

Варіабельність серцевого ритму у здорових осіб за умов діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку

В.П. Фекета, Л.А. Глеба, О.С. Паламарчук, Ю.М. Савка, К.Б. Ківежді

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»; e-mail: vfeketa@gmail.com

Метою нашого дослідження було з'ясувати чи здатні портативні комп'ютерні прилади біологічного зворотного зв'язку в рекомендованих режимах використання суттєво вплинути на варіабельність серцевого ритму (ВСР) і наскільки тривалий цей ефект. У дослідженні брали участь 30 осіб чоловічої статі віком від 18 до 20 років, які випадковим чином були розподілені на три рівні групи по 10 осіб у кожній. Особи першої групи займалися дихальними вправами з використанням портативного пристрою біологічного зворотного зв'язку StressEraser, другої – пристрою EmWave2, а третьої – апаратно-програмного комплексу MyCalmBeat. Кожний сеанс тривав від 10 до 15 хв. Всього було проведено 10 сеансів щоденно в ранковій годині. ВСР реєстрували за допомогою дистанційного монітора серцевого ритму Polar RS800CX та програмного забезпечення Polar ProTrainer5. Для розрахунків показників використовували 5-хвилинні стаціонарні ділянки кривої грудного відведення електрокардіограми. Встановлено, що глибоке дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку протягом 15 хв суттєво впливає на показники ВСР. Зокрема, зростала загальна ВСР як за результатами статистичного, так і спектрального аналізу ритмокардіограми. У всіх трьох групах найбільших зсувів зазнав низькочастотний діапазон спектральної кривої Low Frequency (LF), який згідно з загальноприйнятою трактовкою відображає активність симпатичної ланки автономної нервової системи (АНС) та судинно-рухового центру. При аналізі відсоткової спектральної структури серцевого ритму до та після сеансу діафрагмального дихання встановлено, що у всіх трьох групах вірогідно зменшувалася питома вага хвиль наднизької частоти Very Low Frequency (VLF)% на $11,8 \pm 2,2$; $6,6 \pm 2,8$ та $6,8 \pm 2,4$ % відповідно. Це означає, що відбувся перерозподіл активності між різними регуляторними компонентами серцевого ритму на користь периферичної ланки АНС. Такі зміни ВСР зберігалися як мінімум протягом одного місяця після завершення експерименту. Найбільший вплив на показники ВСР спостерігався в групі осіб, яка використовувала прилад StressEraser. Ключові слова: автономна нервова система; варіабельність серцевого ритму; діафрагмальне дихання; дихальна гімнастика; пристрої біологічного зворотного зв'язку.

ВСТУП

Варіабельність серцевого ритму (ВСР) є фундаментальним фізіологічним феноменом організму людини, який відображає адаптацію серця до метаболічних потреб при різноманітних функціональних станах. Різниця в тривалості серцевого циклу «від удару до удару» залежить від взаємодії багатьох регуляторних факторів, які накладаються на базовий серцевий ритм, що генерується в здоровій людини синоатріальним вузлом

© В.П. Фекета, Л. А. Глеба, О.С. Паламарчук, Ю.М. Савка, К.Б. Ківежді

– пейсмекером 1-го порядку. Головними із цих факторів є співвідношення тонузу симпатичної та парасимпатичної ланок автономної нервової системи (АНС), барорецепторні судинні рефлексії, терморегуляторні реакції, гормональний фон [1,2]

За даними багатьох авторів ВСР має велике діагностичне значення для прогнозу тривалості життя пацієнтів після перенесеного інфаркту міокарда [3], для оцінки ступеня важкості депресивних станів [4], діагностики та лікування посттравматичних

стресових розладів [5] тощо. Із впровадженням комп'ютерних технологій у методику реєстрації ВСР з'явилася можливість вивчати її прогностичну цінність для оцінки механізмів адаптації людини до різноманітних фізіологічних чинників. Зокрема, отримано дані щодо специфіки ВСР у спортсменів різної спеціалізації і кваліфікації [6]. Інтенсивно вивчається взаємозв'язок ВСР із психофізіологічним та емоційним станом людини при розумових навантаженнях [7]. З цих досліджень можна зробити спільний висновок про те, що у разі зниження ВСР йдеться про пригнічення адаптаційних резервів організму, а її помірне підвищення завжди асоціюється із покращенням його функціонального стану чи прогнозу при патології.

Одним із відносно нових підходів до збільшення ВСР є діафрагмальне дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку. Цей метод показав свою ефективність у лікуванні психічних розладів (депресивні та тривожні стани), бронхіальної астми, ішемічної хвороби серця, хронічного больового синдрому, фіброміалгії. Особливо інтенсивно метод почав розвиватися після впровадження в практику портативних комп'ютерних приладів, здатних у режимі реального часу монітувати спектральні характеристики серцевого ритму. Використання спектрального аналізу серцевого ритму дає змогу пацієнту фокусувати увагу на специфічних ділянках спектра, які відображають активність певних ланок АНС. Так, за даними Vaschillo, Lehrer [8], у більшості осіб позитивний вплив діафрагмального дихання досягається при частоті дихання 5-7 дихальних рухів за хвилину, що корелює із частотним діапазоном LF (0,1 Гц) спектральної кривої серцевого ритму. Збільшення спектральної енергії цієї компоненти ВСР збільшує сумарну варіабельність серцевого ритму і гармонізує дихання та кровообіг, що, в свою чергу, позитивно впливає на адаптаційний потенціал організму.

