

УДК:[796.8/612.17]

Олег ОЛЬХОВИЙ

Вячеслав РОМАНЕНКО

Світлана ПЯТИСОЦЬКА

Харківська державна академія фізичної культури

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ В ЄДИНОБОРСТВАХ

***Анотація.** Мета:* розробити мобільний застосунок для планшетних комп'ютерів для дослідження варіабельності серцевого ритму. *Методи дослідження:* аналіз і узагальнення науково-методичної та спеціальної літератури, метод комп'ютерного програмування, методи математичної статистики. *Висновки:* розроблено мобільний застосунок «ResearchHRV». *Порівняння результатів дослідження варіабельності серцевого ритму з модельними показало значимість отриманих даних.*

***Ключові слова:** варіабельність, застосунок, моніторинг, єдиноборці.*

***Abstract.** Objective:* To develop a mobile application for tablet computers to study heart rate variability. *Research Methods:* Analysis and synthesis of scientific-methodological and specialized literature, computer programming method, methods of mathematical statistics. *Conclusions:* The «Research HRV» mobile app was developed. *Comparison of the results of the study of heart rate variability with the model results showed the significance of the data obtained.*

***Key words:** variability, application, monitoring, martial arts athletes.*

Вступ. Дослідження варіабельності серцевого ритму (ВСР) в єдиноборствах має велике значення з наукової та практичної точок зору.

Вимірювання ВСР дозволяє отримати інформацію щодо оцінки рівня стресу, показників адаптації та загального фізіологічного стану спортсмена (Prystupa, Tyshchenko, 2017).

Інформацію про рівень варіабельності можна використовувати для прогнозування часу відновлення та визначення оптимальних періодів активності та відпочинку (May R., McBerty V., Zaky, A. *etal.*, 2017).

Моніторинг ВСР може допомогти виявити надмірну фізичну та емоційну напругу, що допоможе уникнути перевантаження та можливих травм (Morales J., Alamo J.M. *etal.*, 2014).

Вивчення ВСР може допомогти в оптимізації тренувального процесу та покращанні спортивних досягнень (Dong J.G., 2016).

Вдосконалення датчиків моніторингу серцевого ритму в поєднанні з розвитком мобільних технологій знизили вартість і складність аналізу ВСР, що дозволяє проводити дослідження поза лабораторією в умовах повсякденної активності (Davila MI, Lewis GF and Porges SW, 2017; Ровний, А., Романенко, В., Пятисоцкая, С., 2016).

Дослідження виконано відповідно до теми науково-дослідної роботи Харківської державної академії фізичної культури на 2021–2025 роки, «Оптимізація тренувального процесу в єдиноборствах» (номер державної реєстрації 0121U112873).

Мета: розробити мобільний застосунок для планшетних комп'ютерів для дослідження ВСР.

Завдання:

1. Виконати аналітичний огляд проблематики досліджень ВСР в єдиноборствах;
2. Відібрати параметри щодо характеристики ВСР спортсменів-єдиноборців;

3. Розробити мобільний застосунок для дослідження ВСР та провести його попередню апробацію.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проведено в декілька етапів. На першому етапі розглянута проблематика аналізу ВСР людини. На другому етапі визначені основні параметри щодо характеристики ВСР спортсменів-єдиноборців. На третьому етапі розроблено мобільний застосунок та проведена попередня апробація.

Мобільний застосунок створено для мобільних пристроїв під керуванням iOS, написаний мовою Swift з використанням бібліотек UIKit, CoreData, CoreBluetooth, AVFoundation, Accelerate (рис. 1).



Рис. 1. Головний екран застосунку «Research HRV»

Для вимірювання кардіоінтервалів було використано датчик серцевого ритму **Polar H10**. В дослідженні було використано наступні методи: аналіз і узагальнення науково-методичної та спеціальної літератури, інформації в мережі Internet, метод комп'ютерного програмування, методи математичної

статистики. Статистичний аналіз отриманих даних було виконано з використанням програм RStudio та Numbers.

Результати дослідження та їх обговорення. На підставі аналізу спеціальної науково-методичної літератури визначено, що оцінка ВСР для спортсменів-єдиноборців важлива з точки зору отримання інформації щодо оцінки рівня стресу, показників адаптації та загального фізіологічного стану.

