

## АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАММ В РАЗРЕЗЕ ТРЕХ ГРУПП ПАЦИЕНТОВ С РАСШИРЕННЫМ АНАЛИЗОМ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Сакович Т. Н.

Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

*Цель.* Разработка метода анализа сезонных и циклических составляющих R-R интервалов с помощью оценки автокорреляционной функции (АКФ).

*Материал и методы.* Исследование заключается в проведении практического анализа АКФ в приложении к R-R интервалам, разбитым на три группы: все пациенты – это пациенты с фибрилляцией предсердий. В первой группе у пациентов отмечалась тахикардия; во второй – брадикардия; в третьей группе – пациенты без особенностей. Следует отметить, что возраст пациентов, по данным которых проводился анализ, от 40 лет и старше.

*Результаты.* Разработанный на VBA (Visual Basic for Applications) модуль позволяет применять методы первичной обработки исследуемых данных, строить АКФ с ее графическим представлением для достаточно больших значений лаговой переменной  $\tau = 1,100$ . Исследовали выборки в 1000 значений. Подобраны наиболее оптимальные методы чистки данных, позволяющие избавиться от чрезмерной зашумленности. Проведен подробный анализ АКФ в разрезе трех групп пациентов. Собрана внушительная статистика исследования.

*Выводы.* У людей с признаками тахикардии все коэффициенты АКФ не являлись значимыми. В случаях с выраженной тахикардией коэффициенты АКФ имели положительные значения и обладали убывающей тенденцией. В рядах с признаками брадикардии почти все коэффициенты АКФ являлись значимыми, при этом наблюдалось убывание АКФ с ростом лага  $\tau$ , что свидетельствует о наличии ярко выраженной линейной тенденции. В группе пациентов с нормальной динамикой частоты сердечных сокращений получили незначимые коэффициенты АКФ, что говорит об отсутствии какой-либо тенденции. Коэффициенты были сосредоточены вдоль оси лага, имели как положительные, так и отрицательные значения. Осциллирующий процесс свидетельствует лишь о сильной стохастической составляющей исследуемых данных.

**Ключевые слова:** кардиоинтервалограмма, автокорреляционная функция, R-R интервалы.

*Для цитирования:* Сакович Т. Н. Автокорреляционный анализ кардиоинтервалограмм в разрезе трех групп пациентов с расширенным анализом первичной обработки данных / Т. Н. Сакович // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 4. С. 457-462. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-4-457-462>.

### Введение

Медицина сегодня с каждым годом пополняется новыми методами исследований, но в кардиологической практике по-прежнему на первом месте остается электрокардиография (ЭКГ) – малоинвазивный и простой метод, который помогает оценить работу сердца и выявить изменения в нем. Результатом электрокардиографии является получение ЭКГ – графической кривой разности потенциалов, возникающих в результате работы сердца. Метод анализа вариабельности ритма сердца основан на распознавании и измерении временных интервалов между R-зубцами (R-R интервалами) ЭКГ, построении динамических рядов кардиоинтервалов и последующем анализе полученных данных [1].

Одним из методов, применяемых к анализу кардиоинтервалограмм, является автокорреляционный анализ, который заключается в вычислении и построении автокорреляционной функции (АКФ) динамического ряда R-R интервалов. Это функциональная зависимость коэффициентов корреляции от величины лаговой переменной  $\tau$ . В практике медицинских исследований часто прибегают к анализу коэффициента автокорреляции  $C_1$  – значение коэффициента после первого сдвига. Причем имеет место следующее заключение: чем ближе этот коэффициент к нулю, тем более выражены дыхательные волны

(высокочастотные компоненты ряда), если же коэффициент корреляции лишь незначительно отличается от единицы, преобладают медленноволновые составляющие [2].

Автокорреляционный анализ позволяет не только говорить о наличии или отсутствии связи между разными уровнями ряда, но и обнаруживать сезонные или циклические составляющие определенных порядков исследуемых временных рядов. Предлагаем провести расширенный автокорреляционный анализ, который не является широко применяемым в области кардиологических исследований [3].

