

DOI: 10.26693/jmbs05.06.342

УДК 796.015.6:612.176

Вовканич Л. С., Соколовський В. М., Борецький Ю. Р.,
Бергтраум Д. І., Крась С. І.

ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ КАРДІОІНТЕРВАЛІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ «РИТМ» В УМОВАХ ВИКОНАННЯ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського,
Україна

lsvovkanych@gmail.com

Сучасні умови змагальної та тренувальної діяльності вимагають посиленого контролю за функціонуванням фізіологічних систем організму. Однією з ефективних методик оцінювання рівня напруженості регуляторних систем організму є аналіз варіабельності серцевого ритму. Для використання цієї методики необхідно підтвердити достатній рівень точності реєстрації тривалості кардіоінтервалів новоствореними програмно-апаратними засобами. Метою наших досліджень став аналіз точності реєстрації тривалості кардіоінтервалів та показників варіабельності серцевого ритму з використанням програмно-апаратного комплексу «Ритм» під час фізичних навантажень. У дослідженні взяли участь 20 осіб чоловічої статі віком 20-21 рік та без наявності видимих патологій. Реєстрацію тривалості кардіоінтервалів виконували синхронно з використанням «Polar RS800» та програмно-апаратного комплексу «Ритм». Досліджували виконували степ-тест у ритмі 20 сходжень за хвилину, висота сходінки – 40 см, тривалість – 2 хв. Кількість проаналізованих пар кардіоінтервалів – 4707. Встановлено, що тривалість кардіоінтервалу, зареєстрованого програмно-апаратного комплексу «Ритм», у середньому лише на 0,06 с перевищує аналогічну, зареєстровану «Polar RS800». Виявлено вузькі межі довірчого інтервалу (3,72 – -3,83 мс) та максимальну величину внутрішньокласового коефіцієнту кореляції (1,000) між даними цих двох приладів. Графік Бланда – Альтмана підтверджує високий рівень відтворюваності даних. Водночас наявна статистична відмінність ($p = 0,002$) двох сукупностей даних за критерієм Вілкоксона. Було також виконане порівняння показників варіабельності серцевого ритму, розрахованих з використанням програми Kubios HRV 2.1 на основі даних двох приладів – «Polar RS800» та програмно-апаратного комплексу «Ритм». Проаналізовано показники статистичного (HR, STD RR, RMSSD, pNN50), спектрального (VLF, LF, HF, LF/HF) та геометричного (RR tri index, SD1, SD2) аналізу варіабельності серцевого ритму. Встановлено, що статистично значуща різниця наявна лише для показника LF/HF. Це вказує на

максимальну наближеність показників варіабельності серцевого ритму, отриманих з використанням програмно-апаратного комплексу «Ритм», до показників, отриманих з використанням апробованих систем моніторингу серцевого ритму.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, метод Бланда – Альтмана, внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано НДР у рамках «Створення неінвазивного комплексного підходу для оцінки адекватності фізичних навантажень у фізичній реабілітації та спорті», № державної реєстрації 0118U000809.

Вступ. Сучасні умови змагальної та тренувальної діяльності, роботи екстрених служб та медичних установ вимагають посиленого контролю за функціонуванням фізіологічних систем організму. З цією метою розроблені засоби дистанційного (телеметричного) контролю, які виконують реєстрацію рухової активності, показників зовнішнього дихання, діяльності серцево-судинної системи, температури тіла, рівня рухової активності тощо [1, 2, 3, 4, 5]. Відомо, що однією з ефективних методик контролю за функціональним станом людини є аналіз варіабельності серцевого ритму (BCR) [6, 7]. Вивчення ритму серця дозволяє вирішувати багато питань, які стосуються оцінки функціонального стану організму, активації неспецифічної системи адаптації та ранньої діагностики патологічних змін [6, 7, 8]. Перспективність поєднання автоматизованого аналізу варіабельності серцевого ритму та основних показників гемодинаміки людини зумовила створення співробітниками ЛДУФК імені Івана Боберського програмно-апаратного комплексу «Ритм» (ПАК «Ритм») [9]. Алгоритм дозування фізичних навантажень, розрахунку показників гемодинаміки людини та автоматизованого формування висновків розроблений Мукаловим І.О. [10]

