

## **Анализ взаимосвязи показателей variability ритма сердца**

*<sup>1</sup> Белорусская медицинская академия последипломного образования*

*<sup>2</sup> НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь*

В статье представлены результаты корреляционного анализа показателей variability ритма сердца (ВРС). Анализировались временные, спектральные показатели и показатели кардиоинтервалографии. Полученные данные свидетельствуют о том, что многие показатели ВРС тесно коррелируют между собой. Результаты исследования позволяют не только более глубоко понять сущность каждого из показателей ВРС, но и выделить наиболее приемлемые из них для анализа.

Ключевые слова: показатели variability ритма сердца, корреляционный анализ

### **Введение**

Анализ variability ритма сердца (ВРС) является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы [1].

Вегетативная нервная система имеет важнейшее значение в жизнедеятельности организма. Основное ее назначение – участие в поддержании постоянства внутренней среды организма, обеспечении физиологических реакций, различных форм психической и физической деятельности. Вегетативная нервная система осуществляет мобилизацию функциональных резервов при стрессорных воздействиях, обеспечивает их восстановление и накопление, сохранение гомеостаза основных систем организма при изменении условий окружающей среды [4].

Сердечно-сосудистая система является одной из наиболее важных систем жизнеобеспечения и индикатором адаптационных возможностей человека, поэтому уровень ее функционирования рассматривается как ведущий показатель, отражающий состояние целостного организма и его равновесие со средой [2, 3]. Ритм и сила сердечных сокращений очень чутко реагируют на любые стрессорные воздействия и несут информацию о состоянии регулирующих их систем [1, 2, 7].

Математический анализ ритма сердца привлекает к себе внимание исследователей достаточно давно. Первый симпозиум по этой проблеме состоялся в 1966 году в Москве под руководством академика В.В. Парина. В настоящее время интерес исследователей к этой проблеме не угасает [3, 5]. В России по вопросам применения ВРС состоялись 4 симпозиума (в 1996, 2000, 2003 и 2008 гг.). Проводится большое количество исследований по ВРС в странах Европы и Америки.

Существует большое количество методов анализа и показателей, характеризующих ВРС. Все они основаны на анализе массива величин

последовательных RR-интервалов и их математической обработке. Логично предположить, что между многочисленными показателями ВРС существует взаимосвязь.

Целью настоящего исследования являлось проведение корреляционного анализа между показателями ВРС. Это позволит не только более глубоко понять сущность каждого из них, но и выделить наиболее приемлемые показатели для анализа.

Материал и методы

Анализировались следующие временные показатели ВРС: ЧСС (частота сердечных сокращений), RRNN (средняя длительность нормальных интервалов RR), SDNN (стандартное отклонение величин NN-интервалов, квадратный корень из разброса NN), RMSSD (квадратный корень средних квадратов разницы между смежными RR-интервалами), pNN50 (процент интервалов смежных NN, отличающихся более, чем на 50 мс), CV (коэффициент вариации ряда последовательных кардиоинтервалов,  $SDNN/RRNN \times 100\%$ ).

Среди показателей спектрального (частотного) анализа оценивались общая мощность спектра (Total Power, TP), мощность высокочастотного (High Frequency, HF), низкочастотного (Low Frequency, LF) и очень низкочастотного (Very Low Frequency, VLF) компонентов, вклад указанных компонентов в общую мощность спектра в процентах, а также мощность HF и LF волн в нормализованных единицах и соотношение LF/HF.

Использовались следующие показатели кардиоинтервалографии (КИГ): AMo (амплитуда моды – процент кардиоинтервалов RR, соответствующий значению моды); BP (вариационный размах – разность между длительностью наибольшего и наименьшего RR-интервала) и рассчитываемые на их основе индексы, предложенные Р.М. Баевским, нашедшие широкое применение для оценки процессов регуляции и степени адаптации сердечно-сосудистой системы к агрессивным факторам: ИВР – индекс вегетативного равновесия ( $ИВР = AMo/BP$ ); ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции ( $ПАПР = AMo/Mo$ ); ВПР – вегетативный показатель ритма ( $ВПР = 1/Mo \times BP$ ); ИН – индекс напряжения регуляторных систем ( $ИН = AMo/2 \times BP \times Mo$ ).

Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью программы Statistica 6,0. Взаимосвязь между различными показателями определялась с помощью ранговой корреляции по Спирману с уровнем  $p < 0,05$ . Согласно классификации силы корреляции [6] взаимосвязь признавалась сильной при значении модуля коэффициента корреляции  $r \geq 0,75$ , умеренной – при  $0,250,75$ , слабой – при  $r \leq 0,25$ .

Согласно международным стандартам [8] для анализа были взяты только записи, источником ритма в которых являлся синусовый узел. Записи с миграцией ритма по предсердиям, синоатриальными блокадами не рассматривались. Артефакты и экстрасистолы удалялись из электронной записи вручную.

Был проведен анализ показателей ВРС 255 5-минутных фрагментов ЭКГ спортсменов (от 17 до 35 лет), проходивших обследование в НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь в 2010 г. с использованием программно-аппаратного комплекса «Поли-Спектр».

Результаты исследования

Основные полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Взаимосвязь между показателями ВРС (коэффициенты ранговой корреляции по Спирману)

	SDNN, мс	RMSSD, мс	pNN50, %	CV, %	TP, мс	VLF, мс	LF, мс	HF, мс	LF/total HF	HF/total HF	LF/HF	VWLF	WLF	WHF	VCC, ур/мин	АМО, %	ИБР, ф.с	ПАПР, ф.с	ВПР, ф.с	ИН, ф.с	
SDNN, мс	1,00	0,91	0,82	0,92	0,97	0,72	0,82	0,84	-0,13	0,16	-0,15	-0,37	0,03	0,29	-0,36	-0,91	0,91	-0,96	-0,84	-0,87	-0,94
RMSSD, мс		1,00	0,95	0,77	0,84	0,47	0,65	0,92	-0,41	0,42	-0,41	-0,37	-0,09	0,59	-0,46	-0,82	0,83	-0,88	-0,83	-0,85	-0,89
pNN50, %			1,00	0,66	0,75	0,41	0,52	0,9	-0,40	0,51	-0,45	-0,52	-0,18	0,64	-0,51	-0,79	0,72	-0,81	-0,82	-0,79	-0,84
CV, %				1,00	0,94	0,75	0,82	0,78	-0,08	0,10	-0,08	-0,30	0,08	0,22	0,01	-0,81	0,84	-0,87	-0,82	-0,66	-0,78
TP, мс					1,00	0,77	0,86	0,85	-0,13	0,11	-0,14	-0,36	0,03	0,23	-0,24	-0,91	0,97	-0,94	-0,79	-0,82	-0,91
VLF, мс						1,00	0,60	0,48	0,00	-0,02	0,00	0,24	-0,13	-0,13	-0,10	-0,66	0,64	-0,60	-0,53	-0,59	-0,64
LF, мс							1,00	0,62	0,26	-0,28	0,23	-0,42	0,49	-0,02	-0,15	-0,76	0,77	-0,81	-0,65	-0,70	-0,77
HF, мс								1,00	-0,52	0,50	-0,52	-0,60	-0,17	0,66	-0,28	-0,81	0,75	-0,82	-0,75	-0,74	-0,81
LF/total HF									1,00	-0,97	0,99	0,27	0,86	-0,85	0,17	0,19	-0,10	0,15	0,22	0,17	0,17
HF/total HF										1,00	-0,97	-0,35	-0,77	0,88	-0,14	-0,17	0,12	-0,14	-0,20	-0,15	-0,16
LF/HF											1,00	0,27	0,79	-0,85	0,17	0,19	-0,10	0,15	0,22	0,18	0,18
VWLF												1,00	-0,25	-0,62	0,20	0,39	-0,35	0,39	0,41	0,39	0,41
WLF													1,00	-0,43	0,10	0,01	0,09	-0,04	0,04	-0,01	-0,02
WHF														1,00	-0,17	-0,28	0,26	-0,28	-0,30	-0,27	-0,29
VCC, ур/мин															1,00	0,38	-0,31	0,38	0,67	0,64	0,55
АМО, %																1,00	-0,77	0,94	0,92	0,79	0,93
ИБР, ф.с																	1,00	-0,91	-0,71	-0,89	-0,89
ПАПР, ф.с																		1,00	0,88	0,97	0,97
ВПР, ф.с																			1,00	0,87	0,94
ИН, ф.с																				1,00	0,95
ИИ, ф.с																					1,00

Как видно из таблицы 1, многие показатели имеют между собой сильную корреляционную связь.

