

УДК 591.1

## ВЛИЯНИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА СТУДЕНТОК МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА

© 2024 г. Н. Л. Ильина<sup>1</sup>, М. П. Морозова<sup>2, \*</sup>, М. И. Морозова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет, Медицинский институт, Пенза, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

\*E-mail: mormasha@gmail.com

Поступила в редакцию 14.11.2022 г.

После доработки 02.05.2023 г.

Принята к публикации 10.05.2023 г.

Исследовали влияние дыхательных упражнений (ДУ) с навязанным ритмом на динамику параметров variability ритма сердца (ВРС) с целью изучения характера адаптационных процессов в организме девушек с разным исходным уровнем общей ВРС. Оценивали частоту сердечных сокращений (ЧСС), временные показатели ВРС: *SDNN*, *mNN*, *RMSSD*, *pNN50* и спектральные параметры ВРС: *TP*, *HF* и *HFnu*, *LF* и *LFnu*, *LF/HF*, а также индексы вегетативного равновесия (ИВР) и напряжения (ИН). По уровню *SDNN* выделили лиц с условно низким и условно высоким уровнем общей ВРС — группы НВ (40 (31; 47) мс) и ВВ (64 (58; 70) мс). В состоянии покоя параметры ВРС у ВВ-девушек были значимо выше, чем в НВ-подгруппе. После ДУ в НВ-подгруппе наблюдали значимое увеличение *SDNN* и *TP*, на фоне снижения *HF* и *HFnu* и роста *LF* и *LFnu*, а соотношения *LF/HF* после ДУ возросло на 80%. У ВВ-девушек после ДУ регистрировали рост на 6% ЧСС, но не параметров общей ВРС: снижение *HF* и *HFnu*, было скомпенсировано ростом показателей *LFnu*, в результате отношение *LF/HF* значимо увеличилось почти в 1.5 раза по сравнению с уровнем покоя. У НВ-девушек показатели ИВР и ИН были выше в 2.6–2.7, чем в ВВ-подгруппе. После ДУ наблюдали снижение на 24 и 19% параметров ИВР и ИН в НВ, но не в ВВ-подгруппе. Таким образом, приспособление работы сердца к ДУ происходило сходным образом у НВ- и ВВ-лиц, однако отличалось разной адаптационной стоимостью такого усилия для НВ- и ВВ-субъектов.

**Ключевые слова:** variability ритма сердца, тип вегетативной регуляции, дыхательные упражнения, девушки.

**DOI:** 10.31857/S0131164624010076

Многочисленные исследования в области реабилитации и экологии человека подчеркивают важность персонализированного подхода; определяя тип вегетативной регуляции человека можно судить о его адаптационных возможностях к эмоциональным, физическим или интеллектуальным нагрузкам [1–6]. Индивидуальный подход к здоровью человека уже реализуется в области спортивной медицины [1, 3, 6], при реабилитации отдельных групп пациентов [7–9]. Удобным способом оценки типа вегетативной регуляции организма, а также его адаптационных резервов является анализ variability ритма сердца (ВРС) и расчет индексов, описывающих роль отдельных компонентов системы управления ритмом сердца [10–17].

Для более углубленного исследования адаптационных возможностей организма, данные параметры часто оценивают на фоне предъяв-

ления функциональных нагрузок, затрагивающих активность контуров регуляции [10–12]. Одним из легко реализуемых воздействий, вызывающим перестройку регуляторных контуров управления работой сердца и других систем, является изменение ритма дыхания. Работа сердца и деятельность сердечно-сосудистой системы неразрывно связана с функционированием дыхательной системы: их центры регуляции располагаются в тесной анатомической близости в стволе головного мозга [16, 18–20]. У здоровых людей влияние дыхания отражается на электрокардиограмме периодами увеличения и уменьшения длительности кардиоинтервалов, совпадающими с дыхательным ритмом [18–20]. Это явление получило название дыхательной синусной аритмии и заключается в том, что на вдохе наблюдается учащение сердцебиения, а на выдохе — его торможение, в результате чего, ритмическая активность сердца

характеризуется периодическими колебаниями, отражающимися в ВРС [3, 4, 6, 18–20]. В клинической практике также применяются тесты с навязанным ритмом дыхания, которые позволяют оценить степень дыхательной модуляции сердечного ритма [19–22].

Цель настоящего исследования — изучение влияния функциональных нагрузок в виде дыхательных упражнений на параметры ВРС в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции.