З метою адекватного аналізу показників варіабельності серцевого ритму необхідна точна реєстрація тривалості кардіоінтервалів. Наявність похибок може призвести до суттєвих відхилень у

розрахунках та неправильного оцінювання функціонального стану організму. Як правило, наліз точності реєстрації здійснюють шляхом порівняння показників, отриманих з використанням двох засобів, один з яких вважається еталонним. Зокрема, такі дослідження виконані для пульсометрів «Garmin 920 XT» [11], «Polar S810» [12-18], «Polar RS 800» різних модифікацій [14, 19-21], «Polar V800» [22-24], а також моніторів «Equivalant EQ02» [25] і «Suunto t6» [17]. Як еталонні прилади у таких дослідженнях звичайно використовували медичні кардіографи чи холтерівські монітори. Більшість досліджень виконані у стані фізіологічного спокою, проте окремі присвячено аналізу точності відтворення даних під час виконання фізичних навантажень [11–13, 17–19, 23]. Наявність значної кількості публікацій засвідчує актуальність проблеми відтворюваності даних BCP, отриманих з використанням різних систем реєстрації.

Мета дослідження: аналіз точності реєстрації тривалості кардіоінтервалів та показників варіабельності серцевого ритму в умовах виконання фізичних навантажень з використанням програмно-апаратного комплексу «Ритм».

Матеріал та методи дослідження. У дослідженні взяли участь 20 осіб чоловічої статі віком 20-21 рік та без наявності видимих патологій. Дослідження проводили згідно з біоетичними вимогами України та принципами Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації. Всі учасники були інформовані щодо цілей, організації, методів дослідження та підписали інформовану згоду щодо участі у ньому, і вжиті всі заходи для забезпечення анонімності досліджуваних осіб.

Для виконання порівняльного аналізу реєстрацію тривалості кардіоінтервалів (RR) виконували одночасно за допомогою «Polar RS 800» (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) та ПАК «Ритм» (ЛДУФК, Львів). Програмна складова комплексу (програма «Rytм») функціонує на платформі операційної системи MS Windows 10, для реєстрації тривалості кардіоінтервалів використовується нагрудний датчик частоти серцевих скорочень, дані якого надходять через протокол Bluetooth. Досліджувані виконували степ-тест у ритмі 20 сходжень за хвилину з використанням сходинки висотою 40 см. Тривалість навантаження становила 2 хв.

З метою оцінювання точності реєстрації кардіоінтервалів виконували порівняння показників, отриманих ПАК «Ритм», з даними, отриманими за допомогою «Polar RS800». Доцільність такого порівняння була зумовлена достатньою кількістю попередніх досліджень, що підтвердили високий рівень точності «Polar RS800» [14, 19-21] та можливість його використання під час фізичних навантажень.

Для порівняння застосовували методи описової статистики, кореляційний аналіз та статистичний підхід Бланда – Альтмана (Bland-Altman), який ґрунтується на графічному аналізі даних, визначенні довірчого інтервалу та внутрішньокласового коефіцієнта кореляції [26, 27]. Використовували табличний процесор MS Excel 2010 та OriginPro 9.1. Статистичну обробку достовірності міжгрупових розбіжностей проводили за допомогою критерію Шапіро-Вілкі, для визначення достовірності між групами використовували парний критерій Стюдента або критерій Вілкоксона.

Результати дослідження. Під час виконання досліджень кожним із приладів було зареєстровано 4707 кардіоінтервалів, середня тривалість яких становила 489,65–489,71 мс за стандартної похибки 0,90 мс (**табл. 1**). Оскільки розподіл тривалості кардіоінтервалів згідно з критерієм Колмогорова-Смірнова відрізняється від нормального, в таблиці також вказані величини першого та третього квантилів (Q1 та Q3, відповідно), які не відрізняються для двох вимірювальних засобів у межах прийнятної точності вимірювання.

