Клиническая Термография

**Введение**

Организм человека в процессе жизнедеятельности и взаимодействия с окружающей средой создает вокруг себя и на поверхности кожи и слизистых внешнее интегральное физико-химическое поле, состоящее из следующих компонентов:

- естественное корпускулярное излучение, преимущественно излучение за счет распада изотопа калия-40;

- излучение в видимом диапазоне длин волн /так называемое сверхслабое свечение, обусловленное хемилюминесценцией/;

- электрические, магнитные, электромагнитные поля, а также переменные электрические потенциалы /ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ и другие/ в диапазоне от 0.000001 Гц до 100000 Гц;

- электростатические поля и квазипостоянные электрические потенциалы кожных покровов в диапазоне от 0.000001 Гц до I Гц;

- акустические поля сердца, сердечнососудистой и брюшно-легочной систем, пищевого канала, суставов опорно-двигательного аппарата, сердечнососудистой системы плода;

- протуберанцы химических соединений, выделяемых с выдыхаемым воздухом /149 наименований/ и с поверхности кожи /271 наименование/;

- тепловое излучение в инфракрасном, миллиметровом и сверхвысокочастотном диапазонах.

Тело человека имеет определенную температуру благодаря терморегуляции, существенной частью которой является теплообмен организма с окружающей средой. Теплообмен происходит посредством теплопроводности, конвекции, испарения и излучения (поглощения).

Трудно, или даже невозможно, точно указать распределение отдаваемого количества теплоты между перечисленными процессами, так как оно зависит от многих факторов: состояния организма (температура, эмоциональное состояние, подвижность и т.д.), состояния окружающей среды (температура, влажность, движение воздуха и т.п.), одежды (материал, форма, цвет, толщина).

Так как теплопроводность воздуха мала, то этот вид теплоотдачи очень незначителен. Более существенна конвекция, она может быть не только обычной, естественной, но и вынужденной, при которой воздух обдувает нагретое тело. Большую роль для уменьшения конвекции играет одежда. В условиях умеренного климата 15—20% теплоотдачи человека осуществляется конвекцией.

Испарение происходит с поверхности кожи и легких, при этом имеет место около 30% теплопотерь.

Наибольшая доля теплопотерь (около 50%) приходится на излучение во внешнюю среду от открытых частей тела и одежды. Основная часть этого излучения относится к инфракрасному диапазону с длиной волны от 0,4 до 50 мкм. Максимум спектральной плотности энергетической светимости тела человека в соответствии с законом Вина попадает на длину волны приблизительно 9,5 мкм при температуре поверхности кожи 32°С.

Вследствие сильной температурной зависимости энергетической светимости (четвертая степень термодинамической температуры), даже небольшое повышение температуры поверхности может вызвать такое изменение излучаемой мощности, которое надежно зафиксируется приборами. Изучение температуры тела, регистрации термотопографии кожных покровов организма по инфракрасному излучению имеет важное теоретическое и клиническое значение для диагностики и адекватной терапии многих заболеваний человека и составляет предмет клинической термографии.

Истоки инфракрасной медицинской техники лежат на рубеже 18 и 19 веков. В 1790 году швейцарский физик М. Пикте осуществил опыты по «отражению лучей холода». На основании этих опытов его соотечественник П. Прево выдвинул теорию подвижного теплового равновесия – теорию обмена тепловыми лучами между телами. В 1800 г. английский астроном В. Гершель открыл инфракрасные лучи при изучении солнечного спектра.

У здоровых людей распределение температуры по различным точкам поверхности тела достаточно характерно. Однако воспалительные процессы, опухоли могут изменить местную температуру. Так, температура вен зависит от состояния кровообращения, а также от охлаждения или нагревания конечностей. Таким образом, регистрация излучения разных участков поверхности тела человека и определение их температуры являются диагностическим методом. Такой метод, называемый термографией, находит всеболее широкое применение в клинической практике.

