

УДК: 612.172.2-084:616.12-008.318-092.9

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ ВЕГЕТАТИВНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У НОРМОТЕНЗИВНИХ І СПОНТАННО ГІПЕРТЕНЗИВНИХ ЩУРІВ ЛІНІЇ SHR

*Бабійчук В.Г., Кандибко І.В., Ломакін І.І.,
Кудокоцева О.В., Бабійчук Л.В.*

Інститут проблем кріобіології і кріомедицини НАН України, Харків, Україна

У статті надана порівняльна характеристика стану вегетативної регуляції серцевого ритму у білих безпородних щурів, обраних в якості нормотензивного контролю, та спонтанно гіпертензивні щури (Spontaneously Hypertensive Rats, SHR) в якості моделі хронічної артеріальної гіпертензії. Показано, що у щурів із нормальним рівнем артеріального тиску тонус вегетативної нервової системи характеризується ейтонічною спрямованістю, що свідчить про наявність у них фізіологічних резервів, здатних забезпечити підтримку циркуляторного гомеостазу. Стабільно високі показники артеріального тиску у 12-місячних щурів лінії SHR призводять до значущого (на 30 %) збільшення показника відносної маси серця порівняно з контролем, що свідчить про розвиток у них гіпертрофії серця та ризик виникнення серцево-судинних захворювань. У цієї групи щурів також були зареєстровані зміни вегетативного балансу, що виражались в низькій синхронізації регуляторних складових і зростанні симпатичної ланки регуляції. Отримані в ході аналізу варіабельності серцевого ритму експериментальні дані свідчать про наявність явищ перенапруження і астенізації в регуляторних відділах центральної нервової системи у щурів з хронічною артеріальною гіпертензією, що з часом може призводити до проявів у них гіпертензивної форми дисциркуляторної енцефалопатії та передчасного старіння.

Ключові слова: *серцево-судинної система, хронічна артеріальна гіпертензія, варіабельність серцевого ритму.*



Цитуйте українською: Бабійчук ВГ, Кандибко ІВ, Ломакін ІІ, Кудокоцева ОВ, Бабійчук ЛВ. Порівняльна характеристика стану вегетативної регуляції серцевого ритму у нормотензивних і спонтанно гіпертензивних щурів лінії SHR. Експериментальна і клінічна медицина. 2024;93(1):16-24. <https://doi.org/10.35339/ekm.2024.93.1.bkl>

Cite in English: Babiichuk VG, Kandybko IV, Lomakin II, Kudokotseva OV, Babiichuk LV. Comparative characteristics of vegetative regulation state of heart rhythm in normotensive and spontaneously hypertensive rats. Experimental and Clinical Medicine. 2024;93(1):16-24. <https://doi.org/10.35339/ekm.2024.93.1.bkl> [in Ukrainian].

Архівовано (archived): <https://doi.org/10.5281/zenodo.12755576>

© Бабійчук В.Г., Кандибко І.В.,
Ломакін І.І., Кудокоцева О.В.,
Бабійчук Л.В., 2024

CC BY-NC-SA

© Babiichuk V.G., Kandybko I.V.,
Lomakin I.I., Kudokotseva O.V.,
Babiichuk L.V., 2024

Відповідальний автор: Кандибко І.В.
✉ Україна, 61016, м. Харків,
вул. Переяславська, 23.
E-mail: kandybko.i.v@gmail.com

Corresponding author: Kandybko I.V.
✉ Ukraine, 61016, Kharkiv,
Pereiaslavsk str., 23.
E-mail: kandybko.i.v@gmail.com

Вступ

Артеріальна Гіпертензія (АГ) є одним з найпоширеніших хронічних захворювань, яке виявляється у 13–15 млн людей в Україні та значно збільшує ризик розвитку серцево-судинних ускладнень та смертності [1–3].

Основні фактори ризику розвитку хронічної АГ (хАГ) формують послідовність патофізіологічних подій, що призводять до прогресуючого ураження органів-мішеней, ремоделювання судинної стінки, серця та до клінічної маніфестації Серцево-Судинних Захворювань (ССЗ) [2; 3]. Порушення зв'язків в системі регуляції енергетичного гомеостазу формують зміни взаємозв'язку симпатичного та парасимпатичного відділів ЦНС і гуморальних впливів, що забезпечують оптимальну адаптацію до мінливих умов внутрішнього та зовнішнього середовища. Центральною інтегруючою ланкою цих процесів є гіпоталамус та підкоркові центри, а однією з головних еферентних ланок – вегетативна нервова система (ВНС). Враховуючи, що порушення функції ВНС є основою розвитку багатьох захворювань ССС, особливого значення в умовах дії хАГ набуває функціональний стан Центральної Нервової Системи (ЦНС) і ССС та їх вплив на формування регуляторних процесів [2].