**Цель:** разработка метода анализа сезонных и циклических составляющих R-R интервалов с помощью оценки АКФ в разрезе трех групп пациентов.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Проведение предварительного анализа обработки исходных временных рядов R-R интервалов с целью удаления случайных составляющих, естественным образом возникающих при регистрации ЭКГ, которые могут исказить истинную картину сердечного ритма.

2. Разработка модуля, позволяющего максимально автоматизировать процесс обработки и сбора статистики исследования.

**Материал и методы**

В общем случае, при исследовании временного ряда можно выделить следующие его составляющие:

$$x_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t,$$

где  $T_t$  – тренд или тенденция;  $S_t$  – сезонная компонента, которая отражает повторяемость процессов в течение короткого промежутка времени;  $C_t$  – циклическая компонента, которая отражает повторяемость процессов, но на более длительных временных промежутках;  $\varepsilon_t$  – случайная компонента, всегда присутствует в реальных временных рядах.

Автокорреляционный анализ позволяет не только говорить о наличии или отсутствии связи между разными уровнями ряда, но и обнаруживать сезонные (S) или циклические (C) составляющие.

Степень тесноты связи между последовательными наблюдениями  $x_1, x_2, \dots, x_n$   $x_{1-\tau}, x_{2-\tau}, \dots, x_{n-\tau}$ , в качестве которых выступали R-R интервалы, определяется с помощью следующего коэффициента корреляции:

$$\rho_\tau = \frac{\text{cov}(x_t, x_{t-\tau})}{\sigma_{x_t} \cdot \sigma_{x_{t-\tau}}},$$

где  $\text{cov}(x_t, x_{t-\tau})$  – величина ковариации между  $x_t$  и  $x_{t-\tau}$ ;  $\sigma_{x_t}$ ,  $\sigma_{x_{t-\tau}}$  – среднеквадратическое отклонение рядов  $x_t$  и  $x_{t-\tau}$ , соответственно.

Коэффициент  $\rho_\tau$  измеряет корреляцию между членами одного и того же ряда, поэтому его называют коэффициентом автокорреляции, а зависимость  $\rho(\tau)$  – АКФ, которая показывает связь сигнала с копией самого себя, смещенной на величину  $\tau$  [4].

Следует указать ряд замечаний, которые необходимо учитывать при расшифровке АКФ:

- Коэффициент автокорреляции показывает тесноту только линейной связи текущего и предыдущего уровней ряда.

- По знаку  $\rho_\tau$  нельзя делать вывод о возрастающей или убывающей тенденции временного ряда.

- Если наиболее высоким является коэффициент АКФ порядка  $\tau$ , можем говорить о том, что ряд содержит сезонные или циклические колебания того же порядка.

- Если ни один из коэффициентов АКФ не является значимым, правомерен вывод о том, что либо ряд не содержит T, C, S, а только  $\varepsilon$ , либо содержит сильную линейную тенденцию, для выявления которой необходимо провести дополнительный анализ.

В исследовании временные ряды, используемые для проведения автокорреляционного анализа, подвергались предварительной обработке.

Как и большинство других видов анализа, анализ временных рядов предполагает, что данные содержат систематическую составляющую (T, S, C) и случайный шум ( $\varepsilon$ ), который затрудняет идентификацию регулярных компонент. Большинство методов исследования временных рядов включает разные способы фильтрации

шума, позволяющие увидеть регулярную составляющую более отчетливо.

Предварительный анализ временных рядов R-R интервалов включает две основные процедуры:

1) выявление и устранение аномальных наблюдений, т. е. артефактов; в проводимом исследовании заменялись на выборочное среднее 10% значений, выпадающих слева и справа в вариационном ряду исходных данных – это погрешности регистрации ЭКГ;

2) механическое выравнивание временного ряда.

Были рассмотрены, применены и проанализированы следующие методы сглаживания:

- метод скользящего среднего;
- метод разностных операторов;
- метод центрирования и нормирования данных.

