

**УДК. 612.213**

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ИСПЫТУЕМЫХ С РАЗНЫМ  
ТИПОМ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ УПРАВЛЯЕМОГО  
ДЫХАНИЯ С ИНДИВИДУАЛЬНО ПОДОБРАННОЙ ЧАСТОТОЙ (ЧАСТЬ I)**

*Бирюкова Е.А., Чуян Е.Н.*

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина  
E-mail: biotema@mail.ru*

Статья посвящена комплексному исследованию variability сердечного ритма (BCP) испытуемых с разным типом вегетативной регуляции под влиянием управляемого дыхания (УД) с индивидуально подобранной частотой. В результате проведенного исследования было установлено, что, что УД, частота которого соответствует частоте максимального пика мощности в низкочастотном диапазоне спектра сердечного ритма, является мощным средством управления сердечным ритмом и функциональным состоянием (ФС) кардиореспираторной системы испытуемых с разным типом вегетативной регуляции, о чем свидетельствует оптимизация показателей BCP, увеличение толерантности сердечно-сосудистой системы к субмаксимальной физической нагрузке и увеличение синхронизации сердечного и дыхательного ритмов.

**Ключевые слова:** управляемое дыхание, variability сердечного ритма, система вегетативного управления ритмом сердца, управляемое дыхание с индивидуально подобранной частотой.

**ВВЕДЕНИЕ**

Проблема оценки качества жизни, функциональных резервов и мониторинга функционального состояния (ФС) организма человека выходит на приоритетное место в современной физиологии. Однако, несмотря на бурное развитие современных информационных технологий, ученые испытывают методологические трудности, обусловленные отсутствием экспресс-методов и средств выделения объективной информации о состоянии объекта. Именно поэтому в разряд важнейших выдвинулись задачи комплексного, оперативного, простого и при этом рационального и объективного метода оценки ФС организма.

Особый интерес в последние годы вызывает исследование взаимодействия биологических ритмов в живых организмах, жизнедеятельность которых обусловлена наличием большого числа сложных ритмических процессов [1, 2]. Ярким примером такого взаимодействия является функционирование кардиореспираторной системы (КРС). Известно [3], что одним из главных колебательных процессов в КРС человека является процесс сердцебиения с частотой, близкой к 1 Гц, генерируемой водителем ритма сердца. Этот процесс называется основным сердечным ритмом (СР) и проявляется в записях электрической активности сердца, в частности, в последовательности RR-интервалов, которую называют variability ритма сердца (BCP), так как она

отражает колебания частоты сердечных сокращений (ЧСС) во времени и является результатом деятельности сложной системы вегетативного управления ритмом сердца (СВУС). Известно, что ВСР модулируется множеством различных внешних влияний, в качестве которых, в том числе, выступает процесс дыхания, имеющий обычно частоту вблизи 0,25 Гц [1]. В результате взаимодействия СР с дыханием ЧСС возрастает при вдохе и уменьшается при выдохе, что свидетельствует о его частотной модуляции и проявляется в сигналах спектрограммы СР появлением основного волнового пика в ее низкочастотном диапазоне вблизи 0,1 Гц [4].

Некоторыми авторами [5] показана возможность гармонизации СВУС с помощью управляемого дыхания (УД) с частотой 0,1 Гц. Эффект резонанса в данном случае обусловлен физическим совпадением частот двух гармонических колебательных процессов: внешнего дыхательного возмущения и собственных колебаний системы. Однако широко известна индивидуальная вариативность волнового пика в низкочастотном диапазоне спектра (от 0,05 Гц до 0,15 Гц), поэтому недостатком существующих подходов является то, что частота дыхания 1 вдох / 6 секунд (0,1 Гц) не всегда будет иметь резонансный отклик в СВУС. Следовательно, перспективным является использование метода УД с индивидуально подобранной частотой (ИПЧ). Однако влияние УДИПЧ на функциональное состояние организма человека с разным типом вегетативной регуляции остается неизученным.

В связи с этим целью работы явилось комплексное исследование вариабельности сердечного ритма испытуемых с разным типом вегетативной регуляции под влиянием управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании принимали участие 146 студентов-волонтеров женского пола в возрасте 20-25 лет, условно здоровых, без признаков сердечно-сосудистой и дыхательной патологии, в межменструальном периоде. Все испытуемые дали добровольное согласие на участие в исследовании.

