

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕЙРОВЕГЕТАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**Евгения Владимировна КУРЬЯНОВА***Естественный институт Астраханского государственного университета
414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1*

С применением методов ранжирования и факторного анализа показателей вариационной пульсометрии и спектрального анализа variability сердечного ритма нелинейных крыс показано, что при анализе отрезков электрокардиограммы (ЭКГ) (300 и до 500 кардиоинтервалов) нормированные мощности спектральных диапазонов указывают на то, какой из центральных уровней нервной регуляции наиболее активно вовлечен в управление, а по абсолютным мощностям волн можно оценить относительное участие симпатического и парасимпатического каналов в реализации центральных влияний на уровне сердца. Установлено разнообразие животных как по активности центральных уровней, так и по активности симпатического и парасимпатического каналов регуляции ритма сердца. При наличии оборудования для регистрации и анализа variability сердечного ритма (ВСР) этот подход позволит более обоснованно формировать экспериментальные группы животных. Выдвинуто предположение о том, что сбалансированные или преобладающие отношения симпатoadренальных и парасимпатических влияний определяют амплитуду волн variability сердечного ритма всех частот.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, нормированные мощности спектра, абсолютные мощности спектра, вегетативная регуляция, нейровегетативное состояние.

При организации экспериментальных исследований, которые имеют цель установить закономерности регуляции физиологических функций, необходимым является определение вегетативного тонуса организма. Под исходным вегетативным тонусом понимаются более или менее стабильные характеристики вегетативных показателей в период относительного покоя. Соотношение между симпатической и парасимпатической системами обеспечивает поддержание не только параметров физиологических систем организма, но и метаболического равновесия [1].

Для оценки вегетативного тонуса в настоящее время часто используются методы анализа variability сердечного ритма [1–3]. Однако здесь возникают определенные сложности. Отмечается [4], что для оценки вегетативного тонуса важно определить активность отдельных структур вегетативной нервной системы, но многие из принятых сейчас вегетативных индексов неспецифичны и изменяются в результате усиления или снижения активности как симпатической, так и парасимпатической системы. Поэтому перед исследователями встает проблема, какие из показателей ВСР следует использовать для оценки вегетативного тонуса организма, насколько их физиологическая интерпретация удовлетворяет этой цели. В попытке решить возникающие вопросы авторы предлагают разные способы определе-

ния вегетативного тонуса организма на основе показателей ВСР [1, 3, 5]. В последние годы для этого стали активно привлекаться методы математического моделирования и статистической группировки параметров ВСР: дискриминантный анализ [6], кластерный анализ [5], факторный анализ [4, 7]. Предложена математическая модель «вегетативного пространства» на основе факторного анализа показателей ВСР, в рамках которой выявлены 4 типа вегетативной регуляции сердечного ритма [4].

Надо заметить, что если в медико-биологических исследованиях учет нейровегетативного статуса организма является обязательным, то в исследованиях на животных обычно исходный вегетативный тонус не учитывается. Лишь в некоторых работах обращается внимание на необходимость такого подхода [5]. Для нелинейных крыс такие работы не проводились, несмотря на большое количество публикаций, в которых с той или иной целью авторы анализируют ВСР крыс. Поскольку нелинейные крысы часто являются объектом экспериментальных исследований как прикладного, так и фундаментального характера, необходима разработка стандартов анализа ВСР этих животных [8], оценка разнообразия их по типам регуляции СР, формирование самих критериев характеристики типов вегетативной регуляции СР крыс. Это позволит, с одной стороны, более корректно подходить к организации и анализу результатов

экспериментальных исследований на крысах, в том числе при изучении действия экологических и антропогенных факторов, а с другой стороны — существенно дополнит и расширит теоретические представления о природе ВСР.

Исходя из выше сказанного, целью настоящей работы стало выявление вариантов нейровегетативной регуляции сердечного ритма нелинейных крыс с применением методов ранжирования и факторного анализа спектральных показателей и параметров вариационной пульсометрии.

Методика исследования

Опыты проведены на 165 беспородных белых крысах обоего пола 15-недельного возраста. Эксперименты проводились в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. № 755). Животные содержались в стандартных условиях вивария при свободном доступе к воде и корму. Для регистрации ЭКГ крысы, проживающие совместно в одной клетке, помещались в достаточно тесную коробку, что не давало возможности животным интенсивно двигаться, но не ограничивало их в свободном выборе позы. ЭКГ записывали на аппаратно-программном комплексе «Варикард» (ИВНМТ «Рамена», Россия) при помощи миниатюрных электродов-зажимов под местной анестезией лидокаином (0,05 мл 0,5% раствора внутривенно).