## МЕТОДИКА

Обследовали 33 девушки 2 курса Медицинского института Пензенского государственного университета, которые по результатам ежегодной диспансеризации являлись практически здоровыми и не имели патологий со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Все испытуемые заполнили анкету с указанием параметров роста, массы тела и уровня физической активности.

Регистрацию электрокардиограммы (ЭКГ) проводили в положении сидя в 1 стандартном отведении; длительность записи ЭКГ составляла 300 кардиоинтервалов. После выполнения дыхательных упражнений (ДУ) повторяли процедуру записи кардиоритма.

ДУ представляли собой дыхание с ритмом, формируемым по принципу биологической обратной связи с помощью программно-аппаратного комплекса “Омега-М” (“Динамика”, регистрационное удостоверение № ФСР 2010/09117 от 01.11.2010 г., Россия) (ПАК “Омега-М”). Во время ДУ испытуемая на экране компьютера наблюдала шар, который периодически увеличивался или уменьшался в объеме, частота смены фаз увеличения и уменьшения задавалась ПАК “Омега-М”. Испытуемой предлагали синхронизировать длительность фазы вдоха с периодом расширения шара, а длительность фазы выдоха — с уменьшением его объема на протяжении 5 мин.

*Исследование функционального состояния организма.* Оценку ритма сердца проводили с помощью ПАК “Омега-М”. Метод исследования основан на технологии глубокого анализа ВРС (К.Ю. Смирнов, Ю.А. Смирнов. Цифровой анализатор биоритмов. Патент РФ на полезную модель № 32985. 2003).

Исследовали показатели вегетативной регуляции методами статистического и спектрального анализа ВРС, что позволило изучить его состояние в покое и после выполнения ДУ: ЧСС (частота сокращений сердца, уд./мин),  $mNN$  (средняя длительность  $NN$ -интервалов, мс),  $SDNN$  (стандартное отклонение массива  $NN$ -интервалов, мс),  $RMSSD$  (среднеквадратичное значение разностей последовательных  $NN$ -интервалов, мс),  $pNN50$  (процент соседних пар  $NN$ -интервалов, отлича-

ющихся более чем на 50 мс, от общего количества последовательных пар интервалов  $NN$ , %),  $TP$  (общая мощность спектра в диапазоне 0.0–0.4 Гц, мс<sup>2</sup>),  $HF$  и  $HFnu$  (мощность высокочастотного компонента спектра (0.15–0.4 Гц) в абсолютных (мс<sup>2</sup>) и относительных (%) единицах измерения),  $LF$  и  $LFnu$  (мощность низкочастотного компонента спектра (0.015–0.15 Гц) в абсолютных и относительных единицах измерения),  $LF/HF$ , ИВР (индекс вегетативного равновесия по Баевскому,  $ИВР = A_{Mo}/BP$ , где  $A_{Mo}$  — амплитуда моды,  $BP$  — вариационный размах), ИН (индекс напряжения регуляторных систем по Баевскому,  $ИН = A_{Mo}/2Mo \times BP$ , где  $A_{Mo}$  — амплитуда моды,  $Mo$  — мода массива длительности  $NN$ -интервалов,  $BP$  — вариационный размах длительности  $NN$ -интервалов).

Анализ и интерпретацию полученных параметров ВРС проводили с учетом рекомендаций Европейского кардиологического и Североамериканского электрофизиологических обществ [1, 10–12, 22]. Оценку индексов функционального состояния проводили, опираясь на работу В.М. Михайлова [17].

*Статистическая обработка полученных результатов.* Статистическую обработку результатов исследования выполняли в программе *Statistica 6.0* (*StatSoft*, США). Для обработки данных были использованы непараметрические методы статистического анализа.

Для сравнения двух независимых выборок применяли  $U$ -критерий Манн-Уитни для двух зависимых —  $W$ -критерий Уилкоксона. Методом многовыборочного кластерного анализа по методу  $k$ -средних по параметру  $SDNN$  выделяли подгруппы, содержащие лиц с условно высоким и условно низким уровнем ВРС (НВ- и ВВ-подгруппы) [1].

Данные представлены в виде медианы и квартилей. Различия признавали статистически значимыми при  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Исследование параметров variability ритма сердца испытуемых.* По уровню параметра  $SDNN$ , который по общепринятому мнению отражает суммарный уровень ВРС [10–12, 22], в выборке девушек можно выделить лиц с условно низким и условно высоким уровнем общей ВРС — группы НВ (40 (31; 47) мс) и ВВ (64 (58; 70) мс) (табл. 1).