Портативні прилади для дихальної гімнастики в режимі біологічного зворотного

зв'язку з ВСР нині широко рекламуються і відносно доступні за ціною. Однак вони позиціонуються розробниками, перш за все, як засоби психологічної релаксації. Мета нашої роботи – з'ясувати чи здатні такі прилади в рекомендованих режимах використання суттєво вплинути на ВСР і наскільки тривалий цей ефект. Для дослідження були використані три прилади виробництва США: Stresseraser (“Helicor”), EmWave2 (“Heartmath”), MyCalmBeat. Останній з них – це пакет програмного забезпечення, який може працювати на персональному комп'ютері чи смартфоні, а його апаратна частина представлена тільки кліпсою з фотоелектричним перетворювачем, який реагує на ступінь кровонаповнення вушної раковини.

МЕТОДИКА

У дослідженні взяли участь 30 осіб чоловічої статі віком від 18 до 20 років, які випадковим чином були розподілені на 3 рівні групи по 10 осіб у кожній. Усі учасники експерименту не пред'являли скарг на стан здоров'я, не мали відхилень від норми за даними фізикального обстеження і професійно не займалися спортом. Особи першої групи займалися дихальними вправами з використанням портативного пристрою біологічного зворотного зв'язку StressEraser, другої – пристрою EmWave2, а третьої – апаратно-програмного комплексу MyCalmBeat. Кожний сеанс тривав від 10 до 15 хв. Всього було проведено 10 сеансів щоденно в ранкові години.

Під час тренування кожний учасник першої групи змінював частоту дихання відповідно із візуальними сигналами приладу. Хвильову структуру серцевого ритму розраховували приладом за фотоплетизмографічним датчиком, який детектував пульсове кровонаповнення вказівного пальця. Поява маркера у вигляді трикутника у верхній частині екрана давала сигнал до початку видиху. У разі узгодження хвильової структури серцевого ритму із темпом дихання

прилад індикував нараховані учаснику бали за кожний вдалий дихальний акт квадратами у нижній частині екрана; 3 квадратики оцінювалися у 1 бал. Сеанс тривав до набору 30 балів.

Дихальну гімнастику в учасників другої групи з використанням приладу EmWave2 реалізували завдяки звуковій та візуальній корекції патернів дихання протягом 15 хв. Прилад генерував керуючі стимули на основі безперервної реєстрації фотоелектричним датчиком пульсу вушної раковини. Зокрема, у разі досягнення когерентності дихання з серцевою діяльністю індикатор у правому верхньому куті змінював свій колір з червоного на синій або зелений залежно від ступеня цієї когерентності. Одночасно прилад подавав звуковий сигнал, що підвищувало ефективність корекції ритму дихання пацієнтом.

Учасники третьої групи також використовували для біологічного зворотного зв'язку пульсометричний датчик, що детектував пульс у вушній раковині аналогічно до реєстрації його в осіб другої групи. Однак принцип корекції дихання з використанням програмного забезпечення MyCalmBeat був дещо інший. Протягом перших 2 хв тренування апаратно-програмний комплекс на основі вільного дихання пацієнта розраховував оптимальну індивідуальну частоту дихання, а у наступні 15 хв він подавав візуальні інструкції щодо початку вдиху та видиху на екрані смартфона відповідно до цієї частоти.

BCP реєстрували за допомогою дистанційного монітора серцевого ритму Polar RS800CX та програмного забезпечення Polar ProTrainer5. Для розрахунків показників використовували 5-хвилинні стаціонарні ділянки кривої грудного відведення електрокардіограми (ЕКГ) згідно з рекомендаціями Європейської та Північно-Американської асоціації кардіологів (1996) [9]. Були використані: середньоквадратичне відхилення тривалості кардіоінтервалів (SD, мс); квадратний корінь із середнього значення квадратів різниць послідовних пар кардіоінтервалів (RMSSD,

мс); число пар послідовних інтервалів R-R, що відрізняються за тривалістю більш ніж на 50 мс (pNN50). Окрім цього, визначали такі спектральні параметри BCP, як TP (мс²) – загальна енергія спектра частот серцевого ритму; HF (мс²) – високочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,15-0,4 Гц; LF (мс²) – низькочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,04-0,15 Гц та VLF(мс²) – наднизькочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,003-0,04 Гц, що відображає сумарну активність надсегментарних відділів АНС і нейрогуморальні впливи на ритм серця. Додатково розраховували показник симпатовагального балансу (LF/HF) та відсотковий вклад кожного із частотних компонентів спектра у TP.

