

С.О. Коваленко

Крос-спектральний аналіз коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у чоловіків при різних навантаженнях

Исследовали взаимосвязь колебаний ударного объема крови и длительности интервала R-R у 125 здоровых молодых мужчин в покое, при регламентированном дыхании, ортопробе, умственной и физической нагрузках с помощью кросс-спектрального анализа. Выяснено, что максимумы и минимумы кросс-спектральной мощности этих показателей в основном группируются в трех частотных диапазонах: 0–0,04, 0,07–0,13 и 0,15–0,4 Гц. В большинстве условий в частотных диапазонах 0–0,04 и 0,07–0,13 Гц наибольшую амплитуду имеют положительные пики кросс-спектральной мощности, а в диапазоне 0,15–0,4 Гц – негативные пики, обусловленные дыханием. При различных нагрузках структура кросс-периодограмм достоверно изменяется в сравнении с покоем в положении лежа. При повторных измерениях через (235±31) сут в наибольшей мере воспроизводится амплитуда максимального пика кросс-периодограммы в диапазоне 0,07–0,013 Гц, который во всех условиях имеет медианную частоту 0,09–0,1 Гц.

ВСТУП

Відомо, що характеристики хвильової структури тривалості інтервалу R-R відображають особливості регуляторних впливів як на серце, так і на організм в цілому [7, 8]. Однак особливості коливань ударного об'єму крові (УОК) вивчено недостатньо [11, 14]. Невелика кількість робіт присвячена дослідженню зв'язку хвильових змін частоти серцевих скорочень та артеріального тиску [4, 10], в тому числі і за допомогою крос-спектрального аналізу [9]. Разом з тим з'ясування зв'язку таких показників діяльності серця може бути корисним для оцінки та прогнозування стану серцево-судинної системи [5]. Тому метою нашого дослідження було проведення крос-спектрального аналізу коливань УОК та тривалості інтервалу R-R у здорових молодих чоловіків у спокої в положенні лежачи, при ортопробі, дозованих розумо-

вому та фізичному навантаженнях, пробах регламентованого дихання.

МЕТОДИКА

Обстежено 125 чоловіків віком від 17 до 28 років. У 30 з них здійснювали повторні вимірювання в середньому через (235±31) діб. Після 15-хвилинного відпочинку в положенні лежачи впродовж 5 хв реєстрували сигнали електрокардіограми, диференційної реоплетизмограми грудної клітки від біопідсилювача РА-5-01 (НДІ радіовимірювальної апаратури, Київ), пневмограми від п'єзоелектричного датчика розташованого перед ніздрями. Сигнали перетворювали у цифрову форму через аналого-цифровий перетворювач ADC-1280 ("Holit Data System", Київ) і записували на вінчестер комп'ютера, а потім аналізували за допомогою програми "Bioscan". Запис цих сигналів здійснювали і при регламенто-

ваному диханні з частотою 8 та 6 циклів за хвилину, під час ортопроби, розумовому навантаженні (тест на працездатність головного мозку в режимі “зворотного зв’язку” за методикою Макаренка [3]), фізичному навантаженні потужністю 1 Вт/кг, котре виконували на велоергометрі ТХ-1 (“HKS”, Німеччина). Розраховували УОК за формулою Кубісек, тривалість інтервалів R-R і спіроінтервалів за всіма послідовними реалізаціями впродовж 5 хв у спокої в положенні лежачи та при регламентованому диханні (8 і 6 циклів за хвилину), при ортопробі і при розумовому навантаженні з 3-ї по 7-му хвилини, при фізичному навантаженні з 3-ї по 5-ту хвилини.

Крос-спектральний аналіз коливань УОК і тривалості інтервалу R-R проводили у програмі “Statistica for Windows 5.0” (“Statsoft Inc, Tulsa”, США) з використанням періодограмного методу. При цьому здійснювали корекцію частоти елементів крос-періодограми залежно від середньої частоти серцевих скорочень [4].

