

УДК 612.172.2

В.А. Завгородня<sup>1</sup>, С.О. Коваленко<sup>1</sup>,  
А.В. Рибалко<sup>1</sup>, С.І. Токар<sup>2</sup>

## ВПЛИВ ДИХАННЯ НА КОЛИВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ІНТЕРВАЛУ R-R ТА СЕРЦЕВОГО ВИКИДУ

*Проаналізована наукова література по впливу зовнішнього дихання на коливання гемодинамічних показників. Показані зміни варіабельності серцевого ритму та ударного об'єму крові при вербалізації, регламентованому диханні, при опорі дихальним рухам. Охарактеризовані прояви та механізми дихальної синусової аритмії. Описані зміни у хвильовій структурі гемодинамічних показників у осіб з різною типологією дихання.*

**Ключові слова:** *варіабельність серцевого ритму, зовнішнє дихання*

**Постановка проблеми.** Одним з чинників, що обумовлюють циклічні процеси у гемодинаміці, є періодичні дихальні рухи та зміни у центральній ланці керування цими рухами [1], аферентної імпульсації від рецепторів органів зовнішнього дихання [2, 3], притоку венозної крові до серця [4], рівня кровонаповнення легенів при цьому [5]. Оцінка впливу зовнішнього дихання на гемодинаміку дозволяє, по-перше, з'ясувати функціональний стан серцево-судинної системи, а, по-друге, здійснювати пошук найбільш ефективних режимів управління цим станом за допомогою регламентації дихальних рухів.

**Мета статті:** проаналізувати наукову літературу по впливу зовнішнього дихання на хвильові процеси у гемодинаміці.

### Виклад основного матеріалу

Основним методичним підходом вивчення серцево-дихального синхронізму є аналіз змін коливань гемодинамічних показників при диханні з регламентацією частоти, дихального об'єму, тривалості різних фаз дихання. Показано, що вольовий контроль дихання зі збереженням таких же параметрів як і при неусвідомленому диханні не приводить до суттєвих змін хвильової структури серцевого ритму [6].

При вербалізації збільшується тривалість дихального циклу, дихальний об'єм, об'ємна швидкість вдиху [7, 8]. У дослідженні L. Bernardi et al [9] при тихому читанні ритм дихання, навпаки збільшувався, що приводило до зменшення варіативності тривалості інтервалу R-R та збільшення варіативності артеріального тиску. При гучному читанні ритм дихання зміщувався у діапазон низьких частот серцевого ритму і спостерігалось суттєве збільшення ВСР. О.Н.Вовк з співавт. [8] показали, що найбільші зміни у амплітуді дихальної синусової аритмії відбуваються при речовому диханні з частотою 6-8 разів за хвилину.

Разом з цим вплив вербалізації на ВСР обумовлюється не тільки через зміни дихального патерну. Так декламування гексамерів з античної літератури Греції викликало більші зрушення у синхронізації серцевого ритму, ніж регламентоване дихання у діапазоні низьких частот [10].

Регламентоване дихання у діапазоні високих частот за даними різних авторів приводить до неоднозначних змін. При частому диханні (24 цикли за хвилину) потужність HF компоненту зменшувалась, але потужність у інших діапазонах залишалась сталою [11]. В той же час у досліджах R. Stark et al [12] дихання на частотах 0,15 Гц, 0,20 Гц, 0,25 Гц, 0,30 Гц зменшувало загальну варіативність серцевого ритму за рахунок пропорційного зниження потужності всіх його спектральних компонентів, а при диханні 12 циклів за хвилину у дітей 9 років HF збільшувалась при незмінній LF

[13]. L.J.Badra et al [14] також відмічають незалежність осциляцій R-R-інтервалу та артеріального тиску у діапазоні низьких частот від високочастотних модуляцій дихання. Разом з тим за даними М.І.Яблучанського з співавт. [15] нормою реакції на пробу з модуляцією дихання на власній частоті є падіння потужності LF при незмінному значенні HF.

При частоті дихання, що на 5-10% була більшою ніж частота серцевих скорочень, після перехідного періоду у 20-30 серцевих циклів спостерігається синхронізація цих двох ритмів [16]. При цьому діапазон керованої частоти скорочень серця складав 10-20 ударів. В.М.Покровським з співавт. [17] показано, що синхронні з диханням скорочення серця є результатом сигналів, котрі надійшли по блукаючим нервам.

L.I.Mason, R.P.Patterson [18] також здійснювали синхронізацію дихання з частотою серцевих скорочень. При цьому на чотири скорочення серця здійснювався вдих, а на чотири наступних – видих. В різних фазах дихання тривалість інтервалу R-R та артеріальний тиск змінювались по-різному, але в найбільшій мірі під час другого скорочення на вдиху.

H.-S.Song, P.M.Lehrer [19] досліджували вплив регламентованого дихання у діапазоні низьких частот (з частотою 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14 циклів за хвилину) на варіабельність серцевого ритму. Амплітуда ВСР підвищувалась зі зменшенням частоти дихання і найбільшою була на частоті 4 цикла за хвилину, однак при частоті 3 цикла за хвилину вона зменшувалась. Автори вважають, що подібні зміни відображають вплив низьких частот дихання на метаболізм ацетілхоліну.

