БИОРИТМОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ДЕВУШЕК

М. В. ШИНКЕВИЧ¹⁾, К. М. ЛЮЗИНА²⁾

¹⁾Институт подготовки научных кадров Национальной академии наук Беларуси,
ул. Кнорина, 1, 220049, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Результаты исследования показали, что вегетативный тонус нервной системы в разные фазы менструального цикла различается. Направление изменений параметров вариабельности сердечного ритма (ВСР) позволяет сделать вывод о преобладании тонуса либо симпатического, либо парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) в каждую фазу цикла, выделить подгруппы студенток по распределению тонуса ВНС по ходу цикла. Удалось выявить те показатели ВСР, которые изменялись наиболее синхронно (показатели ритмограммы, гистограммы и скаттерограммы), т. е. лучше всего характеризовали динамику тонуса ВНС в каждой из подгрупп. Показатели спектрограммы отличались наибольшей асинхронностью изменений, поэтому для анализа ВСР во время цикла не очень удобны. Показатели автокоррелограммы отражают взаимосвязь и преобладание одного из контуров регуляции сердечного ритма (центрального или автономного). Несмотря на то что прослеживается определенная динамика, достоверные различия были отмечены лишь для некоторых показателей в каждой из подгрупп. Также далеко не все показатели ВСР в подгруппах соответствуют норме, приведенной в литературе, во все фазы цикла, что, на наш взгляд, требует уточнения.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма; электрокардиограмма; менструальный цикл.

HEART RATE VARIABILITY IN HEALTHY VOLUNTEERS

M. V. SHINKEVICH^a, K. M. LIUZINA^b

^aGraduate School of the National Academy of Sciences of Belarus,
1 Knoryna Street, Minsk 220049, Belarus

^bBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus
Corresponding author: K. M. Liuzina (liuzina@bsu.by)

The research results showed that the vegetative tone of the nervous system in different phases of the menstrual cycle is different. In accordance with changes in heart rate (HRV) indicators, we can talk about the predominance of tone of either the sympathetic or parasympathetic department of the autonomic nervous system in each phase of the cycle, to distinguish

Образец цитирования:

Шинкевич МВ, Люзина КМ. Биоритмологические особенности вариабельности сердечного ритма у девушек. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*. 2020;2:26–36.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2020-2-26-36>

For citation:

Shinkevich MV, Liuzina KM. Heart rate variability in healthy volunteers. *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 2020;2:26–36. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2020-2-26-36>

Авторы:

Марина Владимировна Шинкевич – магистрант кафедры естественно-научных дисциплин и информационных технологий. Научный руководитель – доктор биологических наук, доцент М. Н. Шаптуренко.

Ксения Михайловна Люзина – кандидат биологических наук; доцент кафедры физиологии человека и животных биологического факультета.

Authors:

Marina V. Shinkevich, master's degree student at the department of natural sciences and information technologies.
m.shinkevich@jgc.by

<https://doi.org/0000-0002-4563-6526>

Kseniya M. Liuzina, PhD (biology); associate professor at the department of human and animal physiology, faculty of biology.
liuzina@bsu.by
<https://doi.org/0000-0002-7565-2252>

subgroups of students by the distribution of the tone of the autonomic nervous system during the cycle. It was possible to isolate those HRV indicators that were changed most synchronously (rhythmogram, histogram, and scatterogram indices). The spectrogram indices are distinguished by the highest asynchrony of changes; therefore, it is not very convenient to analyze changes during a cycle. Autocorrelation indicators reflect the relationship and the predominance of one of the circuits of heart rhythm regulation (central or autonomous). Despite the fact that a certain dynamic of changes can be traced, significant differences were noted only for some indicators in each of the groups. HRV indicators in accordance with the standards given in the literature should be clarified.

Keywords: heart rate variability; electrocardiogram; menstrual cycle.

