

## SPORTS

## Аналіз спектрів потужності варіабельності серцевого ритму у спортсменів під час початкової адаптації до умов гірської гіпоксії

В. В. Сосновський, В. А. Пастухова, М. М. Філіппов, В. М. Ільїн

Національний університет фізичного виховання і спорту України  
Corresponding author E-mail ilyin\_nufvsu@ukr.net

Paper received 23.08.18; Accepted for publication 29.08.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22-11>

**Анотація.** В основу класифікації спектрів потужності варіабельності серцевого ритму покладена система формульного запису, що містить символи, які характеризують структуру спектра, частотні та амплітудні характеристики основних спектральних максимумів. При аналізі кардіоритмограм у спортсменів в початковий період адаптації до гірських умов, зареєстрованих у спокої і під час навантажень, виявлено 12 з 16 можливих типів спектрів потужності варіабельності серцевого ритму, які відповідають «стійким» і «нестійким» функціональним станам організму спортсменів. «Стойкі» стани організму характерні для умов спокою і незначних функціональних навантажень. «Нестійкі» частіше зустрічаються при напруженнях регуляторних систем організму, що виникають під час значних навантажень або під час впливів екстремальних факторів зовнішнього середовища. Показано що в початковий період адаптації до гірських умов у частини спортсменів спостерігаються "нестійкі" стани, що характеризуються високим функціональним напруженням регуляторних механізмів і підвищеним ризиком спонтанного переходу у стани перенапруження і виснаження. Наведені математико-статистичні показники, що описують розподіл кардіоінтервалів в групах з різними типами спектрів.

**Ключові слова:** *варіабельність серцевого ритму, спектральна формула, функціональний стан, гіпоксія, адаптація.*

**Введення.** Організм людини має унікальну властивість пристосовуватися до змін зовнішнього і внутрішнього середовища, у тому числі і до фізичних навантажень. Одним з механізмів процесу адаптації до фізичних навантажень є мінливість функціонування фізіологічних систем, зокрема, варіабельність серцевого ритму спортсмена [1, 2].

Хоча останнім часом є велика кількість досліджень, що використовують методи спектрального аналізу варіабельності серцевого ритму, які дозволяють виявити особливості частотної структури серцевого ритму при дії на організм різних чинників, проте при цьому недостатній акцент ставиться на зміни форми спектру і закономірностей його перетворення [3-4].

У даній роботі пропонується вдосконалений підхід до оцінки функціонального стану організму людини, який включає в себе як сформовані уявлення про регуляторні системи організму, так і положення про те, що організм людини є ультрастабільною системою [5].

Метою роботи є аналіз спектрів потужності варіабельності серцевого ритму організму людини під час термінової адаптації до умов гірської гіпоксії на прикладі висококваліфікованих спортсменів, які спеціалізуються в швидко-силових видах легкої атлетики.

**Матеріали і методи дослідження.** В умовах середньогір'я на висоті 2100 м на базі Ельбрусської медико-біологічної станції Міжнародного центру астрономічних і медико-екологічних досліджень НАН України на 2-3 добу перебування в горах обстежено 12 спортсменів кваліфікації майстер спорту і майстер спорту міжнародного класу, що спеціалізуються в бігу на 400 і 800 м. Всі спортсмени брали участь в кардіоритмографічному обстеженні в стані відносного спокою лежачи і під час проведення активної ортостатичної проби (АОП).

Відповідно до «Міжнародного стандарту» [6] в дослідженнях тривалість запису кардіоритмограми

(КРГ) становила 5 хвилин (300 с). При проведенні АОП проводився аналіз як нестационарної ділянки КРГ, який характеризує перехідний процес після прийняття положення стоячи тривалістю 1 хвилина, так і наступної за нею стаціонарної ділянки. Розраховувалися статистичні характеристики динамічного ряду кардіоінтервалів: кількість кардіоінтервалів (N); математичне сподівання динамічного ряду (RRNN); стандартне відхилення нормальних величин RR інтервалів (SDNN), коефіцієнт варіації (CV); частка послідовних RR інтервалів, різниця між якими перевищує 50 мс (pNN50, %). Числовими характеристиками варіаційної пульсограми є: "Мода" (Mo), "Амплітуда моди" (AMo), "Індекс напруженості" (IH), "Індекс вегетативної регуляції" (IBP), "Вегетативний показник ритму" (BPP), "Показник адекватності процесів регуляції" (ПАПР).