Метод скользящего среднего. Сглаживание исходных данных с целью удаления краткосрочных колебаний и выделения основной тенденции. Для временного ряда  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , в качестве которого выступали интервалы R-R, определяется диапазон сглаживания  $m$  ( $m < n$ ). Если необходимо сгладить мелкие беспорядочные колебания, интервал сглаживания берут по возможности большим. Интервал сглаживания уменьшают, если нужно сохранить более мелкие колебания.

*Недостатки метода:*

Объем исследуемых данных уменьшается на  $m-1$ .

Метод применим лишь для рядов, имеющих линейную тенденцию.

В отношении проводимого исследования эмпирическим путем был определен интервал сглаживания  $m=10$ , вдоль которого рассчитывались средние.

Метод разностных операторов. Это механизм предварительной обработки исходных данных, который позволяет удалить тенденцию, порядка, равного порядку разностного оператора, оставить для анализа шумовую компоненту исследуемого временного ряда. Следует учитывать условие выбора порядка разностного оператора: порядок дисперсии полученного после применения разностного оператора ряда не должен превосходить порядок дисперсии исходного ряда.

После предварительного применения данного метода к R-R интервалам было принято решение отказаться от него, поскольку применение разностного оператора 1-го порядка приводило к увеличению порядка дисперсии.

Метод центрирования и нормирования данных. Процедура центрирования и нормирования проводится с целью удаления центральной тенденции исследуемого временного ряда и приведения дисперсии к единице. Для анализа остаются шумовые составляющие R-R интервалов.

После проведенного предварительного анализа исходных данных было принято решение построить и проанализировать АКФ:

- для исходного ряда после удаления артефактов;

- для ряда, полученного после сглаживания скользящим средним (интервал скользящего  $m=10$ ) – в ряду для анализа остается основная тенденция;

- для ряда, прошедшего процедуру центрирования и нормирования, анализируется шумовая компонента.

**Результаты и обсуждение**

Практическое исследование заключалось в проведении анализа АКФ в приложении к кардиологическим временным рядам, разбитым на три группы: все пациенты – это пациенты с фибрилляцией предсердий:

- группа 1: пациенты с тахикардией, возрастной диапазон от 40 до 95 лет; исследовано 23 ряда;

- группа 2: пациенты с брадикардией, возрастной диапазон от 40 до 95 лет; исследовано 24 ряда;

- группа 3: пациенты с нормальной частотой сердечных сокращений (ЧСС), возрастной диапазон от 40 до 95 лет; исследовано 23 ряда.

Разработанный на VBA код позволил провести анализ данных достаточно большого объема. Исследовали выборки в 1000 значений. АКФ рассчитывалась для лаговой переменной  $\tau = 1,100$ .

Приведем пример анализа временного ряда R-R интервалов пациента с выраженной тахикардией в течение всего времени наблюдения (рис. 1).

График АКФ, построенный для ряда, сглаженного скользящим средним, имеет типичный для данной группы пациентов рисунок: коэффици-

циенты автокорреляции обладают убывающей тенденцией, наблюдаются небольшие пиковые всплески, однако значения коэффициентов не являются значимыми ( $\rho_{\tau} < 0,2$ ), поэтому не можем говорить о присутствии периода на данных всплесках.

Исследование пациента с признаками брадикардии в течение времени наблюдения приведено на рисунке 2.

На всех графиках коэффициенты АКФ являются значимыми ( $\rho_{\tau} > 0,5$ ), что говорит о присутствии сильной связи между членами ряда. Наблюдается медленная убывающая тенденция АКФ с ростом лага  $\tau$ . Можно сделать вывод о том, что в исследуемых данных присутствует выраженная линейная тенденция.

Исследование пациента с нормальной динамикой ЧСС представлено на рисунке 3.

Все коэффициенты АКФ имеют невысокие значения. Наблюдается ярко выраженная осциллирующая тенденция коэффициентов корреляции, что говорит о наличии стохастической составляющей ряда. Коррелограмма ряда, полученного после сглаживания методом скользящего среднего, имеет как положительные, так и отрицательные коэффициенты корреляции, образуя чередующиеся волнообразные всплески. Однако значения коэффициентов недостаточно велики ( $\rho_{\tau} < 0,2$ ), чтобы можно было говорить о наличии каких-либо периодов.