Преобразование рядов R-R-интервалов в кардиоинтервалограмму и математическая обработка кардиоинтервалов производились в программе «ИСКИМ6». Точность измерения R-R-интервалов составляла 1 мс. Из любой записи ЭКГ обрабатывали по 300 R-R-интервалов. Рассчитывались частота сердечных сокращений (ЧСС), наиболее часто встречающееся значение кардиоинтервала в анализируемой кардиоинтервалограмме (M_0), разница между максимальным и минимальным значениями в динамическом ряду R-R-интервалов, преобразованных в NN-интервалы кардиоинтервалограммы (ΔX), количество кардиоинтервалов, соответствующих модальному классу, выраженное в процентах от общего объема выборки (AM_0), квадратный корень из среднего квадрата разности значений соседних интервалов R-R, преобразованных в NN-интервалы кардиоинтервалограммы ($RMSSD$), стандартное отклонение от средней для всех R-R интервалов в анализируемом динамическом ряду (SD), индекс вегетативного равновесия (ИВР, отношение AM_0

к ΔX). Индекс напряжения ИН рассчитывали по формуле, в основу которой положена формула Баевского, с учетом ширины класса гистограммы (7,8 мс), по которой определяется AM_0 : $ИН = (AM_0 / (2 \times \Delta X \times M_0)) \times (50/7,8) \times 1000$. Спектральный анализ СР крыс проводили в диапазонах: высокочастотном (HF; 0,9–3,0 Гц), низкочастотном (LF; 0,32–0,9 Гц), сверхнизкочастотном (VLF; 0,17–0,32 Гц). Определяли суммарную мощность спектра (TP, $мс^2$), абсолютные значения мощностей в указанных диапазонах и рассчитывали нормированные мощности спектров (HF%, LF%, VLF%) и IC.

Математический анализ всего массива данных с целью выявления гетерогенности выборки животных по вегетативной регуляции СР проводился методами ранжирования и факторного анализа в операционной среде Statistica 6.0. Информационную значимость параметров ВСР оценивали с помощью энтропии Шеннона по формуле:

$$H_j = \sum p_k \times \ln(1/p_k),$$

где H_j — энтропия Шеннона, p_i — вероятность некоторого события.

Достоверность различий определяли по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследования

Показатели вариационной пульсометрии (ВПМ) и спектрального анализа СР нелинейных крыс характеризуются широким диапазоном изменчивости. Это позволяет предполагать присутствие среди них особей с различной активностью регуляторных механизмов даже в состоянии спокойного бодрствования. Перед проведением анализа разнообразия животных по параметрам ВСР была проведена оценка информационной значимости показателей ВПМ и спектрального анализа. Самой высокой энтропией Шеннона характеризовались нормированные мощности спектра ВСР: HF% — 2,65, LF% — 2,48 и VLF% — 2,78. В сравнении с ними энтропия ЧСС и показателей ВПМ была ниже: ЧСС — 2,24, ΔX — 2,29, ИН — 2,34. По данным литературы [1], оценка вегетативного тонуса организма может проводиться по процентному вкладу каждой из трех колебательных составляющих (HF, LF, VLF) в формирование общей вариативности СР с учетом абсолютной мощности спектров. Допуская возможность такого подхода, на первом этапе анализа мы провели ранжирование данных и выделили 3 группы крыс: 1) с доминированием HF% (> 38%) — группа DHF%; 2) с доминированием LF% (> 38%) — группа DLF%; 3) с доминированием VLF% (> 38%) — группа DVLF%.

Таблица 1

Значения показателей сердечного ритма крыс с доминированием HF%, LF%, VLF% в спектре колебаний RR-интервалов ($M \pm m$)

