

УДК 612.172.2

С. О. Коваленко, Б. П. Мінаєв,  
Л. І. Кудій, О. І. Андрощук, В. А. Завгородня

## ВІДТВОРЮВАНІСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛИВАНЬ ЧАСТОТИ СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ ТА УДАРНОГО ОБ'ЄМУ КРОВІ У ЧОЛОВІКІВ

**Актуальність.** Для практичного застосування, теоретичної інтерпретації результатів, отриманих за допомогою різних методик оцінки фізіологічних коливань гемодинаміки, вельми важливо наскільки відтворюються значення показників, виміряних за ними через тривалий період часу.

**Мета.** Дослідити відтворюваність показників хвильової структури коливань частоти серцевих скорочень (ЧСС), ударного об'єму крові (УОК) та рівня їх синхронізації.

**Методика.** Проведені повторні вимірювання показників спектрального аналізу коливань ЧСС та УОК на 37 чоловіках у середньому через 216 днів.

**Результати.** Показники спектрального аналізу коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу RR як в спокої, так і при різних навантаженнях залишаються відносно стабільними протягом достатньо тривалого часу. Крос-спектральна потужність коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,05-0,15 Гц є достатньо сталою індивідуальною характеристикою серцево-судинної системи людини.

**Новизна.** Вперше показана відтворюваність характеристик спектрального аналізу коливань ЧСС та УОК у чоловіків через тривалий проміжок часу.

**Висновки.** Характеристики коливань частоти серцевих скорочень та ударного об'єму крові є стабільними індивідуальними характеристиками діяльності серцево-судинної системи людини.

**Ключові слова:** варіабельність серцевого ритму, спектральний аналіз.

**Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Доведено, що показники хвильової структури коливань частоти серцевих скорочень (ЧСС) та ударного об'єму крові (УОК) є прогностичними характеристиками для оцінки функціонального стану організму, смертності після перенесеного інфаркту міокарду [1, 2]. Для практичного застосування, теоретичної інтерпретації результатів, отриманих за допомогою різних методик оцінки фізіологічних коливань гемодинаміки, вельми важливо наскільки відтворюються значення показників, виміряних за ними через тривалий період часу.

Як показано дослідженнями, проведеними на близнюках [3, 4], існує висока генетична обумовленість загальної варіативності інтервалу R-R. Проведені дослідження і відтворюваності показників коливань частоти серцевих скорочень [5]. Разом з тим не достатньо проаналізовані відтворюваність окремих показників хвильової структури коливань ЧСС і тим більше ударного об'єму крові, їх синхронізації.

**Мета роботи.** Дослідити відтворюваність показників хвильової структури коливань ЧСС та УОК та рівня їх синхронізації.

### Методика

Вимірювання проведені на 37 здорових молодих чоловіках віком від 18 до 23 років. Дослідження проведено з дотриманням основних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994-2008 рр.).

Зранку (з 8 до 11 годин) після 15-хвилинного відпочинку лежачи проводилися 5-хвилинні реєстрації електрокардіограми та диференційованої імпедансної реограми від реоаналізатора РА-5-01 (Київський науково-дослідний інститут радіовимірювальної апаратури). Подібні записи здійснювали і при ортопробі (7 хвилин), нейродинамічному навантаженні за тестом М.В. Макаренка, фізичному навантаженні потужністю 1 Вт на кг маси тіла. Ударний об'єм крові розраховували за сигналом диференційованої

імпедансної реограми, тривалість інтервалу R-R – за сигналом ЕКГ за всіма реалізаціями впродовж 5-10 хвилин [6].

Тривалість кожного кардіоциклу розраховували за часовими параметрами найвищої точки зубця R електрокардіограми. Часовий ряд, що складався з цих числових даних та відповідних даних ударного об'єму крові, експортувався у програму “Caspico” (А.с. України №11262). В цій програмі вибирали ділянку запису для аналізу та проводили ручну корекцію артефактних значень.

Спектральний аналіз здійснювали за допомогою періодограмного методу зі згладжуванням вікна Daniel у програмі Caspico (а/с України №11262). При цьому в спектрі ЧСС та УОК розрізняли наступні компоненти [7]: 0,15-0,4 Гц (HF) – потужність у діапазоні високих частот; 0,04-0,15 Гц (LF) – потужність у діапазоні низьких частот; 0-0,04 Гц (VLF) – потужність у діапазоні дуже низьких частот; 0-0,4 Гц (TP) – загальна потужність спектру. Також оцінювали показник нормалізованої потужності спектру в діапазоні 0,15-0,4 Гц (HF<sub>norm</sub>), який відображає рівень ваго-симпатичного балансу.