Введение

Абсолютно все органы и системы нашего организма находятся под постоянным нервно-гуморальным контролем. Тесное взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов нервной системы, а также гуморальных факторов обеспечивает оптимальный уровень адаптации организма к изменяющимся условиям окружающей среды [1]. Изменение ритма сердца – универсальная реакция организма на любое эндо- или экзогенное воздействие. Оно характеризует баланс между тонусом симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС). Менструальный цикл женщины предоставляет уникальную возможность исследовать естественное циклическое изменение функций организма под действием меняющегося гормонального статуса. Во время менструального цикла модулируются двигательные и психические функции, реакции, связанные с терморегуляцией, а также вегетативный статус. Устойчивый интерес к исследованию различных функций женского организма связан с тем, что конкретная фаза цикла может оказаться оптимальной для достижения наилучшей спортивной формы, а также стать фактором, который определяет силу, выносливость, утомляемость, координацию движений, энергетический метаболизм и риск получения травмы [2]. Несмотря на то что влияние циклического изменения уровня гормонов на репродуктивную систему изучено достаточно хорошо, эффекты его воздействия на другие системы органов, в частности на сердечно-сосудистую систему, до конца не исследованы [3–6]. В последнее время для анализа состояния сердечно-сосудистой системы в разные фазы цикла применяют метод вариабельности сердечного ритма (ВСР), так как он является более точным, чем измерение частоты сердечных сокращений и артериального давления. Однако, несмотря на преимущества метода ВСР, результаты исследований в имеющихся работах различаются. Актуальность изучения закономерностей ВСР у женщин в разные фазы цикла связана с тем, что в научной литературе накоплено недостаточное количество данных по этому вопросу. В основном в ней представлены нормальные значения показателей ВСР для мужчин.

Целью настоящей работы является изучение функционального состояния сердечно-сосудистой системы и ВНС у студенток в разные фазы менструального цикла (менструальную, фолликулиновую и лютеиновую).

Материалы и методы исследования

В исследовании принимали участие 10 девушек в возрасте от 19 до 22 лет (средний возраст испытуемых – $19,8 \pm 0,8$ года) с регулярным циклом. До начала исследования в течение 1 года девушки вели дневники менструальных циклов, в которых отмечали длительность менструации, день овуляции и продолжительность цикла в целом. На основании этих данных был сделан вывод, что средняя продолжительность цикла у испытуемых составляет 28 ± 3 дня, длительность менструации – 5 ± 1 день.

В работе рассмотрены изменения параметров ВСР у девушек во время трех фаз менструального цикла. Исследование проводилось в первой половине дня (до 12 ч) в тихой затемненной комнате не ранее чем через 1 ч после приема пищи. Испытуемые предварительно не подвергались физическим или психоэмоциональным нагрузкам. Запись электрокардиограммы (ЭКГ) выполнялась в положении сидя. Регистрация ЭКГ осуществлялась с использованием программы *НС-Психотест.NET*.

Для оценки параметров ВСР применялись геометрический, временной, спектральный и автокорреляционный методы анализа.

Обработка полученных данных проводилась в программе *STATISTICA*, при этом использовался критерий Фридмана [7] – непараметрический статистический метод, который применяется для анализа повторных измерений, связанных с одним и тем же индивидуумом, т. е. анализировалось изменение показателей ВСР по фазам (различия считаются значимыми при $p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

К наиболее важным маркерам активности ВНС относят вариабельность кардиоинтервалов. Максимальный разброс R – R-интервалов, известный как дыхательная синусовая аритмия, свидетельствует о повышении тонуса блуждающих нервов. Выраженность высокочастотных колебаний сердечного ритма говорит о вагусных механизмах регуляции. С симпатическим сегментарным и надсегментарным, а также гуморальным влиянием на деятельность сердца связаны более медленные низкочастотные R – R-интервалы. Их относят к недыхательной синусовой аритмии. Согласно данным А. М. Вейна, «кратковременные изменения вариабельности R – R быстро возвращаются к исходному уровню после нагрузок и завершения действия лекарственных препаратов. Стабильные показатели R – R держатся месяцы и даже годы, поэтому могут использоваться для оценки вегетативного тонуса» [8, с. 58].

Способность синусового узла к концентрации ритма характеризуют показатели RMSSD (квадратный корень из среднего квадратов разностей величин последовательных пар нормальных R – R-интервалов, или так называемых NN-интервалов) и pNN50 (процент последовательных NN-интервалов, различие между которыми превышает 50 мс), схожие по своему физиологическому смыслу. Параметры SDNN (стандартное отклонение величин NN-интервалов) и CV (коэффициент вариации) отражают суммарный эффект влияний на синусовый узел симпатической и парасимпатической нервной системы, что также позволяет говорить о схожести физиологического смысла этих показателей.

На основании параметров временного анализа испытуемых можно разделить на четыре группы. В группе 1 минимальные значения всех показателей ритмограммы (табл. 1) наблюдаются в лютеиновую фазу. Можно предположить преобладание гуморальных влияний над нервными именно в эту фазу менструального цикла. Об активности парасимпатического отдела ВНС в фолликулиновую фазу свидетельствуют максимальные значения следующих показателей: RRNN (средняя длительность кардиоинтервалов), SDNN, RMSSD и CV.

