

УДК 612.172.2

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2021-1-4-11

Андрощук Олег Іванович

старший викладач

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

barsa4791@gmail.com

ORCID 0000-0001-6528-2342

Кудій Людмила Іванівна

кандидат біологічних наук, доцент

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

kudiy0702@ukr.net

ORCID 0000-0002-4736-4317

Рибалко Алевтина Володимирівна

кандидат біологічних наук, доцент

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

alevtina.rybalko@ukr.net

ORCID 0000-0002-2378-9441

Черненко Наталія Павлівна

кандидат біологічних наук, доцент

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

nataliya-cherненко2005@ukr.net

ORCID 0000-0002-8177-263X

ХВИЛЬОВА СТРУКТУРА СЕРЦЕВОГО РИТМУ ПРИ ОРТОПРОБІ У ОСІБ З РІЗНИМ РІВНЕМ ВЕГЕТАТИВНОГО ТОНУСУ

Вперше виявлені відмінності у реактивності хвиль серцевого ритму на ортопробу у обстежуваних з різним вихідним рівнем вегетативного тонусу. Найбільші відмінності проявляються у діапазоні низьких частот серцевого ритму. У симпатотоніків здебільшого переважали реакції зниження потужності спектру у цьому діапазоні, у нормо- та парасимпатотоніків переважали реакції збільшення LF та амплітуди максимального піку спектрограми.

Ключові слова: *хвильва структура серцевого ритму, вегетативний тонус, симпатотоніки, нормотоніки, ваготоніки.*

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій

Ортостатична проба давно та широко використовується для визначення функціонального стану серцево-судинної системи та організму в цілому. В практиці здебільшого оцінюють реакцію частоти серцевих скорочень та артеріального тиску при такого роду впливах. Із впровадженням у біологічні та медичні вимірювання методів варіабельності серцевого ритму було проведено значну кількість досліджень змін спектральних його складових при ортопробі [1]. Показано, що зміни хвильової структури серцевого ритму у здорових обстежуваних, при переході положення тіла з горизонтального у вертикальне, мають суттєві межі норми [2] і можуть залежати від вихідного рівня багатьох фізіологічних показників [3].

Відомо, що існують типологічні особливості серед здорових молодих людей за рівнем вегетативного тонусу та розрізняють осіб симпато-, нормо- та ваготоніків [12]. Проведені роботи по вивченню впливу вихідного рівня вегетативного тонусу на реакції серцево-судинної системи при гіпокапнії дихання [4], імпульсній офтальмофото-стимуляції [5], при різних фазах біологічного циклу у жінок [6]. Разом з цим робит по аналізу змін хвильової структури серцевого ритму в залежності від вихідного рівня

вегетативного тонусу немає. Тим більш актуальним є вивчення змін спектральних складових серцевого ритму у діапазоні низьких частот – від 0,04 до 0,15 Гц.

Мета. З'ясувати особливості хвильової структури серцевого ритму при ортопробі у здорових молодих чоловіків з різним рівнем тонусу автономної нервової системи в стані спокою.

Матеріали та методи дослідження

Виміри проведені в умовах наближених до основного обміну на 117 здорових молодих чоловіках віком 18-23 років із дотриманням вимог біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини (від 04.04.1997 р.), а також наказу МОЗ України №690 від 23.09.2009 р. Всі особи брали участь у дослідженнях добровільно, за даними медичного обстеження були практично здоровими, не мали гострих та хронічних захворювань. Перед виконанням завдань вони інформувались відносно мети та задач вимірювань, послідовності та змісту тестових навантажень.

Процедура вимірювань була наступною. Після інструктажа та письмової згоди на тіло обстежуваного встановлювали електроди та датчики і вкладали його на кушетку, де він відпочивав 10-15 хвилин. Після цього проводили 5-хвилинні записи сигналів від реографа та пневмографа. Після цього здійснювали активну ортостатичну пробу тривалістю 7 хвилин (для аналізу брали ділянку запису останніх 5 хвилин проби).