Отримані числові результати були оброблені методами варіаційної статистики з використанням критерію t Стьюдента при рівні значимості P<0,05. Динаміку показників BCP під впливом діафрагмального дихання оцінювали методом парних порівнянь, а міжгрупові відмінності – однофакторного дисперсійного аналізу.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Динаміка показників BCP під впливом однократного сеансу діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку.

Для з'ясування впливу діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку на показники BCP реєстрували грудне відведення ЕКГ в усіх обстежених за допомогою дистанційного монітора серцевого ритму Polar RS800CX у положенні сидячи після 10-хвилинної адаптації до умов реєстрації. Останні 5 хв адаптаційного періоду використовували для отримання фонових показників BCP, у наступні 15 хв тривав сеанс діафрагмального дихання, після його завершення продовжували реєстрацію ЕКГ ще протягом 5 хв. Про ефективність впливу сеансу дихання на BCP судили, порівнюючи перший та дру-

гий 5-хвилинний проміжок. Результати цього порівняння представлені у табл. 1.

У всіх групах обстежених спостерігалася схожа динаміка показників ВСР, але її вираженість була різною. Спільним інтегральним ефектом діафрагмального дихання із застосуванням усіх трьох приладів біологічного зв'язку було суттєве зростання ВСР як за значеннями статистичних, так і спектральних показників. Так, SD у першій, другій і третій групах зросла на $10,2 \pm 1,2$; ($P < 0,01$);

$8,1 \pm 2,3$; ($P < 0,02$) та $6,5 \pm 2,4$; ($P < 0,05$) мс відповідно. Аналогічне зростання рNN50 у цих групах становило $4,2 \pm 0,4$; ($P < 0,001$); $3,8 \pm 0,6$ ($P < 0,01$) та $3,3 \pm 0,7$; ($P < 0,01$). RMSSD, що характеризує парасимпатичну ланку АНС, статистично вірогідно збільшувався тільки в першій та другій групах на $12,2 \pm 1,4$; ($P < 0,01$) та $14,2 \pm 1,8$; ($P < 0,05$) мс відповідно.

Зростання загальної ВСР підтверджують і спектральні показники, зокрема TP, який підвищився у всіх трьох групах на

Таблиця 1. Динаміка показників варіабельності серцевого ритму під впливом однократного сеансу діафрагмального дихання (n=10)

Показник	SressEraser		EmWave2		MyCalmBeat	
	Фон	Після сеансу	Фон	Після сеансу	Фон	Після сеансу
Середньоквадратичне відхилення тривалості кардіоінтервалів (SD), мс;	52,5±6,2	62,7±2,6*	48,9±5,4	57,0±6,1*	54,9±5,4	61,4±5,6*
Квадратний корінь із середнього значення квадратів різниць послідовних пар кардіоінтервалів (RMSSD), мс	34,3±4,3	46,5±3,8*	35,7±4,1	49,9±5,2*	37,1±4,2	43,2±6,6
Число пар послідовних інтервалів R-R, що відрізняються за тривалістю більш ніж на 50 мс (рNN50);	18,6±1,5	22,8±1,8*	17,8±1,6	21,6±2,2*	16,5±1,3	19,8±1,6*
Загальна енергія спектра частот серцевого ритму (TP), мс ² ;	3797±345	4799±433*	3868±301	4743±345*	3944±401	4585±434*
Високочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,15-0,4 Гц (HF), мс ² ;	762±108	894±144	763±138	777±153	725±223	764±156
Низькочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,04-0,15 Гц (LF), мс ²	1781±223	2888±216*	1862±218	2754±249*	1955±225	2664±301*
Наднизькочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,003-0,04 Гц (VLF), мс ²	1254±176	1017±198*	1243±145	1212±163	1264±257	1157±232
Показник симпато-вагального балансу (LF/HF)	2,3±0,21	3,2±0,23*	2,4±0,22	3,5±0,24*	2,7±,22	3,5±0,24*
Відсотковий вклад частотного компонента спектра HF у TP, %	20,1±4,4	18,6±3,7	19,7±3,7	16,4±3,3	18,4±4,7	16,7±3,9
Відсотковий вклад частотного компонента спектра LF у TP, %	46,9±5,2	60,2±4,9*	48,1±4,6	58,1±4,7*	49,6±3,6	58,1±3,9*
Відсотковий вклад частотного компонента спектра VLF у TP, %	33,0±3,5	21,2±2,9*	32,1±3,1	25,6±2,8*	32,0±3,3	25,2±2,9*

* $P < 0,05$ статистично вірогідна зміна щодо фонового показника.

