

ОЦІНКА ВІКОВОЇ БРАДИКАРДІЧНОЇ ЗМІНИ ТА ЗБЕРЕЖЕНОЇ ДОБОВОЇ АВТОНОМНОЇ МОДУЛЯЦІЇ У УМОВНО ЗДОРОВИХ ЧОЛОВІКІВ ЗА ДАНИМИ 24-ГОДИННОГО ХОЛТЕРА

Д.С. ДУВАНОВ, Ю.С. ВАКАЛІ

Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка,
вул. Роменська, 87, м. Суми, 40000
e-mail: dsduvanov@ukr.net

У статті представлено результати дослідження вікових змін частоти серцевих скорочень (ЧСС) та добової модуляції показників варіабельності серцевого ритму (ВСР) в умовно здорових чоловіків різних вікових категорій. Обстежено 86 осіб віком 18-82 років, розподілених за класифікацією ВООЗ на чотири групи: група 1 (18-43 роки, $n=17$, середній вік $30,6 \pm 8,5$ роки), група 2 (46-59 р., $n=19$, середній вік $55,8 \pm 4,2$ р.), група 3 (60-72 р., $n=35$, середній вік $65,1 \pm 3,7$ р.) та група 4 (76-82 р., $n=16$, середній вік $78,1 \pm 1,9$ р.). Амбулаторне 24-годинне холтеровське моніторування ЕКГ виконували у ТОВ «МЕД-СОЮЗ» (м. Суми, Україна) на системі «КардіоСенс CS» (ТОВ «ХАІ-МЕДИКА», м. Харків, Україна). Аналізували часові параметри ВСР – середню ЧСС та денні показники mRR , $SDNNi$, $RMSSD$, а також спектральні параметри LF , HF , LF/HF та $AMo\%$. Медіанні значення добової середньої ЧСС у групах 1–4 становили відповідно 67,56 (61,75; 73,38), 68,89 (64,22; 73,56), 62,20 (57,53; 66,87) та 58,69 (52,88; 64,50) уд/хв, що відображає поступовий перехід від вищих значень у молодших та середнього віку чоловіків (1–2 групи) до нижчих у старших (3–4 групи). Денний mRR зростає переважно після 60 років: 882,19 (800,79; 963,59) мс у групі 1, 852,58 (770,18; 935,98) мс у групі 2, 958,31 (876,91; 1039,71) мс у групі 3 та 1007,19 (909,39; 1104,99) мс у групі 4. Показник $SDNNi$ статистично не відрізнявся ($p > 0,05$) між віковими групами (87,12 (58,82; 115,42), 99,07 (69,77; 128,37), 79,89 (50,59; 109,19) та 97,94 (69,64; 126,24) мс відповідно), тоді як $RMSSD$ мав тенденцію до зниження у групі 3 з подальшим частковим відновленням у групі 4: 58,56 (32,26; 84,86), 50,83 (24,53; 77,13), 27,49 (1,19; 53,79) та 37,81 (11,51; 64,11) мс. Записи поділяли на денний інтервал (08:00-22:00) і нічний (22:00-08:00). Перевірку нормальності здійснювали за критерієм Шапіро-Вілка (для більшості показників розподіл ненормальний, $p < 0,05$), міжгрупові порівняння – U -тестом Манна-Вітні ($p < 0,05$ для ЧСС та mRR). Виявлено виразний віковий брадикардичний тренд: ЧСС зменшується ($p = -0,41$; $p = 0,0047$), тоді як mRR зростає ($p = +0,43$; $p = 0,0006$). Основні параметри ВСР ($SDNNi$, $RMSSD$, TP , LF , HF) істотно між групами не різнилися ($p > 0,16$), водночас зберігається добова модуляція: LF/HF вдень $>$ вночі ($p = 0,00055$), LF вдень $>$ вночі ($p = 0,0056$), HF вночі $>$ вдень ($p = 0,073$). Показник $AMo\%$ має слабку тенденцію до зростання ($p = +0,13$; $p > 0,05$), а індекс маси тіла корелює зі зниженням LF/HF ($p = 0,085$). Сукупно ці дані свідчать про вікову брадикардію без вираженого спаду глобальної ВСР із збереженою циркадною автономною регуляцією, що вказує на адаптивну стійкість АНС у здорових чоловіків і обґрунтовує подальші дослідження серцево-судинного ризику.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, автономна нервова система, брадикардія, добова модуляція, чоловіки, вікові зміни

Вступ. Варіабельність серцевого ритму (ВСР) є інформативним, неінвазивним підходом для оцінки функціонального стану автономної нервової системи (АНС), що координує роботу серця та його відповіді на зовнішні впливи (Sammito et al., 2024). Коливання ВСР відображають баланс симпатичної й парасимпатичної активності через зміни у часових метриках (mRR , $SDNNi$, $RMSSD$) та у частотних показниках (LF , HF , LF/HF) (Geovanini et al., 2020). З віком у нейрогуморальній регуляції серцевої діяльності виникають помітні зміни – від зниження частоти серцевих скорочень (ЧСС) (брадикардії) до потенційного ослаблення загальної варіабельності – як прояви фізіологічного

старіння (Malik et al., 1996; Alyahya et al., 2024). Для чоловіків ці процеси вікових змін нейрогуморальної регуляції серцевої діяльності описані менш детально, ніж для жінок, у яких гормональні чинники (зокрема андрогени) можуть модулювати автономну активність (Rodgers et al., 2019). Частка літніх чоловіків у світовій популяції стрімко зростає. Прогнози свідчать, що кількість чоловіків віком «65+» збільшиться з 232 млн у 2000 році до понад 710 млн у 2050-му. Водночас у старших вікових групах чоловіків менше, ніж жінок, і співвідношення статей із віком змінюється у бік експоненціального зменшення частки чоловіків: у середньому на 100 жінок 65 років і старше припадає близько 81 чоловіка, у групі «80+» –

63, а серед довгожителів «100+» – лише 26 чоловіків (United Nations, 2020). Окрім того для чоловіків характерні вища захворюваність і смертність від серцево-судинних захворювань (ССЗ) порівняно з жінками, особливо в середньому віці, що підкреслює необхідність системного моніторингу автономної регуляції серця саме для цієї демографічної групи (Rodgers et al., 2019).

Доцільність аналізу ВСР в умовно здорових чоловіків зумовлена кількома аспектами. По-перше, вікове уповільнення ЧСС часто має адаптивний характер, однак здатне приховувати субклінічні кардіоризики, зокрема схильність до аритмій (Asarcikli et al., 2022). По-друге, збережена добова (циркадна) модуляція ВСР – із відносною симпатичною перевагою вдень та парасимпатичною вночі – виступає індикатором функціональної цілісності АНС і дає змогу фіксувати вікові зміни (Shen et al., 2025). Зокрема, стабільність співвідношення LF/HF та показника АМо% може відображати компенсаторні механізми (Sundas et al., 2025). Нарешті, індекс маси тіла (ІМТ) впливає на автономний баланс: ожиріння корелює з тенденцією до зниження показника LF/HF, що набуває значення в контексті старіння (Rastović et al., 2019).