Сигнали диференційованої ЕКГ, реограми та базового опору, отримували від біопідсилювача РА-5-01 (Київський науково-дослідний інститут радіовимірювальної апаратури). Електроди ЕКГ встановлювали на грудну клітку обстеженого на струмопровідну пасту (активні електроди по боках грудної клітки, а індіферентний – посередині грудини). Пружинні електроди для зняття реограми встановлювали стандартно на шию та нижню частину грудної клітки, стрічкові, покриті токопровідною пастою – на праве передпліччя. Частота зондуючого сигналу реографу складала 70 кГц для каналу реєстрації грудної реограми. Сигнал пневмограми отримували від п'єзоелектричного датчика, розміщеного перед ніздрями носа обстеженого (патент України №51480).

Всі ці сигнали цифрували через 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач ADC-1280 з вхідним діапазоном ± 5 В (Holit Data Systems, Київ). Частота дискретизації – 860 разів за секунду. Цифровані сигнали записували на жорсткий диск комп'ютера для наступного аналізу. Для аналізу сигналів, поставлення на них критичних точок, їх експорту в електронні таблиці використовували розроблену нами програму "Bioscan" [7].

Тривалість кожного кардіоциклу (tRR) розраховували за часовими параметрами найвищої точки зубця R електрокардіограми. Часовий ряд, що складався з цих числових даних експортували у програму "Caspico" (А.с. України №11262) [8].

Спектральний аналіз здійснювали періодограмним методом із згладжуванням вікном Daniel. При цьому здійснювали корекцію частоти елементів періодограми в залежності від середньої частоти серцевих скорочень. В спектрі, отриманому при аналізі записів, розрізняли три головних спектральних компоненти: HF (0,15-0,4 Гц) – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні високих частот; LF (0,04-0,15 Гц) – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні низьких частот; VLF (0-0,04 Гц) – потужність коливань серцевого ритму в діапазоні дуже низьких частот. Загальну потужність спектру (TP) оцінювали за сумою значень VLF, LF та HF. Також розраховували амплітуду найбільшого піку спектрограми tRR у діапазоні частот 0,04-0,15 Гц (aLF) та його частоту (tLF), амплітуду та частоту найбільшого піку спектрограми tRR у діапазоні частот 0,15-0,4 Гц (aHF та tHF).

Спектральний аналіз також включав визначення потужності високочастотних коливань у нормалізованих одиницях (HF_{norm}). Значення цього показника відображає відносний внесок коливань серцевого ритму високої частоти в загальну спектральну

потужність, без урахування потужності хвиль дуже низької частоти. Його розраховували за формулою: $HF_{norm} = (HF/(HF+LF))*100\%$.

Оскільки для серцевого ритму здорової людини характерна суттєва хаотичність, тому для визначення індивідуальних характеристик спектру бажано проводити його оцінку за декількома реалізаціями. Для цього використовували побудову медіанної спектрограми, що здійснювали наступним чином. Індивідуальні спектрограми розбивали на 50 вікон шириною 0,01 Гц, в яких визначали потужність спектру. За індивідуальними даними будували таблицю та визначали медіану потужності спектру в кожному з вікон. За цими медіанами і будували графік. Оцінку центральної тенденції вибірок здійснювали за медіаною, тому що розподіл показників не був нормальним.

Внаслідок нормальності розподілу (за критерієм χ^2) показників спектрального аналізу ВСР здійснювали аналіз вибірок непараметричними методами з розрахунком медіан та їх квантилів з визначенням відмінностей при парних порівняннях за Wilcoxon Matched Pairs Test, при групових – за U-критерієм Mann-Whitney. Для обробки та візуалізації даних застосовували таблиці Excel-2003, програму Statistica 12 for Windows (Statsoft Inc., Tulsa, USA), “Caspico” (а/с України №11262).

Результати та їх обговорення

Аналіз змін хвильової структури серцевого ритму при ортопробі в порівнянні із станом спокою лежачи показав наступне (табл. 1).

