

С.О. Коваленко, С.І.Токар

Хвильова структура коливань ударного об'єму крові та RR-інтервалів у діапазоні низьких частот серцевого ритму

Проведена оцінка спектральної потужності коливань ударного об'єму крові (УОК) і RR-інтервалів в діапазоні 0,04–0,15 Гц у 252 чоловіків в віці від 17 до 28 років. Виявлено, що частоти максимальних піків спектрів RR-інтервалів і УОК достовірно збільшуються при навантаженні. Суцільно існує тенденція до більшої частоти піків спектра RR-інтервалів в порівнянні з піками спектра УОК. На графіках спектральної потужності RR-інтервалів в спокої і при ортопробі існують дві хвилі, що може свідечувати про наявність двох механізмів їх формування. Всі хвилі повністю укладаються в діапазон 0,06–0,12 Гц для RR-інтервалів і 0,05–0,11 Гц для УОК.

ВСТУП

З часу проведення у 1932 р. Fleisch A. та Beckmann R. класичних дослідів прийнято вважати, що в спектрі RR-інтервалів в більшості випадків наявні три групи хвиль. Це хвилі, викликані періодичним впливом дихання на роботу серця, діяльністю барорефлекторного механізму регуляції кровообігу та хвилі наднизької частоти [7]. Часові ряди значень ударного об'єму крові (УОК) також мають подібну хвильову структуру [9]. Прийнято, що барорефлекторні хвилі в стані спокою виявляються у діапазоні 0,04–0,15 Гц з центральною частотою приблизно 0,1 Гц і характеризують періодичні коливання активності симпатoadреналової системи організму [4]. Як розподіляється центральна частота в цьому спектральному діапазоні у різних людей, чи вона змінюється при навантаженні, який розподіл спектральної потужності в зоні низьких частот масивів RR-інтервалів і, особливо, масивів УОК – невідомо.

Метою нашої роботи було дослідження особливостей хвильової структури серце-

вого ритму людей в частотному діапазоні 0,04–0,15 Гц.

МЕТОДИКА

Обстеження проведено на 252 чоловіках віком від 17 до 28 років в умовах, наближених до стану основного обміну. Після 15-хвилинного відпочинку в положенні лежачи здійснювали 5-хвилинні реєстрації електрокардіограми, диференційної реоплетизмограми грудної клітки від біопідсилювача РА-5-01 (НДІ радіовиміральної апаратури, Київ, Україна). Сигнали перетворювали у цифрову форму через АЦП ADC-1280 ("Holit Data System", Київ) і записували на вінчестер комп'ютера, а потім аналізували за допомогою програми Bioscan [1]. Запис цих сигналів здійснювали і під час ортопроби (7 хв), при розумовому навантаженні (тест на працездатність головного мозку в режимі "зворотного зв'язку" за методикою Макаренка (10 хв) [2], фізичному навантаженні потужністю 1 Вт/кг маси, котре виконували (5 хв) на велоергометрі ТХ-1 ("HKS", Німеччина).

© С.О. Коваленко, С.І.Токар

Систолічний об'єм крові та тривалість RR-інтервалів розраховували за сигналами диференційної торакальної імпедансної реограми й електрокардіограми по всіх серцевих циклах упродовж 5 хв у спокої в положенні лежачи, сидячи та при регламентованому диханні (6 разів за хвилину), при ортопробі з 3-ї по 7-му хвилину, при розумовому навантаженні з 3-ї по 7-му хвилину, при фізичному навантаженні з 3-ї по 5-ту хвилину.

Спектральний аналіз кардіоінтервалограм проводили у програмі "CASPICO"(а/с України №11262) з використанням періодограмного методу. У зв'язку з тим, що у більшості випадків тривалість RR-інтервалів відрізнялась від 1 с, частотні значення елементів періодограми перемножували на поправочний коефіцієнт, який залежав від значень цього показника. Згодом проводили згладжування отриманих графіків. На спектрограмах тривалостей RR-інтервалів та УОК у діапазоні 0,04-0,15Гц знаходили частоту максимального піку (Tlf(RR) та Tlf(УОК) відповідно.

Для виявлення хвильової структури часових рядів УОК та RR-інтервалів діапазон 0,04–0,15 Гц, розбивали на вікна шириною 0,01 Гц, в яких визначали потужність спектра. Розраховували нормалізовані оцінки цих значень як відсотковий внесок потужності хвиль у кожному вікні в

загальну потужність діапазону низьких частот. За індивідуальними результатами визначали медіани нормалізованої потужності спектра за якими і будували графік. Оцінку центральної тенденції вибірок здійснювали за медіаною, оскільки розподіл показників не був нормальним.