Подібну залежність потужності коливань тривалості інтервалу R-R та артеріального тиску від частоти регламентованого дихання (0,3, 0,25, 0,2, 0,15, 0,1, 0,05 Гц) відмічають і W.H.Cooke et al [20]. Дихання у діапазоні низьких частот з регламентацією респіраторного об'єму змінює концентрацію CO<sub>2</sub> у кінцевій фазі видихуваного повітря. При цьому може зменшуватись стимуляція хеморецепторів.

Колівання тривалості інтервалу R-R та артеріального тиску при регламентованому диханні відбуваються з часовою затримкою між собою [21]. Максимуми артеріального тиску виникають через певний час (2-3,8 сек для різних частот дихання) після максимумів кардіоінтервалу. Ця затримка зменшується при збільшенні частоти дихання.

Тривале регламентоване дихання з поступовим зниженням частоти від 0,46 до 0,05 Гц приводило не тільки до змін спектральної потужності тривалості інтервалу R-R, систолічного та діастолічного артеріального тиску у діапазоні дихання, але і діапазонів в котрих не здійснювались дихальні рухи [22]. Отже дихання навіть у фіксованому діапазоні може приводити до суттєвих змін у глобальному спектрі коливань гемодинамічних показників.

За даними деяких авторів [13, 23] резонансною частотою дихання, при котрій відбувається нелінійний значний приріст варіативності масиву кардіоінтервалів, є частота 6 циклів за хвилину (0,1 Гц). Разом з тим V.Novak et al [22] спостерігали найбільше підвищення ВСР на частотах 0,07-0,09 Гц, а H.-S.Song, P.M.Lehrer [19] - на частоті 0,067 Гц. Коваленко С.О. та співавт. [24] показали, що при регламентованому диханні з частотою 6 циклів за хвилину важливою характеристикою є не тільки потужність спектру коливань тривалостей R-R-інтервалу та ударного об'єму на частоті 0,1 Гц, але і амплітуда додаткового піку на частотах кратних цій які свідчать про їх гармонійність.

Повільне дихання з частотою 6 циклів за хвилину потенціює депресорний та кардіоінгібіторний компоненти артеріального барорефлексу, величину якого оцінювали за крос-спектральним аналізом коливань кардіоінтервалів та артеріального тиску. Цей ефект мав суттєві індивідуальні та вікові особливості [25].

Змінюють характеристики фізіологічних коливань гемодинамічних показників і дихання з опором та позитивним зовнішнім тиском. При диханні з опором збільшується негативний внутрішньоторакальний тиск, проходить подовшення дихального циклу та відбувається збільшення ВСП [26]. Вентиляція легенів з позитивним тиском 5 мБар з частотою 12 та 15 циклів за хвилину приводила до вірогідного підвищення потужності коливань інтервалу R-R та артеріального тиску у діапазоні високих частот [27].

Частота дихання може бути і індивідуальною типологічною характеристикою організму людини. Показано, що типологія частоти дихання суттєво впливає на хвильову структуру серцевого ритму, ударного об'єму крові, їх синхронізацію [28, 29]. За результатами досліджень Коваленка С.О., Кудій Л.І. [30, 31] можливими механізмами відмінностей хвильової структури серцевого ритму в осіб з різним рівнем частоти дихання у спокої можуть бути наступні: різний рівень кровонаповнення органів грудної клітки, як пристосування для більш ефективного газообміну у легенях у осіб з високою частотою дихання у спокої, формується внаслідок меншого рівня дихального об'єму в них порівняно з особами інших груп; відмінності в активності симпатичної нервової системи у стані спокою, що може відобразитись на частоті дихання. Крім того, аналіз реактивності на різні збурення за законом Вільдера про вихідні величини внаслідок цього у осіб різних типологічних груп буде необ'єктивним; можливий різний рівень вуглекислого газу в крові чи чутливість дихального центру до нього; резонансні зміни на частотах, на котрих звично здійснюється дихання.

Найбільш відомий феномен впливу дихання на діяльність серця – це явище дихальної синусової аритмії, що полягає у закономірному прискоренні частоти серцевих скорочень на вдиху та уповільненню на видиху [32]. Аналізу публікацій, у яких вивчалось це явище, присвячена значна кількість оглядів [33, 34, 35, 36]. ДСА виявлена у новонароджених, дітей, дорослих, у різних видів хребетних тварин: бабуїни, собаки, кролі, щури та ін. [37, 38].

P.Grossman et al [39] виділяє три групи методів оцінки ДСА: спектральної аналітичної техніки; комплексний метод оцінки періодичних та аперіодичних складових серцевого ритму непов'язаних з диханням після видалення дихальних складових з ряду кардіоінтервалів; визначення змін тривалості інтервалу R-R у різних фазах дихального циклу.

Рівень дихальної синусової аритмії звичайно асоціюють як показник активності парасимпатичної ділянки вегетативної нервової системи [35, 41, 42, 43]. Втім відмічається, що існують інші фактори, котрі можуть обумовлювати амплітуду ДСА [41]. По-перше, якщо у кожної особи зв'язок ДСА та активності парасимпатичного контролю серця тісний, то міжіндивідуальні значення цих параметрів можуть суттєво варіювати [44]. По-друге, ДСА суттєво залежить від рівня фізичної активності людини [45]. Втім за результатами досліджень E.J.De Geus et al [46] проведених на 157 парах близнюків молодого (13-22 років) та 208 парах середнього (35-62) віку показано, що такий зв'язок пояснюється впливом спільних генетичних факторів як на рівень рухової активності людини так і на рівень ДСА. В-третьє, амплітуда ДСА визначається бета-адренергічним тонусом. В-четверте, ДСА та парасампатична активність можуть визначатись спільним центральним осцилятором.