Таблиця 1

Показники хвильової структури серцевого ритму у спокої лежачи та при ортопробі у здорових молодих чоловіків (n=116)

Показники	Лежачи	Ортопроба	P
VLF, мс ²	747 [449; 1112]	664 [339; 1371]	0,568
LF, мс ²	704 [424; 1175]	899 [502; 1278]	0,102
HF, мс ²	1146 [597; 1903]	262 [123; 557]	0,000
aLF, мс ²	102 [57; 171]	148 [80; 259]	0,001
aHF, мс ²	114 [66; 224]	30 [13; 65]	0,000
tLF, Гц	0,095 [0,073; 0,115]	0,083 [0,073; 0,093]	0,001
HFnorm, %	61,7 [50,3; 70,1]	23,8 [15,7; 35,5]	0,000
TP, мс ²	2686 [1772; 4256]	2064 [1089; 3298]	0,001

Так відбувалось зниження загальної потужності спектру коливань tRR за рахунок зменшення HF, збільшення LF та aLF. Звертає на себе увагу зменшення tLF. Рівень VLF не змінився.

Такі зміни свідчать про активацію симпатичної ланки автономної нервової системи та пригнічення тонузу її прарасимпатичної ланки. Такі зрушення мають пристосувальний характер для забезпечення повернення крові до серця в вертикальному положенні тіла. Звертає на себе увагу індивідуальна девіантність реакцій різних показників. Одним з факторів цього може бути вихідний рівень вегетативного тонузу.

Рівень вегетативного тонузу оцінювали за рівнем показника HF_{norm} . З метою покращення діагностичної точності цього показника, з аналізу виключили дані осіб з частотою дихання у спокої нижчою ніж 7 циклів за хвилину. Розподіл за типами

здійснювали методом сигмальних відхилень. Таким чином до симпатотоніків (I, 26 осіб) віднесли чоловіків з рівнем HF_{norm} меншим за 50%, до нормотоніків (II, 44 особи) – від 50 до 67%, ваготоніків (III, 46 осіб) – більше 67%.

У осіб всіх трьох груп при ортопробі спостерігали значне зменшення HF, медіана реактивності реактивності котрої складала відповідно -67,3%, -77,5%, -77,9% для I, II та III груп. Різниць між групами за реактивністю цього показника не було. Вірогідно відрізнялась реактивність LF на зміну положення тіла у симпатотоніків (рис. 1).