Оцінка стану функціональної напруги регуляторних і адаптаційно-компенсаторних реакцій з боку ЦНС та ССС вкрай необхідна при стійких змінах органів і систем організму, які були сформовані в умовах розвитку патологічного процесу. При наступних коректних терапевтичних діях взаємозамінність

і взаємокомпенсація всередині даних функціональних систем дозволять створити в організмі умови для забезпечення кінцевого позитивного пристосувального результату.

Регуляторні впливи ВНС знаходять своє відображення у Варіабельності Серцевого Ритму (ВСР). Визначення ВСР є найбільш інформативним неінвазивним методом кількісної оцінки вегетативної регуляції серцевого ритму – мінливості тривалості інтервалів R-R, послідовних циклів серцевих скорочень за певні проміжки часу. ВСР також визначають як сукупність властивостей динамічного ряду миттєвих частот серцевих скорочень, що визначаються нелінійністю симпатичної, парасимпатичної та гуморальної регуляції та їх існуючими взаємозв'язками [4–6].

Відомо, що причиною гіпертонічної хвороби можуть бути як екзогенні фактори, так і генетичні механізми, що стають все більш поширеними разом із стрімким розвитком сучасного світу [2; 3].

Серед існуючої великої кількості експериментальних моделей АГ спонтанно гіпертензивні щури (Spontaneously Hypertensive Rats, SHR) розглядаються як найбільш тотожні генетично детермінованої есенціальній гіпертензії людини. Артеріальний Тиск (АТ) починає підвищуватися у цих тварин з 3-х місячного віку, досягаючи свого плато 200 мм рт. ст. на 7–15-му тижнях життя. Розвиток хАГ у щурів SHR пов'язують з полігенетичними змінами, з залученням 4-х генів (*Galr2*, *Kcnh1*, *Ache*, *Chrm2* та *Slc5a7*). Відомо також, що у SHR, на відміну від нормотензивних, спостерігається високий ризик ССЗ [7; 8].

Мета роботи – порівняльна характеристика стану вегетативної регуляції серцевого ритму у нормотензивних і спонтанно гіпертензивних спонтанно щурів з генетично детермінованою хронічною артеріальною гіпертензією.

Матеріали та методи

Дослідження виконані на статевозрілих щурах-самцях віком 12–13 місяців. Експерименти були проведені на білих безпородних (нормотензивний контроль) і спонтанно гіпертензивних щурах лінії SHR відповідно до Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2006) при дотриманні вимог Комітету з біоетики Інституту проблем кріобіології і кріомедицини НАН України (ІПКіК НАН України, 2020), узгоджених з положеннями «Європейської конвенції по захисту хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986).

Щури лінії SHR були обрані в якості моделі хАГ [7; 8]. Нормотензивним контролем були білі безпородні щури.

Усі тварини утримувались в умовах виварію ІПКіК НАН України зі стандартним харчовим раціоном і вільним доступом до їжі і води. Маніпуляції зі щурами виконували в першій половині дня.

Тварини були розділені на 2 групи (по 9 в кожній): 1 – нормотензивний контроль (N); 2 – спонтанно гіпертензивні щури (SHR).

АТ вимірювали непрямим методом за принципом медичної тонометрії, за допомогою електрокардіографа «Полі-Спектр» (компанія «Нейро-Софт»), з використанням спеціальні притискні манжетки "Microlife BP BEO-4" (Microlife, Швейцарія) і датчики пульсу кровоносних судин хвоста тварини [6].

Відносна маса серця визначалась як співвідношення маси серця і маси тіла за формулою: (маса серця, г) × (100/[маса тіла, г]).