За думкою О.П.Тимофєєвої та ін. [47] амплітуда ДСА уявляє з себе багатомірну функцію, що змінюється з часом та залежить від п'яти основних перемінних: тривалостей інтервалу R-R та спіроінтервалу, їх дисперсій та тривалості вдиху. Збільшення тривалості інтервалу R-R викликає нелінійне збільшення амплітуди ДСА. Збільшення тривалості спіроінтервалу приводить до лінійного збільшення цього показника. Поява низькочастотних коливань ритма серця та дихання, котра

відображається у збільшення дисперсії інтервалів R-R та спіроінтервалів, негативно впливає на величину середньої амплітуди ДСА. Існує позитивний прямий зв'язок середньої амплітуди ДСА та інтервалу вдиху.

Втім у дослідженнях G.Strauss-Blasche et al [48] показано, що впродовж виконання регламентованого дихання з частотою 10 циклів за хвилину у спробах з більшою тривалістю вдиху рівень ДСА був значуще меншим ніж при більшій тривалості видиху.

Разом з цим J.A.Hirsch, B.Bishop [49], J.N.Houtveen et al [50] показали, що суттєвим фактором який визначає ДСА є величина дихального об'єму. При утриманні дихання на вдиху при різному дихальному об'ємі амплітуда ДСА лінійно залежала від його величини. Коефіцієнти кореляції між цими показниками склали для різних осіб від 0,85 до 0,99, а нормалізована амплітуда ДСА – від 6,4 до 13,8  $\text{уд}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{л}^{-1}$ .

Фази змін тривалостей інтервалу R-R та артеріального тиску впродовж дихального циклу можуть бути здвинуті, особливо при виконанні ортопроби, що може свідчити про різні механізми їх змін [51]. Раніше J.P.Saul et al [52] показали більший вплив механічних ефектів дихання на флуктуації артеріального тиску при стоянні у порівнянні з горизонтальним положенням. M.Elstad et al [53] відмічають зв'язок коливань інтервалу R-R та систолічного артеріального тиску впродовж дихального циклу у положенні лежачи і його зменшення у градуальному положенні.

Існує гіпотеза, згідно якої дихальна синусова аритмія є біологічним феноменом, котрий здійснює позитивний вплив на обмін газів у легенях та ефективність вентиляції-перфузії у них [35, 37, 54]. У дослідженнях N.D.Giardino et al [55] амплітуда ДСА значуще корелювала з рівнем ефективності обміну  $\text{CO}_2$  ( $r=-0,53$ ,  $p=0,002$ ) та  $\text{O}_2$  ( $r=0,49$ ,  $p=0,005$ ) при контролі ефектів віку, частоти дихання, дихального об'єму та середньої частоти серцевих скорочень. В.С.Міщенко [56, 57] показав, що при наростанні гіперкапнії в певному діапазоні парціального тиску  $\text{CO}_2$ , у спортсменів спостерігалось близьке до лінійного збільшення дихальної аритмії. При досягненні певного індивідуального рівня парціального тиску  $\text{CO}_2$  починалось зниження дихальної аритмії. Особи, що досягали вищого рівня гіперкапнії мали вищий рівень респіраторних змін тривалості інтервалу R-R.

Виділяють декілька механізмів дихальної синусової аритмії. Виникнення ДСА можливе як рефлекторна відповідь на розтягіння легенів при вдиху. Сигнали від рецепторів розтягіння легенів при вдиху підсилюються і за даними одних авторів [58] гальмують потік вагусних імпульсів до синусового вузла, а за думкою інших [59] - надходять в довгастий мозок по аферентним волокнам в складі блукаючого нерва та передаються парасимпатичним структурам серця.

У здійсненні цього феномену може бути задіяна нейронна мережа довгастого мозку, що є спільною для дихання і кровообігу. За даними багатьох авторів [60, 61, 62, 63] вона під час вдиху гальмує прегангліонарні кардіомоторні вагусні нейрони, а невдовзі після початку видиху збуджує їх.

Обумовленість ДСА барорефлекторною регуляцією пояснюється механічними впливами дихання на опір судин малого кола, що викликає зміни ударного об'єму, а тому і амплітуди дихальних хвиль артеріального тиску. Це, в свою чергу, веде до циклічних змін в імпульсації артеріальних барорецепторів, а разом з цим змінює надходження вагусних імпульсів до синусового вузла [64].

На думку Б.М.Щепотіна, Н.К.Супрун [65], причиною виникнення дихальних хвиль серцевого ритму є необхідність вирівнювання хвилинних об'ємів правого та лівого шлуночків, що обумовлено непостійністю венозного притока, пов'язаного з диханням. Випадкові зміни венозного притока сприяють виникненню випадкових коливань тривалості кардіоінтервалів.