Таблица 1

Изменение параметров временного анализа у испытуемых

Table 1

The change in time domain parameters of the volunteers

Показатели	Фаза менструального цикла			Уровень значимости (<i>p</i>)
	Менструальная	Фолликулиновая	Лютеиновая	
Группа 1				
RRNN, мс	768 ± 148	777 ± 105	708 ± 123	0,096 97
SDNN, мс	46,0 ± 17,5	52,0 ± 15,9	39,0 ± 12,6	0,049 79
RMSSD, мс	33,0 ± 21,7	33,7 ± 12,5	24,7 ± 15,6	0,096 97
pNN50, %	16,6 ± 18,0	14,4 ± 10,6	9,19 ± 12,40	0,096 97
CV, %	5,75 ± 1,20	6,53 ± 1,29	5,450 ± 0,881	0,096 97
Группа 2				
RRNN, мс	802,0 ± 49,3	699,0 ± 69,6	720,0 ± 70,4	0,263 60
SDNN, мс	65,4 ± 15,9	43,4 ± 6,7	52,2 ± 14,7	0,059 72
RMSSD, мс	43,1 ± 25,7	26,10 ± 9,69	31,7 ± 24,3	0,716 53
pNN50, %	18,5 ± 19,4	9,12 ± 5,72	14,3 ± 20,6	0,716 53
CV, %	8,05 ± 1,41	6,19 ± 0,84	7,1 ± 1,5	0,096 97
Группа 3				
RRNN, мс	798 ± 137	733,0 ± 53,5	829,0 ± 42,2	0,114 56
SDNN, мс	36,2 ± 10,5	33,30 ± 6,53	44,20 ± 8,91	0,114 56
RMSSD, мс	21,50 ± 7,45	16,2 ± 4,4	26,20 ± 7,68	0,069 48
pNN50, %	3,47 ± 2,74	0,75 ± 0,70	6,68 ± 7,47	0,030 20
CV, %	4,62 ± 1,61	4,520 ± 0,647	5,290 ± 0,922	0,311 40

Окончание табл. 1
Ending table 1

Показатели	Фаза менструального цикла			Уровень значимости (<i>p</i>)
	Менструальная	Фолликулиновая	Лютеиновая	
Группа 4				
RRNN, мс	733,0 ± 59,5	683,0 ± 63,3	770,0 ± 19,5	0,069 48
SDNN, мс	43,70 ± 7,99	47,30 ± 8,29	47,20 ± 6,18	0,846 48
RMSSD, мс	26,80 ± 9,64	26,80 ± 9,91	35,00 ± 3,63	0,112 84
pNN50, %	7,35 ± 8,34	7,47 ± 9,00	14,40 ± 3,53	0,114 56
CV, %	5,9700 ± 0,999 5	6,920 ± 0,806	6,150 ± 0,905	0,042 15

В группах 2 и 3 гуморальные влияния преобладают в фолликулиновую фазу цикла. В группе 2 парасимпатический тонус выше в менструальную, а в группе 3 – в лютеиновую фазу. Для испытуемых группы 4 минимальные средние значения параметров SDNN, RMSSD, pNN50 и CV наблюдаются в менструальную фазу, в то время как в лютеиновую фазу аналогично с группой 3 преобладает активность парасимпатического отдела ВНС (на это указывают максимальные средние значения показателей RMSSD, pNN50 и RRNN).

Анализ параметров гистограммы ВСР (табл. 2) подтверждает обнаруженное ранее (по параметрам временного анализа) перераспределение тонуса ВНС в группах в разные фазы цикла.

