

ISSN 2500-316X (Online)

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-3-81-91>



УДК 51.7

Дискриминантный анализ параметров вариационной пульсометрии

У.И. Силкина[@],
В.А. Баландин

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: usilkina@mail.ru

Статья посвящена важной прикладной задаче – исследованию variability сердечного ритма с помощью линейного дискриминантного анализа. Статистические методы часто применяются в современной медицине, особенно в кардиологии. Одним из таких методов является дискриминантный анализ, который позволяет изучать различия между группами объектов по нескольким переменным. При использовании метода дискриминантного анализа главным показателем является точность классификации, и этот показатель можно определить, оценив долю правильно классифицированных пациентов при помощи прогностического уравнения наблюдений. Разработана математическая составляющая экспресс-диагностики сердечного ритма. Исходными данными в работе являются длительности RR-кардиоинтервалов пациентов в возрасте 60–70 лет, взятые из баз медицинских сигналов открытого международного ресурса Physionet. Представлены рассчитанные параметры вариационной пульсометрии для здоровых людей при различной длительности записей ЭКГ от 5 до 30 минут. Статистическая обработка осуществлялась по стандартной методике для малых выборок с использованием критерия Стьюдента при доверительной вероятности равной 95%. Математическая обработка данных проводилась методом дискриминантного анализа параметров вариационной пульсометрии здоровых и больных пациентов с сердечной недостаточностью. Для дискриминантного анализа отобраны параметры со слабой взаимной корреляцией, разброс значений которых соответствуют нормальному закону распределения, и имеющие высокую прогностическую значимость. Определена функция, позволяющая отнести пациента к одной из категорий «болен» или «здоров». Выполненный анализ для больных с диагнозом аритмия также показал отличие от здоровых пациентов, хотя и менее выраженное. Продемонстрировано, что дискриминантный анализ в кардиологии может быть эффективно использован при экспресс-диагностике variability сердечного ритма.

Ключевые слова: дискриминантный анализ, вариационная пульсометрия, вариабельность сердечного ритма, диагностика сердечной деятельности, математическая обработка.

Для цитирования: Силкина У.И., Баландин В.А. Дискриминантный анализ параметров вариационной пульсометрии. *Российский технологический журнал*. 2020;8(3):81-91. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-3-81-91>

Discriminant analysis of variational pulsometry parameters

Ulyana I. Silkina[@],
Vyacheslav A. Balandin

MIREA - Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

[@]Corresponding author, e-mail: usilkina@mail.ru

The article is devoted to an important applied problem – the exploration of heart rate variability using linear discriminant analysis. Statistical methods are often used in modern medicine, especially in cardiology. One of these methods is discriminant analysis. It allows studying the differences between groups of objects in several variables. When using the discriminant analysis method, the main indicator is the accuracy of classification, and this indicator can be determined by estimating the proportion of correctly classified patients using a predictive observation equation. The mathematical component of the rapid diagnosis of heart rhythm was developed. The durations of the RR cardio intervals of patients at the age of 60–70 years are the initial data in the research. The data were taken from the databases of medical signals of the open international resource Physionet. The calculated parameters of variational heart rate monitoring for healthy people are presented with different duration of ECG recordings from 5 to 30 minutes. Statistical processing was performed for small samples using the Student criterion with a confidence probability of 95% according to the standard method. Mathematical data processing was carried out by the method of discriminant analysis of variational pulsometry parameters of healthy and sick patients with heart failure. The parameters with weak cross-correlation with high predictive significance, the spread of the values of which corresponds to the normal distribution law, were selected for the discriminant analysis. A function which allows to identify the patient as “sick” or “healthy” (one of the categories) has been determined. The analysis performed for patients diagnosed with arrhythmia also showed a difference from healthy patients, although less pronounced. It was demonstrated that discriminant analysis in cardiology can be effectively used for instant diagnosis of heart rate variability.

Keywords: discriminant analysis, variational pulsometry, heart rate variability, diagnosis of cardiac activity, mathematical processing.

For citation: Silkina U.I., Balandin V.A. Discriminant analysis of variational pulsometry parameters. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2020;8(3):81-91 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-3-81-91>

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются наиболее распространенными в большинстве стран мира, в том числе в России, где их вклад в общую смертность составляет 57% [1]. Для снижения этого показателя актуальным становится ранняя

диагностика ССЗ, которая может быть реализована путем организации массовых, целевых, профилактических обследований населения [2]. В настоящее время широкое распространение получили методы анализа variability сердечного ритма (ВСР), среди которых наиболее популярным для функциональной диагностики является вариационная пульсометрия, позволяющая получить достаточно надежные количественные оценки ВСР. В данной работе, представлены результаты исследования параметров вариационной пульсометрии с их последующей обработкой методами дискриминантного анализа.