Метод аналізу ВСП заснований на розпізнаванні і вимірюванні часових інтервалів між RR-інтервалами ЕКГ, побудові динамічних рядів кардіоінтервалів (кардіоінтервалограми) з подальшим аналізом отриманих числових рядів. Математично метод виконується перетворенням Фур'є з побудовою спектрограми й підрахунком площі спектра у виділених частотних діапазонах [5; 9; 10]. При цьому будується варіаційна крива (крива розподілу кардіоінтервалів або гістограма) і визначаються її основні характеристики: мода (M_0) як показник стану гуморального каналу регуляції ритму серця, яка представляє діапазон найбільш часто зустрічаємих значень RR-інтервалів; амплітуда моди (AM_0), що характеризує симпатичну активність і представляє число кардіоінтервалів, які відповідають значенням або діапазону моди. Обчислюється Показник Адекватності Процесів Регуляції (ПАПР), що відображає відповідність активності симпатичного відділу ВНС і ведучого рівня функціонування синусового вузла, за формулою: $ПАПР = AM_0 / M_0$.

Застосування спектрального аналізу дозволяє кількісно оцінити різні частотні складові коливань ритму серця і наочно графічно представити співвідношення різних компонентів серцевого ритму, що відображають активність певних ланок регуляторного механізму [5; 9].

Потужність хвиль в області високих частот спектра ВСП (High Frequencies, HF) характеризує активність парасимпатичного (вагусного) кардіоінгібіторного центру довгастого мозку. Зміна активності вазомоторного центру довгастого мозку відображені в коливаннях низькочастотного компонента (Low Frequencies, LF). Потужність дуже наднизькочастотного компонента (Very Low Frequencies, VLF) є індикатором управління гуморально-метаболічними процесами. Хвилі в цій області частот тісно

пов'язані з психоемоційним напруженням.

Керуючись рекомендаціями для проведення спектрального аналізу ВСР у щурів [11], ми виділили та проаналізували наступні показники:

HF (мс²) – потужність високочастотних коливань у діапазоні (0,8–3,0) Гц;

LF (мс²) – потужність низькочастотних коливань у діапазоні (0,05–0,79) Гц;

VLF (мс²) – потужність спектра кардіоритму в області дуже низьких частот (0,015–0,04) Гц.

Визначали також Індекс Вегетативної Рівноваги (ІВР), який вказує на співвідношення між активністю симпатичного та парасимпатичного відділів ВНС, та Індекс Централізації (ІЦ), рівний (HF+LF/VLF).

Статистичну обробку отриманих морфометричних даних проводили за допомогою програмного забезпечення Excel (Microsoft, США), представляли у вигляді середньої арифметичної величини (M) та помилки середньої арифметичної величини (m). На підставі U -критерію Манна-Уїтні між групами розраховували ймовірність відмінностей, які вважали значущими при $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

У стані спокою варіації кардіоінтервалів являють собою налаштування механізмів контролю серцебиття до характеру діяльності керуючих систем. В першій частині експерименту нами були виявлені особливості, характерні для Вегетативної Регуляції ритму Серця (ВРС) у білих безпородних щурів. До таких особливостей відноситься чутливість показників ССС як індикатора адаптаційних реакцій всього організму. При статистичному аналізі отриманих показників ВРС встановлено, що у щурів із нормальним рівнем АТ основна маса вибірки (більше ніж [93,6±3,2] %) була представлена збалансованим нормотонічним станом вегетативною регуляцією, яка за

величиною вегетативного тону прийнята за вегетативну рівновагу (ейтонію), з оптимальним рівнем симпатичної активності. В такому стані вегетативна регуляція на міжсистемному рівні регуляції периферичних органів і систем більш чутлива до зниження активності парасимпатичного відділу, ніж симпатичного, та зберігає резерв для розвитку компенсаторних реакцій.

Проведене дослідження дозволило встановити переважний тип вегетативної регуляції серця у контрольних, нормотензивних щурів. Нормований розподіл показників ВРС у цих щурів використано в подальших експериментах як вихідний рівень при порівняльній оцінці.

У щурів лінії SHR віком 12 міс зазначалось зміщення показників ВРС в бік посилення симпатичного контуру вегетативної регуляції, що підтверджувалося статистично значущими змінами показників M_0 і A_{M_0} . Значуще підвищення ПАПР та ІЦ, імовірно, обумовлено зростанням впливу надсегментарного рівня регуляції на ритм серця, який відображає церебральні ерготропні впливи на периферичні нижче розташовані рівні (табл. 1).

Одночасно зростав у 1,45 раза ($p < 0,05$) ІВР, що підтверджує усунення вегетативного балансу у бік симпатикотонії. Стабільно високі показники АТ у щурів SHR та підвищена функція адренергічного відділу супроводжувалися приростом ПАПР ($p < 0,05$), що може свідчати про напругу функціональної активності та обмеження рухливості автономного контуру регуляції. Крім цього, в групі спонтанно гіпертензивних щурів виявлено збільшення ІЦ ($p < 0,05$), що можна асоціювати зі скороченням адаптаційного та функціонального резервів вегетативного контролю ритму серця.

Аналіз хвильової структури серцевого ритму показав, що у спонтанно гіпертензивних щурів віком 12 міс значення

Таблиця 1. Показники варіаційної пульсометрії
у нормотензивних і спонтанно гіпертензивних щурів лінії SHR

Групи щурів	Показники варіаційної пульсометрії				
	АМо	Мо	ПАПР	ІВР	ІЦ
1 (N)	88,4±2,4	0,17±0,01	514±21	0,42±0,08	0,2±0,02
2 (SHR)	94,8±2,2*	0,13±0,03*	746±16*	0,61±0,09*	6,5±0,10*

Примітки:

N – нормотензивний контроль (білі безпородні щури);

SHR – spontaneously hypertensive rats (спонтанно гіпертензивні щури);

АМо – амплітуда моди;

Мо – мода;

ПАПР – показник адекватності процесів регуляції;

ІВР – індекс вегетативної рівноваги;

ІЦ – індекс централізації;

* – статистично значущі відмінності від 1 групи щурів ($p < 0,05$).

загальної потужності спектра (TP) значуще збільшувалися (більш ніж в 2 рази) в порівнянні з нормотензивним контролем тієї ж вікової групи за рахунок підвищення тону вегетативних центрів, причому симпатичні впливи на міокард переважали над парасимпатичними. На спектрограмі це проявлялося збільшенням питомої ваги низько- та високочастотних хвиль (LF і HF-хвилі). У тварин SHR також мала місце тенденція до незначного підвищення активності гуморально-метаболічної ланки регуляції (VLF-компонент).

Виявлено збільшення загальної потужності спектра (TP) ВРС в групі SHR ($p < 0,05$), головним чином за рахунок показників вегетативної регуляції. При цьому LF/HF зростає в 1,7 рази, що відображає зниження парасимпатичного впливу на ВРС у щурів з хАГ порівняно з тваринами групи N. Виявлені у щурів SHR зміни показників ВРС підтверджують недостатність нейрогуморальної авторегуляції кровообігу та посилення централізації управління роботою серця. Безперечно, що надмірна централізація управління хронотропною функцією серця позбавляє систему рухливості, обме-

жує її адаптаційні можливості, веде до патологічних відхилень.

Таким чином, у статевозрілих щурів SHR віком 12 міс виявлялися зміни вегетативного балансу, що виражались в низькій синхронізації регуляторних складових і зростанні симпатичної ланки регуляції. Отримані в ході аналізу ВРС експериментальні дані ймовірно свідчать про наявність явищ перенапруження й астенізації в регуляторних відділах ЦНС у тварин з хАГ, що з часом може призводити до проявів ССЗ, гіпертензивної форми дисциркуляторної енцефалопатії та передчасного старіння всіх функціональних систем організму.

АГ розвивається в багатьох випадках внаслідок взаємодії складних судинних, нейрогенних, гормональних, ниркових та метаболічних регуляторних механізмів [2; 3]. Нерідко спостерігається функціональний дисбаланс ВНС із домінуванням симпатичної нервової системи, що ми і спостерігали в наших експериментах. Ця хронічна підвищена симпатична активність може призвести до несприятливих гемодинамічних ефектів, у тому числі до артеріальної та артеріольної вазоконстрикції, підвищення сис-

темного судинного опору та порушення серцевого циклу.

Розвиток вегетативної дисфункції у щурів групи SHR супроводжувався значущим, в порівнянні зі щурами групи N, підвищенням АТ. Так, у тварин групи SHR показники Систолічного АТ (САТ) склали (209,3±5,5) мм рт. ст. проти (124,1±3,2) мм рт. ст. для нормотензивного контролю. Показники Діастолічного АТ (ДАТ) склали (123,1±3,4) мм рт. ст. проти (91,9±2,2) мм рт. ст. для нормотензивного контролю (табл. 2).

Іннервація серця парасимпатичною та симпатичною нервовою системами модулює частоту скорочення серцевого м'яза (іотропна активність) та ЧСС (хронотропна активність). Нами показано зростання ЧСС у щурів з хАГ (341±10) уд/хв проти (302±13) уд/хв для групи контролю ($p<0,05$) (табл. 2), що також може свідчити про прояви дисбалансу ВНС у спонтанно гіпертензивних щурів.

Враховуючи масу тіла експериментальних тварин та вагу серця, ми можемо говорити також про значуще (на 30 %) збільшення показника відносного

коефіцієнта маси серця у щурів SHR відносно групи N. Отримані результати підтверджують літературні дані щодо розвитку гіпертрофії серця у щурів лінії SHR [11] шляхом збільшення показника відносного коефіцієнта маси серця.

Таким чином, нами показано, що хАГ та ВНС тісно пов'язані між собою, тому будь які зміни в роботі ЦНС можуть призводити до вазомоторних порушень та ряду супутніх захворювань ССС. Вегетативна дисфункція також пов'язана з функціональними та структурними змінами в органах-мішенях (серце, мозок, нирки та кровоносні судини), що підвищує ризик ССЗ. ВСР, як метод оцінки вегетативної модуляції серця, може бути використаний в якості інструменту для клінічної оцінки розвитку патологічного процесу та оцінки ефективності наступних терапевтичних заходів.

Висновки

1. Тонус вегетативної нервової системи у щурів із нормальним рівнем артеріального тиску характеризується ейтонічною спрямованістю, що свідчить про наявність фізіологічних резервів, які забезпечують готовність підтримувати циркуляторний гомеостаз.

Таблиця 2. Показники відносного коефіцієнта маси серця, ЧСС та АТ нормотензивних і спонтанно гіпертензивних щурів лінії SHR

Групи щурів	Маса тіла, г	Маса серця, г	Відносна маса серця	ЧСС, уд/хв	Показники АТ, мм рт. ст.	
					САТ	ДАТ
1 (N)	358±7,1	0,98±0,02	0,27	302±13	124,1±3,2	91,9±2,2
2 (SHR)	349±5,7	1,22±0,04*	0,35*	341±10*	209,3±5,5*	123,1±3,4*

Примітка:

ЧСС – частота серцевих скорочень;

АТ – артеріальний тиск;

SHR – spontaneously hypertensive rats (спонтанно гіпертензивні щури);

N – нормотензивний контроль (білі безпородні щури);

САТ – систолічного артеріальний тиск;

ДАТ – діастолічний артеріальний тиск;

* – статистично значущі відмінності від 1 групи щурів ($p<0,05$).

2. Патогенетичні механізми, що лежать в основі підвищення артеріального тиску у щурів SHR, ініціюють каскад вегетативних, кардіальних та судинних порушень, які формують у них стійку артеріальну гіпертензію.

3. Стабільно високий рівень артеріального тиску у щурів лінії SHR супроводжується патологічними змінами варіабельності серцевого ритму, що значуще відрізняється від щурів, обраних за нормотензивний контроль. Характерними рисами вегетативної дисфункції

у спонтанно гіпертензивних щурів є підвищення активності симпатичного відділу та різка централізація регуляторних систем серцевого ритму за ерготропним типом.

Перспективність подальших досліджень полягає в розробці методів терапевтичного впливу, які дозволять знизити глибину проявів серцево-судинних захворювань у спонтанно-гіпертензивних щурів.

Конфлікт інтересів відсутній.

References

1. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: Developed by the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *European Heart Journal*. 2021;42(36):3599-726. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab368. PMID: 34447992.
2. Harrison DG, Coffman TM, Wilcox CS. Pathophysiology of Hypertension: The Mosaic Theory and Beyond. *Circ. Res.* 2021;128:847-63. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.121.318082. PMID: 33793328.
3. Saxena T, Ali AO, Saxena M. Pathophysiology of essential hypertension: An update. *Expert Rev. Cardiovasc. Ther.* 2018;16:879-87. DOI: 10.1080/14779072.2018.1540301. PMID: 30354851.
4. Maciorowska M, Krzesinski P, Wierzbowski R, Uzieblo-Zyczkowska B, Gielerak G. Associations between Heart Rate Variability Parameters and Hemodynamic Profiles in Patients with Primary Arterial Hypertension, Including Antihypertensive Treatment Effects. *J Clin Med*. 2022;11(13):3767. DOI: 10.3390/jcm11133767. PMID: 35807052.
5. Yugar LBT, Yugar-Toledo JC, Dinamarco N, Sedenho-Prado LG, Moreno BVD, Rubio TA, et al. The Role of Heart Rate Variability (HRV) in Different Hypertensive Syndromes. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(4):785. DOI: 10.3390/diagnostics13040785. PMID: 36832273.
6. Лісун ЮБ, Угльов ЕІ. Варіабельність серцевого ритму, застосування та методи аналізу. Знеболення, анестезія та інтенсивна терапія. 2020;4(93):83-9. DOI: 10.25284/2519-2078.4(93).2020.220693.
7. Lerman LO, Kurtz TW, Touyz RM, Ellison DH, Chade AR, Crowley SD, et al. Animal models of hypertension: A scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*. 2019;73(6):e87-120. DOI: 10.1161/HYP.000000000000090. PMID: 30866654.
8. Jama HA, Muralitharan RR, Xu C, O'Donnell JA, Bertagnolli M, Broughton BRS, et al. Rodent models of hypertension. *British Journal of Pharmacology*. 2022;179(5):918-37. DOI: 10.1111/bph.15650. PMID: 34363610.
9. Shaffer F, Ginsberg JP. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front. Public Health*. 2017;5:258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258. PMID: 29034226.
10. Chyzh M. Parameters of spectral analysis of heart rate variability in rats. *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. 2015;25(3):235-45. DOI: 10.15407/cryo25.03.235.

11. Li J, Kemp BA, Howell NL, Massey J, Minczuk K, Huang Q, et al. Metabolic Changes in Spontaneously Hypertensive Rat Hearts Precede Cardiac Dysfunction and Left Ventricular Hypertrophy. *J Am Heart Assoc.* 2019;8(4):e010926. DOI: 10.1161/JAHA.118.010926. PMID: 30764689.

Babiichuk V.G., Kandybko I.V., Lomakin I.I., Kudokotseva O.V., Babiichuk L.V.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF VEGETATIVE REGULATION STATE OF HEART RHYTHM IN NORMOTENSIVE AND SPONTANEOUSLY HYPERTENSIVE RATS

The paper covers a comparative description of the state of autonomic regulation of heart rhythm in purebred white rats, chosen as normotensive controls, and Spontaneously Hypertensive Rats (SHR) as a model of chronic arterial hypertension. In rats with a normal level of blood pressure, the tone of the autonomic nervous system is shown to be characterized by an eitonic orientation, which indicates the presence of physiological reserves capable of maintaining circulatory homeostasis. Sustained high blood pressure in 12-month-old SHR leads to a marked (by 30%) rise in the relative weight of the heart compared to controls, that indicates the development of cardiac hypertrophy in spontaneously hypertensive rats and the risk of developing cardiovascular diseases in them. In this group of rats, changes in the vegetative balance were also found, and they were expressed in the low synchronization of regulatory components and the growth of the regulation sympathetic link. The experimental data obtained during the analysis of heart rate variability demonstrate the presence of phenomena of overstrain and asthenia in the regulatory compartments of the central nervous system in rats with chronic arterial hypertension, which over time can result in manifestations of the hypertensive form of dyscirculatory encephalopathy and premature aging.

Keywords: *cardiovascular system, chronic arterial hypertension, heart rate variability.*

Надійшла до редакції 15.02.2024

Відомості про авторів:

Бабійчук Владислав Георгійович – доктор медичних наук, завідувач відділом кріофізіології Інституту проблем кріобіології і кріомедицини НАН України, м. Харків (ІПКіК НАН України).

Адреса: Україна, 61016, м. Харків, вул. Переяславська, 23; ІПКіК НАН України.

E-mail: babiichukvlad@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3341-5822.

Кандибко Ігор Валерійович – аспірант відділу кріофізіології ІПКіК НАН України

Адреса: Україна, 61016, м. Харків, вул. Переяславська, 23; ІПКіК НАН України.

E-mail: kandybko.i.v@gmail.com

ORCID: 0009-0005-6661-793X.

Ломакін Іван Іванович – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу кріофізіології ІПКіК НАН України.

Адреса: Україна, 61016, м. Харків, вул. Переяславська, 23; ІПКіК НАН України.

E-mail: 2ilomakin53@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6846-7385.

Кудокоцева Ольга Валентинівна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу кріофізіології ІПКіК НАН України.

Адреса: Україна, 61016, м. Харків, вул. Переяславська, 23; ІПКіК НАН України.

E-mail: kudokosha@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2980-0488.

Бабійчук Людмила Вікторівна – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу кріобіології системи репродукції ІПКіК НАН України.

Адреса: Україна, 61016, м. Харків, вул. Переяславська, 23; ІПКіК НАН України.

E-mail: babiichuk.lyudmila@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9380-6745.