Таблица 2

Изменение параметров гистограммы у испытуемых

Table 2

Histogram parameters in volunteers

Показатели	Фаза менструального цикла			Уровень значимости (p)
	Менструальная	Фолликулиновая	Лютеиновая	
Группа 1				
Амо, %	47,60 ± 12,02	39,4 ± 10,6	50,0 ± 14,5	0,049 79
SI	239 ± 238	140 ± 123	218 ± 178	0,096 97
ВР, с	0,285 ± 0,130	0,293 0 ± 0,082 1	0,243 0 ± 0,084 7	0,096 97
ПАПР, усл. ед.	67,7 ± 30,0	53,96 ± 23,60	75,6 ± 35,4	0,049 79
ИВР, усл. ед.	235 ± 172	176 ± 126	248 ± 172	0,049 79
ВПР, усл. ед.	6,35 ± 4,26	5,46 ± 3,11	7,00 ± 4,07	0,096 97
Группа 2				
Амо, %	32,30 ± 5,76	48,00 ± 1,91	40,80 ± 9,61	0,096 97
SI	69,5 ± 25,4	201,0 ± 92,7	134,0 ± 93,5	0,049 79
ВР, с	0,372 0 ± 0,082 3	0,257 0 ± 0,064 7	0,29 ± 0,08	0,096 97
ПАПР, усл. ед.	41,40 ± 9,26	71,7 ± 10,4	58,5 ± 18,0	0,096 97
ИВР, усл. ед.	98,7 ± 33,0	222,0 ± 82,3	163,0 ± 93,4	0,096 97
ВПР, усл. ед.	3,760 ± 0,951	6,51 ± 2,48	5,37 ± 2,19	0,096 97
Группа 3				
Амо, %	50,80 ± 8,36	53,40 ± 6,49	44,00 ± 4,66	0,042 15
SI	189 ± 153	216 ± 107	120,0 ± 39,8	0,223 13
ВР, с	0,239 0 ± 0,076 6	0,211 0 ± 0,050 2	0,254 0 ± 0,049 7	0,606 53
ПАПР, усл. ед.	65,3 ± 16,7	74,2 ± 14,8	53,20 ± 7,66	0,114 56

Окончание табл. 2
Ending table 2

Показатели	Фаза менструального цикла			Уровень значимости (<i>p</i>)
	Менструальная	Фолликулиновая	Лютеиновая	
ИВР, усл. ед.	256 ± 167	274 ± 105	179 ± 49	0,042 15
ВПР, усл. ед.	6,47 ± 4,43	7,04 ± 2,50	4,86 ± 1,07	0,069 48
Группа 4				
Амо, %	44,60 ± 8,56	41,90 ± 5,92	39,60 ± 5,12	0,846 48
SI	138,0 ± 39,8	134,0 ± 47,4	114,0 ± 28,5	0,606 53
ВР, с	0,268 0 ± 0,088 2	0,274 ± 0,052	0,252 0 ± 0,026 6	0,437 76
ПАПР, усл. ед.	60,5 ± 14,4	62,7 ± 12,1	51,80 ± 5,46	0,513 42
ИВР, усл. ед.	181,0 ± 56,5	160,0 ± 48,6	159,50 ± 34,96	0,606 53
ВПР, усл. ед.	5,38 ± 1,30	5,69 ± 1,50	5,230 ± 0,456	0,311 40

Примечание. Амо – амплитуда моды; SI – стресс-индекс; ВР – вариационный размах; ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции; ИВР – индекс вегетативного равновесия; ВПР – вегетативный показатель ритма; усл. ед. – условные единицы.

В группе 1 повышение амплитуды моды, индекса вегетативного равновесия, вегетативного показателя ритма и вариационного размаха указывает на усиление тонуса симпатического отдела в лютеиновую фазу цикла, а снижение – на активацию парасимпатического отдела в фолликулиновую фазу. Аналогичные по динамике данные были получены в работе [9]. О. Б. Рода и С. В. Калитка пришли к выводу, что такие результаты могут указывать на снижение степени напряжения регуляторных систем и повышение функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы в фолликулиновую фазу цикла.

Динамика показателей гистограммы у испытуемых группы 2 свидетельствует о преобладании вагусной активности в фолликулиновую фазу и повышении тонуса симпатического отдела ВНС в менструальную фазу цикла. У испытуемых группы 3 активность симпатического отдела ВНС преобладала в фолликулиновую, а парасимпатического – в лютеиновую фазу. Кроме того, как утверждают О. Б. Рода и С. В. Калитка [9], снижение значений показателя адекватности процессов регуляции, индекса вегетативного равновесия и вегетативного показателя ритма говорит о снижении степени напряжения регуляторных систем и повышении функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы в лютеиновую фазу цикла. Изменения амплитуды моды и стресс-индекса, которые отражают состояние центрального контура регуляции, в группе 4 однонаправленные. Их максимальные средние значения отмечены в менструальную фазу, что указывает на активацию симпатического отдела ВНС.

Перераспределение тонуса отделов ВНС, оцененное с помощью показателей скаттерограммы, соответствует распределению по группам на основе показателей ВСР, приведенных выше. В группах 1 и 2 достоверно ($p < 0,05$) отличались по фазам значения длины продольной оси скаттерограммы ell_L : (116,0 ± 32,1) мс; (144,0 ± 42,3) мс; (107,0 ± 31,4) мс в группе 1 и (183,0 ± 36,1) мс; (115,00 ± 8,08) мс; (145,0 ± 34,3) мс в группе 2 в менструальную, фолликулиновую и лютеиновую фазы цикла соответственно. На рис. 1 представлены скаттерограммы одной из испытуемых группы 1. Приведенные графики генерируются непосредственно программой *НС-Психотест.NET*. Так, изменения вегетативного тонуса у данной испытуемой полностью совпадают с динамикой, характерной для группы 1.