Для оцінки функціонального стану організму був застосований структурно-лінгвістичний метод [7].

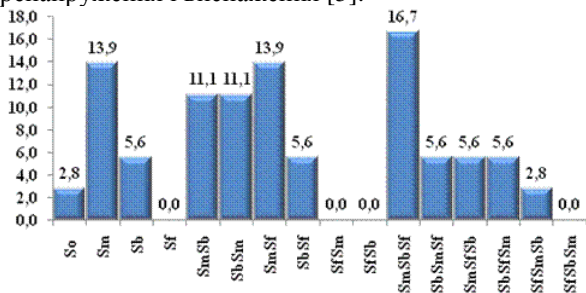
**Результати та їх обговорення.** В основу класифікації спектрів потужності серцевого ритму у цій роботі покладена система формульного запису, що містить символи, які характеризують структуру спектра, частотні та амплітудні характеристики основних спектральних максимумів [8, 9].

При аналізі КРГ спортсменів, зареєстрованих в початкову фазу адаптації до умов середньогір'я в спокої і під час функціональних навантажень, визначені 12 із 16 можливих типів спектрів потужності серцевого ритму, а саме So, Sb, Sm, SmSb, SmSf, SbSm, SbSf, SmSbSf, SmSfSb, SbSmSf, SbSfSm, SfSmSb.

На рисунку 1 наведена гістограма розподілу типів спектрів потужності серцевого ритму.

Найбільш часто зустрічалися спектри типу SmSbSf (16,7%) і Sm (13,9%). Звертає на себе увагу наявність спектрів з вираженим надвисоко-частотним (Sf) компонентом (SmSfSb, SbSfSm, SfSmSb). Вони становлять 14% від усіх зареєстрованих спектрів, що свід-

чить про наявність в початковий період адаптації до гірських умов у частині спортсменів великої кількості " нестійких станів, що характеризуються високим функціональним напруженням регуляторних механізмів і підвищеним ризиком спонтанного переходу у стани перенапруження і виснаження [5].



**Рис. 1.** Частота зустрічаємості різних типів серцевого ритму у спортсменів, які зареєстровані в початкову фазу адаптації до умов середньогір'я в спокої і під час функціональних навантажень

Кардіоритмограми зі спектрами So, Sm, SmSf, SbSf, SbSmSf, SbSfSm, SfSmSb зустрічалися частіше під час функціональних навантажень, ніж у стані спокою.

У зв'язку з тим, що кардіоритмограм з різними спектрами потужності мали дуже близькі математико-статистичні показники, вони були об'єднані в п'ять груп: 1 - SmSb, SmSbSf; 2-SbSm, SbSmSf, 3 - So, 4 - Sm, SmSf, SmSfSb, SfSmSb, 5 - Sb; SbSf, SbSfSm (таблиця 1).

За допомогою показника активності регуляторних систем (ПАРС) була проведена оцінка ступеня напруги регуляторних систем в залежності від класу кардіоритмограми і типу спектру потужності серцевого ритму.