Показатели СР	Группа с доминированием HF%, n = 96	Группа с доминированием LF%, n = 26	Группа с доминированием VLF%, n = 43
HF%	59,02 ± 1,55	27,18 ± 1,58 ^{*3}	26,46 ± 1,01 ^{*3}
LF%	20,64 ± 0,83	47,63 ± 1,62 ^{*3}	28,33 ± 1,01 ^{*3,*6}
VLF%	20,32 ± 1,00	25,18 ± 1,76 ^{*1}	45,19 ± 0,99 ^{*3,*6}
IC	0,80 ± 0,046	3,15 ± 0,371 ^{*3}	3,11 ± 0,222 ^{*3}
ЧСС, уд/мин	328,2 ± 2,66	343,8 ± 6,40 ^{*2}	340,3 ± 4,52 ^{*1}
Мо, мс	183,9 ± 1,59	176,1 ± 3,07 ^{*2}	178,3 ± 2,61 ^{*1}
ΔX, мс	29,0 ± 1,40	37,3 ± 2,92 ^{*2}	35,9 ± 2,04 ^{*2}
RMSSD, мс	4,8 ± 0,28	4,8 ± 0,39	3,5 ± 0,19 ^{*2,*5}
SD, мс	5,6 ± 0,25	7,4 ± 0,67 ^{*2}	7,5 ± 0,49 ^{*3}
АМо, %	52,9 ± 1,73	43,3 ± 2,64 ^{*2}	42,8 ± 1,88 ^{*3}
ИН, усл. ед.	46,4 ± 4,44	27,3 ± 3,48 ^{*1}	26,82 ± 2,36 ^{*2}
ИБР, усл. ед.	2,56 ± 0,23	1,48 ± 0,19 ^{*2}	1,46 ± 0,13 ^{*2}
TP, мс ²	14,92 ± 1,79	27,94 ± 4,96 ^{*2}	14,53 ± 2,12 ^{*5}
HFабс, мс ²	9,34 ± 1,33	6,71 ± 0,99	3,43 ± 0,42 ^{*2,*6}
LFабс, мс ²	2,98 ± 0,37	13,97 ± 2,79 ^{*3}	4,35 ± 0,76 ^{*6}
VLFабс, мс ²	2,59 ± 0,32	7,26 ± 1,65 ^{*3}	6,74 ± 1,06 ^{*3}

Примечание: достоверность различий рассчитана по t-критерию Стьюдента. ^{*1}— $p < 0,05$, ^{*2}— $p < 0,01$, ^{*3}— $p < 0,001$ по сравнению с ДНФ%; ^{*4}— $p < 0,05$, ^{*5}— $p < 0,01$, ^{*6}— $p < 0,001$ по сравнению с ДLF%. Курсивом выделены показатели, по которым проведена группировка животных.

Средние значения нормированных мощностей спектров и других параметров ВСР в этих группах представлены в **таблице 1**.

Как ожидалось, у наибольшего числа особей (96) при спокойном бодрствовании в формировании вариабельности СР ведущую роль играют волны HF-диапазона, так называемые дыхательные волны [2, 3, 6, 9]. ВСР наименьшего числа животных (26) в тех же условиях преимущественно определяется периодичностью сосудодвигательных реакций, участвующих в формировании волн LF. У этих крыс в системе управления водителем ритма сердца доминирующую роль играет сердечно-сосудистый центр продолговатого мозга, который в тесном взаимодействии с дыхательным центром обеспечивает внутрисистемный гомеостаз кардиореспираторной системы организма и характеризуется как уровень в центрального контура регуляции [1–3]. Наконец, средняя по численности группа (43 особи) объединила животных, чья ВСР определяется волнами VLF, происхождение которых связывают с активностью надсегментарных эрготропных структур [1, 3]. Согласно концепции Баевского, высокая мощность VLF отражает высокую активность центрального контура регуляции, а точнее, его межсистемного уровня Б.

Таким образом, в состоянии спокойного бодрствования регуляция СР крыс осуществляется с различной степенью участия уровней ЦНС. Ритм сокращений сердца может быть преимущественно сопряжен с 1) дыхательными движениями, 2) сосудистыми реакциями и колебаниями артериального давления, 3) регуляцией температуры тела, либо с колебаниями тонуса скелетных мышц, либо с эмоциональными реакциями, которые осуществляются с участием надсегментарных структур. Такая трактовка дана в соответствии с представлениями о природе высокочастотных и медленных волн СР [1–3], хотя нельзя забывать, что происхождение колебаний в диапазонах LF и VLF еще остается дискуссионным [1, 3, 8–10].

Несмотря на достаточно показательные различия практически по всем параметрам СР между выделенными группами (**табл. 1**), делать заключение о преобладании симпатических или парасимпатических влияний на сердце, учитывая только долю участия HF, LF и VLF в формировании общей вариабельности СР, на наш взгляд, не обосновано. Считается, что дыхательные волны СР (HF-диапазон) имеют парасимпатическую природу [1–3, 9], однако крысы в группе ДНФ% имеют самые высокие

значения показателей симпатических влияний (АМо, ИН), а также самые низкие показатели общей вариабельности СР (ΔX и SD). Хотя у животных с ДНФ% ЧСС в среднем ниже, чем в двух других группах, но показатели парасимпатических влияний (RMSSD и HFaбс) близки к таковым в группе ДЛФ%. Все это не позволяет говорить о выраженном преобладании парасимпатических влияний в регуляции СР у животных с высокой долей HF в спектре ВСР. Также сложно утверждать, что для животных с доминированием VLF% характерна выраженная симпатикотония, поскольку АМо, ИН в группе ДVLF% невысоки, ИВР близок к 1, значительно выражена общая вариабельность СР (табл. 1).