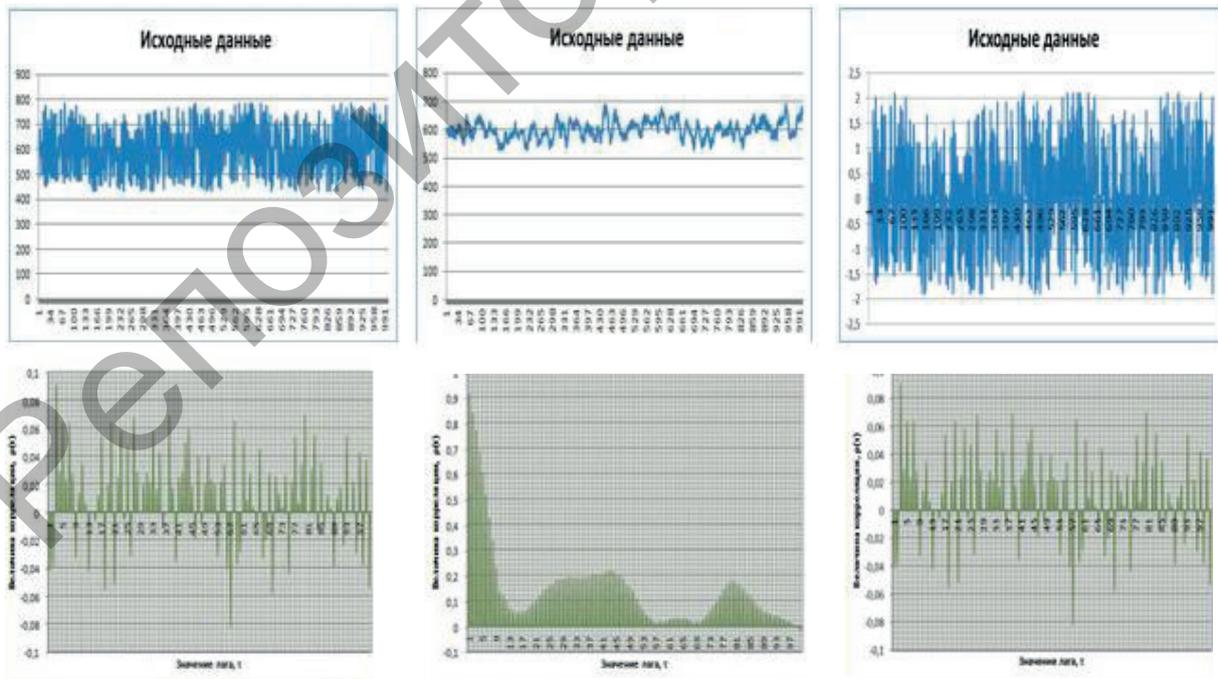
**Выводы**

В результате исследования выявлены закономерности, присущие разным группам наблюдений