### Висновки

Таким чином, проведена значна кількість досліджень впливу дихальних рухів на варіабельність частоти серцевих скорочень у людей. Однак на сьогодні відсутні єдині норми значень цих зрушень. Мало публікацій присвячено вивченню коливань ударного об'єму крові у здорових людей і тим більше крос-спектральному аналізу цього показника зі змінами тривалості інтервалу R-R. Невивченими залишаються і деякі аспекти дихальної синусової аритмії, особливо при регламентованому диханні. Тому аналіз літератури вказує на необхідність подальших досліджень як методичних, так і теоретичних аспектів впливу дихання на хвильові прояви гемодинаміки.

### Література

- Gonschorek A.S. Influence of respiratory motor neurone activity on human autonomic and haemodynamic rhythms/ A.S. Gonschorek et al // *Clin Physiol*. – 2001. – V.21, #3. – P.323-334.
- Глебовский В.Д. Рефлексы с рецепторов легких и дыхательных мышц и их значение в регуляции дыхания. В кн.: *Руководство по физиологии. Физиология дыхания*. – Л.:Наука. – 1973. – С.115-150.
- Дворецкий Д.П. Гемодинамика в легких / Д.П. Дворецкий, Ткаченко Б.И. – М.: Медицина. – 1987. – 288 с.
- Ткаченко Б.И. О роли отрицательного внутригрудного давления в изменении венозного возврата крови к сердцу / Б.И. Ткаченко, В.И. Евлахов, И.З. Поясов // *Рос. физиол. журн. им.И.М.Сеченова*. – 2001. – Т.87, №1. – С.14-22.
- Морман Д. Физиология сердечно-сосудистой системы / Д.Морман, Л.Хеллер. – СПб: Питер, 2000. – 250 с.
- Patwardhan A. Heart rate variability during sympatho-excitatory challenges: comparison between spontaneous and metronomic breathing / A. Patwardhan et al // *Integr Physiol Behav Sci*. – 2001. – V.36, #2. – P.109-120.
- Reilly K.J. Respiratory sinus arrhythmia during speech production / K.J. Reilly, C.A. Moore // *J Speech Lang Hear Res*. – 2003. – V.46, #1. – P.164-177.
- Вовк О.Н. Респираторная синусовая аритмия как объективный количественный критерий для изучения параметров и оптимизации речевого дыхания и речи / О.Н. Вовк и др. // *Матер IV Всерос. конф. «Механизмы функционирования висцеральных систем»*. – 2005. – СПб. – С.57-58.
- Bernardi L. Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability / L. Bernardi et al // *J Am Coll Cardiol*. – 2000. – V.35, #6. – P.1462-1469.
- Cysarz D. Oscillations of heart rate and respiration synchronize during poetry recitation / D.Cysarz et al // *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. – 2004. – V.287, #2. – H.579-587.
- Penttila J. Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns / J. Penttila et al // *Clin Physiol*. – 2001. – V.21, #3. – P.365-376.
- Stark R. Effects of paced respiration on heart period and heart period variability / R.Stark et al // *Psychophysiol*. – 2000. – V.37, #3. – P.302-309.
- Williams C.A. The influence of ventilatory control on heart rate variability in children / C.A. Williams, P. Lopes // *J Sports Sci*. – 2002. – V.20, #5. – P.407-415.
- Badra L.J. Respiratory modulation of human autonomic rhythms / L.J. Badra et al // *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. – 2001. – V.280, #6. – H.2674-2688.
- Яблунчанский Н.И. Основы практического применения неинвазивной технологии исследования регуляторных систем человека / Н.И.Яблунчанский, А.В.Мартыненко, А.С.Исаева. – Харків: Основа. – 2000. – 88 с.
- Pokrovskii V.M. Alternative View on the Mechanism of Cardiac Rhythmogenesis// *Heart, Lung Circ*. - 2003. - 12, Issue 1. – P.18-24.
- Покровский В.М. Сердечно-дыхательный синхронизм: выявление у человека, зависимость от свойств нервной системы и функциональных состояний организма / В.М.Покровский и др. // *Усп. физиол. наук*. – 2003. – Т.34. – С.89-98.
- Mason L.I. Determining the relationship of heart rate and blood pressure using voluntary cardio-respiratory synchronization (VCRS) / L.I. Mason, R.P. Patterson // *Physiol Meas*. – 2003. – V.24, #4. – P.847-857.
- Song H.-S. The effects of specific respiratory rates on heart rate and heart rate variability / H.-S. Song, P.M. Lehrer // *Appl Psychophysiol and Biofeedback*. – 2003. – V.28, #1. – P.13-23.
- Cooke W.H. Controlled breathing protocols probe human autonomic cardiovascular rhythms / W.H. Cooke et al // *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. – 1998. – V.274. – H709-718.
- Bowers E.J. Interaction between cardiac beat-to-beat interval changes and systolic blood pressure changes / E.J. Bowers, A. Murray // *Clin Auton Res*. – 2004. – V.14, #2. – P.92-98.

22. Novak V. Influence of respiration on heart rate and blood pressure fluctuations / V. Novak et al // *J Appl Physiol.* – 1993. – V.74, #2. – P.617-626.
23. Torok T. The effects of patterned breathing and continuous positive airway pressure on cardiovascular regulation in healthy volunteers / T.Torok et al // *Acta Physiol Hung.* – 1998. – V.85, #1. – P.1-10.
24. Коваленко С.О. Вплив регламентованого дихання у діапазоні низьких частот серцевого ритму на коливання ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R / С.О. Коваленко та ін.// Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки. – 2011. - Вип. 204 – С.52-57.
25. Radaelli A. Effects of slow, controled breathing on baroreceptor control of heart rate and blood pressure in healthy men / A. Radaelli et al // *J Hypertens.* – 2004. – V.22, #7. – P.1361-1370.
26. Calabrese P. Cardiorespiratory interactions during resistive load breathing / P. Calabrese et al // *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* – 2000. – V.279. – R.2208-2213.
27. Fietze I. Effects of positive-pressure ventilation on the spontaneous baroreflex in healthy subjects / I. Fietze et al // *J Appl Physiol.* – 2004. – V.96. – P.1155-1160.
28. Коваленко С.О. Варіабельність серцевого ритму у людей з різною частотою дихання / С.О. Коваленко, Л.І. Кудій, О.В. Калениченко // *Фізіологічний журнал.* – 2004. – Т.50, №6. – С.43-47.
29. Коваленко С.А. Особенности вариабельности сердечного ритма у лиц с различной частотой дыхания / С.А. Коваленко, Л.И. Кудий // *Физиология человека* – 2006. – Т32, №6. – С.126-128.
30. 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.
31. Коваленко С. О. Варіабельність серцевого ритму. Методичні аспекти. / С. О. Коваленко, Л. І. Кудій – Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2016. – 298 с.
32. Фолков Б. Кровообращение / Б.Фолков, Э.Нил. – М.: Медицина, 1975. – 464 с.
33. Конради Г.П. Дыхательная аритмия: рефлексy с рецепторов дыхательного аппарата и тройничного нерва. В кн.: Физиология кровообращения. Физиология сердца (Руководство по физиологии). – 1980. – Л.: Наука. – С.503-505.
34. Eckberg D.L. The human respiratory gate// *J Physiol.* – 2003. – V.548, Pt2. – P.339-352.
35. Yasuma F. Respiratory sinus arrhythmia. Why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm? / F. Yasuma, J. Hayano // *Chest.* – 2004. – V.125. – P.683-690.
36. Хаютин В.М., Лукошкова Е.В. Спектральный анализ колебаний частоты сердцебиений: физиологические основы и осложняющие его явления / В.М. Хаютин, Е.В. Лукошкова // *Российский физиол. журн.* - 1999. - Т. 85, №7. - С. 893-909.
37. Hayano J. Hypothesis: respiratory sinus arrhythmia is an intrinsic resting function of cardiopulmonary system / J. Hayano, F. Yasuma // *Cardiovasc Res.* – 2003. – V.58, #1. – P.1-9.
38. Bouairi E. Respiratory sinus arrhythmia in freely moving and anesthetized rats / E. Bouairi et al // *J Appl Physiol.* – 2004. – V.97, #4. – P.1431-1436.
39. Grossman P. A comparison of three quantification methods for estimation of respiratory sinus arrhythmia / P. Grossman, J. van Beek, C. Wientjes // *Psychophysiol.* – 1990. – V.27, #6. – P.702-714.
40. Grossman P. Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity / P. Grossman, F.H. Wilhelm, M. Spoerle // *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* – 2004, V.287. – H728-734.
41. Grossman P. Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions / P. Grossman, E.W. Taylor // *Biol Psychol.* – 2007. – V.74, #2. – P.263-285.
42. Wilhelm F.H. Improving estimation of cardiac vagal tone during spontane breathing using a paced breathing calibration / F.H. Wilhelm, P. Grossman, M.A. Coyle // *Biomed Sci Instrum.* – 2004. – V.40. – P.317-324.
43. Pyetan E. A theoretical appraisal of the dependence of respiratory sinus arrhythmia on gradual vagal blockade / E. Pyetan, S. A. Akselrod // *Methods Inf Med.* – 2004. – V.43, #1. – P.52-55.
44. Ben Lamine S. Individual differences in respiratory sinus arrhythmia / S. Ben Lamine et al // *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* – 2004. – V.286, #6. – H2305-2312.
45. Grossman P. Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity / P. Grossman, F.H. Wilhelm, M. Spoerle // *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* – 2004, V.287. – H728-734.
46. De Geus E.J. Genetic correlation of exercise with heart rate and respiratory sinus arrhythmia / E.J. De Geus, D.I. Boomsma, H. Snieder // *Med Sci Sports Exerc.* – 2003. – V.35, #8. – P.1287-1295.
47. Тимофеева О.П. Новый подход к изучению количественных характеристик дыхательной аритмии сердца у крыс / Тимофеева О.П. и др. // *Матер. V Всерос. конф. «Механизмы функционирования висцеральных систем».* – 2007. – СПб. – С.309-310.
48. Strauss-Blasche G. Relative timing of inspiration and expiration affects respiratory sinus arrhythmia / G. Strauss-Blasche et al // *Clin Exp Pharmacol Physiol.* – 2000. – V.27, #8. – P.601-606.
49. Hirsch J.A. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate / J.A. Hirsch, B. Bishop // *Amer. J. Physiol.* – 1981. – V. 241. – P. 620-629.

50. Houtveen J.N. Contribution of tonic vagal modulation of heart rate, central respiratory drive, respiratory depth, and respiratory frequency to respiratory sinus arrhythmia during mental stress and physical exercise / J.N. Houtveen, S. Rietveld, E.J. de Geus // *Psychophysiol.* – 2002. – V.39, #4. – P.427-436.
51. Kotani K. Postural-induced phase shift of respiratory sinus arrhythmia and blood pressure variations – insight from respiratory-phase domain analysis / K. Kotani et al // *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* – 2008. – H1481-9.
52. Saul J.P. Transfer function analysis of the circulation: unique insights into cardiovascular regulation / J.P. Saul et al // *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* – 1991. – V.261. – H.1231-1245.
53. Elstad M. Respiratory sinus arrhythmia: opposite effects on systolic and mean arterial pressure in supine humans / M. Elstad et al // *J Physiol.* – 2001. – V.536, Pt.1. – P.251-259.
54. Schafer C. Heartbeat synchronized with ventilation / C. Schafer et al // *Nature.* – 1998. – V.392, №6673. – P.239-240.
55. Giardino N.D. Respiratory sinus arrhythmia is associated with efficiency of pulmonary gas exchange in healthy humans / N.D. Giardino et al // *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* – 2003. – V.284, #5. – H.1585-1591.
56. Мищенко В.С. Свойства регуляции кислородтранспортной системы как отражение функционального потенциала организма спортсменов // *Медико-биологические основы оптимизации тренировочного процесса в циклических видах спорта.* – К., 1980. – С.108-133.
57. Мищенко В.С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В.С. Мищенко, Е.Н. Лысенко, В.Е. Виноградов – К.: Науковий світ, 2007. – 351 с.
58. Clynes M. Respiratory sinus arrhythmia: laws derived from computer simulation // *J. Appl. Physiol.* - 1960. – V. 15, №5. – P. 863-874.
59. Миронова Т.В. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца (Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм) / Т.В.Миронова, В.А.Миронов. – Челябинск, 1998. – 162 с.
60. Horner R.L. Respiratory-related heart rate variability persists during central apnea in the dog: mechanisms and implications / R.L. Horner et al // *J. Appl. Physiol.* – 1995. – V. 78, №6. – P. 2003-2013.
61. Richter D.W. Cardiorespiratory control / D.W. Richter, K.M. Spyer // In: *Central regulation of autonomic function.* - Oxford University Press. N. Y., 1990. – P. 189-207.
62. Shykoff B.E. Respiratory sinus arrhythmia in dogs / B.E. Shykoff et al // *J. Clin. Invest.* – 1991. – V. 87, №5. - P. 1621-1627.
63. Габдрахманов Р.Ш. Взаимодействие дыхательной и сердечно-сосудистой систем на уровне структур продолговатого мозга / Р.Ш. Габдрахманов, Н.А. Гордиевская, Ф.В. Молчатская // *Физиол. журн.* – 1993. – Т. 79, №11. – С. 44-51.
64. Akselrod S. Components of heart rate variability // In: *Heart rate variability.* N. Y. Armonk. - 1995. - V 12. – P. 146-164.
65. Щепотин Б.М. К вопросу о синусовой аритмии / Б.М. Щепотин, Н.К. Супрун // *Врачебное дело.* – 1980. - №4. – С. 42-45.

## References

1. Gonschorek A.S. et al (2001). Influence of respiratory motor neurone activity on human autonomic and haemodynamic rhythms. *Clin Physiol.* 21, 3, 323-34.
2. Glebovskiy V.D. (1973). Reflexes from the receptors of easy and respiratory muscles and their value in adjusting of breathing. In: *Handbook of physiology. Respiration Physiology.* L.:Nauka.115-50. (in Russ.)
3. Dvoretzkiy D.P., Tkachenko B.I. (1987). Lung haemodynamics. M.: Meditsina. 288 p.(in Russ.)
4. Tkachenko B.I., Evlahov V.I., Poyasov I.Z. (2001). About the role of negative pressure in the chest in the change of vein return of blood to the heart. *Ros. fiziol. zhurn. im.I.M.Sechenova.* 87, 1.14-22.(in Russ.)
5. Morman D., Heller L. (2000). *Physiology of cardiovascular system.* SPB: Piter. 250 p. (in Russ.)
6. Patwardhan A. et al (2001). Heart rate variability during sympatho-excitatory challenges: comparison between spontaneous and metronomic breathing. *Integr Physiol Behav Sci.* 36, 2.109-20.
7. Reilly K.J., Moore C.A. (2003). Respiratory sinus arrhythmia during speech production. *J Speech Lang Hear Res.* 46,1. 164-77.
8. Vovk O.N. et al (2005). Respirator sine arrhythmia as objective quantitative criterion for the study of parameters and optimization of the vocal breathing and speech. In: *IV Vseros. konf. «Mehanizmy funktsionirovaniya vistseralnyih sistem».* SPb. 57-8. (in Russ.)
9. Bernardi L. et al (2000). Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. *J Am Coll Cardiol.* 35, 6. 1462-9.
10. Cysarz D. et al (2004). Oscillations of heart rate and respiration synchronize during poetry recitation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 287, 2. 579-87.

11. Penttila J. et al (2001). Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. *Clin Physiol*. 21, 3. 365-76.
12. Stark R. et al (2000). Effects of paced respiration on heart period and heart period variability. *Psychophysiol*. 37, 3. 302-9.
13. Williams C.A., Lopes P. (2002). The influence of ventilatory control on heart rate variability in children. *J Sports Sci*. 20, 5. 407-15.
14. Badra L.J. et al (2001). Respiratory modulation of human autonomic rhythms. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 280, 6. 2674-88.
15. Yabluchanskiy N.I., Martynenko A.V., Isaeva A.S. (2000). Bases of practical application of noninvasive technology of research of the regulator systems of man. Kharkiv: Osnova. 88 p. (in Russ.)
16. Pokrovskii V.M. (2003). Alternative View on the Mechanism of Cardiac Rhythmogenesis. *Heart Lung Circ*. 12, 1. 18-24.
17. Pokrovskiy V.M. et al (2003). Cardiac-respiratory synchronism: exposure at a man, dependence on properties of the nervous system and functional state of organism. *Usp. fiziol. nauk*. 34. 89-98. (in Russ.)
18. Mason L.I., Patterson R.P. (2003). Determining the relationship of heart rate and blood pressure using voluntary cardio-respiratory synchronization (VCRS). *Physiol Meas*. 24, 4. 847-57.
19. Song H.-S., Lehrer P.M. (2003). The effects of specific respiratory rates on heart rate and heart rate variability. *Appl Psychophysiol and Biofeedback*. 28, 1. 13-23.
20. Cooke W.H. et al (1998). Controlled breathing protocols probe human autonomic cardiovascular rhythms. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 274. 709-18.
21. Bowers E.J., Murray A. (2004). Interaction between cardiac beat-to-beat interval changes and systolic blood pressure changes. *Clin Auton Res*. 14, 2.92-8.
22. Novak V. et al (1993). Influence of respiration on heart rate and blood pressure fluctuations. 74, 2. 617-26.
23. Torok T. et al (1998). The effects of patterned breathing and continuous positive airway pressure on cardiovascular regulation in healthy volunteers. *Acta Physiol Hung*. 85, 1. 1-10.
24. Kovalenko S.O. et al (2011). Influencing of the regulated breathing in the range of low frequencies of heart rhythm on oscillation of stroke volume of blood and duration of interval R-R. *Visnyk Cherkas'koho universytetu. Seriya biolohichni nauky*. 204. 52-7. (in Ukr.)
25. Radaelli A. et al (2004). Effects of slow, controlled breathing on baroreceptor control of heart rate and blood pressure in healthy men. 22, 7. 1361-70.
26. Calabrese P. et al (2000). Cardiorespiratory interactions during resistive load breathing. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 279. 2208-13.
27. Fietze I. et al (2004). Effects of positive-pressure ventilation on the spontaneous baroreflex in healthy subjects. *J Appl Physiol*. 96. 1155-60.
28. Kovalenko S.O., Kudiy L.I., Kalenychenko O.V. Heart rhythm variability in individuals with different respiration frequency. *Fiziol Zn*. 50, 6. 43-7. (in Ukr.)
29. Kovalenko S.O., Kudiy L.I. (2006). Heart rate variability in subjects with different respiratory rates. *Fiziol Cheloveka*. 32, 6. 126-28. (in Russ.)
30. Kovalenko S.O. (2009).. Regulatory rhythms of haemodynamics and their individual features at people. *Sc d dis. Cherkasy*. 372 (in Ukr.)
31. 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.)
32. Folkov B., Neil E. (1975). *Circulation*. M.: Meditsina. 464 p. (in Russ.)
33. Konrady H.P. (1980). Respiratory arrhythmia: reflexes from the receptors of respiratory vehicle and nervus trigeminus. In: *Circulation physiology*. Heart Physiology L.: Nauka. 503-5. (in Russ.)
34. Eckberg D.L. (2003). The human respiratory gate. *J Physiol*. 548, 2. 339-52.
35. Yasuma F., Hayano J. (2004). Respiratory sinus arrhythmia. Why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm? *Chest*. 125. 683-90.
36. Hayutin V.M., Lukoshkova E.V. Spectral analysis of vibrations of frequency of palpitations: physiological bases and phenomena complicating him. *Rossiyskiy fiziol. zhurn*. 85, 7. 893-909. (in Russ.)
37. Hayano J., Yasuma F. (2003). Hypothesis: respiratory sinus arrhythmia is an intrinsic resting function of cardiopulmonary system. *Cardiovasc Res*. 58, 1. 1-9.
38. Bouairi E. et al (2004). Respiratory sinus arrhythmia in freely moving and anesthetized rats. *J Appl Physiol*. 97, 4. 1431-36.
39. Grossman P., van Beek J., Wientjes C. (1990). A comparison of three quantification methods for estimation of respiratory sinus arrhythmia. *Psychophysiol*. 27, 6. 702-14.
40. Grossman P., Wilhelm F.H., Spoerle M. (2004). Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 287. 728-34.
41. Grossman P., Taylor E.W. (2007). Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biol Psychol*. 74, 2. 263-85.



42. Wilhelm F.H., Grossman P., Coyle M.A. (2004). Improving estimation of cardiac vagal tone during spontane breathing using a paced breathing calibration // Biomed Sci Instrum. – 2004. – V.40. – P.317-324.
43. Pyetan E., Akselrod S. A. (2004). A theoretical appraisal of the dependence of respiratory sinus arrhythmia on gradual vagal blockade. *Methods Inf Med.* 43, 1.52-5.
44. Ben Lamine S. et al (2004). Individual differences in respiratory sinus arrhythmia. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 286, 6.2305-12.
45. Grossman P., Wilhelm F.H., Spoerle M. (2004). Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 287. 728-34.
46. De Geus E.J., Boomsma D.I., Snieder H. (2003). Genetic correlation of exercise with heart rate and respiratory sinus arrhythmia. *Med Sci Sports Exerc.* 35, 8. 1287-95.
47. Timofeeva O.P. et al (2007). New approach to the study of quantitative descriptions of respiratory arrhythmia of heart at rats. In: V Vseros. konf. «Mehanizmyi funktsionirovaniya vistseralnyih sistem». SPb. 309-310. (in Russ.)
48. Strauss-Blasche G. et al (2000). Relative timing of inspiration and expiration affects respiratory sinus arrhythmia. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 27, 8. 601-6.
49. Hirsch J.A., Bishop B. (1981). Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Amer. J. Physiol.* 241. 620-29.
50. Houtveen J.N., Rietveld S., de Geus E.J. (2002). Contribution of tonic vagal modulation of heart rate, central respiratory drive, respiratory depth, and respiratory frequency to respiratory sinus arrhythmia during mental stress and physical exercise. *Psychophysiol.* 39, 4. 427-36.
51. Kotani K. et al (2008). Postural-induced phase shift of respiratory sinus arrhythmia and blood pressure variations – insight from respiratory-phase domain analysis. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 1481-9.
52. Saul J.P. et al (1991). Transfer function analysis of the circulation: unique insights into cardiovascular regulation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 261. 1231-45.
53. Elstad M. et al (2001). Respiratory sinus arrhythmia: opposite effects on systolic and mean arterial pressure in supine humans. 536, 1. 251-9.
54. Schafer C. et al (1998). Heartbeat synchronized with ventilation. *Nature.* 392, 6673. 239-240.
55. Giardino N.D. et al (2003). Respiratory sinus arrhythmia is associated with efficiency of pulmonary gas exchange in healthy humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 284, 5. 1585-91.
56. Myshchenko V.S. (1980). Properties of adjusting of the oxygen transport system as a reflection of functional potential of organism of sportsmen. In: *Medico-biological bases of optimization of training process in the cyclic types of sport.* 108-33. (in Russ.)
57. Mischenko V.S., Lyisenko E.N., Vinogradov V.E. (2007). Reactive properties of the cardiorespiratory system as a reflection of adaptation to the tense physical training in sport. K.: *Naukovyy svit.* – 351 p. (in Russ.)
58. Clynes M. (1960). Respiratory sinus arrhythmia: laws derived from computer simulation. *J. Appl. Physiol.* 15, 5. 863-74.
59. Mironova T.V., Mironov V.A. (1998). Clinical analysis of wave structure of sine rhythm of heart (Introduction in rhythmocardiographia and atlas of rhythmocardiographam). Chelyabinsk, 1998. 162 p. (in Russ.)
60. Horner R.L. et al (1995). Respiratory-related heart rate variability persists during central apnea in the dog: mechanisms and implications. *J. Appl. Physiol.* 78, 6. 2003-13.
61. Richter D.W., Spyer K.M. (1990). *Cardiorespiratory control* In: *Central regulation of autonomic function.* Oxford University Press. N. Y. 189-207.
62. Shykoff B.E. et al (1991). Respiratory sinus arrhythmia in dogs. *J. Clin. Invest.* 87, 5. 1621-27.
63. Gabdrahmanov R.Sh. (1993). Co-operation of respiratory and cardio-vascular systems at the level of structures of oblong brain. *Fiziol Zn.* 79, 11. 44-51. (in Russ.)
64. Akselrod S. (1995)/ Components of heart rate variability // In: *Heart rate variability.* N. Y. Armonk. 12. 146-64.
65. Schepotin B.M. (1980). To the question about sine arrhythmia. *Vrachebnoe delo.* 4. 42-5.

**Summary.** *Zavhorodnia V.A., Kovalenko S.O., Rybalko A.V., Tokar S.I. The Influence of Respiration upon the Oscillation Duration of R-R Interval and Cardiac Output.*

**Introduction.** *Assessing the impact of external respiration upon haemodynamics help, firstly, to estimate the functional state of cardio-vascular system and, secondly, to find the most efficient control regimes of this state using the regulation of respiration movements.*

**Purpose.** *To analyze scientific literature concerning the influence of external respiration upon wave processes in haemodynamics.*

**Methods.** *The analysis of scientific literature.*

**Results.** *The investigation of changes in heart rhythm variability and blood stroke volume at verbalization, regulated breathing, and resistance to respiration movements is analyzed. The signs and mechanisms of respiratory sinus arrhythmia are characterized. The changes in the wave structure of haemodynamic indicators in persons with different respiration typology are described.*

**Originality.** *It is found that there are no uniform value standards of hemodynamic changes under the influence of respiratory movements. There are few publications considering the oscillation of blood stroke volume in healthy people and cross-spectral analysis of this indicator with the changes of R-R interval duration. Some aspects of respiration sinus arrhythmia, particularly, with regulated respiration have not been studied yet.*

**Conclusion.** *The literature analysis shows the necessity of further investigation of both methodical and theoretical aspects of respiration influence upon the wave indicators of haemodynamics.*

**Key words:** *heart rhythm variability, external respiration.*

<sup>1</sup>Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

<sup>2</sup>Черкаський державний технологічний університет

Одержано редакцією 10.12.2015

Прийнято до публікації 05.02.2016