Следовательно, нормированные мощности спектра ВСР позволяют характеризовать только ту сторону регуляторного процесса, которая связана с уровнями системы управления СР. Для характеристики вегетативного статуса возможно применение и показателей ВПМ. Однако это приемлемо при анализе коротких отрезков ЭКГ (50–100 кардиоинтервалов). Одна из причин состоит в том, что с увеличением длительности анализируемого фрагмента значения ΔX определяются не столько высокочастотными, сколько медленными волнами ВСР [11], это не позволяет трактовать его как показатель парасимпатических влияний. Поэтому была проанализирована возможность применения абсолютных мощностей волн спектральных диапазонов для характери-

стики симпато-парасимпатических отношений, поскольку при высокой доле волн той или иной частоты в суммарной мощности колебаний абсолютная мощность этих волн и всего спектра ВСР может быть низкой, средней или высокой.

Для решения вопроса о связях между показателями ВПМ и спектрального анализа параметры ВСР (ЧСС, Мо, ΔX , RMSSD, SD, АМо, TP, HFaбс, LFaбс, VLFaбс) каждой из выделенных нами групп (ДНФ%, ДЛФ%, ДVLF%) были подвергнуты факторному анализу с использованием ортогонального вращения по методу Varimax. Во всех трех группах нами выделены по 2 фактора (табл. 2), причем связи показателей ВСР с F1 и F2 в основном идентичны.

Согласно сути факторного анализа, факторные нагрузки отдельных переменных (показателей ВСР) представляют корреляции между переменными и факторами. О тесных связях показателей ВПМ с абсолютными мощностями волн всех частот спектра ВСР свидетельствует то, что все они имеют сильные корреляции с F1. Основываясь на известных физиологических трактовках показателей ВПМ, мы определили F1 как фактор ваго-симпатического баланса. С F2 сильные связи образуют ЧСС и Мо кардиоинтервалов (табл. 2). Положительная связь F2 с Мо позволяет интерпретировать его как фактор гуморальной регуляции.

Поскольку показатели ВПМ тесно коррелируют с абсолютными мощностями спектров ВСР всех частот и образуют с ними один фактор, а вариабельность R-R-интервалов

Таблица 2

Матрицы факторного анализа по показателям вариационной пульсометрии и абсолютной мощности спектров

Группа ДНФ%			Группа ДЛФ%			Группа ДVLF%		
	F1	F2		F1	F2		F1	F2
ЧСС	-0,184327	-0,970354	ЧСС	-0,066053	-0,989238	ЧСС	-0,130297	-0,966670
Мо	0,177990	0,969389	Мо	0,068076	0,969542	Мо	0,218988	0,952759
ΔX	0,893505	0,259388	ΔX	0,916423	0,068040	ΔX	0,931898	0,127444
RMSSD	0,809857	0,387966	RMSSD	0,831337	0,392513	RMSSD	0,768376	0,513798
SDNN	0,884224	0,250488	SDNN	0,946977	-0,081583	SDNN	0,889528	0,057989
Амо	-0,734707	-0,346432	Амо	-0,918595	0,000730	Амо	-0,864915	-0,100215
TP	0,917313	0,184526	TP	0,969830	0,118949	TP	0,873490	0,380837
HFaбс	0,778350	0,237470	HFaбс	0,814440	0,323550	HFaбс	0,725132	0,494601
LFaбс	0,906412	0,037922	LFaбс	0,920932	0,084960	LFaбс	0,861672	0,226023
VLFaбс	0,840120	0,003205	VLFaбс	0,870885	0,019613	VLFaбс	0,834329	0,400177
Expl.Var	5,816198	2,373750	Expl.Var	6,490971	2,210393	Expl.Var	5,790491	2,736733
Prp.Totl	0,581620	0,237375	Prp.Totl	0,649097	0,221039	Prp.Totl	0,579049	0,273673

Примечание: значимыми считали факторные нагрузки показателей ВСР при $P > 0,50$ (выделены курсивом); «Expl.Var» — общая дисперсия фактора, «Prp.Totl» — доля общей дисперсии.