Таблиця 1 – Статистичний опис сукупності кардіоінтервалів (RR), зареєстрованих з використанням різних програмно-апаратних засобів

Показник	«Polar RS800»	ПАК «Ритм»
n	4707	4707
M (мс)	489,65	489,71
m (мс)	0,90	0,90
σ (мс)	61,46	61,48
Q1 (мс)	484,00	484,00
Q3 (мс)	441,00	441,00
Нормальність розподілу даних	–	–

Під час порівняння даних, отриманих з допомогою «Polar RS800» та ПАК «Ритм», нами було встановлено, що тривалість кардіоінтервалу, зареєстрованого ПАК «Ритм», у середньому лише на 0,06 с перевищує аналогічну, зареєстровану «Polar RS800» (**табл. 2**).

Таблиця 2 – Результати аналізу різниці тривалості кардіоінтервалів (ΔRR), зареєстрованих «Polar RS800» та ПАК «Ритм» (n = 4707)

Показник	ΔRR
M (мс)	-0,06
m (мс)	0,03
LoA (мс)	від +3,72 до -3,83
ICC	1,000
r	0,999
p	0,002

Примітки: LoA – межі довірчого інтервалу; ICC – внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції; p – значення на основі парного тесту Вілкоксона

На хорошу відтворюваність даних вказують також вузькі межі довірчого інтервалу (LoA). Внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції (ICC), визначений на основі моделі 3.1 Вейра [27-29], становить 1,000, що підтверджує попередні висновки щодо відтворюваності даних.

Графік Бланда – Альтмана (рис. 1) підтверджує незначну різницю між тривалістю кардіоінтервалів, визначених різними приладами. Очевидною є невелика величина відхилення (порівняно з тривалістю кардіоінтервалів), а також відсутність залежності між величиною відхилення і тривалістю кардіоінтервалів. Це вказує на добру узгодженість даних.

Водночас за парним критерієм Вілкоксона виявлена відмінність двох сукупностей даних (табл. 2), що вказує на необхідність подальшого їх статистичного аналізу.

Таким чином, на основі більшості статистичних показників можна стверджувати, що як середні значення, так і особливості часових змін тривалості кардіоінтервалів, зареєстрованих з використанням ПАК «Ритм», не відрізняються від отриманих з використанням апробованих засобів, які застосовуються під час виконання фізичних навантажень («Polar RS800»).

На наступному етапі досліджень було виконано порівняння показників BCP, визначених на основі ритмограм, зареєстрованих різними приладами.

Таблиця 3 – Аналіз відмінностей показників варіабельності серцевого ритму ($M \pm m$, $n = 20$), отриманих на основі даних різних апаратних засобів

Показники варіабельності серцевого ритму	Джерело ритмограми		«Polar RS800» – ПАК «Ритм»			
	«Polar RS800»	ПАК «Ритм»	r	p	M	LoA
Mean RR (мс)	494,61±10,73	495,91±10,81	1,00	0,15	-0,06	0,03 – -0,14
Mean HR (хв ⁻¹)	123,15±2,73	122,85±2,75	1,00	0,15	0,30	2,04 – -1,44
STD RR (мс)	37,68±2,97	37,96±3,03	1,00	0,13	-0,03	0,32 – -0,38
RMSSD (мс)	8,78±1,27	9,08±1,35	0,98	0,25	0,002	0,58 – -0,58
pNN50 (%)	0,44±0,27	0,54±0,30	0,97	0,24	-0,03	0,34 – -0,39
RR tri index (ум.од.)	5,69±0,39	5,47±0,34	0,94	0,12	0,22	1,41 – -0,97
VLF (мс ²)	382,27±71,43	386,82±72,62	1,00	0,25	0,24	3,50 – -3,02
LF (мс ²)	39,82±12,76	39,80±12,74	1,00	0,98	0,04	1,26 – -1,17
HF (мс ²)	24,33±11,41	24,23±11,20	1,00	0,85	-0,34	2,45 – -3,14
VLF (%)	79,73±5,05	79,88±5,00	1,00	0,62	0,13	1,01 – -0,76
LF (%)	13,81±3,73	13,71±3,72	1,00	0,48	0,004	0,27 – -0,28
HF (%)	6,42±1,99	6,37±1,93	1,00	0,76	-0,11	0,61 – -0,82
LF/HF ratio (ум. од.)	3,69±0,61	3,48±0,57	0,99	0,05	0,21	1,10 – -0,67
SD1 (мс)	6,25±0,90	6,47±0,96	0,98	0,24	0,001	0,41 – -0,41
SD2 (мс)	51,99±4,21	52,33±4,29	1,00	0,16	0,003	0,17 – -0,18