Вірогідність відмінностей між значеннями оцінювали за непараметричним Н-критерієм Краскела–Уоліса, ступінь зв'язку – за коефіцієнтом кореляції Спірмена. Статистичний аналіз здійснювали у програмі Statistica для Windows 5.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для характеристики особливостей хвильової структури сигналу дуже важливим є частота найбільшого піку на спектрограмі. Тому нами визначався цей показник (Tlf) на періодограмах тривалостей RR-інтервалів і значень УОК у діапазоні від 0,04 до 0,15 Гц. У таблиці наведено його значення за різних умов. Так, медіанні значення Tlf(RR) та Tlf(УОК) в усіх умовах достовірно не відрізнялися. Відмічено тенденцію до зменшення частоти хвиль УОК у даному діапазоні порівняно з такими для RR-інтервалів. При регламентованому диханні з частотою 6 разів за 1 хв як медіана, так і межі верхнього та нижнього квантилів аналізованих показників повністю

Частота найбільшого піку (Гц) спектрограм часових рядів ударного об'єму крові та RR-інтервалів у діапазоні 0,04–0,15 Гц (медіана; межі нижнього, верхнього квантилів)

| Умови досліджу | RR-інтервали | Ударний об'єм крові |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Спокій лежачи | 0,100 (0,077; 0,121) | 0,096 (0,070; 0,131) |
| Регламентоване дихання | 0,100 (0,100; 0,101) | 0,100 (0,100; 0,101) |
| У положенні стоячи | 0,084* (0,073; 0,096) | 0,084* (0,067; 0,102) |
| Розумове навантаження | 0,091* (0,079; 0,107) | 0,087* (0,071; 0,106) |
| Фізичне навантаження | 0,093 (0,083; 0,102) | 0,089 (0,070; 0,113) |

*P<0,05 у порівнянні зі спокоєм у положенні лежачи.

збігаються. Це свідчить про те, що проходить синхронізація циклічних змін як частоти серцевих скорочень (ЧСС), так і УОК з дихальними рухами на частоті 0,1 Гц.

Для з'ясування питання наскільки збігаються піки спектрограм різних показників у одних і тих самих осіб ми будували гістограми розподілу різниць між їх частотами при синхронній реєстрації у різних положеннях тіла та при розумових і фізичних навантаженнях. Оскільки велика кількість цих різниць дорівнює 0 (274 чи 28,2%), то графік будували лише за значеннями, що відрізнялися від 0. Отриманий графік суттєво відрізняється від нормального розподілу. Розмах значень у діапазоні від 0 до 0,022 Гц на 33,7% більший, ніж у діапазоні від -0,022 до 0 Гц. Це підтверджує, що максимальний пік на періодограмах RR-інтервалів розташований на більшій частоті ніж пік на спектрограмі УОК. Значення, котрі менші чи більші за 0,06 Гц становить 6,5% (рис. 1).

Отже, у більшості випадків найбільші піки на періодограмах тривалостей RR-інтервалів та УОК збігаються або відрізняються незначно.

Разом з тим результати кореляційного аналізу показують, що у стані спокою

спостерігається більш тісний зв'язок між частотами піків ЧСС та УОК ($\rho=+0,391$, $P<0,001$) порівняно з ортопробою ($\rho=+0,223$, $P<0,01$), розумовим ($\rho=+0,235$, $P<0,01$) та фізичним навантаженням ($\rho=+0,018$, $P>0,05$). Такі зв'язки є слабкими, що можна пояснювати, по-перше, великою кількістю значень, які збігаються, по-друге, певною помилкою у визначенні частоти піків внаслідок шумових явищ при реєстрації особливо УОК (більшою мірою проявляється при фізичному навантаженні), по-третє, різними механізмами формування хвиль ЧСС та УОК.

Цікавим є те, як змінюються ці показники при різних навантаженнях. Так, $T1f(RR)$ достовірно зменшується при розумовому навантаженні та у положенні стоячи в порівнянні зі спокоем лежачи. Слід відмітити, що частота найбільшого піку спектра RR-інтервалів у положенні стоячи є достовірно меншою від значень цього показника, отриманих за інших умов. Такі самі тенденції спостерігаються і у разі $T1f(UOK)$. У положенні стоячи медіани піків УОК і RR-інтервалів збігаються.

Таким чином, зі збільшенням симпатичної активності частоти повільних хвиль тривалостей RR-інтервалів та УОК зменшуються.