Метою дослідження було детально охарактеризувати вікове уповільнення ЧСС та підтвердити збереження добової (циркадної) модуляції показників ВСР в умовно здорових чоловіків із чотирьох вікових груп за даними 24-годинного холтерівського моніторингу. Основні завдання охоплювали ідентифікацію вікових змін, аналіз денних і нічних розбіжностей показників та оцінку їхньої клінічної значущості в контексті профілактики ССЗ.

Матеріал і методи. У вибірку досліджуваних увійшли 86 умовно здорових чоловіків віком 18–82 років, яких стратифіковано за класифікацією ВООЗ, оновленою у 2025 році, на чотири вікові групи: група 1 (18–43 роки, n=17), група 2 (46–59 років, n=19), група 3 (60–72 роки, n=35) та група 4 (76–82 роки, n=16) (Dolphin et al., 2022). Усі учасники не мали скарг на здоров'я та серцево-судинних захворювань в анамнезі та надали письмову інформовану згоду. Обстеження проводили у медичному центрі ТОВ «МЕД-СОЮЗ» (м. Суми, Україна) із застосуванням сертифікованої для клінічного використання системи добового амбулаторного холтерівського моніторингу ЕКГ «КардіоСенс CS» (ТОВ «ХАІ-МЕДІКА», м. Харків, Україна). Дослідження проводилось у 2021–2023 роках. Холтерівське моніторування виконували в

режимі звичайної для обстежених повсякденної активності з веденням стандартного щоденника, без спеціальної реєстрації епізодів повітряних тривог чи інших зовнішніх стресових подій. Таким чином, отримані записи 2022 та 2023 років відображають функціонування серцево-судинної системи в умовах хронічного стресового фону, характерного для даного регіону у зазначений період.

Реєстрацію ЕКГ проводили протягом 24 годин із подальшим поділом записів на денний інтервал (08:00–22:00) та нічний (22:00–08:00). Оцінювали часові параметри ВСР: середню ЧСС, середній інтервал RR (mRR), стандартне відхилення інтервалів RR (SDNNi) та квадратний корінь із середнього квадрата різниць послідовних RR-інтервалів (RMSSD); а також частотні показники: низькочастотну компоненту (LF, 0,04–0,15 Гц), високочастотну компоненту (HF, 0,15–0,4 Гц), співвідношення LF/HF і індекс автономної регуляції (АМо%) (Geovanini et al., 2020). Сукупність цих параметрів відображає як центральні, так і периферичні рівні нейрогуморального контролю з акцентом на симпато-вагусний баланс (Brozat et al., 2025). Додатково обчислювали індекс маси тіла за формулою: $ІМТ = \text{вага (кг)} / \text{зріст (м)}^2$.

Для зниження впливу зовнішніх факторів учасникам за 24 години до моніторингу рекомендували утриматися від кофеїну, алкоголю та інтенсивних фізичних навантажень. Первинну обробку даних здійснювали за допомогою вбудованого базового програмного забезпечення «КардіоСенс CS». Перевірку нормальності розподілу виконували за критерієм Шапіро-Вілка та тестом Колмогорова-Смирнова (табл. 1). З огляду на те, що більшість показників мали ненормальний розподіл ($p < 0,05$), для порівняння денних і нічних значень застосовували критерій Вілкоксона для парних порівнянь, а для міжгрупових порівнянь застосовували непараметричний U-тест Манна-Вітні для незалежних вибірок (Gibbons & Chakraborti, 2020, p. 120). Статистичні розрахунки проводили в IBM SPSS Statistics 25, статистичну значущість результатів оцінювали на рівні $p < 0,05$.

Результати та обговорення. Між віковими групами не виявлено суттєвих відмінностей за масою тіла, зростом та індексом маси тіла, що дає змогу розглядати вибірку як відносно однорідну за основними конституціональними показниками. Середні добові значення частоти серцевих скорочень у всіх групах перебували в межах фізіологічної норми і не свідчили про наявність вираженої тахі- або брадикардії в стані звичайної повсякденної активності.

Таблиця 1.

Критерії нормального розподілу за результатами перевірки нормальності розподілу показників ВСР

Table 1.

Criteria for normal distribution based on the results of testing the normality of the distribution of HRV indicators

Показник	Вікова група	Колмогорова-Смирнова			Критерій Шапіро-Вілка		
		Статистика	ст.св.	Значимість	Статистика	ст.св.	Значимість
Сер. ЧСС, уд/хв (добове)	Вся вибірка	0,145	86	0,002	0,912	86	0,002
mRR, мс (день)	Вся вибірка	0,189	86	0,000	0,875	86	0,000
LF, мс2 (день)	Група 1	0,236	17	0,004	0,802	17	0,001
	Група 2	0,291	19	0,064	0,745	19	0,000
	Група 3	0,285	35	0,005	0,663	35	0,000
	Група 4	0,205	16	0,001	0,818	16	0,000
HF, мс2 (ніч)	Група 1	0,220	17	0,009	0,850	17	0,004
	Група 2	0,280	19	0,083	0,750	19	0,000
	Група 3	0,389	35	0,000	0,541	35	0,000
	Група 4	0,298	16	0,000	0,792	16	0,000
LF/HF (день)	Група 1	0,243	17	0,002	0,810	17	0,001
	Група 2	0,206	19	0,200*	0,925	19	0,140
	Група 3	0,120	35	0,200*	0,941	35	0,061
	Група 4	0,197	16	0,001	0,910	16	0,006
АМо, % (день)	Група 1	0,111	17	0,200*	0,939	17	0,208
	Група 2	0,205	19	0,200*	0,898	19	0,045
	Група 3	0,169	35	0,200*	0,907	35	0,006
	Група 4	0,282	16	0,000	0,509	16	0,000

Групи 1–4 (18–82 роки); * – нижня межа значимості; ст.св. – ступені свободи (ст.св. = n, де n – кількість досліджуваних у групі). $p < 0,05$ – ненормальний розподіл.

Groups 1–4 (18–82 years); * – lower limit of significance; df. – degrees of freedom (df. = n, where n – number of subjects in the group). $p < 0.05$ – non-normal distribution

Перевірки на нормальність продемонстрували, що більшість показників ВСР у всій вибірці та в усіх чотирьох вікових групах мають ненормальний розподіл (табл. 1), тому для подальшого аналізу використовували непараметричні методи: критерій Вілкоксона для порівняння денних і нічних значень та U-тест Манна-Вітні для міжгрупових зіставлень.

