

ЛІСУН Ю.Б., ЄВСЄЄВА В.В.,  
ПОЛЮХОВИЧ Л.М.

## ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ЯК МАРКЕР МАКСИМАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ЛЮДЕЙ З ОЖИРІННЯМ

ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України»

**Вступ.** Варіабельність серцевого ритму (ВСР) та вегетативна нервова система є важливими показниками оцінки функціонального стану організму. Фізичне навантаження і ожиріння, які є актуальними проблемами сучасного суспільства, впливають на ці показники, проте дослідження взаємозв'язку між ними обмежені.

**Мета:** визначити максимальний рівень фізичного навантаження у людей з ожирінням на етапі передопераційної підготовки.

**Матеріали та методи.** У дослідження було залучено групу осіб з надлишковою вагою та ожирінням, у яких передбачалася хірургічна операція для зменшення ваги. Учасники виконували спеціальні тести та фізичні вправи, які дозволяли визначити їх максимальний рівень фізичного навантаження. За допомогою степ-тесту, який включав підйом по сходах до максимального виснаження, реєструвались показники варіабельності серцевого ритму, частоти серцевих скорочень та час відновлення після фізичного навантаження.

**Результати.** На основі аналізу отриманих даних було встановлено, що пацієнти з надмірною вагою можуть переносити високий рівень фізичного навантаження без значних змін у варіабельності серцевого ритму та артеріальному тиску. У той же час у пацієнтів з ожирінням спостерігається зниження толерантності до фізичного навантаження та варіабельності серцевого ритму, що потребує впровадження поступово зростаючого рівня фізичної активності в передопераційну підготовку з моніторингом загального самопочуття пацієнта.

**Висновок.** Люди з ожирінням характеризуються низьким рівнем фізичної активності, що ускладнює передопераційну підготовку та подовжує її тривалість.

**Ключові слова:** варіабельність серцевого ритму, ожиріння, вегетативна нервова система.

### Вступ

Ожиріння створює все більшу загрозу для здоров'я, оскільки 39 % дорослих осіб на сьогоднішній день класифікуються як люди з надмірною вагою, причому частіше хворіють жінки [3]. Люди з надлишковою вагою та морбідним ожирінням мають підвищене фізичне навантаження цілодобово на відміну від спортсменів, які свідомо тренуються за графіком. На певному етапі тренувань у них може розвинути спортивне серце. Моніторинг ВСР під час тренування у спортсменів надає можливість запобіганню надмірного навантаження, яке призводить до вираженої втоми. Цей сценарій не можна виключити у людей з надлишковою вагою та морбідним ожирінням. Чим більша вага, тим більше фізичне навантаження отримує

людина, що може призвести до обмеження побутової активності. Таке обмеження призводить до дисбалансу дихальної та серцево-судинної систем, що негативно впливає на періопераційний період. Варіабельність серцевого ритму (ВСР) є методом неінвазійної оцінки функціонального стану організму, що дозволяє досліджувати функціонування регуляторних механізмів до змін зовнішнього і внутрішнього середовища на різних рівнях [2]. Вегетативна нервова система є важливим регулятором гомеостазу, оскільки контролює мимовільні фізіологічні процеси, включаючи травлення, гормональну регуляцію, артеріальний тиск, частоту серцевих скорочень тощо. Вплив вегетативної нервової системи під час фізичного навантаження та відновленні організму направлений на максималь-

Для кореспонденції:

ЛІСУН ЮРІЙ БОРИСОВИЧ, ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України»,  
моб. телефон: +380 (67) 893 53 81, E-mail: l1y@ukr.net

не забезпечення зростаючих метаболічних потреб, залежить від інтенсивності, типу, тривалості навантаження, фонові фізичної підготовки. ВСР дає можливість оцінки вегетативного балансу та симпато-парасимпатичні взаємодії. Оцінка статистичних параметрів ВСР у часовій області (наприклад, SDNN, RMSSD) і частотній області (наприклад, LF, HF, LF/HF) показала, що фізичне навантаження може зменшувати показники ВСР навіть при низькій і помірній інтенсивності до такої міри, що їх подальша оцінка при зростанні навантаження може бути необ'єктивна через низьке співвідношення сигнал/шум. В літературних джерелах при аналізі ВСР під час фізичних навантажень переважають традиційні вимірювання вище згаданих параметрів часової та частотної області, але останнім часом почали застосовувати більш інформативні нелінійні та складені параметри [4].