1002±145 (P<0,01); 875±177 (P<0,02); та 645±189 (P<0,05) мс² відповідно. Перевагою спектрального аналізу серцевого ритму є можливість з'ясувати динаміку окремих ланок АНС під впливом діафрагмального дихання. Зокрема, у всіх трьох групах найбільших зсувів зазнав низькочастотний діапазон спектральної кривої LF, який згідно з загальноприйнятою трактовкою відображає активність симпатичної ланки АНС та судинно-рухового центру. Зростання потужності LF у першій, другій і третій групах становило 1107±123 (P<0,01); 892±136 (P<0,02); та 709±109; (P<0,05) мс² відповідно.

Однак в умовах глибокого діафрагмального дихання його частота в усіх учасників експерименту знаходилась в діапазоні 5-7 дихальних рухів за хвилину, що корелює із частотними характеристиками LF-хвиль спектра серцевого ритму (0,1 Гц). Тому в цих умовах потужність LF-діапазону характеризує не стільки активність симпатичної ланки АНС, а відображає дихальну періодику. З цих самих міркувань зростання коефіцієнта LF/HF у всіх трьох групах на 0,9±0,16; 1,1±0,17 та 0,8±0,18 (P<0,05) відповідно не слід трактувати як посилення активності симпатичної ланки АНС.

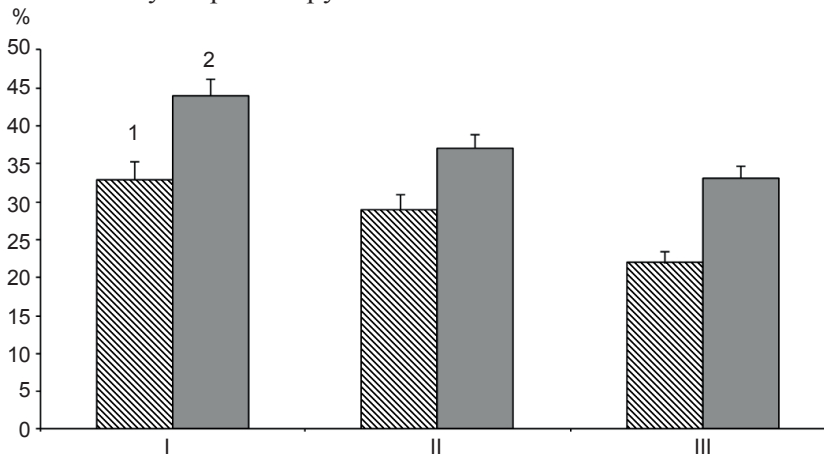
Не виявлено вірогідних змін показника HF у всіх групах. Потужність хвиль наднизькочастотного діапазону VLF вірогідно зменшувалася тільки у першій групі на

237±56 (P<0,05) мс². При аналізі відсоткової спектральної структури серцевого ритму до та після сеансу діафрагмального дихання встановлено, що у всіх трьох групах спостерігалось вірогідне зменшення питомої ваги хвиль наднизької частоти VLF% на 11,8±2,2, 6,6±2,8 та 6,8±2,4% відповідно. Це означає, що відбувся перерозподіл активності між різними регуляторними компонентами серцевого ритму на користь периферичної ланки АНС, оскільки VLF, як відомо, відображає активність центральної ланки регуляції.

Порівнюючи інтегральний вплив на ВСР діафрагмального дихання із застосуванням різних портативних приладів біологічного зворотного зв'язку за даними SD та TP, можна відмітити, що він був найбільш виражений у першій групі, яка працювала з приладом StressEraser, дещо меншим – у другій групі, де застосовувався EmWave2, і найменшим – у третій групі, учасники якої користувалися системою MyCalmbeat (рисунок).

Динаміка показників ВСР під впливом 10-добового курсу діафрагмального дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку.

У наступній серії досліджень для вивчення залежності ефекту діафрагмального дихання від кількості сеансів та його тривалості був використаний тільки прилад StressEraser, оскільки саме його застосування давало



Приріст у відсотках показників варіабельності серцевого ритму відносно фонового значення при використанні приладів: I – SressEraser, II – EmWave2, III – MyCalmBeat; 1 - середньоквадратичне відхилення тривалості кардіоінтервалів, 2 - загальна енергія спектра частот серцевого ритму

найбільш відчутні зсуви ВСР у попередній серії. Для порівняння були взяті показники ВСР, отримані протягом стандартних 5-хвилинних проміжків в учасників першої групи до початку курсу, в кінці курсу та через 1 міс після його закінчення. Результати цієї серії досліджень наведені в табл. 2.

Слід відмітити, що під впливом тренувань показники функціонального стану АНС зазнали відчутних змін, частина з яких зберігалася протягом 1 міс після закінчення тренувань. Ці результати були зареєстровані не в режимі тренувань, а в стані фізіологічного спокою в умовах вільного дихання з частотою 10-13 дихальних рухів за хвилину.

