

**УДК 612.014**

## **ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ВЕГЕТАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕРДЦЕМ У ИСПЫТУЕМЫХ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ**

***Чуян Е.Н., Бирюкова Е.А., Раваева М.Ю., Никифоров И.Р.***

Статья посвящена оценке особенностей системы вегетативного управления ритмом сердца у испытуемых с различным типом вегетативной регуляции. У испытуемых-симпатотоников методами статистического, геометрического, вариационного, спектрального и автокорреляционного анализов показано преобладание центрального контура регуляции и снижение адаптационных возможностей. У ваготоников – минимальная централизация управления сердечным ритмом, максимальное влияние автономного контура регуляции, высокая активация парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, что свидетельствует о высоких адаптационных возможностях и значительных функциональных резервах сердечно-сосудистой системы у испытуемых данной группы.

**Ключевые слова:** вариабельность ритма сердца, нормотоники, симпатотоники, ваготоники, система вегетативного управления ритмом сердца.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что ритм сердца – это универсальная реакция организма на любое воздействие со стороны внешней и внутренней среды. Он содержит в себе информацию о функциональном состоянии всех звеньев регулирования жизнедеятельности человека как в норме, так и при различных патологиях [1]. Анализ вариабельности (изменчивости) ритма сердца (ВСР) может быть применен для оценки функционального состояния вегетативной нервной системы (ВНС) (так называемого симпато-вагусного баланса) и всего организма в целом. В формировании структуры ВСР участвует сложный многоуровневый комплекс различных регуляторных структур с большим количеством внутренних связей, который можно условно объединить в понятие функциональной системы вегетативного управления сердцем (СВУС). Механизмы регуляции сердечной функции, опосредуемые влияниями ВНС, модулируются множеством различных внешних влияний (дыхание, физическая нагрузка, изменение положения тела, психоэмоциональная сфера и т.д.) [2]. Подобная система управления обеспечивает адекватную адаптацию функций сердца к различным состояниям [3], а изучение данных адаптационных процессов при различных функциональных состояниях возможно с использованием ВСР [4].

Наши предыдущие исследования [5] показали высокую эффективность применения системы комплексного компьютерного исследования «Омега-М», основанной на анализе ВСР, для оценки тонуса ВНС. В результате, все испытуемые были разделены на 3 группы: нормотоники, ваготоники и симпатотоники.

Однако остаются неизученными особенности СВУС у испытуемых с разным типом ВНС, что и явилось целью нашего исследования.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 93 студента-волонтера женского пола в возрасте 20-25 лет, условно здоровых, без признаков сердечно-сосудистой и дыхательной патологии. Все испытуемые по индексу напряженности (ИН) [1, 4] были разделены на 3 группы: нормотоники – 56% ( $50 \leq \text{ИН} \leq 200$  усл.ед.;  $n = 53$  чел.), ваготоники – 27% ( $\text{ИН} \leq 50$  усл.ед.;  $n = 25$  чел.) и симпатотоники – 17% ( $\text{ИН} \geq 200$  усл.ед.;  $n = 15$  чел.).

Исследование проводилось в утренние часы, что позволило исключить влияние суточных колебаний ВСП на результаты исследования [6], в тихом, хорошо проветриваемом помещении с постоянной температурой  $+20 - +22$   $^{\circ}\text{C}$ . Перед началом исследования испытуемым давали время расслабиться, успокоиться. Работу начинали с регистрации ЭКГ сигнала в первом стандартном отведении с помощью системы комплексного компьютерного исследования функционального состояния человека «Омега-М» (производство научно-исследовательской лаборатории «Динамика», г. Санкт-Петербург). Теоретическую основу технологии составляют представления об информационной взаимосвязи клеток, органов и систем органов, обеспечиваемых не только регуляторными системами, но и биоритмами всех структур организма [7]. Регистрацию проводили в положении лежа при спокойном дыхании в течение 3-5 минут, то есть времени, необходимого для набора 300 кардиокомплексов.

Для реализации поставленной цели были использованы основные методы анализа ВСП: статистический, геометрический, спектральный, нелинейный, вариационной пульсометрии (в системе оценок, рекомендуемых стандартами Европейского Кардиологического Общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии [8] (табл. 1).

Таблица 1.

Основные методы анализа ВСП

№ пп	Краткие обозначения	Показатели	Физиологическая интерпретация
Статистические методы			
1	2	3	4
1	ЧСС, HR	Частота сердечных сокращений (уд/мин)	Число сокращений сердечной мышцы за 1 минуту [1, 4, 9]
2	SDNN, СКО	Средне квадратичное отклонение полного массива кардиоинтервалов (мс)	Суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения [8]
3	RMSSD	Квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (мс)	Активность парасимпатического звена вегетативной регуляции [8, 10]

**ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ВЕГЕТАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕРДЦЕМ**

*Продолжение таблицы 1.*

1	2	3	4
4	pNN50	Число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов в массиве (n)	Показатель степени преобладания парасимпатического звена регуляции над симпатическим [8, 10]
<b>Геометрические методы</b>			
5	Mo	Мода – наиболее часто встречающееся значение R-R (мс)	Соответствуют наиболее вероятному для данного периода времени уровню функционирования систем регуляции [8, 10]
6	AMo	Амплитуда моды – количество R-R, соответствующих значению моды (n)	Условный показатель активности симпатического звена регуляции [1, 4, 8, 10]
7	Dx	Вариационный размах – разница между наименьшим и наибольшим значениями R-R (мс)	Условный показатель активности парасимпатического звена регуляции [1, 4, 8, 10]
<b>Методы вариационной пульсометрии</b>			
8	ИВР	Индекс вегетативного равновесия	Соотношение вклада симпатической и парасимпатической систем в регуляцию сердечной деятельности [4]
9	ВПР	Вегетативный показатель ритма	Показатель вегетативного баланса организма [4]
10	ПАПР	Показатель адекватности процессов регуляции	Степень преобладания автономного контура регуляции над центральным [4]
11	Si, ИН	Индекс напряжения регуляторных систем	Степень преобладания симпатических влияний над парасимпатическими [4]
<b>Методы спектрального анализа</b>			
12	TP, TOTAL	Суммарная мощность спектра ВСР (мс <sup>2</sup> )	Суммарный абсолютный уровень активности регуляторных систем [8, 9]
13	HF, (%)	Мощность спектра высокочастотного компонента variability (в % от суммарной мощности колебаний)	Относительный уровень активности парасимпатического звена регуляции [8, 9]

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	
14	LF, (%)	Мощность спектра низкочастотного компонента variability (в % от суммарной мощности колебаний)	Относительный уровень активности вазомоторного центра [8, 9]	
15	VLF, (%)	Мощность спектра очень низкочастотного компонента variability (в % от суммарной мощности колебаний)	Степень центральных влияний на сердечный ритм [8, 9]	
16	LF/HF	Отношение средних значений низкочастотного и высокочастотного компонента ВСР	Относительное преобладание симпатического или парасимпатического звена ВНС [8, 9]	
17	ИЦ	Индекс централизации	Степень централизации управления ритмом сердца (преобладание активности центрального контура регуляции над автономным) [8, 9]	
Методы автокорреляционного анализа				
18	1k	Коэффициент корреляции после первого сдвига автокорреляционной функции	Степень активности автономного контура регуляции [7, 11]	
19	m0	Число сдвигов автокорреляционной функции до получения значения отрицательного коэффициента корреляции	Степень активности центрального контура регуляции [7, 11]	
Интегральные показатели функционального состояния организма				
25	ПАРС	Показатель активности регуляторных систем (баллы)	Комплексная оценка variability сердечного ритма дается в пяти вариантах градации от оптимального до неудовлетворительного состояния:	
			Значение ПАРС в баллах	Оценка степени напряжения регуляторных систем
			1 - 2	Норма (оптимальный уровень напряжения регуляторных систем)
			3 - 4	Умеренное функциональное напряжение
			5 - 6	Выраженное функциональное напряжение
			7 - 8	Состояние перенапряжения регуляторных механизмов
			9 - 10	Состояние истощения регуляторных систем, явления астенизации, срыв адаптации [4]

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета программ «Омега-М» и «Статистика-6.0». Корреляционные связи между показателями оценивались на основе коэффициента корреляции Пирсона.