**Таблиця 1.** Математико-статистичні показники, що характеризують розподіл кардіоінтервалів в кардіоритмограмах з різними спектрами потужності серцевого ритму

Показники	Sm, SmSf, SmSfSb, SfSmSb	SmSb, SmSbSf	Sb, SbSf, SbSfSm	So	SbSm, SbSmSf
Mo, мс	657	702	718	734	780
RRNN, мс	681	754	765	735	826
SDNN, мс	25,5	19,8	18,5	12,0	41,9
AMo, %	48	62	69	87	35
ΔR-R, мс	395	312	247	207	479
CV, %	3,7	2,7	2,5	1,7	5,1
pNN50, %	14,9	12,8	6,5	6,2	17,9
IBP	122	199	280	420	73
ПАПР	71	88	95	123	44
ВІПР	3,9	4,7	5,4	6,8	2,6
ІН	91	143	191	294	47
ПАРС	5	4	6	8	3
% від виборки	29,7	24	29,7	8,5	8,1

Показано, що при кардіоритмограмах зі спектрами SbSm, SbSmSf, SmSb, SmSbSf значення ПАРС не перевищують 4 балів. За шкалою, розробленою Бавеским та ін [10], ця сума балів відповідає стану оптимального напруження регуляторних систем організму. При спектрах Sm, SmSf, SmSfSb і SfSmSb значення ПАРС досягає 5 балів. Це свідчить про функціональне напруження регуляторних систем організму. При спектрі So ПАРС коливається від 7 до 10 балів і це вказує на перенапруження або виснаження регуляторних систем. Стани функціонального напруження, перенапруження або виснаження регуляторних механізмів, як і відповідні їм спектри серцевого ритму, частіше зустрічаються під час функціональних навантажень, при виникненні перед- і патологічних станів або при дії екстремальних факторів.

**Висновки:**

1. В основу класифікації спектрів потужності варіабельності серцевого ритму може бути покладена си-

стема формульного запису, що містить символи, які характеризують структуру спектра, частотні та амплітудні характеристики основних спектральних максимумів.

2. При аналізі кардіоритмограм у спортсменів в початковий період адаптації до гірських умов, зареєстрованих у спокої і під час функціональних навантажень, виявлено 12 з 16 можливих типів спектрів потужності варіабельності серцевого ритму, а саме So, Sb, Sm, SmSb, SmSf, SbSm, SbSf, SmSbSf, SmSfSb, SbSmSf, SbSfSm, SfSmSb.

3. Величини показників, що характеризують кардіоритмограми зі спектрами SmSb, SmSbSf, SbSm і SbSmSf, характерні для функціональних станів організму в нормі. Інші типи спектрів частіше зустрічаються при напруженнях регуляторних систем організму, що виникають під час функціональних навантажень або під час впливів екстремальних факторів зовнішнього середовища.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Ільїн В. М., Кальниш В. В., Курданов Х. А. Структурно-лінгвістичний підхід до оцінки функціонального стану організму людини // Доп. НАНУ, 2001, 6, С.185–189.  
 2. Коробейников Г.В. Вариабельность ритма сердца как физиологический механизм адаптации к условиям напряженной мышечной деятельности //Материалы 1-й межд. научн. конференции «Анализ вариабельности ритма сердца в клинической практике». - К.: ИПЦ «Аклон», 2002, С. 68-69.  
 3. Karling P., Nyhlin H., Wiklund U. et al Spectral analysis of heart rate variability bowel syndrome /

- P.Karling,. // Scand. J. Gastrenterol.,1998, 33(6), P. 572–576.
4. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метод. – Иваново: Иван. Гос. Мед. Академия, 2002, 290 с.
  5. Ильин В. Н., Филиппов М. М., Алвани А. Оценка функционального состояния организма человека в экстремальных условиях на основе теории ультрастабильных систем // Ульяновский медико-биологический журнал, 2014, 3, С. 94-100.
  6. Task Force of the European of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standarts of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use// Circulation,1996, 93, P. 1043-1065.
  7. Ільїн В. М., Черкес Л. І, Коваль С. Б. та інш. Структурно-лінгвістичний аналіз реакцій організму людини на фізичне навантаження // Медична інформатика та інженерія, 2009, 3, С. 48-54.
  8. Криворученко Е. В., Ильин В. Н. Новый подход к оценке работоспособности спортсменов, специализирующихся в циклических видах спорта, по анализу показателей variability сердечного ритма // Сб. материалов международной научн. конф. Состояние и перспективы развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед-2006» – Москва: АнитаПресс, 2006, С. 171 – 172.
  9. Ilyin V, Kalnysh V., Gorgo Y. The structure-linguistic approach to evaluation of functional state of human organism in the extreme conditions // Сб. трудов конф. «Автоматизированный анализ гипоксических состояний», Нальчик-Москва, 2003, С.141-145.
  10. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. 221 с.