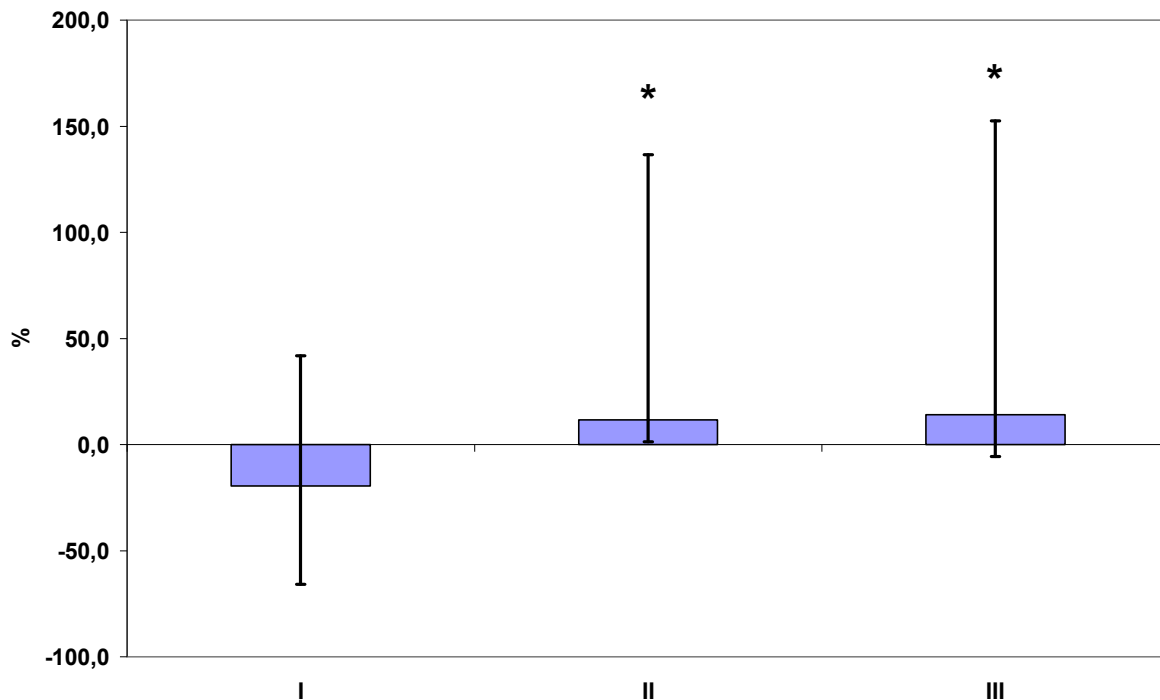


Рис. 1. Реактивність (медіана; 25%, 75%) LF на ортопробу у симпато- (I), нормо- (II) та парасимпатотоніків (III).

Примітка: * – вірогідність різниць $p < 0.05$ у порівнянні з I

Так у них здебільшого переважали реакції зниження потужності спектру у цьому діапазоні. У II та III групах переважали реакції збільшення LF.

Таким чином найбільші відмінності у змінах хвильової структури серцевого ритму при ортопробі у осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тону проявляються у діапазоні низьких частот серцевого ритму.

При аналізі амплітудних та часових характеристик максимального піку спектрограми у діапазоні низьких частот серцевого ритму такий висновок в основному підтверджений (табл. 2). У спокої, лежачи, закономірно у симпатотоніків була вища aLF. У вертикальному положенні тіла відбувалось збільшення цього показника тільки у нормо- та парасимпатотоніків. Його рівень у всіх трьох групах нівелювався.

Частота максимального піку спектрограми у діапазоні низьких частот серцевого ритму у спокої, лежачи, між групами не відрізнялась. При ортопробі у II та III групах цей показник вірогідно знижувався.

Зміни коливань tRR у частотному діапазоні 0,04-0,15 Гц в основному оцінюються як зміни активності симпатичної ланки автономної нервової системи [1]. Показано, що характеристики синхронізації хвиль tRR та артеріального тиску (чи ударного об'єму крові) на таких частотах відображають спонтанну барорефлекторну чутливість та слугують для підтримання сталого рівня артеріального тиску [9].

Таблиця 2

Амплітудні та частотні характеристики
максимального піку спектрограми коливань tRR
у частотному діапазоні 0,04-0,15 Гц у симпато- (I), нормо- (II)
та парасимпатотоніків (III) (медіана; 25%, 75%)

Показники	I	II	III
	Спокій лежачи		
aLF, мс ²	113,7 79,3; 223,3	95,2 40,8; 143,4	94,9 48,4; 172,2
tLF, Гц	0,096 0,082; 0,107	0,094 0,066; 0,117	0,094 0,072; 0,119
Ортопроба			
aLF, мс ²	156,7 синхронізації 81,9; 279,5	131,4* 88,4; 210,4	149,5* 61,2; 300,0
tLF, Гц	0,083 0,073; 0,090	0,080* 0,070; 0,093	0,084 0,075; 0,095

Примітка* - вірогідність різниць $p < 0.05$ у порівнянні із спокоєм лежачи

При детальному аналізі нормалізованих медіанних спектрограм tRR у вертикальному положенні у осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тону з'ясовано, що у ваго- та у нормотоніків у діапазоні частот від 0,04 до 0,15 Гц хвиля має два піки (рис. 2).