Примітки: HR – частота серцевих скорочень; STD RR – стандартне відхилення кардіоінтервалів; RMSSD – квадратний корінь із суми квадратів різниці величин послідовних пар; pNN50 – частка NN50 загальної кількості послідовних пар кардіоінтервалів, що розрізняються більше ніж на 50 мс, отриманих за весь період запису; RR tri index – триангулярний індекс BCP; VLF, LF та HF – абсолютна (мс²) чи відносна (%) потужність у діапазоні дуже низьких, низьких та високих частот; LF/HF – співвідношення LF до HF; 8. SD1 та SD2 – довжина короткої та довгої осі еліпса скатерограми

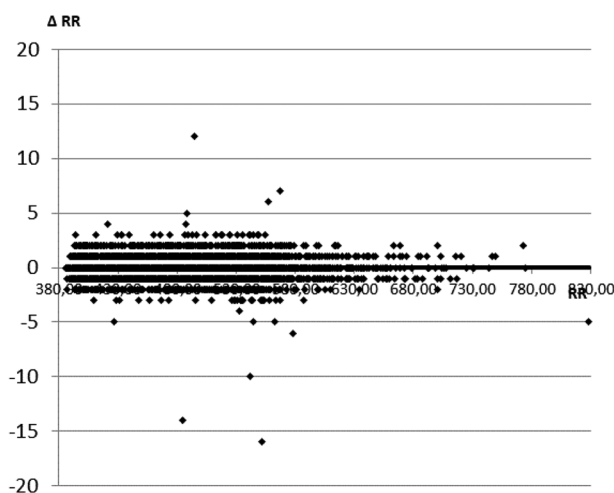


Рис. 1. Графік Бланда-Альтмана на основі порівняння даних, отриманих за допомогою «Polar RS800» та ПАК «Ритм» ($n = 4707$). Межі довірчого інтервалу позначені горизонтальними лініями. На горизонтальній осі вказано усереднену тривалість кардіоінтервалів (мс), на вертикальній – величину різниці тривалості кардіоінтервалів (мс)

Показники BCP розраховували з використанням програми Kubios HRV 2.1 (Kuopio, Finland). Отримані результати представлені у таблиці 3.

Статистично значуща різниця виявлена лише для показника LF/HF. Значення цього показника, розраховані на основі ритмограми ПАК «Ритм», були на 0,21 ум. од. нижчими порівняно з даними,

визначеними на основі ритмограми «Polar RS800». Межі довірчого інтервалу складалі від 1,10 до -0,67 ум. од.

Таким чином, можна зробити висновок, що невеликі відмінності у тривалості окремих кардіоінтервалів, зареєстрованих різними приладами, не впливають суттєво на розрахунок більшості показників BCP.

Обговорення отриманих результатів. Аналіз даних наукової літератури виявив, що середне значення відхилення тривалості кардіоінтервалів при порівнянні даних «Polar S810» з даними електрокардіографів чи холтерівських моніторів, знаходиться у межах 0,41–2,4 мс [11, 12, 15–17, 22], в окремих випадках досягаючи 0,021 мс [19]. Отримане нами значення (0,06 мс) є порівняно невисоким та вказує на незначну середню похибку визначення тривалості кардіоінтервалів. Також порівняно невисокими є величини розрахованого нами довірчого інтервалу (3,72 – -3,83 мс), оскільки, за даними літератури, межі цього інтервалу коливаються від діапазону 2,67 – -6,37 мс [16] до діапазону 24,9 – -23,40 мс [12]. Отримані різними авторами значення коефіцієнту кореляції коливаються від 0,97 до 1,00 [15, 22], а внутрішньокласового коефіцієнту кореляції – від 0,98 до 0,9994 [15, 19]. Визначені нами величини цих показників ($r = 0,999$ та $ICC = 1,000$) порівнянні з найвищими величинами, вказаними у літературних джерелах. Отже, нами виявлена мінімальна різниця тривалості кардіоінтервалів, зареєстрованих ПАК «Ритм» та «Polar RS800».