Эксперименты проводились на сертифицированном оборудовании, прошедшем метрологическую поверку, в тихом, хорошо проветриваемом помещении с постоянной температурой  $+20 - +22\text{ C}^0$ , в утренние часы, что позволило исключить влияние суточных колебаний ВСР на результаты исследования [6].

Целью **первой серии** исследований явилось определение индивидуально-типологических особенностей ВСР и синхронизации колебательных процессов КРС у испытуемых с разными значениями стресс-индекса (Si). В этой серии принимали участие 93 студента-волонтера. Работу начинали с регистрации кардиосигнала в первом стандартном отведении с помощью программно-аппаратного комплекса (ПАК) для исследования функционального состояния человека «Омега-М» (производство научно-исследовательской лаборатории «Динамика», г. Санкт-Петербург; разрешен для использования в медицинской практике Украины, свидетельство о госрегистрации № 7564/2003) и ПГ с помощью ПАК «Нейрон-спектр-5» (пр-во компании «Нейрософт», г. Иваново; разрешен для использования в медицинской практике Украины, свидетельство о госрегистрации № 4248/2005).

Регистрацию КИГ и ПГ проводили в положении лежа при спокойном дыхании в течение 3-5-ти минут, то есть времени, необходимого для набора 300 кардиокомплексов.

После предварительной записи и анализа КИГ по значениям  $S_i$  все испытуемые были разделены на 3 группы: I-ая – со средними значениями  $S_i$  ( $50 \leq S_i \leq 200$  усл.ед.) – 56% (n=53); II-ая – с низкими значениями  $S_i$  ( $S_i \leq 50$  усл.ед.) – 27% (n=25); III-я – с высокими значениями  $S_i$  ( $S_i \geq 200$  усл.ед.) – 17% (n=15).

Согласно рекомендациям Европейского кардиологического общества и Североамериканского общества стимуляции и электрофизиологии [7] и ряда авторов [8, 9] в качестве методов оценки ВСП были использованы:

- *статистические*: ЧСС (HR; частота сердечных сокращений; уд/мин), СКО (среднее квадратичное отклонение полного массива R-R-интервалов; мс), RMSSD (квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда R-R; мс), pNN50 (число пар R-R с разностью более 50 мс в % к их общему числу);

- *геометрические*: Мо (мода; мс), АМо (амплитуда моды; n), Dх (вариационный размах; мс);

- спектрального анализа ТР (суммарная мощность спектра ВСП; мс<sup>2</sup>), HF (мощность спектра высокочастотного компонента спектра СР; мс<sup>2</sup>), LF (мощность низкочастотного компонента СР; мс<sup>2</sup>); VLF (мощность очень низкочастотного компонента; мс<sup>2</sup>), LF/HF (коэффициент вагосимпатического взаимодействия), ИЦ (IC; индекс централизации);

- *Автокорреляционные (нелинейные)*: 1k (коэффициент корреляции после первого сдвига автокорреляционной функции), m0 (число сдвигов автокорреляционной функции до получения значения отрицательного коэффициента корреляции) [7];

- *вариационной пульсометрии* – ИВР (индекс вегетативного равновесия; усл.ед.), ВПР (вегетативный показатель ритма; усл.ед.), ПАПР (показатель адекватности процессов регуляции; усл.ед.), Si (ИН; стресс-индекс, индекс напряжения регуляторных систем; усл.ед.);

- *интегрального анализа ВСП*: ПАРС (показатель активности регуляторных систем (баллы) [8].

Для оценки синхронизации колебательных процессов в КРС испытуемых регистрировали показатель кросс-корреляции сердечного и дыхательного циклов (KRS) [9].

С целью исследования изменения показателей ВСП в процессе восстановления после субмаксимального нагрузочного тестирования проводили ВЭМ-пробу и повторную регистрацию КИГ в течение 30-ти минут (6 записей по 5 минут) после субмаксимальной физической нагрузки. Полученные КИГ подвергали дальнейшей обработке с помощью основных методов анализа ВСП [7-9].

**Целью второй серии** исследований явилось изучение модулирующего действия УДИПЧ на показатели ВСП и синхронизацию ритмов КРС испытуемых с разным типом вегетативной регуляции. В этой серии принимали участие 53 условно здоровых студента-волонтера, разделенных на 3 группы (I-я – со средними значениями  $S_i$  – 40% (n=21); II-я – с высокими значениями  $S_i$  – 30% (n=16) и III-я – с низкими значениями  $S_i$  – 30% (n=16).