**Исходные данные**

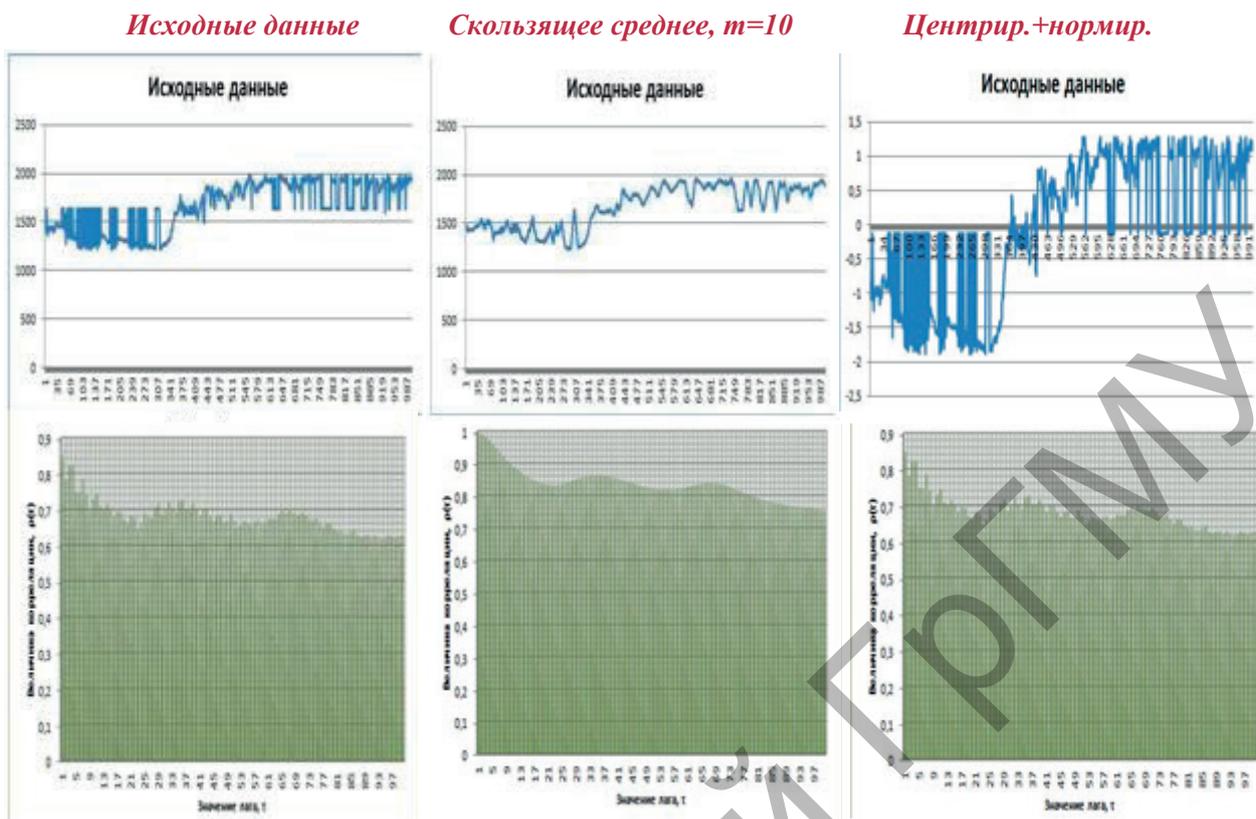
**Скользящее среднее,  $m=10$**

**Центрир.+нормир.**



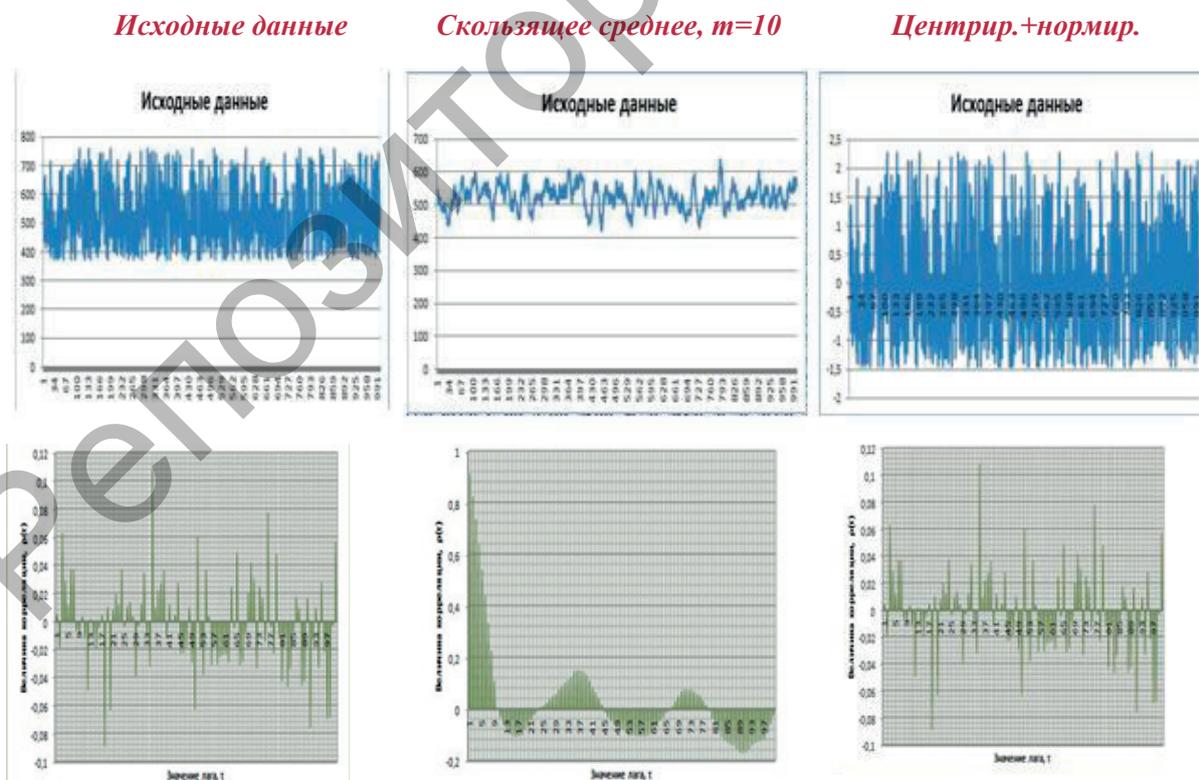
Ряд № 13246 – Мужчина, 62 года, тахикардия в течение всего времени наблюдения. Средняя ЧСС днем – 102, средняя ЧСС ночью – 90

**Рисунок 1. – Пациент с выраженной тахикардией**  
**Figure 1. – Patient with severe tachycardia**



Ряд № 13175 – Мужчина, 90 лет. Брадикардия в течение всего времени наблюдения.  
Средняя ЧСС днем – 34, ночью – 33

**Рисунок 2. – Пациент с выраженной брадикардией**  
**Figure 2. – Patient with severe bradycardia**



Ряд № 11887 – Женщина, 78 лет. Динамика ЧСС без особенностей.  
Средняя ЧСС днем – 85, ночью – 72

**Рисунок 3. – Пациент с нормальной динамикой ЧСС**  
**Figure 3. – Patient with normal heart rate dynamics**

ний. При анализе коррелограмм следует учитывать то обстоятельство, что метод скользящего среднего, выравнивая исходный ряд, увеличивает коэффициенты корреляции в силу того, что соседние члены полученного нового ряда образованы из одних и тех же членов. Коррелограммы, полученные для рядов исходных данных и рядов, прошедших процедуру центрирования и нормирования, имеют одинаковый рисунок, что говорит о том, что процедура стандартизации исходных данных никак не влияет на величину связи между членами ряда.

