

## **ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ЕГО ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ**

В человеческом организме вследствие экзотермических и биохимических процессов в клетках и тканях вырабатывается большое количество тепла. Это тепло распределяется внутри организма с помощью циркулирующей крови и лимфы. При патологии система кровообращения нарушается. Изменения возникают уже потому, что повышенный метаболизм, например, в очаге воспаления увеличивает перфузию крови и, следовательно, теплопроводность, что отражается на термограмме появлением очага гипертермии. У здорового человека распределение температур симметрично относительно средней линии тела. Нарушение этой симметрии и служит основным критерием тепловизионной диагностики заболеваний.

Человек является гомойотермным организмом. Причём температурным гомеостазом обладают только мозг и внутренние органы, температура которых равна  $(37,5 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ , а температура кожи и прилегающих тканей обычно ниже и зависит от температуры окружающей среды и находится в пределах  $(32,0 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$  в комфортных условиях. Терморегуляторные реакции в человеческом организме управляются гипоталамусом. Информацию об изменении наружной температуры гипоталамус получает от  $\sim 150000$  периферических холодовых рецепторов кожи (колбочки Краузе) и  $\sim 16000$  тепловых рецепторов (тельца Руффины) [1].

Индивидуальность распределения температуры по поверхности тела человека определяется в первую очередь индивидуальностью капиллярной сети, состоянием кровеносной системы и нервных окончаний в исследуемой области [1, 2]. Перенос тепла от внутренних органов непосредственно к поверхности кожи обычно незначителен, так как теплопроводность тканей мала, а строение системы кровообращения человека практически исключает прямой обмен кровью внутренних органов и кожи. Кроме того, существенно влияние теплоизолирующего слоя жировых тканей. Таким образом, температурное распределение по поверхности тела человека обуславливается преимущественно температурой кожи. Температура кожи определяется объёмом кожного кровотока, собственной теплопроводностью, температурой ближайших внутренних органов и рядом других факторов, обуславливающих периферический кровоток, таких как пищеварение, физическая работа, наличие заболеваний, комфортность окружающей среды, систематическое воздействие никотина и алкоголя. Эти особенности определяют перспективы применения

систем вычислительной термографии при ранней диагностике заболеваний кожи, диагностике сосудистых нарушений, нарушений периферического кровообращения, различных нарушений нервной системы и при диагностике онкологических процессов с выраженным нарушением уровня метаболизма поражённых тканей.

Существуют участки кожи на голове, туловище и конечностях (так называемые зоны Захарьина-Геда), чувствительность и температура которых увеличиваются при патологии соответствующих внутренних органов. Локализация данных зон не постоянна даже для отдельного организма, но, тем не менее, данный факт может быть использован для диагностики заболеваний.

Специфическим случаем, требующим отдельного рассмотрения, является изменение температурного поля человека во время сна. У спящего человека снижаются кровяное давление, частота пульса и температура тела, замедляется дыхание, расширяются кровеносные сосуды кожи, активность обмена веществ снижается на 10...20 % и только пищеварительный тракт может оставаться более активным, чем при бодрствовании. Предполагается, что диагностика по тепловому полю спящего человека является более воспроизводимой, чем во время бодрствования.

На основании анализа теплового поля человека с достаточной степенью достоверности можно обнаружить большинство заболеваний на начальных стадиях их развития. В большинстве случаев локальная гипертермия 2...5 °С соответствует воспалительному процессу или злокачественной опухоли независимо от области локализации [1]. Оценка температурного распределения может быть осуществлена с помощью термографического индекса  $ТИ = \sum(\Delta t \cdot a) / \sum(a^2)$ , где  $\Delta t$  – разница температур между температурой каждой изотермы в выделенной зоне измерения площадью 100 см<sup>2</sup> и стандартной температурой (26 °С),  $a$  – площадь каждой изотермы. При этом у людей с нейроциркуляторной дистонией возможна парадоксальная реакция на изменение температурных условий и внешние раздражители.

Рассмотрим термографические признаки некоторых заболеваний человека [1].

