

УДК 615.84

А.Ю. Азархов, С.Н. Сакало

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

МЕТОДИКА РАДИОТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Приведены результаты экспериментальных исследований возможностей радиотермометрии. Предложена система отведений для регистрации внутренних температур человека. Показана перспективность радиотермографии в медицинской диагностике. Проведена оценка значимости результатов радиотермометрических исследований.

радиотермометрические исследования, медицинская диагностика

Введение

Радиотермометрия (РТМ-метод) относится к числу новых, неинвазивных методов медицинской диагностики. Сущность метода заключается в неинвазивном измерении глубинных температур биологических объектов путем регистрации мощности радиоизлучения объектов. Вместе с инструментальные методы ее измерения, особенно температуры глубинных слоев, инвазивны, и позволяют производить только однократные измерения.

Экспериментально РТМ-метод успешно был апробирован в различных областях медицины: неврологии и нейрохирургии; кардиологии; гастроэнтерологии; травматологии и ортопедия; комбустиологии; диагностике ЛОР-заболеваний; эндокринологии; гинекологии. Особые перспективы РТМ-метод имеет в онкологии, для ранней диагностики рака молочной железы.

Вместе с тем, применение РТМ-метода в практической медицине носит пока ограниченный, часто иллюстративный, характер. Это обусловлено несколькими обстоятельствами. Во-первых, отсутствуют достаточно полные модели распределения внутренних температур при различных заболеваниях и патологиях. Во-вторых, отсутствием технических средств измерения и локализации аномальных тепловых полей внутри биологических объектов с достаточной, с точки зрения медицины, разрешающей способностью. Кроме того, несмотря на имеющийся опыт, отсутствуют единые методики к проведению, отображению и интерпретации результатов термометрических РТМ-исследований.

Целью работы является разработка методики исследования глубинных температур биологических объектов и их интерпретация при решении задач медицинской диагностики.

Анализ литературы. До появления тепловидения в медицинской практике использовали, в основном четыре способа измерения температуры, в тех местах тела, которые сравнительно защищены

от воздействия внешней среды. Температура на поверхности тела, зависит от параметров внешней среды. Температура внутренней среды организма человека поддерживается постоянной, и не изменяется при резких изменениях внешних условий. организм: Накопленный опыт и анализ системы терморегуляции организма человека [1] позволяет утверждать, что термпродукция человека, его тепловой портрет могут дать квалифицированному специалисту много ценной информации о функционировании различных систем организма.

На практике возможности термометрической диагностики используются практически во всех областях медицины.

Например, в работе [2] исследовались температурные картины головного и спинного мозга при некоторых воспалительных заболеваниях опорно-двигательного аппарата. Перспективна дифференциальная диагностика всех острых заболеваний органов брюшной полости [1]. Безвредность и неинвазивность РТМ-метода определяет его перспективность в комбустиологии [4]. В работе [5] продемонстрированы возможности РТМ метода при диагностике ЛОР-болезней.

В [6] отмечено, что РТМ метод информативен, в плане уточнения локализации грыжи позвонкового диска. Оценка динамики и определение границ очага при гнойно-деструктивных заболеваниях, таких как абсцессы и флегмоны. Широкое распространение термометрия получила при обследовании молочных желез [7].

Обоснование методики исследований. Проведение РТМ-исследований можно использовать для решения различных задач медицины. Поэтому, очень трудно предложить единую методику проведения измерений. Кроме условий проведения опыта изложенных выше необходимо, с целью получения повторяющихся результатов нормировать места измерения температур (систему отведений). Учитывая, что метод только завоевывает право на существование, система отведений может быть создана только

на основе опыта и учета анатомического строения человека. Прежде всего, отметим, что критерии диагностики, для первичной диагностики заболеваний, могут быть сформулированы. Более важным является возможности РТМ-метода для наблюдения за процессом лечения или развития заболевания. В этом случае врач вправе определять точки измерения в зависимости от решаемой задачи.