Крос-спектральну потужність (КСП) визначали крос-періодограмним методом у програмі „Statistica for Windows – 5.0” (модуль Times Series/Forecasting). Отримані графіки після корекції меж її елементів у відповідності до середньої тривалості інтервалу R-R розбивали на 50 вікон шириною 0,01 Гц. На них визначали амплітуду та частоту найбільшого та найменшого піків у стандартних діапазонах.

Альфа-індекс барорефлекторної чутливості розраховували як квадратний корінь співвідношення потужності коливань інтервалу R-R до потужності коливань УОК в діапазоні від 0,04 Гц до 0,15 Гц ( $\alpha_{LF}$ ). При цьому враховували тільки потужність на частотах, на котрих функція когерентності вище 0,5 [8].

Зв'язки між досліджуваними показниками визначали за ранговим коефіцієнтом кореляції Спірмена.

### Результати та обговорення

Загальноприйнятою методикою визначення відтворюваності результатів досліджень є кореляційний аналіз між повторними вимірюваннями. Для вирішення цього питання виконували повторні записи сигналів тетраполярної імпедансної реограми грудної клітки та електрокардіограми на одних і тих же особах (37 чоловіків) за різних умов у середньому через 216 днів. Ступінь взаємозв'язків між показниками спектрального аналізу коливань гемодинамічних показників представлені в таблиці 1.

**Таблиця 1**

Коефіцієнти кореляції між показниками спектрального аналізу коливань УОК та т-R-R за різних умов при повторних вимірюваннях через 216±56 днів

Показники	Положення лежачи		Положення стоячи		Розумове навантаження		Фізичне навантаження	
	RR n=37	УОК n=33	RR n=28	УОК n=28	RR n=15	УОК n=13	RR n=17	УОК n=14
M	<b>0,68</b>	<b>0,59</b>	<b>0,76</b>	<b>0,51</b>	<b>0,73</b>	<b>0,76</b>	<b>0,87</b>	0,43
VLF	<b>0,42</b>	<b>0,36</b>	<b>0,41</b>	0,23	0,46	<b>0,72</b>	<b>0,51</b>	0,13
LF	<b>0,72</b>	<b>0,53</b>	<b>0,58</b>	<b>0,54</b>	<b>0,76</b>	<b>0,86</b>	<b>0,67</b>	<b>0,64</b>
HF	<b>0,65</b>	<b>0,42</b>	<b>0,82</b>	<b>0,47</b>	<b>0,80</b>	<b>0,64</b>	0,39	<b>0,73</b>
TP	<b>0,69</b>	0,29	<b>0,64</b>	<b>0,42</b>	<b>0,79</b>	<b>0,92</b>	<b>0,62</b>	<b>0,71</b>
HF <sub>norm</sub>	<b>0,37</b>	<b>0,67</b>	0,19	<b>0,59</b>	<b>0,76</b>	<b>0,62</b>	<b>0,64</b>	<b>0,55</b>

Примітка. Жирним шрифтом виділені значущі коефіцієнти кореляції Спірмена.

В стані спокою (положення лежачи) взаємозв'язок між значеннями коливань т-RR за більшістю характеристик (M, LF, HF, TP), отриманими при дворазових повторних вимірюваннях, був щільним ( $\rho$  від 0,65 до 0,72). У меншій мірі, але значуще,

відтворювались VLF ( $\rho=0,42$ ) та  $HF_{norm}$  ( $\rho=0,37$ ). Коефіцієнти кореляції між показниками спектрального аналізу для коливань УОК майже в усіх випадках були меншими, однак також вірогідними. Привертає увагу той факт, що відтворюваність нормалізованої потужності спектру в діапазоні 0,15-0,4 Гц була значно вищою за цим показником, ніж за т-R-R. Останнє, очевидно, пояснюється явним домінуванням дихальних хвиль у спектрі коливань УОК.

Загалом можна відмітити значну стабільність переважної більшості показників хвильової структури гемодинамічних показників, виміряних через тривалий проміжок часу в стані спокою у положенні лежачи.

У вертикальному положенні тіла зберігається рівень майже всіх взаємозв'язків між повторними вимірюваннями показників варіабельності серцевого ритму, виявлені нами у стані спокою.