Для исследования ВСР традиционно чаще других использовались следующие показатели вариационной пульсометрии: Мо (мода), Амо (амплитуда моды), dRR (вариационный размах) [3], а также рассчитанные временные показатели изменчивости ритма (pNN50 (процент соседних кардиоинтервалов, отличающихся друг от друга более чем на 50 мс), RMMSD (квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар N–N-интервалов), SDNN (стандартное отклонение)) [4].

Отмечается высокая факторная значимость двух групп показателей [4]:

а) ИН (индекс напряжения регуляторных систем), САТ (индекс симпато-адреналового тонуса), ИДМ (индекс дыхательной модуляции), pNN50, SDNN, характеризующие различные аспекты напряженности сердечной деятельности;

б) ИМА (индекс медленноволновой аритмии), ПСА (показатель сердечной аритмии), характеризующие соотношение ритмичности-аритмичности сердечной деятельности.

Помимо традиционных параметров вариационной пульсометрии в данной работе рассмотрен энтропийный показатель (H) [5], отражающий соотношение порядка и хаоса в сложных саморегулирующихся системах [6]. Основными достоинствами данных показателей является их прогностическая значимость и относительная простота вычисления [4].

Дискриминантный анализ – раздел математической статистики, направленный на разработку методов решения задач различения (дискриминации) объектов наблюдения по определенным признакам. При использовании метода дискриминантного анализа главным показателем является точность классификации, и этот показатель можно легко определить, оценив долю правильно классифицированных пациентов при помощи прогностического уравнения наблюдений [7].

В области кардиологии с помощью дискриминантного анализа определяют, в частности, различные виды тахикардий [8], стеноз коронарных артерий [9], ишемическую болезнь сердца [10].

По данным российских эпидемиологических исследований, распространенность хронической сердечной недостаточности (ХСН) среди кардиопатологий составляет 7%, в том числе клинически выраженной – 4.5%, увеличиваясь от 0.3% в возрастной группе 20–29 лет до 70% у лиц старше 90 лет [11, 12]. По прогнозу в ближайшие 20 лет ожидается увеличение распространенности ХСН на 25% [13]. Таким образом, ранняя диагностика ХСН является весьма актуальной задачей.

Объекты и методы исследования

В работе использованы фрагменты записей ЭКГ, в частности, длительности RR-интервалов из международного медицинского архива биосигналов *PhysioNet.org* [14]. Данные здоровых пациентов взяты из базы *Normal Sinus Rhythm RR Interval Database* [14]. Записи были предоставлены Медицинской школой Вашингтонского Университета, Сент-Луис

и из Колумбийского Пресвитерианского Медицинского центра, Нью-Йорк. Записи больных пациентов сердечной недостаточностью взяты из баз *Congestive Heart Failure RR Interval Database* [14] и *BIDMC Congestive Heart Failure Database* [14], а больных с аритмией – *St. Petersburg Institute of Cardiological Technics 12-lead Arrhythmia Database* [14].

В ходе исследования были выбраны записи 20 здоровых людей в возрасте 60–70 лет. Для оценки зависимости параметров вариационной пульсометрии от времени записи ЭКГ здорового человека были вычислены показатели при различных длительностях, а именно, 5, 10, 15, 20, 25, 30 минут. Значения параметров вариационной пульсометрии представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характерные значения параметров ВП при различных длительностях записи

Параметры ВП	Длительность записи, минуты					Среднее	Норма
	5	10	15	20	30		
Мо, мс	734	734	641	641	641	678.2	620-800
Амо, %	33	37	17	27	30	28.8	25-38
pNN50, %	2.5	1.8	1.9	1.4	1.1	1.7	1-18
dRR, мс	321	329	368	383	383	356.8	300-450
ЧСС	79	81	82	85	85	82.4	60-80
RRNN, мс	765	740	729	711	704	729.8	660-937
SDNN	63	61	62	65	61	62.4	40-90
RMSSD	20	19	27	27	27	24	15-35
ИН	70	77	37	54	62	60	30-120
ИБР	102	113	47	70	79	82.2	48-173
ВПР	4.2	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	7.1-9.3
ПАПР	45	51	27	42	47	42.4	35-70
ИДМ, %	1.3	1.3	1.9	1.9	1.9	1.7	2.1-4.4
САТ	25	29	9	14	16	18.6	30-200
ИМА	0.92	0.92	0.89	0.9	0.89	0.9	14.1-44.3
CV	8.2	8.2	8.5	9.1	8.6	8.5	5-7
Н	4.9	4.9	4.9	5	4.9	4.9	4.4-5.6

