

УДК 519.23

А. Г. Лосев [A. G. Losev]
 Е. А. Мазепа [E. A. Mazepa]
 Х. М. Сулейманова [Kh. M. Suleymanova]

АНАЛИЗ ДАННЫХ МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОТЕРМОМЕТРИИ И ГИПОТЕЗА ТЕРМОАСИММЕТРИИ

ANALYSIS OF THE DATA OF MICROWAVE RADIOMETRY AND THE HYPOTHESIS ON THERMOASYMMETRY

ФГАОУ ВО Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия, E-mail: allosev59@gmail.com

Аннотация. *Одной из актуальных задач, стоящих перед медициной, математикой, компьютерными науками и информационными технологиями, является разработка и внедрение эффективных систем поддержки принятия решений. Подобные системы, используя методы и алгоритмы машинного обучения, должны помогать специалистам в задачах постановки диагнозов, прогнозирования развития заболеваний и т. д.*

Материалы и методы. *Данное исследование посвящено анализу статистической проверки одного из основных предположений интеллектуального анализа данных микроволновой радиотермометрии - гипотезы «зеркальной» симметрии температурных полей правой и левой молочных желез пациенток.*

Результаты. *В статье получены следующие результаты. Во-первых, показано, что температурные данные молочных желез, полученные с помощью микроволновой радиотермометрии, можно отнести к нормальному распределению. Во-вторых, выявлена низкая парная корреляционная взаимосвязь друг с другом величин, описывающих поточечную термоасимметрию правой и левой молочных желез. Также показана справедливость гипотезы «зеркальной» симметрии в группе здоровых пациенток. В группе «Больных» в точках 0 и 6 выявлена асимметрия данных. Кроме того, доказано статистически достоверное различие термометрических данных в группе больных и здоровых пациенток по величине, характеризующей асимметрию температурных полей молочных желез.*

Заключение. *Работа посвящена статистической проверке одного из основных предположений интеллектуального анализа данных микроволновой радиотермометрии - гипотезы «зеркальной» симметрии температурных полей правой и левой молочных желез пациенток.*

Ключевые слова: анализ данных, микроволновая радиотермометрия, гипотеза «зеркальной» симметрии температурных полей.

Annotation. *One of the urgent tasks facing medicine, mathematics, computer science and information technology is the development and implementation of effective decision support systems. Such systems, using the methods and algorithms of machine learning, should help specialists in the problems of diagnosis, disease prognosis, etc.*

Materials and methods. *This study is devoted to the analysis of statistical verification of one of the main assumptions of the data mining of microwave radiometry – the hypothesis of "mirror" symmetry of temperature fields of the right and left mammary glands of patients.*

The article presents the following results. First, it is shown that the temperature data of the mammary glands obtained by microwave radiometry can be attributed to the normal distribution. Second, steam room revealed a low correlation relationship with each other quantities describing a point-by-point thermoasymmetry right and left mammary glands. The validity of the "mirror" symmetry hypothesis in the group of healthy patients is also shown. Asymmetry of data was revealed in the group of "Patients" at points 0 and 6. In addition, a statistically significant difference between the thermometric data in the group of patients and healthy patients was proved by the value characterizing the asymmetry of the temperature fields of the mammary glands.

Conclusion. *The paper is devoted to the statistical verification of one of the main assumptions of intelligent analysis of microwave radiometry data - the hypothesis of "mirror" symmetry of temperature fields of the right and left mammary glands of patients.*

Key words: data analysis, microwave radiometry, hypothesis of "mirror" symmetry of temperature fields.

Введение. *Одной из актуальных задач, стоящих перед медициной, математикой, компьютерными науками и информационными технологиями, является разработка и внедрение эффективных систем поддержки принятия решений. Подобные системы, используя методы и алгоритмы машинного обучения, должны помогать специалистам в задачах постановки диагнозов, прогнозирования развития заболеваний и т. д. Сложившаяся к*

настоящему времени ситуация такова, что в подавляющем большинстве случаев применение современного медицинского оборудования, решая одни проблемы, порождает другие. Трудности диагностики в большинстве случаев возникают не из-за дефицита информации, а из-за недостаточной эффективности методов ее обработки. В какой-то мере решение указанных проблем обеспечивает создание систем интерпретации и анализа медицинских данных. При этом наибольший интерес вызывает разработка консультативных интеллектуальных систем, то есть экспертных систем, содержащих механизм объяснения и обоснования предлагаемых решений на языке, понятном пользователю.