Для виявлення хвильової структури зв’язку часових рядів УОК та інтервалів R-R застосовували побудову медіанних крос-періодограм за способом, запропонованим нами раніше [1].

Вірогідність групових відмінностей між значеннями оцінювали за непараметричним Н-критерієм Краскела–Уоліса, між послідовними вимірюваннями – за методом парних порівнянь Вілкоксона, ступінь зв’язку – за коефіцієнтом кореляції Спірмена. Статистичний аналіз здійснювали у програмах “Statistica for Windows 5.0” та “MedStat” [2].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Візуальний аналіз індивідуальних крос-спектральних періодограм (рис. 1) часових рядів УОК і тривалості інтервалу R-R показав, що максимальні та мінімальні значення крос-спектральної потужності групу-

ються у трьох частотних діапазонах, які в основному збігаються з рекомендованими для оцінки хвиль частоти серцевих скорочень [13] – від 0 до 0,04 Гц, від 0,07 до 0,13 Гц та від 0,15 до 0,4 Гц. Разом з тим для кожного з обстежених характерна своя структура цих графіків. Так, на рис. 1, а показано позитивні зв’язки між хвилями в діапазонах від 0,02 до 0,06 Гц та від 0,08 до 0,13 Гц, а негативні в основному від 0,25 до 0,3 Гц. На крос-спектральній періодограмі (див. рис. 1,б) у кожному з трьох виділених діапазонах поряд з позитивними піками з максимальними значеннями на частотах 0,04, 0,09 Гц і негативним з мінімальними значеннями на частоті 0,22 Гц існують протилежноспрямовані піки.

Аналіз медіанних крос-спектральних періодограм (рис. 2) у спокої у положенні лежачи ($n = 100$) та при ортопробі ($n = 95$) також показав наявність окремих позитивних піків крос-спектральної потужності у діапазонах низьких і дуже низьких частот та негативного – у діапазоні високих частот (більше ніж 0,15 Гц) серцевого ритму. При цьому крос-спектральна потужність у діапазоні низьких частот найбільша від 0,07 до 0,13 Гц. Амплітуда негативних піків у діапазоні 0,15–0,4 Гц менша, ніж позитивних у інших діапазонах. Це пояснюється тим, що частоти негативних піків на крос-періодограмах в основному близькі до частоти дихання, котра має суттєві індивідуальні розбіжності. При ортопробі вірогідно збільшується крос-спектральна потужність на частотах 0,08, 0,09 і 0,26 Гц.

Водночас у частини обстежуваних на крос-періодограмі спостерігається переважання амплітуди негативних піків у діапазоні дуже низьких і низьких частот, позитивних піків – у діапазоні високих частот. Для дуже низьких частот цей відсоток становить від 5 до 7 % у спокої у положенні лежачи, при ортопробі та розумовому навантаженні, 24 % – при диханні з частотою 6 циклів за хвилину та 52 % – при

фізичному навантаженні. У діапазоні 0,07–0,13 Гц ця частина складає в усіх умовах від 6 до 15 %. У діапазоні 0,15–0,4 Гц амплітуда позитивних піків переважає у 14 % випадків при ортопробі, у 37 % – у спокої у положенні лежачи, у 67 % – при розумовому навантаженні, у 53 % – при фізичному навантаженні.

У зв'язку з тим, що у більшості обстежуваних на крос-періодограмі у стандартних частотних діапазонах серцевого ритму наявні як позитивні, так і негативні піки, окремо аналізували максимальні та мінімальні значення крос-спектральної потужності у діапазонах 0–0,04, 0,07–0,13, 0,15–

0,4 Гц у різних умовах (табл. 1). Максимальна крос-спектральна потужність у діапазоні 0–0,04 Гц вірогідно найбільша у спокої у положенні лежачи, а мінімальна – при фізичному навантаженні. Можливим поясненням таких змін є те, що крос-спектральна потужність у діапазоні дуже низьких частот може відображати стан саморегуляторних механізмів серця. При збільшенні тривалості інтервалу R-R кровонаповнення передсердь у діастолу збільшується (особливо при горизонтальному положенні тіла) і за механізмом Франка–Старлінга УОК також збільшується. При фізичному навантаженні переважає