*Вирусные заболевания.* Термографическая картина больного гриппом выглядит следующим образом: гипертермия 0,5...1,0 °С кончика носа, ушной раковины, подчелюстных лимфоузлов, грудинно-ключично-сосцевидных мышц. При респираторно-вирусной инфекции – двухсторонняя диффузная гипертермия грудной клетки 1,4...1,8 °С. При остром гнойном синусите – термоасимметрия 1,7...2,5 °С в области глазниц и лба. Если у пациента гнойный гайморит, то термография покажет гипер-

термию  $0,5...2,5$  °C в области проекции верхнечелюстных пазух. В случае синусита – термоасимметрия более  $1$  °C околоносовых пазух в сочетании с разницей температур проекции лобных пазух и носа более  $3,5$  °C, решетчатых пазух и носа более  $3$  °C.

Для дифференциальной диагностики синуситов вводятся критерии для трех симметричных пар назальных пазух: лобных, верхнечелюстных, решетчатой кости:  $\Delta t = |t_L - t_R|$ ,  $S = S_L / S_R$ , где  $t_L$  – средняя температура слева;  $t_R$  – средняя температура справа;  $S_L$  – площадь участка слева с температурой от максимальной до средней;  $S_R$  – площадь участка справа с температурой от максимальной до средней. Диагноз ставится в соответствии с соотношениями: фронтит, если  $\Delta t < 0,3$  °C,  $0,74 \leq S \leq 1,16$ ; этмоидит, если  $\Delta t < 0,4$  °C,  $0,84 \leq S \leq 1,18$ ; гайморит, если  $\Delta t < 0,4$  °C,  $0,82 \leq S \leq 1,12$ .

*Онкологические заболевания.* При диагностике щитовидной железы вводится критерий  $\Delta t_1$  – разность температур, между долями щитовидной железы,  $\Delta t_2$  – разность температур между экстратиреоидной точкой в области щитовидного хряща и железой. При узловатых новообразованиях в щитовидной железе наблюдается гипертермия  $|\Delta t_1| > 1$  °C. При доброкачественной опухоли – гипертермия  $\Delta t_1 + \Delta t_2 = 2,5...3,0$  °C. При злокачественной опухоли щитовидной железы – гипертермия  $\Delta t_1 + \Delta t_2 = 2,8...3,5$  °C.

При раке молочной железы будет наблюдаться термоасимметрия молочных желез  $0,8...5,0$  °C в зависимости от количества и функциональной активности сосудов опухоли, митотической фазы основной массы опухолевых клеток и интенсивности внутриклеточной энергетики. При злокачественной опухоли молочной железы – гипертермия  $1,0...2,5$  °C, которая по площади составляет 75 % всех градиентов температуры молочных желез, гипертермия увеличивается при гипербарической оксигенации. При доброкачественной опухоли молочной железы – гипотермия  $1,0...2,5$  °C, которая по площади составляет больше 75 % всех градиентов температуры молочных желез.

При раке легких будет наблюдаться гипертермия  $1,0$  °C в области проекции легких в виде очагов. В случае рака желудка, у пациента наблюдается средне- или крупноочаговая гипертермия  $2,5...3,5$  °C в эпигастриальной области.

*Болезни сердца.* При ишемической болезни и мерцательной аритмии будет наблюдаться термоасимметрия в зоне шейно-грудных сегментов  $0,6...1,5$  °C. При ишемическом инфаркте миокарда – гипотермия области

сердца с рефлекторной гипотермией сосудов левой руки, гипертермия области легких, температурная асимметрия кистей рук, лица. При инфаркте миокарда – гипертермия 1,8...2,4 °С в области сердца, чередование очагов гипо- и гипертермии 1...1,4 °С в области сердца. При артериальной гипертонии – гипотермия более 0,8 °С левой стороны грудной клетки, гипотермия левых конечностей, в области рук более 1 °С, в ряде случаев с «термоампутацией» дистальных отделов конечностей. При стенокардии – гипертермия 0,2...0,8 °С в области проекции сердца в виде очагов. При постинфарктном кардиосклерозе будет наблюдаться гипертермия 1,5...2 °С в области сердца, аорты и крупных сосудов, иногда может наблюдаться гипертермия 1,5...2 °С в области легких и печени при гипотермии верхних и нижних конечностей.