Также отметим одну из наиболее сложных и актуальных задач медицины, которой является разработка и реализация программ борьбы с онкологическими заболеваниями, в частности, проблема ранней дифференциальной диагностики заболеваний молочных желез. По данным Всемирной организации здравоохранения, рак молочной железы (РМЖ) является самым распространённым онкологическим заболеванием среди женщин во всём мире (16% всех случаев заболевания раком), а показатели выживаемости варьируются от 80% в странах с высоким уровнем дохода до 40% и менее в странах с низким уровнем дохода. Одним из наиболее перспективных способов повышения эффективности маммологического скрининга и ранней дифференциальной диагностики видится метод микроволновой радиотермометрии. Он основан на измерении собственного электромагнитного излучения тканей человека в микроволновом (РТ) диапазоне длин волн и инфракрасном (ИК) диапазоне, что позволяет неинвазивно выявлять температурные аномалии на глубине нескольких сантиметров (см., например, [1, 2, 10]). Однако, несмотря на то, что данные микроволновой радиотермометрии носят объективный характер, постановка диагноза на их основании существенно зависит от опыта и искусства врача и во многом носит субъективный характер. Данную проблему можно решить созданием эффективной экспертной системы на базе использования методов математического и компьютерного моделирования, возможностей современных информационных технологий и, прежде всего, алгоритмов машинного обучения.

Особую сложность при создании экспертных систем в медицине вызывает нахождение высокоинформативных признаков заболеваний. В ходе исследований и анализа данных микроволновой радиотермометрии, специалистами был выявлен ряд качественных признаков рака молочной железы. В частности, у пациенток с патологией отмечается наличие повышенной величины термоасимметрии между одноименными точками молочных желез; повышенный разброс температур между отдельными точками в поражённой молочной железе; повышенная разница температур сосков; повышенная температура соска в поражённой молочной железе по сравнению со средней температурой молочной железы с учетом возрастных изменений температуры; соотношение кожной и глубинной температур и некоторые другие (см., например, [3–6, 9]).

Остановимся на гипотезе «зеркальной» симметрии температурных полей правой и левой молочных желез здоровых пациенток (иначе – гипотеза термоасимметрии). Она исходит из симметричного внутреннего строения парных органов человека. Анализ построенных к настоящему времени математических моделей температурных полей молочных желез (см. [7, 8]), также показывает непротиворечивость данной гипотезы. При этом у человека есть целый ряд непарных органов (сердце, печень, желудок и т.д.), наличие которых также может оказывать влияние на поведение температурных полей парных органов. До настоящего времени вопрос о степени влияния непарных органов на поведение температурных полей парных органов, например молочных желез, оставался открытым. Хотя, как указано выше, термоасимметрия молочных желез отмечается у достаточно большого количества больных пациенток (см. [5, 6, 9]).

Основной целью исследования является статистическая проверка гипотезы «зеркальной» симметрии температурных полей правой и левой молочных желез пациенток. В частности, в рамках исследования производится проверка соответствия данных нормальному распределению, определяются степени корреляционной зависимости диагностических признаков друг от друга, непосредственно производится проверка данной гипотезы и гипотезы об однородности или неоднородности выборок в группе «Здоровых» и «Больных».

Материалы и методы. В течение нескольких лет в результате обследований, проводившихся в ряде онкологических центров России, была создана база термометрических данных. Она включает в себя информацию о молочных железах пациенток в возрасте от 17 до 88 лет. Для данного исследования были выбраны данные пациенток трех контрольных классов: «Здоровые» – температурные данные здоровых молочных желез здоровых пациенток (115 пациенток), «Больные» – температурные данные больных молочных желез больных пациенток раком (62 пациентки), и, так называемая, «Группа риска», которая содержит в себе, данные о пациентках (90 паци-

енток), у которых были выявлены какие-либо изменения в тканях, а также различные заболевания. Также выборка разделяется на подгруппы по диапазону измерения температур: РТ-диапазоне (внутренние температуры) и ИК-диапазоне (кожные температуры).