Для всех испытуемых в течение 10-ти дней ежедневно проводили регистрацию КИГ и ПГ с помощью ПАК «Омега-М» и «Нейрон-спектр-5».

В первый день исследования записи КИГ и ПГ проводили на фоне спонтанного дыхания – контрольная запись. При этом контролировали отсутствие форсированных вдохов и задержек дыхания во время регистрации КИГ, тем самым исключая произвольные влияния дыхания на сердечно-сосудистую систему, т.е. исследования проводили в относительно стандартных условиях.

В последующие 10 дней эксперимента для каждого испытуемого запись КИГ и ПГ осуществляли ежедневно, не ранее, чем через 5 минут после окончания сеанса УД, индивидуально подобранная частота которого соответствовала частоте максимального пика мощности в низкочастотном (LF) диапазоне спектра СР и была рассчитана индивидуально на основании анализа КИГ, записанной непосредственно перед каждым сеансом УДИПЧ.

На 10-й день исследования повторно проводили ВЭМ-пробу, а после нагрузочного тестирования – 30-минутную регистрацию КИГ с последующей обработкой записей с помощью основных методов анализа ВСР.

Через 7 дней после окончания курса УДИПЧ (17 день эксперимента) также проводили запись КИГ и ПГ для регистрации эффекта последействия.

Критерием эффективности используемого метода УДИПЧ являлось изменение показателей анализа ВСР и кросс-корреляции сердечного и дыхательного ритмов относительно фоновой записи.

**Статистическая обработка материала** проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин ( $M$ ) и ошибки среднего арифметического ( $m$ ). Достоверность различий между исследуемыми показателями определяли с помощью  $t$ -критерия Стьюдента (в случае нормального распределения) и критерия Вилкоксона [10,11]. Для сопоставления выборок по частоте встречаемости интересующего эффекта использовали угловое преобразование Фишера (критерий  $\phi^*$ ) [11]. Для сравнения значений показателей у испытуемых разных индивидуально-типологических групп использовали коэффициент сравнения ( $k$ ) этих показателей у испытуемых разных групп, рассчитанный по Формуле 1.

$$K = \frac{M_1 - M_2}{M_2}, \quad (1),$$

где:  $M_1$  – средние значения показателей, полученные в одной группе, а  $M_2$  – в другой группе испытуемых.

Силу и направленность связей между изучаемыми показателями ВСР у испытуемых с разным типом вегетативной регуляции изучали с помощью корреляционного анализа с расчетом коэффициента корреляции Пирсона ( $r$ ) [10, 11].

С целью учета влияния УДИПЧ на показатели ВСР проводили дисперсионный анализ (в случае нормального распределения). Для оценки вклада влияния УДИПЧ в общую дисперсию использовали метод Н.А. Плохинского (1972), при котором исследуемым признаком факторного отклика являлся показатель силы влияния ( $\eta^2$ ) контролируемых факторов на показатели ВСР, рассчитанный по Формуле 2.

$$\eta^2 = \frac{D_x}{D_x + D_z} * 100 \quad (2),$$

где  $\eta^2$  – % вклад контролируемых факторов в общую дисперсию; SS effect (Dx) – сумма квадратов в уравнении дисперсии, обусловленная действием контролируемых факторов; SS error (Dz) – сумма квадратов в уравнении дисперсии, обусловленная действием неконтролируемых факторов [11].

Статистическая обработка и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием пакета программ «Омега-М», «Статистика-6.0» и «Microsoft Excel» [11, 13].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным методами статистического, геометрического, вариационного, спектрального и автокорреляционного анализов данным, у испытуемых I-ой группы ( $50 \leq S_i \leq 200$  усл.ед.) все зарегистрированные показатели ВСР находились в пределах условной физиологической нормы (табл.1).