Показано, что результаты ВРС ВВ-девушек были значимо выше, чем в НВ-подгруппе. При этом подгруппы НВ- и ВВ-девушек значимо не отличались друг от друга по возрасту и индексу массы тела (НВ = 20 (19; 22) кг/м<sup>2</sup> vs ВВ = 21 (19; 23) кг/м<sup>2</sup>). Уровень ЧСС в состоянии покоя у НВ- и ВВ-девушек статистически значимо не отличался (табл. 1).

**Таблица 1.** Значения параметров частоты сердечных сокращений (ЧСС) и variability ритма сердца (ВРС) у девушек в состоянии покоя и после выполнения дыхательных упражнений (ДУ)

Параметры ВРС	НВ ( <i>n</i> = 17)		ВВ ( <i>n</i> = 16)	
	до	после ДУ	до	после ДУ
ЧСС	87 (83; 91)	88 (85; 95)	79 (73; 85)	84 (73; 88)*
RRNN	700 (668; 718)	679 (625; 725)	724 (689; 807)	710 (665; 754)*
SDNN	40 (31; 47)	43 (40; 56)**	64 (58; 69) <sup>ssss</sup>	63 (50; 77)
RMSSD	27 (21; 30)	26 (23; 39)	43 (38; 62) <sup>sss</sup>	42 (32; 64)
pNN50	5 (2; 8)	6 (3; 9)	20 (16; 32) <sup>sss</sup>	18 (8; 40)
TP	1548 (962; 1797)	1806 (1386; 2938)**	3265 (3002; 4299) <sup>ssss</sup>	3856 (2309; 5645)
HF	211 (105; 293)	180 (120; 275)	706 (444; 1434) <sup>sss</sup>	333 (223; 827)**
HFnu	24 (22; 29)	14 (9; 22)**	37 (27; 50) <sup>s</sup>	19 (13; 23)***
LF	688 (399; 880)	955 (670; 1858)**	1266 (1023; 1627) <sup>sss</sup>	2332 (968; 4020)**
LFnu	76 (72; 78)	86 (78; 91)**	63 (50; 73) <sup>s</sup>	81 (77; 87)***
LF/HF	3.1 (2.5; 3.5)	6.3 (3.5; 10.6)**	1.7 (1.0; 2.7) <sup>s</sup>	4.4 (3.3; 6.6)**

Примечание: <sup>s</sup> –  $p < 0.05$ , <sup>sss</sup> –  $p < 0.001$ , <sup>ssss</sup> –  $p < 0.0001$  – статистически значимые отличия между группами с низким (НВ) и высоким (ВВ) уровнем общей ВРС; \* –  $p < 0.05$ , \*\* –  $p < 0.01$ , \*\*\* –  $p < 0.001$  – статистически значимые отличия параметров до и после ДУ внутри своей группы.

**Таблица 2.** Динамика индексов функционального состояния регуляторных систем.

Параметры	НВ ( <i>n</i> = 17)		ВВ ( <i>n</i> = 16)	
	до	после	до	после
ИВР	212 (165; 294)	161 (106; 207)**	81 (70; 98) <sup>ssss</sup>	91 (57; 127)
ИН	149 (126; 230)	117 (83; 143)**	55 (40; 74) <sup>ssss</sup>	73 (41; 89)

Примечание: ИВР – индекс вегетативного равновесия, ИН – индекс напряжения. <sup>ssss</sup> –  $p < 0.0001$  – значимое отличие параметра между подгруппами с низким (НВ) и высоким (ВВ) уровнем общей variability ритма сердца; \*\* –  $p < 0.01$  – статистически значимое отличие параметра по сравнению с исходным уровнем.

Применение функциональной пробы в виде ДУ с навязанным ритмом дыхания выявило специфику реакций параметров ВРС у НВ- и ВВ-девушек (табл. 1). Так в НВ-подгруппе после ДУ наблюдали значимое увеличение на 14 и 27% показателей общей ВРС – *SDNN* и *TP* соответственно. Рост общей ВРС происходил на фоне снижения на 38 и 36% спектральных параметров *HF* и *HFnu* и возрастания на 43 и 10% показателей *LF* и *LFnu*. Причем показатель соотношения *LF/HF* после ДУ увеличился на 80%.

У ВВ-девушек после ДУ регистрировали возрастание на 6% ЧСС. Проба с ДУ не приводила к значимому изменению уровня общей ВРС, однако детальный анализ компонентов ВРС обнаружил реорганизацию в структуре ВРС. Снижение на 56 и 40% параметров *HF* и *HFnu*, характеризующих вклад парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (пВНС) в общую ВРС, было скомпенсировано ростом на 30 и 27% показателей *LFnu*, интерпретируемых как влияние симпатического отдела ВНС (сВНС) в общую ВРС. В результате показатель соотношения *LF/HF* значимо увеличился почти в 1.5 раза по сравнению с уровнем до выполнения ДУ.

