

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 2 5 3

РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ
ПАТОЛОГИИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ, ГЕНИТАЛИЙ,
ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И ПОЗВОНОЧНИКА

В.Л. Рахлин

Г.Е. Алова

Горький 1988

Рахлин В.Д., Алова Г.Е.

РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ПАТОЛОГИИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ, ГЕНИТАЛИЙ, ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И ПОЗВОНОЧНИКА. // Препринт № 253. - Горький: НИРФИ. - 1988. - 52 с.

УДК 520.27+520.874:61

В работе рассказывается о методе радиотермометрии применительно к медицинской диагностике. Сообщается о способах повышения точности и надежности измерения глубинной температуры органов и тканей человека. Даются краткие рекомендации по статистической обработке результатов измерений.

Остальное содержание препринта - описание методики обследования пациентов для диагностики патологии молочных желез, позвоночника, гениталий и предстательной железы. Приводятся многочисленные графики, иллюстрирующие нормальное распределение температуры в указанных областях и при патологии.

Виктор Лазаревич Рахлин

Галина Евгеньевна Алова

РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ПАТОЛОГИИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ,
ГЕНИТАЛИЙ, ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И ПОЗВОНОЧНИКА

Подписано в печать 24.11.88 г. МЦ 00981. Формат 60 x 84. 1 / 16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 3,2 л. л. Тираж 150. Заказ 4764.
Бесплатно.

Отпечатано на ротационной машине в НИРФИ

ВВЕДЕНИЕ

Когда человек заболевает какой-либо болезнью, то первый вопрос, которым задаются, — это какая у заболевшего температура. Имеется в виду общепризнанный показатель состояния здоровья человека — температура в подмышечной впадине. Система биологической терморегуляции организма человека настолько совершенна, что в различных климатических условиях у него подмышечная температура, если человек здоров, укладывается в интервал $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ при средней температуре окло $36,5^{\circ}\text{C}$ ($309,5\text{ K}$, т.е. интервал составляет меньше $0,2\%$). А в случае заболевания температура человека обычно повышается, и это дает информацию о том, что человек заболел. Однако, какая болезнь у него, делать заключение только по температуре невозможно. Необходимы еще какие-то объективные показатели. Следует также отметить, что при некоторых заболеваниях, в том числе и очень опасных (например рак), а тем более на ранних стадиях заболевания, подмышечная температура может быть совершенно нормальной.

Для диагностики ряда заболеваний требуется применять различные, порой безвредные для здоровья (например рентгеноскопия, рентгенография), а то и болезненные обследования (например биопсия, хромоцистоскопия, зондирование и пр.). В то же время для диагностики заболевания иногда вполне достаточно знать температуру какого-либо органа или распределение температуры, температурные градиенты в определенной области. Так по распределению глубинной температуры в молочных железах можно с большой достоверностью диагностировать некоторые их патологии. По распределению глубинной температуры вдоль позвоночника можно почти со стопроцентной достоверностью диагностировать остеохондроз и корешковый синдром.

По температуре предстательной железы можно судить о наличии аденомы, простатита, рака. По температуре яичников и матки удается диагностировать кисту, фиброму, нормальную беременность в самой начальной стадии, внематочную беременность, рак, эрозию шейки матки, кольпит. По глубинной температуре мышечной ткани конечностей можно судить о кровоснабжении их, о состоянии сосудистой системы, что очень важно в диагностике и лечении облитерирующего атеросклероза.

Можно привести множество примеров, когда температура того или иного органа человека позволяет определить его состояние, обнаружить патологию. Важно лишь уметь измерить эту температуру безболезненным, безвредным неинвазивным методом. Такой метод есть: радиотермометрия.

Впервые радиотермометрия для медицинской диагностики, судя по публикациям, была применена в 1974 году в Швеции /1/. Затем в 1975 г. в США /2, 3/, а начиная с 1976 года и в СССР. Здесь первенство принадлежит г.Горькому: чл.-корр.АН СССР В.С.Троицкий, заведующий отделом Научно-исследовательского радиофизического института с группой своих сотрудников на сантиметровых /4/ и в основном на дециметровых волнах /5/ начал внедрять радиотермометрию в медицинскую диагностику.

Радиотермометры, созданные в НИРФИ в отделе, руководимом Троицким В.С., были использованы в ряде клиник г.Горького.

Везде радиотермометрия выполнялась совместно радиофизиками и врачами, которых радиофизики обучали работе с приборами. По мере освоения врачи постепенно обретали самостоятельность в таких измерениях.

Авторами настоящей работы порознь (Рахлиным с 1980 года, Аловой с 1986 года) и совместно было обследовано с помощью радиотермометрии в общей сложности более трех тысяч человек, в том числе считающих себя здоровыми и больных с различной патологией, разных возрастных групп: от двухлетнего ребенка до пожилого человека девяноста двух лет. Все измерения подвергались статистической обработке. Были получены интересные результаты, отмечены возрастные температурные отличия.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.С.Троицкому - за проявленный интерес к работе и полезные рекомендации, М.М.Зубову - за регулярную помощь в поддержании работоспособности аппаратуры, И.Ф.Белову и Е.К.Диваковой - за контактные и полостные антенны, с помощью которых мы проводили измерения, и Г.М.Матигиной - за техническую помощь, оказываемую нам в процессе измерений.

1. ПРИНЦИП МЕТОДА РАДИОТЕРМОМЕТРИИ

Радиотермометрия основана на измерении теплового радиоизлучения. Радиоизлучение тел, температура которых выше абсолютного нуля, объясняется преобразованием тепловой энергии в энергию электромагнитного поля. Это происходит за счет хаотического движения в любом теле элементарных зарядов — электронов, ионов. В соответствии с законами физики любой движущийся электрический заряд создает электромагнитное поле, являясь при этом источником электромагнитного излучения. Частота и интенсивность электромагнитного излучения определяется скоростью движения заряда, протяженностью пути и величиной заряда. Так как тепловое движение заряженных частиц в теле хаотическое, т.е. в любой момент времени в этом процессе могут быть движения частиц с разными скоростями, с различными протяженностями пути, во всевозможных направлениях, то и электромагнитное излучение может иметь любые частоты — от нуля до бесконечности. Такое радиоизлучение, имеющее сплошной спектр частот, называется шумовым. Мощность этого шумового радиоизлучения зависит главным образом от температуры тела, а следовательно, измерив его мощность, можно узнать температуру тела.

Для температур, далеких от абсолютного нуля, например для температур окружающей нас среды, спектральная плотность мощности шумового радиоизлучения теплового происхождения строго пропорциональна температуре тела и может быть вычислена по формуле Релея-Джинса:

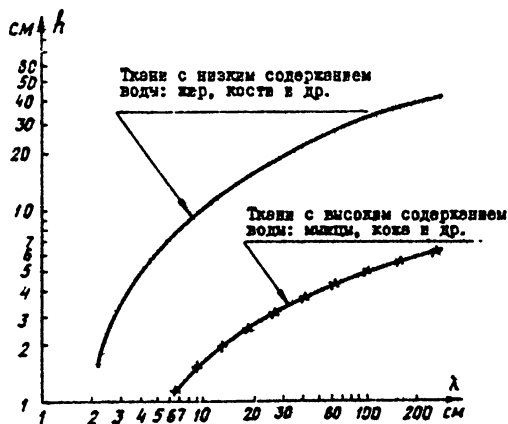
$$W = \frac{2\pi k}{\lambda^2} T \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц},$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/гр — постоянная Больцмана, λ — длина волны в метрах, T — абсолютная температура тела в градусах Кельвина. Из этой формулы видно, что, чем длиннее волна, на которой принимается радиоизлучение из тела, тем меньше спектральная плотность ее мощности. И наоборот.

Для приема радиоизлучения тела человека с определенной глубины необходимо подобрать вполне определенный диапазон радиоволн. Этому вопросу посвящено несколько работ и в частности Пресмана /6/ и Джонсона и Гая /7/. Они исследовали, на какую глубину проникают в живую

ткань радиоволны разных диапазонов. На рис. I, построенном по таблицам Джонсона и Гая, показано, на какую глубину проникают радиоволны в живую ткань, содержащую большой процент влаги (мышцы, кожа и др.) и малый (жир, кости и др.). По закону Кирхгофа на тех же волнах идет и собственное тепловое радиоизлучение с тех же глубин. Из приведенного графика следует, что для получения информации о температуре мышечных тканей с глубины 4-6 см нужно принимать радиоволны тридцати-шестьдесятисантиметровых диапазонов. Но прием теплового радиоизлучения человеческого тела на этих длинах волн осложняется тем, что спектральная плотность мощности его чрезвычайно мала - порядка 10^{-22} Вт/гр. Гц. Это в сотни миллионов раз меньше, чем сигналы инфракрасного излучения тела, принимаемые приемниками тепловизоров. Зато, если тепловизор дает информацию лишь о температуре эпидермиса - самого наружного слоя кожи, - то радиотермометрия на дециметровых диапазонах волн дает информацию о температуре непосредственно глубинных тканей.

Зависимость глубины проникновения радиоволн
в живых тканях от длины волны по Джонсону
и Гей



Р и с. I

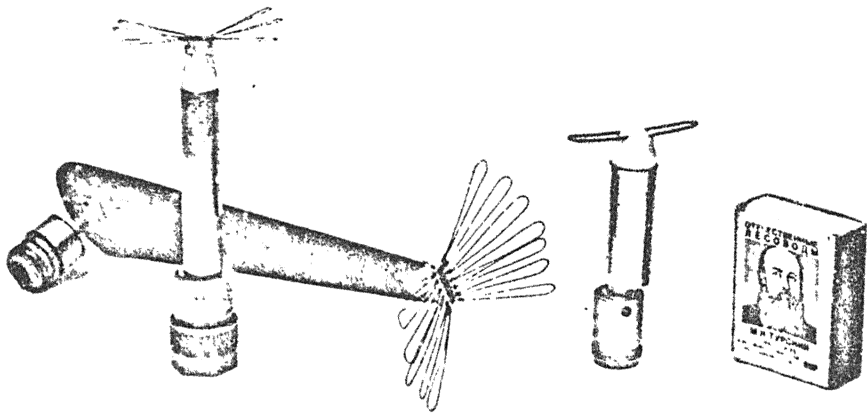
Мощность сигналов теплового радиоизлучения человеческого тела, поступающих в антенну при полном согласовании с телом, определяется формулой Найквиста:

$$P = k T \Delta f,$$

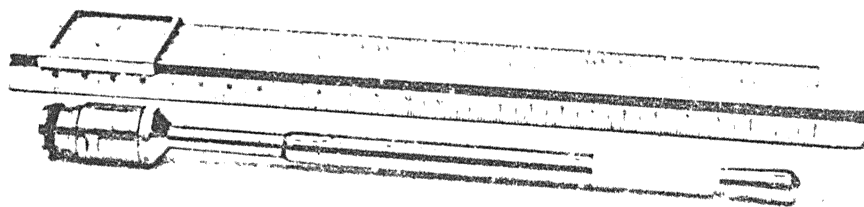
где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/гр - постоянная Больцмана, T - температура тела в градусах Кельвина, Δf - полоса пропускания радиоприемника в герцах. Принимая температуру человека, равной 310 К (что соответствует 37°C) и полосу пропускания приемника на волне 30 см, равную 100 мегагерцам, получаем, что в антенну поступает шумовой радиосигнал мощностью $P = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 310 \cdot 100 \cdot 10^6 = 4,3 \cdot 10^{-13}$ ватта. А, учитывая, что необходимо различать температурные изменения в $0,1^\circ$, приемник должен отчетливо различать и измерять сигналы, отличающиеся по мощности в 3100 раз, то есть на $1,4 \cdot 10^{-16}$ ватта. Эта мощность в десятки тысяч раз меньше мощности собственных шумов входа приемника. Для приема и измерения таких слабых сигналов применяют специальные измерители и чаще всего модуляционные измерители мощности /4, 8-II/.