Стабильные результаты измерений обеспечиваются, если методика измерений неизменна. Как упоминалось выше, измеряемые температуры лишь косвенно отображают термодинамическую температуру внутренних органов. Поэтому при диагностике патологий различного происхождения необходимо применять дополнительные диагностические методы.

Наличие достаточно большого статистического материала, по температуре какого-либо органа в норме и при патологии позволит судить, по температурной аномалии, о состоянии органа.

Авторами, настоящей работе, ставилась задача разработки методики и иллюстрация, на основе собственного опыта и рекомендаций врачей, возможностей РТМ-метода для решения различных задач медицины. Для этих целей предлагаются стандартные отведения (рис. 1), регистрации глубинных температур. Отведения формировались с целью ранней диагностики некоторых онкологических заболеваний и состояния кровеносной системы ног. Предлагаемая в работе система отведений была апробирована на практике, и оказалась достаточно эффективной для проведения первичной диагностики и ранжирования пациентов.

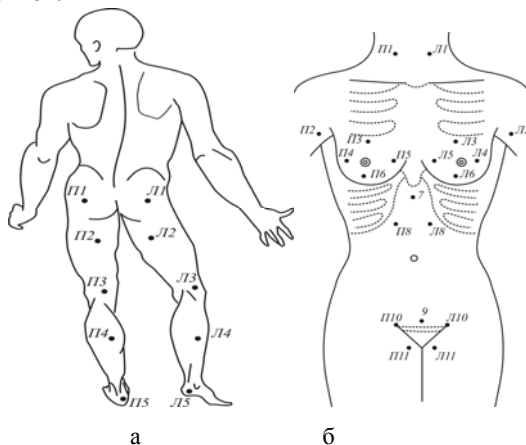


Рис. 1. Системы отведений для проведения радиотермометрических исследований при диагностике капиллярного кровотока (а) и онкологических заболеваний (б)

Экспериментальные результаты

Контроль глубинных температур производился при помощи опытного образца радиотермометра (табл. 1) изготовленного в Харьковском университете радиоэлектроники.

Таблица 1
Технические параметры радиометра

Параметр	Величина
Диапазон измеряемых температур, °С	28 – 60
Точность измерения температуры, °С	±0,2
Рабочая частота, ГГц	1
Потребляемая мощность, Вт	18
Габаритные размеры:	
блока обработки информации, мм	190×140×50
радиотермометрического блока, мм	220×60×55
Масса комплекта, кг	2

Эффективность метода была проверена при измерении температуры в мышечных тканях нижних конечностей с целью динамического контроля влияния ИК-излучения сауны при санаторно-курортном лечении заболеваний позвоночника. Для лечения любого заболевания необходимы, как минимум, нормальное кровоснабжение, качественная кровь и хорошее управление работой системы гемодинамики. В работе [2] показано, что мышечные волокна дрожат со звуковой частотой. От такого дрожания в венах образуется своеобразный гидродинамический насос: с одной стороны разрежение, а с другой – давление, что и обеспечивает ускоренный отток крови. Эти процессы происходят на клеточном уровне. Состояние клетки зависит от правильного функционирования клеточной мембраны, в частности, от функционирования цепи клеточного дыхания. Электрические проявления на мембране мышечного волокна приводят к целому ряду химических процессов, важным из которых является расщепление аденозинтрифосфорной (АТФ) кислоты, являющейся непосредственным источником энергии. Таким образом, функционирование клеток (прежде всего метаболизм) можно контролировать по температуре, как одному из главных показателей энергетических процессов.

Измерение температуры производилось в пяти симметричных точках нижних конечностей (см рис.1а). Исследования проводились в положении пациента на животе после измерения артериального давления. После выхода из парилки производились повторные замеры. В исследованиях принимали участие 21 пациент от 37 до 68 лет, из них 11 женщин и 10 мужчин. В зависимости от возраста пациенты были разделены на две возрастные группы: до 40 и после 40 лет. (табл. 2, 3).

Как видно из табл. 1, средняя температура понизилась на 0,085 °С.