За спектральними показниками зберігається типова добова модуляція автономної регуляції. У денний період в усіх вікових групах відносно вищими були значення LF та співвідношення LF/HF, що відображає переважає симпатичного компонента регуляції, тоді як у нічний час зростали HF та АМо%, що відповідає посиленню парасимпатичного впливу під час сну (табл. 2). При цьому між віковими групами не виявлено статистично достовірних відмінностей за LF, HF, LF/HF та АМо% ні вдень, ні вночі (однакові літерні позначення в табл. 2), тобто характер добової модуляції спектральних показників залишається подібним у всьому діапазоні віку. Це підтверджує збереження добової модуляції автономної регуляції незалежно від віку.

Часові параметри також відображають вікові особливості. Денні значення середньої ЧСС були вищими у молодших і чоловіків середнього віку (групи 1–2) порівняно зі старшими (групи 3–4), тоді як уночі міжгрупових відмінностей практично не спостерігалось (табл. 2). Відповідно, денний mRR у групах 3–4 був довшим, ніж у групах 1–2, що узгоджується з формуванням брадикардичного зсуву саме у старших вікових групах. У нічний період mRR збільшувався в усіх групах, але залишався взаємно співставним. Показник SDNNi, який характеризує загальну варіабельність, не мав статистично значущих відмінностей між групами ні вдень, ні вночі (усі групи позначені однаковими літерами в табл. 2), що свідчить про відсутність вираженого вікового зниження глобальної ВСР. Парасимпатично залежний RMSSD у денний час мав вищі значення в молодших і чоловіків середнього віку, у групі 60–72 років спостерігалась тенденція до їх зниження.

Таблиця 2.

Середні показники варіабельності серцевого ритму у групах 1–4 (медіана [25-й; 75-й процентиля])

Table 2.

Mean heart rate variability in groups 1–4 (median [25th; 75th percentile])

Показник	Період	Група 1 (n=17)	Група 2 (n=19)	Група 3 (n=35)	Група 4 (n=16)	p (Вілкоксон)
Сер. ЧСС, уд/хв	День	69.8 [63.8; 74.0] a	73.5 [67.3; 76.9] a	64.5 [57.9; 68.3] b	61.3 [53.7; 64.9] b	<0,0001
	Ніч	55.7 [53.0; 70.7] a	61.9 [55.5; 71.4] a	56.0 [48.7; 63.2] a	54.2 [47.9; 55.3] a	
mRR, мс	День	860 [811; 940] a	816 [780; 892] a	930 [878; 1036] b	980 [925; 1118] b	<0,0001
	Ніч	1078 [848; 1132] a	970 [840; 1082] a	1071 [950; 1232] a	1106 [1085; 1253] a	
SDNNi, мс	День	68 [50; 105] a	69 [53; 147] a	51 [21; 102] a	56 [38; 124] a	0,312
	Ніч	48 [45; 83] a	82 [45; 205] a	45 [22; 108] a	49 [24; 109] a	
RMSSD, мс	День	66 [40; 104] a	78 [50; 214] a	54 [18; 104] a	82 [24; 196] a	0,026
	Ніч	54 [38; 80] a	93 [56; 308] a	55 [24; 78] a	69 [39; 113] a	
LF, мс ²	День	1174 [408; 1936] a	777 [404; 4730] a	567 [73; 2288] a	487 [95; 6496] a	0,006
	Ніч	1142 [490; 1678] a	1440 [828; 11633] a	706 [204; 1856] a	653 [210; 1946] a	
HF, мс ²	День	966 [360; 2116] a	743 [471; 8829] a	537 [50; 2050] a	471 [62; 4365] a	0,073
	Ніч	500 [128; 1919] a	1570 [475; 15038] a	311 [36; 1884] a	699 [117; 6542] a	
LF/HF	День	1 [1; 2] a	1 [1; 1] a	1 [1; 1] a	1 [1; 1] a	0,001
	Ніч	1 [1; 1] a	1 [1; 1] a	1 [1; 1] a	1 [1; 1] a	
АМо, %	День	30 [19; 40] a	29 [26; 36] a	32 [27; 39] a	32 [24; 39] a	<0,0001
	Ніч	40 [37; 47] a	48 [34; 72] a	40 [37; 66] a	40 [37; 46] a	

p (Вілкоксон) – рівень статистичної значущості для порівняння денних і нічних значень відповідного показника у всій вибірці (критерій Вілкоксона для зв'язаних вибірок).

Літерні позначення (a, b) після числових значень відображають результати порівняльного аналізу між віковими групами: групи, позначені однаковими літерами, статистично не відрізняються між собою ($p > 0,05$), групи з різними літерами мають статистично достовірні відмінності ($p < 0,05$) за критерієм Манна–Вітні. Для денного середнього інтервалу RR групи 1–2 (молодші) відрізняються від груп 3–4 (старші); для інших показників достовірних міжгрупових відмінностей не виявлено.

p (Wilcoxon) – level of statistical significance for the comparison of daytime and nighttime values of the corresponding parameter in the whole sample (Wilcoxon signed-rank test for paired samples).

Letter codes (a, b) after the numerical values indicate the results of between-group comparisons: groups marked with the same letter do not differ significantly from each other ($p > 0.05$), whereas groups marked with different letters show statistically significant differences ($p < 0.05$) according to the Mann–Whitney test. For daytime mean RR interval, groups 1–2 (younger) differ from groups 3–4 (older); for the other parameters, no statistically significant between-group differences were found.

У найстаршій групі – тенденція до зростання (табл. 2), що вказує на звуження діапазону короткострокової варіабельності у чоловіків 60–72 років при збереженні парасимпатичних резервів у найстаршій групі.

Наведена ненормальність розподілу даних може свідчити не лише про статистичні особливості вибірки, а й про комплексність регуляторних механізмів у чоловіків зрілого та старшого віку. По-перше, асиметрія показників, зокрема LF та HF, відображає вплив поодиноких екстремальних значень і нерівномірність реакцій АНС у відповідь на добові навантаження (Asarcikli et al., 2022). Подібні розподіли для параметрів ВСР описані й в інших роботах, де підкреслюється важливість використання саме

непараметричних критеріїв для аналізу таких даних (Brozat et al., 2025). Асиметрія може відображати індивідуальні відмінності фізіологічного стану: різні рівні фізичної активності, гормональні зміни (зокрема постандропаузальний дефіцит тестостерону) та субклінічні порушення АНС, які впливають на ВСР (Asarcikli et al., 2022). По-друге, значущі результати тестів нормальності ($p < 0,05$) у поєднанні з відносно невеликими обсягами підгруп вказують на те, що класичні параметричні підходи можуть бути недостатньо надійними, тоді як медіани та інтерквартильні розмахи краще передають реальну структуру вибірки. Подібна асиметрія даних описується в роботах, як характерне явище для біологічних

даних у літніх чоловіків, де флуктуації можуть бути виразнішими через вікові зміни й індивідуальні особливості адаптації (Lee S. J. et al., 2025). По-третє, ненормальність розподілу віддзеркалює природну гетерогенність популяції: навіть за відсутності вираженої клінічної патології індивідуальні відмінності у способі життя, рівні стресу, фізичній активності й нейрогуморальному фоні роблять показники ВСР менш стабільними та однорідними (Sammito et al., 2024; Tanriver et al., 2023). Показово, що АМо% мав нормальний розподіл лише в групі 1, що узгоджується з відносною стабільністю автономної регуляції в середньому віці; у старшій когорті його ненормальність може свідчити про більшу варіабельність і залучення компенсаторних механізмів, асоційованих із постандропаузальними змінами (Shen et al., 2025). У сукупності це обґрунтовує застосування непараметричних методів для коректних міжгрупових порівнянь і подальшого аналізу вікових особливостей ВСР.