В группах 3 и 4 достоверные отличия в разные фазы цикла были отмечены для показателя L/w (отношение продольной оси к поперечной): 3,51 ± 1,42; 8,74 ± 10,69; 3,300 ± 0,454 ($p = 0,011 11$) в группе 3 и 3,303 ± 0,903; 3,700 ± 1,087; 2,600 ± 0,666 ($p = 0,042 15$) в группе 4 в менструальную, фолликулиновую и лютеиновую фазы цикла соответственно.

Изменения параметров спектрограммы у испытуемых приведены в табл. 3.

В группе 1 преобладание VLF в фолликулиновую фазу, по сравнению с остальными фазами цикла, отражает активность центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции сердечного ритма. Схожие данные были получены в работе [9]. Повышение LF $norm$ и снижение HF $norm$ в лютеиновую фазу свидетельствуют об активации симпатического отдела, а снижение LF $norm$ и повышение HF $norm$ в фолликулиновую фазу – об усилении парасимпатического тонуса ВНС. На рис. 2 представлена волновая структура ритма одной из испытуемых группы 1. Данные спектрограммы строятся программой *НС-Психотест.NET* в процессе регистрации ЭКГ. На спектрограмме отражен количественный вклад волн различной мощности (обозначены разными цветами) в формирование волновой структуры ритма.

Рис. 1. Вид скаттерогаммы в разные фазы менструального цикла (данные одного эксперимента):

a – менструальная фаза; *б* – фолликулиновая фаза; *в* – лютеиновая фаза;

$R - R_{i-1}$ – продолжительность текущего $R - R$ -интервала;

$R - R_i$ – продолжительность последующего $R - R$ -интервала для каждой точки графика

Fig. 1. Type of scatterogram in different phases of the menstrual cycle (data from one experiment):

a – menstrual phase; *b* – follicular phase; *c* – luteal phase; $R - R_{i-1}$ – duration of the current $R - R$ -interval;

$R - R_i$ – duration of the following $R - R$ -interval for each point of the graph

Таблица 3

Изменение параметров спектрограммы у испытуемых

Table 3

Spectrogram parameters in volunteers

Показатели	Фаза менструального цикла			Уровень значимости (<i>p</i>)
	Менструальная	Фолликулиновая	Лютеиновая	
Группа 1				
TP, мс ²	2387 ± 1578	2905 ± 1410	1394 ± 622	0,049 79
HF, мс ²	572 ± 531	532 ± 324	422 ± 467	0,367 88
LF, мс ²	933 ± 660	1269 ± 850	628 ± 325	0,049 79
VLF, мс ²	882 ± 407	1104 ± 295	519 ± 177	0,049 79
HF norm, n. u.	31,6 ± 10,0	32,00 ± 5,63	32,3 ± 20,8	0,716 53