Загальна ВСР за даними SD та TP зростала в кінці курсу і залишалася вищою за фонові показники на $8,9 \pm 1,2$ мс ($P < 0,01$) і 856 ± 94 мс² ($P < 0,05$) та $4,4 \pm 0,9$ мс ($P < 0,01$) і 554 ± 86 мс² ($P < 0,05$) відповідно. Ці зміни відбулися внаслідок збільшення активності як симпатичної (LF), так і парасимпатичної (HF)

ланки із незначним пригніченням центральної ланки (VLF) регуляції серцевого ритму. Відповідна динаміка цих показників в кінці курсу становила 507 ± 74 ($P < 0,01$); 514 ± 77 ($P < 0,01$) та 165 ± 45 мс² ($P < 0,05$). Через 1 міс після закінчення курсу зростали тільки HF та LF на 260 ± 38 ($P < 0,01$) та 336 ± 54 мс² ($P < 0,05$) відповідно. Показник симпато-вагального балансу (LF/HF) не продемонстрував вірогідної динаміки протягом спостережень. Про активацію парасимпатичної ланки свідчать також достовірне зростання показників RMSSD та pNN50 на $5,6 \pm 1,6$ мс і $3,9 \pm 0,8$ % в кінці курсу та $3,9 \pm 1,4$ мс і $2,8 \pm 0,7$ % через 1 міс після його закінчення відповідно.

Суттєві зміни відбулися у структурі спектра серцевого ритму за даними відсоткового внеску хвиль різної частоти у TP. У кінці курсу HF% вірогідно зростав на $7,2 \pm 2,7$ %; а VLF% - зменшувався на $9,6 \pm 3,8$ %. Через 1 міс після завершення курсу зміни стосувалися тільки показника VLF%, який зменшився на

Таблиця 2. Динаміка показників варіабельності серцевого ритму під впливом 10-добового курсу діафрагмального дихання з використанням приладу StressEraser (n=10)

Показник	До початку курсу	В кінці курсу	Через 1 міс після закінчення курсу
Середньоквадратичне відхилення тривалості кардіоінтервалів (SD), мс;	52,5±6,2	61,4±5,7**	56,9±4,8*
Квадратний корінь із середнього значення квадратів різниць послідовних пар кардіоінтервалів (RMSSD), мс	34,3±4,3	39,9±4,7**	39,2±4,6*
Число пар послідовних інтервалів R-R, що відрізняються за тривалістю більш ніж на 50 мс (pNN50);	18,6±1,5	22,5±1,8*	21,4±1,7*
Загальна енергія спектра частот серцевого ритму (TP), мс ² ;	3797±345	4653±388**	4351±362*
Високочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,15-0,4 Гц (HF), мс ² ;	762±108	1269±167*	1022±159*
Низькочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,04-0,15 Гц (LF), мс ²	1781±223	2295±315*	2117±298*
Наднизькочастотний компонент спектра серцевого ритму в діапазоні 0,003-0,04 Гц (VLF), мс ²	1254±176	1089±176*	1212±176
Показник симпато-вагального балансу (LF/HF)	2,3±0,21	1,8±0,26	2,1±0,31
Відсотковий вклад частотного компонента спектра HF у TP, %	20,1±4,4	27,3±4,6**	23,5±4,1*
Відсотковий вклад частотного компонента спектра LF у TP, %	46,9±5,2	49,3±5,8	48,7±5,9
Відсотковий вклад частотного компонента спектра VLF у TP, %	33,0±3,5	23,4±3,7**	27,9±3,8*

*P<0,05, **P<0,01 щодо відповідного показника до початку курсу.

5,2±2,2%. В цілому, подібно до попередньої серії досліджень, ці зміни можна трактувати, як перерозподіл регуляторної активності АНС між центральними та периферичними ланками регуляції серцевого ритму на користь останніх.

Біологічний зворотний зв'язок – це процес передачі інформації в ЦНС про поточний стан функціонування певних органів і систем. Ця інформація може бути використана індивідом для корекції відповідного стану. ВСР, як відомо, дає інформацію стосовно функціональної активності різних ланок АНС. Тому біологічний зворотний зв'язок на основі моніторингу ВСР дає змогу при умові тренування суттєво зсувати в той чи інший бік вегетативний баланс і, таким чином, покращувати низку важливих фізіологічних і психологічних показників організму. Особливо ефективним є цей метод для лікування артеріальної гіпертензії, ментальних розладів, для зниження рівня фізичного та психологічного стресу [10–12].

Механізм позитивного впливу глибокого діафрагмального дихання на фізіологічний стан організму вбачають у перерозподілі активності периферичних ланок АНС на користь парасимпатичного відділу, що проявляється у збільшенні загальної ВСР та індексів парасимпатичної ланки. Наші результати загалом підтверджують ці уявлення, про що свідчить вірогідне зростання SD та TP у всіх групах обстежених. Водночас при вивченні ефекту ізольованого сеансу глибокого дихання найбільшою мірою зростав показник LF, який в звичайних умовах фізіологічного спокою відображає активність симпатичної ланки. Однак в умовах відносно повільного діафрагмального дихання, частота якого 5-7 дихальних рухів за хвилину близька до низькочастотного діапазону спектра серцевого ритму LF (0,1 Гц), цей показник відображає не активність симпатичної ланки, а узгодження барорецепторного рефлексу з частотою дихання та серцевим ритмом.