Серым цветом выделены значения параметров, которые не входят в диапазон значений для здоровых людей [15, 16].

При проверке в качестве статистического критерия был применён *t*-критерий Стьюдента. Основная и альтернативные гипотезы формулируются следующим образом: H_0 – значения параметров при различных длительностях значимо не отличаются; H_1 – значения параметров при различных длительностях значимо отличаются. Поскольку фактическое значение статистического критерия меньше критического, оно попадает в область принятия гипотезы. Следовательно, нет основания отвергнуть основную гипотезу о том, что значения параметров при различных длительностях значимо не отличаются. Значения критерия Стьюдента при различных длительностях записи указаны в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, в 5-минутной записи ЭКГ сигнала 76% параметров не имеют значимых различий по сравнению со средним значением, что говорит о достаточности 5-минутных записей для корректного определения большинства параметров вариационной пульсометрии.

Таблица 2. Значения критерия Стьюдента при различных длительностях записи

Параметры ВП	<i>t</i> -критерий, минуты					Критическое значение <i>t</i> -критерия Стьюдента
	5	10	15	20	30	
Мо, мс	2.500	2.500	1.667	1.667	1.667	2.776
Амо, %	1.544	3.015	4.338	0.662	0.441	2.776
pNN50, %	3.878	0.306	0.816	1.735	3.265	2.776
dRR, мс	2.814	2.186	0.881	2.060	2.060	2.776
ЧСС	3.269	1.346	0.385	2.500	2.500	2.776
RRNN, мс	3.877	1.123	0.088	2.070	2.841	2.776
SDNN	0.938	2.188	0.625	4.063	2.188	2.776
RMSSD	2.222	2.778	1.667	1.667	1.667	2.776
ИН	1.724	2.931	3.966	1.034	0.345	2.776
ИВР	1.957	3.043	3.478	1.206	0.316	2.776
ВПР	2.500	1.667	2.500	1.667	1.667	2.776
ПАПР	0.823	2.722	4.873	0.127	1.456	2.776
ИДМ, %	2.500	2.500	1.667	1.667	1.667	2.776
CAT	1.905	3.095	2.857	1.369	0.774	2.776
ИМА	2.500	2.500	2.188	0.625	2.188	2.776
CV	2.424	2.424	0.152	4.394	0.606	2.776
Н	1.250	1.250	1.250	5.000	1.250	2.776
Кол-во значений, которые попадают в область принятия гипотезы	13	12	12	14	15	?

ционной пульсометрии. Данная длительность выбрана также в связи с направленностью работы на экспресс-диагностику сердечных заболеваний.

Результаты и их обсуждение

В таблице 3 представлены рассчитанные показатели вариационной пульсометрии двадцати здоровых людей в возрасте 60–70 лет.

Серым цветом выделены значения параметров, которые не входят в диапазон значений для здоровых людей [15, 16], а их средние значения для здоровых пациентов представлены в таблице 4, вместе с доверительными интервалами по стандартной методике для малых выборок с использованием критерия Стьюдента при доверительной вероятности равной 95%, которые также приведены в таблице 5.

В соответствии с методикой проведения дискриминантного анализа все параметры вариационной пульсометрии были проверены на «нормальность» распределения, с использованием критерия Хи-квадрат Пирсона.