**Таблица 1**  
**Показатели спектрального анализа у испытуемых выделенных групп ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ )**

Показатель	Группы испытуемых		
	I (средние значения $S_i$ ; n=53)	II (низкие значения $S_i$ ; n=25)	III (высокие значения $S_i$ ; n=15)
HF	514,2±45,4 $p_{II} < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	1637,1±232,6 $p_I < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	87,3±15,5 $p_I < 0,001$ $p_{II} < 0,001$
LF	809,8±68,9 $p_{II} < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	1666,8±181,2 $p_I < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	280,6±58,5 $p_I < 0,001$ $p_{II} < 0,001$
VLF	757±77 $p_{II} < 0,001$ $p_{III} < 0,01$	1581,8±175,6 $p_I < 0,001$ $p_{III} < 0,001$	339,3±84,8 $p_I < 0,01$ $p_{II} < 0,001$
LF/HF	1,57±0,63	0,92±0,51	3,2±0,61
TP	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	4,9±0,8	4,0±0,8 $p_{III} < 0,05$	7,8±1,2 $p_I < 0,05$

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

При этом состояние нейрогуморальной регуляции характеризовалось умеренным уровнем вагальных, симпатических и гуморально-метаболических (церебральных эрготропных) влияний на модуляцию СР ( $S_i - 108,8 \pm 6,7$  усл.ед; HF –  $514,2 \pm 45,4$   $ms^2$ ; TP –  $2028,9 \pm 118,8$   $ms^2$ ; Иц –  $4,9 \pm 0,8$  усл.ед; табл.1), что характеризует смешанный (сбалансированный или нормотонический) тип вегетативной регуляции СР испытуемых этой группы.

У испытуемых II-ой группы ( $S_i \leq 50$  усл.ед.) были зарегистрированы наиболее высокие значения общей мощности спектра СР при высоком уровне вагальных и симпатических влияний в нейрогуморальную модуляцию СР (HF –  $1637,1 \pm 232,6$  мс<sup>2</sup>; LF –  $1666,8 \pm 181,2$  мс<sup>2</sup>). Следует также отметить, что эти испытуемые характеризовались минимальной централизацией управления СР (Иц –  $4,0 \pm 0,8$  усл.ед.) и значительным преобладанием активности автономного контура регуляции СР и парасимпатического отдела ВНС ( $S_i - 41,1 \pm 1,8$  усл.ед.; табл.1), что связано с высокими адаптационными возможностями и значительными функциональными резервами СВУС и свидетельствует о выраженном ваготоническом типе вегетативной регуляции СР этих испытуемых.

У испытуемых III-ей группы ( $S_i \geq 200$  усл.ед.), напротив, было зарегистрировано максимальное влияние высших уровней СВУС, выраженное в снижении общей мощности спектра СР (TP –  $706,4 \pm 148,7$  мс<sup>2</sup>), низком уровне симпатических, вагальных и гуморально-метаболических влияний в модуляцию СР (HF –  $87,3 \pm 15,5$ ; LF –  $280,6 \pm 58,5$ ; VLF –  $339,3 \pm 84,8$  мс<sup>2</sup>) при относительном преобладании симпатической ( $S_i - 359,7 \pm 43,1$  усл.ед.) и гуморально-метаболической активности (Иц –  $7,8 \pm 1,2$  усл.ед.; табл.1), что, вероятно, связано с ригидностью барорефлекторных механизмов и высокой связью вегетативного обеспечения СР с гуморально-метаболическими механизмами. Это свидетельствует о низких адаптационных возможностях СВУС и симпатическом типе вегетативной регуляции испытуемых данной группы.

Таким образом, выявлены индивидуально-типологические различия ВСР волонтеров со средними, низкими и высокими значениями  $S_i$ , выраженные в разном типе как вегетативной, так и нейрогуморальной регуляции СВУС этих испытуемых.

## **ВЫВОДЫ**

1. Методами статистического, геометрического, вариационного, спектрального и автокорреляционного анализов сердечного ритма выявлены индивидуально-типологические различия variability сердечного ритма испытуемых с различными значениями стресс индекса.
2. У испытуемых со средними значениями  $S_i$  ( $50 < S_i < 200$  усл.ед) зарегистрирован умеренный уровень вагальных, симпатических и гуморально-метаболических влияний и смешанный (сбалансированный или нормотонический) тип вегетативной регуляции.
3. Испытуемые с низкими значениями  $S_i$  ( $S_i < 50$  усл.ед) характеризовались минимальной централизацией управления и выраженным ваготоническим типом вегетативной регуляции сердечного ритма.
4. У испытуемых с высокими значениями  $S_i$  ( $S_i > 200$  усл.ед) зарегистрировано значительное напряжение регуляторных систем, преобладание гуморально-метаболической активности и выраженный симпатотонический тип вегетативной регуляции сердечного ритма.