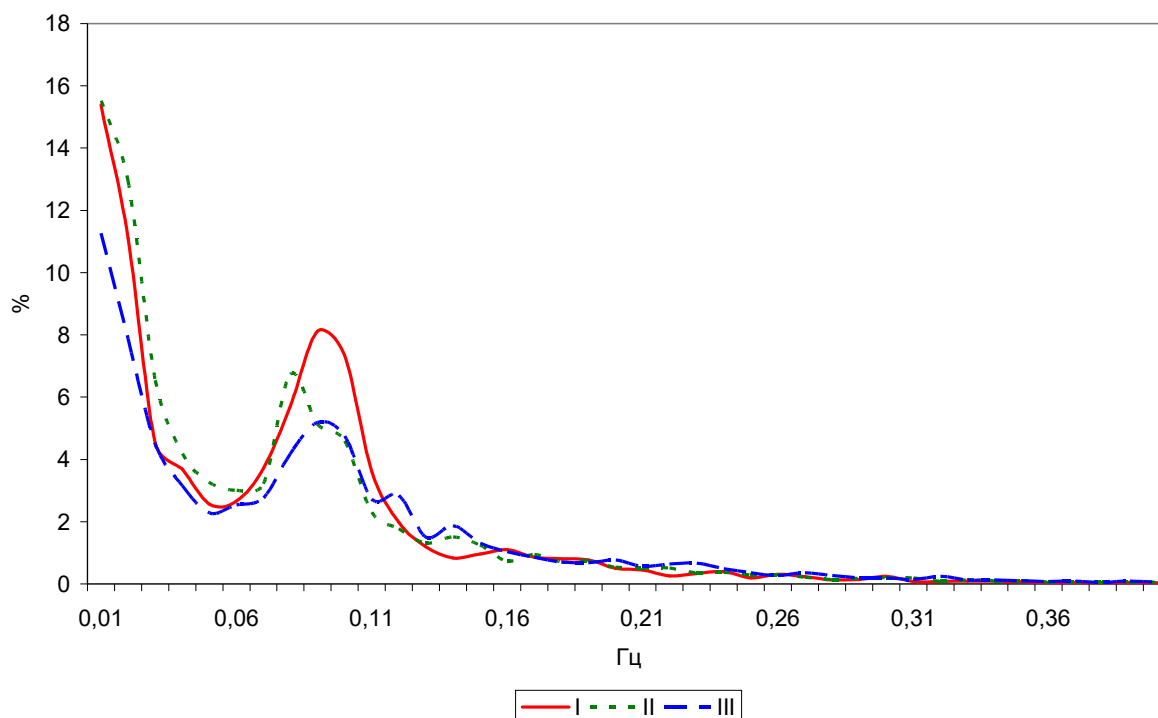


Рис. 2. Нормалізовані медіанні спектрограми tRR в вертикальному положенні у осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тону

Наявність двох піків може свідчити про наявність двох впливів на спектрограму серцевого ритму [10]. Існує дві основні теорії формування хвиль в області низьких частот. Перша – це вплив функціонування барорефлекторного механізму регуляції артеріального тиску [11] та друга – вплив ендогенного генератора ритму [12].

Наявність відмінностей у механізмах формування низкочастотних хвиль серцевого ритму у осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тону підтверджується аналізом нормалізованих медіанних спектрограм їх реактивності на ортопробу (рис. 3).