Для изучения интегральных характеристик показателей использовали кластерный анализ, который является многомерным статистическим методом, служит адекватным инструментом оценки многокомпонентных реакций организма и позволяет находить скрытые связи как внутри функциональных систем, так и между ними [12]. Достоверность различий полученных данных определяли с помощью t-критерия Стьюдента. Достоверность различий между процентными долями изученных показателей определяли с помощью углового преобразования Фишера (критерий  $\phi^*$ ).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование методов временного анализа, основанных на оценке изменений длительности последовательных интервалов R-R между нормальными синусовыми кардиоциклами, позволило выявить отличия статистических характеристик у испытуемых выделенных групп (табл. 2).

**Таблица 2.**

**Данные статистического анализа динамического ряда кардиоинтервалов у  
испытуемых выделенных групп ( $\bar{x} \pm S \bar{x}$ )**

Показатель	Группы испытуемых		
	Нормотоники (I) n=53	Ваготоники (II) n=25	Симпатотоники (III) n=15
ЧСС (HR), уд/мин	76,9±1,2 $p_{II}<0,001$ $p_{III}<0,001$	69,5±1,4 $p_I<0,001$ $p_{III}<0,001$	90,9±2,3 $p_I<0,001$ $p_{II}<0,001$
СКО, SDNN, мс	46,78±1,51 $p_{II}<0,001$ $p_{III}<0,001$	71,20±2,38 $p_{II}<0,001$ $p_{III}<0,001$	25,81±2,31 $p_I<0,001$ $p_{II}<0,001$
RMSSD, мс	36,81±1,49 $p_{II}<0,001$ $p_{III}<0,001$	64,50±4,19 $p_I<0,001$ $p_{III}<0,001$	17,25±2,16 $p_I<0,001$ $p_{II}<0,001$
pNN50, %	16,43±1,55 $p_{II}<0,001$ $p_{III}<0,001$	38,38±3,48 $p_I<0,001$ $p_{III}<0,001$	0,76±0,24 $p_I<0,001$ $p_{II}<0,001$

Примечание:  $p_{I-III}$  — достоверность по критерию Стьюдента при сравнении значений в группах испытуемых, обозначенных I-III соответственно.

У испытуемых-симпатотоников значения ЧСС (HR) были на 10% выше ( $p<0,001$ ), а у ваготоников на 30% ниже ( $p<0,001$ ), чем нормотоников.

Известно [4], что ЧСС является маркером влияния ВНС на общее состояние не только сердечно-сосудистой системы (ССС), но и всего организма в целом, поскольку симпатическая активация ускоряет атриовентрикулярную проводимость и повышает ЧСС, в то время как парасимпатическая активность, наоборот, замедляет атриовентрикулярную проводимость, снижая ЧСС.

Противоположную тенденцию регистрировали в отношении других показателей статистического анализа, в частности СКО, RMSSD и pNN50. Так, у ваготоников были зафиксированы наибольшие, а у симпатотоников – наименьшие значения этих показателей (табл. 2).

СКО – это суммарный показатель variability величин интервалов RR за весь рассматриваемый период, характеризующий ВСР в целом [10]. Как правило, рост СКО указывает на усиление автономной регуляции, а его уменьшение связано с усилением симпатической регуляции, которая подавляет активность автономного контура.

Значения показателя RMSSD вычисляются по динамическому ряду разностей значений последовательных пар кардиоинтервалов и не содержат медленноволновых составляющих сердечного ритма [8]. Поэтому, чем выше активность симпатического отдела ВНС, тем меньше разница между кардиоинтервалами, а, следовательно, ниже значение RMSSD. Рост этого показателя, наоборот, указывает на увеличение активности парасимпатической системы.

Показатель pNN50 дает информацию, аналогичную RMSSD, но поскольку при его вычислении учитываются лишь разностные значения RR, величина которых выше, чем 50 мс, то этот показатель более чувствителен к высокочастотным, дыхательным колебаниям сердечного ритма и, следовательно, лучше отражает активность автономного контура регуляции. По значениям pNN50 и RMSSD судят об относительном преобладании парасимпатического или симпатического звена регуляции [8, 10].

Таким образом, значительное снижение СКО, RMSSD и pNN50 и увеличение ЧСС у симпатотоников по сравнению со значениями этих показателей у испытуемых других групп, может быть обусловлено напряжением регуляторных систем в связи с высокой активацией симпатического отдела ВНС, когда в процесс регуляции включаются высшие уровни управления ССС, что ведет к почти полному подавлению активности автономного контура регуляции. Низкие значения ЧСС и высокие значения остальных изученных показателей статистического анализа у испытуемых-ваготоников, обусловленные преобладанием активности парасимпатического отдела ВНС, могут свидетельствовать об оптимальной регуляции физиологических функций.

Использование геометрических методов анализа ВСР позволило подтвердить эти данные (рис. 1).

Выявлено, что у испытуемых-нормотоников преобладал первый тип гистограмм, который характеризуется распределением величин интервалов RR, близким к нормальному (рис. 1-А) и обычно регистрируется в покое у здоровых испытуемых [4]. У ваготоников был зарегистрирован второй тип гистограмм, который характеризуется широким основанием и уплощенной вершиной (рис. 1-Б) и указывает на относительно слабую централизацию управления сердечным ритмом и преобладание автономного контура регуляции [1, 4]. У симпатотоников – третий тип, который отличается узким основанием и заостренной вершиной (рис. 1-В), а, следовательно, указывает на избыточность симпатических влияний, что регистрируется чаще всего при стрессе и патологических состояниях [1, 4].

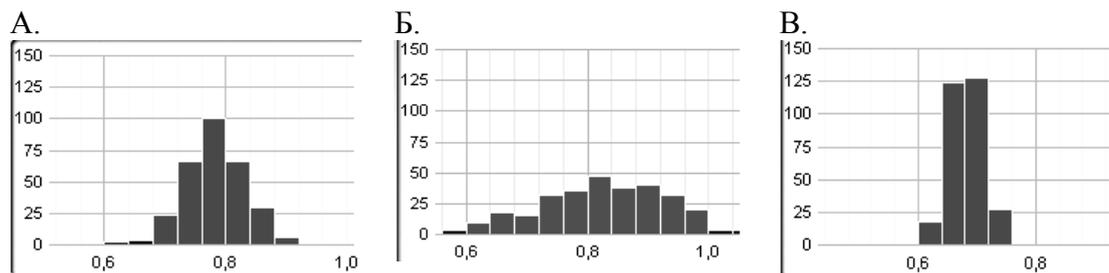


Рис. 1. Типы гистограмм распределения R-R интервалов: А – 1 тип, Б – 2 тип, В – 3 тип гистограмм.