Для приема радиоизлучения глубинных тканей и органов человека используются два типа антенн: поверхностные и полостные /12/. На рис.2 приведена фотография трех видов поверхностных антенн. Все они представляют собой разновидности полуволновых диполей, запитываемых через симметрирующий трансформатор. Размер диполя определяется длиной волны в тканях, которая в $\sqrt{\epsilon_{\text{ткани}}}$ меньше чем в свободном пространстве. При измерениях антенна устанавливается на кожу человека в том месте, куда проектируется орган или мышечная ткань, температуру которой требуется измерить. На рис.3 показана фотография одного из типов полостных антенн, применяемых для инвагинальных измерений температуры матки. Это четвертьволновый вибратор, длина которого так же определяется диэлектрической проницаемостью живых тканей и длиной волны в свободном пространстве.

Процесс измерения совершенно безвреден, т.к. идет прием радиоизлучения без какого-либо облучения пациента, и абсолютно безболезнен. Оба эти качества позволяют широко применять радиотермометрию для обследования людей любого возраста и при любых патологиях.



Р и с . 2



Р и с . 3

О точности измерения температуры

В ряде работ по радиотермометрии в медицине указывается, что абсолютная точность измерения глубинной температуры человеческого тела зависит, в основном, от качества согласования контактной антенны с телом человека и предлагаются меры, повышающие точность измерения для случая применения антенн, не имеющих полного согласования с телом человека /13-17/. Однако, кроме неполного согласования антенны с телом человека, есть еще два существенных источника погрешности измерения температуры. Первый из них - это погрешность калибровки радиометра, а второй - внешние помехи от электромагнитных полей, излучаемых различными электрическими приборами - бытовыми, медицинскими, промышленными, транспортными и пр.

Рассмотрим эти три источника погрешностей и меры по снижению ошибок измерений.

I. Калибровка радиотермометра

Как уже говорилось выше, принимаемое тепловое радиоизлучение имеет мощность строго пропорциональную температуре тела. Поэтому, измерив мощность принятого сигнала, можно путем расчета определить температуру тела. Но этот путь неудобен. Значительно удобнее прокалибровать радиотермометр непосредственно в градусах по радиоизлучению имитатора живой человеческой ткани, имеющего определенную температуру. Таких имитаторов человеческой ткани - их можно назвать эталонами теплового радиоизлучения - нужно всего два. Пусть один имеет температуру, скажем, 33°C (306 К), а второй - 38°C (311 К). Записав на ленте самописца или зафиксировав показания выходного прибора радиотермометра, когда антенна стоит на одном, а потом на другом эталоне, и поставив затем антенну на тело человека, по показаниям выходного прибора радиотермометра нетрудно определить температуру человеческого тела. На рис. 4 приведен пример записи калибровки радиотермометра и определения температуры предстательной железы.

Имитатор человеческой живой ткани, используемый в эталоне теплового радиоизлучения для калибровки медицинского радиотермометра, должен обладать электрическими свойствами и параметрами, близкими к таковым, живой человеческой ткани. Наиболее полно удовлетворяет этому тре-



Пример записи распределения температуры при обследовании предстательной железы

Р и с . 4

бованию обычная пресная вода. Она наливается в сосуд, а контактная антенна приставляется к ней через тончайшую – порядка $25 + 50$ мкм – лавсановую пленку. Вода подогревается и термостатируется. К водяному эталону теплового радиоизлучения, для снижения погрешности калибровки, предъявляются три требования:

1. Температура воды должна быть известна с точностью флуктуационного порога чувствительности радиотермометра, т.е. с погрешностью не более $0,05$ К.
2. Неодинаковость температуры воды по глубине или температурные

градиенты должны быть не более флуктуационного порога чувствительности радиотермометра - не более 0,05 К.

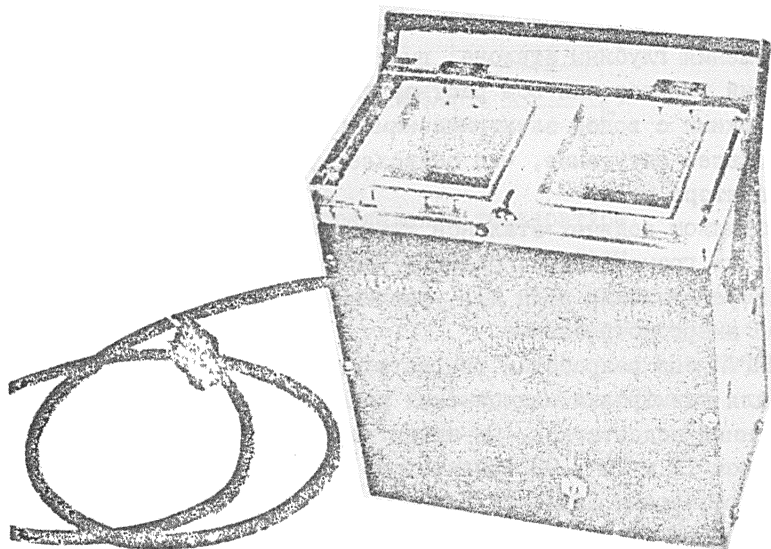
3. Глубина водяного эталона должна быть больше толщины скин-слоя для данной длины волны и обеспечивать затухания сигнала на 25 ± 30 децибел.

Первый и второй пункты проверяются измерением температуры воды с помощью ртутных термометров, обладающих необходимой точностью, порядка $0,01 \pm 0,02$ градуса. Третий пункт проверяется измерением коэффициента отражения от воды для конкретной контактной антенны. Допустимая величина коэффициента отражения по мощности не должна превышать 0,05, т.е. 5%. Это соответствует коэффициенту стоячей волны КСВ $\leq 1,6$. Глубина водяного эталона для калибровки радиотермометра тридцатисантиметрового диапазона волн должна быть не менее 100 ± 120 мм. Иногда для уменьшения глубины эталона вместо пресной воды используют физиологический раствор или 50% раствор глицерина в воде. Эти жидкости обладают схожими с водой электрическими параметрами, но обеспечивают несколько большее затухание, что позволяет уменьшить глубину эталона примерно в полтора раза.

Недостатком водяных эталонов теплового радиозлучения является, в основном, их громоздкость, большая масса, необходимость механической системы перемешивания воды для уравнивания температуры по всему объему и большое энергопотребление.

В НИРФИ был разработан твердотельный эталон теплового радиозлучения для калибровки медицинских радиотермометров /18/, свободный от перечисленных недостатков. Он представляет собой брусок-параллелепипед размером $12 \times 75 \times 90$ миллиметров, изготовленный из графитового порошка с размерами зерен от 5 до 50 микрометров, замешанного на эписидной смоле. У него удельное электрическое сопротивление $0,6 \pm 0,8$ Ом.метр, температурный коэффициент сопротивления $(4 \pm 10) \cdot 10^{-3}$ гр⁻¹. Поглощение дециметровых волн указанных диапазонов при толщине бруска 12 мм более 30 дБ, а коэффициент отражения для контактных антенн, согласованных с телом человека, не превышает $1 \pm 2\%$ по мощности. Нагревается брусок пропускаемым через него электрическим током. Сила тока автоматически регулируется электронной схемой термостабилизации. Брусок обладает эффектом самовыравнивания температуры по объему, т.е. проводящую пластину эталона можно рассматривать как параллельное соединение бесконечного числа токопроводящих каналов. Если температура по

всей толще пластины одинакова, то электрическое сопротивление всех каналов равно. Благодаря этому во всех каналах течет одинаковый ток. Если же какой-то канал охладится, его температура снизится, электрическое сопротивление станет меньше и это вызовет увеличение тока в этом канале и, как следствие, повышение температуры до прежнего уровня. На рис. 5 показана фотография твердотельного эталона. Описанный твердотельный эталон имеет один недостаток: обладает выраженным дробовым эффектом, и пропускаемый через него нагревающий ток силой 0,5 ампера генерирует дополнительное шумовое излучение около 6К. Это вынуждает при калибровке выключать на 4-5 секунд питание эталона.



Р и с. 5

В радиотермометре антенна и входные цепи добавляют к измеряемому сигналу некоторую шумовую радиомощность, величина которой равна произведению коэффициента потерь входного тракта и антенны на их термодинамическую температуру: $\Delta T_{вх} = \gamma_{вх} T_{вх}$. Поэтому, во-первых, жалательно и антенну, и антенный кабель, и все входные элементы схемы

термостатировать, а во-вторых, т.к. на температуру антенны и антенного кабеля может влиять температура окружающего воздуха, необходимо при обследовании каждого пациента, каждый раз производить калибровку радиотермометра по эталонам теплового радиоизлучения.

2. Устранение влияния помех

Как было показано раньше, медицинский радиотермометр обладает столь высокой чувствительностью, что различает сигнал мощностью меньше $1,4 \cdot 10^{-16}$ ватта, соответствующий тепловому радиоизлучению $0,1 \text{ К}$. Между тем окружающее нас пространство насыщено всевозможными электромагнитными полями разных частотных диапазонов, источниками которых являются многоваттные электрические приборы и установки. Контактная антенна радиотермометра с пространством рассогласована, т.к. ее геометрические размеры в $\sqrt{\epsilon_{\text{тела}}}$ меньше длины волны в свободном пространстве. Благодаря этому на нее от внешних полей наводятся очень малые сигналы, которые большей частью, практически, не создают погрешностей измерений. Однако тело человека своей величиной соизмеримо с длиной волны электромагнитной помехи в пространстве, а так как оно, к тому же, является проводником электрического тока, то служит превосходной антенной, принимающей из пространства сигналы всех электромагнитных помех. Вследствие этого на теле человека создается напряжение, и порой весьма значительное, от электромагнитной помехи. При чем, это напряжение может создать вдоль тела стоячие волны с амплитудой до нескольких вольт. А так как контактная антенна согласована с телом человека, то она черпает из него вместе с измеряемым сигналом еще и сигнал помехи. При этом наиболее опасна не импульсная помеха, которую легко обнаружить по резкому всплеску выходного сигнала, а стационарная, гладкая, имеющая сплошной спектр частот, которая, не будучи замеченной оператором, создает увеличение принимаемого сигнала из тела человека на несколько десятых градуса. Это увеличение будет связано с распределением стоячей волны от помехи вдоль тела человека. К примеру, если в соседней комнате включена лампа дневного света (горячая плазма), то измерение температуры глубинных тканей человека может дать ошибку на несколько десятых градуса. Не говоря уже о том, что такие источники помех, как проезжающие по улице трамваи, троллейбусы и автомобили с карбюраторными двигателями, самолеты, пролетающие над домом, все

можные физиотерапевтические приборы, рентгеновские установки — все это может дать ошибку измерения в несколько градусов. Для исключения ошибки измерения, вызываемой внешними электромагнитными полями, необходимо радиотермометрию проводить в экранированной кабине, дающей ослабление помехи до такого уровня, который может вызвать на входе радиотермометра сигнал не более одной десятой доли флуктуационного порога чувствительности радиотермометра. Практически достаточно, если экранированная кабина дает защиту от внешних электромагнитных полей на 100–120 децибел.

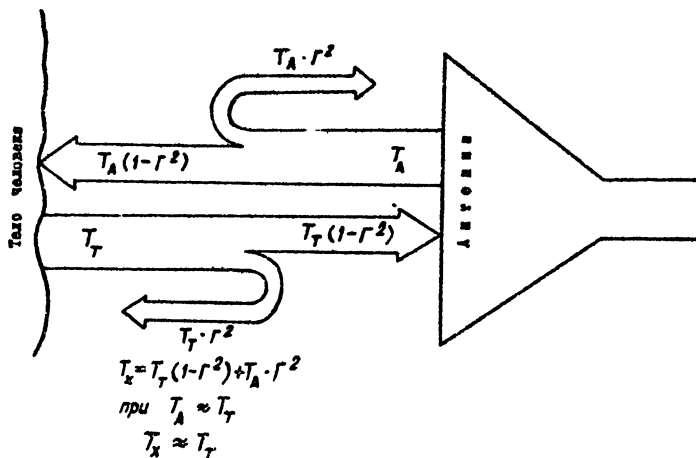
3. Снижение погрешности измерения, вызванной неточным согласованием антенны

Неполное согласование антенны с телом человека оценивается коэффициентом отражения сигнала по мощности Γ^2 . Когда антенна с таким коэффициентом отражения принимает из тела человека радиоизлучение, определяемое температурой тела T_T , то в измеритель (приемник) поступает не весь этот сигнал, а только его часть $T_x = T_T (1 - \Gamma^2)$. Другими словами, антенна не уловит часть сигнала, равную $\Delta T_T = T_T \Gamma^2$. В то же время сама антенна и входные элементы приемника, имеющие температуру T_A , отличную от абсолютного нуля, генерирует сигнал, направленный к телу человека. Часть этого сигнала поглотится человеком (что для него абсолютно безвредно), т.к. такое облучение мы повседневно получаем от любых предметов, касающихся нас, или которые мы берем в руки (например, одежда, обувь и пр.), а часть отразится за счет неполного согласования антенны. Отраженный сигнал равен $\Delta T_A = T_A \Gamma^2$.