Таким образом, НВ- и ВВ-девушки по-разному реагировали на ДУ, что указывает на разные механизмы реорганизации вегетативной регуляции в ответ на функциональную нагрузку.

*Динамика индексов функционального состояния регуляторных систем.* Функциональное состояние регуляторных систем оценивали по индексам ИВР и ИН [10, 17]. Было показано, что у НВ-девушек показатели ИВР и ИН превосходили в 2.6–2.7 раза таковые у ВВ-лиц (табл. 2).

Тест с ДУ приводил к статистически значимому снижению на 24 и 19% параметров ИВР и ИН у НВ-девушек (табл. 2), тогда как в ВВ-подгруппе значимого изменения этих показателей не выявили.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В организме деятельность сердца находится под нервным и гуморальным контролем, что позволяет подстраивать его работу под потребности всего организма [10, 11, 22, 23]. Согласно современным представлениям, нервная регуляция работы сердца представляет собой многоконтурную

систему иерархически организованных интегративных центров: ганглионарные сплетения нейронов внутрисердечной нервной системы, экстракардиальные ганглии, располагающиеся внутри грудной клетки, нейроны спинного мозга и ствола головного мозга — влияют на частоту разрядки синоатриального узла [10–12, 22, 24]. Высшим центром координации управления висцеральными системами является гипоталамус, который, в свою очередь, получает афферентацию, в том числе и от коры головного мозга, лимбической системы и управляет взаимодействием парасимпатического и симпатического отделов ВНС. Считается, что на каждом уровне управления система способна модулировать сердечную деятельность с помощью эфферентных петель обратной связи. Активность контуров регуляции работы сердца отражается в нерегулярности возникновения очередного кардиоцикла, или иначе говоря — формирует вариабельность ритма сердца [18–23].

Исследование показало, что значение показателя *SDNN*, характеризующего общий уровень ВРС, у здоровых девушек находится в широком диапазоне, что позволило выделить подгруппы студенток с условно низким и высоким уровнями ВРС — НВ- и ВВ-подгруппы соответственно. Рассмотрение структуры ВРС, показало, что ВВ-девушки характеризовались исходно более высокими показателями, коррелирующими с активностью парасимпатического отдела ВНС, регуляции и значительной дыхательной модуляции тонуса ВНС и хронотропной функции сердца [1]. Напротив, НВ-студентки с низким уровнем общей ВРС демонстрировали большую степень представленности в ней низкочастотной составляющей [1, 4, 11]. Считается, что такой тип управления функциями организма связан с меньшими адаптационными возможностями и большими энергетическими затратами, тогда как вагусный тип управления в большей степени подвержен саморегуляции [6, 10, 15, 24].

Для оценки адаптационных возможностей НВ- и ВВ-лиц использовали тест с навязанным ритмом дыхания. Считается, что выполнение дыхательной пробы является способом усиления влияний парасимпатического отдела ВНС на ритм сердца, которое обычно сопровождается увеличением параметров *RMSSD*, *pNN50*, *HF* и *HFnu* [5, 10, 16, 17]. Выполнение ДУ девушками с разным типом вегетативной регуляции показало, что НВ- и ВВ-субъекты по-разному реагировали на данную функциональную пробу. НВ-девушки после ДУ демонстрировали увеличение уровня общей ВРС, как оказалось, не связанного с ростом временных параметров вклада пВНС (а спектральный показатель *HFnu* и вовсе значительно уменьшился). В результате исходное соотношение *LF/HF* возросло дополнительно почти в 2 раза в сторону еще

большого преобладания *LF* компонента над *HF*. Феномен снижения вклада спектральных параметров пВНС в общую ВРС, не поддерживаемого со стороны временных показателей, может быть объяснен ритмом, задаваемым ПАК “Омега-М”. Известно, что частота дыхания здорового человека в покое составляет 12–20 раз в минуту и проявляется пиком высокой амплитуды *HF*-компонента спектра в диапазоне 0.15–0.4 Гц с максимумом на частоте, соответствующей ритму дыхания [10, 11, 16, 17]. Тогда, более размеренный тип дыхания, например, 6 или 4 раза в минуту, будет проявляться на спектрограмме пиками в области 0.1 или 0.067 Гц соответственно и увеличивать мощность *LF*-диапазона спектра, рассчитываемого в интервале 0.015–0.15 Гц. Что может быть ошибочно проинтерпретировано как рост вклада сВНС в общую ВРС. Вероятно, это объясняет рассогласование динамики временных и спектральных показателей пВНС вклада, а также кажущееся преобладание симпатических влияний над парасимпатическими на ритм сердца в нашем исследовании.