Порівняння окремими авторами показників спектрального аналізу BCP, отримані на основі даних «Polar S810» та медичного електрокардіографа, виявило межі довірчого інтервалу від 14,0 – -14,4 мс² до 22,6 – -19,9 мс² та ICC на рівні 0,899–0,999 [21]. Аналогічні межі довірчого інтервалу при порівнянні показників, отриманих за допомогою ПАК «Ритм» та «Polar RS800», не перевищували 3,50 – -3,02 мс², що вказує на високу точність відтворення результатів аналізу BCP. Ці межі довірчих інтервалів близькі до даних, визначених іншими авторами, що вказують на діапазон значень у межах 5–7 мс² [15, 24], хоча в окремих випадках межі довірчих інтервалів не перевищують 1 мс² [22]. Лише кількома авторами були проаналізовані відмінності показників геометричного аналізу BCP

(SD1 та SD2) при порівнянні даних, отриманих за допомогою «Polar S810», та медичних електрокардіографічних систем [11, 12, 23]. Виявлені ними межі довірчих інтервалів коливались від -0,2 – 0,24 мс до -0,85 – 0,9 мс. Розраховані нами межі довірчих інтервалів не перевищували 0,41 мс, тобто знаходились у межах середньої частини діапазону даних літератури. Серед параметрів статистичного аналізу послідовності кардіоінтервалів доцільно згадати показник RMSSD, межі довірчого інтервалу для якого описані у багатьох дослідженнях [15, 21–23, 25]. Ці межі у більшості випадків не перевищують 2 мс, хоча зареєстровані й величини у 26 та 60 мс. Порівняння нами результатів, отриманих за допомогою ПАК «Ритм» та «Polar RS800», виявило межі довірчого інтервалу у 0,58 мс. Отже, аналіз даних літератури та порівняння з ними наших результатів щодо меж довірчих інтервалів багатьох показників варіабельності серцевого ритму вказує на те, що отримані нами відхилення лежать у діапазоні мінімальних значень. Це підтверджує можливість та обґрунтованість використання ПАК «Ритм» для реєстрації варіабельності серцевого ритму під час фізичних навантажень.

Висновки

1. Отримані дані та результати їхнього аналізу вказують на невелике значення (0,06 мс) середньої величини різниці тривалості кардіоінтервалів, вузькі межі довірчого інтервалу (3,72 – -3,83 мс) та максимальну величину внутрішньокласового коефіцієнту кореляції (1,000) між даними «Polar RS800» та ПАК «Ритм», попри наявність відмінностей за парним критерієм Вілкоксона.
2. Не виявлено відмінностей між показниками варіабельності серцевого ритму, розрахованими на основі даних «Polar RS800» та ПАК «Ритм», за винятком показника LF/HF. Це вказує на максимальну наближеність показників варіабельності серцевого ритму, отриманих з використанням ПАК «Ритм», до показників апробованих засобів реєстрації варіабельності серцевого ритму під час фізичних навантажень.

Перспективи подальших досліджень полягають в аналізі точності відтворення значень кардіоінтервалів та розрахунку показників варіабельності серцевого ритму ПАК «Ритм» в умовах відновлення після фізичних навантажень.