Примечание: По оси абсцисс – длина RR интервала (с), по оси ординат – количество интервалов.

Полученные данные подтверждаются и анализом численных характеристик формы гистограмм у испытуемых выделенных групп (табл. 3).

Таблица 3.

Показатели формы гистограмм у испытуемых выделенных групп ( $\bar{x} \pm S \bar{x}$ )

Показатель	Группы испытуемых		
	Нормотоники (I) n=53	Ваготоники (II) n=25	Симпатотоники (III) n=15
Mo, мс	761,54±14,32 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>III</sub> <0,001	836,92±19,84 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>III</sub> <0,001	642,50±17,69 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>II</sub> <0,001
Aмо, n	35,04±0,93 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>III</sub> <0,001	21,82±0,62 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>III</sub> <0,001	55,72±2,63 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>II</sub> <0,001
Dx, мс	232,19±6,17 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>III</sub> <0,001	326,73±7,95 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>III</sub> <0,001	140,25±11,63 p <sub>I</sub> <0,001 p <sub>II</sub> <0,001

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 2.

Так, в группе симпатотоников зарегистрированные значения показателей Mo и Dx были на 15% (p<0,001) и 40% (p<0,001) ниже, а Aмо на 60% (p<0,001) выше, чем у нормотоников (табл. 3). В группе ваготоников, напротив, выявлены наиболее высокие значения Mo и Dx (110 и 140%; p<0,001) и низкие значения показателя Aмо (40%; p<0,001) относительно значений этих показателей в группе волонтеров-нормотоников.

Известно [8], что сужение основания гистограммы и рост Aмо связан с мобилизацией функциональных резервов организма, в то время как расширение основания и уплощение купола, а так же снижение Aмо может свидетельствовать о преобладании автономного контура регуляции.

Следовательно, у испытуемых симпатотоников зарегистрировано преобладание активности центрального контура, характеризующее напряжение регуляторных

механизмов, а у ваготоников выявлена слабая централизация управления сердечным ритмом и преобладание автономного контура регуляции.

Данные геометрического анализа количественно могут быть выражены в показателях вариационной пульсометрии (табл. 4). Так, значения показателей ИН, ИВР, ВПР и ПАПР у симпатотоников оказались выше, чем у нормотоников на 332%, 57%, 29% и 43% ( $p < 0,001$ ) соответственно. Вместе с тем, значения данных показателей в группе ваготоников были ниже, чем у нормотоников на 37%, 180%, 28% и 88% ( $p < 0,001$ ) соответственно. Известно [1, 4], что увеличение числовых значений данных показателей наблюдается при превалировании симпатических, а уменьшение – вагусных влияний на ритм сердца.

Таблица 4.

Показатели вариационной пульсометрии у испытуемых выделенных групп ( $\bar{x} \pm S \bar{x}$ )

Показатель	Группы испытуемых		
	Нормотоники (I) n=53	Ваготоники (II) n=25	Симпатотоники (III) n=15
ИН	108,8±6,7 $p_{II} < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	41,1±1,8 $p_I < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	359,7±43,1 $p_I < 0,001$ $p_{II} < 0,001$
ИВР	161,8±8,8 $p_{II} < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	68,2±3 $p_I < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	451,6±50,7 $p_I < 0,001$ $p_{II} < 0,001$
ВПР	0,3±0,01 $p_{II} < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	0,2±0,01 $p_I < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	0,4±0,01 $p_I < 0,001$ $p_{II} < 0,001$
ПАПР	47±1,7 $p_{II} < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	26,3±0,9 $p_I < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	88,4±5,3 $p_I < 0,001$ $p_{II} < 0,001$

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 2.

Таким образом, полученные данные еще раз свидетельствуют о значительной активации центрального контура и усилении симпатической регуляции ССС у испытуемых – симпатотоников, что проявляется в стабилизации (ригидности) ритма, уменьшении разброса длительностей кардиоинтервалов, увеличении количества однотипных по длительности интервалов [10]. В то же время, у испытуемых – ваготоников, напротив, зарегистрировано преобладание активности парасимпатического отдела ВНС и автономного контура регуляции, что может быть охарактеризовано как состояние оптимального баланса регуляторных систем.

Спектральный анализ, который широко используется как неинвазивный метод изучения вегетативной регуляции сердца [1], также ярко продемонстрировал достоверные различия изученных показателей у испытуемых выделенных групп (табл. 5; рис. 2, 4).

Таблица 5.

Показатели спектрального анализа у испытуемых выделенных групп ( $\bar{x} \pm S \bar{x}$ )

Показатель	Группы испытуемых		
	Нормотоники (I) n=53	Ваготоники (II) n=25	Симпатотоники (III) n=15
HF %	26,2±1,6 $p_{II}<0.05$ $p_{III}<0.001$	34,0±4,1 $p_I<0.05$ $p_{III}<0.001$	14,2±1,6 $p_I<0.001$ $p_{II}<0.001$
LF %	39,3±1,9	33,9±3,0	39,9±3,7
VLF %	39,5±4,5	33,4± 2,7 $p_{III}<0.05$	46,1±3,6 $p_{II}<0.05$
LF/HF	1,57±0,63	0,92±0,51	3,21±0,61
TOTAL, мс <sup>2</sup>	2028,9±118,8 $p_{II}<0.001$ $p_{III}<0.001$	4697,8± 274,0 $p_I<0.001$ $p_{III}<0.001$	706,4±148,7 $p_I<0.001$ $p_{II}<0.001$
ИЦ	41,5±2,0	35,3± 2,8 $p_{III}<0.001$	49,7±3,5 $p_{II}<0.001$

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 2.

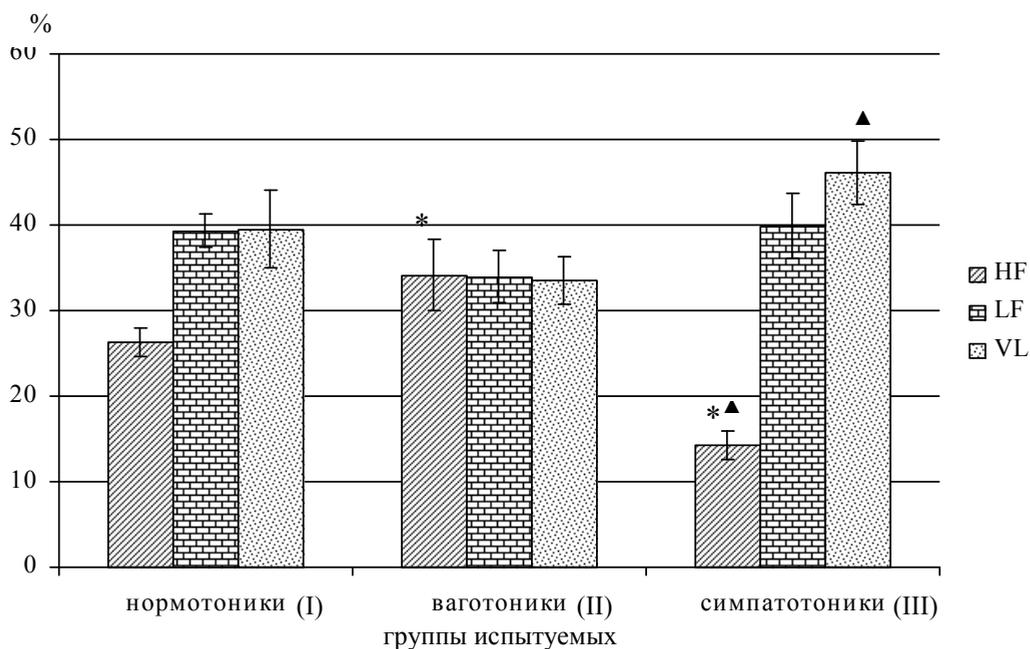


Рис. 2. Показатели спектрального анализа у испытуемых выделенных групп.