Таблица 3

Показатели ВСП у крыс с низкой, средней и высокой абсолютной мощностью волн доминирующих частотных диапазонов (HF, LF, VLF)

Группа	Показатели ВСП	Низкая мощность спектра	Средняя мощность спектра	Высокая мощность спектра
ДНФ%		HF 0–3,5 мс ² , n = 40	HF 3,5–10 мс ² , n = 32	HF > 10 мс ² , n = 24
	ЧСС, уд/мин	343,3 ± 3,7	321,0 ± 3,1 ^{*3}	312,5 ± 5,5 ^{*3}
	Мо, мс	175,5 ± 2,0	187,0 ± 1,8 ^{*3}	193,6 ± 3,8 ^{*3}
	ΔХ, мс	18,8 ± 0,9	30,3 ± 1,7 ^{*3}	44,5 ± 2,6 ^{*3,*6}
	RMSSD, мс	2,6 ± 0,1	4,8 ± 0,2 ^{*3}	8,7 ± 0,5 ^{*3,*6}
	SD, мс	3,7 ± 0,2	6,0 ± 0,4 ^{*3}	8,3 ± 0,4 ^{*3,*6}
	АМо, %	65,9 ± 2,3	47,7 ± 1,9 ^{*3}	38,1 ± 1,9 ^{*3,*6}
	ИН, отн. ед.	76,6 ± 8,2	31,1 ± 2,7 ^{*3}	16,4 ± 1,9 ^{*3,*6}
	ИБР, отн. ед.	4,1 ± 0,4	1,8 ± 0,2 ^{*3}	0,9 ± 0,1 ^{*3,*6}
	ТР, мс ²	3,5 ± 0,26	11,5 ± 0,81 ^{*3}	38,4 ± 4,22 ^{*3,*6}
	НФабс, мс ²	1,9 ± 0,14	6,2 ± 0,33 ^{*3}	25,8 ± 3,54 ^{*3,*6}
	ЛФабс, мс ²	0,7 ± 0,08	2,6 ± 0,31 ^{*3}	7,2 ± 0,99 ^{*3,*6}
	ВЛФабс, мс ²	0,8 ± 0,08	2,7 ± 0,34 ^{*3}	5,4 ± 0,97 ^{*3,*5}
ДЛФ%		LF 0–6 мс ² , n = 11	LF 6–15 мс ² , n = 7	LF > 15 мс ² , n = 8
	ЧСС, уд/мин	351,2 ± 11,4	338,8 ± 12,8	337,4 ± 9,0
	Мо, мс	172,9 ± 5,5	177,5 ± 7,1	177,5 ± 3,7
	ΔХ, мс	25,6 ± 2,2	38,4 ± 2,5 ^{*2}	52,3 ± 4,9 ^{*3,*4}
	RMSSD, мс	3,2 ± 0,3	4,7 ± 0,3 ^{*2}	7,1 ± 0,5 ^{*3,*5}
	SD, мс	5,2 ± 0,5	6,8 ± 0,5 ^{*1}	11 ± 1,2 ^{*3,*5}
	АМо, %	53,4 ± 0,4	44,8 ± 1,8 ^{*3}	28,3 ± 2,6 ^{*3,*6}
	ИН, отн. ед.	42,7 ± 4,8	21,8 ± 2,4 ^{*2}	10,8 ± 1,7 ^{*3,*5}
	ИБР, отн. ед.	2,3 ± 0,3	1,2 ± 0,09 ^{*1}	0,6 ± 0,09 ^{*3,*6}
	ТР, мс ²	9,2 ± 0,68	20,2 ± 2,05 ^{*3}	60,4 ± 7,43 ^{*3,*6}
	НФабс, мс ²	2,7 ± 0,33	6,2 ± 0,90 ^{*3}	12,6 ± 1,49 ^{*3,*5}
	ЛФабс, мс ²	4,1 ± 0,33	9,7 ± 1,08 ^{*3}	31,2 ± 5,04 ^{*3,*5}
	ВЛФабс, мс ²	2,4 ± 0,21	4,3 ± 0,69 ^{*2}	16,5 ± 3,64 ^{*3,*5}
ДВЛФ%		VLF 0–3,5 мс ² , n = 15	VLF 3,5–8 мс ² , n = 17	VLF > 8 мс ² , n = 11
	ЧСС, уд/мин	352,2 ± 4,8	343,7 ± 6,7	318,7 ± 10,6 ^{*2,*4}
	Мо, мс	170,8 ± 2,4	176,5 ± 3,4	191,3 ± 6,8 ^{*2,*4}
	ΔХ, мс	26,5 ± 2,3	35,2 ± 1,9 ^{*2}	49,7 ± 4,2 ^{*3,*5}
	RMSSD, мс	2,5 ± 0,1	3,4 ± 0,1 ^{*3}	5,2 ± 0,4 ^{*3,*6}
	SD, мс	5,6 ± 0,7	7,5 ± 0,6 ^{*1}	10,0 ± 1,0 ^{*3,*4}
	АМо, %	51,8 ± 2,4	42,6 ± 2,5 ^{*1}	31,0 ± 2,6 ^{*3,*5}
	ИН, отн. ед.	40,5 ± 3,6	23,8 ± 2,3 ^{*3}	12,7 ± 2,7 ^{*3,*5}
	ИБР, отн. ед.	2,2 ± 0,2	1,3 ± 0,1 ^{*3}	0,7 ± 0,1 ^{*3,*6}
	ТР, мс ²	5,1 ± 0,34	11,4 ± 0,71 ^{*3}	32,2 ± 5,27 ^{*3,*6}
	НФабс, мс ²	1,5 ± 0,12	2,9 ± 0,27 ^{*3}	6,7 ± 1,07 ^{*3,*6}
	ЛФабс, мс ²	1,4 ± 0,13	3,3 ± 0,22 ^{*3}	10,1 ± 2,19 ^{*3,*6}
	ВЛФабс, мс ²	2,2 ± 0,16	5,2 ± 0,33 ^{*3}	15,4 ± 2,75 ^{*3,*6}