Окончание табл. 3
Ending table 3

Показатели	Фаза менструального цикла			Уровень значимости (<i>p</i>)
	Менструальная	Фолликулиновая	Лютеиновая	
LF norm, n. u.	68,4 ± 10,0	68,00 ± 5,63	64,4 ± 26,5	0,716 53
%HF	19,2 ± 10,7	18,20 ± 3,96	19,7 ± 16,1	0,716 53
%LF	38,20 ± 4,41	39,6 ± 11,1	41,20 ± 5,45	0,716 53
%VLF	42,6 ± 14,4	42,2 ± 13,2	40,0 ± 11,9	0,716 53
Группа 2				
TP, мс ²	4607 ± 2403	1826 ± 702	3041 ± 1590	0,096 97
HF, мс ²	1375 ± 1772	620 ± 404	770 ± 1061	0,716 53
LF, мс ²	1412 ± 736	780 ± 276	1308 ± 878	0,263 60
VLF, мс ²	1751 ± 229	607 ± 262	3305 ± 3900	0,096 97
HF norm, n. u.	38,5 ± 24,6	34,4 ± 13,1	27,6 ± 22,0	0,716 53
LF norm, n. u.	61,5 ± 24,6	63,7 ± 16,0	72,4 ± 22,0	0,716 53
%HF	22,2 ± 19,0	23,8 ± 14,1	18,8 ± 21,7	1,000 00
%LF	33,3 ± 13,6	39,00 ± 7,29	40,2 ± 15,5	0,367 88
%VLF	44,5 ± 16,2	38,3 ± 19,6	41,0 ± 26,8	1,000 00
Группа 3				
TP, мс ²	1366 ± 665	1187 ± 341	1952 ± 720	0,114 56
HF, мс ²	154,0 ± 78,4	70,7 ± 20,7	259 ± 173	0,135 34
LF, мс ²	744 ± 383	672 ± 281	814 ± 244	0,311 40
VLF, мс ²	469 ± 268	444 ± 124	878 ± 492	0,606 53
HF norm, n. u.	17,40 ± 5,25	10,30 ± 3,38	22,4 ± 10,4	0,032 23
LF norm, n. u.	82,60 ± 5,25	89,70 ± 3,38	77,6 ± 10,4	0,032 23
%HF	11,50 ± 4,56	6,08 ± 1,56	13,1 ± 8,5	0,083 89
%LF	53,30 ± 6,29	55,1 ± 11,4	43,5 ± 11,8	0,513 42
%VLF	35,2 ± 9,0	38,9 ± 11,0	43,4 ± 15,3	0,513 42
Группа 4				
TP, мс ²	1815 ± 618	2294 ± 766	2195 ± 571	0,513 42
HF, мс ²	406 ± 363	488 ± 392	636 ± 237	0,030 20
LF, мс ²	625 ± 178	759 ± 331	824 ± 252	0,311 40
VLF, мс ²	784 ± 410	1047 ± 560	740 ± 360	0,311 40
HF norm, n. u.	35,5 ± 15,9	37,4 ± 15,3	43,5 ± 10,9	0,606 53
LF norm, n. u.	64,5 ± 15,9	62,6 ± 15,3	56,5 ± 10,9	0,606 53
%HF	20,98 ± 12,10	20,3 ± 10,5	29,70 ± 9,82	0,135 34
%LF	36,7 ± 14,0	35,0 ± 18,3	37,30 ± 4,71	0,846 48
%VLF	42,4 ± 18,7	44,7 ± 20,5	33,0 ± 9,1	0,513 42

Примечание. TP – общая мощность спектра; HF – мощность волн высокой частоты; LF – мощность волн низкой частоты; VLF – мощность волн очень низкой частоты; norm – относительное значение мощности волн, выраженное в нормализованных единицах (n. u.); %HF – относительное значение мощности волн высокой частоты в процентах; %LF – относительное значение мощности волн низкой частоты в процентах; %VLF – относительное значение мощности волн очень низкой частоты в процентах.

Рис. 2. Волновая структура ритма в разные фазы менструального цикла (данные одного эксперимента):
a – менструальная фаза; *б* – фолликулиновая фаза; *в* – лютеиновая фаза;
 VLF (мощность волн очень низкой частоты) – зеленая заливка;
 LF (мощность волн низкой частоты) – красная заливка;
 HF (мощность волн высокой частоты) – синяя заливка

Fig. 2. The wave structure of the rhythm in different phases of the menstrual cycle (data from one experiment):
a – menstrual phase; *b* – follicular phase; *c* – luteal phase; VLF (very low frequency) – green;
 LF (low frequency) – red; HF (high frequency) – blue

У девушек из группы 2 достоверных различий показателей спектрограммы по фазам выявлено не было. Направленность изменений TP, HF и LF в группе 3 указывает на усиление тонуса симпатического отдела ВНС в фолликулиновую фазу и повышение вагусной активности в лютеиновую фазу цикла. Максимальное среднее значение VLF, свидетельствующее об активации центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции сердечного ритма, отмечено также в лютеиновую фазу. Изменение волновой структуры ритма у испытуемых группы 4 согласуется с динамикой распределения тонуса между отделами ВНС для большинства показателей ВСР: повышение активности симпатического отдела в менструальную (по показателям TP, HF и LF), а парасимпатического отдела – в лютеиновую фазу цикла (по показателям HF, LF, %HF и %LF).

При анализе параметров еще одного метода ВСР – автокоррелограммы – были исследованы изменения CC1 (первый коэффициент автокорреляционной функции, отражающий степень активности автономного контура регуляции) и CC0 (число сдвигов автокорреляции, через которое появляется первое отрицательное значение коэффициента корреляции). У испытуемых группы 1 показатели автокоррелограммы изменялись синхронно (табл. 4).