Частоту дихання, при якій досягається

таке узгодження називають резонансною. Показано, що під час тривалого вдиху (протягом приблизно 5 с) завдяки активації симпатичної ланки АНС серцевий ритм пришвидшується, одночасно активація барорецепторів стимулює його для того, щоб не допустити зниження артеріального тиску. Під час видиху процеси розвиваються в протилежному напрямі. Зменшення об'єму грудної клітки створює тенденцію до підвищення артеріального тиску, зменшує імпульсацію від барорецепторів та рефлекторно активує парасимпатичну ланку, зменшуючи частоту серцевого ритму [13]. Це пояснює, чому під час дихання з резонансною частотою ВСР зростає. Точна синхронізація серцево-судинної, дихальної та автономної нервової системи створює стан фізіологічної когерентності. Цей термін запропонував Lehrer, який показав, що резонансна частота дихання є індивідуальною і залежить від статі та антропометричних показників [13].

Саме використання портативних електронних приладів біологічного зворотного зв'язку дає змогу людині візуально спостерігати рівень когерентності цих систем під час тренування і вносити потрібні корективи в патерни власного дихання. Як свідчать отримані нами результати, найбільш ефективним з цієї точки зору був прилад StressEraser, який візуально відображає когерентність систем і дає підказки у разі її зниження.

За даними Vaschillo та співавт. [14], глибоке діафрагмальне дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку із ВСР призводить до суттєвого її збільшення протягом декілька хвилин від початку сеансу і триває весь час реєстрації. При цьому дихання на резонансній частоті вилучає найбільш великі осциляції серцевого ритму і узгоджує їх з фазами дихання. У нашому дослідженні підтверджено цей ефект в усіх серіях спостережень при вивченні однократного впливу сеансу діафрагмального дихання на ВСР. Окрім того, згідно з отриманими нами результатами ефект зростання ВСР триває

щонайменше 1 міс після 10-добового курсу тренувань у режимі біологічного зворотного зв'язку. Ми пов'язуємо цей відносно довготривалий ефект тренувань у зростанні ефективності барорецепторного рефлексу. В свою чергу показано, що таке зростання покращує стан хворих з вегетативними дисфункціями, зокрема бронхіальною астмою [15], гіпертензивними станами [16], депресією [11], та ожирінням [17]. Водночас довготривалі ефекти такого тренування піддаються сумніву [17]. Очевидно існує потреба продовжити спостереження за ефективністю тренувань на триваліший період. Однак більшість авторів погоджуються, що досягнутий у результаті тренувань у режимі біологічного зворотного зв'язку більш високий рівень ВСР у стані спокою покращує шанси хворого на одужання. З іншого боку, зменшена активність барорецепторного рефлексу призводить до меншої ВСР і знижує регуляторні можливості організму при адаптації до аеробних навантажень, серцевої недостатності, тривожних розладів [18]. Деякі дослідники вважають, що ВСР в стані спокою корелює з емоційною резистентністю особи [19], загальним рівнем її фізичного та психічного стану [20,21].

На наш погляд, при аналізі ефекту глибокого дихання на функціональний стан АНС варто звернути увагу не тільки на загальне зростання ВСР, але і на її структуру. Зокрема це стосується показника VLF, який в цьому контексті в доступній нам літературі не розглядався. Хоча загалом фізіологічна трактовка цього показника ще остаточно не з'ясована, більшість авторів схиляються до думки, що він відображає активність надсегментарних центрів регуляції АНС (гіпоталамуса, лімбічної системи), нейрогуморальних впливів на серце та терморегуляції [22]. Однак існує спільна думка про те, що збільшення цього показника та його питомої ваги в спектрі серцевого ритму (VLF%) означає «централізацію» керування ним і є ознакою зменшення адаптаційних можливостей організму. Отримані нами результати дають змогу

стверджувати, що як однократний вплив діафрагмального дихання, так і 10-добовий курс тренувань зменшує VLF та VLF% у більшості осіб на фоні зростання загальної ВСР. По суті йдеться про перерозподіл активності АНС на користь її периферичних відділів. Це в свою чергу, може трактуватися як зростання регуляторного резерву організму [23].

ВИСНОВКИ

1. Глибоке дихання в режимі біологічного зворотного зв'язку протягом 15 хв суттєво впливає на показники ВСР здорових осіб молодого віку.

2. Основні зміни ВСР полягають у її зростанні за результатами як статистичного, так і спектрального аналізу внаслідок збільшення потужності хвиль низькочастотного діапазону з одночасним зменшенням потужності хвиль наднизькочастотного діапазону.

3. Такі зміни ВСР зберігаються як мінімум протягом місяця після завершення експерименту. Найбільший вплив спостерігався в групі осіб, яка використовувала прилад StressEraser.