Зв'язок таких параметрів із відновленням після інтенсивних фізичних навантажень у людей з надлишковою масою тіла широко не вивчався. Відомо, що ожиріння значною мірою пов'язане зі зниженням ВСР або вегетативною дисфункцією в стані спокою. Дослідження, які вивчають вплив надмірної ваги та ожиріння на ВСР, частоту серцевих скорочень (ЧСС) та артеріальний тиск під час періоду негайного відновлення після фізичних навантажень обмежені, особливо у людей з ожирінням. У цьому контексті задачею представленого дослідження була оцінка варіабельності серцевого ритму, відновлення частоти серцевих скорочень і артеріального тиску після припинення фізичних вправ у людей із надмірною вагою та ожирінням.

## МЕТА РОБОТИ

Визначити максимальний рівень фізичного навантаження на основі дослідження відновлення варіабельності серцевого ритму, частоти серцевих скорочень і артеріального тиску у пацієнтів з ожирінням в передопераційному періоді.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНИХ ГРУП

Дослідження проводилось серед пацієнтів хірургічного профілю з грудня 2021 року по серпень 2022 року.

**Характеристика учасників.** На базовому етапі дослідження взяли участь 71 пацієнтів. Це чоловіки та жінки віком від 27 до 41 років з надлишковою масою тіла/ожирінням. Критерії виключення були: нормальна вага; субкомпенсовані серцеві, легеневі, ниркові, автоімунні або опорно-рухові захворювання; регулярні фізичні вправи в анамнезі; вживання алкоголю, відмова пацієнта. Під час аналізу в 14 учасників виявились порушення серцевого ритму, що частіше за все

виникали на тлі максимального фізичного навантаження. Ця група пацієнтів була виключена з дослідження. Розподіл учасників відбувався згідно з класифікації ІМТ і відповідав таким даним: 49 % (n=28) мали надмірну масу тіла, 51 % (n=29) мали ожиріння, із них ожиріння I ступеню – (n=11); ожиріння II ступеню – (n=18). Характеристики груп наведені в таблиці 1.

**Протокол дослідження.** Збір даних проводили в кабінеті при кімнатній температурі від 21 до 25°C. Маса тіла та зріст у досліджуваних визначали в легкому одязі без взуття, за допомогою цифрових медичних ваг. ІМТ розраховували шляхом ділення ваги в кілограмах на квадрат зросту в метрах, що зазначено формулою нижче.

$$\text{ІМТ} = \frac{\text{Маса}}{\text{Зріст}^2}$$

Рівень фізичної активності визначався за допомогою анкети «Визначення рівня рухової активності у пацієнтів з надлишковою вагою», яка складалася з 18 питань. Підсумовування балів дозволяло віднести пацієнтів до певних груп рухової активності: 25 і нижче балів – дуже висока; 26-32 бали – висока; 33-40 балів – помірна; 41-50 балів – низька; 51-58 балів – дуже низька.

За визначенням ВООЗ [1] учасників було розділено на дві групи: з надмірною вагою (ІМТ 25–29,99 кг/м<sup>2</sup>, (n = 28), ожирінням (ІМТ ≥ 30 кг/м<sup>2</sup>, (n = 29). Після 20 хв відпочинку та акліматизації в положенні лежачи, реєстрували вихідну ВСР, ЧСС та артеріальний тиск. Усі учасники пройшли степ-тест до максимального виснаження. Степ-тест проводився шляхом піднімання по сходах в заданому темпі (максимальне виснаження суб'єктивно визначав досліджуваний). Під час степ-тесту проводилась безперервна реєстрація ВСР, ЧСС та насичення киснем крові. Фіксували тривалість тесту та кількість сходинок, яку здолав досліджуваний. По закінченню тесту проводилось повторне вимірювання артеріального тиску та ВСР протягом години.