Опишем общепринятую методику РТМ обследования. Применяемый в большинстве клиник диагностический комплекс РТМ-01-РЭС позволяет оценивать функциональное состояние тканей путем измерения внутренней температуры (РТМ) на глубине до 5 см. и температуры кожи (ИК). Обследование пациентки проводится в горизонтальном положении, обнаженной по пояс, руки под головой, начинается с измерения температур в опорных точках Т1 и Т2, расположенных, первая - в центре грудной клетки сразу под и между молочными железами, вторая - непосредственно под мечевидным отростком. Далее измерения проводятся в 10 точках на каждой железе, и в аксиллярной области (схема представлена на рис. 1).

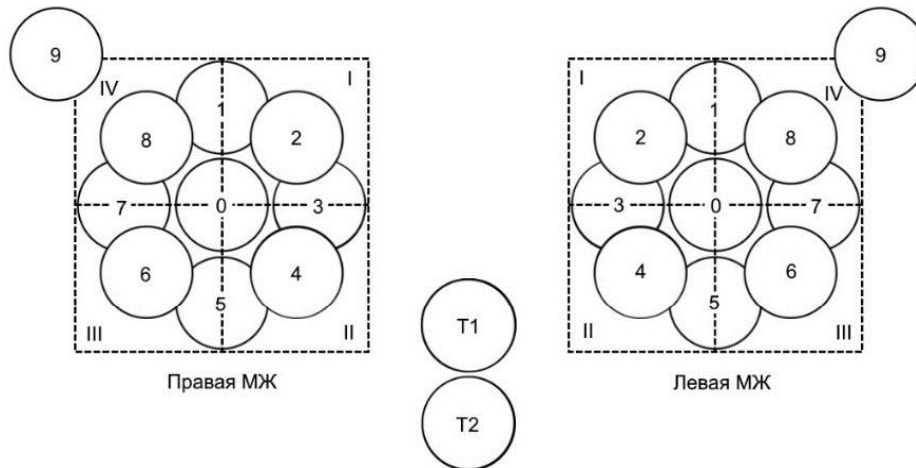


Рис. 1. Точки измерения температур

Тогда выборку можно представить в виде матрицы

$$S = \begin{pmatrix} t_0^1 & \dots & t_{43}^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_0^k & \dots & t_{43}^k \\ t_0^{k+1} & \dots & t_{43}^{k+1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_0^n & \dots & t_{43}^n \end{pmatrix},$$

где $t_i^j, i = 0, \dots, 9$ – температуры i -ой точки правой молочной железы j -ой пациентки в диапазоне РТМ; $t_i^j, i = 10, \dots, 19$ – температура $[i - 10]$ точки правой молочной железы j -ой пациентки в диапазоне ИК; $t_i^j, i = 20, \dots, 29$ – температура $[i - 20]$ точки левой молочной железы j -ой пациентки в диапазоне РТМ; $t_i^j, i = 30, \dots, 39$ – температура $[i - 30]$ точки левой молочной железы j -ой пациентки в диапазоне ИК; $t_{40}^j = T1, t_{41}^j = T2$ – глубинные температуры опорных точек j -ой пациентки; $t_{42}^j = T1, t_{43}^j = T2$ – кожные температуры опорных точек j -ой пациентки. В зависимости от номера j определяется принадлежность пациентки соответствующему диагностическому классу: «Здоровые», «Больные», «Группа риска».

Гипотеза «зеркальной» симметрии температурных полей правой и левой молочных желез здоровых пациенток утверждает, что у здоровых пациенток значения температур в зеркально симметричных точках должны отличаться незначительно. Естественно у пациенток с патологиями значения температур в симметричных точках могут значительно отличаться. Данная гипотеза в диагностических целях используется при анализе термометрических данных не только молочных желез, но практически всех парных органов человека (см., например, [2, 4, 5]). При этом, отметим, что в некоторых случаях и у здоровых пациенток разность температур с симметричных точек может оказаться достаточно большой: до 2.5 градусов в РТМ-диапазоне и 3.5 градусов в ИК-диапазоне. Впрочем, у больных пациенток данный показатель может достигать до 6 градусов. При этом далеко не у всех больных пациенток наблюдается значительная термоасимметрия.