*Болезни внутренних органов.* В случае патологии печени и желчевыводящих путей наблюдается локальная гипертермия 0,8...1,2 °С в области правого подреберья. При мочекаменной болезни будет наблюдаться очаговая гипертермия в проекции почек и мочеточников, асимметрия 0,5...1,2 °С (при обострении 1,8 °С и более) теплового рисунка в нижнегрудной, поясничной и крестцовой областях, гомогенный характер зоны гипертермии, асимметрия теплового рисунка на передней брюшной стенке, патологическая разница температур в симметричных точках 0,8...1,5 °С, мелкоочечные зоны гипертермии в пояснично-крестцовой области, гипертермия в области зон Захарьина – Геда.

*Кожные заболевания.* Если у пациента злокачественная опухоль кожи, то термографическая картина исследуемой области выглядит так: асимметричный локальный очаг гипертермии 1...2,5 °С с резко выраженными границами, асимметричная область гипотермии 0,8...1,5 °С, окружённая гипертермическим (2,6...2,8 °С) кольцом. Если опухоль кожи доброкачественная, то термографическая картина исследуемой области несколько отличается от предыдущего случая: асимметричный локальный очаг гипертермии 0,5...1,0 °С с резко выраженными границами, асимметричная область гипотермии 1,0...1,5 °С, окружённая гипертермическим (0,6...0,8 °С) кольцом.

*Ревматические заболевания суставов.* Обобщенный показатель ревматических заболеваний суставов можно выразить следующей формулой:  $Y = (1 + N)^{-1} + M + 10K$ , где  $N$  – число гипотермических суставов (для коленных суставов гипотермия более 5 °С, для локтевых и лучезапястных более 3 °С, для мелких суставов более 1 °С);  $M$  – число суставов без термоасимметрии;  $K$  – число гипертермических суставов. Для здоровых лиц  $Y = 0$ . При костно-суставном туберкулезе будет наблюдаться гипертермия суставов 0,5...1 °С с увеличением до 1,5...3 °С после введения под-

можно 50 ТЕ туберкулина. При остром гемартрозе – гипертермия 4...6 °С в области суставов. При саркоме костных тканей – гипертермия 1,5...3,5 °С в области локализации костных тканей с увеличением гипертермии до 4...6 °С после внутривенного введения 10 мл раствора 40 % глюкозы; максимум гипертермии достигается через 4...6 мин после введения. У здоровых людей над коленными суставами ТИ = 4,75 (4,10...4,95); при контрактуре суставов ТИ = 6,7; при анкилозе суставов ТИ = 0,33.

Как следует из приведенных данных для диагностики ранней стадии заболеваний на основании анализа теплового поля необходимо разрешение измерительной аппаратуры не хуже 0,1 °С. Необходимо учитывать, что на точность измерения теплового поля оказывает существенное влияние коэффициент излучения кожи человека. Известно, что собственное тепловое излучение кожи близко к равновесному излучению абсолютно чёрного тела с максимумом вблизи 9 мкм [1–4]. Независимо от цвета кожи человека, её излучательная способность в направлении, перпендикулярном к поверхности, равна  $0,97 \pm 0,02$  в широком спектральном диапазоне (2...14 мкм). Были проведены экспериментальные исследования влияния состояния кожи человека на коэффициент излучения. В качестве измерителя использовался низкотемпературный бесконтактный термометр БНТ-03М с разрешением по температуре 0,05°С. Целеуказание точки измерения температуры осуществлялось с помощью полупроводникового лазера мощностью излучения 1 мВт на длине волны 0,65 мкм. В результате проведённых экспериментов было получено, что коэффициент излучения сухой кожи отличается от коэффициента излучения жирной и влажной кожи приблизительно на  $\pm 0,01$ . Таким образом погрешность измерения теплового поля человека, обусловленная не достаточно точным знанием коэффициента излучения кожи, составит величину  $\pm 0,15$  °С.

### Литература

1. Драгун В. Л., Филатов С. А. Вычислительная термография: применение в медицине. – Мн.: Наука и техника, 1992. 231 с.
2. Егорова Т. А., Ситников В. П. Северный вариант нормы тепловой картины лица.// Вестник оториноларингологии. 1990. №1. С.54 – 58.
3. Севастьяненко В. Г. Характеристики теплового излучения и методы их определения. Мн.: 1994. 50 с.
4. Мазурин В. Я. Медицинская термография. – Кишинёв: Штиинца, 1984. 149 с.