Також, визначені параметри щодо характеристики ВСР спортсменів-єдиноборців, а саме: тривалість запису, кількість вимірювань, стрес-індекс Баєвського (SI), індекс балансу вегетативної нервової системи (VBI), середнє значення кардіоінтервалів та ЧСС, дисперсія, стандартне відхилення SDNN, квадратний корінь із суми квадратів різниці величин послідовних пар RR-інтервалів (RMSSD), відсоток кількості пар послідовних кардіоінтервалів у кардіограмі, що відрізняються більш як на 50 мс (pNN50), коефіцієнт варіації (CV), розмах варіації (RV), мода (Moda), амплітуда моди (AMo), SD1, SD2, SD2/SD1.

Для дослідження ВСР спортсменів-єдиноборців озроблено мобільний застосунок «ResearchHRV». Програма дозволяє виконати запис R-R інтервали в діапазоні 400-1300 ms. Для відстеження артефактів використано медіанний фільтр з вікном, яке має розмір 5 послідовних точок. Якщо значення R-R інтервалу більше ($mediana - 250\text{ ms}$) та менше ($mediana + 250\text{ ms}$) то таке значення буде записано до масиву R-R інтервалів.

В залежності від мети дослідження, програма дозволяє проводити вимірювання ВСР в трьох режимах 180, 300 та 600 s. Після закінчення запису, програма дозволяє переглянути результати вимірювання.

Апробація роботи мобільного застосунку «Research HRV» дозволило отримати основні показники ВСР в трьох режимах (180, 300, 600 s) (табл. 1, 2).

Таблиця 1.

Результати вимірювань ВСР (1 частина)

n	Lenght(s)	Mean	Mean R-R(ms)	SDNN(ms)	RMSSD(ms)	SD1(ms)	SD2(ms)
1	180	59,86	1006,61	40,25	19,49	13,86	55,22
2	181	58,88	1028,50	51,17	23,65	16,82	70,31
3	180	58,77	1025,42	47,17	25,17	17,90	64,33
4	301	59,98	1005,45	33,90	18,15	12,88	46,24
5	300	59,62	1010,57	51,94	19,31	13,70	72,25
6	300	59,71	1007,40	42,76	24,58	17,44	57,99
7	300	58,04	1043,39	55,45	21,80	15,47	76,55
8	601	62,04	975,16	47,44	28,52	20,20	63,61
9	600	61,18	983,88	47,33	16,38	11,60	65,90
10	600	61,29	980,97	48,92	19,68	13,94	67,70

Таблиця 2.

Результати вимірювань ВСР (2 частина)

n	pNN50(%)	CV(%)	RV(n)	Moda(ms)	AMo(%)	SI	VBI
1	1,12	4,00	241,21	1015,05	48,04	98,11	199,18
2	4,00	4,97	285,16	1017,31	34,66	59,74	121,54
3	4,00	4,60	246,09	1025,00	47,16	93,48	191,63
4	1,01	3,37	206,05	1012,73	49,83	119,40	241,84
5	1,69	5,14	272,46	1016,67	39,06	70,50	143,35
6	4,38	4,24	300,78	1007,89	43,29	71,40	143,92
7	2,44	5,31	298,83	1032,61	37,50	60,76	125,49
8	3,09	4,86	353,52	985,59	45,45	65,23	128,58
9	0,66	4,81	291,99	990,68	38,20	66,02	130,81
10	2,13	4,99	284,18	977,08	39,05	70,32	137,42

В попередній апробації приймали участь 3 дорослих кваліфікованих спортсмена-єдиноборця. Дослідження проведено відповідно до основних біоетичних принципів, зокрема Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину від 04.04.1997 р., Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964–2008 рр.), а також відповідно до наказу МОЗ України No 690 від 23.09.2009 р.