ВВ-субъекты, напротив, показали отсутствие изменений уровня общей ВРС после ДУ, хотя детальное рассмотрение выявило снижение как временных, так и спектральных показателей, интерпретируемых как влияние пВНС, так и рост *LF*-компонента, что, в конечном счете, проявилось возрастанием соотношения *LF/HF* почти в 1.5 раза, что более значимо выражено, чем в НВ-подгруппе. Предположено, что и в данной подгруппе дыхание с навязанным ритмом, привело к миграции дыхательного компонента спектра в низкочастотный диапазон, и ошибочно выглядит как усиление вклада сВНС в общую ВРС.

Учитывая, что и в НВ- и ВВ-подгруппах выполнение ДУ сопровождалось ростом соотношения *LF/HF*, хоть и в разной степени, можно судить об общности механизмов адаптации регуляторных систем работы сердца, при наличии разной адаптационной стоимости такого усилия для НВ- и ВВ-субъектов. Данные результаты частично согласуются с ранее полученными при помощи холтеровского мониторинга ЭКГ студентов, где показано, что НВ- и ВВ-субъекты по-разному реагировали на дыхание с навязанным ритмом 4 и 6 раз в минуту и корреляционные связи между показателями ВРС изменялись в разной степени в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции субъектов [1].

Следующий блок исследования был посвящен оценке ИВР и ИН — показателей состояния регуляторных систем организма, рассчитываемых на основании данных вариационной пульсометрии. ИВР может служить аналогом соотношения *LF/HF* — спектральных показателей ВРС, однако его изменение демонстрирует другую чувстви-

тельность к функциональной пробе в виде ДУ. Как показало исследование, НВ-лица показали исходно более высокие значения ИВР, по сравнению с ВВ-испытуемыми, что можно объяснить более высоким вкладом сВНС в регуляторные процессы в организме. Традиционно рост ИВР связывают с увеличением влияния сВНС и ростом амплитуды моды распределения кардиоинтервалов (числителя при расчете показателя ИВР). Тогда как возрастание вклада пВНС в регуляторные процессы приводит к увеличению вариационного размаха кардиоинтервалов (знаменателя при расчете показателя ИВР) и снижению самого индекса [10]. Выполнение ДУ в НВ-подгруппе приводило к его значимому снижению, т.е. усилению влияний пВНС на регуляцию работы сердца. Таким образом, эти результаты косвенно подтверждают вышеизложенную линию рассуждений о смещении дыхательного компонента спектра, связанного с активацией пВНС в низкочастотную область анализа. Что касается ВВ-подгруппы, то значимого изменения ИВР у девушек не выявлено, что подтверждается и результатами исследования ВРС: дыхательные упражнения не сопровождаются значимым увеличением общей ВРС ни во временном, ни в спектральном домене, а адаптация к нагрузке реализуется за счет реорганизации влияний пВНС и сВНС на кардиоритм.

Значение индекса напряжения регуляторных систем в норме составляет 80–150 у.е. [10, 17]; медианный уровень ИН в группе девушек составил 90 у.е., что соответствовало норме. Показано, что в состоянии покоя ИН у НВ-субъектов находится в пределах верхней границы нормы, тогда как значение этого параметра у ВВ-девушек примерно на 30% ниже нижней границы нормального диапазона. Обнаружение значений ИН ниже диапазона нормы по всей популяции указывает на то, что данные индивиды по типу вегетативной регуляции относятся к умеренным ваготоникам, для которых значения ИН ниже 50 у.е. являются типичными [15, 24].

Считается, что ИН является довольно чувствительным показателем к увеличению физической или эмоциональной нагрузки, так как сильно связан с усилением тонуса сВНС. Выполнение ДУ в НВ-подгруппе приводило к снижению ИН, а значит — ослаблению тонуса сВНС. При этом выполнение ДУ не приводило к выходу значений ИН за пределы нормального диапазона.