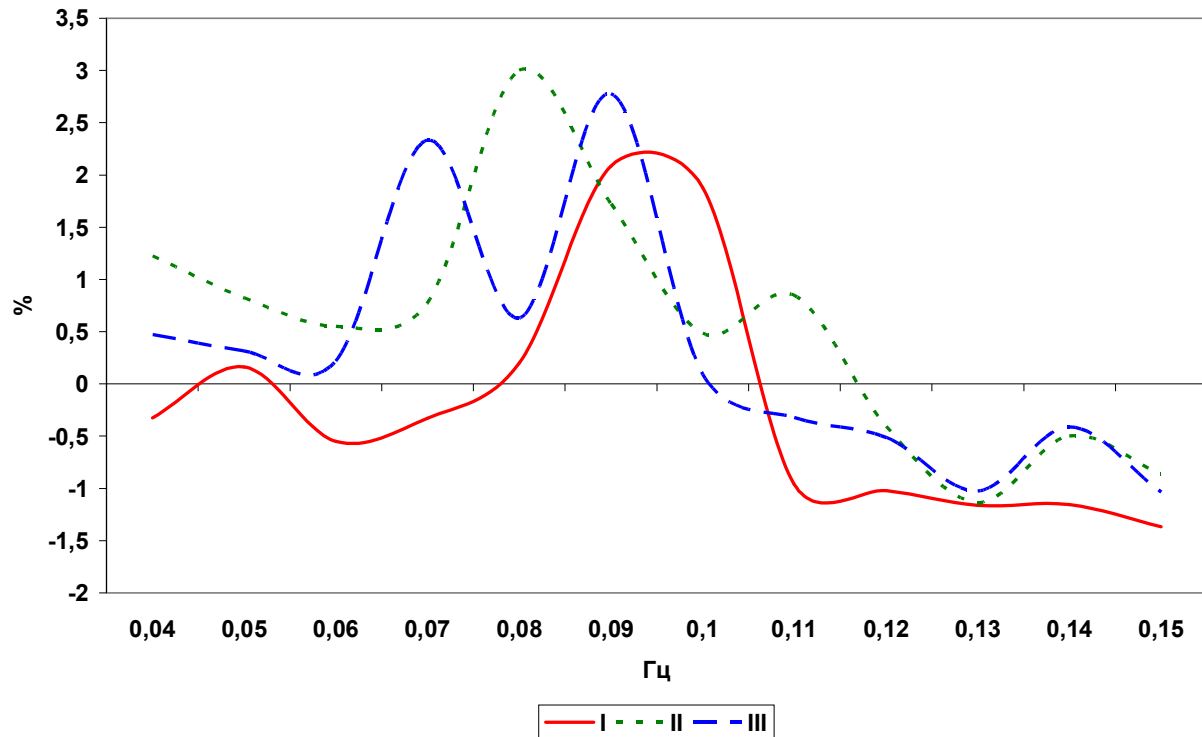


Рис. 3. Нормалізовані медіанні спектрограми реактивності хвиль tRR на ортопробу у осіб з різним рівнем вегетативного тону

Так у симпатотоніків у діапазоні низьких частот серцевого ритму наявна одна хвиля реактивності з максимумом на 0,09 Гц. У нормотоніків наявні дві хвилі з частотами 0,08 Гц та 0,11 Гц. У парасимпатотоніків також є дві хвилі з частотами 0,07 Гц та 0,09 Гц.

Висновки

1. Найбільші відмінності у змінах хвильової структури серцевого ритму при ортопробі у осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тону проявляються у діапазоні низьких частот серцевого ритму. У симпатотоніків здебільшого переважали реакції зниження потужності спектру у цьому діапазоні, у нормо- та парасимпатотоніків переважали реакції збільшення LF та амплітуди максимального піку спектрограми.
2. При детальному аналізі нормалізованих медіанних спектрограм tRR у вертикальному положенні у осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тону з'ясовано, що у вагота нормотоніків у діапазоні частот від 0,04 до 0,15 Гц хвиля має два піки. У симпатотоніків у діапазоні низьких частот серцевого ритму наявна одна хвиля реактивності на ортопробу з максимумом на 0,09 Гц. У нормотоніків наявні дві хвилі реактивності на ортопробу з частотами 0,08 Гц та 0,11 Гц. У парасимпатотоніків також є дві хвилі з частотами 0,07 Гц та 0,09 Гц.
3. Перспективами подальших досліджень є з'ясування механізмів формування хвиль tRR в залежності від рівня вегетативного тону за різних умов.