References

1. Dunn J, Runge R, Snyder M. Wearables and the medical revolution. *Personalized Medicine*. 2018; 15(5): 429–448. doi: 10.2217/pme-2018-0044
2. Taj-Eldin M, Ryan C, O'Flynn B, Galvin P. A Review of Wearable Solutions for Physiological and Emotional Monitoring for Use by People with Autism Spectrum Disorder and Their Caregivers. *Sensors*. 2018; 18(12): 4271. doi: 10.3390/s18124271
3. Dias D, Paulo Silva Cunha J. Wearable Health Devices-Vital Sign Monitoring, Systems and Technologies. *Sensors*. 2018; 18(8): 2414. doi: 10.3390/s18082414

4. Liu Y, Wang H, Zhao W, Zhang M, Qin H, Xie Y. Flexible, Stretchable Sensors for Wearable Health Monitoring: Sensing Mechanisms, Materials, Fabrication Strategies and Features. *Sensors*. 2018; 18(2): 645. doi: 10.3390/s18020645
5. Majumder S, Mondal T, Deen M. Wearable Sensors for Remote Health Monitoring. *Sensors*. 2017; 17(12): 130. doi: 10.3390/s17010130
6. Bellenger C, Fuller J, Thomson R, Davison K, Robertson E, Buckley J. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2016; 46(10): 1461-1486. doi: 10.1007/s40279-016-0484-2
7. Dong J. The role of heart rate variability in sports physiology. *Exp Ther Med*. 2016; 11(5): 1531-1536. doi: 10.3892/etm.2016.3104
8. da Silva V, de Oliveira N, Silveira H, Mello R, Deslandes A. Heart Rate Variability Indexes as a Marker of Chronic Adaptation in Athletes: A Systematic Review. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2014; 20(2): 108-118. doi: 10.1111/anec.12237
9. Vovkanych L., Boretsky Y., Sokolovsky V., Berhtraum D., Kras S. Validity of the software-hardware complex "Rytm" for measuring the RR intervals and heart rate variability at rest. *Journal of Physical Education and Sport*, 2020. V.20 (3), P. 1599–1605.
10. Дрозд И. П., Гриджук М. Ю., Мукалов И. О. Определение индивидуальной радиорезистентности человека. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 197 с.
11. Cassirame J, Vanhaesebrouck R, Chevrolat S, Mourou L. Accuracy of the Garmin 920 XT HRM to perform HRV analysis. *Austral Physical Engineer Sci Med*. 2017; 40(4): 831-839. doi: 10.1007/s13246-017-0593-8
12. Braga L, Prado G, Umeda I, Kawauchi T, Taboada A, Azevedo R, et al. Reproducibility for Heart Rate Variability Analysis during 6-Min Walk Test in Patients with Heart Failure and Agreement between Devices. *PLOS ONE*. 2016; 11(12): e0167407. doi: 10.1371/journal.pone.0167407
13. Kingsley M, Lewis M, Marson R. Comparison of Polar 810 s and an Ambulatory ECG System for RR Interval Measurement During Progressive Exercise. *Int J Sports Med*. 2005; 26(01/02): 39-44. doi: 10.1055/s-2004-817878