Понижение температуры составило 0,18 °С. Это связано с возрастными особенностями пациентов и, в частности, нестабильностью сердечно-сосудистой системы, которая четко прослеживается в процессе измерения и выражается повышенной флуктуацией показаний радиотермометра, особенно

до ИК-облучения. После ИК-облучения показания у всех пациентов становятся более стабильными.

Таблица 2
Средняя температура пациентов до 40 лет

До ИК-воздействия		После ИК-воздействия		Δ, °C
Левая нога, °C	Правая нога, °C	Левая нога, °C	Правая нога, °C	
30,175	29,83	29,37	29,05	0,085
0,345		0,25		

Таблица 3
Температура пациентов старше 40 лет

До ИК-воздействия		После ИК-воздействия		Δ, °C
Левая нога, °C	Правая нога, °C	Левая нога, °C	Правая нога, °C	
29,81	29,47	29,2	29,04	0,18
0,34		0,16		

Радиометр, с приведенными выше параметрами был испытан для диагностики воспалительных заболеваний брюшной в Институте общей и неотложной хирургии АМНУ. В связи с широким распространением телефонной сотовой связи было целесообразным смещение рабочей частоты до 3 ГГц. При этом несколько уменьшается глубина зондирования, но улучшается пространственное разрешение температурного поля. Измеряемые температуры лишь косвенно отображают термодинамическую температуру внутренних органов. РТМ-исследования проводились при температуре окружающей среды от 20 до 24°C на пациентах находящихся в горизонтальном положении, были строго стандартизованы на передней брюшной стенке с уровня IX межреберья по средней ключичной линии далее вниз, условно, справа и слева определялись по 4 точкам на симметричных участках (общее количество исследуемых точек на передней брюшной стенке 8). Исследование парных органов производилось путем измерения очаговой термоасимметрии на проекции органа, где разность температур максимальна.

У больных хроническим бескаменным холециститом в стадии обострения выявлено повышение глубинной температуры в зоне желчного пузыря до 37,6 °C. Температура в проекции эпигастрия составила 36,3 °C. В проекции печени – 36,6 °C. В проекции двенадцатиперстной кишки – 36,3 °C. Радиотермограммы у практически здоровых лиц в целом характеризуются наличием небольшой температурной асимметрии в пределах от 0,2 до 0,4 °C. Индивидуальный анализ радиотермограмм показал, что эти колебания обусловлены особенностью радиотермограмм у женщин и, по-видимому, связаны кли-

мактерическим периодом и/или нестабильностью нейро-гуморальных систем в этом периоде.

Результаты анализа радиотермограмм брюшной полости у практически здоровых лиц выявили свои особенности. В целом характерно наличием температурной асимметрии в пределах от 0,2 до 0,4 °C, но не более. Анализ радиотермограмм в зависимости от возраста показал, что с возрастом отмечается тенденция к снижению общей температуры от 36,4± 0,02 °C.

Было проведено РТМ-исследование 40 больных с предварительным диагнозом острый холецистит, находившихся на лечении. Всем больным было проведено оперативное лечение. Результаты исследования показали, что у всех больных с подтвержденным диагнозом «острый холецистит» отмечалась температурная асимметрия с повышением температуры в зоне желчного пузыря. В табл. 4 приведены результаты радиотермограммы исследований у больных острым холециститом в зависимости от характера воспалительного процесса.

Таблица 4
Результаты радиотермограммы исследований у больных острым холециститом

Характер острого воспалительного процесса	Средняя температура слева (°C)	Средняя температура справа (°C)
Катаральный холецистит	36,2 ± 0,2	36,8 ± 0,4
Флегмонозный холецистит	36,2 ± 0,2	37,6 ± 0,2
Гангренозный холецистит	36,2 ± 0,2	38,0 ± 0,4

В группе больных с острым катаральным холециститом (28 больных) температурная асимметрия в «горячей зоне» колебалась от 0,6 до 1,0 °C. В среднем исходное значение температуры слева и справа достоверно отличались и составляли 36,2±0,2 °C и 36,8±0,4 °C соответственно.