Результаты наблюдений можно оценить наиболее полно, если их распределение является нормальным. От того, в каком виде рассматривается величина, характеризующая различие эмпирического и теоретического распределений, зависит и метод дальнейшего исследования. Для исследования соответствия эмпирического и теоретического распределения, имеется несколько критериев согласия: Пирсона, Колмогорова, Смирнова и другие, а также несколько приближенных методов. Далее, если подтвердилось нормальное распределение данных, применяются методы параметрической статистики, позволяющие определить наличие или отсутствие линейной связи между двумя количественными показателями, а также оценить ее тесноту и статистическую значимость (критерий корреляции Пирсона). В противном случае используется коэффициент ранговой корреляции Спирмена и соответствующий непараметрический критерий. Для проверки гипотезы «зеркальной» симметрии температурных полей, целесообразно применить критерий Стьюдента, при выполнении условия о нормальном распределении или его непараметрический аналог - критерий Манна-Уитни. Отметим, что последний критерий не требует нормального распределения данных и позволяет установить однородность двух выборок.

Результаты. Для проверки выборочных распределений на принадлежность к нормальному распределению был использован точный метод проверки согласованности - критерий согласия Пирсона или Хи-квадрат критерий. Критерий согласия Пирсона основан на вычислении следующей статистики:

$$\sum_{i=1}^k \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} = X^2$$

где n – число элементов каждой группы в обучающей выборке, k – число интервалов разбиения выборки, m_i – число значений выборки, попавших в i -й интервал, p_i – теоретическая вероятность попадания значения случайной величины в i -й интервал. Число интервалов находится по формуле Стерджесса:

$$k = 1 + 3,32 \cdot \lg(n).$$

В группе «Больных» $n=62$, в группе «Здоровых» $n=115$.

Величина X^2 имеет распределение χ^2 с $k-3$ степенями свободы. Значение X^2 сравнивалось с критическими значениями, и на основании этого делается заключение о соответствии нормального распределения.

В качестве примера, приведем результат проверки данных в группе «Больные» (см. таблица 1). Аналогичные результаты наблюдались в группах «Здоровые» и «Группа риска».

Таблица 1

Результат проверки соответствия нормальному распределению данных

Датчик совмещенный	Больные											
	РТМ						ИК					
	правая			левая			правая			левая		
№ точки	χ^2	k	$t_{кр}$	χ^2	k	$t_{кр}$	χ^2	k	$t_{кр}$	χ^2	k	$t_{кр}$
t_0	4,0	1	3,84	3,0	1	3,84	1,3	2	5,99	1,1	1	3,84
t_1	4,7	2	5,99	3,0	2	5,99	0,2	2	5,99	1,9	1	3,84
t_2	0,7	1	3,84	0,6	2	5,99	0,3	1	3,84	2,3	2	5,99
t_3	0,6	1	3,84	1,7	1	3,84	0,3	2	5,99	1,9	1	3,84
t_4	0,08	1	3,84	2,3	1	3,84	2,0	2	5,99	5,2	2	5,99
t_5	0,7	2	5,99	1,0	2	5,99	1,6	1	3,84	1,5	2	5,99
t_6	2,0	1	3,84	2,4	3	7,81	1,0	1	3,84	0,4	1	3,84
t_7	0,2	2	5,99	2,8	2	5,99	2,2	1	3,84	0,7	2	5,99
t_8	1,9	1	3,84	2,1	2	5,99	1,9	1	3,84	1,8	2	5,99
t_9	2,0	1	3,84	0,7	1	3,84	2,6	2	5,99	6,2	2	5,99

Таким образом, можно сделать вывод о том, что практически во всех случаях, данные можно отнести к нормальному распределению, при уровне значимости 0,05.