В.П. Фекета, Л. А. Глеба, О.С. Паламарчук, Ю.М. Савка, К.Б. Кивежди

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ЗДОРОВЫХ ЛИЦ В УСЛОВИЯХ ДИАФРАГМАЛЬНОГО ДЫХАНИЯ В РЕЖИМЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Целью данного исследования было выяснить способны ли портативные компьютерные устройства биологической обратной связи в рекомендованных режимах использования существенно повлиять на вариабельность сердечного ритма и насколько продолжителен этот эффект. В исследовании принимали участие 30 человек мужского пола в возрасте от 18 до 20 лет, которые случайным образом были разделены на три равные группы по 10 человек. Участники первой группы занимались дыхательными упражнениями с использованием прибора StressEraser, второй – EmWave2, а третьей – аппаратно-программного комплекса MyCalmBeat. Каждый сеанс длился от 10 до 15 мин. Всего было проведено 10 сеансов ежедневно в утренние часы. ВСР регистрировали с помощью дистанционного монитора сердечного ритма Polar RS800CX и

программного забезпечення Polar ProTrainer5. Для расчетов показателей BCP использовали 5-минутные стационарные участки кривой грудного отведения электрокардиограммы. Установлено, что глубокое дыхание в режиме биологической обратной связи в течение 15 мин существенно влияет на показатели variability сердечного ритма здоровых лиц молодого возраста. В частности, растет общая variability сердечного ритма как по результатам статистического, так и спектрального анализа ритмокардиограммы. Во всех трех группах наиболее изменился низкочастотный диапазон спектральной кривой Low Frequency (LF), который согласно общепринятой трактовки отражает активность симпатического звена автономной нервной системы (АНС) и сосудисто-двигательного центра. При анализе процентной спектральной структуры сердечного ритма до и после сеанса диафрагмального дыхания установлено, что во всех трех группах имело место достоверное уменьшение удельного веса волн сверхнизкой частоты Very Low Frequency (VLF)% на $11,8 \pm 2,2$; $6,6 \pm 2,8$ и $6,8 \pm 2,4$ % соответственно. Это означает, что произошло перераспределение активности между различными регуляторными компонентами сердечного ритма в пользу периферического звена АНС. Такие изменения variability сердечного ритма сохранялись как минимум в течение одного месяца после завершения эксперимента. Наибольшее влияние наблюдалось в группе лиц, которая использовала прибор StressEraser.

Ключевые слова: автономная нервная система; variability сердечного ритма; диафрагмальное дыхание; дыхательная гимнастика; устройства биологической обратной связи.

**V.P. Feketa, L.A. Gleba, O.S. Palamarchuk,
Ju. M. Savka, K.B. Kivezhdi**

CORRECTION OF HEART RATE VARIABILITY USING DIAPHRAGMATIC BREATHING MODE BIOFEEDBACK IN HEALTHY PEOPLE

The research is an attempt to explain the use of portable computer devices aiming to correct heart rate variability (HRV) of healthy young men. According to the data, used deep diaphragmatic breathing in mode of biofeedback harmonizes breathing and blood circulation which positively affects the body's adaptive potential. However, developers present the portable instruments of biofeedback primarily as a means of psychological relaxation. The aim of this study is to determine whether such devices are able to significantly affect heart rate variability and how long this effect lasts.

There were 30 males aged 18 to 20 years that participated in this study. They were randomly divided into three equal groups with up to 10 people in each of them. Members of the first group were doing breathing exercises using a portable biofeedback StressEraser device, the second group used Em-Wave2, and the third one used hardware and software system

MyCalmBeat. Each session lasted from 10 to 15 minutes. There were 10 sessions held daily in the morning. HRV was recorded by remote heart rate monitor Polar RS800CX and software Polar ProTrainer5. 5-minutes' stationary segments of the curve chest electrocardiogram removal were used in order to calculate the HRV indexes. It was found that 15 minutes deep breathing in mode of biofeedback significantly affects the heart rate variability of healthy young people. In particular, it increases the overall heart rate variability according to the statistical and spectral analysis. It was established that in all 3 groups of experiment participants the spectral curve low-range "Low frequency" (LF) suffered the major shifts.

These shifts reflect the activity level of the sympathetic autonomic nervous system (ANS) as well as vascular-motor center according to the conventional interpretation. It was found that all three groups suffered a specific weight decrease of Very Low Frequency (VLF)% respectively $11,8 \pm 2,2$ %; ($p < 0,01$); $6,6 \pm 2,8$ %; ($p < 0,02$) and $6,8 \pm 2,4$ % ($p < 0,05$). This means that activity redistribution between different regulatory components of heart rate occurred in favour of the peripheral ANS parts. Heart rate variability changes of this kind remained valid for at least one month after the experiment. The greatest influence on heart rate variability was observed in the group of people who used the device StressEraser.

