абсолютных значений температуры. С учетом того, что пациенты этой группы имели различную степень выраженности микроциркуляторных расстройств и тяжести состояния, данный показатель в этой группе не может являться объективным.

ТАБЛИЦА I.

Температура	Группа 1 (сепсис)	Группа 2 (здоровые добровольцы)	P
Большой палец стопы	24,4±1,13	25,2±0,96	p>0,05
Тыл стопы	26,1±1,76	27,6±0,55	p>0,05
Латеральная надлодыжечная область	27,1±2,31	28,1±0,99	p>0,05
Средняя треть голени	28,4±1,39	29,8±0,71	p>0,05

Более объективно отражал тяжесть состояния проксимально-дистальный градиент (табл. 2), что подтверждается значимой статистической разницей между группами.

ТАБЛИЦА II.

Температура	Группа 1 (сепсис)	Группа 2 (здоровые добровольцы)	P
Большой палец-стопа	1,4±0,33	3,4±0,45	p<0,05
Стопа-нижняя треть голени	1,2±0,28	2,2±0,36	p<0,05
Нижняя треть голени-средняя треть голени	0,3±0,07	1,5±0,3	p<0,05

#### IV. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОМПЛЕКСА

В ходе предклинических испытаний было установлено, что для ряда клинических случаев, например для удаления опухолей головного мозга, достаточно одного точечного датчика. Но необходимо синхронизировать измерения с фазами кардиоцикла. С этой целью был изготовлен макет мультимедийного тепловизионного комплекса (рис. 8).



Рис. 8. Макет мультимедийного тепловизионного комплекса

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был применен опытный макет тепловизионного комплекса для анализа температуры кожного покрова больных с сепсисом. Проведены опытные испытания тепловизионного комплекса на базе Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. И.П. Павлова. На основе была разработана методика расчета попиксельной гетерогенности температуры, отражающей характер микроциркуляции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Merdji H, Levy B, Jung C, Ince C, Siegmund M, Meziani F. Microcirculatory dysfunction in cardiogenic shock // Ann Intensive Care, 2023 Т. 13 вып. 38. С. 1-15.
- [2] Вайнер Б.Г. Матричное тепловидение в физиологии: Исследование сосудистых реакций, перспирации и терморегуляции у человека. Новосибирск. СО РАН, 2004. 96 с.
- [3] Ito Y, Ishii T, Yamazaki S, Yoshida A, Nagaya K, Saijo Y. Evaluation of temperature-dependent fluctuations in skin microcirculation flow using a light-emitting diode based photoacoustic imaging device. // J Clin Monit Comput, 2023, вып. 37. С. 1361-1367.
- [4] Потрахов Н.Н., Ростачев С.А., Ладожская-Гапеевко Е.Е., Гук К.К. Многофункциональный тепловизионный комплекс для медицинской диагностики // Известия вузов России. Радиоэлектроника, 2024. Т.27, вып. 5. С. 77-90.