Далее, для изучения взаимосвязи и значимости диагностических признаков друг с другом применяем параметрические методы исследования, в частности, основанные на вычислении коэффициента корреляции

Пирсона. По термометрическим данным были построены матрицы парных корреляций между функциями. Для оценивания степени корреляционной взаимосвязи использовалась шкала Чеддока. В качестве примера, представлен результат вычисления коэффициента корреляции в группе «Здоровые» (см. таблица 2). Результаты для остальных групп – вполне аналогичны.

Функции, имеют преимущественно низкую парную корреляционную взаимосвязь друг с другом, что говорит об отсутствии зависимости между температурными данными. В своей основе, коррелируют соседние точки, что обосновывается физиологией человека.

Таблица 2

Результаты вычисления парной корреляции Пирсона

Группа «Здоровые», диапазон измерения РТМ, датчик совмещенный										
	$t_{0r} - t_{0l}$	$t_{1r} - t_{1l}$	$t_{2r} - t_{2l}$	$t_{3r} - t_{3l}$	$t_{4r} - t_{4l}$	$t_{5r} - t_{5l}$	$t_{6r} - t_{6l}$	$t_{7r} - t_{7l}$	$t_{8r} - t_{8l}$	$t_{9r} - t_{9l}$
$t_{0r} - t_{0l}$	1,00									
$t_{1r} - t_{1l}$	0,12	1,00								
$t_{2r} - t_{2l}$	0,22	0,17	1,00							
$t_{3r} - t_{3l}$	0,30	0,22	0,26	1,00						
$t_{4r} - t_{4l}$	0,27	0,26	0,02	0,38	1,00					
$t_{5r} - t_{5l}$	0,29	0,29	0,01	0,29	0,39	1,00				
$t_{6r} - t_{6l}$	0,18	0,08	0,11	0,15	0,21	0,51	1,00			
$t_{7r} - t_{7l}$	0,11	0,20	-0,15	0,04	0,20	0,25	0,41	1,00		
$t_{8r} - t_{8l}$	0,16	0,23	-0,04	0,07	0,30	0,33	0,44	0,47	1,00	
$t_{9r} - t_{9l}$	0,06	0,05	-0,01	-0,13	-0,04	-0,06	0,15	0,09	0,08	1,00

Для проверки гипотезы «зеркальной» симметрии температурных полей правой и левой молочных желез, был использован *парный двухвыборочный t-тест для средних*. В каждой группе пациентов исследования проводились для двух зависимых наборов данных – температуры в соответствующих точках правой и левой МЖ каждого пациента. Для этого необходимо: найти разности парных вариантов; вычислить среднюю разность $M_{разн} = \frac{\sum(t_{ir} - t_{il})}{n}$, где $\sum(t_{ir} - t_{il})$ – сумма разностей парных вариантов, а n – число парных наблюдений; найти СКО.

$$\sigma_{разн} = \sqrt{\frac{\sum_i [(t_{ir} - t_{il}) - M_{разн}]^2}{n - 1}};$$

вычислить ошибку средней

$$m_{разн} = \frac{\sigma_{разн}}{\sqrt{n}};$$

вычислить t статистику

$$t = \frac{M_{разн}}{m_{разн}}$$

Результаты вычислений для групп «Здоровые» и «Больные», представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты парного двухвыборочного t-тест для средних