14. de Rezende Barbosa M, Silva N, de Azevedo F, Pastre C, Vanderlei L. Comparison of Polar®RS800G3™ heart rate monitor with Polar®S810i™ and electrocardiogram to obtain the series of RR intervals and analysis of heart rate variability at rest. *Clin Physiol Func Imaging*. 2014; 36(2): 112-117. doi: 10.1111/cpf.12203
15. Nunan D, Jakovljevic D, Donovan G, Hodges L, Sandercock G, Brodie D. Levels of agreement for RR intervals and short-term heart rate variability obtained from the Polar S810 and an alternative system. *Eur J Appl Physiol*. 2008; 103(5): 529-537. doi: 10.1007/s00421-008-0742-6
16. Porto L, Junqueira Jr L. Comparison of Time-Domain Short-Term Heart Interval Variability Analysis Using a Wrist-Worn Heart Rate Monitor and the Conventional Electrocardiogram. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2009; 32(1): 43-51. doi: 10.1111/j.1540-8159.2009.02175.x
17. Weippert M, Kumar M, Kreuzfeld S, Arndt D, Rieger A, Stoll R. Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. *Eur J Appl Physiol*. 2010; 109(4): 779-786. doi: 10.1007/s00421-010-1415-9
18. Vanderlei L, Silva R, Pastre C, Azevedo F, Godoy M. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Brazil J Med Biol Res*. 2008; 41(10): 854-859. doi: 10.1590/S0100-879X2008005000039
19. Hernando D, Garatachea N, Almeida R, Casajús J, Bailón R. Validation of Heart Rate Monitor «Polar RS800» for Heart Rate Variability Analysis During Exercise. *J Strength Cond Res*. 2018; 32(3): 716-725. doi: 10.1519/JSC.0000000000001662
20. Montañó A, Brown F, Credeur D, Williams M, Stoner L. Telemetry-derived heart rate variability responses to a physical stressor. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2016; 37(4): 421-427. doi: 10.1111/cpf.12320
21. Wallén M, Hasson D, Theorell T, Canlon B, Osika W. Possibilities and limitations of the «Polar RS800» in measuring heart rate variability at rest. *Eur J Appl Physiol*. 2011; 112(3): 1153-1165. doi: 10.1007/s00421-011-2079-9
22. Caminal P, Sola F, Gomis P, Guasch E, Perera A, Soriano N et al. Validity of the Polar V800 monitor for measuring heart rate variability in mountain running route conditions. *Eur J Appl Physiol*. 2018; 118(3): 669-677. doi: 10.1007/s00421-018-3808-0
23. Giles D, Draper N. Heart Rate Variability During Exercise. *J Strength Cond Res*. 2018; 32(3): 726-735. doi: 10.1519/JSC.0000000000001800
24. Giles D, Draper N, Neil W. Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *Eur J Appl Physiol*. 2015; 116(3): 563-571. doi: 10.1007/s00421-015-3303-9
25. Akintola A, van de Pol V, Bimmel D, Maan A, van Heemst D. Comparative Analysis of the Equivalant EQ02 Life-monitor with Holter Ambulatory ECG Device for Continuous Measurement of ECG, Heart Rate, and Heart Rate Variability: A Validation Study for Precision and Accuracy. *Front Physiol*. 2016; 7. doi: 10.3389/fphys.2016.00391