Низькочастотний компонент (LF), що відображає переважно симпатичний внесок у регуляцію серцевого ритму, у нашому дослідженні демонстрував типовий добовий профіль: вищі значення вдень порівняно з нічним періодом в усіх вікових групах. Між групами не виявлено статистично достовірних відмінностей LF (ідентичні літерні позначення в таблиці), однак медіанні значення у старших чоловіків були нижчими порівняно з молодшими, що можна трактувати як тенденцію до зменшення потужності LF з віком. Така конфігурація узгоджується з уявленнями про поступове послаблення симпатичних резервів без різких коливань регуляторних можливостей у межах зрілого віку. Найбільший спад LF спостерігається у групах 3–4 порівняно з молодшими групами, що вказує на певне послаблення симпатичних резервів у старшому віці (Lee S. J. et al., 2025).

Високочастотний компонент (HF), що відображає переважно парасимпатичну активність, у нашій вибірці також зберігав типовий добовий профіль: у нічний період його потужність була вищою, ніж удень у всіх вікових групах, що відповідає посиленню вагусного впливу під час сну. Водночас між віковими групами не зафіксовано статистично значущих відмінностей HF ні вдень, ні вночі (усі групи мають однакові літерні позначення в таблиці), тобто у межах віку 19–72 років не виявлено чіткого вікового зниження високочастотної потужності у умовно здорових чоловіків. Наявні числові відмінності мають характер тенденцій і

не досягають рівня статистичної значущості, тому їх слід трактувати обережно. Оскільки під час сну домінує парасимпатичний тонус, нічні зміни HF в деяких роботах відображаються, як модифікація механізмів нічного відновлення, типова для старіння (Lee S. J. et al., 2025).

Такий результат частково відрізняється від даних авторів, які описують послідовне зменшення HF з віком і пов'язують його з прогресивним виснаженням парасимпатичної ланки автономної регуляції (Shen et al., 2025). Можливими поясненнями відсутності вираженого зниження HF у нашій вибірці можуть бути відбір умовно здорових учасників без тяжкої хронічної патології, обмежений обсяг підгруп, а також міжіндивідуальні відмінності у способі життя, рівні фізичної активності, якості сну та стрес-навантаженні. У сукупності ці фактори можуть згладжувати вікові розбіжності HF в аналізі. На цьому тлі можна зазначити дослідження, у яких показано більш виражене зниження високочастотної потужності у старших вікових групах (Brozat et al., 2025; Shen et al., 2025). Це супроводжується зменшенням варіабельності дихально-залежних коливань і розглядається як прояв зниження вагусних резервів, яке зміщує баланс АНС у бік відносного посилення симпатичного впливу.

Показник LF/HF, що відображає рівновагу між симпатичним і парасимпатичним впливами, не виявляв суттєвих вікових змін, що свідчить про збережений симпато-парасимпатичний баланс удень упродовж усього вікового діапазону. Нічні значення також статистично не відрізнялися, тобто відбувалося фізіологічне зміщення в бік парасимпатичної доміанти без вікового зсуву співвідношення. Це узгоджується з рекомендаціями Task Force, де LF/HF розглядають як інтегральний індикатор балансу АНС (Malik et al., 1996), і свідчить про те, що базовий механізм добової модуляції зберігається у чоловіків незалежно від віку.

Амплітуда моди (АМо%), як індекс автономної регуляції, демонструє вікову тенденцію до зростання. Загальний тренд вказує на поступове посилення автономної активності з віком із найбільш вираженими значеннями у чоловіків 60–72 років. У нічний час АМо% зростає в усіх групах, що вказує на більш виражену автономну активність у чоловіків похилого віку вночі. Показники груп 2 і 3 займають проміжне положення, що може відображати напруження компенсаторних механізмів на тлі збереження глобальної ВСР. Сукупно це узгоджується з гіпотезою про посилення автономної регуляції як адаптивної

відповіді на вікові зміни (Shen et al., 2025). Ймовірним механізмом є вікові гормональні зміни – зокрема, зниження рівня тестостерону, яке зміщує баланс АНС у бік відносного посилення симпатичного впливу.

Показники часової області також свідчать про вікові зміни, але їхній характер не зводиться до простого зниження глобальної варіабельності з віком. Найбільш послідовною ознакою у нашому дослідженні стало подовження денного середнього інтервалу RR у старших вікових групах порівняно з молодшими за відсутності істотних міжгрупових відмінностей за SDNNi. Така конфігурація вказує на формування вікової брадикардичної зміни синусового ритму на тлі відносно стабільної загальної ВСР. Це проявляється зниженням ЧСС (рис. 1) та збільшенням середньої тривалості R-R інтервалу (mRR) (рис. 2), відбувається зсув середнього рівня ЧСС без вираженого звуження діапазону коливань.

Окремо варто зупинитися на можливих механізмах вікової брадикардії, виявленій у нашій вибірці. Подовження денного середнього інтервалу RR у старших чоловіків може відображати комплекс змін, що включає часткове зниження внутрішньої частоти спонтанної деполяризації синусового вузла, модифікацію чутливості β -адренорецепторів та зміни нейрогуморальної регуляції. Частина дослідників пов'язує вікове зниження частоти серцевих скорочень з ремоделюванням провідної системи серця, накопиченням фіброзних змін у

ділянці синусового вузла та його оточенні (Asarcikli et al., 2022; Kunikullaya et al., 2021). Водночас за відсутності виражених порушень провідності, синусових пауз або аритмій помірно подовження RR може розглядатися як адаптивне, особливо якщо воно не супроводжується зниженням глобальної варіабельності та згладженням добових коливань (Kelters et al., 2025).

Поведінка RMSSD, як маркера короткострокової варіабельності, пов'язаної переважно з парасимпатичним впливом, виявилась більш складною. У молодших і чоловіків середнього віку RMSSD мав вищі денні значення, тоді як у групі 60–72 років спостерігалась тенденція до їх зменшення, а в найстаршій групі – тенденція до часткового відновлення. З огляду на відсутність статистично значущих міжгрупових відмінностей ці зміни слід розглядати як варіації всередині адаптивного діапазону, а не як однозначний прояв виснаження парасимпатичних резервів. У поєднанні з подовженням mRR (рис. 2) та стабільністю SDNNi така картина більше відповідає концепції вікового ремоделювання синусового вузла з незначним зниженням його власної частоти генерації імпульсів та зміною реактивності до вегетативних впливів, ніж грубому структурному ушкодженню провідної системи. Подібні інтерпретації узгоджуються з даними досліджень, які пов'язують фізіологічне старіння з дегенеративними змінами синусового вузла (Malik et al., 1996; Kunikullaya et al., 2021).

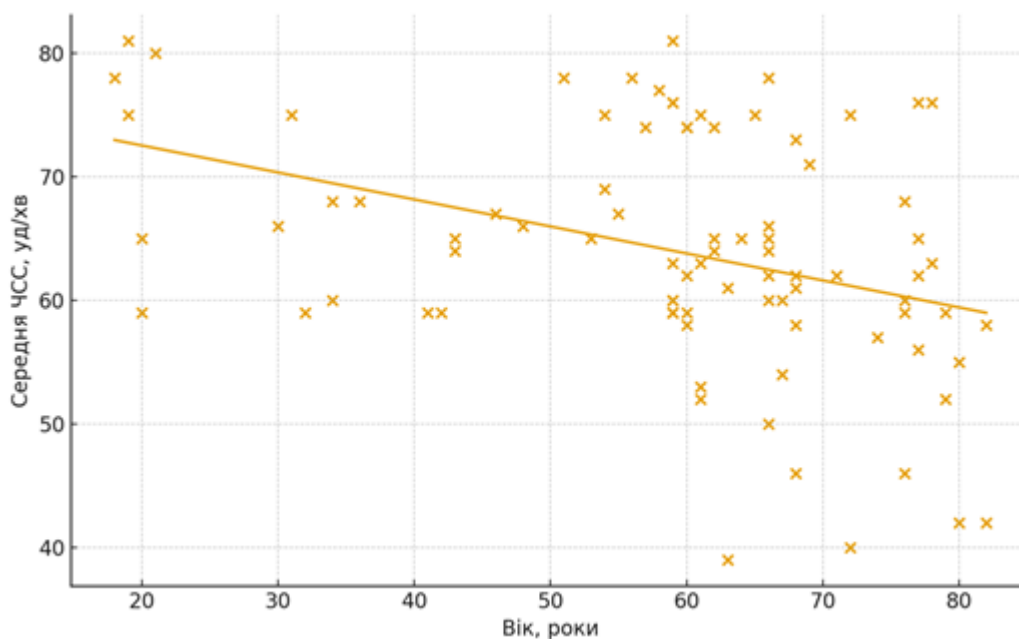


Рис. 1. Діаграма розсіювання з лінією тренду, що демонструє негативну кореляцію між віком і середньою ЧСС за добу

Fig. 1. Scatter plot with trend line showing negative correlation between age and average daily heart rate

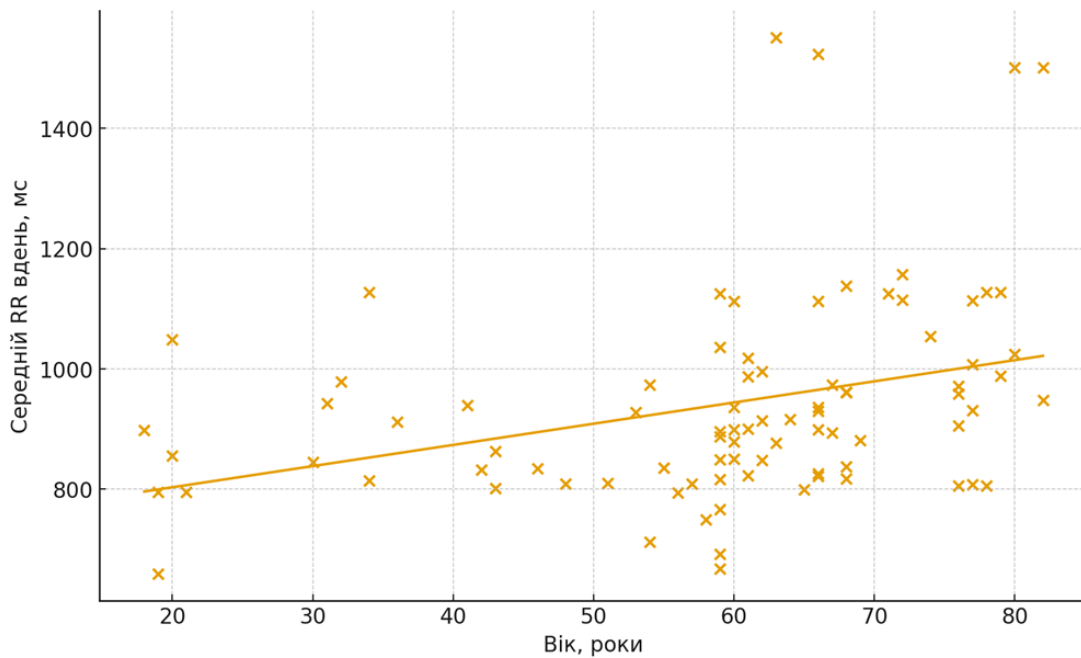


Рис. 2. Діаграма розсіювання з лінією тренду, що демонструє позитивну кореляцію між віком і mRR (день)

Fig. 2. Scatter plot with trend line demonstrating positive correlation between age and mRR (day)

Відсутність значущих відмінностей за основними параметрами ВСР, такими як SDNNi та HF, між віковими групами у денний і нічний періоди свідчить про те, що в межах досліджуваного вікового діапазону 19–72 років у умовно здорових чоловіків не спостерігається вираженого глобального виснаження автономної регуляції серцевого ритму. Це, ймовірно, відображає ефект «здорового відбору» та гетерогенність вибірки, на відміну від обстежень клінічних груп, де зниження потужностей LF і HF, особливо в нічний період, чітко пов'язане з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань і раптової серцевої смерті (Alyahya et al., 2024). Збереження загальної варіабельності на співставному рівні в усіх чотирьох вікових групах на тлі формування вікової брадикардії дозволяє трактувати виявлені зміни переважно як адаптивні, пов'язані з економізацією роботи серця, а не як однозначний маркер прогресуючої автономної дисфункції.

Аналіз спектральних і часових показників демонструє складний характер вікових змін нейрогуморальної регуляції. З одного боку, спостерігається тенденція до зменшення парасимпатичної активності та можливого зниження резервів HF при збереженні відносно сталого симпато-парасимпатичного балансу (LF/HF) і загального рівня автономної регуляції. З іншого боку, тенденція до зростання АМо% може розглядатися як прояв компенсаторних механізмів, що активуються в процесі старіння,

подібно до описаних у роботах, де підвищення впорядкованості ритму інтерпретується як адаптивна відповідь на хронічне навантаження (Asarcikli et al., 2022; Sundas et al., 2025). Підвищення АМо% потенційно може бути раннім маркером порушення автономної регуляції, що заслуговує подальшого вивчення у контексті вікових гормональних змін, зокрема дефіциту андрогенів у чоловіків (Kunikullaya et al., 2021; Shen et al., 2025; Rastović et al., 2019).