Примечание: достоверность различий: ^{*1}—p < 0,05; ^{*2}—p < 0,01, ^{*3}—p < 0,001 по сравнению с подгруппой низкой мощности спектра; ^{*4}—p < 0,05, ^{*5}—p < 0,01, ^{*6}—p < 0,001 по сравнению с подгруппой средней мощности спектра (сравнения проведены только внутри групп ДНФ%, ДЛФ%, ДВЛФ%).

в группах ДНФ%, ДЛФ%, ДВЛФ% определяется в первую очередь мощностью волн той части спектра, которая является доминирующей, мы провели ранжирование животных по схеме: в группе ДНФ% — по НФаБс, в группе ДЛФ% — по ЛФаБс и в группе ДВЛФ% — соответственно по ВЛФаБс. По результатам ранжирования в каждом случае удалось выделить по 3 подгруппы с низкой, средней и высокой мощностью колебаний в соответствующей области спектра ВСР (табл. 3). Выделенные подгруппы мы сравнили не только по параметрам, на основе которых был проведен факторный анализ, но и по другим показателям, в частности ИН и ИВР.

Из таблицы 3 видно, что самые низкие значения показателей общей вариабельности СР (ΔX , SD), парасимпатических влияний (RMSSD) и высокие значения АМо, ИН и ИВР характерны для крыс с низкой мощностью волн в доминирующей части спектра ВСР. Соответственно самые высокие значения показателей RMSSD, SD, ΔX и низкие АМо, ИН, ИВР выявляются в подгруппах с высокой мощностью волн доминирующего диапазона. Нужно отметить, несмотря на то, что группировка проведена по абсолютным мощностям волн только доминирующих областей спектра, выделенные подгруппы различаются по мощности волн всех частотных диапазонов и суммарной мощности колебаний (ТР). То есть при низкой амплитуде волн в доминирующей

части спектра с высокой долей вероятности ($p < 0,01$ и $p < 0,001$) можно ожидать низкой мощности колебаний и на других частотах. Аналогичная зависимость наблюдается при средней и высокой абсолютной мощности колебаний в доминирующей части спектра. Это позволяет предположить, что на амплитуду волн всех частотных диапазонов спектра ВСР влияют как симпатический, так и парасимпатический отделы вегетативной нервной системы, и по мощности волн можно судить только об относительном преобладании симпатических или парасимпатических влияний. По-видимому, усиление симпатoadренальных влияний вызывает наряду с ростом ЧСС снижение мощности всех волн спектра ВСР, делая ритм сердца ригидным, а повышение активности вагусного канала регуляции снижает ЧСС и повышает мощность спектра ВСР.