Примечание: \* – достоверность отличий ( $p<0,05$ ) по t-критерию Стьюдента относительно значений в I группе испытуемых; ▲ – относительно значений во II группе испытуемых.

В частности, у нормотоников было зарегистрировано превалирование в спектре низкочастотных (LF и VLF) компонентов над высокочастотным компонентом HF (LF/HF=1,57±0,63) (табл. 5, рис. 2). У симпатотоников наблюдалось превалирование VLF-модуляций и значительное преобладание LF над HF компонентой (LF/HF на 200% выше, чем у нормотоников) (табл. 5, рис. 2), а у ваготоников – примерно одинаковое соотношение всех компонентов спектра, о чем свидетельствует соотношение LF/HF компонентов спектра близкое к 1 (табл. 5, рис. 2). Вместе с тем, в общую мощность спектра, у испытуемых-ваготоников наибольший вклад вносили высокочастотные компоненты спектра (HF), у симпатотоников – VLF, а у нормотоников – LF компоненты (табл. 5, рис. 4).

Известно, что на частоту и интенсивность колебаний ритма сердца влияют нейрогенный и гуморальный каналы регуляции [8]. Многочисленные экспериментальные данные указывают на то, что спектр ВСР, получаемый при анализе коротких (3-5 минутных) фрагментов ритмограмм, имеет исключительно нейрогенную природу. Поскольку как высокочастотный, так и оба низкочастотных компонента в спектре ВСР исчезают после денервации сердца [13], нет их у пациентов с трансплантированным сердцем [14] и у плодов – анэнцефалов [15], то нейрогенная природа этих феноменов сомнений не вызывает [1]. Картина исчезновения как дыхательных, так и обоих низкочастотных составляющих ВСР совпадает со смертью мозга [16]. Следовательно, первопричиной их появления служат колебания активности ВНС [14].

В настоящее время считается установленным, что HF компонента спектра, или дыхательные волны, обусловлены вагусной активностью [17, 18], тогда как LF составляющая, по мнению многих авторов, характеризует состояние симпатического отдела ВНС [17] и, в частности, системы регуляции сосудистого тонуса (активность вазомоторного центра) [19, 20]. Поэтому при повышении тонуса симпатического отдела значительно возрастают значения показателя LF/HF [9], что зарегистрировано в нашем исследовании у симпатотоников. По другой гипотезе, низкочастотные компоненты спектра являются центрогенными: их порождает нейронная сеть ствола мозга, которая определяет колебания интенсивности потока импульсов как симпатических, так и парасимпатических кардиомоторных нейронов с периодом около 10 секунд, т.е. на частоте около 0,1 Гц [21]. Что касается модуляции VLF-волн, то природа их до конца еще не ясна. Спектральная мощность VLF, по мнению многих зарубежных авторов [13], характеризует активность симпатического отдела ВНС. По мнению других авторов [22], VLF отражает церебральные эрготропные влияния на нижележащие уровни и позволяет судить о функциональном состоянии мозга, поскольку амплитуда VLF тесно связана с психоэмоциональным напряжением и функциональным состоянием коры головного мозга. Существуют также данные о том, что мощность спектра в VLF диапазоне может использоваться как надежный маркер степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции кровообращения с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим и корковым уровнями. По данным других авторов [14], VLF является хорошим индикатором управления метаболическими процессами. О тесной связи VLF-компоненты ВСР с метаболическими процессами

в организме свидетельствуют исследования, в которых показано, что суточная динамика уровня концентрации в сыворотке крови гормона жировых клеток – лептина – полностью повторяет суточную динамику VLF-диапазона [23].

Следовательно, полученные нами данные о преобладании низкочастотных компонентов спектра у испытуемых – нормотоников (табл. 5, рис. 2) могут свидетельствовать о значительной активации у волонтеров данной группы симпатических влияний на сердечный ритм. Сведения о равном соотношении мощностей всех изученных компонентов спектра и наименьших среди всех испытуемых значениях мощности спектра в VLF диапазоне у ваготоников (табл. 5, рис. 2) указывают на вегетативный баланс организма и наибольшую автономность регуляции сердечного ритма у испытуемых этой группы. Вместе с тем, превалирование в спектре мощности ВСР у симпатотоников VLF-компоненты (табл. 5, рис. 2) подтверждает значительное преобладание симпатических и надсегментарных влияний и отражает повышенную активность центрального, нейрогуморального и метаболического уровней регуляции [22] у испытуемых данной группы.

Эти результаты согласуются с данными корреляционной ритмографии, благодаря которой построены скаттерограммы для выделенных групп испытуемых (рис. 3). Известно, что длина овала поля скаттерограммы коррелирует с мощностью спектра в HF диапазоне, а ширина – мощностью в LF диапазоне спектра ВСР [4].

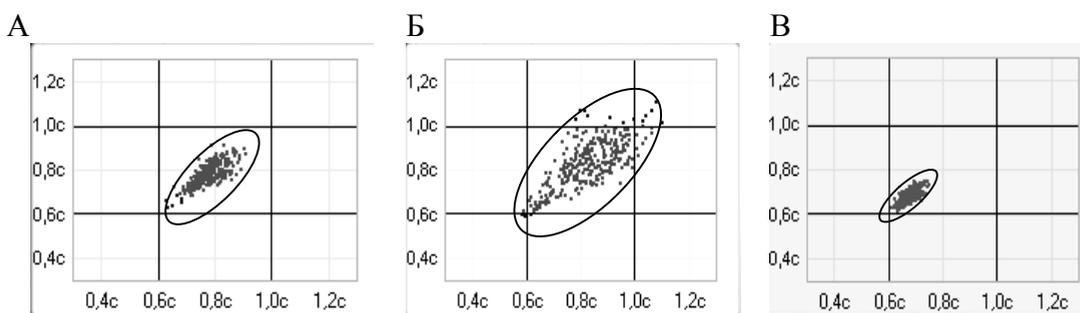


Рис. 3. Типы скаттерограмм для испытуемых выделенных групп: А – нормотоников, Б – ваготоников, В – симпатотоников.

Примечание: по оси абсцисс – длина RR интервала, по оси ординат длина RR+1 интервала (с).

Нормальная форма скаттерграммы представляет собой эллипс, вытянутый вдоль биссектрисы поля скаттерограммы. Именно такое расположение эллипса означает, что к дыхательной прибавлена некоторая величина недыхательной аритмии. Форма скаттерграммы в виде круга означает отсутствие недыхательных компонентов аритмии. Узкий овал соответствует преобладанию недыхательных компонентов в общей вариабельности ритма, которая определяется длиной “облака”. Поэтому, плотное скопление точек, т.е. зажатость облака скаттерограммы у испытуемых-симпатотоников, может быть связано с преобладанием симпатического отдела ВНС в регуляции ритма сердца, напротив, значительный разброс точек скаттерограммы у испытуемых-ваготоников свидетельствует о

преобладании влияний блуждающего нерва на синусовый узел и, следовательно, активации парасимпатической нервной системы [11].