При дозованому розумовому навантаженні за всіма аналізованими показниками спостерігається збільшення щільності взаємозв'язків. При фізичному навантаженні в найбільшому ступені відтворюються загальна потужність коливань УОК та т-R-R, потужність їх спектрів в діапазоні 0,04-0,15 Гц, нормалізована потужність в діапазоні 0,15-0,4 Гц. При регламентованому диханні з частотою 6 циклів за хвилину коефіцієнти кореляції між результатами повторних вимірювань були значущими тільки для показників коливань т-R-R (для LF – 0,681; Total – 0,638; HF – 0,491;  $HF_{norm}$  – 0,491).

Отже, показники коливань УОК та т-RR як в спокої, так і при різних навантаженнях залишаються відносно стабільними протягом достатньо тривалого часу.

Важливими характеристиками діяльності систем організму є наявність синхронізації між коливаннями різних їх показників [9]. Тому доцільно було визначити відтворюваність загальноприйнятого  $\alpha$ -індексу та параметрів крос-спектральної потужності коливань УОК і т-RR, визначених в одних і тих же осіб через тривалий проміжок часу (табл. 2).

В спокої (положення лежачи) у найбільшому ступені відтворювались максимуми КСП у діапазоні 0,05-0,15 Гц ( $\rho=0,63$ ), мінімуми у діапазоні 0,15-0,4 Гц ( $\rho=0,47$ ) та у діапазоні 0-0,04 Гц ( $\rho=0,51$ ). Звертає на себе увагу те, що відсутній взаємозв'язок між значеннями  $\alpha$ -індексу при повторних вимірюваннях. При ортопробі та фізичному навантаженні цей показник стає значущим ( $\rho=0,54$  та  $\rho=0,74$  відповідно). Крім того, при ортопробі також з'являється вірогідна кореляція між результатами повторних вимірювань максимумів КСП у діапазонах VLF ( $\rho=0,59$ ) та HF ( $\rho=0,61$ ). Варто відмітити, що найбільш стабільно відтворюваним за всіх умов є максимум КСП коливань УОК та т-RR.

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між крос-спектральними показниками коливань УОК та т-RR і  $\alpha$ -індексом за різних умов при повторних вимірюваннях через  $216 \pm 56$  днів

Умови	Спектральні діапазони						
	0-0,04 Гц		0,04-0,15 Гц			0,15-0,4 Гц	
	макс	мін	макс	мін	$\alpha_{-LF}$	макс	мін
Лежачи (n=30)	0,31	<b>0,51</b>	<b>0,63</b>	0,13	0,06	0,15	<b>0,47</b>
Стоячи (n=26)	<b>0,59</b>	0,03	<b>0,69</b>	0,34	<b>0,54</b>	<b>0,61</b>	0,29
Розумове навант. (n=13)	0,41	<b>0,71</b>	<b>0,68</b>	0,38	0,21	<b>0,66</b>	<b>0,58</b>
Фізичне навант. (n=12)	0,37	0,27	<b>0,55</b>	0,47	<b>0,74</b>	0,22	<b>0,66</b>

Примітка. Жирним шрифтом виділені значущі коефіцієнти кореляції Спірмена.

Отже, показники КСП коливань УОК та  $t$ -RR у діапазоні 0,05-0,15 Гц є достатньо стабільними індивідуальними характеристиками серцево-судинної системи людини. Вони відображають рівень спонтанної барорефлекторної чутливості [10].

Таким чином, характеристики коливань ударного об'єму крові, тривалості інтервалу R-R та рівень їх синхронізації в однакових умовах у одних і тих же людей залишаються відносно стабільними.

### Висновки

1. Показники спектрального аналізу коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу RR як в спокої, так і при різних навантаженнях залишаються відносно стабільними протягом достатньо тривалого часу.

2. Крос-спектральна потужність коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,05-0,15 Гц є достатньо сталою індивідуальною характеристикою серцево-судинної системи людини.