Таблица 4

Изменение параметров автокоррелограммы у испытуемых

Table 4

Autocorrelation parameters in volunteers

Показатели	Фаза менструального цикла			Уровень значимости (<i>p</i>)
	Менструальная	Фолликулиновая	Лютеиновая	
Группа 1				
CC1	0,446 ± 0,257	0,572 ± 0,280	0,601 ± 0,243	0,263 60
CC0	4,99 ± 5,57	5,65 ± 4,07	5,98 ± 3,46	0,716 53
Группа 2				
CC1	0,576 ± 0,218	0,6570 ± 0,036 1	0,236 ± 0,236	0,716 53
CC0	3,45 ± 1,51	4,79 ± 1,38	5,39 ± 2,42	0,096 97
Группа 3				
CC1	0,672 ± 0,173	0,715 ± 0,142	0,602 ± 0,300	0,311 40
CC0	3,850 ± 0,468	7,37 ± 8,14	4,62 ± 3,78	0,664 25
Группа 4				
CC1	0,568 ± 0,202	0,562 ± 0,168	0,508 ± 0,165	0,606 53
CC0	4,07 ± 2,22	4,45 ± 5,59	4,33 ± 4,70	0,664 25

Повышение CC1 наблюдается при сильной связи между контурами регуляции сердечного ритма, а снижение – при слабой. Уменьшение CC0 свидетельствует о преобладании автономного, а увеличение – центрального контура регуляции [1; 10]. Достоверных различий значений CC1 и CC0 в разные фазы цикла у испытуемых всех групп выявлено не было. В группе 2 максимальные средние значения CC1 и CC0 отмечены в фолликулиновую и лютеиновую фазы соответственно. Минимальные средние значения этих показателей зарегистрированы в лютеиновую и менструальную фазы цикла. Такая направленность изменений свидетельствует о некотором усилении преобладания автономного контура регуляции в менструальную фазу. Наибольшая активность центрального контура регуляции приходилась на лютеиновую фазу. Самая сильная связь между контурами регуляции была отмечена в фолликулиновую фазу цикла. У испытуемых группы 3 наибольшая связь между контурами регуляции также наблюдалась в фолликулиновую фазу. Автономный контур регуляции преобладал в менструальную, а центральный – в фолликулиновую фазу цикла. Максимальное среднее значение CC1 у испытуемых группы 4 было отмечено в менструальную фазу, т. е. можно говорить о некотором усилении связи между контурами регуляции работы сердца. Минимальное среднее значение этого показателя зарегистрировано в лютеиновую фазу. Направленность изменений CC0 для данной группы указывает на повышение активности центрального контура регуляции в фолликулиновую, а автономного – в менструальную фазу.

По результатам исследования девушки были разделены на четыре группы в соответствии с направленностью изменений тонуса ВНС (табл. 5).

Таблица 5

Перераспределение тонуса отделов автономной нервной системы
у испытуемых разных групп в зависимости от фазы менструального цикла

Table 5

Redistribution of the autonomic nervous system department's tone
in volunteers in different groups depending on the phase of the menstrual cycle

Группа	Менструальная фаза	Фолликулиновая фаза	Лютеиновая фаза
1	–	ПНС	СНС
2	ПНС	СНС	–
3	–	СНС	ПНС
4	СНС	–	ПНС

Примечание. ПНС – парасимпатический отдел нервной системы; СНС – симпатический отдел нервной системы; прочерком обозначено отсутствие преобладания одного из отделов ВНС.

Вегетативный тонус нервной системы в разные фазы менструального цикла различается. По направлению изменений показателей ВСР можно судить о преобладании тонуса либо симпатического, либо парасимпатического отдела ВНС для трех фаз цикла. Даже на примере 10 испытуемых можно выделить группы с однонаправленными реакциями показателей ВСР на изменения гормонального фона во время цикла. Но только у одной группы испытуемых (группа 1) направленность изменений показателей ВСР согласуется с данными, представленными в других работах. Несмотря на то что прослеживается определенная динамика, достоверные различия были отмечены лишь для некоторых показателей в каждой из групп. Немногие показатели ВСР в разных группах соответствуют норме, приведенной в литературе [1; 10], во все фазы цикла. Несомненная информативность оценки ВСР, доказанная в различных клинических группах, требует постоянного поиска оптимальных нормативных критериев. При определении нормативных параметров ВСР для женщин необходимо учитывать фазу менструального цикла.