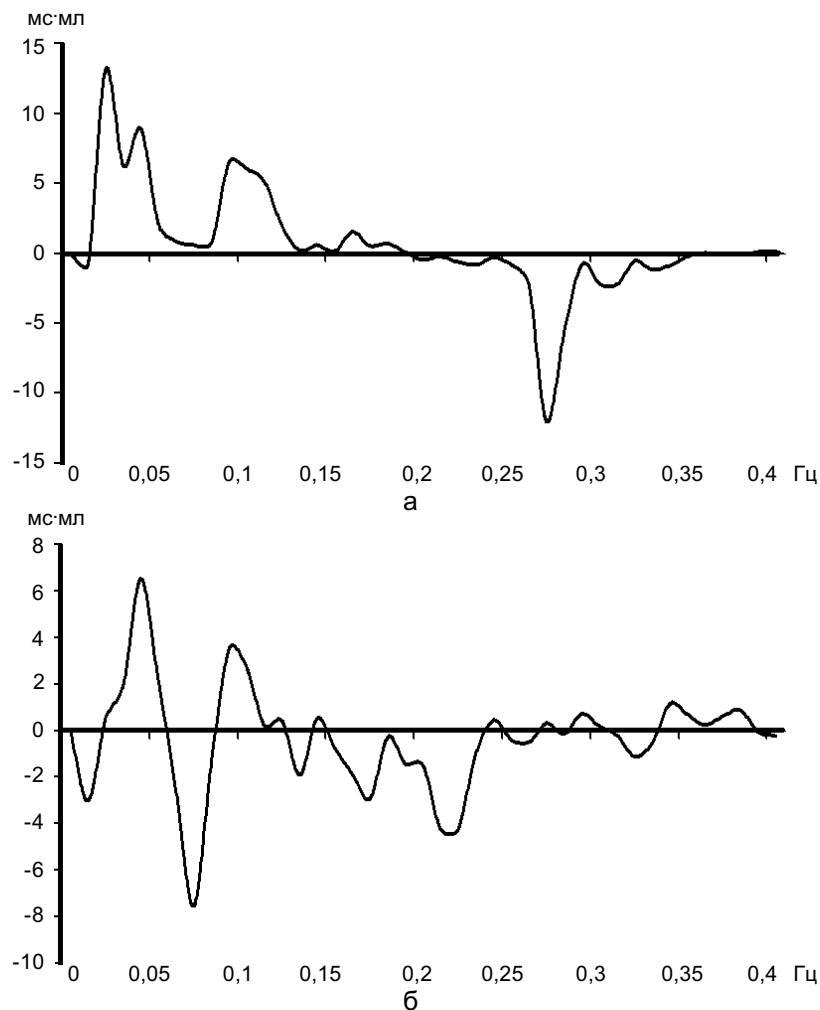


Рис. 1. Крос-спектральні періодограми коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R при ортопробі у різних тестованих (а, б)

Таблиця 1. Крос-спектральна потужність максимумів і мінімумів (мс · мл) коливань ударного об'єму крові і тривалості інтервалу R-R у різних умовах (медіана, межі нижнього та верхнього кuartилів)

