

УДК: 612.821:615.47:616.12-008

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛА ЛУЧЕВОЙ АРТЕРИИ В ЗАДАЧЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ И ДОБРОКАЧЕСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЛЕГКИХ

А. А. Десова<sup>1</sup>, А. А. Дорофеев<sup>1,2</sup>, А. М. Анохин<sup>1</sup>, Ю. А. Дорофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН,  
117997, Москва, Профсоюзная, 65

<sup>2</sup> ФИЦ «Информатика и управление» РАН, 119333, Москва, Вавилова, 44-2

Статья поступила в редакцию 28 июня 2017 г.

**Аннотация.** Приведены результаты исследования характеристик пульсового сигнала лучевой артерии применительно к выявлению онкологических заболеваний легких. Сформировано исходное пространство признаков, определяемых вариабельностью амплитудных и временных базовых параметров единичных колебаний сигнала, их взаимными соотношениями, а также рядом статистических характеристик динамических рядов. Определены наиболее информативные признаки ритмической структуры пульсового сигнала. Показана возможность и оценено качество дифференциальной диагностики заболеваний легких.

**Ключевые слова:** Пульсовой сигнал, дыхательная волна, частота пульса, ритмическая структура, диагностика, информативный признак.

**Abstract.** The paper presents the radial artery pulse signal characteristics analysis results, as applied to the solution of the tumor (malignant and benign) lungs diseases differential diagnosis problem. Research conducted on the real pulse signals basis obtained during patients clinical examinations at the radiology Department of the Sechenov's Moscow medical Academy. The research purpose was to evaluate the possibility of the lung tumors diseases differential diagnosis reliability increasing at the clinical and radiological examination stage by using additional information extracted from the radial artery pulse signal characteristics. It is known that for

clinical - radiological examination (without histological studies) the accuracy of differential diagnosis between central lung cancer and limited pulmonary fibrosis, as well as between peripheral lung cancer and tuberculoma is not high enough, which requires the use of additional examination methods. Informative signs were formed on the basis of values of the oscillatory component describing the amplitude and time base variability of the pulse signal basic period parameters, their mutual relations, and also a number of their statistical characteristics. The features informative value evaluation and the decision rule construction for investigated diseases differential diagnosis was carried out using pattern recognition algorithms. The peripheral pulse signal was measured on the radial artery of the patient's right hand using an optoelectronic pulse signal sensor. The analyzed dataset classification (90 vectors on "learning" and 50 vectors on the "exam") quality recognition amounted to 89.5% of correct decisions for first class (malignant diseases) and 78% for second class (benign diseases). As a classification criterion the clinical diagnoses were used, in some cases confirmed by the results of histological studies. The diagnostic consider method does not require instrumental intervention, the use of expensive reagents, has no contraindications and excludes the radiation loads. The method is relatively fast, not traumatic, and allows simple and efficient differential diagnosis, regardless of the location of the pathological formation and its size. The obtained results indicate the diagnostic efficiency of the radial artery pulse signal rhythmic structure using during clinical and pre-hospital examinations of pulmonological patients. The method can be used as a population screening test in order to identify a predisposition to malignant pathology.

**Key words:** Pulse signal, respiratory wave, pulse rate, rhythm structure, diagnostics, informative sign.

## **Введение**

Исследователи всегда направляли большие усилия на поиск методов ранней диагностики онкологических заболеваний (см., например, [1, 2]). Достаточно хорошо известно, что риск возникновения опухоли существенно

возрастает при ослаблении иммунной системы, а это обычно происходит при снижении функции вегетативной нервной системы, в частности, её парасимпатического отдела. Одним из выраженных показателей функции вегетативной нервной системы является вариабельность сердечного ритма (ВСР). Однако ВСР является неспецифическим методом оценки состояния здоровья и не может быть использован для установления конкретного диагноза. Оценка ВСР широко используется в качестве маркера вегетативного здоровья человека, а также находит широкое применение в методах пульсовой диагностики восточной медицины [3, 4].