Результаты исследования показывают, что у больных с острым холециститом на симметричных участках подреберий выявляется температурная асимметрия с преимущественной локализацией «горячей зоны» на проекции желчного пузыря, что указывает на наличие воспалительного процесса в желчном пузыре. Следовательно, РТМ-метод может быть использован в качестве диагностики для выявления острых воспалительных процессов в желчном пузыре. Анализ радиотермограмм в зависимости от характера воспалительного процесса выявил, что по мере перехода от катарального холецистита до флегмонозного и гангренозного холецистита, степень градиента температурной асимметрии постепенно повышается. Следовательно, по данным глубинной радиотермографии, при повышении темпе-

ратуры в проекции желчного пузыря можно косвенно подтвердить не только наличие острого воспалительного процесса в желчном пузыре, но по степени повышения градиента температуры можно косвенно предполагать и характер воспалительного процесса.

Несмотря на наличие экспериментальных данных, достоверность результатов, к сожалению, не может быть оценена в полной мере. Это связано с отсутствием моделей, описывающих динамику тепловых процессов протекающих в организме человека. Создать полную модель тепловых процессов практически невозможно, поскольку температура, как параметр, формируется в результате функционирования многих органов и систем организма. Поэтому предлагается два подхода для выхода из ситуации. Во-первых, можно рассматривать организм как единую систему, одним из показателей которой является температура. Во-вторых, можно рассматривать отдельный участок тела, внутри которого находится точечный источник повышенной температуры. Первый случай будет соответствовать общему заболеванию организма или отдельного его сегмента (нога, рука). Второй случай соответствует наличию онкологического или локального воспалительного центра в тканях человека.

В первом случае можно использовать законы термодинамики, поскольку все живые биологические системы не являются замкнутыми и обмениваются энергией с окружающей средой. Поведение таких систем можно рассмотреть с использованием теории устойчивости. В этом случае организм представляет собой систему, в которой состояние описывается устойчивым движением шара по плавной траектории.

При этом небольшие отклонения от равновесия создают устойчивые специфические неравновесные структуры, называемые диссипативными. Неустойчивость траекторий хаотических систем делает их чрезвычайно чувствительными к управлению. С течением времени система может попадать в окрестность любой точки, принадлежащей траектории (аттрактору) нелинейной детерминированной системы.

Такая модель анализа процессов эволюции живой системы позволяет прогнозировать ее поведение. Аттрактор, описывающий стационарное поведение живого объекта, представляет собой квазипериодическое колебание. Это состояние ограничено предельными возможностями организма и минимальными потребностями для поддержания жизнедеятельности. Для наглядности представим аттрактор в виде шарика, катающегося в потенциальной яме, границы которой характеризуют предельные возможности организма (в модели – предельный цикл аттрактора). На шарик воздействуют внешние факторы (окружающая среда, режим пита-

ния и т.п.), которые и обеспечивает флуктуацию потенциальной ямы. Таким образом, на фоне значительных квазипериодических возникают дополнительные хаотические колебания, которые можно рассматривать как аналог адаптационных процессов живого организма. Кривая распределения энергии организма, для состояния нормы, приведена на рис. 2.

В случае заболевания происходит изменение траектории эволюции системы (формы потенциальной ямы). На рис. 2, а приведен пример состояний нехронического заболевания. В случае не хронического заболевания (рис. 2, б) глубина потенциальной ямы в момент заболевания находится гораздо выше состояния нормы. Из этого состояния система может легко перейти в нормальное состояние при небольшом возмущении. Хроническое заболевание характеризуется тем, что БО находится в потенциальной яме на уровне или ниже нормы. Выход из этого состояния практически невозможен при любых возмущениях системы.