#### REFERENCES

1. Ilyin V.M., Kannish V.V., Kurdanov Kh. A. Structural-linguistic approach to the evaluation of the functional state of the human body // Supplement. National Academy of Sciences, 2001, 6, P.185-189.
2. Korobeinikov G.V. Variability of heart rhythm as a physiological mechanism of adaptation to conditions of intense muscular activity // Materials of the 1 st Intl. scientific. conference "Analysis of Heart Rate Variability in Clinical Practice" .- K .: IPC "Aklon", 2002, pp. 68-69.
3. Karling P., Nyhlin H., Wiklund U. et al Spectral analysis of heart rate variability bowel syndrome / P.Karling,. // Scand. J. Gastrenterol.,1998, 33(6), P. 572–576.
4. Mikhailov V.M. Heart rate variability: experience of practical application of the method. - Ivanovo: Ivan. Gos. Honey. Academy, 2002, 290 p.
5. Ilyin V.N., Filippov M.M., Alvani A. Evaluation of the functional state of the human body under extreme conditions on the basis of the theory of ultrastable systems // Ulyanovsk Medical Biological Journal, 2014, 3, P. 94-100.
6. Task Force of the European of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standarts of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use// Circulation,1996, 93, P. 1043-1065.
7. Ilyin V. M., Cherkess L. I., Koval S. B. and others. Structural and linguistic analysis of human body reactions to physical activity // Medical Informatics and Engineering, 2009, 3, P. 48-54.
8. Krivoruchenko E.V., Ilyin V.N. A new approach to assessing the performance of athletes specializing in cyclic sports, on the analysis of heart rate variability indices. materials of international scientific. Conf. State and prospects of the development of medicine in the sport of high achievements "SportMed-2006" - Moscow: AnitaPress, 2006, p. 171-172.
9. Ilyin V, Kalnysh V., Gorgo Y. The structure-linguistic approach to evaluation of the functional state of the human organism in the extreme conditions // Sb. works of conf. "Automated analysis of hypoxic conditions", Nalchik-Moscow, 2003, P.141-145.
10. Baevsky R.M., Kirillov O.I., Kletskin S.Z. Mathematical analysis of cardiac rhythm changes under stress. - Moscow: Nauka, 1984. 221 p.

#### **Analysis of power spectrum of heart rate variability in athletes during initial adaptation to mountain hypoxia conditions**

**V. V. Sosnovsky, V. A. Pastukhova, M. M. Filippov, V. M. Ilyin**

**Abstract.** In basis of classification of spectrums of power of variability of cardiac rhythm the fixed system of record of formula, that contains symbols, that characterize a spectrum structure, frequency and peak descriptions of basic spectral maximums. When analyzing cardiorytmohram the athletes in the initial period of adaptation to mountain conditions recorded at rest and during exertion, found 12 of the 16 possible types of power spectra of heart rate variability, which correspond to "stable" and "unstable" functional state of athletes. "Stable" states of the organism are characteristic for conditions of rest and minor functional loads. "Unstable" are more common in stresses of regulatory systems of the organism that arise during heavy loads or during the effects of extreme environmental factors. It is shown that in the initial period of adaptation to the mountainous conditions of the athletes there are "unstable" condition characterized by high functional stress regulatory mechanisms and an increased risk of spontaneous goes into a strain and exhaustion. The mathematical and statistical indicators describing the distribution of cardiointervals in groups with different types of spectra are given.

**Keywords:** heart rhythm variability, spectral formula, functional state, hypoxia, adaptation.