В последнее время возрастает интерес к пульсовой диагностике, обусловленный, известным с древних времён, опытом восточной медицины а также существенным развитием информационных технологий [5].

Ценность пульсовой диагностики, кроме получения информации о состоянии организма как единого целого, также заключается в том, что функциональные дисбалансы определяются до момента их проявления на уровне клеточных изменений. Значительное преимущество пульсовой диагностики состоит в том, что она позволяет выявить самое начало болезни, когда ещё нет никаких видимых изменений во внутренних органах, а идёт лишь изменение циркуляции энергии в организме [6].

Пульсовой сигнал, отражающий сумму многих колебательных и волновых процессов, происходящих в организме, несёт диагностическую информацию обо всех функциональных системах человека. Пульс в организме человека является интегральным процессом, отражающим состояние многих органов и функциональных систем. Одной из наиболее существенных диагностических характеристик пульсового сигнала является его ритмическая структура, обусловленная вариабельностью параметров сигнала. Каждый орган или система имеют собственные функциональные ритмы, где главным задающим ритмом является сердечный ритм. В результате наложения всех колебаний и их взаимодействия процессы организма приобретают сложный ритмический рисунок, характеризующийся совокупностью различных

колебательных составляющих, отличающихся по амплитуде, фазе и частоте [7]. Для прогноза патологических изменений целесообразно изучать уровень временной организации, так как он предшествует всем остальным. Исследование характеристик ритмических процессов, их периодичности и синхронизации является надежным инструментом выявления ранних и скрытых нарушений и заболеваний. При исследовании биоритмов особое внимание уделяется, так называемым, «медленным» (секундные, декасекундные, многоминутные) колебательным процессам. При коротких записях (порядка 5 минут) выделяют три главных спектральных компонента, соответствующих диапазонам: High Frequency (HF, с периодом 3-6 сек – «дыхательные волны»), Low Frequency (LF, с периодом 10-30 сек. – «медленные волны 1-го порядка») и Very Low Frequency (VLF, с периодом 30 - 90 сек. – «медленные волны 2-го порядка»).

Известно большое число исследований [8, 9], направленных на развитие компьютерных методов обработки и анализа биоритмов и принятия диагностических решений.

В настоящей работе приводятся результаты анализа ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии, обусловленной комплексом колебательных компонент различных функционально значимых элементов сигнала, применительно к решению задачи дифференциальной диагностики онкологических и доброкачественных заболеваний легких.

### **Методика исследования**

Задача по дифференциальной диагностике заболеваний легких решалась на основе реальных пульсовых сигналов, полученных при проведении экспериментальных исследований на базе кафедры рентгенологии и радиологии Московской медицинской академии им. Сеченова. Исследования были направлены на выявление в пульсовом сигнале лучевой артерии признаков, отражающих наличие онкологического заболевания легких. Цель исследований состояла в оценке возможности повышения достоверности

дифференциальной диагностики онкологических заболеваний легких на этапе клинико-рентгенологического обследования путем использования дополнительной информации, извлекаемой из ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии. Известно, что при клинико-рентгенологическом обследовании (без проведения гистологических исследований) достоверность дифференциальной диагностики между центральным раком легкого и ограниченным пневмосклерозом, а также между периферическим раком легкого и туберкулёмой недостаточно высокая, что требует применения дополнительных методов обследования.

В процессе исследований было обследовано 140 пульмонологических больных с установленными клиническими диагнозами. Среди них было 52 пациента с центральным и 33 с периферическим раком легкого; в 10 наблюдениях были диагностированы туберкулемы, в 23 – пневмония и пневмосклероз, в 5 – гамартомы, в 17 – прочие доброкачественные заболевания легких. В итоге весь массив заболеваний был разбит на два класса: злокачественные (85 человек) и доброкачественные (55 человек) заболевания легких.