Таким образом, в приемник поступит сигнал

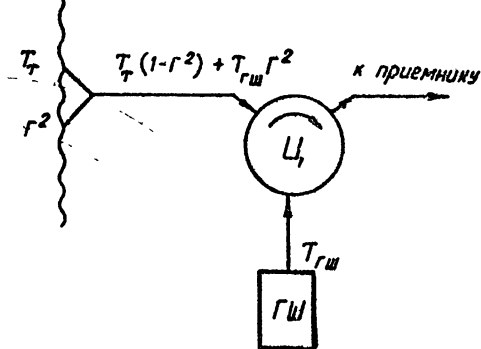
$$T_x = T_T (1 - \Gamma^2) + T_A \Gamma^2.$$

Последнее выражение иллюстрируется рис.6. Отсюда следует, что если термодинамическая температура антенны и входных элементов приемника близка к температуре человеческого тела $T_A \approx T_T$, то в приемник поступит сигнал, близкий по величине сигналу излучаемому человеком: $T_x \approx T_T$. Это было использовано в первых работах В.С.Троицкого /13/ Антенна, антенный кабель и сам радиоприемник подогревались до температуры приблизительно 36,5 – 37,0° Цельсия и это снижало погрешность из-



Р и с. 6

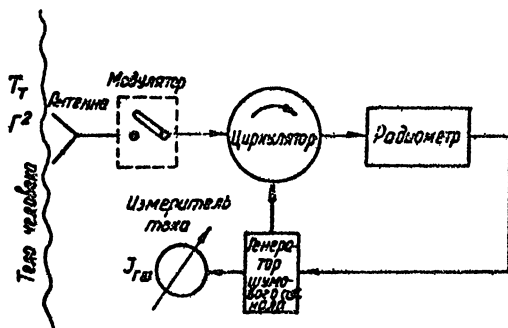
мерения температуры радиоизлучения человека до величины менее $0,1^\circ$. Однако нагрев входных узлов радиотермометра сопряжен с рядом трудностей и неудобств. Так, например, очень сложно быстро изменять, если это требуется, их температуру. Свободный от этих недостатков "Метод регулируемого подшумливания для исключения ошибок радиотермометра, вызванных рассогласованием антенны с телом" /14/, заключается в том (рис.7), что в антенну через циркулятор подается сигнал от шумового генератора $T_{гш}$. Величину этого сигнала можно сделать любой, что выполняется мгновенно путем изменения напряжения питания генератора шума. И всегда можно достичь примерного равенства $T_{гш} \approx T_T$, что позволит снизить ошибку измерения, вызванную неполным согласованием антенны с телом. При этом исключается надобность в подогреве входных цепей радиотермометра. Еще меньшую ошибку измерения обеспечивают балансные радиотермометры /15-17/. По одной из таких схем в НИРФИ был построен нулевой медицин-



Функциональная схема "подшумливания" антенны

Р и с . 7

ский радиотермометр на волну 30 см /19/. Функциональная блок-схема этого прибора показана на рис.8. Работает она следующим образом.



Функциональная схема кулевого радиотермометра.

Р и с . 8

Модулятор отражающего типа /20/ в положении пропускания открывает путь в радиометр измеряемому сигналу $T_T(1-\Gamma^2)$ плюс отраженному телом сигналу генератора шума $T_{гш}\Gamma^2$. (Для простоты изложения влиянием потерь в циркуляторе и антенне можно пренебречь.) В положении отражения модулятор посылает в радиометр только сигнал генератора шума $T_{гш}$. Выходное напряжение радиометра пропорционально разности сигналов, поступающих на его вход при двух положениях модулятора. Начальной регулировкой радиотермометра достигается баланс плеч: направляют антенну в пространство, с которым она полностью рассогласована, т.е. $\Gamma_{пр}^2 = 1$, и в этом случае отражает весь сигнал генератора шума, затем устанавливается выходное напряжение радиометра, равное нулю. Когда же антенна ставится на тело человека или на эталон теплового радионизлучения и при этом на вход радиометра поступает уже сигнал $T_T(1-\Gamma^2) + T_{гш}\Gamma^2$, то выходное напряжение радиометра становится пропорциональным разности $(T_T - T_{гш})(1-\Gamma^2)$. Это напряжение "сигнал ошибки" подается на генератор шума и доводит величину $T_{гш}$ до значения, равного T_T . Изменившийся ток генератора шума измеряют и определяют температуру тела по простому соотношению:

$$T_T = T_{Э1} + \frac{I_{гшТ} - I_{гшЭ1}}{I_{гшЭ2} - I_{гшЭ1}} (T_{Э2} - T_{Э1}),$$

где $T_{Э1}$ - температура 1-го эталона теплового радионизлучения, $T_{Э2}$ - температура 2-го эталона теплового радионизлучения, $I_{гшТ}$ - ток генератора шума при установке на 1-ый эталон, $I_{гшЭ1}$ - ток генератора шума при установке антенны на 2-ой эталон, $I_{гшЭ2}$ - ток генератора шума при установке антенны на тело человека. В итоге влияние коэффициента отражения на результат измерения полностью исключается и ошибка измерения температуры из-за неполного согласования антенны с телом человека становится равной нулю.

Статистическая обработка результатов измерений

Погрешность единичного измерения температуры глубинной ткани человека определяется флуктуационным порогом чувствительности радиотермометра и потерями в антенном тракте, т.е. техническими параметрами радиотермометра, и составляет около $0,1^{\circ}$. (Это соответствует погрешности обычного медицинского ртутного термометра.) Однако не только у разных здоровых людей, но даже у одного и того-же человека, но в разное время суток температура глубинных тканей или органов может отличаться, практически, почти на целый градус. Это объясняется как субъективными данными человека, так и биологическими ритмами. Для исключения влияния биологических ритмов мы проводили все измерения, в основном, в одно и то-же время суток, с 10 часов утра до 14 часов дня. Поэтому в наших измерениях разброс значений температур определялся субъективными особенностями людей. Этот разброс подчиняется нормальному закону распределения, в соответствии с формулой Гаусса:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\Delta t)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где Δt - отклонение температуры от среднего значения, σ^2 - дисперсия, e - основание натуральных логарифмов, y - относительная частота появления отклонения температуры Δt . А корень квадратный из дисперсии - это предел среднеквадратичной ошибки S_n при увеличении числа измерений до бесконечности:

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n.$$

Среднеквадратичной ошибкой называется величина

$$S_n = \sqrt{\frac{(\bar{t}-t_1)^2 + (\bar{t}-t_2)^2 + \dots + (\bar{t}-t_n)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{t}-t_i)^2}{n-1}}.$$

Здесь n - число измерений, $t_1, t_2, \dots, t_n, \dots, t_i$ - значение температуры какого измерения, \bar{t} - среднеарифметическое значение температуры из всех измерений:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}{n}$$

Большие отклонения температуры единичного измерения у одного человека от среднего значения по некоторой группе людей встречаются реже, чем малые. Статистическая обработка результатов измерений /21, 22/ позволяет нам выяснить интервал или разброс температур единичных измерений, в которой с заданной или, как говорят, доверительной вероятностью попадает определенное число проведенных исследований.

Доверительный интервал температур можно представить разностью $(\bar{t} + \Delta t) - (\bar{t} - \Delta t)$, где Δt - отклонение единичного измерения от среднего значения температур. При очень большом количестве измерений интервал $(\bar{t} + \sigma) - (\bar{t} - \sigma)$ соответствует доверительной вероятности 0,68. Это означает, что в данный интервал температур попадает 68% всех измерений. Интервалу $(\bar{t} + 2\sigma) - (\bar{t} - 2\sigma)$ соответствует доверительная вероятность 0,95, а интервалу $(\bar{t} + 3\sigma) - (\bar{t} - 3\sigma)$ - доверительная вероятность 0,997.

При обычных измерениях можно ограничиться доверительной вероятностью 0,9 или 0,95, но в тех случаях, когда необходима особая точность, прибегают к доверительной вероятности 0,999 - т.е. 99,9% результатов всех измерений укладывается в выбранный интервал.

Когда же число измерений, из которых определена среднеквадратичная ошибка S_n , не очень велико, что имеет место в медицинских исследованиях, для определения отклонения Δt , при заданной доверительной вероятности, пользуются коэффициентом Стьюдента E_{st} . Коэффициент Стьюдента - это доверительный интервал, выраженный в долях среднеквадратичной ошибки для определенного конечного числа измерений, зависящий от доверительной вероятности. Коэффициенты Стьюдента приводятся в таблицах многих руководств по статистической обработке результатов измерений /21/ и в учебниках. Пользуясь коэффициентом Стьюдента, определяем отклонение единичного измерения от среднеарифметического по формуле

$$\Delta t = \frac{\varepsilon_{st} S_n}{\sqrt{n}} .$$

В свете изложенного, последовательность наших расчетов была такова:

1. Определяем среднеарифметическое значение измерений температуры

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} ,$$

2. Вычисляем среднеквадратичную ошибку

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (\bar{t} - t_i)^2}{n-1}} ,$$

3. Определяем отклонение температуры от среднеарифметического, взяв из приведенной таблицы коэффициент Стьюдента,

$$\Delta t = \frac{\varepsilon_{st} S_n}{\sqrt{n}} ,$$

4. Получаем в результате

$$t = \bar{t} \pm \Delta t .$$

В таблице приведены коэффициенты Стьюдента для количества измерений от 2 до 60. Однако в наших исследованиях минимальное число измерений было 16, а максимальное - больше пятидесяти.

КОЭФФИЦИЕНТЫ СТЬЮДЕНТА

Число измерений	Доверительная вероятность			
	0,9	0,95	0,99	0,999
2	6,3	12,7	63,7	636,6
3	2,9	4,3	9,9	31,6
4	2,4	3,2	5,8	12,9
5	2,1	2,8	4,6	8,6
6	2,0	2,6	4,0	6,9
7	1,9	2,4	3,7	6,0
8	1,9	2,4	3,5	5,4
9	1,9	2,3	3,4	5,0
10	1,8	2,3	3,3	4,8
11	1,8	2,2	3,2	4,6
12	1,8	2,2	3,1	4,5
13	1,8	2,2	3,1	4,3
14	1,8	2,2	3,0	4,2
15	1,8	2,1	3,0	4,1
16	1,8	2,1	2,9	4,0
17	1,7	2,1	2,9	4,0
18	1,7	2,1	2,9	4,0
19	1,7	2,1	2,9	3,9
20	1,7	2,1	2,9	3,9
21	1,7	2,1	2,8	3,8
22	1,7	2,1	2,8	3,8
23	1,7	2,1	2,8	3,8
24	1,7	2,1	2,8	3,8
25	1,7	2,1	2,8	3,7
26	1,7	2,1	2,8	3,7
27	1,7	2,1	2,8	3,7
28	1,7	2,0	2,8	3,7
29	1,7	2,0	2,8	3,7
30	1,7	2,0	2,8	3,7
35	1,7	2,0	2,8	3,7
40	1,7	2,0	2,7	3,6
50	1,7	2,0	2,7	3,6
60	1,7	2,0	2,7	3,5

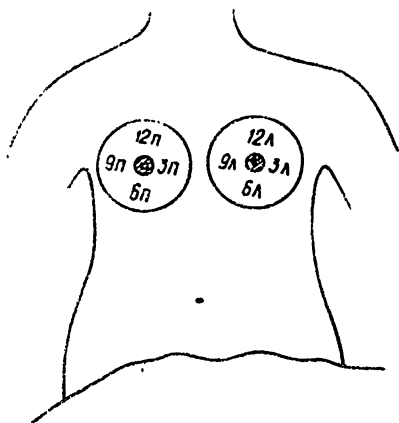
В связи с тем, что радиотермометрия молочных желез с целью выявления патологии — опухоли, мастопатия и др. — не регламентировалась до сих пор какими-либо рекомендациями и методика такого обследования не описывалась в литературе, хотя и сообщалось о применении радиотермометрии для диагностики рака молочных желез /3/, мы поступили следующим образом. Вначале обследовали около двухсот женщин разных возрастных групп, считающих себя здоровыми, прошедших также профилактическое обследование у гинекологов. Измерения проводились нами главным образом в Горьковской городской клинической больнице № 40. Использовались радиотермометры тридцатисантиметровых диапазонов волн, разработанные и изготовленные в Научно-исследовательском радиофизическом институте, в отделе руководимом чл.кор.АН СССР В.С.Троицким /13,15,19/. Контактные антенны, которыми мы пользовались, разработаны в отделе, руководимом кандидатом технических наук И.Ф.Беловым /12/. Статистическая обработка результатов измерений дала возможность составить картину топографии распределения глубинной температуры по здоровой молочной железе. Оказалось, что, во-первых, средняя температура здоровой молочной железы изменяется с возрастом женщины, у молодых она выше на градус-полтора, чем у пожилых. Во-вторых, распределение температуры по железе зависит от месячного цикла. Во время менструации или овуляции в молочной железе у здоровой женщины появляются отдельные области, температура которых может отличаться более чем на градус, что совершенно исключено в "холодный период". В климактерическом периоде у здоровых женщин также могут быть в молочных железах отдельные области значительно различающиеся по температуре. Отсюда был сделан вывод, что для достоверной диагностики состояния молочных желез необходимо проводить обследование женщин в течение семи дней после окончания месячных, а у пожилых в период устойчивой менопаузы. В противном случае не исключены ошибки диагностики.