Список використаної літератури

1. Коваленко С. О. Характеристика та теоретичні основи методів аналізу варіабельності серцевого ритму. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2017. № 2. С. 223-233
2. Коваленко С. О., Кудій Л. І. Варіабельність серцевого ритму. Методичні аспекти. Черкас: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького. 2016. 300 с.
3. Коваленко С.О. Регуляторні ритми гемодинаміки та їх індивідуальні особливості у людей. Автореферат дис... доктора біол. наук. К. 2011. 40 с.
4. Zavorodnia, V. A., Androshchuk, O. I., Kharchenko, T. H., Kudii, L. I., Kovalenko, S. O. Haemodynamic effects of hyperventilation on healthy men with different levels of autonomic tone. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. 11(1). С. 13-21. Doi: <https://doi.org/10.15421/022002>
5. Рибалко А.В., Завгородня В.А., Коваленко С.О., Кудій Л.І. Вплив вихідного рівня вегетативного тону на стан серцево-судинної системи при імпульсній офтальмофотостимуляції. *Матеріали VI з'їзду Українського біофізичного товариства*. (28-30 травня 2015 року, Луцьк). Луцьк-Світязь. 2015. С.56
6. Луценко О.І., Коваленко С.О. Функціональний стан серцево-судинної системи у жінок з різним рівнем вегетативного тону. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. 2017, №2. С.39-44.
7. Коваленко С.О., Кушніренко О.Є., Носенко Л.І. Програмна система первинної обробки кардіографічних сигналів. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. Черкаси. 2000. Вип. 22. С.73-78.
8. Коваленко С.О., Яковлев М.Е. Комп'ютерна програма для фотостимуляції "Lightmaker". Авторське свідоцтво України №16134. 52с. Укр. Деп. в УААСП 4.04.2006. Реферат у офіційному бюлетені „Авторське право і суміжні права”. 2006, №9. С.343.
9. Lutsenko OI, Kovalenko SO Blood pressure and hemodynamics: Mayer waves in different phases of ovarian and menstrual cycle in women. *Physiological research*, 2017.66. Issue 2. 235-240. Doi: http://www.biomed.cas.cz/physiolres/pdf/66/66_235.pdf
10. Коваленко С.О., Токар С.І. Хвильова структура коливань ударного об'єму крові та RR-інтервалів у діапазоні низьких частот серцевого ритму. *Фізіологічний журнал*. 2007. Т.53, №2. С.36-40. Doi: <https://fz.kiev.ua/index.php?abs=595>
11. Cevese A. Baroreflex and oscillation of heart period at 0.1 Hz studied by alpha-blockade and cross-spectral analysis in healthy humans. *J Physiol*. 2001. V.531, Pt1. P.235-244.
12. Pokrovskii V.M. Alternative View on the Mechanism of Cardiac Rhythmogenesis. *Heart, Lung Circ*. 2003. V.12, Issue 1. P.18-24.

References

1. Kovalenko, S.O. (2017). Characteristics and theoretical foundations of methods for analyzing heart rate variability. *Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports*. [*Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*]. 2. 223–233. (In Ukr).
2. Kovalenko, S.O., & Kudiy, L.I. (2016). Heart rate variability. Methodical aspects. Cherkasy: Cherkasy National University. Named after B. Khmelnytsky. 300. (In Ukr).
3. Kovalenko, S.O. (2011). Regulatory rhythms of hemodynamics and their individual features in humans. Abstract of Doctor of Biology. Science. K. 40. (In Ukr).
4. Zavorodnia, V. A., Androshchuk, O. I., Kharchenko, T. H., Kudii, L. I., & Kovalenko, S. O. (2020). Haemodynamic effects of hyperventilation on healthy men with different levels of autonomic tone. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 11(1). 13-21. Doi: <https://doi.org/10.15421/022002>
5. Rybalko, A.V., Zavorodnya, V.A., Kovalenko, S.O., & Kudiy, L.I. (May 28-30, 2015). Influence of the initial level of vegetative tone on the state of the cardiovascular system during pulsed ophthalmic photostimulation. *Proceedings of the UI Congress of the Ukrainian Biophysical Society*. Lutsk-Svityaz. 56 (In Ukr).
6. Lutsenko, O.I., & Kovalenko, S.O. (2017). Functional state of the cardiovascular system in women with different levels of autonomic tone. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences* [*Bulletin of Cherkasy University*]. 2. 39-44. (In Ukr).
7. Kovalenko, S.O., Kushnirenko, O.E., & Nosenko, L.I. (2000). Software system for primary processing of cardiographic signals. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences*. [*Bulletin of Cherkasy University*] Cherkasy. 22. 73-78. (In Ukr).
8. Kovalenko, S.O., & Yakovlev, M.E. (2006). Computer program for photostimulation "Lightmaker". Author's certificate of Ukraine №16134. 529.343. (In Ukr).
9. Lutsenko, O.I., & Kovalenko, S.O. (2017). Blood pressure and hemodynamics: Mayer waves in different phases of ovarian and menstrual cycle in women. *Physiological research*. 66(2). 235-240. Doi: http://www.biomed.cas.cz/physiolres/pdf/66/66_235.pdf