Выполнение ДУ ВВ-девушками, напротив, показало тенденцию к увеличению ИН, однако медиана абсолютных значений ИН не достигла нижней границы нормы. Любопытно, что для ВВ-субъектов, в отличие от НВ, выполнение ДУ было связано с активацией регуляторных систем, что подтверждается снижением временных

и спектральных параметров ВРС, характеризующих вклад пВНС в общую ВРС, и тенденцией к росту показателей вклада сВНС в общую ВРС. Таким образом, дыхание с навязанным ритмом для ВВ-субъектов является более сложной для адаптационных систем нагрузкой, чем для НВ-лиц, несмотря на то, что ВВ-группа студенток соответствует группе людей, относящихся к умеренным ваготоникам, для которых “естественно” справляться с нагрузкой с помощью активации механизма, связанного с дыханием [6, 15]. Вероятно, такие люди являются более отзывчивыми к медитативным дыхательным практикам, физическим нагрузкам, связанным с изменением ритма дыхания или с его задержкой, например, при нырянии в воду и подводном плавании. Кроме того, клинические тесты, связанные с изменением ритма дыхания пациента, предположительно по-разному будут влиять на компоненты многоконтурной системы регуляции работы сердца.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывают результаты настоящего исследования, дыхательные упражнения могут выступать инструментом к изменению баланса влияний пВНС и сВНС на функции организма вне зависимости от типа регуляторной активности. А также — дыхательные упражнения запускают различные механизмы адаптационных процессов в норме, у здоровых людей с разным типом регуляторной активности. Кроме того, данное исследование открывает перспективы для изучения нарушения в регуляции работы сердца в условиях развития патологии, где дыхательный тест может стать мягким неинвазивным инструментом оценки состояния пациента.

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях и одобрены локальным биоэтическим комитетом Медицинского института Пензенского Государственного Университета, протокол № 10 от 24.06.2020 г.

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**Вклад авторов в публикацию.** Н.Л. Ильина разработала дизайн исследования, а также проводила анализ научной литературы и редактировала текст публикации. М.П. Морозова отвечала

за статистическую обработку результатов исследования, сбор и анализ научной литературы, написание текста настоящей статьи и осуществляла предпечатную подготовку работы. М.И. Морозова координировала взаимодействие студентов и экспериментаторов, контролировала документальную фиксацию результатов эксперимента и правильное выполнение протокола исследования студентами, осуществляла поиск и анализ литературы и участвовала в написании текста настоящей публикации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозова М.П., Евсеев А.М., Прохорова А.В. и др. Связь вегетативного тонуса девушек и юношей с их психологическим профилем личности // Физиология человека. 2020. Т. 46. № 5. С. 15.
2. Koch C., Wilhelm M., Salzmann S. et al. A meta-analysis of heart rate variability in major depression // Psychol. Med. 2019. V. 49. № 12. P. 1948.
3. Perrone M.A., Volterrani M., Manzi V. et al. Heart rate variability modifications in response to different types of exercise training in athletes // J. Sports Med. Phys. Fitness. 2021. V. 61. № 10. P. 1411.
4. Thielmann B., Pohl R., Bockelmann I. Heart rate variability as a strain indicator for psychological stress for emergency physicians during work and alert intervention: a systematic review // J. Occup. Med. Toxicol. 2021. V. 16. № 1. P. 24.