**1. Биофизические и медико–биологические основы термодиагностики**

В клинической практике 65-80% первичных диагнозов ставится с помощью методов лучевой диагностики. Общепринято мнение, что компетентное распознавание весьма широкого круга заболевании, особенно в их ранних и доклинических стадиях, без лучевой диагностики нельзя считать достоверным.

Сложность многих методик диагностической радиологии, значительная нагрузка на организм обследуемого человека противоречит доминирующей тенденции современной медицины к уменьшению инвазивности и лучевых нагрузок при обследовании больных.

По сообщению журнала "Вестник рентгенологии и радиологии" /1988/ число смертных случаев от последствий диагностического облучения во время рентгеновской и гамма-диагностики составляло для СССР более 4000 в год и имело тенденцию к увеличению.

Классический пример - "торотрастный рак" почки. У больных, которым в 1931-1941 гг. вводили рентгеноконтрастный препарат торотраст для диагностических исследований мочи, в 1961-1977 годах был обнаружен рак почки.

Совершенствование рутинных способов лучевой диагностики не приводит к существенному снижению степени облучения обследуемого населения во время медицинских осмотров, диспансеризации.

В эвристике существует представление об идеальном объекте техники. Это своего рода маяк, позволяющий ориентироваться в самых сложных обстоятельствах и проблемах. С этих позиции идеальный способ диагностики должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Самостоятельное применение: способ должен обеспечить получение достаточной и необходимой, однозначно интерпретируемой информации, семантика которой способствовала бы установлению достоверного диагноза на фоне полного отсутствия какой-либо другой значимой информации;

2. абсолютное отсутствие при самостоятельном применении немедленных или отсроченных на 70-80 лет побочных реакций и осложнений, а также канцерогенного и тератогенного действия; неинвазивность и безболезненность диагностических процедур: комфортность обследования;

3. Отсутствие героакселерации в результате самостоятельного применения способа;

4. Высокая специфичность и высокая чувствительность исследования;

5. Минимальное время обследования;

6. Абсолютная экологическая чистота;

7. Совместимость с другими способами диагностики.

Метод диагностической радиологии, который в значительной мере удовлетворяет этим условиям - дистанционная инфракрасная термография.

Инфракрасная термография основана на бесконтактной дистанционной регистрации термотопографии кожных покровов организма человека по его собственному излучению, обусловленному различными физиологическими и биохимическими процессами в тканях организма, в диапазоне длин волн от 0.76 мкм до 1 мм.

Основные преимущества дистанционной инфракрасной термографии заключаются следующем:

1. абсолютная безвредность; организм человека не подвергается ни облучению, ни повреждению; возможно многократное исследование одного и того же пациента в течение дня, недели, месяца;

2. абсолютное отсутствие противопоказаний к обследованию;

3. абсолютная чистота в процессе работы /или хранения/ термографической аппаратуры; используемый для охлаждения приемника инфракрасного излучения жидкий азот либо охлажденный воздух при высоком давлении (по принципу Джоуля-Томпсона), либо в системе охлаждения, работающей по принципу Вирлинга испаряется и возвращается в атмосферу;

4. довольно точная топическая диагностика очагов воспаления, новообразований, некрозов и других локальных проявлении различных заболеваний; минимальный регистрируемый градиент температуры между двумя точками па расстоянии 1 мм составляет 0.1С;

5. возможность одновременного последовательного обследования практически всех органов и систем организма человека.

Определение различия температуры поверхности тела при термографии, в основном, осуществляется двумя методами. В одном случае используются жидкокристаллические индикаторы, оптические свойства которых очень чувствительны к небольшим изменениям температуры. Помещая эти индикаторы на тело больного, можно визуально, по изменению их цвета, определить местное различие температуры. Другой метод — технический, он основан на использовании тепловизоров.

Так как все тела, температура которых выше абсолютного нуля, испускают радиоволны сплошного спектра частот (тепловое радиоизлучение) и интенсивность теплового излучения пропорциональна температуре тела, то это свойство, как было показано ранее, нашло широкое применение в медицинской диагностике.