Полученные результаты могут быть дополнены данными оценки общей мощности спектра у испытуемых выделенных групп. Так, общая мощность спектра у ваготоников оказалась выше, чем у нормотоников и тем более у симпатотоников в 2,23 и 6,65 ( $p < 0,05$ ) раза соответственно (табл. 5, рис. 4).

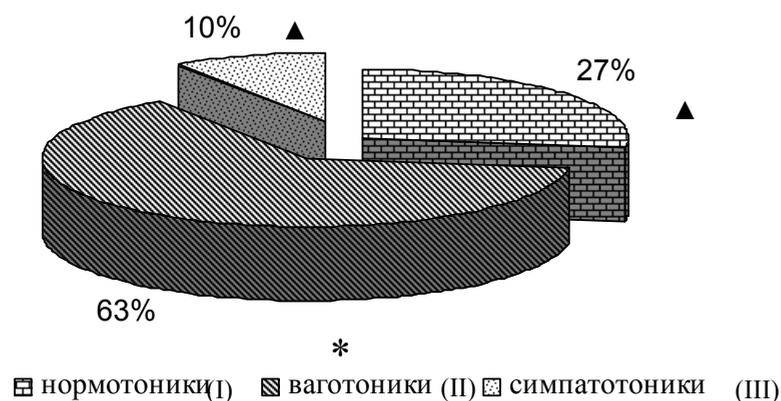


Рис. 4. Соотношение значений общей мощности спектра у испытуемых выделенных групп.

Примечание: \* – достоверность отличий ( $p < 0,05$ ) по критерию  $\phi^*$  относительно значений в I группе испытуемых; ▲ – относительно значений во II группе испытуемых.

Поскольку известно, что чем выше общая мощность спектра, тем более выражены адаптационные возможности СВУС [24], то можно сделать вывод о оптимальных адаптационных возможностях этой системы у ваготоников. Кроме того, согласно литературным данным [10], во время симпатической активации тахикардия обычно сопровождается снижением общей мощности спектра, в то время как во время вагусной стимуляции наблюдается обратная картина. Учитывая выше приведенные данные, снижение общей мощности спектра у испытуемых-симпатотоников может быть связано со значительной активацией центров симпатической регуляции СВУС и большим влиянием центрального контура регуляции на сердечный ритм. Полученные нами данные согласуются с литературными данными [10] и могут отражать индивидуальные особенности испытуемых.

С целью выявления связи между спектральными характеристиками ВСР у испытуемых с разным тонусом ВНС был проведен корреляционный анализ абсолютных значений спектральной мощности в HF, LF, VLF диапазонах и общей мощности спектра (TOTAL) (рис. 5).

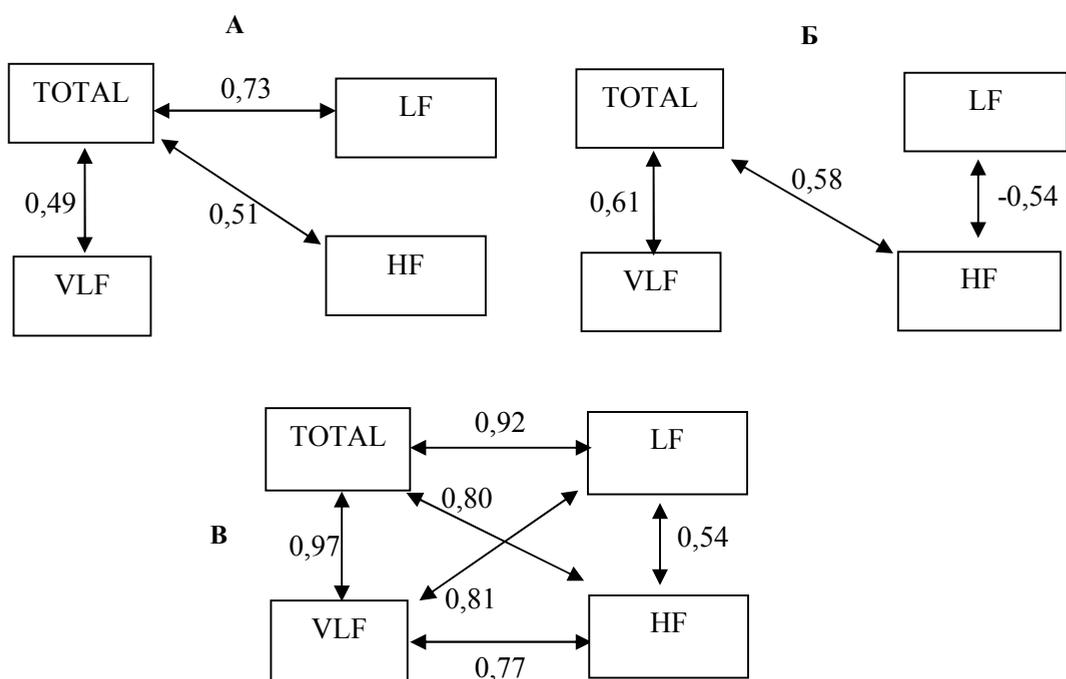


Рис. 5. Значения коэффициентов корреляции ( $p < 0,05$ ) между спектральными характеристиками у испытуемых выделенных групп: А – нормотоников; Б – ваготоников, В – симпатотоников.

У испытуемых-нормотоников достоверных корреляционных связей между показателями мощности в HF, LF и VLF диапазонах спектра зарегистрировано не было. Эти компоненты были достоверно связаны только с общей мощностью спектра. При этом наиболее значительная связь отмечена между показателями общей мощности спектра и низкочастотным компонентом (рис. 5-А). Следовательно, у испытуемых-нормотоников зарегистрировано наличие трех автономных колебательных процессов на указанных частотах, что может свидетельствовать о различиях в механизмах формирования высоко- и низкочастотных компонентов спектра. Свободное взаимодействие указанных механизмов вегетативной регуляции обеспечивает высокую лабильность функциональных настроек СВУС, способствует повышению ее адаптационных возможностей.

У испытуемых-ваготоников наиболее сильная связь отмечена между показателями общей мощности спектра и очень низкочастотным (VLF) компонентом (табл. 5-Б), однако не выявлена связь между LF и общей мощностью спектра. При этом была зарегистрирована отрицательная корреляционная связь средней силы между HF и LF компонентами спектра, что свидетельствует, с одной стороны о достаточной автономности физиологических механизмов, обуславливающих формирование HF и LF диапазонов спектра ВСП, а, с другой стороны – о реципрокном взаимодействии механизмов формирования высоко- и

низкочастотных генераций сердечного ритма у испытуемых этой группы. Действительно, влияние ВНС на ритмическую деятельность сердца принято называть модулирующим, что реализуется путем реципрокного взаимодействия симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Возможно, именно это обстоятельство и обуславливает наличие вегетативного баланса, наибольшей автономности регуляции сердечного ритма и наиболее выраженных адаптационных возможностей у испытуемых-ваготоников, что и было показано выше.