Все виды легочных заболеваний, имевшие место в обследуемой группе больных, были разделены на два класса. К 1-му классу были отнесены центральный и периферический рак легкого; ко 2-му классу – доброкачественные заболевания (пневмосклероз, шаровидная пневмония, туберкулема, гамартома и др.). Диагноз устанавливали путем клинико-рентгенологического обследования больных, верификацию проводили либо на основании данных фибробронхоскопии, пункционной биопсии, либо послеоперационного морфологического исследования. Врачебная оценка диагноза являлась критерием при проведении классификации исследуемых заболеваний по характеристикам ритмической структуры периферического пульса. Сигнал периферического пульса измеряли на лучевой артерии правой руки пациента с помощью оптоэлектронного датчика пульса [10]. В общем виде форма пульсового сигнала, получаемого с помощью оптоэлектронного датчика

пульса, представлена на рис.1, где: а – максимум систолической волны (а-зубец), б – поздняя систолическая волна, в – начало диастолической волны, г – максимум диастолической волны, д – максимум предсистолической волны.  $SS$  – основной период пульсовой волны,  $SF$  – время достижения максимума диастолической волны,  $SR$  – время падения катакроты.

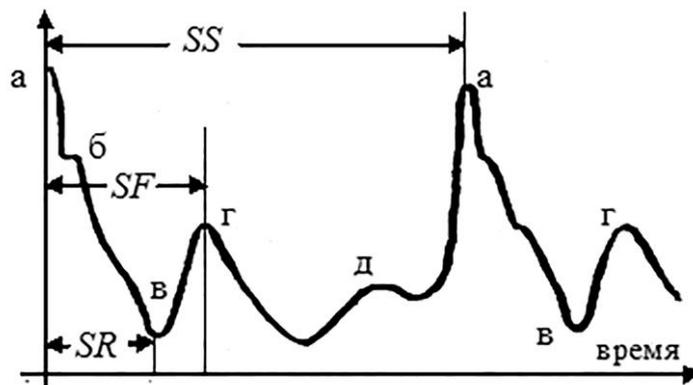


Рис. 1. Форма пульсовой волны лучевой артерии (основной квазипериод)

В пульсовых сигналах реальных пациентов возможно существенное отличие в количестве локальных волн в пределах основного квазипериода и в степени их выраженности. Так, например, у многих пациентов отсутствует предсистолическая волна, слабо выражен максимум диастолической волны или он может иметь множественный характер (несколько локальных максимумов).

Квазипериодические биосигналы имеют сложную ритмическую структуру, характеризующуюся совокупностью различных колебательных компонент, отличающихся по амплитуде, фазе и частоте. Ритмическая структура пульсового сигнала формируется из комплекса колебательных компонент, определяемых вариабельностью базовых параметров единичных колебаний. На базе оценки амплитудных и временных значений основных параметров формируются динамические ряды, представляющие собой зависимость этих значений от номера периода сигнала.

Выявление периодических составляющих динамических рядов осуществляется с помощью спектрально-корреляционного анализа. В данном исследовании длительность динамических рядов составляла 200-300 циклов.

Число коэффициентов разложения ( $K$ ) равнялось 30. Пики спектральной плотности в основном были сосредоточены в частотных диапазонах  $HF$ ,  $LF$ ,  $VLF$ . Пример динамического ряда параметра  $SS$  и соответствующей ему спектральной плотности приведен на рис. 2.

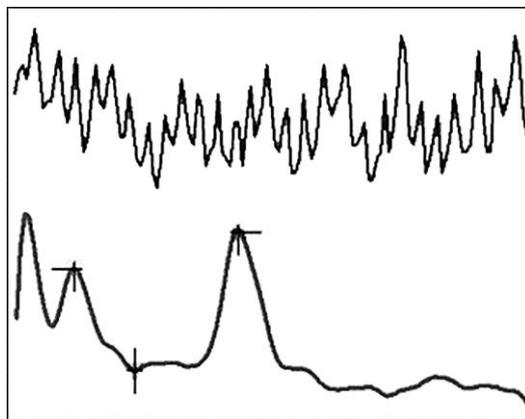


Рис. 2. Динамический ряд (вверху) и спектральная плотность параметра  $SS$

### Результаты исследования

На основе разработанных алгоритмов анализа ритмической структуры пульсового сигнала [11] было сформировано исходное пространство признаков, определяемых вариабельностью амплитудных и временных базовых параметров единичных колебаний сигнала, их взаимными соотношениями, а также рядом статистических характеристик динамических рядов. Общее число исходного множества признаков составило 17.