группа «Здоровые»	Среднее	Дисперсия	t-статистика	t критическое двухстороннее при α=0,05	t критическое двухстороннее при α=0,025
$t_{0,пр}$	34,29	1,16	1,31	1,98	2,27
$t_{0,л}$	34,25	1,06			
$t_{1,пр}$	34,39	1,00	-0,94	1,98	2,27
$t_{1,л}$	34,42	0,96			
$t_{2,пр}$	34,41	0,95	0,09	1,98	2,27
$t_{2,л}$	34,41	0,93			
$t_{3,пр}$	34,30	0,96	-2,21	1,98	2,27
$t_{3,л}$	34,37	0,95			
$t_{4,пр}$	34,33	0,85	0,32	1,98	2,27
$t_{4,л}$	34,32	0,84			
$t_{5,пр}$	34,24	0,78	1,65	1,98	2,27
$t_{5,л}$	34,18	0,77			
$t_{6,пр}$	34,07	0,80	1,45	1,98	2,27
$t_{6,л}$	34,02	0,80			
$t_{7,пр}$	34,12	0,81	0,89	1,98	2,27
$t_{7,л}$	34,09	0,84			
$t_{8,пр}$	34,27	0,86	0,05	1,98	2,27
$t_{8,л}$	34,27	0,87			
$t_{9,пр}$	34,49	0,80	1,38	1,98	2,27
$t_{9,л}$	34,44	0,81			
Группа «Больные»	Среднее	Дисперсия	t-статистика	t критическое двухстороннее при α=0,05	t критическое двухстороннее при α=0,025
$t_{0,пр}$	34,40	2,14	-2,86	1,99	2,30
$t_{0,л}$	34,79	1,36			
$t_{1,пр}$	34,79	1,36	-1,49	1,99	2,30
$t_{1,л}$	34,91	1,22			
$t_{2,пр}$	34,79	1,39	-1,51	1,99	2,30
$t_{2,л}$	34,91	1,28			
$t_{3,пр}$	34,80	1,31	-0,19	1,99	2,30
$t_{3,л}$	34,82	1,12			
$t_{4,пр}$	34,93	1,33	1,88	1,99	2,30
$t_{4,л}$	34,77	1,24			
$t_{5,пр}$	34,77	1,14	2,26	1,99	2,30
$t_{5,л}$	34,61	1,20			
$t_{6,пр}$	34,59	1,41	2,51	1,99	2,30
$t_{6,л}$	34,40	1,32			
$t_{7,пр}$	34,56	1,57	0,34	1,99	2,30
$t_{7,л}$	34,53	1,51			
$t_{8,пр}$	34,79	1,40	-1,19	1,99	2,30
$t_{8,л}$	34,90	1,22			
$t_{9,пр}$	35,42	0,53	0,26	1,99	2,30
$t_{9,л}$	35,41	0,74			

Полученные результаты говорят о том, что в обеих группах пациентов гипотеза «зеркальной» симметрии температурных полей правой и левой молочных желез в большинстве точек измерения подтверждается. В группе «Больных» исключение составляют 0 и 6 точки измерения, в «Группе риска» – точка 6, т.е. в них выявлена асимметрия данных.

Для дальнейшего исследования в каждой группе для всех пациентов находим значения функция вида: $\max |t_{i,n} - t_{i,l}|$ отдельно для РТ- и ИК-измерений. Для проверки гипотезы однородности двух выборок РТ-измерений в группах «Больных» и «Здоровых» применяем непараметрический аналог критерия Стьюдента – критерий Манна-Уитни.

Сущность этого критерия в следующем. Рассматриваются две группы наблюдений. Требуется установить однородность этих групп, т.е. можно ли считать эти выборки полученными из одной и той же генеральной совокупности или они получены из различных генеральных совокупностей. Применяется следующий алгоритм действий.

- Обе группы наблюдений объединяем в одну, упорядочиваем ее по возрастанию и каждому элементу группы предписываем ранг 1, следующий – ранг 2 и т.д. Последний ранг N, где N – суммарная численность групп, получает элемент, принимающий наибольшее значение. Если несколько элементов имеют одинаковые значения, то всем им предписывается один и тот же ранг, равный среднему арифметическому номеров, под которыми стоят элементы в упорядоченной группе. Например, после упорядочения на 5-м и 6-м месте оказались элементы с равными значениями, тогда ранг каждого из них равен 5,5.

- Присвоив элементам ранги, опять разводим их по своим группам. Вычисляем значения критерия T, где T - сумма рангов элементов меньшей из групп.

- Вводим нулевую гипотезу об однородности двух выборок.

При большой численности групп для проверки основной гипотезы, обычно используют нормальный закон распределения, по причине того, что с ростом численности групп распределение случайной величины T стремится к нормальному $N(m; \sigma)$, при

$$m = \frac{n_M(n_M + n_B + 1)}{2},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n_M n_B (n_M + n_B + 1)}{12}},$$

где n_M и n_B – численность меньшей группа («Больные») и большей групп («Здоровые») соответственно.