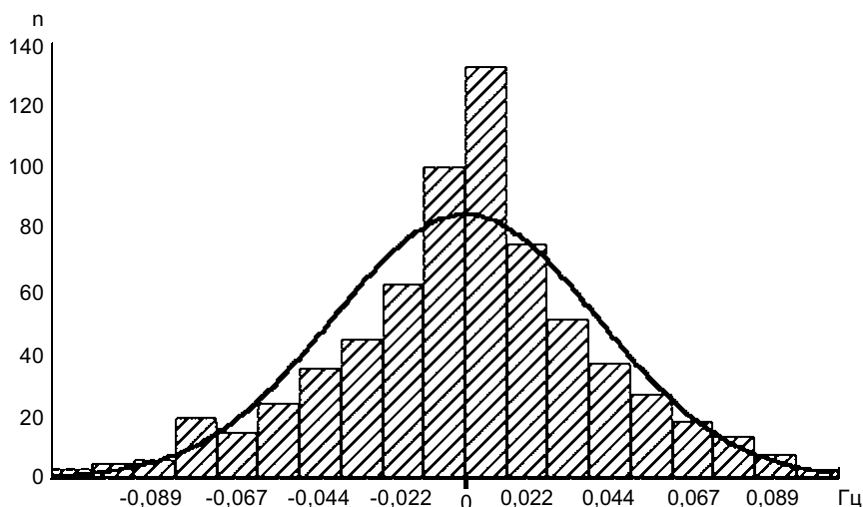


Рис. 1. Розподіл різниць між найбільшими піками періодограм RR-інтервалів та ударного об'єму крові при синхронній реєстрації (n=696)

Важливими для опису повільних хвиль серцевого ритму є характеристики їх спектральної потужності. Для дослідження таких характеристик ми будували нормалізовані медіанні спектрограми тривалостей RR-інтервалів та УОК у діапазоні 0,04–0,15 Гц у положенні обстежених лежачи, стоячи (рис. 2), при розумовому та фізичному навантаженні.

У стані спокою лежачи на медіанній спектрограмі тривалостей RR-інтервалів наявні два піки на частотах 0,1 та 0,08 Гц з амплітудою 10,95 і 8,47 % відповідно. При переході у вертикальне положення виникає хвиля з максимальною амплітудою 13,58 %. Наявність двох піків може свідчити про два впливи на спектрограму серцевого ритму. Так, існують дві теорії формування хвиль у ділянці низьких частот. Перша – це вплив функціонування барорефлекторного механізму регуляції артеріального тиску [6], друга – вплив ендогенного генератора ритму [5, 8]. У дослідженнях Соoley зі співавт. [5] оцінювали спектри коливань артеріального тиску та RR-інтервалів у хворих з імплантованим штучним лівим шлуночком. Через деякий час після імплантації (1 та 15 міс) у спектрах артеріального тиску повільні хвилі були відсутні, а в спектрах RR-інтервалів власного серця повільні коливання “стали явними та домінуючими”. На думку Покровського [8], система серцевого ритмогенезу дублюється генератором, розташо-

ваним у центральній нервовій системі.

На нормалізованій медіанній спектрограмі УОК при ортопробі розрізняють хвилю, синхронну тільки з однією з хвиль ЧСС на частоті 0,08 Гц, з амплітудою 13,93 %. Цілком можливо, що це саме ті хвилі, які характеризують діяльність барорефлекторного механізму. Якщо у спокої лежачи переважають впливи ендогенного осцилятора на тривалість RR-інтервалів, то при ортопробі – барорефлекторного механізму. Ймовірно, ендогенний осцилятор може захоплювати ритм хвиль, зумовлених діяльністю барорефлекторного механізму, що є проявом фундаментального природного явища синхронізації [3] і в такому разі, частоти як барорефлексу, так і осцилятора збігаються чи незначно відрізняються.

При розумовому навантаженні на медіанній періодограмі тривалостей RR-інтервалів також відмічається пік на частотах від 0,09 до 0,12 Гц з амплітудою 12,67 %, а при фізичному навантаженні – на частоті близько 0,1 Гц з амплітудою 14,41 %. На спектрограмах УОК при розумовому та фізичному навантаженні амплітуда піків становила 12,98 та 11,41 % відповідно. Невелика амплітуда та відсутність чітко вираженого піку на цих графіках може зумовлюватися наявністю суттєвих шумових впливів на часовий ряд УОК внаслідок досліджуваних при цьому рухів.