Оценка степени информативности признаков осуществлялась с использованием алгоритма распознавания образов по методу «обобщённого портрета» [12]. В задачах обучения распознаванию образов принято дискретное кодирование информации, при этом весь диапазон значений параметра разбивается на ряд градаций. Оптимальное число градаций признака определяется из условия получения минимальной оценки неопределенности при классификации с помощью данного признака. Мера неопределенности при выбранном числе градации позволяет оценить информативность ( $I$ ) каждого признака в отдельности.

Из общего числа исследуемых признаков были отобраны признаки, имеющие наибольшую информативность ( $I \geq 0,1$ ), которые использовались для распознавания исследуемых классов заболеваний.

В таблице 1 приведены описания наиболее информативных признаков и коэффициенты их информативности.

**Таблица 1.** Информативные признаки пульсового сигнала.

№ п/п	Наиболее информативные признаки	Информативность ( $I \geq 0,1$ )
1	Соотношение частоты пульса и частоты «дыхательной» волны длительностей основных квазипериодов ( $SS$ )	0,23
2	Произведение соотношения частот пульса и дыхания на мощность «дыхательной волны» ( $HF$ ) длительностей квазипериодов	0,22
3	Соотношение мощностей «дыхательных волн» ( $HF$ ) длительностей квазипериодов и амплитуд дикротических волн	0,20
4	Соотношение мощностей «дыхательных волн» ( $HF$ ) длительностей квазипериодов и длительностей дикротических волн ( $SF$ )	0,16
5	Мощность «дыхательной волны» ( $HF$ ) длительностей квазипериодов ( $SS$ )	0,15
6	Соотношение мощностей «дыхательной» ( $HF$ ) и «медленной» ( $LF$ ) волн длительностей квазипериодов	0,12
7	Мощность «медленной волны» ( $LF$ ) длительностей квазипериодов	0,11

Наибольшей информативностью обладали признаки, определяемые соотношением частоты пульса и частоты дыхательной волны  $HF$  (признак № 1) и произведением признака № 1 на мощность дыхательной волны длительностей квазипериодов (признак № 2). На рис. 3 в качестве примера представлена сравнительная оценка колебательных компонент  $HF$  и  $LF$  динамического ряда, обусловленного значениями  $SS$ , для двух рассматриваемых классов заболеваний.

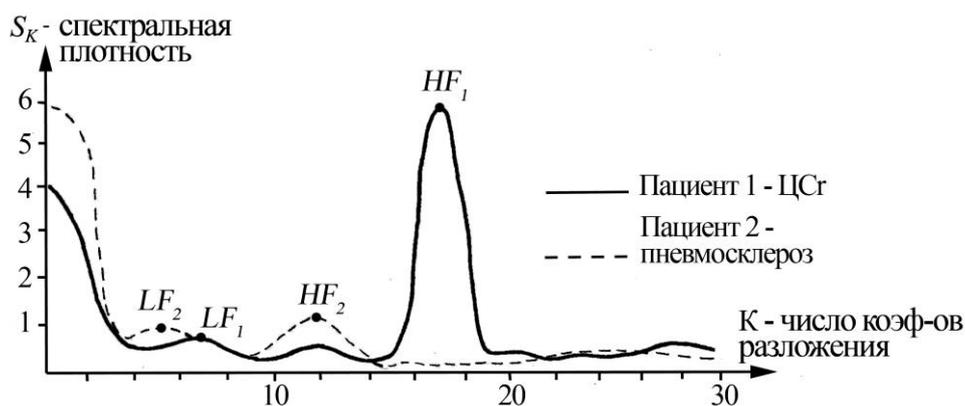


Рис. 3. Сравнительная оценка колебательных компонент  $HF$  и  $LF$  для 2 пациентов из различных классов