26. Doğan N. Bland-Altman analysis: A paradigm to understand correlation and agreement. *Turk J Emerg Med.* 2018; 18(4): 139-141. doi: 10.1016/j.tjem.2018.09.001
27. Watson P, Petrie A. Method agreement analysis: A review of correct methodology. *Theriogenology.* 2010; 73(9): 1167-1179. doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.01.003
28. Koo T, Li M. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropract Med.* 2016; 15(2): 155-163. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
29. Weir J. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the sem. *J Strength Cond Res.* 2005; 19(1): 231-240. doi: 10.1519/00124278-200502000-00038

УДК 796.015.6:612.176

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ КАРДИОИНТЕРВАЛОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «РИТМ» В УСЛОВИЯХ ВЫПОЛНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Вовканич Л. С., Соколовский В. М., Борецкий Ю. Р., Бергтраум Д. И., Крась С. И.

Резюме. Современные условия соревновательной и тренировочной деятельности требуют усиленного контроля активности физиологических систем организма. Одной из наиболее эффективных методик оценки уровня напряженности регуляторных систем организма является анализ вариабельности сердечного ритма. Для использования этой методики необходимо подтвердить достаточный уровень точности регистрации продолжительности кардиоинтервалов новыми программно-аппаратными средствами. Поэтому целью наших исследований стал анализ точности регистрации длительности кардиоинтервалов и показателей вариабельности сердечного ритма с использованием программно-аппаратного комплекса «Ритм» во время физических нагрузок. В исследовании приняли участие 20 человек мужского пола в возрасте 20-21 лет и без наличия выявленных патологий, регистрацию длительности кардиоинтервалов выполняли синхронно с использованием «Polar RS800» и программно-аппаратного комплекса «Ритм». Исследуемые выполняли степ-тест в ритме 20 восхождений в минуту, высота ступеньки – 40 см, продолжительность – 2 мин. Количество проанализированных пар кардиоинтервалов – 4707. Установлено, что продолжительность кардиоинтервалов, зарегистрированного программно-аппаратного комплекса «Ритм», в среднем лишь на 0,06 с превышает аналогичную, зарегистрированную «Polar RS800». Выявлены узкие границы доверительного интервала (3,72 – -3,83 мс) и максимальная величину внутриклассовых коэффициента корреляции (1,000) между данными этих двух приборов. График Блэнда – Альтмана подтверждает высокий уровень воспроизводимости данных. В то же время имеется статистическое отличие ($p = 0,002$) двух совокупностей данных по критерию Вилкоксона. Было также выполнено сравнение показателей вариабельности сердечного ритма, рассчитанных с использованием программы Kubios HRV 2.1 на основе данных двух приборов - «Polar RS800» и программно-аппаратного комплекса «Ритм». Проанализированы показатели статистического (HR, STD RR, RMSSD, pNN50), спектрального (VLF, LF, HF, LF / HF) и геометрического (RR tri index, SD1, SD2) анализа вариабельности сердечного ритма. Установлено, что статистически значимая разница выявлена только для показателя LF/HF. Это указывает на максимальную приближенность показателей вариабельности сердечного ритма, полученных с использованием программно-аппаратного комплекса «Ритм», к показателям, полученных с использованием апробированных систем мониторинга сердечного ритма.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, метод Блэнда – Альтмана, внутриклассовый коэффициент корреляции.

UDC 796.015.6:612.176

Accuracy of determination of the RR intervals duration by the software-hardware complex “Rytm” in the conditions of physical loads

Vovkanych L. S., Sokolovsky V. M., Boretsky Y. R., Berhtraum D. I., Kras S. I.

Abstract. The important task for modern physiology is remote monitoring of the functions of physiological systems of the human organism during the competitive and training activity. It is well known that analysis of heart rate variability is one of the effective methods to evaluate the physiological changes which occur in the response to physical loads. In order to perform the correct analysis of heart rate variability by newly designed devices, it is necessary to confirm the sufficient level of accuracy in the registration of RR intervals.

The purpose of our research was to analyze the accuracy of RR time series measurements by software-hardware complex “Rytm” and validity of subsequently calculated heart rate variability indexes in conditions of exercise performance.

Material and methods. The study involved 20 healthy male adults 20-21 years old. Recording of cardio intervals was performed simultaneously with «Polar RS800», and software-hardware complex «Rytм». The subjects performed a step test in a rate of 20 steps per minute, platform height – 40 cm, duration – 2 minutes.

Results and discussion. Heart rate variability indexes were calculated by Kubios HRV 2.1 software. The totally 4707 pairs of RR intervals were analyzed. The average bias between the RR interval, registered by software-hardware complex «Rytм» and «Polar RS800», was only 0.06 s. We revealed the narrow Bland–Altman limits of agreement (3.72 – -3.83 ms) and the highest value of the intraclass correlation coefficient (1.000) between the data of these two devices. The Bland–Altman plot confirmed good agreement between the devices in the measurements of RR intervals. At the same time, the significant difference ($p = 0.002$) of the two data sets was found according to paired Wilcoxon test. As the final goal of the registration of RR time series is calculation of individual heart rate variability indexes, we intended to test the presence of substantial differences in the heart rate variability indexes, derived from the data from two devices – «Polar RS800» and software-hardware complex «Rytм». We compared the results of time-domain (HR, STD RR, RMSSD, pNN50), frequency-domain (VLF, LF, HF, LF / HF) and nonlinear (RR tri index, SD1, SD2) analysis of heart rate variability. It was found that only for the LF/HF ratio a statistically significant difference was present.

Conclusion. The results suggest the good agreement between most of the heart rate variability indexes based on data of software-hardware complex «Rytм» and well approved heart rate monitoring systems («Polar RS800»).

Keywords: heart rate variability, Bland–Altman method, intraclass correlation coefficient.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 30.09.2020 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування