

# Функціональні перебудови кардіогемодинаміки людини при морському кінетозі

Є.В. Моїсеєнко

Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Київ; e-mail: moiseyenkoev@gmail.com

*Метою дослідження було визначення функціональних змін кардіогемодинаміки при дозованій фізичній активності людини в умовах морської штормової хитавиці та особливостей церебральної біоритміки, котрі можуть свідчити про розвиток модифікаційних перебудов механізмів центральної регуляції функціональних систем організму. Дослідження проведено за участі 23 фахівців антарктичної експедиції (чоловіки віком від 24 до 45 років). Вони долали морським шляхом протоку Дрейка: хвилювання моря – 7 балів, кут хитавиці судна – 12°, тривалість переходу – 4 доби. Визначено, що перебування людини в умовах морської хитавиці призводить до змін механізмів вазоконстрикторної регуляції, на що вказують різні коливання артеріального тиску при функціональній діагностиці та зростання навантаження на діяльність серця внаслідок підвищення пульсового та діастолічного тиску, а також відсутності динаміки відновлення після виконання фізичної роботи. Показано, що внаслідок морського кінетозу у структурі церебральної біоритміки зростають потужності  $\beta_1$ - і  $\beta_2$ -ритмів у проєкціях кори головного мозку. Такі зміни можуть свідчити про певну участь центральних механізмів у перебудовах регуляції функціональних резервів кардіогемодинаміки. Передбачається, що при застосуванні медичних засобів для пацієнтів кардіологічного профілю в умовах морської хитавиці доцільно враховувати наявність особливостей змін центральної та регіональної регуляції функції кровообігу.*

*Ключові слова:* морський кінетоз; система кровообігу; кардіогемодинаміка; психофізіологічні функції; церебральна біоритміка.

## ВСТУП

Провідною причиною виникнення кінетозу, згідно з поширеною нині концепцією сенсорного конфлікту, вважається дисрегуляція інтеграційних центрів мозку внаслідок неузгодженого надходження до них інформаційних потоків від сенсорних систем. Розлади механізмів сенсорного сприйняття інформації призводить до конфлікту при їхньому поєднанні, що проявляється характерними ознаками захворювання [1]. У результаті може змінюватися біоритмічна організація електричної активності головного мозку з модифікацією центральних механізмів регуляції, що неодмінно позначиться на перебудовах психофізіологічних функцій і, насамперед, системи кровообігу [2].

Особливістю дії штормової морської

хитавиці на систему кровообігу людини є штучне створення перманентного стану мікрогравітації та прискорення, що провокує вимушений напрям перерозподілу загального та регіонального кровотоку і стимулює включення механізмів активації серцево-судинної системи у реалізацію функціональних резервів кардіогемодинаміки для забезпечення кисневого гомеостазу організму [3].

Відомо, що медикаментозна корекція морського кінетозу лише нівелює несприятливу симптоматику, не впливаючи на причини її виникнення, оскільки фундаментальні механізми розвитку подібної патології залишаються мало вивченими. Тому вирішення проблеми адекватного застосування навіть традиційних терапевтичних засобів для корекції можливих порушень у серцево-судинній системі людини, яка тривалий

час знаходиться під дією екстремальних факторів штормового моря, прямо залежить від досконалості знань механізмів адаптації кровообігу до таких умов.

Мета нашої роботи полягала у визначенні особливостей адаптаційних перебудов кардіогемодинаміки людини при багатодобовому штормовому морському переході та виявленні змін у структурі біоритмічної організації електричної активності головного мозку як можливих ознак модифікації механізмів центральної регуляції функціональних систем організму внаслідок дії морського кінетозу.

## МЕТОДИКА

У дослідженнях взяли участь 23 фахівці антарктичної експедиції (фізично здорові чоловіки віком від 24 до 45 років), що долали морським шляхом протоку Дрейка. Умови переходу протоки Дрейка: хвилювання моря – 7 балів, кут корабельної хитавиці – 12°, тривалість переходу – 4 доби. Обстеження проводили до та після морського переходу через протоку Дрейка, а також кожного дня перебування у морських штормових умовах. Прояви морської хвороби були різного ступеня тяжкості і супроводжувались ознаками пригніченості, відсутності апетиту, нудотою тощо. Систолічний і діастолічний артеріальний тиск вимірювали на правому передпліччі після 15 хв відпочинку у пацієнта, який сидів, за допомогою автоматичного осцилометричного пристрою (Omron 705CP, Японія). Два виміри проводили з інтервалом у 2 хв один від одного за котрим робили третій. Використовували середнє значення двох вимірів. За різницею значень розраховували пульсовий тиск. Значення систолічного і діастолічного артеріального тиску та частоти серцевих скорочень (ЧСС) реєстрували кожного дня перебування у морських умовах (о 8.00 та о 20.00). Дозоване фізичне навантаження потужністю 50 та 100 Вт виконували за

допомогою велоергометра фірми “Tunturi” (Фінляндія) з синхронною реєстрацією ЕКГ у другому стандартному відведенні і ЧСС та артеріального тиску до і після кожного етапу навантаження. Велоергометричні дослідження проводили у першій половині дня на 2-гу і 3-тю добу перебування у протоці Дрейка. ЕЕГ реєстрували за допомогою електроенцефалографа «Tredex Expert TM» (Україна) до і після перебування в умовах морської хитавиці. ЕЕГ-потенціали відводили монополярно у фронтальних (F3, F4, F7, F8), центральних (C3, C4), тім'яних (P3, P4), скроневих (T3, T4, T5, T6) і потиличних (O1, O2) проєкціях кори головного мозку відповідно до міжнародної системи «10–20». Амплітуду ЕЕГ отримували за допомогою Фур'є-перетворення, епоха аналізу становила 2,56 с. Час реєстрації ЕЕГ сягав 60–90 с. Аналізували значення потужності (мкВ<sup>2</sup>/Гц) ритмів ЕЕГ. Статистичний аналіз проводили за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) [4].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При морському переході штормової протоки Дрейка ознаки розвитку кінетозу спостерігали у всіх чоловіків. Вони прагнули перебувати у горизонтальному положенні та з обмеженням у харчуванні. При щоденній реєстрації артеріального тиску у стані спокою не виявлено суттєвих відмінностей упродовж першої доби порівняно з контролем і лише ЧСС дещо підвищувалась у вечірні години. У наступні 3 доби спостерігалось стійке зростання діастолічного тиску при незначних коливаннях систолічного тиску, що призводило до зниження пульсового тиску на завершальному етапі перебування у морі. При цьому ознак тахікардії ні у вечірні, ні у ранкові часи не виявлено. Така ситуація могла свідчити про прихованість змін у регуляції роботи серця, оскільки зростання діастолічного тиску і зниження пульсового тиску, особливо після 2-ї доби морського кінетозу, є ознаками

збільшення гемодинамічного навантаження на серце, що неодмінно супроводжується включенням додаткових зусиль з боку механізмів реалізації функціональних резервів кардіогемодинаміки [5].

Для визначення функціонального стану кардіогемодинаміки традиційно застосовується діагностична проба з дозованим фізичним навантаженням [6]. Тому у складних для досліджень умовах за допомогою велоергометрії всі учасники виконували дозовану фізичну роботу потужністю 50 і 100 Вт з реєстрацією ЕКГ і артеріального тиску при фізичному навантаженні та у період відновлення. Під час 2-ї доби перебування у морі характерною особливістю реакції серцевого ритму на виконання дозованої фізичної роботи було зростання пульсу при початковій потужності навантаження (50 Вт) і відсутність подальшого достовірного збільшення їхнього значення при дворазовому збільшенні потужності роботи (рис. 1). За 1-шу хвилину після виконання роботи ЧСС була більшою від контролю на 23,9% і упродовж відновлення залишалася на статистично вищому рівні порівняно з вихідними значеннями (на 19,9%). При цьому перше навантаження супроводжувалося

закономірним збільшенням систолічного тиску, котрий залишався на такому самому рівні при більшому за потужністю другому етапі фізичної роботи. За час відновлення систолічний тиск знижувався до рівня контролю. Діастолічний тиск зростав на першому і другому етапах виконання роботи. У відновлювальному періоді він також залишався вищим на 9,3% за контрольні значення (рис. 2). Пульсовий тиск підвищувався лише на першому етапі фізичної роботи і знижувався до вихідного рівня по закінченні періоду відновлення. Таким чином, функція кардіогемодинаміки за 2-у добу дії морської хитавиці характеризувалася стійким зростанням діастолічного тиску без відновлення після фізичної роботи. Це відбувалося на фоні відсутності збільшення пульсу і систолічного тиску при підйомі рівня фізичного навантаження. Неадекватна реакція на зростання фізичної роботи з боку ЧСС та систолічного тиску на фоні підвищення діастолічного тиску є свідченням змін механізмів вазоконстрикторної та серцевої регуляції, що можуть негативно позначитися на роботі серця, збільшуючи тривалість відновлення функціональних резервів [7].

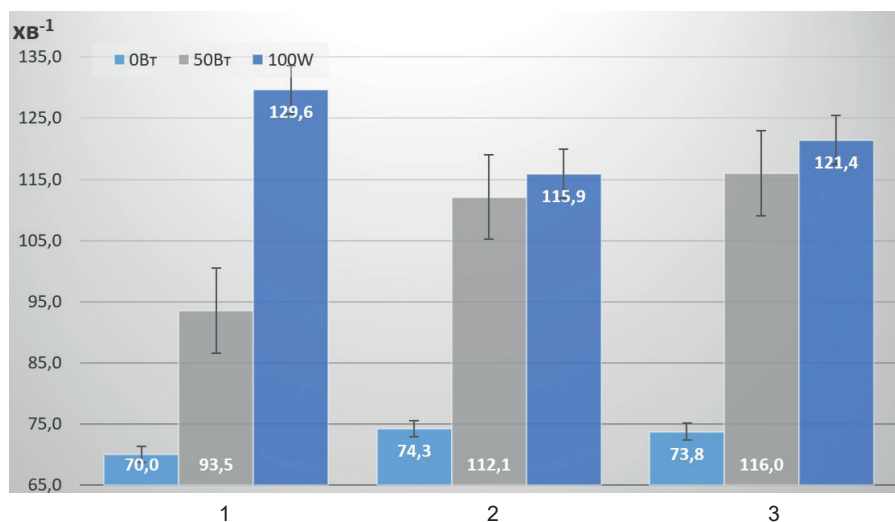


Рис.1. Зміни частоти серцевих скорочень людини при фізичному навантаженні: I – контроль, II і III – 2-га і 3-тя доба морського кінетозу; 1 – 0 Вт, 2 – 50 Вт, 3 – 100 Вт

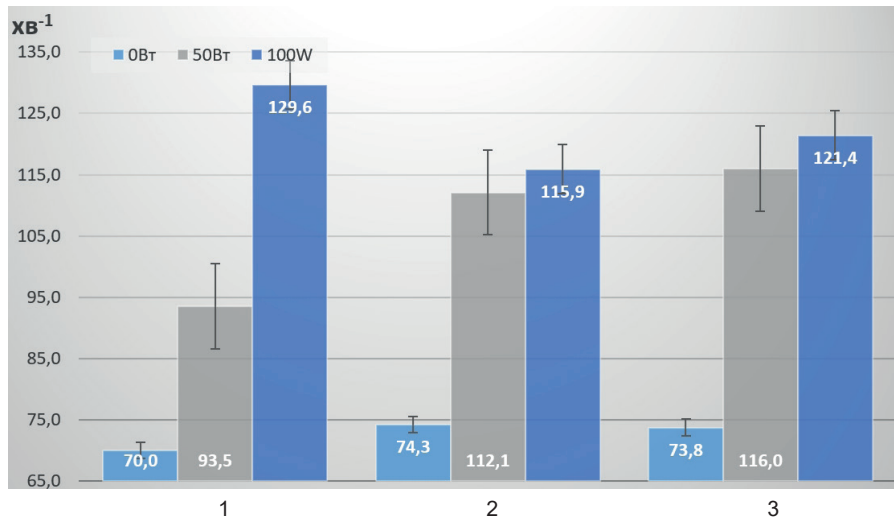


Рис. 2. Зміни діастолічного тиску людини при фізичному навантаженні: I – контроль, II і III – 2-га і 3-тя доба морського кінетозу; 1 – 0 Вт, 2 – 50 Вт, 3 – 100 Вт

За третю добу адаптації людини до штормової морської хитавиці при виконанні дозованого фізичного навантаження реакція ЧСС була аналогічною змінам попереднього дослідження (2-га доба) з наявністю тахікардії і після терміну відновлення. При цьому збільшене значення систолічного тиску при виконанні роботи залишалося і впродовж відновлення. Особливістю функції кардіогемодинаміки цього періоду перебування у морі було те, що діастолічний тиск був збільшений навіть у вихідному стані (на 8,8% порівняно з показниками 2-ї доби) і не змінювався при різних видах потужності фізичного навантаження. Тому пульсовий тиск також тримався на підвищеному рівні (див. рис. 2).

Отже, через 3 доби перебування у морі понижена реакція пульсу на фізичне навантаження залишалася на фоні стабільно збільшеного діастолічного тиску і варіацій підвищення пульсового тиску внаслідок флуктуацій систолічного артеріального тиску. За таких умов кардіогемодинамічне забезпечення фізичної роботи, очевидно, базується на зростанні серцевого викиду через підвищення об'ємного навантаження на серце та посилення постнавантажувальних

компонент від модифікованих впливів вазоконстрикторної регуляції [7]. Таким чином, адаптаційні перебудови кровообігу людини при морській хитавиці залежать від змін багаторівневої реалізації функціональних резервів систем організму, що підтверджується результатами досліджень церебрального електрогенезу, котрий віддзеркалює роботу центральних механізмів регуляції [8].

Аналіз результатів ЕЕГ після стресових умов морського переходу визначив наявність характерних змін церебрального електрогенезу, що полягали у зростанні потужності біоритмів, особливо, у  $\beta_1$ - і  $\beta_2$ -діапазонах (таблиця).

Зміни сягали статистичної достовірності відмінностей у медіальній лобній (F4) і центральній (C4) проєкціях правої півкулі, а також у центральній (C3) і задньо-скроневій (T5) проєкціях лівої півкулі. Схожа динаміка спостерігалась і з боку  $\beta_2$ -ритму: суттєве збільшення потужності у медіальних лобних (F4), латеральних лобних (F8) і центральних проєкціях (C4) правої півкулі, а також у латеральних лобних (F7) і центральних (C3) проєкціях лівої півкулі головного мозку.

Таким чином, потужність  $\beta_1$ - і  $\beta_2$ -ритмів збільшувалася переважно у центральних

Зміни потужності  $\beta_1$ - і  $\beta_2$ -ритму (мкВ<sup>2</sup>/Гц) у проєкціях кори головного мозку

Проєкції	$\beta_2$ -ритм		$\beta_1$ -ритм	
	до кінетозу	після кінетозу	до кінетозу	після кінетозу
F3	1,43±0,16	1,60±0,08	2,46±0,26	2,86±0,16
F4	1,34±0,17	2,39±0,41*	2,41±0,27	3,48±0,35*
F7	1,37±0,16	1,85±0,16*	2,46±0,28	2,96±0,22
F8	1,34±0,16	1,81±0,15*	2,45±0,28	2,92±0,18
T3	1,27±0,20	1,56±0,13	2,27±0,28	2,83±0,21
T4	1,30±0,17	1,70±0,13	2,33±0,29	2,95±0,20
C3	1,17±0,16	1,72±0,16*	2,07±0,24	2,89±0,25*
C4	1,20±0,16	1,83±0,17*	2,22±0,26	3,12±0,25*
T5	1,42±0,18	1,78±0,14	2,54±0,27	3,38±0,28*
T6	1,59±0,20	1,71±0,11	3,17±0,47	3,33±0,31
P3	1,33±0,18	1,77±0,13	2,91±0,44	3,59±0,38
P4	1,42±0,19	1,76±0,18	3,15±0,49	3,47±0,42
O1	2,05±0,35	2,83±0,48	3,85±0,56	4,52±0,42
O2	1,90±0,32	2,48±0,18	3,53±0,52	4,48±0,42

Примітка: рівень статистичної ймовірності відмінностей (\*) вірогідний за однофакторним дисперсійним критерієм ANOVA.

та лобних проєкціях кори головного мозку. Це може свідчити про очевидність порушень центральних механізмів регуляції, включаючи вегетативні розлади від стресового впливу морських штормових умов, а також регуляції системи кровообігу і, зокрема, функціональних резервів кардіогемодинаміки. Механізми адаптації котрих до морського кінетозу не достатньо вивчені [8].

## ВИСНОВКИ

1. При перебуванні людини в умовах штормової морської хитавиці кардіогемодинамічне забезпечення фізичної дозованої роботи характеризується зменшеним зростанням ЧСС, підвищеними значеннями пульсового і діастолічного тиску за відсутності повного відновлення після функціонального навантаження. Такі зміни можуть залежати від перебудов механізмів вазоконстрикторної регуляції та підвищення навантаження на діяльність серця.

2. Внаслідок дії морського кінетозу у структурі церебральної біоритміки зростають

потужності  $\beta_1$ - і  $\beta_2$ -ритмів переважно у центральних проєкціях кори головного мозку і можуть свідчити про певну участь центральних механізмів у перебудовах регуляції функціональних резервів кардіогемодинаміки.

*The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.*

**Ye.V. Moiseyenko**

## FUNCTIONAL REARRANGEMENTS OF HUMAN HEMODYNAMICS DURING MARINE KINETOSIS

*Bogomoletz Institute of Physiology National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv; e-mail: moiseyenkoiev@gmail.com*

The purpose of the study was to determine the functional changes in cardiohemodynamics during dosed physical activity of a person in the conditions of sea storm kinetosis and features of cerebral biorhythms, this may indicate the development of modification rearrangements of the mechanisms of central



regulation of the body's functional systems. The research was carried out with the participation of 23 specialists of the Antarctic expedition (men aged 24 to 45 years). They crossed the Drake Passage by sea: sea turbulence - 7 points, the ship's roll angle - 120, the duration of the crossing was 4 days. It was determined that a person's stay in the conditions of a sea wave leads to changes in the mechanisms of vasoconstrictor regulation, this was indicated by inadequate blood pressure fluctuations during functional diagnostics and an increase in the load on the heart's activity due to an increase in pulse and diastolic pressure and the lack of recovery dynamics after performing physical work. It was shown that as a result of marine kinetosis in the structure of cerebral biorhythms, the power of  $\beta_1$  and  $\beta_2$  rhythms in the projections of the cerebral cortex increases. Such changes may indicate a certain participation of central mechanisms in the reorganization of the regulation of functional reserves of cardiohemodynamics. It is assumed that when using medical devices for patients with a cardiac profile in conditions of seasickness, it is advisable to take into account the presence of features of changes in the central and regional regulation of blood circulation function. Key words: marine kinetosis; circulatory system; cardiohemodynamics; psychophysiological functions; cerebral biorhythms.

#### REFERENCES

1. Golding JF, Gresty MA. Pathophysiology and treatment of motion sickness. *J Current Opin Neurol.* 2015;28(1):83-8.
2. Li Z, Zhao L, Chang J, Li W, Yang M, Li C, Wang R, Ji L. EEG-based evaluation of motion sickness and reducing sensory conflict in a simulated autonomous driving environment. In: Proceedings of the 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). Glasgow, UK, 11 Jul 2022:4026-30.
3. Trinka IS, Moiseyenko YV. Actual aspects of hyperbaric physiology and medico-biological effects of inert gases. *J Military Med.* 2023;3(4):49-62. [Ukrainian].
4. Moiseyenko YV. Evaluation of the psycho-physiological state of operators of extreme activities. *Fiziol Zh.* 2023;69(2):29-36. [Ukrainian].
5. Guyton AC, Jones CE, Coleman TB. *Circulatory Physiology: Cardiac Output and Its Regulation.* ed 2, Philadelphia. 1973.
6. Pandikidis NI, Zhubrikova LA, Kolesnikova OV. Features of adaptation of cardiohemodynamics indices of medical students to physical exertion. *J Med. Biol Sports.* 2017;(4)2:87-93. [Ukrainian].
7. Radziejowska M, Moiseyenko Y, Radziejowski P. Oxygen supply system management in an overweight adult after 12 months in Antarctica. *J Environ Res Publ Health.* 2021;18:4077.
8. Moiseyenko Y, Sukhorukov V, Pyshnov G, Mankovska I, Rozova K, Miroshnychenko O, Kovalevska O, Madjar S, Bubnov R, Gorbach A, Danylenko K, Moiseyenko O. Antarctica challenges the new horizons in predictive, preventive, personalized medicine: Preliminary results and attractive hypothesis for multi-disciplinary prospective studies in the Ukrainian 'Akademik Vernadsky' Station. *J EPMA.* 2016;7(1):1-19.

*Матеріал надійшов  
до редакції 31.01.2024*