В качестве критерия используется нормальная случайная величина

$$Z = \frac{T - m}{\sigma}, Z \sim N(0; 1)$$

Ввиду того, что случайная величина T дискретная, а нормальное распределение является непрерывным, в качестве компенсации обычно используется поправка Йетса, применение которой приводит к более точным значениям. Случайная величина с поправкой Йетса имеет вид:

$$Z = \frac{|T - m| - 0,5}{\sigma}$$

Затем величина Z сравнивается с $t_{кр} = 1,96$, которое соответствует уровню значимости $\alpha = 0,05$. Таким образом, область принятия основной гипотезы есть интервал (-1,96; 1,96). Если полученное значение Z попадает в указанный интервал, то говорим об отсутствии различий между двумя выборками, в противном случае, говорим о наличии различия между выборками. Аналогично осуществляется проверка гипотезы об однородности двух выборок ИК-измерений в группах «Больных» и «Здоровых». Результаты вычислений представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты вычислений T-критерия Манна-Уитни

Диапазон измерения	
РТМ	ИК
Z	
2,47	2,85

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что данные измеренные совмещенным датчиком имеют достоверное различие в группе здоровых и больных для исследуемой функции вида $\max |t_{i,n} - t_{i,l}|$.

Заключение. В статье получены следующие результаты. Во-первых, показано, что имеющиеся термометрические данные можно отнести к нормальному распределению. Во-вторых, выявлена низкая парная корреляционная взаимосвязь друг с другом величин, описывающих поточечную термоасимметрию. Также показана справедливость гипотезы «зеркальной» симметрии в группе здоровых пациенток. В группе «Больных» в точках 0 и 6 выявлена асимметрия данных. Кроме того, доказано статистически достоверное различие термометрических данных в группе больных и здоровых пациенток по величине, характеризующей асимметрию температурных полей молочных желез.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области, проект «Управление качеством классификации в диагностике рака молочной железы по многомерным данным микроволновой радиотермометрии» № 18-47-340004 p_a.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авраменко Г. В. Использование радиотермометрии в скрининге непальпируемых новообразований молочных желез // Вестник рентгенологии и радиологии. 2007. No 5. С. 11–14.
2. Веснин С. Г. Современная микроволновая радиотермометрия молочных желез / Веснин С. Г, Каплан А. М, Авакян Р. С. // Медицинский альманах. 2008. No 3. С. 82–87.
3. Зенович А. В., Батурич Н. А., Медведев Д. А., Петренко А. Ю. Алгоритмы формирования двумерных признаков диагностики заболеваний молочных желез методами комбинированной радиотермометрии// Математическая физика и компьютерное моделирование. 2018. Т. 21. № 4. С. 44-56.
4. Зенович А. В., Гребнев В. И., Примаченко Ф. Г. Алгоритмы классификации парных органов на основе нейросетей и нечетких множеств // Математическая физика и компьютерное моделирование. 2017. Т. 20. № 6. С. 26-37.
5. Лосев А. Г., Левшинский В. В. Интеллектуальный анализ данных микроволновой радиотермометрии в диагностике рака молочной железы // Математическая физика и компьютерное моделирование. 2017. № 5 (342).
6. Лосев А. Г., Мазепа Е. А., Сулейманова Х. М. О взаимосвязи некоторых признаков РТМ-диагностики заболеваний молочных желез// Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1. Математика. Физика. 2015. № 4(29). С. 35-44.
7. Поляков М.В., Хоперсков А.В. Математическое моделирование пространственного распределения радиационного поля в биоткани: определение яркостной температуры для диагностики// Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1. Математика. Физика. 2016. № 5(36). С. 73-84.
8. Поляков М.В. Хоперсков А.В. Микроволновая термометрия: имитационное моделирование радиационного поля в биоткани молочной железы // Современные информационные технологии. 2016. № 24 (24). С. 76-79.
9. Krawczyk B., Schaefer G. A Hybrid Classifier Committee for Analysing Asymmetry Features in Breast Thermogram// Applied Soft Computing. 2014. V/ 20. P. 112-118.
10. Vesnin S., Turnbull A.K., Dixon J.M., Gorynin I. Modern Microwave Thermometry for Breast Cancer// Journal of Molecular Imaging & Dynamics/ 2017. V. 7. Is. 2. 1000136.