### Література

1. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction / R.E.Kleiger [et al] // *Am. J. Cardiol.* – 1987. – V.59, №4. – P.256-262.
2. Influence of non-invasive measurements of arterial blood pressure in frequency and time-domain estimates of cardiac baroreflex sensitivity / S.M.Smith [et al] // *J Hypertens.* – 2008. – V.26, №1. – P.76-82.
3. Heritability of ambulatory heart rate variability / N.H.Kupper [et al] // *Circulation.* – 2004. – V.110, №18. – P.2792-2796.
4. Familiality of heart rate and cardiac-related autonomic activity in five-month-old twins: the Quebec newborn twins study / E.Dubreuil [et al] // *Psychophysiology.* – 2003. – V.40, №6. – P.849-862.
5. Коваленко С.О. Регуляторні ритми гемодинаміки та їх індивідуальні особливості у людей. – дис. ... д-ра біол. наук : 03.00.13 ; Черкаси. – Черкаси, 2009. - 372 с.
6. Коваленко С.О. Програмна система первинної обробки кардіографічних сигналів / С.О. Коваленко, О.Є. Кушніренко, Л.І. Носенко // Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки. – Черкаси. – 2000. – Вип. 22. – С.73-78.
7. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability / Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use // *Circulation.* – 1996. – V. 93. – P. 1043-1065.
8. Harrington F. Relationship of baroreflex sensitivity and blood pressure in an older population / F.Harrington, A.Murray, G.A.Ford // *J. Hypertens.* – 2000. – V.18, №11. – P.1629-1633.
9. Коваленко С.О. Варіабельність серцевого ритму. Методичні аспекти. / С.О. Коваленко, Л.І. Кудій – Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2016. – 298 с.
10. Коваленко С.О., Токар С.І. Хвильова структура коливань ударного об'єму крові та RR-інтервалів у діапазоні низьких частот серцевого ритму / С.О. Коваленко, С.І. Токар // *Фізіол. журн.* – 2007. – Т.53, №2. – С.36-40.

### References

1. Kleiger R.E. et al (1987). Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction *Am. J. Cardiol.* 59, 4. 256-262.
2. Smith S.M. et al. (2008). Influence of non-invasive measurements of arterial blood pressure in frequency and time-domain estimates of cardiac baroreflex sensitivity *J Hypertens.* 26, 1. 76-82.
3. Kupper N.H. et al. (2004). Heritability of ambulatory heart rate variability. *Circulation.* 110, 18. 2792-96.
4. Dubreuil E. et al. (2003). Familiality of heart rate and cardiac-related autonomic activity in five-month-old twins: the Quebec newborn twins study. *Psychophysiology.* 40, 6. 849-62.
5. Kovalenko S.O. (2009). Regulatory rhythms of haemodynamics and their individual features at people Sc d dis. Cherkasy. 372 (in Ukr.).
6. Kovalenko S.O., Kushnirenko O.Ye., Nosenko L.I. (2000). Programmatic system of essential analysis of cardiographic signals. *Visnik Cherkaskogo unIversitetu*(Bulletin of Cherkasy University. Biological sciences series). Cherkasy. 22. 73-8 (In Ukr.).
7. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability / Standards of Measurements, Physiological Interpretation, and Clinical Use. (1996). *Circulation.* 93. 1043-65.
8. Harrington F., Murray A., Ford G.A. (2000). Relationship of baroreflex sensitivity and blood pressure in an older population. *Hypertens.* 18, 11. 1629-33.
9. Kovalenko S.O., Kudiy L.I. (2016). Heart Rate Variability. Methodical aspects. Cherkasy: Cherkas'kyy natsional'nyy universytet im. B. Khmel'nyts'koho. 298 p (In Ukr.)

10. Kovalenko S.O., Tokar S.I. (2006). The wave structure of the stroke volume and RR-interval oscillations in the low wave range of the heart rhythm. *Fiziolohichniy zhurnal (Physiology magazine)* (Kiev, Ukraine: 1994). 53, 2. 36-40.

**Summary. Kovalenko S. O., Miniev B. P., Kudii L. I., Androshchuk O. I., Zavhorodnia V. A. Reproducibility of oscillation characteristics of heart rate and stroke volume in men.**

**Introduction.** To apply practically and to interpret theoretically the results obtained using different methods of evaluating the physiological hemodynamic oscillations, it is highly important to what extent the values of indicators are measured according to them after a long period of time.

**Purpose.** The purpose of our work was to research the reproducibility of the indicators of oscillation wave structure of heart rate (HR), stroke volume of blood (SV) and the level of their synchronization.

**Methods.** The repeated measurements of the indicators of spectral analysis of HR oscillations and SV were conducted on 37 men in 216 days on average.

**Results.** The indicators of spectral analysis of stroke volume and the duration of RR interval at rest and with different load remain relatively stable during rather long period of time. The cross-spectral power of stroke volume oscillations and the duration of RR interval in the range of 0.05-0.15 Hz is rather stable individual characteristics of cardio-vascular system of a man.

**Originality.** The reproducibility of the characteristics of spectral analysis of HR and SV oscillations in men after a long period of time is presented for the first time.

**Conclusion.** The characteristics of the oscillations of heart rate and stroke volume are the stable individual characteristics of the activity of cardio-vascular system of a man.

**Key words:** heart rate variability, spectral analysis.

**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького**

Одержано редакцією 17.02. 2017  
Прийнято до публікації 15.05.2017