Усі ці хвилі цілком вкладаються у діа-

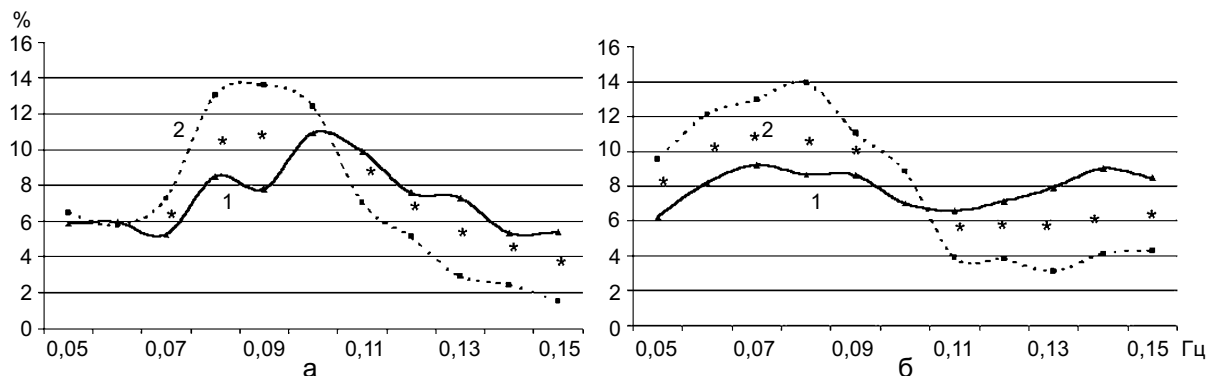


Рис. 2. Нормалізовані медіанні спектрограми потужності коливань RR-інтервалів (а) та ударного об'єму крові (б) у діапазоні 0,04–0,15 Гц у спокої лежачи (1) та при ортопробі (2). $P < 0,05$

пазон 0,06–0,12 Гц для ЧСС та 0,05–0,11 Гц для УОК. Тому і визначення їх потужності більш доцільне у цих діапазонах, а не в стандартному діапазоні 0,04–0,15 Гц. Це дозволить зменшити помилки, викликані включенням в аналіз діапазону, що може характеризувати нестационарні процеси (0,04–0,06 Гц), та діапазону, в котрий у частині випадків зміщуються дихальні хвилі (0,12–0,15 Гц).

S.O.Kovalenko, S.I.Tokar

THE WAVE STRUCTURE OF THE STROKE VOLUME AND RR-INTERVALS OSCILLATIONS IN THE LOW WAVE RANGE OF HEART RHYTHM

The spectral power of the RR-intervals and stroke volume (SV) oscillations in the range of 0.04-0.15Hz was estimated among 252 men aged 17-28. The maximum peak frequencies of RR-intervals spectrums and SV were significantly increased by loadings. There is a tendency to higher frequency of RR-intervals spectrum peaks in comparison with SV spectrum peaks. There are two waves on the diagram RR-intervals spectrum power at the state of rest and at tilt test testifying about two mechanisms of their formation. All the waves are in the range of 0.06-0.12Hz for RR-intervals and 0.05-0.11Hz for SV.

Cherkasy National University named after Bohdan Hmelnytsky

Черкас. нац. ун-т ім. Богдана Хмельницького

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваленко С.А., Кушниренко А.Е. Програмная система определения показателей кардиодинамики в различных фазах дыхательного цикла // Кибернетика и вычислит. техника. – 1999. – Вып. 124. – С. 92–98.
2. Макаренко М.В. Методика проведения обстежень та оцінки індивідуальних нейродинамічних властивостей вищої нервової діяльності людини // Фізіол. журн. – 1999. – **45**, № 4. – С. 125–131.
3. Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
4. Хаютин В.М., Лукошкова Е.В. Спектральный анализ колебаний частоты сердечбиений: физиологические основы и осложняющие его явления // Рос. физиол. журн. – 1999. – **85**, №7. – С. 893–909.
5. Cooley R.L., Montano N., Cogliati C. et al. Evidence for a central origin of low-frequency oscillation in RR-interval variability//Circulation. – 1998. – **98**. – P. 556–561.
6. Gevese A., Gulli G., Polati E., Gottin L., Grasso R. Baroreflex and oscillation of heart period at 0.1 Hz studied by α -blockade and cross-spectral analysis of healthy humans//J. Physiol. – 2001. – **531**, №1. – P. 235–244.
7. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use //Circulation. – 1996. – **93**. – P. 1043–1065.
8. Pokrovskii V.M. Alternative View on the Mechanism of Cardiac Rhythmogenesis// Heart, Lung Circulat. – 2003. – **12**, Issue 1. – P. 18–24.
9. Seibert 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.

Матеріал надійшов до редакції 12.10.2006