Умови обстеження	Спектральні діапазони					
	0–0,04 Гц		0,07–0,13 Гц		0,15–0,4 Гц	
	max	min	max	min	max	min
Спокій лежачи (n=100)	18 (8; 31)	0 (-1; 2)	5 (3; 9)	-1 (-2; 0)	4 (2; 10)	-10 (-18; -4)
Дихання з частотою 8 циклів за хвилину (n=83)	15 (7; 30)	0 (-5; 4)	28*** (9; 73)	-1** (-8; 1)	8** (4; 20)	-5*** (-9; -3)
Дихання з частотою 6 циклів за хвилину (n=85)	10** (4; 26)	-1* (-7; 1)	186*** (14; 317)	-1* (-10; 1)	6 (2; 12)	-11 (-25; -5)
Стоячи (n=95)	11* (6; 25)	1 (-1; 3)	7* (4; 13)	0* (-1; 1)	1*** (0; 2)	-4*** (-8; -2)
Розумове навантаження (n=106)	13** (7; 21)	1 (-2; 3)	8*** (4; 16)	0** (-1; 1)	4 (2; 11)	-2*** (-4; -1)
Фізичне навантаження (n=85)	9*** (4; 19)	-7*** (-20; -1)	7 (4; 11)	-2*** (-3; 0)	3 (2; 7)	-4*** (-7; -2)

* P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001 порівняно зі значенням у спокої.

хроноінотропна залежність саморегуляції серця (драбина Боудіча) і, отже, при зменшенні тривалості інтервалу R-R збільшується УОК.

Амплітуда максимальних значень крос-спектральної потужності у діапазоні 0,07–0,13 Гц суттєво перевищує таку амплітуду мінімальних значень у всіх умовах. Вона значно підвищувалась (у 5,6 раза) при диханні з частотою 8 циклів за хвилину в

порівнянні зі спокоєм у положенні лежачи. При диханні з частотою 6 циклів за хвилину цей показник збільшується від вихідного значення у 37,2 раза. У багатьох дослідженнях показано, що дихання з такою частотою є резонансним для дихальної синусової аритмії [12]. Отже, при цьому відбувається резонансна синхронізація коливань УОК та інтервалу R-R. При ортопробі та розумовому навантаженні

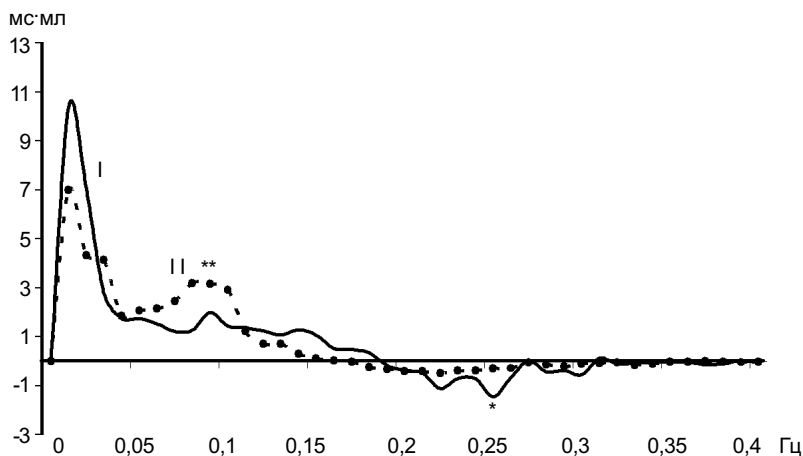


Рис. 2. Медіанні крос-спектральні періодограми коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у спокої у положенні лежачи (I) та при ортопробі (II). * P<0,05 порівняно зі значеннями у спокої

амплітуда максимальних значень крос-спектральної потужності також вірогідно вища, ніж у спокої. Медіана частоти цих піків майже в усіх умовах становить 0,1 Гц. При ортопробі максимальний пік проявляється при значенні 0,09 Гц. У дослідженнях Gevese A. та співавт. [9] показано, що позитивні значення крос-спектральної потужності коливань артеріального тиску та тривалості інтервалу R-R у діапазоні, близькому до 0,1 Гц, відображають діяльність барорефлекторного механізму регуляції серця.