У симпатотоников выявлена совершенно иная корреляционная картина, которая характеризуется достаточно жесткими положительными связями между всеми компонентами спектра. При этом наибольшее влияние на общую мощность спектра оказывали низкочастотные (LF и VLF) компоненты (табл. 5-B), происхождение которых связано с активностью симпатического звена ВНС [13, 17]. Таким образом, у испытуемых-симпатотоников наблюдается тесная взаимосвязь всех компонентов спектра между собой, что свидетельствует о формировании более жестко организованной и менее функциональной СВУС. Поскольку, с точки зрения функционально сложных систем, наибольшими адаптационными возможностями обладает биологическая система с наибольшим числом степеней свободы, то усиление степени зависимости спектральных характеристик у симпатотоников обусловлено снижением свободы взаимодействия компонентов СВУС и, как следствие, снижением ее адаптационных возможностей.

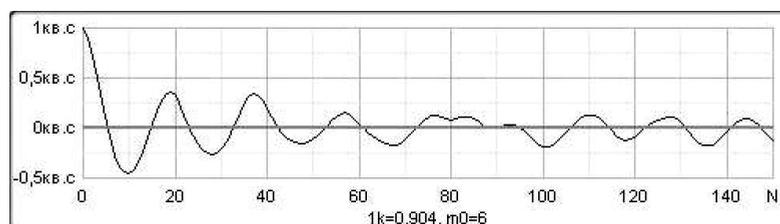
Подтверждением этих данных явился анализ ИЦ, который указывает на соотношение между автономным и центральным контурами регуляции сердечного ритма. У испытуемых-симпатотоников зарегистрировано наибольшее значение данного показателя (на 20% выше, чем у нормотоников;  $p < 0,05$ ), что еще раз свидетельствует о значительной централизации управления сердечным ритмом [4]. Напротив, у ваготоников были зарегистрированы наименьшие значения ИЦ (на 14 % ниже, чем у нормотоников;  $p < 0,05$ ), что указывает на преобладание автономного контура регуляции СВУС у испытуемых данной группы.

В результате применения автокорреляционного анализа динамического ряда кардиоинтервалов удалось построить автокоррелограммы (АКГ), которые позволяют судить о скрытой периодичности сердечного ритма (рис. 6). График автокорреляционной функции (АКФ) строится по значениям ряда коэффициентов корреляции между исходным динамическим рядом RR-интервалов и новыми рядами, полученными при последовательных смещениях его на одно значение. Крутизна спада автокоррелограммы определяется по значению коэффициента  $k$ . После первого сдвига на одно значение коэффициент корреляции тем меньше единицы, чем более выражены дыхательные волны. Если в исследуемой выборке доминируют медленноволновые компоненты, то коэффициент корреляции после первого сдвига будет лишь незначительно ниже единицы. Последующие сдвиги ведут к постепенному уменьшению корреляционных коэффициентов. Показатель  $m_0$  отражает через сколько сдвигов появляется первое отрицательное значение коэффициента корреляции.

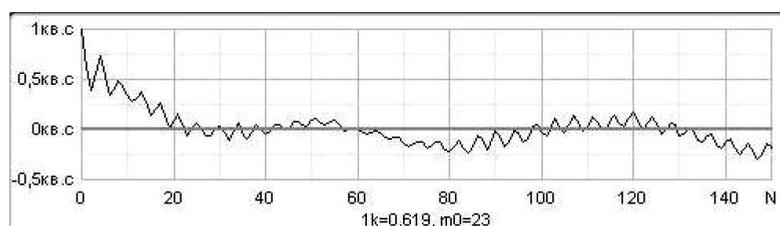
У испытуемых-нормотоников наиболее часто встречался 2-й тип АКГ, который характеризуется быстрым начальным спадом АКФ с последующим медленным

затуханием (рис. 6-Б) и средние значения показателей  $1k$  и  $m0$  (табл. 6), что свидетельствует о наличии противоборствующих влияний автономного и центрального контура. У симпатотоников преобладал 3-й тип АКГ, который характеризуется быстрым начальным спадом АКФ с последующим быстрым затуханием (рис. 6-В), наибольшие значения показателя  $1k$  и наименьшие  $m0$  (табл. 6), что свидетельствует о преобладании в спектре VLF компонентов и высокой централизации управления сердечным ритмом. У ваготоников, напротив, наиболее часто регистрировали 1-й тип АКГ, который характеризуется медленным затуханием АКФ (рис. 6-А), наименьшие значения показателя  $1k$  и наибольшие значения  $m0$  (табл. 6), что свидетельствует о преобладании в регуляции ритма сердца влияний автономного контура регуляции.

А



Б



В

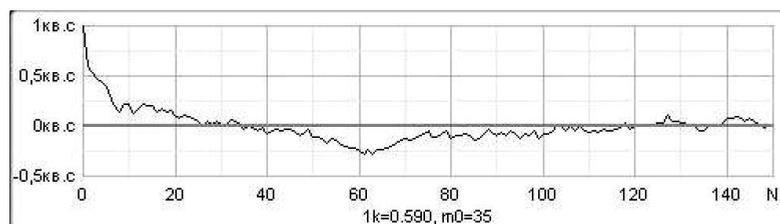


Рис. 6. Типы автокоррелограмм: А – 1 тип, Б – 2 тип, В – 3 тип.

Примечание: По оси абсцисс – число сдвигов АКФ, по оси ординат значение коэффициента АКФ (с).

Следовательно, полученные данные еще раз подтверждают преобладание активности парасимпатического отдела в вегетативной регуляции сердечного ритма и выраженное влияние автономного контура СВУС на функциональное состояние испытуемых-ваготоников. У испытуемых-симпатотоников, напротив,

зарегистрирована высокая централизация СВУС и преобладание активности симпатического отдела ВНС в регуляции ритма сердца.

Таблица 6.

Показатели автокорреляционного анализа у испытуемых выделенных групп (M±m)

Показатель	Группы испытуемых		
	Нормотоники (I) n=53	Ваготоники (II) n=25	Симпатотоники (III) n=15
1k	0,66±0,02 p <sub>III</sub> <0.001	0,60±0,04 p <sub>III</sub> <0.001	0,79±0,03 p <sub>I</sub> <0.001 p <sub>II</sub> <0.001
m0	20,50±3,12	23,04±5,48	19,38±4,45

Примечание: обозначения те же, что и в табл. 2

Полученные нами данные комплексной оценки ВСР подтверждаются значениями показателя показателя адекватности регуляторных систем (ПАРС), который позволяет дифференцировать различные степени напряжения регуляторных систем (табл. 7). Так, испытуемые-нормотоники характеризовались преобладанием средних значений ПАРС (3 – 6). У ваготоников преобладали низкие значения (1 – 2), а у симпатотоников наоборот – высокие значения ПАРС (7-10) (табл. 7; рис. 7).

Таблица 7.

Распределение испытуемых в % соответственно со значениями ПАРС

	Значение ПАРС в баллах				
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
нормотоники %	4	42	48	6	
ваготоники %	68	32			
симпатотоники %			20	47	33

Следовательно, испытуемые-нормотоники характеризовались состоянием удовлетворительной адаптации, ваготоники – оптимальным уровнем напряжения (оптимальный уровень адаптации), а симпатотоники – выраженным напряжением регуляторных систем (неудовлетворительный уровень адаптации) по классификации функционального состояния принятой в донологической диагностике [4].