Для визначення точності показників ВСР було проведено порівняння розрахунків, які було виконано в мобільному застосунку «Research HRV» та в комп'ютерній програмі «Kubios HRV Standart», Version 3.5.0. Показники, які були отримані в програмі «Kubios HRV Standart» можна вважати модельними. Kubios - медична технологічна компанія, що спеціалізується на розробці програмного забезпечення та алгоритмів для аналізу медичних сигналів, зокрема сигналів серцево-судинної системи. «Kubios HRV Standart» - це науково підтвержене програмне забезпечення, яке широко використовується дослідниками в галузі клінічної медицини та громадського здоров'я, професіоналами, що працюють над підвищенням продуктивності та благополуччя людини, а також любителями спорту (www.kubios.com).

Згідно завдання щодо апробації мобільного застосунка виконано вимірювання в трьох режимах (180 s, 300 s, 600 s). Для порівняння обрані основні показники, які можна визначити як в мобільному застосунку «Research HRV», так і в комп'ютерній програмі «Kubios HRV Standart», а саме: Mean R-R, SDNN, Mean HR, RMSSD, pNN50, SD1, SD2, SD2/SD1.

Результати вимірювань представлені в табл. 3.

Таблиця 3.

Показники ВСР

№	180 s				300 s				600 s			
	R_HRV		Kubios		R_HRV		Kubios		R_HRV		Kubios	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	1020,2	11,8	1020,0	11,7	1007,8	2,6	1007,8	2,6	980,0	4,4	980,0	4,4
2	46,2	5,5	46,1	5,4	42,9	9,0	42,9	9,0	47,9	0,9	47,9	0,9
3	59,2	0,6	58,8	0,7	59,8	0,2	59,5	0,2	61,5	0,5	61,2	0,3
4	22,8	2,9	22,8	2,9	20,7	3,4	20,7	3,4	21,5	6,3	21,5	6,3
5	3,0	1,7	3,0	1,7	2,4	1,8	2,4	1,8	2,0	1,2	2,0	1,2
6	16,2	2,1	16,2	2,1	14,7	2,4	14,7	2,4	15,2	4,4	15,2	4,4
7	63,3	7,6	63,2	7,5	58,8	13,0	58,8	13,0	65,7	2,0	65,7	2,0
8	3,9	0,3	3,9	0,3	4,0	1,1	4,0	1,1	4,3	1,3	4,3	1,3

1 - Mean R-R (ms), 2 - SDNN (ms), 3 - Mean HR (bpm), 4 - RMSSD (ms), 5 - pNN50 (%), 6 - SD1 (ms), 7 - SD2 (ms), 8 - SD2/SD1.

Кореляційний аналіз розрахунків, які було виконано в мобільному застосунку «Research HRV» та в комп'ютерній програмі «Kubios HRV Standart» показав статистично значимий взаємозв'язок в усіх режимах (180 s, 300 s, 600 s), між усіма досліджуваними показниками (Spearman'srankcorrelation, $r > 0,99$).

Дискусія. Аналіз варіабельності серцевого ритму - це сучасна методологія і технологія дослідження та оцінки стану регуляторних систем організму, зокрема функціонального стану різних відділів вегетативної нервової системи (Баевский Р. М., 2002; Yaoa B., Liub J. Z. etal., 2009).

Вегетативна нервова системи (ВНС) представлена двома периферичними гілками, парасимпатична та симпатична. Парасимпатична нервова система викликає реакцію розслаблення, що уповільнює серцевий ритм і зменшує силу серцевих скорочень. Активація симпатичної нервової системи викликає прискорення серцебиття, звуження кровоносних судин і підвищення кров'яного

тиску. За нормальних умов між цими системами існує баланс, завдяки якому організм перебуває у стані гомеостазу (PramilaRani, JaredSimsetal., 2002).

Для визначення параметрів ВСР використовують загально відомі формули (Баевский Р. М., 2002; Величко Ольга, ЕядХамедАл-Халалмех Садам та інші, 2019).

* **RMSSD** показник активності парасимпатичної ланки вегетативної регуляції:

$$RMSSD = \sqrt{\frac{\sum \Delta RR_i^2}{n}}$$

* Стрес-індекс (SI), індекс Баєвського:

$$SI = \frac{AMo}{2 \cdot RV \cdot Mo}$$

RV– варіаційний розмах, *AMo*– амплітуда моди.