Нічні патерни високочастотного компонента (HF) у нашій вибірці загалом відповідають фізіологічній парасимпатичній домінанті під час сну, однак дані інших робіт свідчать, що у старшому віці можливе поступове послаблення цих резервів (Kelters et al., 2025). Зокрема, у жіночих популяціях описано вікове зниження нічної HF-компоненти та пов'язане з цим зростання серцево-судинного ризику (Ляшенко і Дуванов, 2025; Lee E. J. et al., 2025). У чоловіків подібні тенденції можуть проявлятися пізніше або бути частково компенсованими іншими механізмами, зокрема через складний зв'язок між автономною регуляцією, гормональним фоном і метаболічними факторами (Shen et al., 2025; Rastović et al., 2019). Водночас вплив індексу маси тіла, який проявляється зниженням LF/HF, узгоджується з даними про те, що ожиріння може виступати фактором гальмування симпатичної активності (Rastović et al., 2019), що є важливою інформацією для профілактики ССЗ.

Також можна розглянути отримані результати у ширшому контексті концепції здорового старіння серцево-судинної системи та ієрархічної організації автономної регуляції. Виявлене поєднання вікової брадикардичної зміни денного середнього інтервалу RR із збереженою добовою автономною модуляцією та стабільними глобальними показниками варіабельності серцевого ритму вказує на те, що серцево-судинна система обстежених чоловіків зберігає здатність до гнучкого пристосування до змін функціонального навантаження. Це відповідає концепції так званого «адаптивного ремоделювання», коли з віком відбувається не лише зношення структур, але й формування нових рівноважних станів, які забезпечують відносну стабільність гомеостазу за змінних умов (Malik et al., 1996).

У цьому контексті особливого значення набуває аналіз добової різниці LF/HF. У нашому дослідженні чітко зниження LF/HF у нічний період відносно денного зберігалось в усіх вікових групах, що відображає збережену здатність автономної нервової системи переключатися з режиму відносної симпатичної домінанти вдень на парасимпатичну перевагу вночі. Роботи, в яких показано згладження цієї добової різниці у пацієнтів з високим кардіоваскулярним ризиком, дозволяють припустити, що моніторинг добової різниці показника LF/HF може бути корисним інструментом для скринінгу та раннього виявлення несприятливих варіантів автономної регуляції (Lee S. J. et al., 2025). Отримані нами дані демонструють, як процес старіння позначається на адаптаційному потенціалі організму, і підкреслюють важливість подальших досліджень, спрямованих на уточнення ролі вікових змін ВСР у формуванні серцево-судинного ризику у чоловіків старших вікових груп.

Отримані результати підкреслюють важливість холтерівського моніторування для диференціації нормальних вікових змін від патологічних станів та для розробки ефективних стратегій профілактики ССЗ серед чоловіків. Таким чином, регулярний моніторинг дає змогу своєчасно виявляти субклінічні зміни, сприяючи персоналізованим підходам до підтримки здоров'я та зниженню смертності від кардіоваскулярних подій.

Висновки. 1. Умовно здорові чоловіки віком 19–72 років, розподілені на чотири вікові групи, продемонстрували збережений добовий профіль автономної регуляції серцевого ритму. За даними 24-годинного холтерівського моніторування у всій вибірці зафіксовано типовий для здорової

популяції перерозподіл показників ВСР між періодами активності та сну: уночі подовжується середній інтервал RR, зростає АМо%, збільшується потужність HF та знижується співвідношення LF/HF порівняно з денними значеннями.

2. Єдиною стабільною віковою особливістю виявлено подовження денного середнього інтервалу RR у старших вікових групах (3–4) порівняно з молодшими (1–2), що супроводжується нижчою денною середньою ЧСС при збереженій добовій модуляції цих показників. У нічний період значень mRR та ЧСС між віковими групами істотних відмінностей не зафіксовано.

3. Глобальні часові (SDNNi) та спектральні (LF, HF, LF/HF, АМо%) показники варіабельності серцевого ритму не продемонстрували статистично значущих відмінностей між віковими групами ні вдень, ні вночі. Це свідчить про відносну стабільність загальної ВСР та збереження добової автономної модуляції серцевого ритму у умовно здорових чоловіків 19–72 років.

4. Поєднання вікової брадикардичної зміни денного синусового ритму (подовження mRR і зниження середньої ЧСС у старших групах) з відсутністю вираженого зниження глобальних показників ВСР та збереженим день-ніч перерозподілом LF/HF і HF дозволяє розглядати виявлені зміни як адаптивний варіант вікового ремоделювання автономної регуляції, а не як ознаку раннього виснаження парасимпатичних чи симпатичних резервів.

5. Отримані результати мають практичне значення для інтерпретації даних холтерівського моніторування у чоловіків зрілого та старшого віку. Поєднання помірної брадикардії з нормальними або близькими до нормальних показниками ВСР і збереженим добовим зниженням LF/HF може розглядатися як варіант умовно фізіологічної норми. Натомість брадикардія на фоні зниження глобальної ВСР, згладження добових відмінностей та ознак симпатичної домінанти потребує більш пильної клінічної уваги та додаткового обстеження.

6. Обмеження дослідження (чоловіча вибірка, відбір умовно здорових осіб, аналіз 24-годинних записів із поділом лише на денний та нічний періоди, а також відсутність спеціальної реєстрації гострих стресових подій, таких як повітряні тривоги) зумовлюють потребу обережного узагальнення результатів на ширші популяції. Подальші дослідження з урахуванням статі, розширеного вікового діапазону, різних клінічних груп та подовжнього спостереження є доцільними для точнішого розмежування

фізіологічних та патологічних варіантів вікових змін варіабельності серцевого ритму.

Конфлікт інтересів: автори заявляють, що дослідження проводилося за відсутності будь-

яких комерційних або фінансових відносин, які можна було б витлумачити як потенційний конфлікт інтересів.