При обобщении результатов проведенного анализа мы применили терминологию, используемую для характеристики вегетативного баланса организма [8]. Среди животных с доминированием НФ в спектре наиболее высок процент симпатотоников с ригидным ритмом сердца (41,6%), а ваготоников — только 25%; среди крыс с преобладанием ЛФ доля ваготоников больше — 30,7%, а симпатотонии можно характеризовать только как умеренную (у 42% особей); в случае доминирования VLF парасимпатические влияния

Таблица 4
Варианты регуляции сердечного ритма нелинейных крыс по параметрам спектрального анализа ВСР

Абсолютные мощности спектров ВСР		Доминирование НФ% (дыхательная аритмия), n = 96	Доминирование ЛФ% (высокая активность сосудодвигательного центра), n = 26	Доминирование VLF% (высокая активность надсегментарных структур), n = 43
Низкая мощность доминирующих волн	НФ	Симпатотония (41,7%)		
	ЛФ		Умеренная симпатотония (42,3%)	
	VLF			Симпатотония (34,9%)
Средняя мощность доминирующих волн	НФ	Вегетативный баланс (33,3%)		
	ЛФ		Вегетативный баланс (27%)	
	VLF			Напряженный вегетативный баланс (39,5%)
Высокая мощность доминирующих волн	НФ	Ваготония (25%)		
	ЛФ		Ваготония (30,7%)	
	VLF			Умеренная ваготония (25,6%)

Примечание: проценты указывают долю животных с соответствующим вегетативным состоянием от общего числа особей в группах ДНФ%, ДЛФ%, ДВЛФ%.

в целом выражены слабее, 25,6% животных умеренную ваготонию, симпатотония характерна для 34,9% особей (табл. 3 и 4).

Таким образом, исследование показало, что при анализе фрагментов ЭКГ из 300 (возможно до 500) кардиоинтервалов оценку нейровегетативного состояния организма можно дать на основе нормированных и абсолютных мощностей спектров ВСР. Нормированные мощности спектральных диапазонов указывают на то, какой из центральных уровней нервной регуляции наиболее активно вовлечен в управление. По абсолютным мощностям волн можно оценить относительное участие симпатического и парасимпатического каналов в реализации центральных влияний на уровне сердца. Результаты анализа позволяют предполагать, что, во-первых, в формировании волн ВСР всех частот вовлечены как симпатoadреналовые, так и парасимпатические вегетативные влияния, их преобладающие или сбалансированные отношения определяют амплитуду волн СР; во-вторых, влияния каждого из центральных уровней регуляции могут реализовываться преимущественно через активность парасимпатического, либо симпатического каналов, либо при относительном симпато-парасимпатическом равновесии. Описанный подход к анализу параметров ВСР выявил гетерогенность нелинейных крыс по нейровегетативному состоянию в условиях спокойного бодрствования. Установлено, что животные различаются как по активности центральных уровней, так и по активности симпатического и парасимпатического каналов регуляции ритма сердца. При наличии оборудования для регистрации и анализа ВСР этот подход может позволить более обоснованно формировать экспериментальные группы животных, отслеживать изменение функционального состояния организма в опытных условиях.

Работа поддержана грантом Министерства образования и науки РФ по программе «Развитие научного потенциала высшей школы».