У людей с признаками тахикардии все коэффициенты АКФ не являлись значимыми. В случаях с выраженной тахикардией коэффициенты АКФ имели положительные значения, обладали убывающей тенденцией. В этой убывающей тенденции возможны небольшие пиковые всплески коэффициентов корреляции, но величины самих значений недостаточно, чтобы по данным всплескам можно было говорить о присутствии какого-либо периода (значения не являются значимыми,  $\rho_t < 0,2$ ).

### Литература

1. Вариабельность ритма сердца: применение в кардиологии / В. А. Снежицкий [и др.]; под общ. ред. В. А. Снежицкого. – Гродно : ГрГМУ, 2010. – 212 с.
2. Сычев, О. С. Вариабельность сердечного ритма: физиологические механизмы, методы исследования, клиническое и прогностическое значение / О. С. Сычев, О. И. Жаринов // Руководство по кардиологии / под ред. В. Н. Коваленко. – Киев, 2008. – С. 299-307.
3. Сакович, Т. Н. Расширенный автокорреляционный анализ кардиологических временных рядов различных групп пациентов / Т. Н. Сакович // Сахаровские чтения 2019: экологические проблемы XXI века : материалы 19 международной научной конференции, Минск, 23-24 мая, 2019 г. – Минск, 2019. – С. 122-125.
4. Федосеев, В. В. Математическое моделирование в экономике и социологии труда. Методы, модели, задачи : учебное пособие / В. В. Федосеев. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 168 с.