Медицинская термография - метод регистрации естественного теплового излучения тела человека в невидимой инфракрасной области электромагнитного спектра. При термографии определяется характерная «тепловая» картина всех областей тела. У здорового человека она относительно постоянна, но при патологических состояниях меняется. Метод термографии объективен, прост и абсолютно безвреден. К нему нет противопоказаний.

В настоящее время разработаны способы термографии в инфракрасном (ИК), миллиметровом (мм) и дециметровом (дм) диапазонах длин волн.

Подготовка пациента предусматривает отмену лекарственных средств, влияющих на кровообращение и метаболические процессы. На поверхности тела не должно быть никаких мазей и косметики. Пациенту запрещают курение за 4 ч до исследования. Это особенно важно при изучении периферического кровотока.

При термографии живота пациент должен явиться в кабинет натощак. В кабинете поддерживают постоянную температуру в пределах 19 ± 1 °С (а для изучения кожной циркуляции 25 ± 1 °С) и влажность 55—65%. Исследуемую часть тела обнажают, после чего пациент адаптируется к температуре помещения 10—15 мин, а при исследовании кистей и стоп — 30 мин. Для ускорения прибегают к дополнительному охлаждению исследуемой области. Охлаждение производят либо с помощью вентилятора, либо смеси быстро испаряющихся веществ, что дает возможность получить более контрастное термографическое изображение.

В зависимости от задач исследования термографию выполняют в разных положениях пациента и в разных проекциях.

Термография позволяет точно и быстро оценить интенсивность ИК-излучения от поверхности тела человека. При правильной организации работы время осмотра варьирует от 2 до 5 мин. За этот срок можно обнаружить изменения теплопродукции и теплопереноса в различных областях тела и тем самым выявить различные нарушения кровотока и иннервации, симптомы развивающихся воспалительных, раковых и некоторых профессиональных болезней.

**2. Физиологические основы термографии**

Температуру тела человека принято считать постоянной. Однако это постоянство относительно. Температура внутренних органов выше, чем поверхности тела, температура кожи изменчива. Меняется температура при изменениях окружающей среды в зависимости от физиологического состояния организма.

Вследствие чрезвычайно развитой сосудистой сети в коже и подкожной клетчатке состояние поверхностного кровотока является важным индикатором функционирования внутренних органов. При развитии патологических процессов во внутренних органах происходит рефлекторное изменение поверхностного кровотока, которое сопровождается изменением теплоотдачи. Таким образом, главным фактором, определяющим температуру кожи, является интенсивность кровообращения.

Вторым механизмом теплообразования являются метаболические процессы. Степень выраженности обмена веществ в ткани обусловлена интенсивностью происходящих в ней биохимических реакций. С их усилением увеличивается продукция тепла.

Третий фактор, обусловливающий тепловой баланс поверхностных тканей, - их теплопроводность. Она зависит от их толщины, структуры, расположения. В частности, теплоотдача тела человека определяется состоянием кожи и подкожной жировой клетчатки: их толщиной, развитостью основных структурных элементов, гидрофильностью.

В норме каждая область поверхности тела имеет характерный «тепловой рельеф». Над крупными кровеносными сосудами температура выше, чем в окружающих областях. Более высокая температура отмечается в зонах интенсивной васкуляризации, как, например, в области лба и глазниц, в околоротовой области, в верхней части молочных желез. Температура выше в складках кожи и впадинах, где перекрещиваются тепловые потоки.

Средние значения температуры кожи — 31—33°С. Но она различна в разных частях тела — от 24°С на большом пальце до 35°С в стернальной ямке. При этом кожная температура, как правило, одинакова на симметричных участках тела. Разница здесь не должна превышать 0,5—0,6°С. Физиологическая асимметрия на конечностях колеблется от 0,3 до 0,8°С, а на передней брюшной стенке не превышает 1°С. Перепад температур на протяжении 1 см более чем на 1°С с четкой границей (за исключением ушных раковин и лица), большей частью, свидетельствует о патологическом состоянии. У женщин наблюдаются периодические изменения температурного рельефа некоторых частей тела (молочных желез, области живота) в связи с менструальным циклом. Поэтому термографию указанных областей у них рекомендуется выполнять на 6—8-й день менструального цикла. Существенные изменения температурного рельефа возникают при многих патологических состояниях. При этом появляются зоны гипертермии или, наоборот, гипотермии, нарушается нормальный рисунок сосудов, регистрируется термоассиметрия на теле или конечностях, меняется осевой кожно-температурный градиент.