Характер распределения указанных заболеваний по разным информативным признакам наглядно может быть представлен их дискретными функциями распределения с линейной аппроксимацией. На рис. 4 в качестве примера приведено такое распределение по наиболее информативному признаку (№ 1) для всего массива пациентов ( $N = 140$ ) и соответственно для двух рассматриваемых классов заболеваний: класс 1 (злокачественные заболевания)  $N_1 = 85$  (64 %), класс 2 (доброкачественные заболевания)  $N_2 = 55$  (36 %) пациентов.

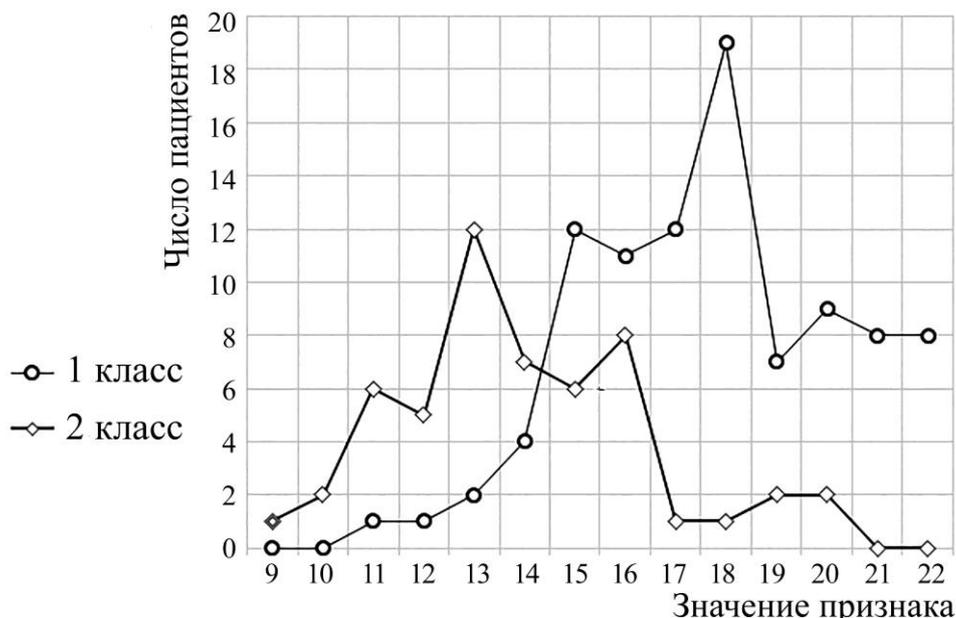


Рис. 4. Распределения двух классов заболеваний по признаку № 1

Из приведенных графиков видно: в интервале значений признака от 9 до 13 преобладают заболевания 2 класса (средняя ошибка идентификации составляет 13 %), в интервале 17-22 – с ошибкой 8,7 % определяются заболевания 1 класса. В интервале 14-16 различие по данному признаку недостоверно.

Классификация исследуемого массива векторов на основе сформированного комплекса информативных признаков (7 признаков) осуществлялась с помощью алгоритма «обобщенный портрет» [12]. При этом каждый вектор характеризуется числом (относительно некоторого порогового значения), определяющим степень принадлежности данного вектора к тому или иному классу. Величина отклонения от порога (положительная или отрицательная) характеризует степень достоверности классификации данного вектора.

При классификации исследуемого массива данных (90 векторов на "обучении" и 50 векторов на "экзамене") качество распознавания составило 89,5 % правильных решений для 1-го класса (злокачественные заболевания) и 78 % для 2-го класса (доброкачественные заболевания). В качестве критерия использовались клинические диагнозы, в ряде случаев подтверждаемые результатами оперативного воздействия (для 1-го класса – операции имели место в 60 % случаев, для 2-го класса – в 30 %).

## **Заключение**

Анализ результатов показал, что в случае онкологического заболевания имеет место смещение частоты дыхательной составляющей ( $HF$ ) к частоте пульса и увеличение её мощности.