Как видно из таблицы 5, первые 10 из 16 параметров имеют нормальное распределение, из которых будут отобраны показатели для дальнейшей работы. Была отобрана

Таблица 3. Значения параметров вариационной пульсометрии

Код пациента	Параметры вариационной пульсометрии															
	Mo	AMo	dRR	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN50	ИН	ИБР	ВПП	ПАПР	ИДМ	CAT	ИМА	CV	Н
1	680	46	406	661	48	23	1.8	83	113	3.6	67	1.7	27	88	7.2	4.3
2	984	51	232	987	57	31	8.6	111	218	4.4	51	1.6	33	86	5.7	4.4
3	816	37	368	778	40	32	0.8	62	102	3.3	46	2	18	80	5.1	4.9
4	872	44	296	844	45	35	12.9	86	150	3.9	51	2.1	22	81	5.3	4.6
5	648	18	422	806	102	22	1.9	33	43	3.7	28	1.3	13	95	12.7	5.3
6	773	24	430	847	102	30	11.2	36	55	3	31	1.7	14	93	12	5.5
7	961	26	336	966	76	23	2.6	40	77	3.1	27	1.2	22	93	7.9	5.1
8	672	41	226	687	43	17	1.6	136	183	6.6	62	1.2	34	90	6.3	4.4
9	648	35	219	599	550	12	0.4	124	161	7	55	1	34	94	8.3	4.6
10	688	27	336	698	57	27	2.3	59	81	4.3	39	1.9	14	88	8.2	4.8
11	1008	32	328	973	76	32	11.3	48	97	3	32	1.7	19	89	7.8	5
12	609	33	266	681	59	17	0.5	101	124	6.2	54	1.2	27	93	8.7	4.6
13	711	29	321	656	57	20	0.4	65	92	4.4	41	1.5	20	91	8.6	4.8
14	734	33	321	766	63	20	2.5	70	102	4.2	45	1.3	25	92	8.3	4.9
15	648	43	351	653	43	16	1.1	94	121	4.4	66	1.2	35	91	6.6	4.3
16	750	46	398	795	70	33	5.5	77	115	3.4	61	2.1	22	88	8.8	4.7
17	781	40	484	800	58	40	4.5	53	83	2.6	52	2.5	16	83	7.3	4.8
18	750	49	336	779	35	24	1.3	97	146	4	65	1.5	32	83	4.5	3.9
19	680	47	250	671	44	15	0	137	187	5.9	69	1.1	41	91	6.5	4.4
20	750	45	290	761	47	27	6.1	104	155	4.6	60	1.8	26	86	6.2	4.4

Таблица 4. Средние значения параметров ВП здоровых пациентов

	Параметры вариационной пульсометрии							
	Mo	AMo	dRR	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN50	ИН
Среднее значение	758±54	37±4	331±34	770±52	59±9	25±4	3.9±1.9	81±15
	ИБР	ВПП	ПАПР	ИДМ	CAT	ИМА	CV	Н
Среднее значение	120±21	4.3±0.6	50±6	1.6±0.2	25±4	89±2	7.6±1.0	4.7±0.2

Таблица 5. Критические и рассчитанные значения критерия Хи-квадрата Пирсона

	Параметры вариационной пульсометрии							
	Mo	RRNN	SDNN	RMSSD	ИН	ИБР	ВПП	CV
Критическое значение критерия	21.02	27.59	27.9	27.59	27.59	26.30	23.68	26.3
Рассчитанное значение критерия	11.29	25.46	18.17	14.32	22.01	8.85	11.44	18.93
	ИДМ	ИМА	AMo	dRR	pNN50	ПАПР	CAT	Н
Критическое значение критерия	16.92	26.29	27.59	23.68	27.59	27.59	26.3	15.5
Рассчитанное значение критерия	15.5	13.03	36.57	31.74	33.07	30.51	111.09	27.82

группа пациентов с заболеванием «сердечная недостаточность» 3 степени, значения параметров для больных пациентов представлены в таблице 6.

Дискриминантный анализ относится к категории методов многомерного статистического анализа, предполагающих описание объектов комплексом признаков. Высокая разрешающая способность таких методов обусловлена не только принципом «больше учтённых признаков – больше информации». Не менее важно, что эти методы учитывают систему корреляции признаков [17]. В частности, ряд показателей вариационной пульсометрии рассчитывается через одни и те же исходные величины, например, через амплитуду моды (АМо) определяются параметры ИН, ИВР, ВПР, ПАПР, САТ.

Поэтому, априорно, можно предположить, что такие показатели будут тесно связаны друг с другом, и для дальнейшего анализа целесообразно использовать только один из них. Значения соответствующих коэффициентов корреляции, характеризующих тесноту связи параметров, представлены в таблице 7.