После проведенного обследования молочных желез здоровых женщин можно было приступить к обследованию желез с известной патологией. В этом плане было обследовано, в общей сложности, более трехсот женщин. Встречалась различная патология: мастопатия, аденома, фибroadенома, маститы, рак и пр. Статистическая обработка результатов измерений при этих патологиях осложнена тем, что одинаковых патологий с одинаковой их топографией не было. Поэтому пришлось довольствоваться констата-

цией отличительного характера распределения температуры по толще желез, соответствующего той или иной патологии.

Методика радиотермометрии молочных желез

В отличие от принятого обследования молочных желез по квадрантам, мы нашли более целесообразным обследовать "по часам" /23/. Это не только упрощает получение информации, но позволяет, в случае надобности, более точно локализовать место узла или опухоли. Таким образом, молочная железа рассматривается как циферблат часов (рис.9) и антенна



Рекомендуемые области молочных желез для радиотермометрии и их обозначение на радиотермограмме.

Р и с . 9

ставится на соответствующий час. При диспансеризации и при первона -

чальном обследовании используются на каждой железе пять областей: 12, 6, 3, 9 и сосок. Этого, как правило, достаточно, т.к. антенна имеет диаграмму около четырех сантиметров в диаметре (на волнах 30см). Если молочная железа очень крупных размеров, можно увеличить число областей обследования, например "правая 12" - около соска и "правая 12 штрих" по тому же радиусу, но выше первой области. Аналогично "правая 6 штрих" - ниже области "правая 6", а также выбрать дополнительные точки, например 4.30, 7.30 и т.д. Перед каждым обследованием и после каждой пациентки антенна дезинфицируется погружением в спирт.

Для обследования пациентка ложится на кушетку обнаженная до пояса. Руки кладет за голову. Этим достигается уплощение молочных желез и открывается доступ к измерению температуры подмышечных лимфатических узлов (рис.10). Измеряются поочередно симметричные области обеих желез. Например "правая 12", "левая 12", "правая 6", "левая 6", "правая 3", "левая 9", "правая 9", "левая 3", "правый сосок", "левый сосок". Необходимо обратить внимание на то, чтобы во время измерений пациентка была спокойна, по возможности - расслаблена. Особенно



Р и с. 10

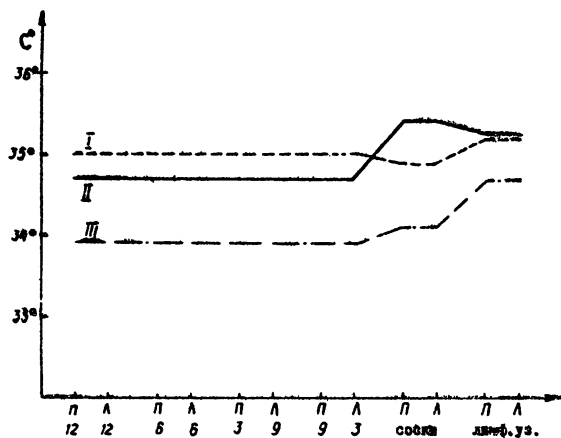
это относится к женщинам, страдающим невротическими, канцерофобией. Поз -

тому, перед измерениями, пока производят калибровку радиотермометра по тепловым эталонам радиоионизации, пациентку информируют, что обследование безболезненное, абсолютно безвредное; можно ей рекомендовать провести несколько успокоительных дыхательных упражнений: глубокий вдох и медленный, медленный выдох. Обязательно собирается анамнез: необходимо спросить пациентку о том, как регулярно у нее месячные и когда были последние, какие жалобы. Это должно быть записано на ленте самописца.

Необходимо подчеркнуть, что пальпаторное обследование молочной железы не рекомендуется производить до радиотермометрических измерений, чтобы даже легким массажем не повысить температуру железы. После радиотермометрии молочные железы обследуются пальпаторно с целью обнаружения уплотнений в тех областях, где замечено понижение или повышение температуры железы. Однако надо иметь в виду, что пальпаторное обследование не во всех случаях может дать информацию об уплотнении или опухоли, если последние имеют небольшие размеры (как, например, в I-ой стадии рака - меньше 2 см в диаметре) и расположены на глубине 3 - 4 сантиметра. Данные пальпаторного обследования, записанные на ленте самописца, помогают при последующей обработке радиотермограммы.

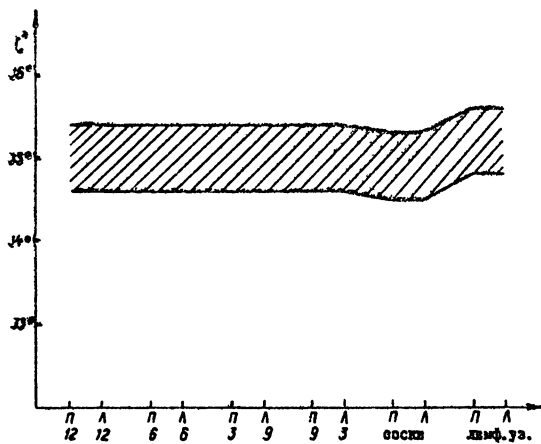
Результаты проведенных исследований и измерений удобнее и нагляднее иллюстрировать графически. Так на рис. II показано усредненное по большим группам здоровых женщин распределение глубинной температуры по молочным железам. График I соответствует возрастным группам моложе 30 лет, графики II и III -- соответственно возрастным группам от 30 до 50 лет и старше 50 лет. Первое, что здесь нужно подчеркнуть, это то, что у пожилых женщин молочная железа заметно прохладнее, чем у молодых, и разность температур может быть больше одного градуса. Второе, что видно из графика, - у молодых соски несколько прохладнее ткани железы, а у пожилых, наоборот, теплее.

На рис. I2 показана область температур молочных желез у здоровых женщин в возрасте до 30 лет, с доверительной вероятностью 0,99. При этой доверительной вероятности разброс среднего значения температуры молочной железы может достигнуть $\pm 0,4$ градуса. Однако разность температур симметричных участков молочных желез у здоровых женщин возрастной группы до 30 лет не превышает, как правило, 0,2 градуса. На рис. I3 показано распределение температуры по молочным железам у здоровой женщины 31 года в холодный период (10 дней после начала месячных). На этом графике штрихпунктирными линиями показана область температур, в



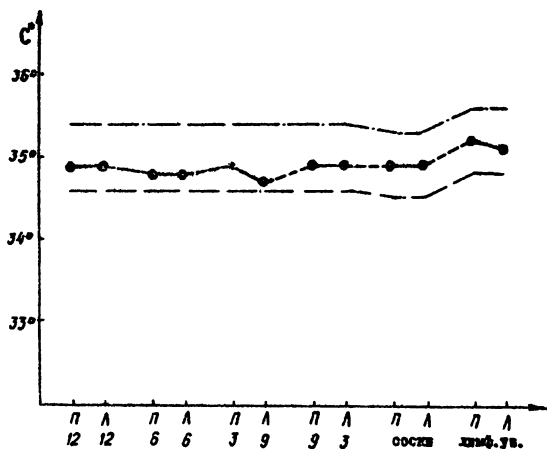
Среднее значение температуры молочных желез у разных возрастных групп: I - до 30 лет, II - от 30 до 50 лет, III - старше 50 лет.

Р и с. 11



Область температур молочных желез у здоровых женщин в возрасте до 30 лет с доверительной вероятностью $P = 0,99$.

Р и с. 12



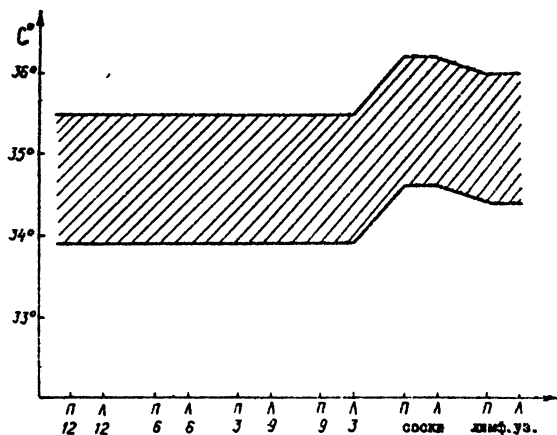
Здоровая И-э. 21 год. Чистая неделя. (10 дней после начала менструации). Штрихпунктиром обозначена область температур у здоровых женщин в возрасте до 30 лет. Доверительная вероятность $P = 0,99$.

Р и с. 13

которую укладываются с доверительной вероятностью 0,99 температуры молочных желез у здоровых женщин этой возрастной группы.

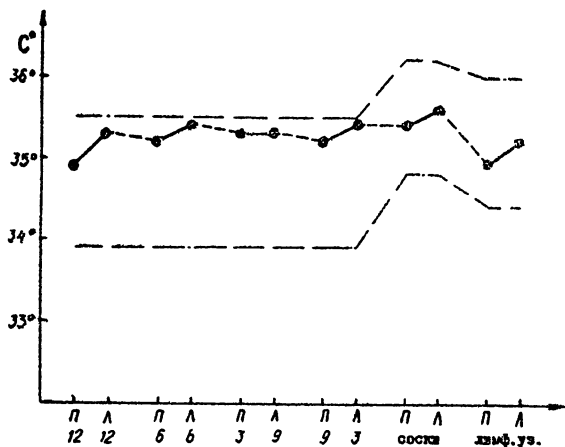
На рис. 14 показана область температур молочных желез у здоровых женщин возрастной группы от 30 до 50 лет, с доверительной вероятностью 0,99. А на рис. 15 приведен, для примера, график распределения температуры по молочным железам у здоровой женщины К. в возрасте 36 лет в "чистую неделю". В этой возрастной группе разность температур симметричных областей молочных желез у здоровых женщин может достигнуть 0,3–0,4 градуса. Здесь же штрихпунктирной линией обозначена область разброса температур молочных желез с доверительной вероятностью 0,99 у этой возрастной группы.