### References

1. Snezhitskiy VA, editor; Snezhitskiy VA, Shishko VI, Pelesa ES, Zuhovickaya EV, Dzeshka MS. Variabelnost

В рядах с признаками брадикардии почти все коэффициенты АКФ являлись значимыми ( $\rho_t > 0,5$ ), при этом наблюдалось убывание АКФ с ростом лага  $t$ . Можно сделать вывод, что в данной группе временных рядов присутствует ярко выраженная постоянная линейная тенденция.

В группе пациентов с нормальной динамикой ЧСС получили незначимые коэффициенты АКФ, что говорит об отсутствии какой-либо тенденции. Коэффициенты были сосредоточены вдоль оси лага, имели как положительные, так и отрицательные значения. На коррелограммах присутствовали ярко выраженные, чередующиеся положительные и отрицательные непродолжительные всплески коэффициентов корреляции. В силу того, что они не являлись значимыми, вести речь о наличии каких-либо циклических компонент не представлялось возможным. Осциллирующий процесс свидетельствовал лишь о сильной стохастической составляющей исследуемых данных.

1. ritma serdca: primenenie v kardiologii [Heart rate variability: application in cardiology]. Grodno: GrSMU; 2010. 212 p. (Russian).
2. Sychev OS, Zharinov OI. Variabelnost serdechnogo ritma: fiziologicheskie mekhanizmy, metody issledovaniya, klinicheskoe i prognosticheskoe znachenie [Heart rate variability: physiological mechanisms, research methods, clinical and prognostic value]. In: Kovalenko VN, editor. *Rukovodstvo po kardiologii* [Cardiology Guide]. Kiev: Moriion; 2008. p. 299-307. (Russian).
3. Sakovich TN. Rasshirennyj avtokorrelyacionnyj analiz kardiologicheskikh vremennykh ryadov razlichnykh grupp pacientov [Advanced autocorrelation analysis of cardiologic time series of various patient groups]. In: *Saharovskie chteniya 2019: ekologicheskie problemy XXI veka* [Sakharov Readings 2019: Environmental Problems of the 21st Century]. Materialy 19 mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii; 2019 Maj 23-24; Minsk. Minsk: IVC Minfina; 2019. p. 122-125. (Russian).
4. Fedoseev VV. Matematicheskoe modelirovanie v ekonomike i sociologii truda. Metody, modeli, zadachi [Mathematical modeling in economics and sociology of labor. Methods, models, tasks]. Moskva: YUNITI-DANA; 2015. 168 p. (Russian).

## AUTOCORRELATION ANALYSIS OF CARDIOINTERVALOGRAMS IN THREE GROUPS OF PATIENTS WITH EXTENDED ANALYSIS OF PRIMARY DATA PROCESSING

**Sakovich T. N.**

Grodno State Medical University, Grodno, Belarus

*Purpose of the study.* To develop a method for analyzing the seasonal and cyclic components of R-R intervals by estimating the autocorrelation function (ACF).

*Material and methods.* The study consists of conducting a practical analysis of ACF as an application to R-R intervals, divided into three groups: all patients are patients with atrial fibrillation. The first group had tachycardia; the second had bradycardia; the third group - are patients without specific features. It should be noted that the age of the patients, according to which the analysis was carried out, is from 40 years and older.

*Results.* The module developed at VBA (Visual Basic for Applications) enables to apply the methods of primary processing of the studied data, to create the ACF with its graphic representation for rather large values of the lag variable. Samples of 1000 values were examined. The most optimal data cleaning methods have been selected to get

rid of excessive noise. A detailed analysis of ACF was carried out in the three groups of patients. Impressive research statistics have been compiled.