Таблица 6. Значения параметров ВП для 10 больных пациентов

Код пациента	Параметры вариационной пульсометрии															
	Мо	АМо	dRR	RRNN	SDNN	RMSSD	pNN50	ИН	ИВР	ВПР	ПАПР	ИДМ	САТ	ИМА	CV	Н
1	797	98	62	798	13	8	0	988	1574	20.2	122	0.5	185	90	1.7	2.8
2	531	77	352	537	44	71	25.9	206	219	5.4	145	6.7	12	59	8.2	3.7
3	758	90	848	752	30	50	7.8	70	106	1.6	119	3.3	27	59	4.1	3.1
4	648	99	289	648	13	19	0.9	264	341	5.3	152	1.5	66	63	2	2.3
5	773	57	617	749	44	60	4.2	60	92	2.1	74	4.1	14	65	5.8	3.9
6	924	63	680	919	51	64	4.3	50	93	1.6	68	3.5	18	69	5.5	4.6
7	588	89	396	585	28	44	7.2	191	224	4.3	151	3.7	23	61	4.8	4
8	576	92	76	572	13	6	0	1050	1210	22.8	160	0.6	165	88	2.4	3.8
9	608	99	228	606	27	14	0.6	359	436	7.2	164	1.2	84	87	4.5	2.7
10	796	65	112	782	21	15	1	363	578	11.2	81	0.9	69	82	2.6	4.3

Таблица 7. Корреляционные связи между параметрами ВП

Параметры вариационной пульсометрии	Параметры вариационной пульсометрии									
	Мо	RRNN	SDNN	RMSSD	ИН	ИВР	ВПР	ИДМ	ИМА	CV
Мо	1.00									
RRNN	0.91	1.00								
SDNN	0.16	0.45	1.00							
RMSSD	0.62	0.64	0.18	1.00						
ИН	-0.32	-0.47	-0.71	-0.50	1.00					
ИВР	0.05	-0.12	-0.67	-0.23	0.92	1.00				
ВПР	-0.54	-0.62	-0.42	-0.76	0.82	0.62	1.00			
ИДМ	0.30	0.28	0.00	0.91	-0.41	-0.27	-0.66	1.00		
ИМА	-0.37	-0.23	0.53	-0.69	-0.03	-0.22	0.38	-0.74	1.00	
CV	-0.27	0.00	0.89	-0.11	-0.55	-0.67	-0.14	-0.14	0.71	1.00

В работе для дискриминантного анализа были отобраны параметры, у которых коэффициент корреляции не превышает по модулю значение 0.5, что соответствует слабому характеру связи [18, 19]. По этому критерию были выбраны параметры Мо, ИН, ИМА.

Отметим, что в медицинской практике для диагностики применяется такой показатель отбора, как прогностическая значимость [20]. В данной работе прогностическая значимость определяется, как доля больных пациентов, соответствующие показатели которых выходят за границы доверительного интервала параметров здоровых пациентов. Определенные таким образом показатели прогностической значимости приведены в таблице 8.

Таблица 8. Определение прогностической значимости параметров ВП

Параметр	Код пациента										Среднее значение	Прогностическая значимость
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Мо	797	531	758	648	773	924	588	576	608	796	700	0.5
Амо	98	77	91	98	57	63	89	92	99	65	83	1.0
dRR	62	352	848	289	617	680	396	76	228	112	366	0.7
SDNN	13.3	43.9	30.5	13.2	43.7	50.8	28.2	13.5	27.3	20.7	28.5	0.7
ИН	987	206	70	263	60	50	191	1051	359	364	360	0.7
ИБР	1574	219	107	342	92	93	225	1210	437	579	488	0.8
ПАПР	123	145	120	152	74	68	151	160	134	81	123	0.9
ИДМ	0.5	6.7	3.3	1.5	4.1	3.5	3.7	0.6	1.2	0.9	2.6	0.8
САТ	185	12	27	66	14	18	24	165	84	69	66	0.6
ИМА	91	59	59	63	65	68	61	88	86	82	72	0.6
CV	1.7	8.2	4.1	2.0	5.8	5.5	4.8	2.4	4.5	2.6	4.2	0.7
Н	2.8	3.7	3.1	2.3	3.9	4.6	4.0	3.8	2.7	4.3	3.5	0.6

Серым цветом выделены величины, которые выходят за диапазон значений для здоровых людей. Доля этих величин и характеризует прогностическую значимость, т.е. определяет параметры, значимо различающиеся для здоровых и больных пациентов.