Определенные резервы повышения эффективности термографического исследования связаны с так называемой активной термографией.

Активная термография объединяет способы изучения термотопографии кожных покровов после физико-химических воздействий, на которые нормальные и опухолевые ткани реагируют неодинаково. Наиболее простой способ — холодовые пробы. Охлаждение исследуемой зоны аэрозолем этилового спирта в течение 10 мин или использование марлевых тампонов, смоченных спиртоэфирной смесью, дает возможность получить контрастные термограммы с четким отображением участков гипертермии.

Методика стрессорной термографии заключается в исследовании до и после охлаждения рук и предплечий в холодной воде ( + 8 - + 14°С) в течение 0,5—2 мин. Гипергликемическая проба основана на внутривенном введении в организм глюкозы. Злокачественные опухоли отвечают на эту пробу повышением температуры в зоне поражения на 0,7—3°С. Температура опухолей повышается также в условиях гипербарической оксигенации в кислородной лечебной барокамере.

**3. Контактная жидкокристаллическая термография**

Данная методика основана на свойстве жидких кристаллов изменять цвет в зависимости от изменения температуры. Жидкие кристаллы - это вещества, которые в определенном интервале температур образуют жидкую фазу, имеющую одновременно свойства жидкости и кристаллического тела. Как жидкости они обладают текучестью, как кристаллы — анизотропией оптических, электрических и других качеств (анизотропия — зависимость свойств среды от направления).

В настоящее время выпускаются промышленностью контактные жидкокристаллические термоиндикаторные пленки. Разработаны также специальные устройства, в которых имеется экран, покрытый жидкокристаллическим составом. В процессе термографии экран приближается к исследуемой части тела.

По цветному окрашиванию изображения с помощью калориметрической линейки судят о температуре поверхностных тканей.

**4. Дистанционная инфракрасная термография**

Любое нагретое тело излучает электромагнитные волны за счет преобразования энергии теплового движения частиц тела в энергию излучения. Поверхность тела человека, его органы и ткани, имеющие температуру жизнедеятельности 25-35С, выпускают тепловое излучение в инфракрасном диапазоне. Максимум излучения /если считать температуру кожи 30С/ лежит при длине волны 9.6 мкм.

Точнее можно охарактеризовать распределение энергии, испускаемой телом человека в инфракрасном диапазоне, следующими цифрами: на область длин волн 0.8 -5 мкм приходится всего 1% излучения, 5-9 мкм - 20, 9-16 мкм - 38 и от 16 мкм и выше 41%. По другим данным спектральное распределение энергии таково: диапазон 3-6 мкм 4%, 6-12 мкм - 37, 12-24 мкм - 41, 24-50 мкм - 14%.

В длинноволновой области спектра /5-25 мкм/ кожа человека излучает практически как абсолютно черное тело, имеющее температуру 27 С, независимо от расовой принадлежности, степени пигментации и других индивидуальных анатомо-физиологических особенностей. Абсолютно черным телом называется тело, поглощающее полностью все падающие на него электромагнитные волны при любой собственной температуре. Реальные тела не являются абсолютно черными, однако некоторые из них по оптическим свойствам близки к таковым, например, черный бархат в области видимого света.

В среднем 1 кв.см кожного покрова человека или живой ткани организма излучает около 40 Вт энергии. Инфракрасное излучение различных участков поверхности тела определяется тремя факторами: особенностями васкуляризации поверхностных тканей, уровнем метаболических процессов в них и различиями в теплопроводности.

Последние обусловлены, в основном, разным развитием жировой клетчатки. При соблюдении стандартных методических условий регистрируемая топография излучения характерна для данного человека и воспроизводится от наблюдения к наблюдению. Топография излучения для всех здоровых людей имеет много общего.