REFERENCES

1. Avramenko G. V. Ispol'zovanie radiotermometrii v skrininge nepal'piruemymykh novoobrazovaniy molochnykh zhelez / Avramenko G. V // Vestnik rentgenologii i radiologii. 2007. No 5. S. 11-14.
2. Vesnin S. G. Sovremennaya mikrovolnovaya radiotermometriya molochnykh zhelez / Vesnin S. G, Kaplan A. M, Avakyan R. S // Medicinskij al'manah. 2008. No 3. S. 82-87.
3. Zenovich A. V., Baturin N. A., Medvedev D. A., Petrenko A. Yu. Algoritmy formirovaniya dvumernykh priznakov diagnostiki zabolevanij molochnykh zhelez metodami kombinirovannoj radiotermometrii// Matematicheskaya fizika i komp'yuternoe modelirovanie. 2018. T. 21. № 4. S. 44-56.
4. Zenovich A. V., Grebnev V. I., Primachenko F. G. Algoritmy klassifikacii parnykh organov na osnove nejrosetej i nechetkih mnozhestv// Matematicheskaya fizika i komp'yuternoe modelirovanie. 2017. T. 20. № 6. S. 26-37.
5. Losev A. G., Levshinskij V. V. Intellektual'nyj analiz dannykh mikrovolnovoj radiotermometrii v diagnostike raka molochnoj zhelezy// Matematicheskaya fizika i komp'yuternoe modelirovanie. 2017. № 5 (342).
6. Losev A. G., Mazepa E. A., Sulejmanova H. M. O vzaimosvyazi nekotorykh priznakov RTM-diagnostiki zabolevanij molochnykh zhelez// Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1. Matematika. Fizika. 2015. № 4(29). S. 35-44.

7. Polyakov M. V., Hoperskov A. V. Matematicheskoe modelirovanie prostranstvennogo raspredeleniya radiacionnogo polya v biotkani: opredelenie yarkostnoj temperatury dlya diagnostiki // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1. Matematika. Fizika. 2016. № 5(36). S. 73-84.
8. Polyakov M. V. Hoperskov A. V. Mikrovolnovaya termometriya: imitacionnoe modelirovanie radiacionnogo polya v biotkani molochnoj zhelezy // Sovremennye informacionnye tekhnologii. 2016. № 24 (24). S. 76-79.
9. Krawczyk B., Schaefer G. A Hybrid Classifier Committee for Analysing Asymmetry Features in Breast Thermogram // Applied Soft Computing. 2014. V/ 20. P. 112-118.
10. Vesnin S., Turnbull A. K., Dixon J. M., Gorynin I. Modern Microwave Thermometry for Breast Cancer // Journal of Molecular Imaging & Dynamics/ 2017. V. 7. Is. 2. 1000136.

ОБ АВТОРАХ

Лосев Александр Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры математического анализа и теории функций, Волгоградский Государственный университет.
E-mail: allosev59@gmail.com

Losev Alexander, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor of department Mathematical Analysis and Theory of Functions, Volgograd State University. E-mail: allosev59@gmail.com, +79047746821

Мазепа Елена Алексеевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры математического анализа и теории функций, Волгоградский Государственный университет.
E-mail: lmazepa@rambler.ru

Mazepa Elena, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher Department of Mathematical Analysis and Theory of Functions, Volgograd State University.
E-mail: lmazepa@rambler.ru, +79047563522

Сулейманова Хеди Мовладовна, Аспирант кафедры математического анализа и теории функций, Волгоградский Государственный университет. E-mail: suleymanova795@gmail.com
Suleymanova Khedi, graduate student of department Mathematical Analysis and Theory of Functions, Volgograd State University. E-mail: suleymanova795@gmail.com, +79608758592

Дата поступления 11.01.2019