На рис. 16 представлен график области температур молочных желез у здоровых женщин возрастной группы старше 50 лет, с доверительной вероятностью 0,99. Здесь максимальный разброс от среднего значения температур достигает $\pm 0,8$ градуса, но максимальная разность температур симметричных областей молочных желез здоровой женщины в период устойчивой менопаузы не превышает 0,3–0,4 градуса. Это иллюстрирует рис. 17,



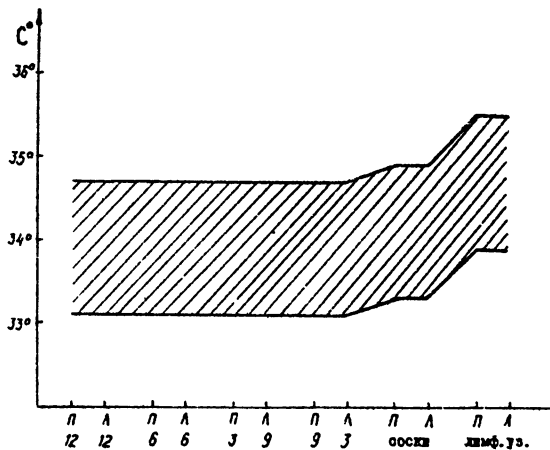
Область температур молочных желез у здоровых женщин
в возрасте от 30 до 50 лет. Доверительная вероятность
 $P = 0,99$.

Р и с. 14



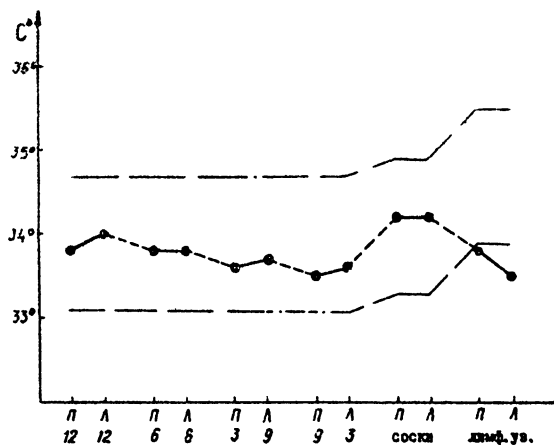
Здоровая К-в. 36 лет. Чистая неделя. Штрихпунктиром обозначена
область температур у здоровых женщин возрастной группы от 30
до 50 лет с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 15



Область температур молочных желез у здоровых женщин
в возрасте старше 50 лет, с доверительной вероятностью
 $P = 0,99$.

Р и с. 16

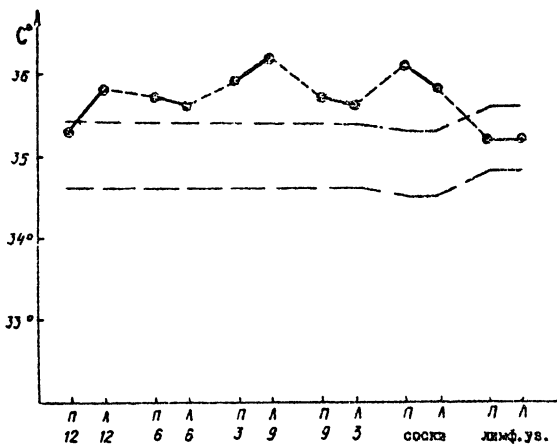


Здоровая О-в, 57 лет. Устойчивая менопауза. Штрихпунктирной
линией ограничена область температур у здоровых женщин
старше пятидесяти лет. Доверительная вероятность 0,99.

Р и с. 17

где приведено распределение температуры по молочным железам здоровой женщины 57 лет. Следует обратить внимание на то, что температура подмышечных лимфатических узлов вышла за пределы области доверительного интервала. Это может быть объяснено, как и в данном конкретном случае, повышенной потливостью и влажностью в подмышечных впадинах.

Выше указывалось, что во время менструации, овуляции и климактерического периода в молочных железах здоровых женщин появляются области с большой разностью температур, что может быть принято (если не учитывать перечисленных факторов) за патологию. Это иллюстрируется рисунками 18-21. Так, на рис. 18 представлено распределение температуры

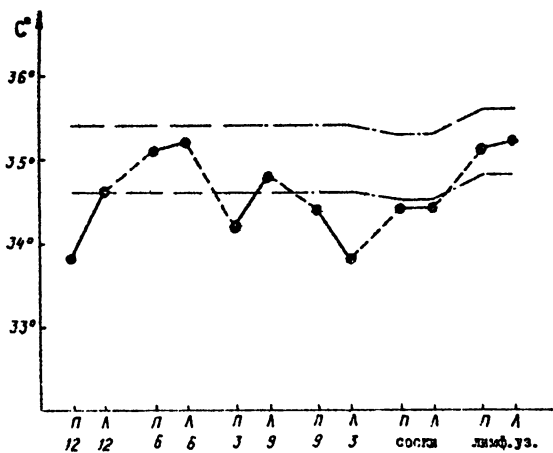


Здоровая К-в. 30 лет. Овуляция. Штрихпунктирная линия обозначена область температур у здоровых женщин в холодный период. Доверительная вероятность 0,99.

Р и с. 18

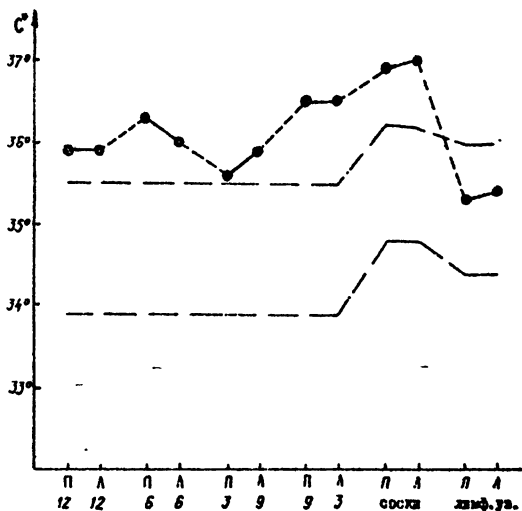
по молочным железам у здоровой женщины 30 лет в период овуляции, на рис.19 - у здоровой женщины 20 лет во время менструации, на рис.20 - у здоровой женщины 34 лет во время овуляции и на рис.21 - у здоровой женщины 51 года в климактерическом периоде.

Следующие графики иллюстрируют патологию. Так, на рис.22 показано распределение температуры в молочных железах у женщины 28 лет стра-



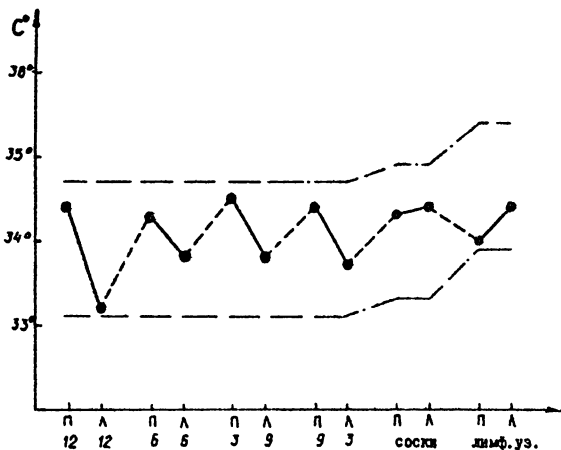
Здоровая И-в. 20 лет. Менструация. Штрихпунктиром ограничена область температур у здоровых женщин в холодный период. Доверительная вероятность 0,99.

Р и с. 19



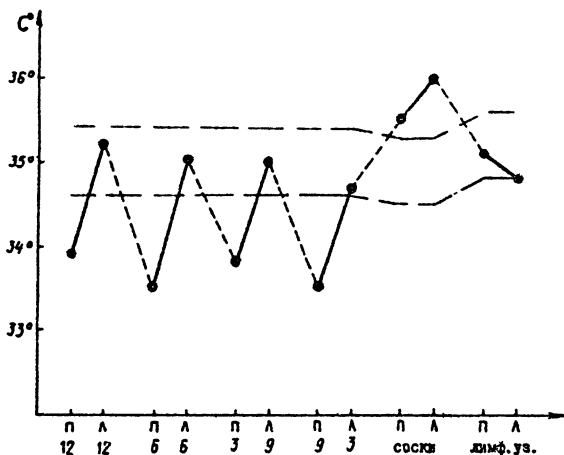
Здоровая Б-в. 34 г. Студия. Штрихпунктиром ограничена область температур у здоровых женщин в холодный период. Доверительная вероятность 0,99.

Р и с. 20



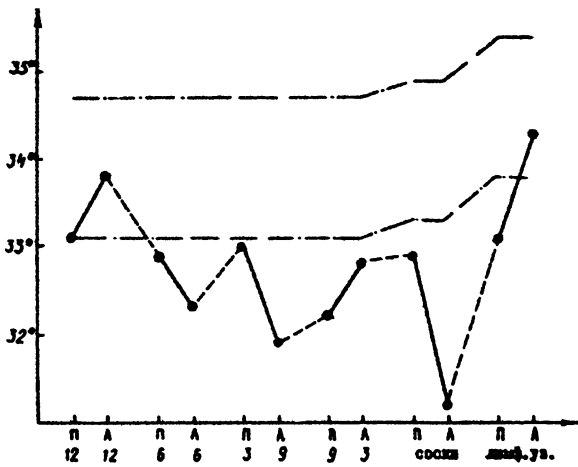
Здоровая К-в. 51 год. Климактерический период. Штрихпунктирной линией ограничена область температур у здоровых женщин старше 50 лет в период устойчивой менопаузы или чистой недели. Доверительная вероятность 0,99.

Р и с. 21



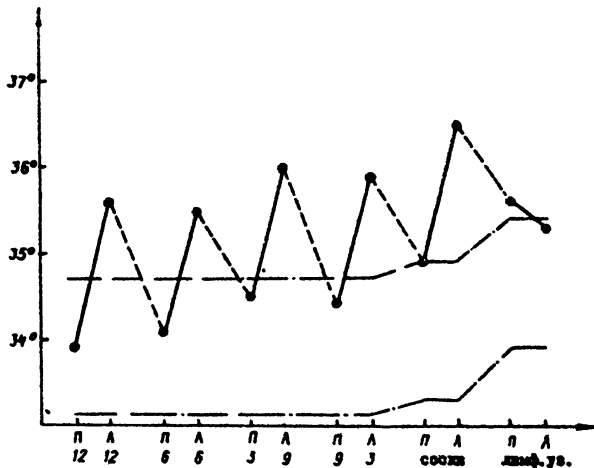
Больная Б-в. 28 лет. Аденоз правой молочной железы. Штрихпунктирной линией ограничена область температур у здоровых женщин до 30 лет. Доверительная вероятность 0,99.

Р и с. 22



Больная П-е. 63 года. Местопятия. Структурной линией обозначена область температур здоровых женщин в период менопаузы. Достоверная вероятность 0,99.

Р и с. 23



Больная К-е. 58 лет. Рак левой молочной железы. Структурным обозначена область температур у здоровых женщин в период менопаузы. Достоверная вероятность 0,99.

Р и с. 24

дающей аденомой правой молочной железы. Здесь следует обратить внимание на два обстоятельства. Первое это то, что разность температур симметричных областей очень велика, достигает градуса и более. Второе обстоятельство то, что здоровая железа имеет температуру, укладывающуюся в границы нормы при доверительной вероятности 0,99, а больная - значительно ниже нормы. В то же время температура сосков превышает норму на $0,5 \pm 0,8$ градуса.

На рис. 23 дан график распределения температуры при мастопатии у больной в возрасте 63 года. Очень важно отметить, что здесь имеет место не только большая разность температур симметричных областей желез, но и резкое снижение температуры в обследованных точках. При пальпаторном обследовании в этих точках явственно обнаруживаются уплотнения и узелки. И то, что температура этих уплотнений сильно занижена, говорит о доброкачественности процесса в отличие от рака /24/, пример распределения температур при котором показан на рис.24. У больной К. 58 лет рак левой молочной железы подтвержден маммографией и биопсией. На радиотермограмме видно, что разность температур в симметричных областях достигает двух градусов, а температура пораженной железы на много выше среднего статистической температуры для данной возрастной группы. На рисунке область температур у здоровых женщин с доверительной вероятностью 0,99 ограничена штрихпунктирными линиями.