Наибольшей информативностью обладают признаки, определяемые соотношением частоты пульса и частоты дыхательной волны  $HF$  (признак № 1) и произведением признака № 1 на мощность дыхательной волны длительностей квазипериодов (признак № 2).

Полученные описания наиболее информативных признаков и коэффициенты их информативности (таблица 1) позволяют проводить дифференциальную диагностику независимо от расположения патологического образования и его размеров.

Рассматриваемый способ диагностики не требует инструментального вмешательства, использования дорогостоящих реактивов, не имеет противопоказаний, исключает лучевые нагрузки, относительно быстро выполняем и не травматичен.

Исследования были направлены на выявление в пульсовом сигнале лучевой артерии признаков, отражающих наличие онкологического заболевания легких.

Полученные результаты указывают на диагностическую значимость использования информации о ритмической структуре пульсового сигнала лучевой артерии при проведении клинических и догоспитальных обследований пульмонологических больных. Способ может применяться в качестве скрининг - обследования населения с целью выявления лиц со злокачественной патологией.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты 17-07-00857-а, 16-29-12895-офи.

### Литература

1. Селюжицкий И.В. Опухолевые маркеры в диагностике и мониторинге злокачественных новообразований в условиях многопрофильного лечебного учреждения. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. док. мед. наук. – М.: 1995.
2. Кутушов М.В. Рак – мифы и реальность: Природа рака. Ранняя и сверхранняя диагностика. – М.: Изд-во. В. Секачев. 2011. 104 С.
3. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиологических систем. Методические рекомендации. // Уральский кардиологический журнал 2002. № 1. С. 22-39.

4. Сорокин О.В., Суботялов М.А. АПК «ВедаПульс» метод компьютерной пульсовой диагностики на основе традиционной Аюрведической медицины // Актуальные вопросы санаторного лечения и медицинской реабилитации: сборник статей межрегиональной научно-практической конференции с международным участием. – Новосибирск: Сибмедиздат. НГМУ. 2013. С. 156-160.
5. Ринчинов О.С. Радиофизические исследования пульсовых сигналов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Улан-Удэ. Отдел физических проблем Бурятского научного центра СО РАН. 2000. 143 С.
6. Бороноев В.В. Пульсовая диагностика заболеваний в тибетской медицине: физические и технические аспекты. Улан-Удэ. БНЦ СО РАН. 2005. 320 С.
7. Флейшман А.Н., Мартынов И.Д., Петровский С.А., Кораблина Т.В. Ортостатическая тахикардия: диагностическое и прогностическое значение *very low frequency* variability ритма сердца. / Бюллетень сибирской медицины, 2014. Т 13. № 4. С. 136-148.
8. В.А. Снежицкий. Методологические аспекты анализа variability сердечного ритма в клинической практике. Медицинские новости. 2004. № 9. С. 37-43.
9. Zhaopeng Fan, Gong Zhang, Simon Liao. Pulse Wave Analysis. / Advanced Biomedical Engineering, Dr. Gaetano Gargiulo (Ed.), 2011, PP. 21-40. InTech, 280 P.
10. Десова А.А., Дорофеюк А.А., Максимов Д.Ю. Портативная компьютерная система регистрации пульсовых сигналов. Датчики и системы. 2008. № 4. С. 29-32.
11. Desova A.A., Guchuk V.V. and Dorofeyuk A.A. A new approach to pulse signal rhythmic structure analysis, // Int. J. Biomedical Engineering and Technology. 2014. Vol. 14. №. 2. pp.148-158.
12. Вапник В.Н. (ред.) Алгоритмы и программы восстановления зависимостей. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 1984. 816 С.

**Ссылка на статью:**

А. А. Десова, А. А. Дорофеюк, А. М. Анохин, Ю. А. Дорофеюк. Использование характеристик пульсового сигнала лучевой артерии в задаче дифференциальной диагностики онкологических и доброкачественных заболеваний легких. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul17/9/text.pdf>