Key words: autonomic nervous system; heart rate variability; diaphragmatic breathing; breathing exercises; biofeedback devices.

SHEI «Uzhhorod National University»

REFERENCES

1. Appel M. L., Berger R. D., Saul J. P., Smith J. M., Cohen R. J. Beat to beat variability in cardiovascular variables: noise or music? *J Am Coll Cardiol.* 1989; 14(5): 1139-48.
2. Bemtson G. G., Bigger J. T., Jr., Eckberg D. L., Grossman P., Kaufmann P. G., Malik M., et al. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiol.* 1997; 34(6): 623-48.
3. Carney R. M., Blumenthal J. A., Freedland K. E., Stein P. K., Howells W. B., Berkman L. F., et al. Low heart rate variability and the effect of depression on post-myocardial infarction mortality. *Arch Intern Med.* 2005; 165(13): 1486-91.
4. Koschke M., Boettger M. K., Schulz S., Berger S., Terhaar J., Voss A., et al. Autonomy of autonomic dysfunction in major depression. *Psychosom Med.* 2009; 71(8): 852-60.
5. Zucker T. L., Samuelson K. W., Muench F., Greenberg M. A., Gevirtz R. N. The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: A pilot study. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2009; 34: 135-43.
6. Hottenrott K., Hoos O., Esperer H. D. Heart rate variability and physical exercise. Current status. *Herz.* 2006; 31(6): 544-52.
7. Hjortskov N., Rissen D., Blangsted A. K., Fallentin N., Lundberg U., Sogaard K. The effect of mental stress on

- heart rate variability and blood pressure during computer work. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 92(1-2): 84-9.
8. Vaschillo E., Vaschillo B., Lehrer, P. Heartbeat synchronizes with respiratory rhythm only under specific circumstances. *Chest.* 2004; 126(4): 1385-406.
 9. 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 *Circulation.* 1996; 93(5): 1043-65.
 10. Del Pozo, J., Gevirtz R., Scher B., Guarneri E. Biofeedback treatment increases heart rate variability in patients with known coronary artery disease. *Am Heart J.* 2004; 147: G1-G6.
 11. Karavidas M. K., Lehrer P. M., Vaschillo E., Vaschillo B., Marin H., Buyske S., Hassett A. Preliminary Results of an Open Label Study of Heart Rate Variability Biofeedback for the Treatment of Major Depression. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2007; 32(1): 19-30.
 12. Lehrer P. Biofeedback training to increase heart rate variability. In: Lehrer P. M., Woolfolk R. L., Sime W. E., editors. *Principles and practice of stress management.* 3rd ed. New York: Guilford; 2007. p. 227-48.
 13. Lehrer, P., Vaschillo, E., Lu, S., Eckberg, D., Vaschillo, B., Scardella, A., et al. Heart rate variability biofeedback: Effects of age on heart rate variability, baroreflex gain, and asthma. *Chest.* 2006; 129: 278-84.
 14. Vaschillo E., Vaschillo B., Lehrer P. Characteristics of resonance in heart rate variability stimulated by biofeedback. *Appl Psychophysiol and Biofeedback.* 2006; 31: 129-42.
 15. Lehrer P., Vaschillo E. Heart rate variability biofeedback: A new tool for improving autonomic homeostasis and treating emotional and psychosomatic diseases. *Jap J Biofeedback Res.* 2004; 30: 7-16.
 16. McCraty R., Atkinson M., Tomasino D. Impact of a workplace stress reduction program on blood pressure and emotional health in hypertensive employees. *J Altern Complement Med.* 2003; 9: 355-69.
 17. Meule A., Freund R., Skirde A. K., Vögele C., Kübler A. Heart rate variability biofeedback reduces food cravings in high food cravers. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2012; 37(4): 241-51.
 18. Wheat A.L., Larkin K.T. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: A critical review. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2010;35:229-42.
 19. Thayer J. F., Hansen A. L., Johnsen B. H. The non-invasive assessment of autonomic influences on the heart using impedance cardiography and heart rate variability. *Handbook of Behavioral Medicine.* New York: Springer Science; 2010. p. 723-40.
 20. Britton A., Shipley M., Malik M., Hnatkova K., Hemingway H., Marmot M. Changes in heart rate and heart rate variability over time in middle-aged men and women in the general population (from the Whitehall II Cohort Study). *The Am J Cardiol.* 2007; 100: 524-27.
 21. Goldberger A. L., Peng C. K., Lipsitz L. A. What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease? *Neurobiology of aging* 2002; 23(1): 23-6.
 22. Mihajlov V.M. Variabel'nost' ritma serdca: opyt prakticheskogo primenenija metoda. Ivanovo: Ivan Gos Med Akademija; 2002. [Russian].
 23. Baevskij R. M., Berseneva A. P. Ocenka adaptacionnyh vozmozhnostej organizma i risk razvitija zabojevanij. Moskva: Medicina; 1997. [Russian].

Матеріал надійшов до редакції 15.12.2015