Амплітуда мінімальних значень крос-спектральної потужності коливань УОК та тривалості інтервалу R-R у діапазоні високих частот була вірогідно більшою у спокої у положенні лежачи порівняно з ортопробою, розумовим і фізичним навантаженнями. Медіана частот цих піків у всіх умовах вірогідно менша, ніж медіана частоти дихання. Різниця становить 0,01 Гц у спокої у положенні лежачи, 0,02 Гц – при ортопробі, 0,03 Гц – при розумовому навантаженні, 0,04 Гц – при фізичному навантаженні. Між частотою мінімальних значень крос-спектральної потужності у цьому діапазоні та частотою дихання в спокої у положенні лежачи та при ортопробі існує вірогідний позитивний зв'язок (ρ встановить 0,598 та 0,786 відповідно; $P < 0,001$). Отже, ці піки зумовлюються впливом дихання.

Важливим є питання наскільки стабільні показники крос-спектральної потужності.

Для з'ясування їх відтворюваності розраховували коефіцієнти рангової кореляції Спірмена при повторних вимірюваннях, що здійснювались у середньому через 235 діб ± 31 діб (табл. 2). Мінімальний термін між вимірюваннями був 20 діб, а максимальний – 668 діб. Так, при повторних вимірюваннях в усіх умовах амплітуда максимального піка найбільшою мірою відтворюється у діапазоні 0,07–0,13 Гц. Також стабільною є амплітуда мінімального піка у діапазоні високих частот у спокої, при розумовому та фізичному навантаженнях. Слід зазначити, що амплітуда максимальних значень крос-спектральної потужності у діапазоні низьких частот при диханні 6 циклів за хвилину та її мінімальних значень – у діапазоні дуже низьких частот не відтворюються. Можливо, що рівень цих показників за таких умов може характеризувати стан діяльності серця, а не є її стійкою індивідуальною характеристикою.

ВИСНОВКИ

1. Максимальні та мінімальні крос-спектральної потужності коливань УОК та тривалості інтервалу R-R в основному групуються у трьох частотних діапазонах, рекомендованих для оцінки потужності хвиль частоти серцевих скорочень.

2. У більшості умов у частотних діапазонах 0–0,04 та 0,07–0,13 Гц найбільшу

Таблиця 2. Коефіцієнти кореляції між крос-спектральними показниками коливань ударного об'єму крові і тривалості інтервалу R-R при повторних вимірюваннях через (235 \pm 31) діб

Умови обстеження	Спектральні діапазони					
	0–0,04 Гц		0,07–0,13 Гц		0,15–0,4 гц	
	max	min	max	min	max	min
Лежачи (n=30)	0,308	0,511*	0,633*	0,126	0,152	0,469*
Дихання з частотою 6 циклів за хвилину (n=24)	0,427*	0,092	0,269	0,244	0,392	0,323
Стоячи (n=26)	0,591*	0,034	0,692*	0,336	0,614*	0,290
Розумове навантаження (n=13)	0,412	0,709*	0,675*	0,379	0,659*	0,577*
Фізичне навантаження (n=12)	0,372	0,272	0,545*	0,472	0,218	0,663*

* $P < 0,05$ (рівень достовірності коефіцієнта кореляції Спірмена, ρ).

амплітуду мають позитивні піки крос-спектральної потужності, а у діапазоні – 0,15–0,4 Гц – негативні, зумовлені впливом дихання.

3. При регламентованому диханні, ортопробі, розумовому та фізичному навантаженні структура крос-періодограми часових рядів послідовних УОК та тривалості інтервалу R-R вірогідно змінюється у порівнянні зі спокоєм у положенні лежачи.

4. При повторних вимірюваннях через 235 діб \pm 31 діб найбільшою мірою відтворюється амплітуда максимального піка крос-періодограми у діапазоні 0,07–0,13 Гц, що в усіх умовах має медіанну частоту 0,09–0,1 Гц.