Список літератури:

1. Ляшенко, В. П. & Дуванов, Д. С. (2025) Модуляція показників варіабельності серцевого ритму у жінок старших вікових груп. Слобожанський науковий вісник, Серія: Природничі науки, 1, 21-27. <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.3>
2. Alyahya, A. I., Charman, S. J., Okwose, N. C., Fuller, A. S., Eggett, C., Luke, P., Bailey, K., MacGowan, G. A., & Jakovljevic, D. G. (2024). Impact of age and sex on heart rate variability and cardiometabolic function in healthy adults. *Exp Gerontol*, 197, 112591. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2024.112591>
3. Asarcikli, L. D., Hayiroglu, M. İ., Oskan, A., Keskin, K., Kolak, Z., & Aksu, T. (2022). Heart rate variability and cardiac autonomic functions in post-COVID period. *J Interv Card Electrophysiol*, 63(3), 715-721. <https://doi.org/10.1007/s10840-022-01138-8>
4. Brozat, M., Böckelmann, I., & Sammito, S. (2025). Systematic Review on HRV Reference Values. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 12(6), 214. <https://doi.org/10.3390/jcdd12060214>
5. Dolphin, H., Dukelow, T., Finucane, C., Commins, S., McElwaine, P., & Kennelly, S. P. (2022). «The Wandering Nerve Linking Heart and Mind» - The Complementary Role of Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation in Modulating Neuro-Cardiovascular and Cognitive Performance. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 897303. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.897303>
6. Geovanini, G. R., Vasques, E. R., Alvim R. O., & Mill, J. G. (2020). Age and sex differences in heart rate variability and vagal specific patterns – Baependi Heart Study. *Global Heart*, 15(1):71, 1-12. <https://doi.org/10.5334/gh.873>
7. Gibbons, J.D., & Chakraborti, S. (2020). *Nonparametric Statistical Inference*. 6th ed. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315110479>
8. Kelters, I. R., Koop, Y., Young, M. E., Daiber, A., & van Laake, L. W. (2025). Circadian rhythms in cardiovascular disease. *Eur Heart J*, 22, 46(36), 3532-3545. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf367>
9. Kunikullaya, U. K., Kunnavigil, R., Vijayadas, Goturu, J., Prakash, V. S., & Murthy, N. S. (2021). Normative data and gender differences in heart rate variability in the healthy young individuals aged 18-30 years, a South Indian cross-sectional study. *Indian Pacing Electrophysiol J*, 21(2), 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.ipej.2021.01.002>
10. Lee, E.J., & Keller-Ross, M.L. (2025). Menopause and its effects on autonomic regulation of blood pressure: Insights and perspectives. *Autonomic Neuroscience*, 260, 103295. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2025.103295>
11. Lee, S. J., Kim, C. H., Jeong, S. J., Yun, J. S., Won, J. C., Lee, J. H., Park, I. B., Lee, C. W., Kwon, H. S., & Park, T. S. (2025). Clinical Characteristics and Epidemiology of Cardiovascular Autonomic

- Neuropathy in Peoples With Long-Standing Diabetes. *J Korean Med Sci*, 21, 40(28), e154. <https://doi.org/10.3346/jkms.2025.40.e154>
12. Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A. J., Kleiger R. E., Malliani, A., Moss, A. J. & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology, & the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
 13. Rastović, M., Srdić-Galić, B., Barak, O., Stokić, E., & Polovina S. (2019). Aging, heart rate variability and metabolic impact of obesity. *Acta Clin Croat*, 58(3), 430-438. <https://doi.org/10.20471/acc.2019.58.03.05>
 14. Rodgers, J. L., Jones, J., Bolleddu, S. I., Vanthenapalli, S., Rodgers, L. E., Shah, K., Karia, K., & Panguluri, S. K. (2019). Cardiovascular Risks Associated with Gender and Aging. *Journal of cardiovascular development and disease*, 6(2), 19. <https://doi.org/10.3390/jcdd6020019>
 15. Sammito, S., Thielmann, B., & Böckelmann, I. (2024). Update: Factors influencing heart rate variability – A narrative review. *Frontiers in Physiology*, 15(1430458), 1-8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1430458>
 16. Shen, Y., Fang, Z., Zhang, T., Yu, F., Xu, Y., & Yang L. (2025). Heart rate variability with circadian rhythm removed achieved high accuracy for stress assessment across all times throughout the day. *Front. Physiol*, 16, 1535331. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1535331>
 17. Sundas, A., Contreras, I., Navarro-Otano, J., Soler, J., Beneyto, A., & Vehi, J. (2025). Heart rate variability over the decades: a scoping review. *PeerJ*, 29, 13, e19347. <https://doi.org/10.7717/peerj.19347>
 18. Tanriover, C., Copur, S., Mutlu, A., Peltek, I. B., Galassi, A., Ciceri, P., Cozzolino, M., & Kanbay, M. (2023). Early aging and premature vascular aging in chronic kidney disease. *Clin Kidney J*, 6, 16(11), 1751-1765. <https://doi.org/10.1093/ckj/sfad076>
 19. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2020). *World Population Ageing* 2019. <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Report.pdf>.

References:

1. Liashenko V. P. & Duванов D. S. (2025). Moduljacija pokaznykiv variabeljnosti sercevoğho rytmu u zhinok starshykh vikovykh ghrup [Modulation of heart rate variability parameters in women of older age groups]. *Slobozhanskyj naukovyj visnyk, Serija: Pryrodnychi nauky [Slobozhanskyi Scientific Bulletin, Series: Natural Sciences]*, 1, 21-27.