Уточнення:

1. Вимірювання артеріального тиску: систолічний і діастолічний артеріальний тиск (САТ і ДАТ) реєстрували на лівому плечі за допомогою автоматичного пристрою microlaife® відповідно до рекомендацій ВООЗ. Фіксувалось середнє значення двох вимірювань.
2. Вимірювання та аналіз ВСР здійснювався за допомогою холтермоніторингу Neako® Vi6600-12.
3. Параметри ВСР у часовій області виміряні:
  - ЧСС (уд/хв) – середня частота серцевих скорочень у всьому записі;
  - rMSSD (мс) – квадратний корінь із середнього із суми квадратів різниць між сусідніми RR-інтервалами.

## 4. Параметри частотної області:

- Високочастотний компонент (HF, мс<sup>2</sup>) – частота живлення від 0,15 до 0,4 Гц;
- Низькочастотна складова (LF, мс<sup>2</sup>) – частота живлення від 0,04 до 0,15 Гц;
- Симпатовагальний баланс (LF/HF) – це співвідношення LF і HF. LF і HF представлені також в абсолютних значеннях потужності і нормованих одиницях.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В Таблиці 1 представлені антропометричні дані досліджуваних, виражені як середнє статистичне  $\pm$  SEM та показники рівня фізичного навантаження, отриманого при дослідженні. Час проведення степ-тесту у людей з ожирінням значно менший, а час відновлення значно більший, в порівнянні з людьми, які мали надлишкову масу тіла. Це свідчить про швидке виснаження під час фізичного навантаження у людей з ожирінням. Час відновлення ВСП до початкових значень значно менший, ніж час відновлення загального суб'єктивного самопочуття у обох груп. Це пояснюється тим, що у людей з ожирінням може бути порушений баланс між симпатичною та парасимпатичною регуляцією [5]. Внаслідок цього знижується варіабельність серцевого ритму та збільшується толерантність до фізичного навантаження. З іншого боку, суб'єктивні відчуття не завжди відображають фізіологічні зміни. На них впливають інші фактори, такі як загальна фізична підготовка, м'язова втома, індивідуаль-

**Таблиця 1.** Стандартна помилка середнього значення (SEM) вимірювала, наскільки велика розбіжність може бути у середньому показнику вибірки порівняно із середнім показником популяції. У дужках вказана кількість спостережень у кожній групі. ІМТ – індекс маси тіла.

Параметри	Надмірна вага (n = 28)	Ожиріння (n = 29)
Стать	Жінок – 18 Чоловіків – 10	Жінок – 20 Чоловіків – 9
Вік	30,7 $\pm$ 3,1	33,4 $\pm$ 3,8
Вага (кг)	78.7 $\pm$ 2.67	99.4 $\pm$ 8,5
Зріст (см)	166,5 $\pm$ 3,4	168.3 $\pm$ 2,7
ІМТ(кг/м <sup>2</sup> )	28,1 $\pm$ 1,3	35,6 $\pm$ 3,2
Рівень фізичної активності	40 (помірний)	48 (низький)
Час степ-тесту (хв)	7,8 $\pm$ 1,2	4,4 $\pm$ 1,1
Час відновлення ВСП (хв)	25,3 $\pm$ 1,9	31,1 $\pm$ 2,1
Час суб'єктивного відновлення (хв)	27,6 $\pm$ 1.3	35.1 $\pm$ 1.9
Кількість сходин	242	176

на сприйнятливості до змін, низька самооцінка, депресивний стан.

В таблиці 2 продемонстровано значно вищу частоту серцевих скорочень у групі із ожирінням, ніж у групі з надмірною масою тіла під час фізичного навантаження та активного відновлення.