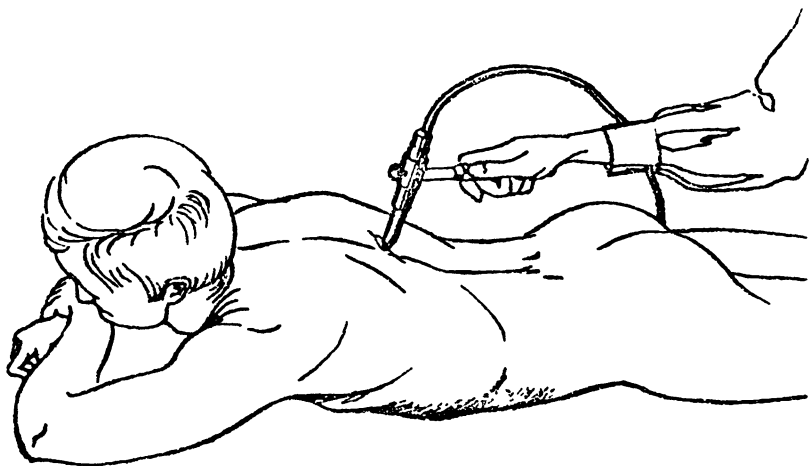
РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

Радиотермометрия позвоночника, т.е. измерение распределения температуры вдоль него, открывает возможность диагностики ряда заболеваний без применения рентгенографии. Последняя, связанная с ионизирующим облучением, не безвредна ни для пациента, ни для окружающей среды. Поэтому там, где представляется возможность, имеет смысл исключить рентгенографию из арсенала диагностических средств и способов.

Особенно просто и достоверно диагностируется с помощью радиотермометрии остеохондроз - часто встречающееся заболевание. Но, как будет показано ниже, радиотермометрия дает характерную картину распределения температуры и при опухолях, и при грыжах диска.

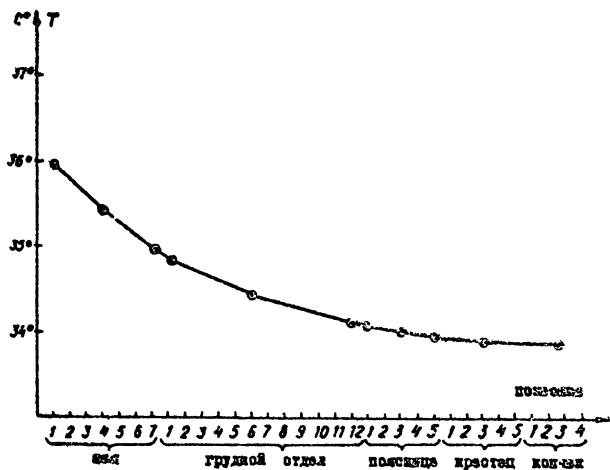
Для обследования пациент ложится на кушетку кверху спиной. После обязательной традиционной дезинфекции в спирте контактная антенна ста-

вится последовательно на интересующие позвонки, начиная от атланта до копчика. Наш опыт показал, что для первоначального, так сказать, обзорного обследования достаточно измерить температуру восьми позвонков: первого и четвертого шейных, шестого и двенадцатого грудных, третьего поясничного, середины крестца и копчика. В последующем, если окажется, что температура этих восьми позвонков выходит за пределы нормы и потребуется более четко локализовать патологию, можно измерить температуру любого позвонка. Процедура радиотермометрии позвоночника показана на рис. 25.



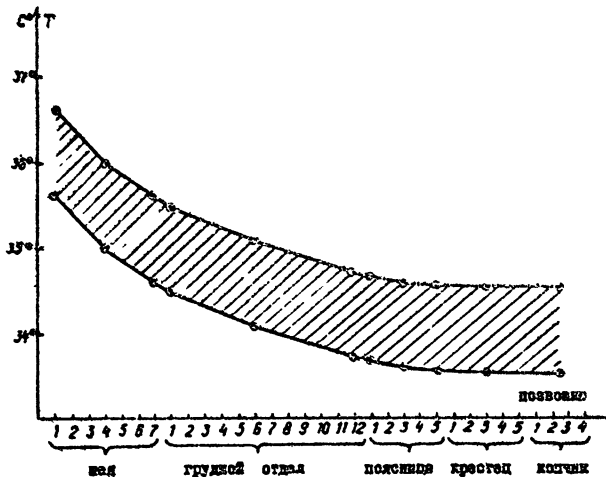
Р и с. 25

Мы начали с того, что измерили распределение температуры вдоль позвоночника у большой группы (более пятидесяти человек) здоровых молодых людей. В основном это были студенты и студентки 6-го курса медицинского института, в возрасте до 30 лет. Типичное усредненное распределение температуры вдоль позвоночника у здорового человека показано на рис. 26. Однако даже у этой группы здоровых людей был значительный разброс температуры позвоночника. Результаты измерений, обработанные с доверитель-



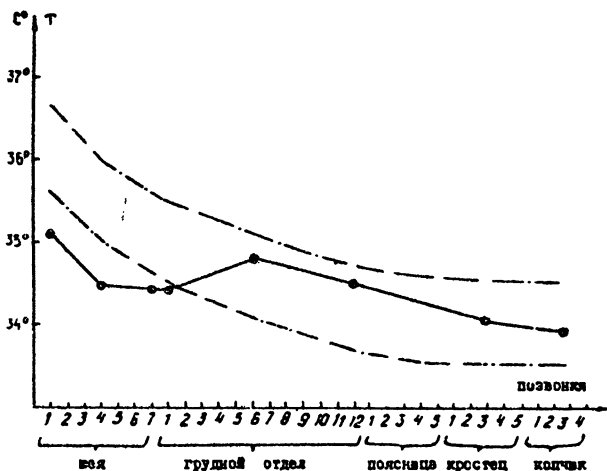
Типичное среднее распределение температуры вдоль позвоночника у здорового человека.

Р и с. 26



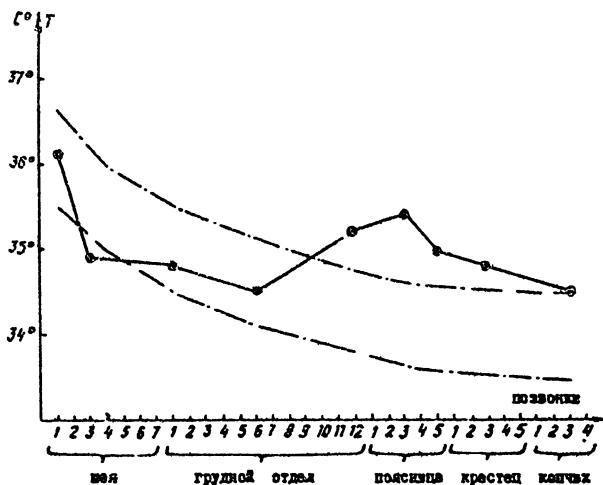
Область нормального распределения температуры вдоль позвоночника у здоровых людей с дисперсальной вероятностью 0,99.

Р и с. 27



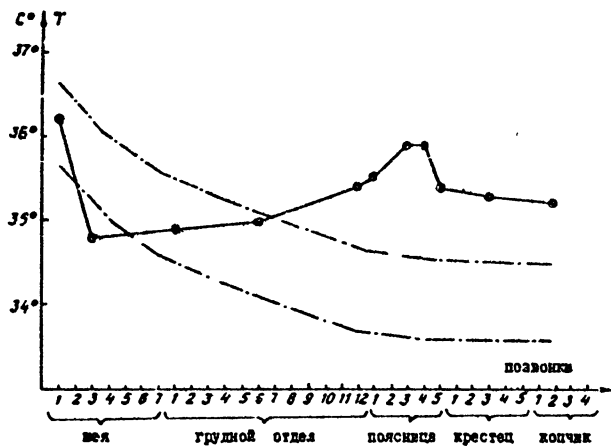
Больной М-в, 50 лет. Остеохондроз шейного отдела. Структурной линией обозначена область нормального распределения температуры с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 28



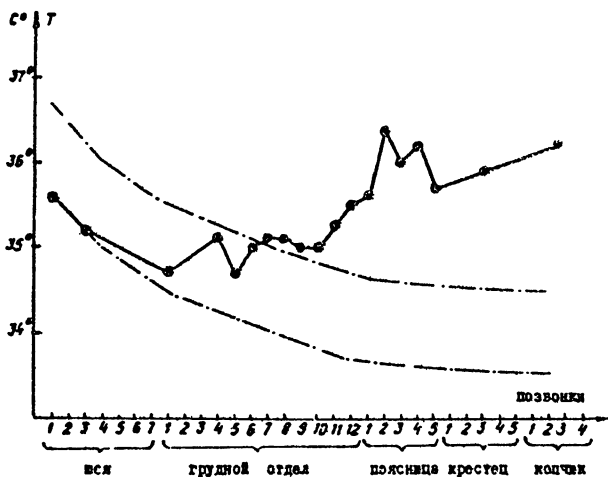
Больной Л-в, 36 лет. Поясничная корешковая синдром. Структурной линией обозначена область нормального распределения температуры с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 29



Больная Л-в, 46 лет. Грыжа диска L_3-L_4 (подтверждено из операции). Штрихпунктирной линией обозначена область нормального распределения температуры с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 30



Больная Б-в, 54 года. Опухоль L_2-L_4 (метастазы). Штрихпунктирной линией обозначена область нормального распределения температуры с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 31

ной вероятностью 0,99, позволили получить область температур позвоночника у здоровых людей. Эта область приведена на графике рис.27.

Для исследования распределения температуры вдоль позвоночника при патологии мы проводили измерения у больных с известным, полученным ранее, диагнозом (рентгенография и пр.) или же, если диагноз ставился обычными методами после нашего обследования, сверяли и сопоставляли наши результаты с установленным позже диагнозом. В результате кропотливой статистической обработки было установлено с доверительной вероятностью 0,99, что при остеохондрозе наблюдается понижение температуры на $0,5 \div 1,5$ градуса по сравнению с нормальным распределением, а при корешковом синдроме — такое же повышение температуры. Для иллюстрации этого на рис.28 приведен график распределения температуры у больного М. 50 лет, страдающего остеохондрозом шейного отдела позвоночника. На этом же графике штрихпунктирной линией обведена область нормального распределения температур с доверительной вероятностью 0,99. На рис.29 аналогично показано распределение температуры у больного, страдающего корешковым синдромом в период обострения.

Обследование больных нейрохирургического отделения больницы дало возможность установить определенную картину распределения температуры вдоль позвоночника при грыжах позвоночника. В области грыжи температура выше нормальной для данного субъекта на $1,5 \div 2$ градуса. Это показано на рис.30 — у больной Л., 46 лет грыжа диска между 3 и 4 поясничными позвонками. Еще выше температура при опухоли. Это показано на рис.31. Больная Б. 54 лет, у нее опухоль в районе 2-4 поясничного позвонка с метастазами как в сторону крестца и копчика, так и грудного отдела.

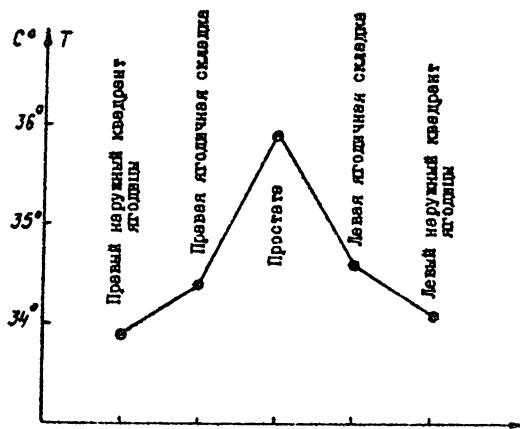
Надо заметить, что хирурги нейрохирургического отделения больницы очень заинтересовались нашими измерениями и в большинстве случаев сравнивали результаты радиотермометрии со своими классическими обследованиями: пневмомиелографией, контрастной перидурографией и дискографией. Как правило, результаты совпадали. Это еще раз подтверждает целесообразность радиотермометрии в диагностике патологии позвоночника.

РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Как было показано выше, при обследовании молочных желез и позвоночника весьма показательным было не только абсолютное значение температуры обследуемых областей, но и разность температур симметричных или определенных участков желез и позвонков. Однако этот метод применим лишь при парных органах (молочные железы, например) или при достаточной протяженности отдела, что имеет позвоночник.