Поскольку изученные показатели СВУС тесно взаимосвязаны между собой, то представляет определенный интерес проследить изменение взаимосвязи этих показателей у испытуемых разных экспериментальных групп. Такие взаимосвязи можно установить путем применения кластерного анализа. Дендрограммы кластерного анализа всех исследованных показателей, построенные путем иерархического объединения их в кластеры все более высокой общности на основе критерия минимума расстояния в пространстве переменных, описывающих данные показатели у испытуемых ваго- и симпатотоников отличались друг от друга (рис. 7).

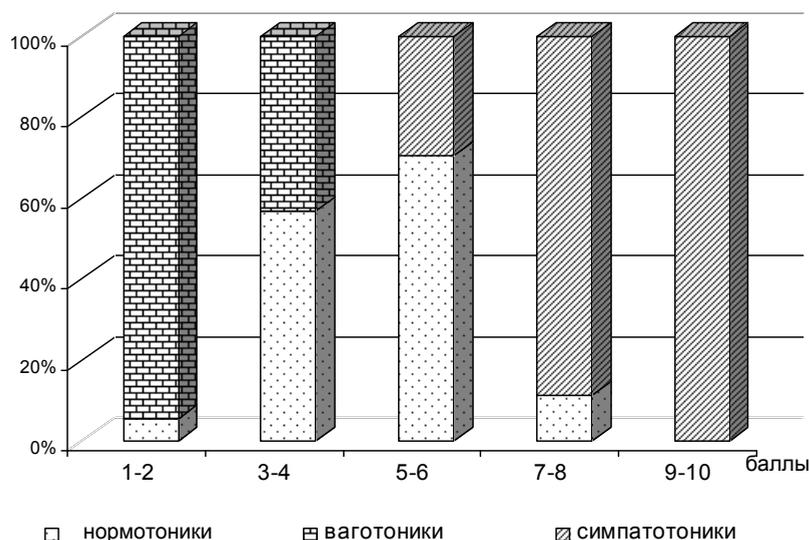


Рис. 7. Значения ПАРС (в баллах) у испытуемых выделенных групп.

Так, дендрограмма показателей ВСР у испытуемых-ваготоников (рис. 7-А) содержит 3 кластера, в которые объединялись исследованные нами показатели. В первый кластер объединились СКО, ИН, ИЦ, VLF, LF. На этот кластер оказывает влияние второй, содержащий один элемент – мощность высокочастотного компонента спектра (HF), которая отражает активность парасимпатической нервной системы. На оба описанных кластера опосредованно влияет третий кластер, в который входит общая мощность спектра, которая у испытуемых данной группы была максимальной и отражает активность автономного контура регуляции и адаптационные возможности СВУС. Следовательно, на изученные показатели СВУС у испытуемых-ваготоников наибольшее влияние оказывают высокие активности парасимпатической нервной системы, автономного контура регуляции и адаптационных возможностей системы.

Дендрограмма, иллюстрирующая кластерный анализ у испытуемых-симпатотоников (рис. 7-Б), принципиально отличалась от таковой у ваготоников (рис. 7-А). Первый кластер включает три элемента: ИЦ, VLF, LF, что свидетельствует о том, что на ИЦ в большей степени оказывают влияние низкочастотные компоненты спектра, которые указывают на активацию симпатического отдела ВНС, и мощность которых у испытуемых этой группы была максимальной. Во второй кластер объединились СКО, HF и Total; а третий составил ИН, который оказывает влияние на все показатели СВУС и характеризует степень преобладания симпатического отдела ВНС над парасимпатическим.

Следовательно, на изученные показатели СВУС у испытуемых-симпатотоников наибольшее влияние оказывают высокие активности симпатической нервной системы и центрального контура регуляции.

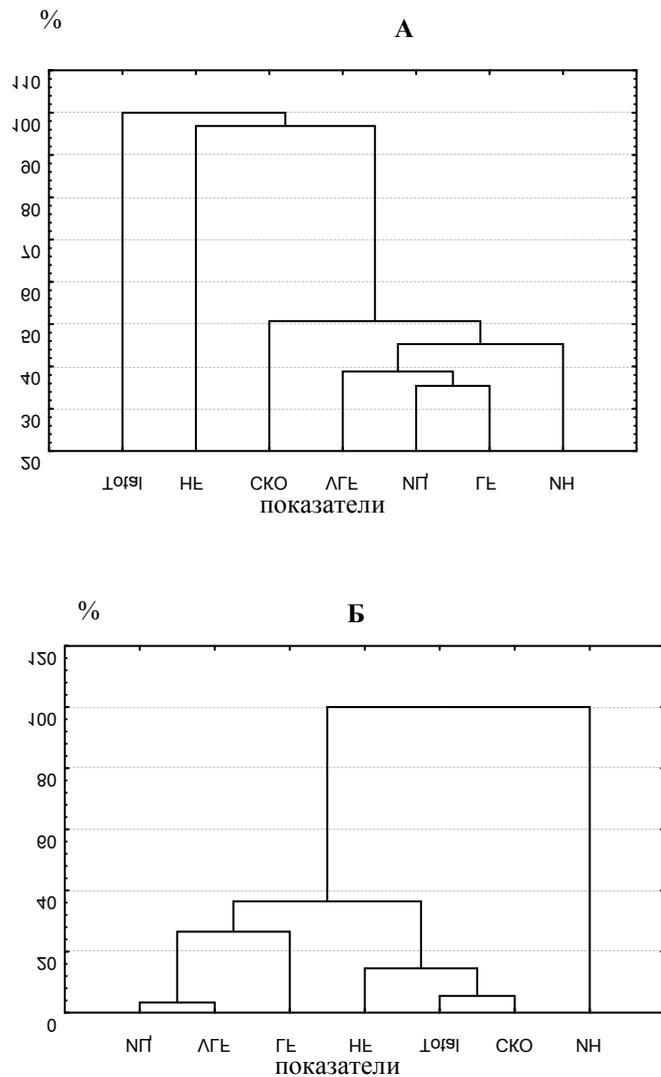


Рис. 7. Дендрограммы кластерного анализа спектральных и интегральных характеристик ВСР у испытуемых выделенных групп: А – ваготоников, Б – симпатотоников.

Таким образом, согласно полученным данным, максимальное влияние высших уровней СВУС, зарегистрированное методами статистического, геометрического, вариационного, спектрального и автокорреляционного анализов, зарегистрировано у симпатотоников, что свидетельствует о низких адаптационных возможностях ССС у испытуемых данной группы. Испытуемые-ваготоники, напротив, характеризовались минимальной централизацией управления сердечным ритмом и максимальным влиянием автономного контура регуляции, что может быть связано с

высокими адаптационными возможностями и значительными функциональными резервами ССС у испытуемых данной группы.

### ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенного исследования доказали высокую эффективность применения системы комплексного компьютерного исследования «Омега-М» для оценки особенностей СВУС у испытуемых.
2. Преобладание центрального контура регуляции СВУС и высокая активность симпатического отдела ВНС, зарегистрированные методами статистического, геометрического, вариационного, спектрального и автокорреляционного анализов у симпатотоников свидетельствуют о низких адаптационных возможностях сердечно-сосудистой системы у испытуемых данной группы.
3. Испытуемые-ваготоники характеризовались минимальной централизацией управления сердечным ритмом, максимальным влиянием автономного контура регуляции и высокой активацией парасимпатического отдела ВНС, что может быть связано с высокими адаптационными возможностями и значительными функциональными резервами сердечно-сосудистой системы у испытуемых данной группы.