Крім того, під час активного фізичного навантаження парасимпатичні індекси  $\log$  HF,  $\log$  rMSSD (виражені в логарифмічно-трансформованій формі) і нормалізована HF були значно нижчими в групі з ожирінням, ніж у групі з надмірною масою тіла. Парасимпатичні показники ВСП в період відновлення нижчі в групі з ожирінням. Відповідно нормалізований симпато-вагальний баланс (nu LF/HF) показав значне збільшення в групі з ожирінням порівняно з групою надмірної ваги.  $\log$  LF не відрізнялися істотно між двома досліджуваними групами протягом періоду відновлення.

Результати дослідження продемонстрували, що під час максимального фізичного навантаження та під час відновлення спостерігалось зниження вагусної активності на тлі збільшення частоти серцевих скорочень в групі учасників з ожирінням. Крім того, існувала негативна кореляція між ІМТ і відновленням частоти серцевих скорочень, нормалізованої високої частоти та нормалізованого симпатовагального балансу. Зафіксовано значне зниження парасимпатичних індексів rMSSD і HF, на додаток до суттєвого зниження відновлення HF (nu HFR) у групі з ожирінням порівняно з групою, яка мала надмірну вагу. Результати дослідження свідчать про повільну вагусну реактивацію відразу після навантаження, яке призводило до більш поступового відновлення ЧСС до вихідного значення та подовжило період відновлення. Зафіксовано значне збільшення nu LF/HF у групі з ожирінням, що підтверджує зсув симпатовагального балансу в бік симпатичної гіперактивності та зниження вагусної активності. Ці дані можуть свідчити про те, що низька ВСП у людей з ожирінням є раннім передвісником розвитку серцево-судинних ускладнень під час оперативного втручання [6].

Поточні результати виявили значно вищий систолічний і діастолічний артеріальний тиск у групі з ожирінням порівняно з групою з надмірною вагою протягом періоду відновлення. Крім того, систолічний і діастолічний артеріальний тиск значно знизилися порівняно з початковими значеннями в групі з надмірною вагою. В той час в групі з ожирінням відхилення цих показників були незначними. Наведені дані свідчать про ранню судинну дисфункцію зі зниженою вазодилатацією після фізичного навантаження в групі з ожирінням. Це відповідає симпатовагальному дисбалансу, де домінування симпатичного нерву знижувало вазодилатацію після фізичного навантаження. Від-

**Таблиця 2.** Результати представлені як середнє значення  $\pm$  SEM. У дужках вказана кількість учасників у кожній групі. Log – натуральний логарифм. nu – нормована одиниця. HF – високочастотна потужність. LF – низькочастотна потужність. LF/HF – симпатовагальний баланс.

Параметри	Надмірна маса тіла (n = 28)			Ожиріння (n = 29)		
	Спокій	Мах навантаження	Відновлення	Спокій	Мах навантаження	Відновлення
ЧСС	76,4 $\pm$ 1,46	107,4 $\pm$ 1,92	85,57 $\pm$ 1,53	80,09 $\pm$ 1,30	118,3 $\pm$ 1,84	96,31 $\pm$ 1,80
log HF	3,58 $\pm$ 0,12	3,33 $\pm$ 0,19	3,47 $\pm$ 0,11	3,12 $\pm$ 0,14	2,21 $\pm$ 0,21	2,68 $\pm$ 0,18
nuHF(%)	48,58 $\pm$ 1,9	40,23 $\pm$ 2,8	43,9 $\pm$ 2,58	39,9 $\pm$ 2,7	24,7 $\pm$ 2,23	29,3 $\pm$ 1,98
log LF	3,6 $\pm$ 1,6	3,01 $\pm$ 0,84	3,2 $\pm$ 0,16	3,17 $\pm$ 0,12	2,98 $\pm$ 0,11	3,11 $\pm$ 0,12
nuLF(%)	27,10 $\pm$ 2	22,21 $\pm$ 2,1	25,11 $\pm$ 2,3	32,51 $\pm$ 3,3	26,11 $\pm$ 2,96	29,82 $\pm$ 3,61
nu LF/HF	0,56 $\pm$ 0,006	0,54 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,03	0,81 $\pm$ 0,17	1,05 $\pm$ 0,11	1,02 $\pm$ 0,12
log rMSSD	2,22 $\pm$ 0,07	2,01 $\pm$ 0,06	2,11 $\pm$ 0,07	1,84 $\pm$ 0,08	1,66 $\pm$ 0,09	1,75 $\pm$ 0,08
CAT	131,4	148,3	133,6	139,1	157,8	132,3
DAT	68,5	76,2	72,2	82,4	95,3	83,4

повідно до цього коригування загального периферичного опору від фізичних вправ до відновлення було порушено у дорослих з ожирінням [7].