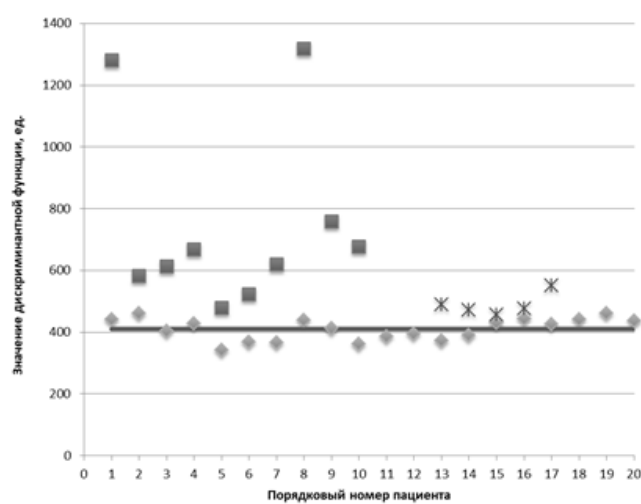
Ввиду ограниченного количества больных, прогностическая значимость определяется с шагом 0.1. Для её уточнения следует использовать большее количество пациентов для анализа.

По данным таблицы 5 можно заметить, что параметры АМо, dRR, имеют распределение, отличное от нормального. Проанализировав же данные таблицы 8, в работу были добавлены указанные параметры на основании того, что они имеют высокую прогностическую значимость и надежное различие между здоровыми и больными пациентами, а также характеризуются отсутствием сильной взаимной корреляции. Поэтому в дальнейшем они будут являться коэффициентами дискриминантной функции.

В итоге для проведения дискриминантного анализа использованы 6 параметров вариационной пульсометрии: Мо, ИН, ИМА, Амо, dRR и Н. Зная прогностическую значимость параметров, построим дискриминантную функцию следующим образом:

$$D = 1 \cdot \text{АМо} + 0.7 \cdot \text{dRR} + 0.7 \cdot \text{ИН} + 0.6 \cdot \text{ИМА} + 0.6 \cdot \text{Н} + 0.5 \cdot \text{Мо}.$$

На рисунке квадратиками показаны значения для 10 больных людей с диагнозом сердечной недостаточности 3 степени. Символ «*» соответствует значениям для пациентов



Значения дискриминантной функции для здоровых и больных пациентов с заболеваниями «сердечная недостаточность» и «аритмия».

с заболеванием «аритмия». Ромбиками отмечены показания 20 здоровых людей, среднее значение для которых, равное 410 единиц, показано прямой линией.

Значение дискриминантной функции больных людей с заболеванием сердечная недостаточность существенно превышает среднее значение для здоровых пациентов в 1.2–3.2 раза.

Как видно из рисунка, аритмия менее выражена, чем сердечная недостаточность, хотя и в этом случае проявляет заметное отличие больных от здоровых пациентов на уровне 123–135% от среднего значения.

Для выявления различий в видах патологии следует провести дискриминантный анализ, используя не только параметры вариационной пульсометрии, но и показатели других методов исследования аномалии сердечной деятельности (спектральных, гистографических, корреляционных).

Выводы

Рассчитаны значения параметров вариационной пульсометрии для 20 здоровых людей и 10 больных с заболеванием «сердечная недостаточной 3 степени».

Произведён отбор наиболее информативных показателей для дальнейшего применения в дискриминантном анализе. В качестве критериев отбора использовались следующие: проверка на нормальное распределение, корреляция между параметрами и их прогностическая значимость. В результате были выбраны 6 параметров вариационной пульсометрии: Мо, ИН, ИМА, Амо, dRR и Н.

С помощью этих показателей построена дискриминантная функция. В результате сравнения отмечено, что значения функции для здоровых и больных людей не пересекаются, что говорит о хорошей дискриминации.

При анализе дискриминантной функции отмечено, что нарушения variability сердечного ритма надежно выявляются в ходе диагностики, но для их дифференциации по виду патологии целесообразно привлечение показателей других методов, например, спектральных, корреляционных.

Таким образом, показано, что дискриминантный анализ в кардиологии может быть эффективно использован при экспресс-диагностике variability сердечного ритма.