### Список литературы

1. Баевский Р.М. Классификация уровней здоровья с точки зрения теории адаптации // Вестник РАМН СССР. – 1989. – № 8. – С. 73-78.
2. Glass, L. Synchronization and rhythmic processes in physiology // Nature. – 2001. – Vol. 410. – P. 277-284.
3. Каменская В.Г. Показатели флуктуации кардиоинтервалов при различных функциональных состояниях дошкольников / В.Г. Каменская Н.Н., Музалевская, С.В. Зверева, Л.В. Томанов // Физиология человека. – 2001. – Т.27, №3. – С. 89.
4. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. – М.: Медицина, 1997. – 236 с.
5. Чуян Е.Н. Комплексный подход к оценке функционального состояния организма студентов // Чуян, Е.А. Бирокова М.Ю. Раваева // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2008. – Том 21 (60), №1. – С. 123-140.
6. Heart rate dynamics during human sleep /Cajochen C., Pischke J., Aeschbach D. [et al]. // *Physiol. Behav.* 1994. – Vol. 55, № 4.– P. 769.
7. Обоснование аппаратно-программных методов, предназначенных для скрининг-диагностики внутренних заболеваний и для оценки эффективности лечебно-профилактических мероприятий в системе диспансеризации военнослужащих и пенсионеров МО: отчет о научно-исслед. работе. – СПб: Изд-во ВМА, 2002. – 77 с.
8. Вариабельность сердечного ритма: Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования / Рабочая группа Европейского кардиологич. об-ва и Северо-Американского об-ва стимуляции и электрофизиологии // Вестник Аритмол. – 1999. – №11. – С. 53-78.
9. Исследование вариабельности сердечного ритма с использованием пакета программ «КардиоКит»: метод. рекомендации.– СПб: Биосигнал, 2003. – 45 с.
10. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практ. применения. Иваново: Гос. мед. академия, 2002.– 290 с.
11. Смирнов К.Ю., Смирнов Ю.А. Разработка и исследование методов математического моделирования и анализа биоэлектрических сигналов. – С-Пб., 2001. – 43с.
12. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. Монография / Т.К.Бреус, С.М. Чибисов, Р.М. Баевский, К.В. Шебзухов. – М.: Изд-во Рос. ун-та Дружбы народов, 2002. – 232 с.

13. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control / Akselrod S.D., Gordon D., Ubel F.A. [et al.] // Science. – 1981. – Vol. 213, N 4503. – P. 220-222.
14. Spectral analysis of heart rate variability following human of heart transplantation: evidence for functional enervation / [Fallen E.L., Kamath M.V., Chista D.N., Fitchelt D] // J. Auton. Nerv. Syst. – 1988. – V. 23. – P. 199.
15. Neurological control. of fetal heart ratele in 20 cases of anencephalic fetuses / [Terao T., Kawashima Y, Noto H.] // Amyk. J. Obstet. Gynecol. – 1984. – Vol. 149. – P. 201.
16. Heart rate variability in the fetus. In Heart rate variability / [Hirsich M., Karin J , Akserod S.] // Armonk. N.Y. Futura Publisching Company. Inc. – 1995. – P. 517.
17. Richter D. W., Spyer K. M. Cardiorespiratory control: Central regulation of autonomic functions. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 1990. – P. 189-207.
18. Respiratory sinus arrhythmia and central respiratory drive in humans / [Al-Ani M., Forkins A.S., Townend J.N., Coote J.H] // Clin. Sci (Colch). – 1996. – Vol. 90, N 3. – P. 235-41.
19. Karemaker J.M. Analysis of blood pressure and heart rate variability: theoretical consideration and clinical applicability // Clinical autonomic disorders. Evaluation and management / Ed. P. A. Low. – Boston etc.: Little Brown and Co., 1993. – P. 315-330.
20. Borst C., Karemaker J.M. Time delays in the human baroreceptor reflex // J. Auton. Nerv. Syst. – 1983. – Vol. 9, N 2/3. – P. 399 – 409.
21. Vascular resistance and arterial pressure low-frequency oscillations in the anesthetized dog / [Cevese A., Grasso R., Poltronieri R., Schena F] // Am. J. Physiol. – 1995. – Vol. 268, N 1. – P. H7-H16.
22. Оценка симпатических и парасимпатических механизмов регуляции при вегетативных пароксизмах / [Н.Б.Хаспекова, Х.К.Алиева, Г.М.Дюкова] // Советская медицина. – 1989. – № 9. – С. 25-28.
23. A novel pathophysiological phenomenon in cachexic patients with chronic obstructive pulmonary disease: the relationship between the circadian rhythm of circulation leptin and very low frequency component of heart rate variability / Takabatake N., Nakamura H., Abe S. [et al]. // Am. J. Respir. Crit. Care Med. – 2001. – V. 163. – P. 1314.
24. Динамика мощности низко- и высокочастотного диапазонов спектра variability сердечного ритма у больных ишемической болезнью сердца с различной тяжестью коронарного атеросклероза в ходе нагрузочных проб. / А.Р.Киселев, В.И. Гриднев, О.М.Посненкова [и др.] // Физиология человека. – Т. 34, №3. – 2008. – С. 57-64.

*Чуян О.М., Бірюкова О.А., Раваєва М.Ю., Нікіфоров І.Р. Особливості системи вегетативного управління серцем у випробовуваних з різним типом вегетативної регуляції // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т. 22 (61). – № 1. – С. 113-133.*

Стаття присвячена оцінці особливостей системи вегетативного управління ритмом серця у випробовуваних з різним типом вегетативної регуляції. У випробовуваних-симпатотоників методами статистичного, геометричного, варіаційного, спектрального і автокореляційного аналізів показано переважання центрального контуру регуляції і зниження адаптаційних можливостей. У ваготоників – мінімальна централізація управління серцевим ритмом, максимальний вплив автономного контура регуляції, висока активація парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи, що свідчить про високі адаптаційні можливості і значні функціональні резерви серцево-судинної системи у випробовуваних даної групи. Ключові слова: variability ритму серця, нормотоники, симпатотоники, ваготоники, система вегетативного управління ритмом серця.

**Ключові слова:** variability ритму серця, нормотоники, симпатотоники, ваготоники, система вегетативного управління ритмом серця.

*Chuyan E.N., Biryukova E.A., Ravaeva M.Y., Nikiforov I.R. Features of system of vegetative management of heart at examinees with various type of vegetative regulation // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2009. – V.22 (61). – № 1. – P. 113-133.*

Article is devoted to an estimation of features of heart rate vegetative management system at subjects with various type of vegetative regulation. At subjects with sympathetic predominance by methods of statistical,

## **ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ВЕГЕТАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕРДЦЕМ**

---

geometrical, variation, spectral and autocorrelation analyses prevalence of the central contour of regulation and decrease in adaptable possibilities is shown. At subjects with vagal predominance - the minimum centralization of heart rate management, the maximum influence of an independent contour of regulation, high activation of parasympathetic department of vegetative nervous system that testifies to high adaptable possibilities and considerable functional reserves of cardiovascular system at examinees of the given group.

Keywords: heart rate variability, subjects with vagal predominance, subjects with sympathetic predominance, normal subjects, heart rate vegetative management system.

*Поступила в редакцию 12.04.2009 г.*