5. Зарченко П.Ю., Казин Э.М., Блинова Н.Г. и др. Реализация ДАС-БОС-терапии у студентов с различными типами вегетативной регуляции кардиоритма в процессе адаптации к учебной деятельности // Физиология человека. 2020. Т. 46. № 6. С. 92.
6. Шлык Н.И., Зуфарова Э.И. Нормативы показателей variability сердечного ритма у исследуемых 16–21 года с разными преобладающими типами вегетативной регуляции // Вестник Удмуртского университета. Серия “Биология. Науки о Земле”. 2013. № 4. С. 96.
7. Сокрут В.Н., Сокрут О.П., Синяченко О.В. “Вегетативный паспорт” и реабилитационный диагноз в артрологической практике // Боль. Суставы. Позвоночник. 2016. № 1 (21). С. 45.
8. Федотчев А.И. Коррекция стресс-индуцированных состояний сенсорными воздействиями, автоматически модулируемыми эндогенными ритмами человека // Ж. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. 2022. Т. 72. № 1. С. 3.
9. Piantino J.A., Lin A., Luther M. et al. Simultaneous Heart Rate Variability and Electroencephalographic Monitoring in Children in the Emergency Department // J. Child Adolesc. Trauma. 2021. V. 14. № 2. P. 165.
10. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65.
11. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use / Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // Eur. Heart J. 1996. V. 17. № 3. P. 354.
12. Tiwari R., Kumar R., Malik S. et al. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability // Curr. Cardiol Rev. 2021. V. 17. № 5. P. e160721189770.
13. Demin D.B., Poskotinova L.V. Changes in the Spectral Characteristics of the Electroencephalogram during Biocontrol of Heart Rate Variability Parameters in Healthy Subjects // Neurosci. Behav. Physiol. 2018. V. 48. № 8. P. 913.
14. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д., Потанов В.В., Потанова Р.К. Комплексное исследование изменения функционального состояния человека при восприятии медиаконтента разной модальности // Ж. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. 2021. Т. 71. № 1. С. 86.
15. Чуян Е.Н., Бирюкова Е.А., Раваева М.Ю. Комплексный подход к оценке функционального состояния организма студентов // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия “Биология, химия”. 2008. Т. 21 (60). № 1. С. 123.
16. Бахилин В.М. Различия оценок параметров дыхательной синусовой аритмии // Физиология человека. 2022. Т. 48. № 4. С. 103.
17. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. Иваново: Ивановская государственная медицинская академия, 2000. 200 с.
18. Fisher J.P., Zera T., Paton J.F.R. Respiratory-cardiovascular interactions // Handb. Clin. Neurol. 2022. V. 188. P. 279.
19. Sevoz-Couche C., Laborde S. Heart rate variability and slow-paced breathing: when coherence meets resonance // Neurosci. Biobehav. Rev. 2022. V. 135. P. 104576.
20. Самойлов В.О., Лесова Е.М., Катунцев В.П., Божокин С.В. Количественные параметры variability сердечного ритма во время дыхательных проб // Интегративная физиология. 2021. Т. 2. № 2. С. 173.
21. Лучникова О.В. Оценка нагрузочных проб по показателям variability ритма сердца для военнослужащих // Известия Российской военно-медицинской академии. 2020. Т. 39. № S3-5. С. 70.
22. Catai A.M., Pastre C.M., Godoy M.F. et al. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures // Braz. J. Phys. Ther. 2020. V. 24. № 2. P. 91.
23. Goldberger J.J., Arora R., Buckley U., Shivkumar K. Autonomic Nervous System Dysfunction: JACC Focus Seminar // J. Am. Coll. Cardiol. 2019. V. 73. № 10. P. 1189.