Литература:

1. Об актуальных проблемах борьбы с сердечно-сосудистыми заболеваниями. *Аналитический вестник Совета Федерации*, сост. О.Б. Аникеева, О.В. Павленко, С.Н. Титов. 2015;44(597):78-86.
2. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). *Вестник аритмологии*. 2001;24:65-86.
3. Рыбак О.К., Довгалецкий Я.П., Дурнова Н.Ю., Бурлака А.Н. Скрининг больных ишемической болезнью сердца с использованием многофакторного дискриминантного анализа электрокардиограммы. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2010;6(1):76-81.
4. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. М.: ИНФРА-М., 2007. 640 с. URL: https://doi.org/10.12737/textbook_5c4567cb83fa36.41159592
5. Пермяков С.А. Методы системного анализа амплитудно-фазового сопряжения электрокардиографической информации: дис ... канд. техн. наук. Владимир: ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2018. 159 с.
6. Pincus S.M. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1991;88:2297-2301. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.15.6506>
7. Дюк В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. СПб.: Питер, 2003. 528 с. ISBN 5-94723-501-3
8. Салами Х.Ф., Шлевков Н.Б., Новиков П.С., Миронов Н.Ю., Певзнер А.В. Новые электрокардиографические критерии для дифференциальной диагностики тахикардий с расширенными комплексами QRS по типу блокады левой ножки пучка Гиса. *Сибирский медицинский журнал*. 2019;34(1):98-106. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-98-106>
9. Коротин А.С., Посненкова О.М., Киселев А.Р., Попова Ю.В., Гряднев В.И. Стеноз коронарных артерий: всегда ли обоснована реваскуляризация? *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2019;8(1):42-51. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-1-42-51>
10. Мехдиев С.Х., Мустафаев И.И., Мамедов М.Н. Предикторы артериальной гипертензии в азербайджанской популяции у больных сахарным диабетом 2 типа. *Российский кардиологический журнал*. 2019;1:23-31. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-1-23-31>
11. Душина А.Г., Лопина Е.А., Либис Р.А. Особенности хронической сердечной недостаточности в зависимости от фракции выброса левого желудочка. *Российский кардиологический журнал*. 2019;2:7-11. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-2-7-11>
12. Лопатин Ю.М., Гребенникова А.А., Беграмбекова Ю.Л. Надежность и дискриминантная валидность российской версии европейской шкалы оценки способности к самопомощи пациентов с сердечной недостаточностью. *Российский кардиологический журнал*. 2016;8:14-19. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-8-14-19>
13. Информационный портал: The Silver Book [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.silverbook.org/> (Дата обращения 15.05.2019)
14. Электронная медицинская международная база данных PhysioNet.org [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://physionet.org> (Дата обращения 25.04.20120)
15. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма в космической медицине. *Физиология человека*. 2002;2:70-82.
16. Ходырев Г.Н., Хлыбова С.В., Циркин В.И., Дмитриева С.Л. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей variability сердечного ритма (обзор литературы). *Вятский медицинский вестник*. 2011;(3-4):60-70.
17. Тюрин В.В., Щеглов С.Н. Дискриминантный анализ в биологии: монография. Краснодар: Кубанский государственный университет. 2015. 126 с.
18. Языки программирования [Интернет – ресурс]. Режим доступа: https://life-prog.ru/1_32708_otsenka-tesnotisvyazi.html (Дата обращения 14.10.2019)
19. Медицина от А до Я [Интернет – ресурс]. Режим доступа: <https://med-books.info/meditsina.html> (Дата обращения 14.10.2019)
20. Кондратьев А.И., Савилова В.В., Долгих В.Т., Лукач В.Н. Прогностическая значимость гемодинамического мониторинга у больных в остром периоде инфаркта миокарда. *Казанский медицинский журнал*. 2010;91(2):148-151.

References:

1. About actual problems of fight against cardiovascular diseases. *Analiticheskii vestnik Soveta Federatsii = Analytical Bulletin*, O.B. Anikeeva, O.V. Pavlenko, S.N. Titov (Eds.). 2015;44(597):78-86 (in Russ.).
2. Baevsky R.M., Ivanov G.G., Chireikin L.V., Gavrilushkin A.P. et al. Analysis of heart rate variability using different electrocardiographic systems (guidelines). *Vestnik aritmologii = J. Arrhythmology*. 2001;24:65-86 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm170402>
3. Rybak O.K., Dovgalevskii Ya.P., Durnova N.Yu., Burlaka A.N. Multifactor discriminant analysis of electrocardiograms at screening patients with ischemic heart disease. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal = Saratov J. Med. Res.* 2010;6(1):76-81 (in Russ.).