- <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.3>. (in Ukrainian).
2. Alyahya, A. I., Charman, S. J., Okwose, N. C., Fuller, A. S., Eggett, C., Luke, P., Bailey, K., MacGowan, G. A., & Jakovljevic, D. G. (2024). Impact of age and sex on heart rate variability and cardiometabolic function in healthy adults. *Exp Gerontol*, 197, 112591. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2024.112591>
 3. Asarcikli, L. D., Hayiroglu, M. İ., Osken, A., Keskin, K., Kolak, Z., & Aksu, T. (2022). Heart rate variability and cardiac autonomic functions in post-COVID period. *J Interv Card Electrophysiol*, 63(3), 715-721. <https://doi.org/10.1007/s10840-022-01138-8>
 4. Brozat, M., Böckelmann, I., & Sammito, S. (2025). Systematic Review on HRV Reference Values. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 12(6), 214. <https://doi.org/10.3390/jcdd12060214>
 5. Dolphin, H., Dukelow, T., Finucane, C., Commins, S., McElwaine, P., & Kennelly, S. P. (2022). «The Wandering Nerve Linking Heart and Mind» - The Complementary Role of Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation in Modulating Neuro-Cardiovascular and Cognitive Performance. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 897303. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.897303>
 6. Geovanini, G. R., Vasques, E. R., Alvim R. O., & Mill, J. G. (2020). Age and sex differences in heart rate variability and vagal specific patterns – Baependi Heart Study. *Global Heart*, 15(1):71, 1-12. <https://doi.org/10.5334/gh.873>
 7. Gibbons, J.D., & Chakraborti, S. (2020). Nonparametric Statistical Inference. 6th ed. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315110479>
 8. Kelters, I. R., Koop, Y., Young, M. E., Daiber, A., & van Laake, L. W. (2025). Circadian rhythms in cardiovascular disease. *Eur Heart J*, 22, 46(36), 3532-3545. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf367>
 9. Kunikullaya, U. K., Kunnavil, R., Vijayadas, Goturu, J., Prakash, V. S., & Murthy, N. S. (2021). Normative data and gender differences in heart rate variability in the healthy young individuals aged 18-30 years, a South Indian cross-sectional study. *Indian Pacing Electrophysiol J*, 21(2), 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.ipej.2021.01.002>
 10. Lee, E.J., & Keller-Ross, M.L. (2025). Menopause and its effects on autonomic regulation of blood pressure: Insights and perspectives. *Autonomic Neuroscience*, 260, 103295. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2025.103295>
 11. Lee, S. J., Kim, C. H., Jeong, S. J., Yun, J. S., Won, J. C., Lee, J. H., Park, I. B., Lee, C. W., Kwon, H. S., & Park, T. S. (2025). Clinical Characteristics and Epidemiology of Cardiovascular Autonomic Neuropathy in Peoples With Long-Standing Diabetes. *J Korean Med Sci*, 21, 40(28), e154. <https://doi.org/10.3346/jkms.2025.40.e154>
 12. Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A. J., Kleiger R. E., Malliani, A., Moss, A. J. & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology, & the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
 13. Rastović, M., Srdić-Galić, B., Barak, O., Stokić, E., & Polovina S. (2019). Aging, heart rate variability and metabolic impact of obesity. *Acta Clin Croat*, 58(3), 430-438. <https://doi.org/10.20471/acc.2019.58.03.05>
 14. Rodgers, J. L., Jones, J., Bolleddu, S. I., Vanthenapalli, S., Rodgers, L. E., Shah, K., Karia, K., & Panguluri, S. K. (2019). Cardiovascular Risks Associated with Gender and Aging. *Journal of cardiovascular development and disease*, 6(2), 19. <https://doi.org/10.3390/jcdd6020019>
 15. Sammito, S., Thielmann, B., & Böckelmann, I. (2024). Update: Factors influencing heart rate variability – A narrative review. *Frontiers in Physiology*, 15(1430458), 1-8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1430458>
 16. Shen, Y., Fang, Z., Zhang, T., Yu, F., Xu, Y., & Yang L. (2025). Heart rate variability with circadian rhythm removed achieved high accuracy for stress assessment across all times throughout the day. *Front. Physiol*, 16, 1535331. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1535331>
 17. Sundas, A., Contreras, I., Navarro-Otano, J., Soler, J., Beneyto, A., & Vehi, J. (2025). Heart rate variability over the decades: a scoping review. *PeerJ*, 29, 13, e19347. <https://doi.org/10.7717/peerj.19347>
 18. Tanriover, C., Copur, S., Mutlu, A., Peltek, I. B., Galassi, A., Ciceri, P., Cozzolino, M., & Kanbay, M. (2023). Early aging and premature vascular aging in chronic kidney disease. *Clin Kidney J*, 6, 16(11), 1751-1765. <https://doi.org/10.1093/ckj/sfad076>
 19. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2020). World Population Ageing 2019. <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Report.pdf>

AGE-RELATED BRADYCARDIC CHANGES AND PRESERVED DAILY AUTONOMIC MODULATION IN CONDITIONALLY HEALTHY MEN BASED ON 24-HOUR HOLTER DATA

DUVANOV D.S., VAKAL Y.S.

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,
87 Romenska St., Sumy, 40000, Ukraine
e-mail: dsduvanov@ukr.net

This article presents an assessment of age-related changes in heart rate (HR) and the circadian modulation of heart rate variability (HRV) indices in apparently healthy men across different age categories. A total of 86 individuals aged 18-82 years were examined and stratified according to the WHO classification into four groups: Group 1 (18-43 years, n=17, mean age 30.6 ± 8.5 years), Group 2 (46-59 years, n=19, mean age 55.8 ± 4.2 years), Group 3 (60-72 years, n=35, mean age 65.1 ± 3.7 years), and Group 4 (76-82 years, n=16, mean age 78.1 ± 1.9 years). Ambulatory 24-hour Holter ECG monitoring was performed at MED-SOYUZ LLC (Sumy, Ukraine) using the "CardioSens CS" system (HAI-MEDICA LLC, Kharkiv, Ukraine). Time-domain HRV metrics were analysed – 24-hour mean HR and daytime mRR, SDNNi, RMSSD – together with spectral indices LF, HF, LF/HF and AMo%. Median 24-hour HR across age groups 1–4 was 67.56 (61.75; 73.38), 68.89 (64.22; 73.56), 62.20 (57.53; 66.87) and 58.69 (52.88; 64.50) bpm, respectively, indicating a shift from higher values in younger and middle-aged men (groups 1–2) towards lower rates in older men (groups 3–4). Daytime mRR increased mainly after 60 years of age: 882.19 (800.79; 963.59), 852.58 (770.18; 935.98), 958.31 (876.91; 1039.71) and 1007.19 (909.39; 1104.99) ms in groups 1–4, respectively. SDNNi did not differ significantly between age groups (87.12 (58.82; 115.42), 99.07 (69.77; 128.37), 79.89 (50.59; 109.19) and 97.94 (69.64; 126.24) ms), whereas RMSSD showed a tendency to decrease in group 3 with partial recovery in group 4 (58.56 (32.26; 84.86), 50.83 (24.53; 77.13), 27.49 (1.19; 53.79) and 37.81 (11.51; 64.11) ms). Recordings were segmented into daytime (08:00–22:00) and nighttime (22:00–08:00). Normality was tested with the Shapiro-Wilk test (non-normal distributions for most variables, $p < 0.05$); between-group comparisons used the Mann-Whitney U test ($p < 0.05$ for HR and mRR). A pronounced age-related bradycardic trend was found: HR decreased with age ($\rho = -0.41$; $p = 0.0047$), while mRR increased ($\rho = +0.43$; $p = 0.0006$). Global HRV indices (SDNNi, RMSSD, TP, LF, HF) did not differ significantly between groups ($p > 0.16$), whereas daily modulation was preserved: LF/HF day > night ($p = 0.00055$), LF day > night ($p = 0.0056$), HF night > day ($p = 0.073$). AMo% showed a weak upward tendency ($\rho = +0.13$; $p > 0.05$), and body mass index correlated with a decrease in LF/HF ($p = 0.085$). Overall, these findings indicate age-related bradycardia without a marked decline in global HRV and with preserved circadian autonomic regulation, suggesting adaptive robustness of the ANS in healthy men and supporting further research into cardiovascular risk.

Key words: heart rate variability, autonomic nervous system, bradycardia, daily modulation, men, age-related changes.

Отримано редколегією 24.10.2025 р.

ORCID ID

Дмитро Дуванов: <https://orcid.org/0009-0006-9757-2196>

Юлія Вакал: <https://orcid.org/0000-0002-8722-7683>