Наші результати показали, що ожиріння вплинуло на базову ВСР та артеріальний тиск. Група із ожирінням показала значно нижчий вихідний rMSSD, log HF і nu HF, пов'язаний зі значно вищим базовим симпатовагальним балансом, систолічним і діастолічним артеріальним тиском порівняно з групою, яка має надмірну масу тіла. Таким чином, сповільнене відновлення частоти серцевих скорочень і вагусної активності, зареєстроване в групі із ожирінням після фізичного навантаження може бути пов'язане з вегетативним дисбалансом, який вже існував у стані спокою, на додаток до зміненої серцево-судинної вегетативної відповіді на фізичні вправи. Крім того, вегетативний дисбаланс, пов'язаний з ожирінням, може бути викликаний рефлекторними механізмами: зниження чутливості барорецепторів [9], метаболічними факторами, такими як інсулінорезистентність і гіперінсулінемія [8], а також порушенням виробництва адипокіну з вісцерального жиру, де переважає гіперлептинемія. Результати підтверджують важливість регулярної фізичної активності на тлі нормалізації маса тіла, як частини профілактичної кардіології для поліпшення кардіоваскулярного стану цих пацієнтів

## ВИСНОВКИ

У даному дослідженні було проведено комплексний аналіз варіабельності серцевого ритму, відновлення частоти серцевих скорочень і артеріального тиску після фізичних навантажень у людей із надмірною вагою та ожирінням. Отримані результати розширюють наше розуміння впливу фізичних навантажень на серцеву систему в цій особливій групі пацієнтів. Нижче наведені основні висновки, які можна зробити на основі цього дослідження:

1. Люди із ожирінням мають знижену варіабельність серцевого ритму порівняно з надмірно ваговими особами, що свідчить про певні порушення в автономному регулюванні серцевої діяльності.
2. Час відновлення варіабельності серцевого ритму після фізичного навантаження настав швидше, ніж суб'єктивне відчуття відновлення у людей з ожирінням та надмірно ваговими особами
3. Час відновлення частоти серцевих скорочень у пацієнтів з ожирінням триваліший, ніж у надмірно вагових осіб після фізичних навантажень, що може свідчити про затримку адаптації серцевої системи до фізичного навантаження.
4. Пацієнти з ожирінням мають вищі значення артеріального тиску як перед, так і після фізичних навантажень, у порівнянні з надмірно ваговими особами, що свідчить про певні порушення в активації рефлексу з барорецепторів (регулюють діаметр судин).

Клінічні наслідки: дані дослідження підкреслюють важливість оцінки серцевого ритму, відновлення частоти серцевих скорочень і артеріального тиску у пацієнтів із надмірною вагою та ожирінням, особливо після фізичних навантажень. Розуміння цих механізмів дозволяє виявити порушення і розробити індивідуальні плани передопераційної ЛФК, оцінити ефективність медикаментозної терапії та розробити стратегії для подальшої реабілітації з метою зниження ризику серцево-судинних ускладнень. Важливо враховувати, що ефекти фізичного навантаження та поліпшення варіабельності серцевого ритму можуть відрізнятися в залежності від індивідуальних особливостей кожної людини.