Обследуя предстательную железу, мы пришли к выводу о необходимости измерения температуры не только самой простаты, но и определения разности ее температуры и какой-то "опорной точки" обладающей определенной стабильностью температуры. Но эта "опорная точка" должна быть где-то поблизости от предстательной железы. Дело в том, что первоначально для измерения температуры больной принимал классическую позу: "коленно-локтевое" положение. Больные, как правило, люди пожилые, нередко преклонного возраста. Эта поза для них очень затруднительна, неустойчива. Если выбирать "опорную точку" где-то вдали от простаты, больного нужно поворачивать, менять позу, что для него весьма утомительно. В результате некоторого отбора, мы остановились на четырех опорных точках: верхние наружные квадранты ягодиц, как область с менее разветвленной сосудистой системой, и ягодичные складки - области, близкие к предстательной железе. В дальнейшем мы отказались от утомительной для больного позы коленно-локтевого положения и от опорных точек - верхних квадрантов ягодиц. Более удобная для больного и для проведения измерений оказалась такая поза: обследуемый, стоя на полу лицом к кушетке, расставляет ноги чуть шире плеч и наклонившись упирается локтями в кушетку. При этом и поза устойчива и легкий доступ к ягодичным складкам и простате. Для измерения температуры предстательной железы антенна устанавливается на кожу между заднепроходным отверстием и мошонкой.

Начали обследование мы с того, что выбрали группу молодых здоровых мужчин в возрасте до 30 лет - около 50 человек. В основном это были студенты медицинского института и добровольцы из стационара больницы, госпитализированные по не связанным с простатой заболеваниям. Типичное усредненное по 50 здоровым мужчинам распределение температуры в наружных ягодичных квадрантах, ягодичных складках и предстательной железе показано на рис.32. Однако и здесь имеет место существенный разброс температур. Область нормальных значений температур

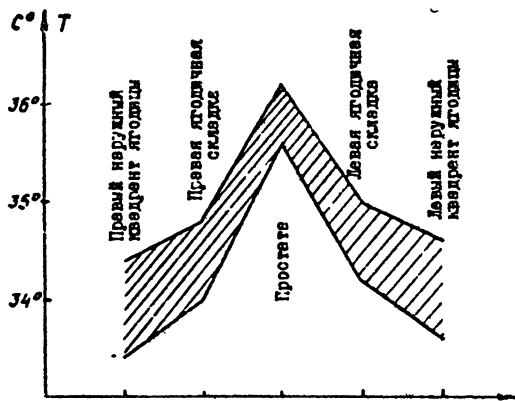


Усредненное значение температуры у здоровых мужчин возраста до 30 лет.

Р и с. 32

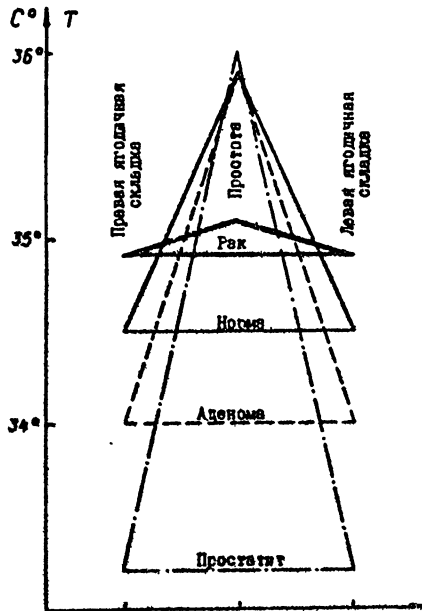
в этой сфере с доверительной вероятностью 0,99 показана на рис. 33. Как показал дальнейший клинический анализ, измерение температуры верхних наружных квадрантов ягодиц не дает дополнительно реализуемой информации. Поэтому мы пришли к выводу о нецелесообразности этих измерений и ограничились тремя точками: сама простата и правая и левая ягодичные складки.

Для получения картины распределения температуры в этих трех точках, при различных патологиях простаты, было обследовано около ста больных урологического отделения больницы с известным диагнозом. В том числе 48 больных с аденомой простаты, 46 с простатитом и четыре с раком предстательной железы. Все измерения были обработаны статистически с доверительной вероятностью 0,99. При этом получены весьма интересные результаты. Оказывается, что при доброкачественных патологиях температура самой простаты мало отличается от температуры здоровой предстательной железы. Зато температура ягодичных складок сильно изменена. Усредненные значения этих температур по указанным больным при-



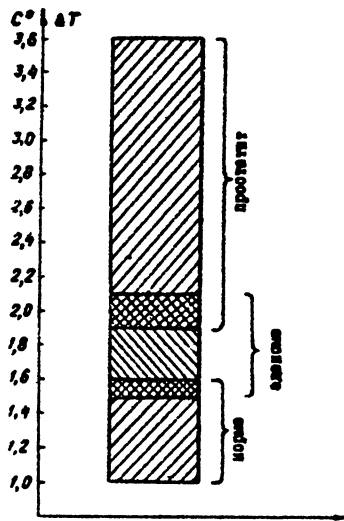
Область нормального распределения температуры ягодиц и простаты у здоровых мужчин возраста до 30 лет с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с . 33



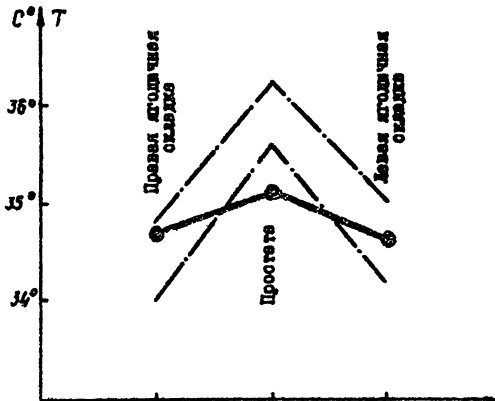
Усредненное распределение температур ягодичных складок и простаты в норме, при аденоме, простатите и раке.

Р и с . 34



Разность температуры простоты и среднего значения температуры атолических складок при указанных составах с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 35



Больной Л. 59 лет. Рак предстательной железы. Штрихпунктиром обозначена область нормального распределения температур с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 36

ведены на рисунке 34. В то же время разброс разности температуры простаты и среднего значения температуры ягодичных складок может быть весьма значительным. Это показано на рис.35 с доверительной вероятностью 0,99. Совсем иначе выглядит картина при раке предстательной железы:

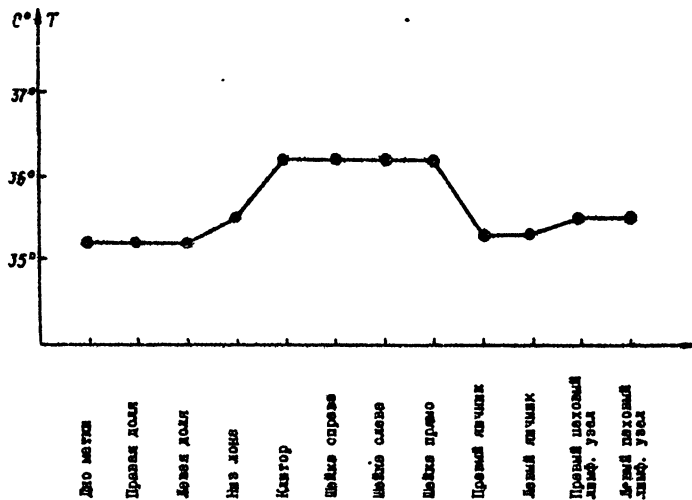
во-первых, ее температура резко понижена, а температура ягодичных складок наоборот, сильно повышена. Таким образом, разность этих температур при раке может не только снизиться до нуля, но в нашей практике был один случай, когда температура ягодичных складок оказалась у больного раком простаты несколько выше температуры предстательной железы. В качестве примера на рис.36 приведена радиотермограмма больного Л. 59 лет, страдающего раком предстательной железы.

РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ ГЕНИТАЛИЙ

Радиотермометрия гениталий – один из новых объективных методов обследования женщин с целью диспансеризации или выявления патологии матки и яичников. Его отличает абсолютная безвредность, позволяющая применять и беременным, безболезненность и простота. Для измерения температуры этих органов антенна радиотермометра устанавливается на кожу. Отпадает необходимость внутривлагалищного пальпаторного исследования. Только в исключительных, крайне редких случаях может потребоваться введение во влагалище специальной полостной антенны (рис.3).

Поскольку в литературе нам не довелось встретить какие-либо рекомендации по методике радиотермометрии гениталий, мы разработали свой метод. Для обследования больная, предварительно опорожнив мочевой пузырь, ложится на кушетку на спину. Антенна ставится поочередно на следующие точки: дно матки – верхний край лона по белой линии, правую и левую части матки – середина лона справа и слева от белой линии, низ лона, клитор, шейку матки – справа и слева от больших губ и в середине, правый и левый яичники и правый и левый паховые лимфатические узлы. Естественно, что перед обследованием и после каждой пациентки антенна тщательно дезинфицируется. Для дезинфекции применяется раствор хлоргексидина в 96% спирте. В тех случаях, когда к нам на обследование поступали пациентки из женских консультаций, гинекологи по нашей просьбе в направлении указывали, если это имело место, о смещении тазовых органов, /25/. Тогда мы вносили необходимую корректировку в план обследования и соответственно изменяли области установки антенны.

Для выяснения нормального распределения температуры гениталий была обследована большая группа здоровых женщин в холодный период, в возрасте от 20 до 68 лет. Все они прошли проверку состояния гениталий у гинеколога в женской консультации. На рис.37 показано усредненное по этой группе распределение температуры указанных выше областей. Надо заметить, что с возрастом температура гениталий снижается, в частности,



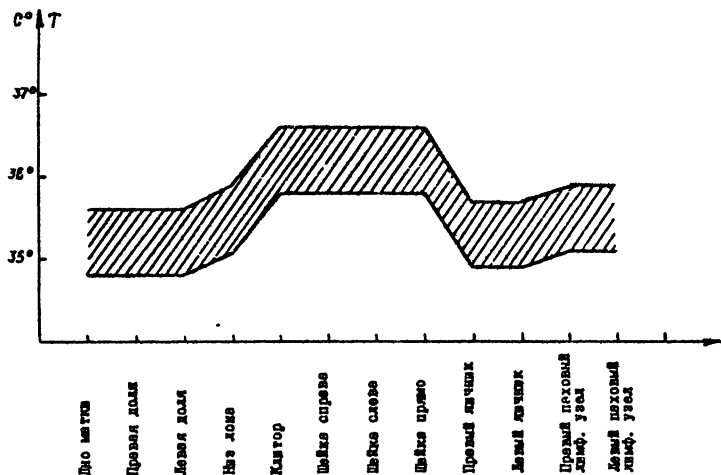
Усредненное распределение температур гениталий у здоровых женщин в возрасте от 20 до 68 лет

Р и с. 37

при менопаузе температура клитора заметно ниже. Для учета разброса температур была выполнена статистическая обработка и на рис.38 показана область распределения температур гениталий у здоровых женщин в возрасте от 20 до 68 лет, с доверительной вероятностью 0,99.

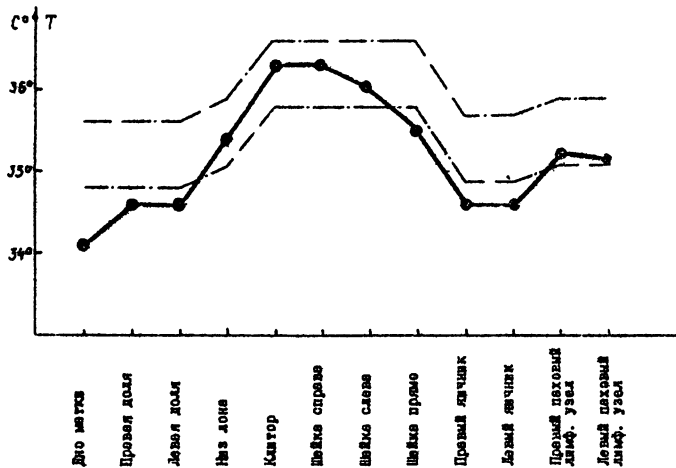
Чтобы представить себе картину распределения температуры гениталий при различных заболеваниях, мы провели обследование больных, направленных к нам из женских консультаций, с известными, заранее установленными диагнозами: фибромами, кистами, раком, беременностями.

Как правило, фиброма матки дает снижение температуры по сравнению с нормой здоровой матки. Так, на рис.39 показано распределение темпе-



Область распределения температур гениталий у здоровых женщин в возрасте от 20 до 68 лет. Доверительная вероятность 0,99.