При анализе показателей временной области было обнаружено, что SDNN имел сильную положительную корреляционную связь с показателями RMSSD ( $r=0,91$ ), pNN50 ( $r=0,82$ ), CV ( $r=0,92$ ), TP ( $r=0,97$ ) временной области; LF ( $r=0,82$ ), HF ( $r=0,84$ ) спектральной области; ВР ( $r=0,91$ ) из показателей КИГ. Наибольшую связь этот показатель имел с TP. Это можно объяснить тем, что оба показателя (SDNN и TP) отражают общую ВРС [5,8]. Сильную отрицательную корреляционную связь SDNN имел с АМО ( $r=-0,91$ ), ИБР ( $r=-0,96$ ), ПАПР ( $r=-0,84$ ), ВПР ( $r=-0,87$ ) и ИН ( $r=-0,94$ ). Это свидетельствует о том, что показатели КИГ по Р.М. Баевскому также отражают общую ВРС.

Следует отметить, что SDNN имел сильную положительную корреляционную связь как с высокочастотными, так и с низкочастотными составляющими ВРС, что подтверждает зависимость этого показателя от влияния как парасимпатической, так и симпатической нервной системы.

Показатель RMSSD имел сильную корреляционную связь с показателями SDNN ( $r=0,91$ ), pNN50 ( $r=0,95$ ), CV ( $r=0,77$ ), TP ( $r=0,84$ ), HF ( $r=0,92$ ), ВР ( $r=0,83$ ). Наиболее тесные взаимосвязи наблюдались с pNN50 и HF, характеризующими (как и RMSSD) преимущественно активность парасимпатической нервной системы [5,8]. Сильная отрицательная корреляционная связь была отмечена с показателями АМО ( $r=-0,82$ ), ИБР ( $r=-0,88$ ), ПАПР ( $r=-0,83$ ), ВПР ( $r=-0,85$ ) и ИН ( $r=-0,89$ ).

Сходные значения корреляционных связей имел показатель pNN50. Так, сильная связь была отмечена с показателями SDNN ( $r=0,82$ ), RMSSD ( $r=0,95$ ), TP ( $r=0,75$ ), HF ( $r=0,9$ ); положительная связь средней силы – с ВР ( $r=0,72$ ); сильная отрицательная корреляционная связь – с показателями АМО ( $r=-0,79$ ), ИБР ( $r=-0,81$ ), ПАПР ( $r=-0,82$ ), ВПР ( $r=-0,79$ ) и ИН ( $r=-0,84$ ).

Значения корреляционных связей TP были практически идентичны SDNN, что объясняется аналогичной сущностью этих двух показателей.

При анализе показателей спектральной области сильные (положительные или отрицательные) корреляционные связи были отмечены между следующими показателями:

- VLF и TP;
- LF и SDNN, CV, TP, AMo, BP, ИВР, ИН;
- HF и SDNN, RMSSD, pNN50, CV, TP, AMo, BP, ИВР, ПАПР, ИН;
- LFnorm и HFnorm, LF/HF, %LF, %HF;
- HFnorm и LFnorm, LF/HF, %LF, %HF;
- LF/HF и LFnorm, HFnorm, %LF, %HF;
- %LF и LFnorm, HFnorm, LF/HF;
- %HF и LFnorm, HFnorm, LF/HF, %VLF.

Следует отметить, что HF имел более сильные корреляционные связи с показателями временной области ВРС и КИГ, отражающими влияние парасимпатической нервной системы и общей ВРС, по сравнению с HFnorm и %HF. Принимая во внимание этот факт, можно говорить о том, что показатель HF является более информативным для оценки влияния парасимпатического звена нервной системы, чем HFnorm и %HF.

При оценке показателей КИГ следует отметить сильные корреляционные связи между показателем AMo и SDNN ( $r=-0,91$ ), RMSSD ( $r=-0,82$ ), pNN50 ( $r=-0,79$ ), CV ( $r=-0,81$ ), TP ( $r=-0,91$ ), LF ( $r=-0,76$ ), HF ( $r=-0,81$ ), BP ( $r=-0,77$ ), ИВР ( $r=0,94$ ), ПАПР ( $r=0,92$ ), ВПР ( $r=0,79$ ), ИН ( $r=0,93$ ). AMo отражает степень централизации управления ритмом сердца [2], поэтому вполне понятно, что ее значения обратно зависимы от показателей, характеризующих общую ВРС и активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы. AMo исследователи используют как самостоятельно, так и для расчета других показателей: ИВР, ПАПР, ИН, триангулярного индекса, TINN. Сильная зависимость между AMo и многочисленными показателями ВРС говорит о ее большом потенциале для анализа.