4. Kulaichev A.P. *Komp'yuternaya elektrofiziologiya i funktsional'naya diagnostika* (Computer electrophysiology and functional diagnostics). Moscow: INFRA-M.; 2007. 640 p. (in Russ.). URL: https://doi.org/10.12737/textbook_5c4567cb83fa36.41159592
5. Permyakov S.A. *Metody sistemnogo analiza amplitudno-fazovogo sopryazheniya elektrokardiograficheskoi informatsii* (Methods of system analysis of amplitude-phase coupling of electrocardiographic information). PhD Thesis. Vladimir: VIGU Publishing House; 2018. 159 p. (in Russ.).
6. Pincus S.M. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1991;88:2297-2301. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.15.6506>
7. Dyuk V. *Informatsionnye tekhnologii v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh* (Information technology in biomedical research). SPb: Piter; 2003. 528 c. ISBN 5-94723-501-3
8. Salami H.F., Shlevkov N.B., Novikov P.S., Mironov N.Yu., Pevzner A.V. New electrocardiographic criteria for differential diagnosis of tachycardias with advanced QRS complexes according to the type of blockade of left bundle of HIS. *Sibirskii meditsinskii zhurnal = Siberian Med. J.* 2019;34(1):98-10 (in Russ.). <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-1-98-106>
9. Korotin S.A., Posnenkova O.M., Kiselev A.R., Popova Y.V., Gridnev V.I. Coronary artery stenosis: is revascularization always reasonable? *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistykh zabolevanii = Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2019;8(1):42-51 (in Russ.). <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2019-8-1-42-51>
10. Mekhdiyev S.K., Mustafaev I.I., Mamedov M.N. Predictors of arterial hypertension in patients with type 2 diabetes mellitus in azerbaijan population. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal = Russian J. Cardiology*. 2019;1:23-31 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-1-23-31>
11. Dushina A. G., Lopina E. A., Libis R. A. Features of chronic heart failure depending on the left ventricular ejection fraction. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal = Russian J. Cardiology*. 2019;2:7-11 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2019-2-7-11>
12. Lopatin Yu.M., Grebennikova A.A., Begrambekova Yu.L. Reliability and discriminant validity of the Russian version of European self-care behaviour scale in chronic heart failure. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal = Russian J. Cardiology*. 2016;8:14-19 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2016-8-14-19>
13. Information portal: the Silver Book [Internet resource] - access Mode: <https://www.silverbook.org/> (accessed 15.05.2019)
14. Electronic medical international database PhysioNet.org [Internet resource] - access Mode: <https://physionet.org> (accessed 25.04.2020)
15. Baevskii R.M. Analysis of heart rate variability in space medicine. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2002;2:70-82 (in Russ.).
16. Khodyrev G.N., Khlybova S.V., Tsirkin V.I., Dmitrieva S.L. Methodical aspects of analysis of temporal and spectral indices of heart rate variability (literature review). *Vyatskii meditsinskii vestnik = Medical Newsletter of Vyatka*. 2011;(3-4):60-70 (in Russ.).
17. Tyurin V.V., Shcheglov S.N. *Diskriminantnyi analiz v biologii: monografiya* (Discriminant analysis in biology: a monograph). Krasnodar: Kuban state University; 2015. 126 p. (in Russ.).
18. Programming languages [Internet resource]. access Mode: https://life-prog.ru/1_32708_otsenka-tesnotisvyazi.html (accessed 14.10.2019)
19. Medicine from A to Z [Internet resource]. access Mode: <https://med-books.info/meditsina.html> (accessed 14.10.2019)
20. Kondratiev A.I., Savilova V.V., Dolgikh V.T., Lukach V.N. Prognostic significance of hemodynamic monitoring of patients in the acute period of myocardial infarction. *Kazanskii meditsinskii zhurnal = Kazan Medical J.* 2010;92(1):148-151 (in Russ.).

Об авторах:

Силкина Ульяна Игоревна, магистр кафедры биокбернетических систем и технологий Института кибернетики, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

Баландин Вячеслав Алексеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры биокбернетических систем и технологий Института кибернетики, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). Author ID: 35857

About the authors:

Ulyana I. Silkina, Master of the Department of Biocybernetics Systems and Technologies, Institute of cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454, Russia).

Vyacheslav A. Balandin, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor of the Department of Biocybernetics Systems and Technologies, Institute of cybernetics, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454, Russia). Author ID: 35857