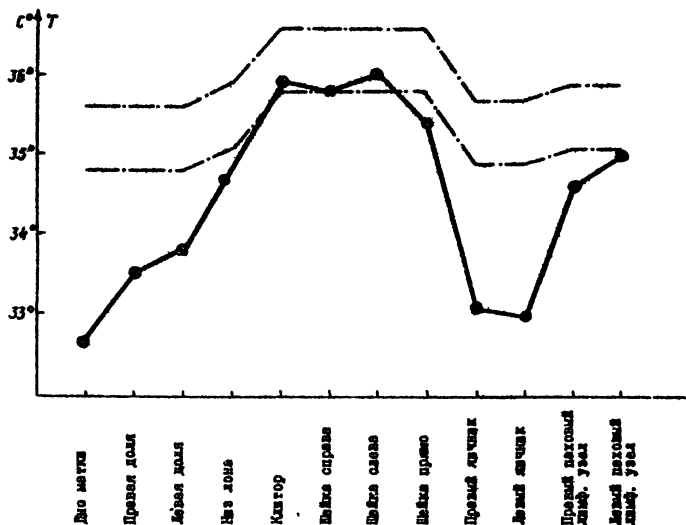
Р и с. 38



Больная Д. 43 года. Фибромы матки небольших размеров. Штрихпунктиром обозначена область распределения температур гениталий у здоровых женщин с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 39

ратуры гениталий у больной Д. 43 лет. У нее обнаружена фиброма матки небольших размеров. Наблюдается снижение температуры дна матки на I градус, да и тело матки имеет температуру на полградуса ниже нормы. Нужно отметить, что у этой больной несколько снижена температура и яичников. На следующем графике - рис.40-приведено распределение температуры гениталий у больной С. 55 лет. У нее гинекологи диагностировали крупную, размером с кулак, фиброму. Здесь понижение температуры матки и яичников еще более заметно - на два с лишним градуса по сравнению с нормой.

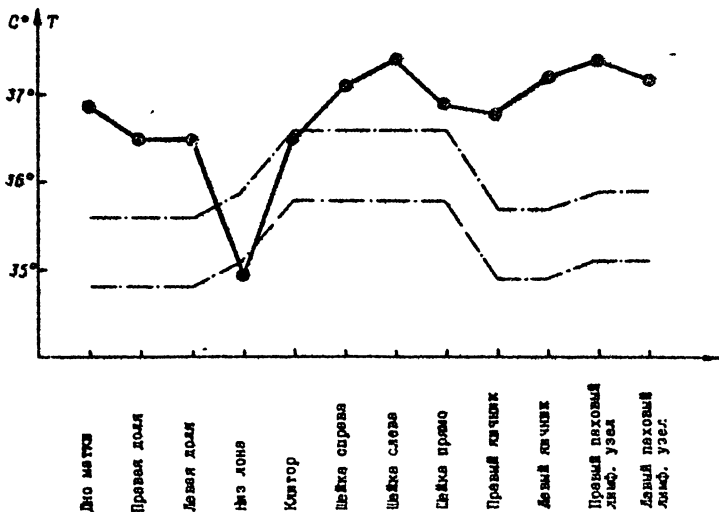


Больная С. 55 лет. Фиброма матки размером с кулак. Штрихпунктиром обозначена область распределения температуры гениталий у здоровых женщин с достоверностью 0,99.

Р и с. 40

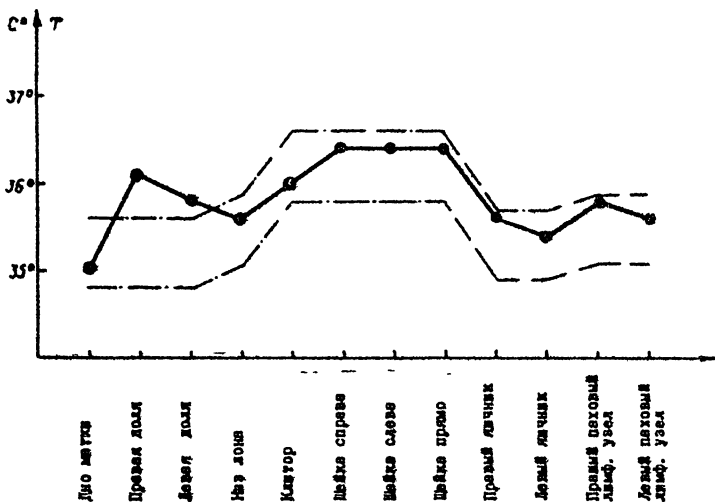
Киста яичников дает небольшое понижение температуры в пределах до половины градуса. Совсем наоборот, значительное повышение температуры и матки, и лимфатических узлов дает рак. На рис.41 показано распределение температуры гениталий у больной Г. 65 лет, страдающей раком матки. Здесь и тело матки, и шейка, и лимфатические узлы имеют повышение температуры почти на два градуса.

Интересно отметить, что небольшое повышение температуры тела мат-



Болезная Г. 65 лет. Рак матки. Штрихпунктиром обозначена область распределения температур гениталий у здоровых женщин с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 41



Грудева Е. 29 лет. Беременность 2 недели. Предположительно левобетелка укреплена в правой стороне матки. Штрихпунктиром обозначена область нормального распределения температур с доверительной вероятностью 0,99.

Р и с. 42

ки наблюдается и на ранней стадии беременности, тогда когда обычным гинекологическим способом достоверно констатировать беременность невозможно. Конкретный тому пример иллюстрирует следующий случай. Гражданка Ш. 29 лет обратилась в женскую консультацию по поводу задержки месячных. Обследование ни патологии, ни беременности не обнаружило и пациентку Ш. направили к нам на радиотермометрию. Распределение температуры гениталий (рис. 42) позволило нам высказать предположение о ранней стадии беременности и о том, что оплодотворенная яйцеклетка укрепилась в правой стороне матки. Рекомендовали гражданке Ш. пройти недели через две-полторы в женской консультации повторное обследование. Через две недели, т.е. на четвертой неделе была диагностирована беременность, подтвердившая наше предположение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Более чем за восемь лет применения радиотермометрии в медицинской диагностике, у авторов, естественно, накопилось очень много материала, который не вошел в данную работу: рамки препринта ограничили наши возможности. Часть из накопленного материала опубликована в нескольких статьях и докладах на Всесоюзных конференциях, часть еще ждет своей очереди на публикацию. Здесь имеется в виду радиотермометрия печени, желудка, кишечника, почек, конечностей, применение радиотермометрии в диагностике сосудистых заболеваний, в травматологии и т.д. / 26 - 29 /.

Сейчас мы достигли в радиотермометрической диагностике такого уровня, что можно смело рекомендовать широкое использование ее в медицинской практике. Возможно имеет смысл специально обучать радиотермометрии врачей, которые будут заниматься только радиотермометрической диагностикой, подобно тому, как врачи рентгенологи занимаются диагностикой с помощью рентгеноскопии и рентгенографии, но это дело будущего.

Во всяком случае мы выражаем надежду, что эта наша работа сможет, хоть в небольшой степени, быть полезной врачам, осваивающим радиотермометрию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Enander B., Larson G. Microwave Radiometric measurements of the Temperature Inside a Body. //Electronics Letters. - 1974. - V.10, N 15. - P.317.
2. Barret A.H., Myers P.C. Subcutaneous Temperatures: A method of Noninvasive Sensing. //Science. - 1975. - V.190, N 4215. - P.669.
3. Barrett A.H., Myers P.C., Sadowsky N.L. Detection of breast cancer by microwave radiometry. //Radio Science, Supplement. - 1977. - V.12, N 6. - P.167.
4. Рахлин В.Л., Зубов М.М., Плечцов В.М. Радиометр прямого усиления 5 см диапазона и некоторые результаты его применения в СВЧ-термографии. //Изв.ВУЗ'в.Радиофизика, 1982. - Т.25, № 8. - с. 958.
5. Троицкий В.С. и др. О возможности использования собственного теплового радиозлучения тела человека для измерения температуры его внутренних органов. //Препринт № 131. - Горький, ЧИФЭИ - 1979.
6. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. - М.: Наука, 1968.
7. Джонсон К.К., Гай А.В. Воздействие неионизирующего электромагнитного излучения на биологические среды и системы. //Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике(НИИЭР). - 1972. - Т.60, № 6. - с.49.
8. Dicke R.H. The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies. //The Review of Scientific Instruments. - 1946.- V.17, N 7. - P. 268.
9. Троицкий В.С., Рахлин В.Л. Абсолютный микроваттметр на волну 3,2 см. //Ученые записки ГГУ и ГИИМ, 1956, Т.30.

10. Николаев А.Г., Перцов С.В. Радиотеплолокация.// "Сов. радио". - М., 1964.
11. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Д.Н. Радиотелескопы и радиометры.//Наука., М., 1973.
12. Белов И.Ф., Дивакова Е.К. Вибраторная антенна.//Авторское свидетельство № 1288788., Приоритет 11.06.85. Бюллетень изобретений № 5, 07.02.87 г.
13. Троицкий В.С. К теории контактных радиометрических измерений внутренней температуры тела.//Изв.ВУЗов. Радиофизика, 1981. - Т.24, № 9. - с.1054.
14. Рахлин В.Л. Метод регулируемого подшумливания для устранения ошибок радиотермометра, вызванных рассогласованием антенны с телом.//Изв.ВУЗов. Радиофизика. - 1984. - Т.27, № 9. - с.1204.
15. Троицкий В.С. К теории контактного роарадиометра.//Препринт № 186. - Горький, НИРФИ. - 1984.
16. Osterrieder S., Schaller C. Ein Mikrowellen Radiometer für medizinische Anwendungen aus Z-T. //Frequenz. - 1983. - Bd. 37, № 1. - S. 7.
17. Ludeke K.M., Schiek B., Kohler J. Radiation Balance Microwave Thermograph for Industrial and Medical Applications. //Electronics Letters. - 1978. - V.14, N 6. - P. 194.
18. Троицкий В.С., Рахлин В.Л., Зубов М.М. Твердотельный эталон теплового радиоизлучения для калибровки медицинских радиотермометров.//Заявка № 4318339/09. Решение о выдаче авторского свидетельства от 24.03.88. Разрешение на публикацию 23.12.87.
19. Троицкий В.С., Рахлин В.Л. Нулевой медицинский радиотермометр на волну 30 см.//Изв.ВУЗов. Радиофизика. - 1987. - Т.30, № II. - с.1397.
20. Рахлин В.Л. и др. Полосковые двухдиодные и диодноферритовые мо-

дуляторы для модуляционных радиометров.//Приборы и техника эксперимента, 1970. - № 2. -с.151.

21. Зайцев А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений.//Наука. Л., - 1967.
22. Поляков И.В., Соколова Н.С. Пособие по медицинской статистике. //Медицина. М., 1975 г.
23. Бодяжина В.И., Василевская Л.Н., Побединский Н.М., Стругацкий В.М. Диагностика в лечении гинекологических заболеваний в женской консультации.//Медицина. М., 1980 г.
24. Дымарский Л.Ю. Рак молочной железы.//Медицина. М., 1980 г.
25. Михайленко Е.Т., Бублик-Дорняк Г.М. Гинекология.//Вища школа. Киев, 1979.
26. Сборник трудов Всесоюзной конференции "Методические вопросы определения температуры биологических объектов радиофизическими методами".//АН СССР. - 1985.
27. Макаров Н.А., Рахлин В.Л. Радиотермометрия и ее применение в диагностике облитерирующего атеросклероза аорты и артерий нижних конечностей.//Препринт № 226.-Горький, НИРФИ. - 1987 г.
28. Рахлин В.Л., Зубов И.М., Куприянова Т.С., Гетманцева И.А. Радиотермометр 60 см диапазона волн и некоторые результаты его применения в медицинской диагностике.//Изв.ВУЗов. Радиофизика. - в печати.
29. Троицкий В.С., Рахлин В.Л., Развозова Е.П. Исследование глубинного теплового поля человека при воздействии ультразвуков.// Изв.ВУЗов. Радиофизика. - в печати.

Дата поступления статьи

16 июня 1988 г.