Нарушения инфракрасного излучения могут наблюдаться в следующих случаях:

1. необычные структурные соотношения сосудистой сети врожденные аномалии, сосудистые опухоли;

2. изменения тонуса сосудов - нарушения вегетативной иннервации, рефлекторные изменения тонуса;

3. местные расстройства кровообращения - травмы, тромбоз, склероз сосудов;

4. нарушения венозного кровотока – застой, обратный ток крови при недостаточности клапанов вен;

5. локальные изменения теплопродукции - воспалительные очаги, опухоли, некоторые другие заболевания;

6. изменения теплопроводности тканей - отек, уплотнения тканей, изменения содержания жира.

Инфракрасная термография - самый распространенный метод термографии. Он обеспечивает изображение теплового рельефа поверхности тела и измерение температуры в любом участке поверхности тела. Инфракрасную термографию осуществляют с помощью специальных приборов — термографов (тепловизоров).

Основными техническими характеристиками ИК-сканера являются порог температурной чувствительности, поле обзора, диапазон рабочих расстояний, параметры сканирования (число строк, число элементов в строке, частота кадров) и т.д. Сканеры выпускают с одно- и мпогоэлементными приемниками излучения (фотодиод, фоторезистор); охлаждение приемников осуществляется по циклу Стирлинга, термоэлектрически на основе эффекта Пельтье или жидким азотом. Спектральная чувствительность приемников излучения обычно лежит в одном из диапазонов 2-5 мкм или 8-14 мкм. Существующие комплексы обеспечивают точность порядка 0.2 град.С при 30 град.С.

Принцип действия термографа основан на том, что ИК-излучение от тела пациента попадает на зеркальную сканирующую систему. Эта система «просматривает» исследуемую область «построчно» и по кадрам. Тепловой луч, отразившись от зеркала, проходит через систему линз и далее подает на приемник излучения. Обычно это небольшая площадка размером менее одного миллиметра из сурьмянистого индия, выполняющего роль фотосопротивления. Для поддержания постоянной температуры приемник излучения помещают в сосуд, содержащий жидкий азот. Система сканирующего зеркала и линз позволяет направлять на приемник тепловое излучение из узкого телесного угла, т. е. с очень небольшого участка поверхности тела. Электрический сигнал из приемника передается на усилитель и затем в блок индикации. В итоге тепловое поле человека отображается в виде черно-белого или цветного изображения на экране прибора. Визуальное изучение этого изображения называют термоскопией. Это же изображение можно зафиксировать на фотохимической бумаге и получить термограмму. Новым направлением в термографии является использование в качестве приемника ИК-излучения пироэлектрических видиконов. Они работают в режиме электронного сканирования и не требуют системы охлаждения.

Современные модели термографов обеспечивают регистрацию температуры в пределах десятых долей градуса. Каждый участок исследуемой поверхности представлен на экране электронно-лучевой трубки в зависимости от его температуры более светлой или более темной областью или окрашен в условные цвета (цветная термоскопия). С помощью градуированной шкалы и теплового контрольного излучателя («черное тело») можно бесконтактно определять абсолютную температуру поверхности кожи или разность температур различных участков, т. е. выполнять термометрию.

При быстрой скорости сканирования появляется возможность получать до 16—20 кадров в 1 с, что позволяет наблюдать на экране изменение тепловых полей в реальном масштабе времени. Встроенный в аппарат компьютер обрабатывает изображения по заданиям, внесенным в память ЭВМ. Специальные компьютерные программы дают возможность точно локализовать участки изображения с аномальной светимостью, построить изотермальные кривые, объединяющие точки с одинаковой температурой, дать количественное выражение температурному рельефу поверхности тела. На черно-белой термограмме более светлые зоны соответствуют более нагретым областям. Однако прибор позволяет получать и обращенное - противоположное по светимости - изображение, в котором более нагретые участки выглядят более темными. Анализ термограмм на качественном уровне заключается в общем осмотре изображения, изучении теплового рисунка и распределения горячих и холодных зон. При визуальном анализе обращают особое внимание на выявление основных термографических синдромов патологических состояний: зоны гипертермии и гипотермии, нарушения структуры сосудистого рисунка. В отношении зоны гипертермии или гипотермии оценивают ее протяженность (ограниченная, протяженная или диффузная), локализацию, размеры, форму, очертания. Нарушение структуры сосудистого рисунка проявляется изменением количества, расположения и калибра сосудистых ветвей.