Фінансування / Funding  
Немає джерела фінансування / There is no funding source.  
Конфлікт інтересів / Conflicts of interest  
Усі автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів /  
All authors report no conflict of interest  
Етичне схвалення / Ethical approval  
Це дослідження було проведено відповідно до Гельсінської декларації та за-  
тверджено місцевим комітетом з етики досліджень /  
This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was  
approved by the local research ethics committee.  
Надійшла до редакції / Received: 22.04.2023  
Після доопрацювання / Revised: 28.04.2023  
Прийнято до друку / Accepted: 23.06.2023  
Опубліковано онлайн / Published online: 30.06.2023

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АТ – артеріальний тиск  
САТ – систолічний артеріальний тиск  
ДАТ – діастолічний артеріальний тиск  
ВСР – варіабельність серцевого ритму  
HF – високочастотна потужність  
LF – низькочастотна потужність  
RMSSD – квадратний корінь із суми квадратів  
різниць величин послідовних пар N–N-інтервалів  
SDNN – стандартне відхилення N–N-інтервалів

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. World Health Organization Geneva . (1999). *Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. WHO technical report series 894.*
2. Malik M., Bigger J.T., Camm A.J., Kleiger R.E., Malliani A., Moss A.J., et al. *Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Eur Heart J. 1996; 17(3):354-381*
3. World Health Organization . (1996). *Hypertension control. Report of a WHO Expert Committee. Technical Report Series, 862, 1–83.*
4. Nishime, E. O., Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., & Lauer, M. S. (2000). *Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. JAMA, 284, 1392–1398.*
5. Dimkpa, U., & Oji, J. O. (2010). *Association of heart rate recovery after exercise with indices of obesity in healthy, non-obese adults. European Journal of Applied Physiology, 108, 695–699.*
6. Stein P.K. *Circadian variation of heart rate variability. Can J Cardiol. 1996; 12(9):823-826.*
7. Blain, G. M., Limberg, J. K., Mortensen, G. F., & Schrage, W. G. (2012). *Rapid onset vasodilatation is blunted in obese humans. Acta Physiologica (Oxford), 205, 103–112.*
8. Straznicky, N. E., Grima, M. T., Lambert, E. A., Sari, C. I., Eikelis, N., Nestel, P. J., Lambert, G. W. (2015). *Arterial norepinephrine concentration is inversely and independently associated with insulin clearance in obese individuals with metabolic syndrome. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 100, 1544–1550.*
9. Canale, M. P., Manca di Villahermosa, S., Martino, G., Rovella, V., Noce, A., De Lorenzo, A., & Di Daniele, N. (2013). *Obesity-related metabolic syndrome: Mechanisms of sympathetic overactivity. International Journal of Endocrinology, 2013, 865-965.*

LISUN Y., YEVSIEVA V.V., POLYUKHOVICH L.M.

## HEART RATE VARIABILITY AS A MARKER OF MAXIMUM PHYSICAL LOAD IN PEOPLE WITH OBESITY

**Introduction.** Heart rate variability (HRV) and the autonomic nervous system are essential indicators of assessing the body's functional state. Physical activity and obesity, which are current problems of modern society, affect these indicators, but research on the relationship between them is limited.

**Purpose:** to determine the maximum level of physical activity in obese people in the preoperative period.

**Materials and methods.** A group of obese individuals who were scheduled for weight loss surgery were involved. The participants performed special tests and physical exercises that allowed them to determine their maximum level of physical exertion. Using a step test, which included walk-up stairs to complete exhaustion, indicators of heart rate variability, heart rate, and recovery time after exercise were recorded.

**Results.** Based on the analysis of the obtained data, it was established that overweight patients can tolerate a high level of physical exertion without significant changes in heart rate variability and blood pressure. At the same time, in obese patients, there is a decrease in exercise tolerance and heart rate variability, which requires introducing a safe level of physical activity into preoperative preparation with monitoring of the patient's general well-being.

**Conclusion.** Obese people are characterized by a low level of physical activity, which complicates preoperative preparation and prolongs its duration

**Keywords:** heart rate variability, obesity, autonomic nervous system

УЧАСТЬ АВТОРІВ В ПІДГОТОВЦІ СТАТТІ:  
ЛІСУН Ю.Б. – дизайн дослідження та аналіз даних,  
ПОЛЮХОВИЧ Л.М. – РОБОТА З ПАЦІЄНТАМИ ТА НАПИСАННЯ РУКОПІСУ,  
ЄВСЄВА В.В. – написання рукопису