S.O.Kovalenko

CROSS-SPECTRAL ANALYSIS OF THE STROKE BLOOD VOLUME OSCILLATIONS AND R-R INTERVAL DURATION AMONG MEN AT REST AND WITH DIFFERENT LOADINGS

The correlation of the stroke blood volume oscillations and the R-R interval duration was investigated among 125 healthy young men at rest, with controlled breathing, at tilt test, with mental and physical loadings with the help of the cross-spectral analysis. Maximums and minimums of the cross-spectral power for these indexes were found to be grouped in three frequency ranges: 0-0.04 Hz, 0.07-0.13 Hz and 0.15-0.4 Hz. The positive tops of the cross-spectral power had the biggest amplitude in the 0-0.04 Hz, 0.07-0.13 Hz frequency ranges in the most conditions; negative tops stipulated with breathing – in the 0.15-0.4 Hz frequency ranges. The structure of the cross-periodograms changed reliably with different loadings if compared with lying position at rest. The maximum top amplitude of the cross-periodogram was reproduced at the largest extent with repeated changes in 235 \pm 31 days in the ranges of 0.07-0.13 Hz, having median frequency of 0.09-0.01 Hz in all conditions.

Cherkasy National Bohdan Khmelnytsky University

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваленко С.О. Аналіз варіабельності серцевого ритму за допомогою методу медіанної спектрограми // Фізіол. журн. – 2005. – **51**, №3. – С.92–95.
2. Лях Ю.Е., Гурьянов В.Г., Хоменко В.Н., Панченко

О.А. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat. – Донецк: Папакица, – 2006. – 214 с.

3. Макаренко М.В. Методика проведення обстежень та оцінки індивідуальних нейродинамічних властивостей вищої нервової діяльності людини // Фізіол. журн. – 1999. – **45**, № 4. – С. 125–131.
4. Машин В.А. Зависимость вариабельности сердечного ритма от средней величины R-R интервалов// Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. – 2002. – **88**, №7. – С.851–855.
5. Нестеров В.П., Нестеров С.В. Новые возможности пульсометрической оценки характера вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы человека. – В кн.: Материалы IV Всерос. конф. «Механизмы функционирования висцеральных систем». – Спб., 2005. – С.170–171.
6. Судаков К.В., Тараканов О.П., Юматов Е.А. Кросс-корреляционный вегетативный критерий эмоционального стресса // Физиология человека. – 1995. – **21**, №3. – С.87–95.
7. Хаютин В.М., Лукошкова Е.В. Колебания частоты сердцебиений: спектральный анализ // Вестн. аритмологии. – 2002. – №26. – С.10–18.
8. Яблучанский Н.И., Мартыненко А.В., Исаева А.С. Основы практического применения неинвазивной технологии исследования регуляторных систем человека. – Харьков: Основа, 2000. – 88 с.
9. Gevese A., Gulli G., Polati E. et al. Baroreflex and oscillation of heart period at 0.1 Hz studied by alpha-blockade and cross-spectral analysis in healthy humans // J. Physiol. – 2001. – **531**(Pt. 1). – P.235–244.
10. Parati G., Saul J.P., Di Rienzo M., Mancia G. Spectral analysis of blood pressure and heart rate variability in evaluating cardiovascular regulation // Hypertension. – 1995. – **25**. – P.1276–1286.
11. Siebert J., Drabik P., Lango R., Szyndler K. Stroke volume variability and heart rate power spectrum in relation to posture changes in healthy subjects // Med. Sci. Monit. – 2004. – **10**, №2. – P.31–37.
12. Song H.S., Lehrer P.M. The effects of specific respiratory rates on heart rate and heart rate variability // Appl. Psychophysiol. and Biofeedback. – 2003. – **28**, №1. – P. 13–15.
13. 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. – **93**. – P. 1043–1065.
14. Wiesenack C., Prasser C., Rodig G., Keyl C. Stroke volume variation as an indicator of fluid responsiveness using pulse contour analysis in mechanically ventilated patients // Anesth. Analg. – 2003. – **96**, №5. – P.1254–1257.

Матеріал надійшов до редакції 05.11.2007

Черкас. нац. ун-т ім. Богдана Хмельницького