Библиографические ссылки

1. Михайлов ВМ. *Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения*. Иваново: [б. и.]; 2000. 200 с.
2. Воронова НВ, Мейгал АЮ, Елаева ЛЕ, Кузьмина ГИ. Влияние сезона года и фазы менструального цикла женщины на параметры кардиоинтервалограммы. *Экология человека*. 2015;2:20–26.
3. Босенко АИ, Орлик НА. Динамика показателей частоты сердечных сокращений студенток факультета физической культуры в разные фазы менструального цикла. *Вестник Мазырскага дзяржаўнага педагагічнага ўніверсітэта імя І. П. Шамякіна*. 2017;2:3–7.
4. Tada Y, Yoshizaki T, Tomata Y, Yokoyama Y, Sunami A, Hida A, et al. The impact of menstrual cycle phases on cardiac autonomic nervous system activity: an observational study considering lifestyle (diet, physical activity, and sleep) among female college students. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 2017;63(4):249–255. DOI: 10.3177/jnsv.63.249.
5. Schmalenberger KM, Eisenlohr-Moul TA, Würth L, Schneider E, Thayer JF, Ditzen B, et al. A systematic review and meta-analysis of within-person changes in cardiac vagal activity across the menstrual cycle: implications for female health and future studies. *Journal of Clinical Medicine* [Internet]. 2019 [cited 2020 April 15];8:1946. Available from: <https://www.mdpi.com/2077-0383/8/11/1946>. DOI: 10.3390/jcm8111946.
6. Kurokawa J, Kodama M, Clancy CE, Furukawa T. Sex hormonal regulation of cardiac ion channels in drug-induced QT syndromes. *Pharmacology & Therapeutics*. 2016;168:23–28. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2016.09.004.
7. Гланц С. *Медико-биологическая статистика*. Данилов ЮА, переводчик; Бузикашвили НЕ, Самойлов ДВ, редакторы. Москва: Практика; 1998. 459 с.
8. Вейн АМ, редактор. *Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение*. Москва: Медицинское информационное агентство; 2003. 752 с.
9. Рода ОБ, Калитка СВ. Анализ вариабельности сердечного ритма у женщин, специализирующихся в беге на средние дистанции. *Здоровье для всех*. 2014;1:22–28.
10. Бабунц ИВ, Мириджанян ЭМ, Машаех ЮА. *Азбука анализа вариабельности сердечного ритма*. Москва: [б. и.]; 2011. 109 с.

References

1. Mikhailov VM. *Variabel'nost' ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya* [Heart rate variability. Experience of practical application]. Ivanovo: [s. n.]; 2000. 200 p. Russian.
2. Voronova NV, Meigal AYU, Yelaeva LE, Kuzmina GI. Heart rate variability in women during various seasons and phases of the menstrual cycle. *Ekologiya cheloveka*. 2015;2:20–26. Russian.

3. Bosenko AI, Orlik NA. Heart rate frequency indicators dynamics of physical training department female students in various menstrual cycle phases. *Vesnik Mazyrskaga dzjarzhawnaga pedagogichnaga wniversitjeta imja I. P. Shamjakina*. 2017;2:3–7. Russian.
4. Tada Y, Yoshizaki T, Tomata Y, Yokoyama Y, Sunami A, Hida A, et al. The impact of menstrual cycle phases on cardiac autonomic nervous system activity: an observational study considering lifestyle (diet, physical activity, and sleep) among female college students. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 2017;63(4):249–255. DOI: 10.3177/jnsv.63.249.
5. Schmalenberger KM, Eisenlohr-Moul TA, Würth L, Schneider E, Thayer JF, Ditzen B, et al. A systematic review and meta-analysis of within-person changes in cardiac vagal activity across the menstrual cycle: implications for female health and future studies. *Journal of Clinical Medicine* [Internet]. 2019 [cited 2020 April 15];8:1946. Available from: <https://www.mdpi.com/2077-0383/8/11/1946>. DOI: 10.3390/jcm8111946.
6. Kurokawa J, Kodama M, Clancy CE, Furukawa T. Sex hormonal regulation of cardiac ion channels in drug-induced QT syndromes. *Pharmacology & Therapeutics*. 2016;168:23–28. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2016.09.004.
7. Glantz SA. *Primer of biostatistics*. 4th edition. New York: McGraw-Hill; 1997. 473 p.
Russian edition: Glantz S. *Mediko-biologicheskaya statistika*. Danilov YuA, translator; Buzikashvili NE, Samoilov DV, editors. Moscow: Praktika; 1998. 459 p.
8. Vein AM, editor. *Vegetativnye rasstroistva: klinika, diagnostika, lechenie* [Vegetative disorders: clinic, diagnosis, treatment]. Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo; 2003. 752 p. Russian.
9. Roda OB, Kalytka SV. Analysis of the heart rate variability for women, specializing in middle distance running. *Zdorov'e dlya vsekh*. 2014;1:22–28. Russian.
10. Babunts IV, Miridzhanyan EM, Mashaekh YuA. *Azbuka analiza variabel'nosti serdechnogo ritma* [ABC of heart rate variability analysis]. Moscow: [s. n.]; 2011. 109 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 15.04.2020.
Received by editorial board 15.04.2020.