## **Список литературы**

1. Glass L. From clocks to chaos: the rhythms of life / L. Glass, M.C. Mackey. – Princeton: Princeton University Press, 1988. – P. 214.
2. Glass L. Synchronization and rhythmic processes in physiology / L. Glass // Nature. – 2001. – V. 410. – P. 277.

3. Беспятов А.Б. Синхронизация колебательных процессов в кардиореспираторной системе : Эксперимент, модели : дис. ... канд. физ.-мат. наук : защ. 01.04.03. / А.Б. Беспятов – Саратов : Саратовский гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского, 2005. – 161 с.
4. De Boer R.W. On the spectral analysis of blood pressure variability / R.W. De Boer, J.M. Karemuker, J.Stracker // *Am. J. Phys-iol.* – 1986. – Vol. 251, No 3. – P. 685.
5. Synchronization between main rhythmic processes in the human cardiovascular system / M.D Prokhorov, V.I. Ponomarenko, V.I. Gridnev [et al] // *Phys Rev E.* – 2003. – No 68. – P. 13.
6. Circadian rhythms of frequency domain measures of heart rate variability in healthy subjects and patients with coronary artery disease. Effects of arousal and upright posture / H.V. Huikuri, M.J. Niemela, S. Ojala [et al.] // *Circulation.* – 1994. – Vol. 90, No 1. – P. 121.
7. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // *Eur. Heart J.* – 1996. – Vol. 17. – P. 354–381.
8. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М. : Медицина, 1997. – 236 с.
9. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практ. применения / В.М. Михайлов. – Иваново: Гос. мед. академия, 2002. – 290 с.
10. Колемаев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика / Колемаев В.А., Староверов О.В., Турундаевский В.Б. – М., 1991. – 308 с.
11. Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных : учеб. пособие : [для вузов] / Наследов А.Д. – СПб.: Речь, 2004. – 392 с.
12. Плохинский Н.А. Достоверность разности малых долей / Н.А. Плохинский // *Математические методы в биологии.* – М., 1972. – С. 266
13. Боровиков В. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере : для профессионалов / Боровиков В.* – [2-е изд.] – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

**Бірюкова О.О. Вариабельність серцевого ритму у випробовуваних з різним типом вегетативної регуляції під впливом керованого дихання з індивідуально підбраною частотою (Частина I) / О.О. Бірюкова, О.М. Чуян // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62), № 3. – С. 28-34.**

Стаття присвячена комплексному дослідженню варіабельності серцевого ритму (ВСР) випробовуваних з різним типом вегетативної регуляції під впливом керованого дихання (КД) з індивідуально підбраною частотою. В результаті проведеного дослідження було встановлено, що, КД, частота якого відповідає частоті максимального піку потужності в низькочастотному діапазоні спектру серцевого ритму, є потужним засобом управління серцевим ритмом і функціональним станом кардіореспіраторної системи випробовуваних з різним типом вегетативної регуляції, про що свідчить оптимізація показників ВСР, збільшення толерантності серцево-судинної системи до субмаксимального фізичного навантаження і збільшення синхронізації серцевого і дихального ритмів.

**Ключові слова:** кероване дихання, варіабельність серцевого ритму, система вегетативного керування ритмом серця.

**Birjukova E.A. Heart rate variability in subjects with different types vegetative regulation under the influence of controlled respiration with individually selected frequency (Part I) / E.A. Birjukova, E.N. Chujan // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – Vol. 23 (62), No 3. – P. 28-34.**

The article presents a complex study of heart rate variability (HRV) in subjects with different types of vegetative regulation under the influence of controlled breathing (CB) with individually selected frequency. The study found that that the CB, the frequency of which corresponds to the maximum peak power at low frequencies, the spectrum of cardiac rhythm is a powerful way to control heart rhythm, and functional status (FS), cardio-respiratory system of subjects with different types of autonomic regulation, as evidenced by optimization of HRV, increased tolerance of the cardiovascular system to submaximal exercise and increase the synchronization of cardiac and respiratory rhythms.

**Keywords:** controlled breathing, heart rate variability, heart rate vegetative management system.

*Поступила в редакцію 11.10.2010 г.*