24. Двоеносов В.Г. Особенности функционального и психологического состояния студентов с различным вегетативным тонусом в условиях экзаменационного стресса // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2009. Т. 151. № 3. С. 255.

## REFERENCES

- Morozova M.P., Evseev A.M., Prokhorova A.V. et al. Autonomic tone is associated with psychological personality profile in girls and boys // *Human Physiology*. 2020. V. 46. № 5. P. 473.
- Koch C., Wilhelm M., Salzmann S. et al. A meta-analysis of heart rate variability in major depression // *Psychol. Med.* 2019. V. 49. № 12. P. 1948.
- Perrone M.A., Volterrani M., Manzi V. et al. Heart rate variability modifications in response to different types of exercise training in athletes // *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 2021. V. 61. № 10. P. 1411.
- Thielmann B., Pohl R., Bockelmann I. Heart rate variability as a strain indicator for psychological stress for emergency physicians during work and alert intervention: a systematic review // *J. Occup. Med. Toxicol.* 2021. V. 16. № 1. P. 24.
- Zarchenko P.Yu., Kazin E.M., Blinova N.G. et al. Implementation of RSA-Biofeedback therapy in students with various types of vegetative carditrm regulation in the process of adaptation to educational activity // *Human Physiology*. 2020. V. 46. № 6. P. 663.
- Shlyk N.I., Zufarova E.I. [Qualifying standards of heart rate variability for 16–21-year-old trial subjects with different prevalent types of autonomic regulation] // *Bulletin of the Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2013. № 4. P. 96.
- Sokrut V.N., Sokrut O.P., Sinyachenko O.V. [“Vegetative passport” and rehabilitation diagnosis in arthrological practice] // *Pain. Joints. Spine*. 2016. № 1 (21). P. 45.
- Fedotchev A.I. [Correction of stress-induced states via sensory stimulation automatically modulated by human endogenous rhythms] // *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat. Im. I.P. Pavlov*. 2022. V. 72. № 1. P. 3.
- Piantino J.A., Lin A., Luther M. et al. Simultaneous Heart Rate Variability and Electroencephalographic Monitoring in Children in the Emergency Department // *J. Child Adolesc. Trauma*. 2021. V. 14. № 2. P. 165.
- Baevsky R.M., Ivanov G.G., Chireikin L.V. et al. [Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (guidelines)] // *J. Arrhythmology*. 2001. № 24. P. 65.
- Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use / Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Eur. Heart J.* 1996. V. 17. № 3. P. 354.
- Tiwari R., Kumar R., Malik S. et al. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability // *Curr. Cardiol Rev.* 2021. V. 17. № 5. P. e160721189770.
- Demin D.B., Poskotinova L.V. Changes in the Spectral Characteristics of the Electroencephalogram during Biocontrol of Heart Rate Variability Parameters in Healthy Subjects // *Neurosci. Behav. Physiol.* 2018. V. 48. № 8. P. 913.
- Lebedeva N.N., Karimova E.D., Potapova R.K., Potapov V.V. [Comprehensive study of the functional state changes when perceiving media content of different modality] // *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat. Im. I.P. Pavlov*. 2021. V. 71. № 1. P. 86.
- Chuyan E.N., Biryukova E.A., Ravaeva M.Yu. [An integrated approach to the assessment of the functional state of the students’ organism] // *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2008. V. 21 (60). № 1. P. 123.
- Bakhilin V.M. Estimates of the parameters of respiratory sinus arrhythmia // *Human Physiology*. 2022. V. 48. № 4. P. 440.
- Mikhailov V.M. [Heart rate variability. Experience in practical application of the method] Ivanovo: Ivanovo State Medical Academy, 2000. 200 p.
- Fisher J.P., Zera T., Paton J.F.R. Respiratory-cardiovascular interactions // *Handb. Clin. Neurol.* 2022. V. 188. P. 279.
- Sevoz-Couche C., Laborde S. Heart rate variability and slow-paced breathing: when coherence meets resonance // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2022. V. 135. P. 104576.
- Samoilov V.O., Lesova E.M., Katuntsev V.P., Bozhokin S.V. [Quantitative parameters of heart rate variability during light tests] // *Integrative Physiology*. 2021. V. 2. № 2. P. 173.
- Luchnikova O.V. [Evaluation of stress tests in terms of heart rate variability for military personnel] // *Proceedings of the Russian Military Medical Academy*. 2020. V. 39. № S3-5. P. 70.
- Catai A.M., Pastre C.M., Godoy M.F. et al. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures // *Braz. J. Phys. Ther.* 2020. V. 24. № 2. P. 91.
- Goldberger J.J., Arora R., Buckley U., Shivkumar K. Autonomic Nervous System Dysfunction: JACC Focus Seminar // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2019. V. 73. № 10. P. 1189.
- Dvoenosov V.G. [Features of the functional and psychological state of students with different vegetative tone under examination stress] // *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*. 2009. V. 151. № 3. P. 255.

## The Influence of Breathing Exercises on the Heart Rate Variability Parameters of Female Medical Students

N. L. Ilina<sup>a</sup>, M. P. Morozova<sup>b,\*</sup>, M. I. Morozova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Penza State University, Penza, Russia*

<sup>b</sup>*Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia*

\**E-mail: mormasha@gmail.com*

We studied the influence of breathing exercises (BE) with an imposed rhythm on the dynamics of heart rate variability (HRV) parameters in order to study the nature of adaptive processes in the body of girls with different initial levels of total HRV. Heart rate, time indicators: SDNN, mNN, RMSSD, pNN50 - and spectral parameters: TP, HF and HFnu, LF and LFnu, LF/HF - as well as IVR and IN indices were evaluated. According to the level of SDNN, individuals with conditionally low and conditionally high levels of total HRV were identified - groups LV (40 (31; 47) ms) and HV (64 (58; 70) ms). At rest, HRV parameters in HV-girls were significantly higher than in the LV-subgroup. After BE, a significant increase in SDNN and TP was observed in the LV-subgroup, against the background of a decrease in HF and HFnu and an increase in LF and LFnu, and the LF/HF ratio after BE increased by 80%. In HV-girls after BE, an increase of 6% in heart rate was recorded, but not in total HRV parameters: a decrease in HF and HFnu was compensated by an increase in LFnu, as a result, the LF/HF ratio increased significantly by almost 1.5 times compared to the rest level. In LV-girls, the indicators of autonomic balance index (AVR) and stress-index (SI) were higher by 2.6–2.7 than in the HV-subgroup. After BE, a decrease of 24 and 19% in the parameters of AVR and SI was observed in the LV, but not in the HV-subgroup. Thus, the adaptation of the work of the heart to BE occurred in a similar way in LV- and HV-individuals, however, it differed in different adaptive costs of such an effort for LV- and HV-subjects.

*Keywords:* heart rate variability, autonomic tone type, breathing exercises, girls.