BP также тесно коррелировал с SDNN ( $r=0,91$ ), RMSSD ( $r=0,83$ ), CV ( $r=0,84$ ), TP ( $r=0,87$ ), LF ( $r=0,77$ ), HF ( $r=0,75$ ), AMo ( $r=-0,77$ ), ИВР ( $r=0,94$ ), ПАПР ( $r=0,92$ ), ВПР ( $r=0,79$ ), ИН ( $r=0,93$ ). Величины коэффициентов корреляции BP и AMo показывают, что они более сильно связаны с показателями, отражающими общую ВРС, чем характеризующими активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы. Это можно объяснить тем, что в некоторых случаях увеличение BP и уменьшение AMo, а также, соответственно, изменение индексов, рассчитываемых на их основе, происходит не за счет увеличения дыхательных (HF) волн, характеризующих активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы, а за счет недыхательного (LF и VLF) компонента, что, наоборот, свидетельствует об активации симпатического звена вегетативной нервной системы и других механизмов регуляции.

ИВР имел сильные корреляционные связи с SDNN, RMSSD, pNN50, CV, TP, LF, HF, AMo, BP, ПАПР, ВПР, ИН. Наиболее тесными они были с SDNN ( $r=-0,96$ ), TP ( $r=-0,94$ ) и ИН ( $r=-0,97$ ).

ПАПР имел сильную взаимосвязь с SDNN, RMSSD, pNN50, TP, HF, AMo, ИВР, ВПР, ИН. Сильные корреляционные связи были обнаружены между ВПР (рассчитываемым по формуле  $ВПР=1/Мо \times BP$ ) и SDNN, RMSSD, TP, BP, ИВР, ПАПР, ИН. Большинство связей этих двух индексов (ПАПР и ВПР) были

слабее, чем у других показателей КИГ. Таким образом, они менее эффективны для оценки ВРС.

ИН имел сильные корреляционные связи с SDNN, RMSSD, pNN50, CV, TP, LF, HF, AMo, BP, ИВР, ПАПР, ВПР. Наиболее тесными они были с SDNN ( $r=-0,96$ ) и ИВР ( $r=0,97$ ).

Индексы, предложенные Р.М. Баевским, имели более сильные корреляционные связи с показателями общей ВРС, чем с показателями, характеризующими активность парасимпатического звена вегетативной нервной системы. Наиболее информативными из них для оценки общей ВРС являются ИВР и ИН.

Следует отметить, что ни один из показателей ВРС не имел сильных корреляционных связей с ЧСС, что говорит о том, что ВРС в значительной степени зависит от других факторов.

#### Выводы

1. Показатели, характеризующие общую ВРС (SDNN и TP), тесно связаны между собой ( $r=0,97$ ), поэтому при анализе ВРС можно использовать какой-либо один из них.
2. Для оценки высокочастотных составляющих ВРС можно выбрать либо RMSSD, либо pNN50, поскольку они имеют сильную корреляционную связь ( $r=0,95$ ) между собой. Из показателей спектральной области наиболее приемлемым для этой цели является HF.
3. Показатели КИГ характеризуют общую ВРС. Наиболее информативными из индексов, рассчитываемых на основе КИГ, являются ИВР и ИН.

#### Литература

1. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: метод. рекомендации / Р. М. Баевский [и др.]. М., 2002. 53 с.
2. Баевский, Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. М.: Медицина, 1997. 265 с.
3. Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение // Тез. докл. IV всерос. симп. / отв. ред. Н. И. Шлык, Р. М. Баевский. УдГУ. Ижевск, 2008. 344 с.
4. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение / под ред. А. М. Вейна. М.: ООО «Медицинское информационное агенство», 2003. 752 с.
5. Михайлов, В. М. Variability ритма сердца: опыт практического применения метода / В. М. Михайлов. Иваново, 2002. 290 с.
6. Реброва, О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О. Ю. Реброва. М., МедиаСфера, 2002. 312 с.
7. Рябыкина, Г. В. Variability ритма сердца / Г. В. Рябыкина, А. В. Соболев. М.: Оверлей, 2001. 200 с.
8. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standarts of Measurement. Physiological interpretation and clinical use // Circulation. 1996. V. 93. P. 1043–1065.