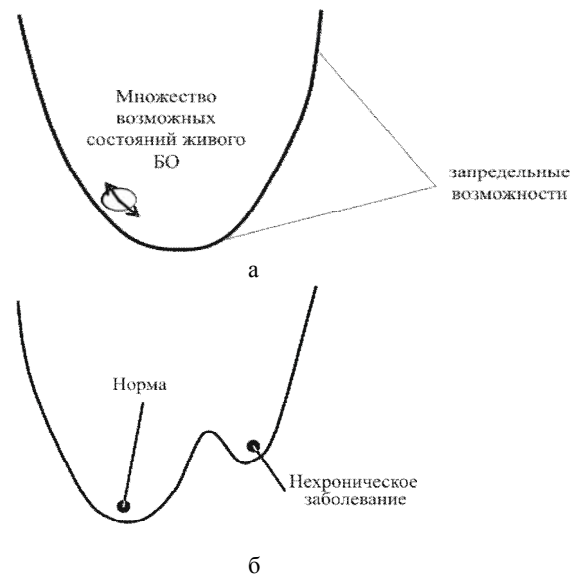


Рис. 2. Энергетические модели состояний организма

Предложенные модели хорошо совпадают с известными. Известно, что при выздоровлении пациента после начала сеанса лечения зачастую организм проходит через кризис. Это вполне соответствует модели. Все энергетические процессы в организме человека происходят с выделением тепла. Следовательно, можно считать, что рассмотренная энергетическая модель отображает динамику температуры как организма в целом, так и, в силу гомеостаза, отдельных органов.

Выводы

1. Разработан действующий образец медицинского радиотермометра, обеспечивающего решение многих задач медицинской диагностики.

2. Предложена система отведений для радиотермометрической диагностики.

3. Экспериментально показано, что РТМ – метод является высокочувствительным средством для решения следующих медицинских задач:

- динамический контроль метаболизма в мышцах и тканях;
- комплексной диагностики заболеваний брюшной полости;
- выявления термоасимметрии брюшной полости и локализации «горячих зон» в проекции органов с воспалительным процессом;
- косвенного подтверждения наличия острого воспалительного процесса

Показано, что резкие температурные аномалии могут свидетельствовать как о патологиях, так и о попытках организма к самоорганизации, поэтому при интерпретации результатов необходимо учитывать дополнительную информацию о объекте.

Список литературы

1. Сакало С.Н, Азархов А.Ю. Экспериментальное исследование диагностических возможностей метода

радиотермографии // *Вост.-Украинский журнал передовых технологий.* – 2006. – № 5. – С. 56-58.

2. Энцефалорадиотермометрия в диагностике ранних стадий сосудисто-мозговой недостаточности / А.В. Густов, Е.И. Гусев, Л.М. Нифонтова и др. // *Невропатология и психиатрия.* – 1989. – Т. 89, вып. 9. – С. 27-31.

3. Аврунін О.Г., Азаров О.Ю., Сакало С.М., Семенець В.В. Радіометр з функцією неінвазивного визначення локалізації температурних аномалій у внутрішніх тканинах людини / Патент на винахід 75814. – Бюл. № 5, 2006.

4. Микроволновые технологии в народном хозяйстве // *Материалы Всероссийской научно-технической конференции.* – Казань: КГТУ им. А.Н. Туполева, 1999. – 72 с.

5. Мазурин Е.Я. Медицинская термография. – Кишинёв, 1984. – 264с.

6. Колесов С.Н., Прахова Ж.Б., Шомина М.Н. Клинико-теплорадиотермометрические корреляции при заболеваниях и травмах позвоночника // *Тез. докл. Всесоюз. конф. «ТемП-88».* – Л. – 1988. – Ч. I. – С. 230-232.

7. Кучиеру А.Г. Организационные и методические аспекты выявления «минимальных» (менее 1 см в диаметре) форм рака молочной железы. / *Автореф. дис.... канд. мед. наук.* – Л., 1985. – 24 с.

Поступила в редколлегию 24.01.2007

Рецензент: канд. техн. наук, проф. А.И. Поворознюк, Национальный технический университет "ХПИ", Харьков.