* *SD1*, *SD2* стандартним відхиленнями першого та другого відхиленням:

$SD1 = \sqrt{var(x1)}$	$x1 = \frac{RR_1 - RR_{i+1}}{\sqrt{2}}$
$SD2 = \sqrt{var(x2)}$	$x2 = \frac{RR_1 + RR_{i+1}}{\sqrt{2}}$

* **Індекс балансу вегетативної нервової системи (VBI):**

$$VBI = \frac{AMo}{RV}$$

RV– варіаційний розмах, *AMo*– амплітуда моди.

* Мода:

$$moda = x0 + \left(\frac{fMo - fMo - 1}{(fMp - fMo - 1) + (fMo - fMo + 1)} \right) \cdot \Delta(interval)$$

x0 – нижня межа модального інтервалу; *fMo*– частота в модальному інтервалі; *fMo - 1* – частота в попередньому інтервалі; *fMo + 1* – частота в інтервалі, що йде за модальним; $\Delta (interval)$ – величина інтервалу (50 ms).

Розвиток мобільних технологій дозволяє проводити дослідження поза лабораторією в умовах повсякденної активності (Davila MI, Lewis GF and Porges SW, 2017). На сучасному етапі розвитку спортивної науки використання мобільних технологій в дослідженнях має свої переваги. Мобільні пристрої (смартфони, планшети) досягли значної обчислювальної потужності та йдуть практично на рівні стаціонарних комп'ютерів. Прості спеціалізовані програми для мобільних пристроїв дозволяють фахівцям як прискорити процес отримання даних, так і оптимізувати їх аналіз та збереження (Ashanin V., Romanenko V., 2015; Romanenko V., Piatysotska, S. et al., 2022).

Артефакти в R-R інтервалах можуть спричинити значні спотворення результатів аналізу ВСР, отже артефакти мають бути виправлені або виключені з аналізу (Taylor JA, Lipsitz LA., 1997).

Одним із методів, який можна використовувати для фільтрації артефактів у записі інтервалів серцевого ритму є медіанний фільтр (MedianFilter). Порогові значення для корекції, при використанні медіанного фільтру: Verylow: 0.45 sec (thresholdinseconds); Low: 0.35 sec; Medium: 0.25 sec; Strong: 0.15 sec; Verystrong: 0.05 sec; Custom, forsetting a customthresholdinseconds (USER'S GUIDE, [www.kubios.com / support@kubios.com](http://www.kubios.com/support@kubios.com)).

У мобільному застосунку «Research HRV» медіанний фільтр дозволяє видалити викиди й аномалії, зберігаючи при цьому основну структуру сигналу. Медіанний фільтр має вікно розміром 5 послідовних точок. Розмір вікна обрано експериментальним шляхом та обумовлено рівнем згладжування. Якщо значення R-R інтервалу більше ($mediana - 250\text{ ms}$) та менше ($mediana + 250\text{ ms}$) значення буде збережено.

Попередня апробація мобільного застосунку «Research HRV» показала надійність та стабільність роботи програми. Порівняння розрахунків, які було виконано в мобільному застосунку «Research HRV» та в комп'ютерній програмі «Kubios» показало статистично значимий взаємозв'язок між усіма

досліджуваними показниками (Spearman's rank correlation, $r > 0,99$), що свідчить про значимість отриманих даних.

Висновки.

1. Оцінка ВСР важлива з точки зору отримання інформації щодо оцінки рівня стресу, показників адаптації та загального фізіологічного стану спортсменів-єдиноборців.
2. Визначені основні параметри щодо характеристики ВСР спортсменів-єдиноборців, а саме: стрес-індекс Баєвського (SI), індекс балансу вегетативної нервової системи (VBI); середнє значення кардіоінтервалів та ЧСС, SDNN, RMSSD, рNN50, коефіцієнт варіації (CV), амплітуда моди (AMo), SD1, SD2, SD2/SD1.
3. Розроблено мобільний застосунок «Research HRV», проведена попередня апробація, виконано порівняння отриманих значень з модельними. Високий рівень кореляційного взаємозв'язку ($r > 0,99$) свідчить про значимість отриманих даних.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому заплановано дослідження щодо спектрального аналізу та розширення показників ВСР в мобільному застосунку «Research HRV».