Количественный анализ дает возможность уточнить данные визуального осмотра термограммы и определить разность температуры исследуемого участка по сравнению с окружающими тканями или симметричным участком. Термограммы здорового человека имеют типичный для каждой области тела вид.

Для воспалительных процессов характерна зона гипертермии, соответствующая области инфильтрации, имеющая неоднородную структуру и разницу в температуре с окружающими тканями в пределах 0,7-1° при хроническом воспалении, 1 -1,5° при остром воспалении и свыше 1,5-2°- при гнойно-деструктивном процессе.

Для злокачественной опухоли характерна зона интенсивной гипертермии (на 2-2,5° выше температуры симметричной области). Структура участка гипертермии однородна, контуры сравнительно четкие, видны расширенные сосуды.

При нарушении артериального кровообращения (ангиоспазм, сужении или полный стеноз сосуда) определяется зона гипотермии, которая по положению, форме и размерам соответствует области снижения кровотока. Наоборот, при венозном тромбозе, тромбофлебите, посттромбофлебитическом синдроме в соответствующей области обычно отмечается зона повышенной температуры (гипертермия). Кроме того, при расстройствах кровотока наблюдается изменение обычного сосудистого рисунка, свойственного данному анатомическому региону.

Термография находит применение при проведении диспансеризации населения и в диагностике патологических состояний, в первую очередь расстройств кровообращения, воспалительных, опухолевых и некоторых профессиональных заболеваний. С помощью термограмм выявляют нарушения мозгового кровотока, окклюзии артерий и вен конечностей. Регистрация теплового рельефа позволяет зафиксировать ранние изменения кровообращения при вибрационной болезни, варикозном расширении вен, начинающемся атеросклерозе артерий.

Очаги повышения температуры на поверхности тела наблюдаются при острой пневмонии, миокардите, острых заболеваниях брюшных органов. В частности, при неясных симптомах «острого живота» термография позволяет получить ценные косвенные признаки для дифференциальной диагностики острого холецистита, острого панкреатита и острого аппендицита. Безусловно, полезна термография в оценке активности артрита, бурсита, в определении границ ожогового поражения или зоны отморожения.

В отношении раковых заболеваний термография оказалась наиболее полезной при исследовании молочных желез.

Термография может считаться важным способом диспансеризации в замкнутых коллективах: в детских учреждениях и учебных заведениях, в ведомственных коллективах, на промышленных предприятиях с относительно постоянным составом рабочих. При первой диспансеризации каждому члену коллектива проводят проверочное термографическое исследование и получают исходные, так называемые базисные термограммы. Ввиду индивидуального постоянства термографической картины повторные термограммы дают основание для выявления лиц с изменением температурного рельефа. А это своевременно сигнализирует о ранних циркуляторных, нейроэндокринных и предраковых состояниях.

**5. Радиотермометрия (СВЧ-термометрия)**

Радиотермометрия - измерение температуры внутренних органов и тканей по собственному их излучению. Очень давно известно, что человек является источником радиоизлучения. Впервые применили регистрацию этого излучения для медицинской диагностики А. Баррет и П. Майерс в 1975г.

При радиотермометрии производится измерение температуры столба ткани определенной глубины с помощью микроволнового радиометра. Если известно значение температуры кожи данной области, то можно вычислить температуру на любой глубине. Того же можно добиться, применяя регистрацию температуры на двух разных длинах волн.

Ценность метода усиливается тем, что температура глубинных тканей, с одной стороны, очень постоянна, а с другой - почти моментально меняется под влиянием ряда медикаментозных средств, в частности сосудорасширяющих препаратов. Это дает возможность проводить функциональные исследования, например, при решении вопроса об уровне ампутации при окклюзии сосудов конечностей.