Литература

1. Соловьева А.Д., Данилов А.Б., Хаспекова Н.Б. Методы исследования вегетативной нервной системы // Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение. Под ред. А.М. Вейна. М.: МИА, 2003. 44–102.
2. Solovjeva A.D., Danilov A.B., Haspekova N.B. Method of research of vegetative nervous system // Vegetative frustration: Clinic, diagnostics, treatment. Ed. A.M. Vane. M.: MIA, 2003. 44–102.
3. Коркушко О.В., Шатило В.Б., Писарук А.В. и др. Анализ variability ритма сердца в клинической практике: 25-летний опыт изучения // <http://www.hrvcongress.org/second/pdf>
4. Korkushko O.V., Shatilo V.B., Pissaruk A.V. et al. The analysis of heart rhythm variability in clinical practice: 25-years experience of studying // <http://www.hrvcongress.org/second/pdf>
5. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: методические рекомендации // Вестник аритмологии. 2001. (24). 1–23.
6. Baevsky R.M., Ivanov G.G., Chirejkin L.V. et al. The analysis of variability of an intimate rhythm at use various electrocardiographyc systems: methodical recommendations // Vestnik aritmologii. 2001. 2001. (24). 1–23.
7. Сорокин О.В., Маркова Е.В., Труфакин С.В. и др. Факторный анализ параметров вегетативной регуляции сердечного ритма детей // Бюлл. СО РАМН. 2004. 111. (1). 32–39.
8. Sorokin O.V., Markova E.V., Trufakin S.V. et al. The factorial analysis of vegetative regulation parameters of children heart rate variability // Bull. SO RAMN. 2004. 111. (1). 32–39.
9. Надареишвили К.Ш., Месхишвили И.И., Кахиани Д.Д. и др. Действие малых доз этанола на сердечный ритм кроликов // Бюлл. эксп. биол. и мед. 2004. 138. (9). 306–310.
10. Nadareishvili K.S., Meshishvili I.I., Kahiani D.D. et al. Action of small dozes of ethanol on an intimate rhythm of rabbits // Bull. eksp. biol. i med. 2004. 2004. 138. (9). 306–310.
11. Черникова А.Г., Баевский Р.М. Математические модели функционального состояния организма на основе анализа variability сердечного ритма // Variability сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение. Тез. докл. междунар. симп. Ижевск: Изд. Удм. ун-та, 2003. 185–186.
12. Tchernikova A.G., Baevsky R.M. Mathematical of model of a functional condition of an organism on the basis of the analysis of heart rate variability // The heart rate variability: Theoretical aspects and practical application. Abstr. Int. Symp. Izhevsk: Izd. Udm. un-ta, 2003. 185–186.
13. Машин В.А., Машина М.Н. Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей variability сердечного ритма // Рос. физиол. журн. 2004. 90. (12). 1508–1521.
14. Mashin V.A., Mashina M.N. Classification of functional conditions and diagnostics psychoemotional stability on the basis of factorial structure of parameters of heart rate variability // Ros. fiziol. zhurn. 2004. 90. (12). 1508–1521.
15. Inagaki H., Kuwahara M., Tsubone H. Changes in autonomic control of heart associated with classical appetitive conditioning in rats // Exp. Anim. 2005. 54. (1). 61–69.
16. Кириллина Т.Н., Усачева М.А., Белкина Л.М. Особенности нейровегетативной регуляции у крыс с разной устойчивостью к стрессу, оцениваемые по variability параметров гемодинамики // Бюлл. эксп. биол. и мед. 2006. 142. (10). 376–381.

- Kirillina T.N., Usachyova M.A., Belkina L.M. Feature neurovegetative regulation at rats with different stability to the stress, estimated on variability hemodynamics parameter // Bull. exp. biol. i med. 2006. 142. (10). 376–381.
10. Murphy C.A., Sloan B.P., Myers M.M. Pharmacologic responses and spectral analyses of spontaneous fluctuations in heart rate and blood pressure in SHR rats // J. Auton. Nerv. Syst. 1991. 36. (3). 237–250.
11. Игошева Н.Б., Павлов А.Н., Анищенко Т.Г. Методы анализа сердечного ритма. Саратов: Колледж, 2001. 120 с.
- Igosheva N.B., Pavlov A.N., Anishchenko T.G. Methods of the cardiac rhythm analysis. Saratov: Kollege, 2001. 120 p.

TO A QUESTION ON APPLICATION OF SPECTRAL AND STATISTICAL PARAMETERS OF HEART RATE VARIABILITY FOR AN ESTIMATION NEUROVEGETATIVE CONDITIONS OF AN ORGANISM IN EXPERIMENT

Eugenia Vladimirovna KURIAYNOVA

Natural institute of the Astrakhan State University
1, Shaumyan str., Astrakhan, 414000

With application of methods of ranging and the factorial analysis of parameters statistic and the spectral analysis of variability of an heart rhythm of nonlinear rats it is shown, that at the analysis of pieces of an electrocardiogram (300 and to 500 RR-intervals) the normalized capacities of spectral ranges specify what from the central levels of nervous regulation is most actively involved in management, and on absolute capacities of waves it is possible to estimate relative participation sympathetic and parasympathetic channels in realization of the central influences at a level of heart. A variety of animals both on activity of the central levels, and on activity sympathetic and parasympathetic channels of regulation of a rhythm of heart is established. At presence of the equipment for registration and analysis HVR this approach will allow more proved to form experimental groups of animals. The assumption, the prevailing or balanced relations sympathetic is put forward and parasympathetic influences define amplitude of waves of all frequencies of an heart rhythm.

Keywords: variability of the heart rhythm, the normalized capacities of a spectrum, absolute capacities of a spectrum, vegetative regulation, a neurovegetative condition.

Kurjanova E.V. — candidat Biol. Science, the senior lecturer of faculty of physiology and morphology human and animals of the Astrakhan state university. Area of scientific interests: vegetative regulation of functions of heart and peroxidation processes in norm and at modeling various functional conditions of an organism, e-mail: fyzevk@rambler.ru