ЛІТЕРАТУРА

1. Величко, О., Еяд Хамед Ал-Халалмех Садам, Міхайлова, Е., Колеснікова, Т. (2019). Фрактальний аналіз скатерограми. Системи обробки інформації. № 3(158). 42-53. doi.org/10.30748/soi.2019.158.05.
2. Баевский, Р. М., Иванов, Г. Г., Чирейкин, Л. В. (2002). Анализ variability сердечного ритма при использовании разных электрокардиографических систем. Вестник аритмологии, № 24, 65 с.
3. Ровный, А., Романенко, В., Пятисоцкая, С. (2016). Методика контроля и анализ изменений частоты сердечных сокращений единоборцев под.

воздействием физических нагрузок с использованием компьютерного приложения. Слобожанський науково-спортивний вісник, No 6(56). 95-99. doi:10.15391/snsv. -6.016.

4. Ashanin, V., Romanenko, V. (2015). The use of computer technologies at an assessment of sensory-motor reactions in single combats. *Slobozhanskyi herald of science and sport*. 4(48). 5-7.

5. Dong, J.G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Exp Ther Med.*;11(5):1531-1536. doi: 10.3892/etm.2016.3104. Epub 2016 Feb 23. PMID: 27168768; PMCID: PMC4840584.

6. Prystupa, E., Tyshchenko, V. (2017). Peculiar properties and dynamics of physiological indicators in Handball team. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(1), Art 49 .335 - 341. DOI:10.7752/jpes.2017.01049.

7. Romanenko, V., Piatysotska, S., Tropin, Yu., Rydzik, Ł., Holokha, V., & Boychenko, N. (2022). Study of the reaction of the choice of combat athletes using computer technology. *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport*, 26(4). 97-103. doi.org/10.15391/ sns.2022-4.001.

8. May, R., McBerty, V., Zaky, A. (2017). *et al.* Vigorous physical activity predicts higher heart rate variability among younger adults. *J Physiol Anthropol* 36, 24. doi.org/10.1186/s40101-017-0140-z.

9. Morales, J, Alamo, JM, García-Massó X, Buscà, B, López, JL, Serra-Añó, P, González, LM. (2014). Use of heart rate variability in monitoring stress and recovery in judo athletes. *J Strength Cond Res.*; 28(7): 1896-905. doi: 10.1519/JSC.0000000000000328. PMID: 24276307.

10. Yaoa, B., Liub, J. Z., Brownd, R. W., Sahgalc, V., Yueb, G. H. (2009). Nonlinear features of surface EEG showing systematic brain signal adaptations with muscle force and fatigue // *Brain research*. Vol. 1272. 89–98.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Ольховий Олег Михайлович: доктор наук з фізичного виховання та спорту, професор, професор кафедри теорії і методики фізичного виховання; Харківська державна академія фізичної культури: вул. Клочківська, 99, м. Харків, 61000, Україна.

Oleh Olkhovyi: Professor Kharkov State Academy of Physical Culture: st. Klochkovskaya, 99, Kharkov, 61000, Ukraine.

orcid.org / 0000-0002-5223-5229

E-mail: olkhovoleh@gmail.com

Романенко В'ячеслав Валерійович: кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент кафедри єдиноборств; Харківська державна академія фізичної культури: вул. Клочківська, 99, м. Харків, 61000, Україна.

Vyacheslav Romanenko: PhD (Physical Education and Sport), Assistant Professor of Martial Arts; Kharkov State Academy of Physical Culture: st. Klochkovskaya, 99, Kharkov, 61000, Ukraine.

orcid.org / 0000-0002-3878-0861

E-mail: slavaromash@gmail.com

Пятисоцька Світлана Сергіївна: кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент інформатики і біомеханіки; Харківська державна академія фізичної культури: вул. Клочківська, 99, м. Харків, 61000, Україна.

SvitlanaPiatysotska: PhD (Physical Education and Sport), Assistant Professor of Computer Science and Biomechanics; Kharkov State Academy of Physical Culture: st. Klochkovskaya, 99, Kharkov, 61000, Ukraine.

orcid.org / 0000-0002-2246-1444

E-mail: piatsvit25@gmail.com