**Conclusions.** In people with signs of tachycardia, all ACF ratios were not significant. In cases with severe tachycardia, ACF coefficients were positive, and had a decreasing trend. In the series with signs of bradycardia, almost all ACF coefficients were significant. ACF decreased with increasing lag  $\tau$ . It can be concluded that in this group of time series there is a marked constant linear trend. In the group of patients with normal heart rate dynamics, insignificant ACF coefficients were obtained, which indicates the absence of any tendency. The coefficients were concentrated along the axis of the lag, had both positive and negative values. The oscillating process indicates only a strong stochastic component of the studied data.

**Keywords:** cardiointervalogram, autocorrelation function, R-R intervals.

**For citation:** Sakovich TN. Auto-correlation analysis of cardio-intervalograms with a section of three groups of patients with extended analysis of primary data processing Journal of the Grodno State Medical University. 2020;18(4):457-462. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-4-457-462>.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Financing.** The study was performed without external funding.

**Соответствие принципам этики.** Исследование одобрено локальным этическим комитетом.

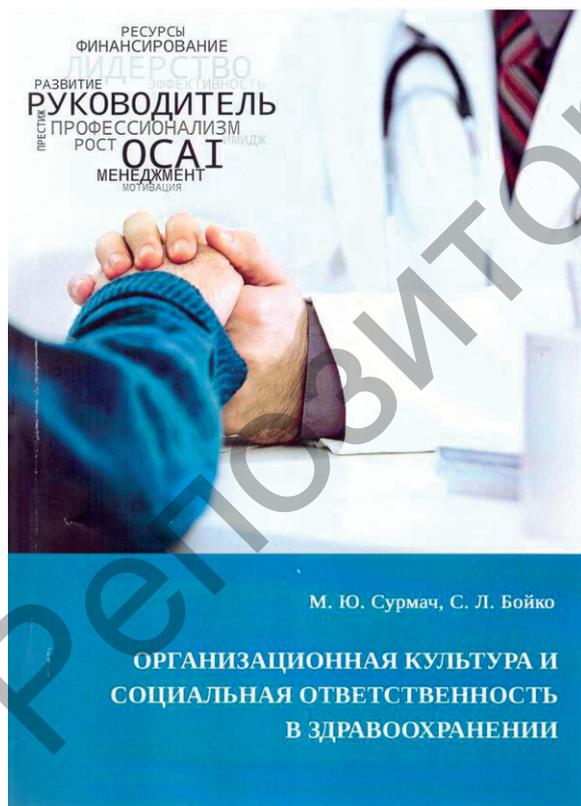
**Conformity with the principles of ethics.** The study was approved by the local ethics committee.

**Об авторе / About the author**

Сакович Татьяна Николаевна / Sakovich Tatiana, e-mail: Sakovich\_tn@mail.ru

Поступила / Received: 13.04.2020

Принята к публикации / Accepted for publication: 01.07.2020



Сурмач, Марина Юрьевна. Организационная культура и социальная монография / М. Ю. Сурмач, С. Л. Бойко ; Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Учреждение образования "Гродненский государственный медицинский университет". - Гродно : ГрГМУ, 2020. - 150 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 127-142. - ISBN 978-985-595-234-4 : 5.34 р.

Монография посвящена разработке методологической базы понятий «социальная ответственность», «организационная и корпоративная культура», «социальная роль руководителя» в здравоохранении. Приведена адаптированная к изучению организационной культуры в здравоохранении методика ОСА; раскрыты характеристики социальной роли руководителя в здравоохранении с позиции социологии управления, рассмотрены аспекты социализации молодых специалистов, экономические и социально-психологические факторы в работе врачей.

Монография подготовлена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Рекомендуется организаторам здравоохранения, слушателям факультетов повышения квалификации, специалистам центров мониторинга профессиональных рисков и психологической поддержки медицинских работников, студентам всех профилей субординатуры, обучающимся по специальностям 1-79 0101 «Лечебное дело», 102 01 79- «Педиатрия», 1-79 01 04 «Медикодиагностическое дело», 106 01 79- «Сестринское дело», магистрантам, аспирантам и научным работникам, выполняющим научные исследования в сфере социологии медицины, менеджмента, общественного здоровья и здравоохранения.