

УДК 616.12008.331.1053.207308

Ю.В. Марушко, Н.Г. Костинська, Т.В. Гищак, О.А. Дмитришин

Визначення толерантності до фізичного навантаження і резервів організму в дітей шкільного віку з ожирінням та артеріальною гіпертензією

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Modern Pediatrics. Ukraine. (2023). 3(131): 37-45. doi 10.15574/SP.2023.131.37

For citation: Marushko YuV, Hyshchak TV, Kostynska NG, Dmytryshyn OA. (2023). Determination of tolerance to physical exertion body reserves in school-age children with obesity and arterial hypertension. Modern Pediatrics. Ukraine. 3(131): 37-45. doi 10.15574/SP.2023.131.37.

Визначення толерантності до фізичного навантаження (ТдФН) у дітей при різних захворюваннях — важливий діагностичний аспект сучасної медицини. Цей напрям дає змогу поліпшити прогностичні можливості лікарів, а також удосконалити підходи до реабілітаційних заходів у пацієнтів із різноманітною патологією. У педіатрії наявні обмежені дані щодо вивчення ТдФН у пацієнтів з артеріальною гіпертензією та зовсім відсутні в дітей з поєднанням артеріальної гіпертензії та ожиріння.

Мета — оцінити рівень ТдФН та резервів організму в дітей шкільного віку з ожирінням та артеріальною гіпертензією.

Матеріали та методи. У дослідженні взяли участь 112 пацієнтів віком від 9 до 17 років. Усіх пацієнтів поділено на чотири групи. До першої групи (контрольної) залучено дітей з нормальними артеріальним тиском і нормальною масою тіла; до другої — з артеріальною гіпертензією та нормальною масою тіла; до третьої — з нормальним артеріальним тиском та ожирінням; до четвертої — з поєднанням артеріальної гіпертензії та ожиріння.

Результати та висновки. За наявності в пацієнтів артеріальної гіпертензії або ожиріння відмічається зниження VO_{2max} , більш виражене при коморбідності цих патологій. У хлопчиків з ожирінням спостерігається тенденція до підвищення максимального систолічного артеріального тиску за результатами велоергометрії ($158,2 \pm 8,4$ мм рт. ст.) порівняно зі здоровими дітьми ($149,4 \pm 10,5$ мм рт. ст.). Середні показники максимального діастолічного артеріального тиску за даними велоергометрії в усіх досліджуваних групах достовірно не відрізнялися від середніх показників контрольної групи. Ожиріння супроводжується більш вираженим зниженням судинних резервів, ніж артеріальна гіпертензія, коморбідність цих захворювань у пацієнтів асоціюється з погіршенням цих резервів порівняно з пацієнтами, в яких наявне тільки одне захворювання. Отримані результати вказують на зниження кардіальних резервів за наявності в пацієнта коморбідності артеріальної гіпертензії та ожиріння. Водночас наявність у пацієнта тільки одного з названих захворювань не супроводжується достовірним зниженням показників порівняно з контрольною групою. У пацієнтів з артеріальною гіпертензією відмічається менш ефективне використання резервів міокарда та підвищена потреба міокарда в кисні під час виконання роботи порівняно зі здоровими дітьми.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. Протокол дослідження ухвалено Локальним етичним комітетом зазначеної в роботі установи. На проведення досліджень отримано інформовану згоду батьків дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: артеріальна гіпертензія, ожиріння, толерантність до фізичного навантаження, судинні резерви, кардіальні резерви, діти.

Determination of tolerance to physical exertion body reserves in school-age children with obesity and arterial hypertension

Yu.V. Marushko, T.V. Hyshchak, N.G. Kostynska, O.A. Dmytryshyn

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Determining of tolerance to physical exertion (TPE) in children with various diseases is an important diagnostic aspect of modern medicine. This area helps to improve the prognostic capabilities of doctors and improve approaches to therapeutic interventions in patients with various pathologies. In pediatrics, there are limited data on the study of TPE in patients with hypertension and no data at all in children with a combination of hypertension and obesity.

Purpose — to assess the level of TPE and body reserves in school-age children with obesity and arterial hypertension.

Materials and methods. 112 patients aged 9–18 took part in the study. All patients were divided into four groups. The Group 1 (control) included children with normal blood pressure and normal body weight; the Group 2 included patients with arterial hypertension and normal body weight; the Group 3 — with normal arterial pressure and obesity; the Group 4 — with a combination of arterial hypertension and obesity.

Results and conclusions. If patients have hypertension or obesity, a decrease in VO_{2max} is noted, which is more pronounced when these pathologies are comorbid. Obese boys have a tendency to increase maximum systolic blood pressure during bicycle ergometry (158.2 ± 8.4 mmHg) compared to healthy children (149.4 ± 10.5 mmHg). The average values of maximum diastolic blood pressure during bicycle ergometry in all studied groups did not differ significantly from the average values of the control group. Obesity is accompanied by a more pronounced decrease in vascular reserves than arterial hypertension, the comorbidity of these diseases in patients is associated with the deterioration of these reserves in comparison with patients who have only one disease. The obtained results indicate a decrease in cardiac reserves when the patient has comorbidities of arterial hypertension and obesity. At the same time, the presence of only one of the named diseases in the patient is not accompanied by a significant decrease in indicators compared to the control group. In patients with arterial hypertension, a less effective use of myocardial reserves and an increased demand for myocardial oxygen during work compared to healthy children are noted.

The research was carried out in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol was approved by the Local Ethics Committee of the participating institution. The informed consent of the patient was obtained for conducting the studies.

No conflict of interests was declared by the authors.

Keywords: hypertension, obesity, tolerance to physical activity, vascular reserves, cardiac reserves, children.

Визначення толерантності до фізичного навантаження (ТдФН) у дітей при різних захворюваннях — важливий діагностичний аспект сучасної медицини. Цей напрям дає змогу поліпшити прогностичні можливості лікарів, а також удосконалити підходи до реабілітаційних заходів у пацієнтів із різноманітною патологією [3,6,7,22,27].

Своєю чергою, визначення індивідуальних можливостей пацієнтів дозволяє попередити ускладнення внаслідок надмірних навантажень у повсякденному житті [13]. Зі зменшенням ТдФН прогнозовано знижується якість життя пацієнтів [1].

Одним із найпоширеніших методів визначення ТдФН є серцево-легеневе тестування з фізичним навантаженням [8,14]. З цією метою в педіатрії доцільним вважається використання велоергометра, оскільки він є безпечнішим порівняно з біговою доріжкою [25]. Крім ТдФН, цей метод дає змогу оцінити реакцію серцево-судинної, дихальної, нервової систем на динамічне навантаження і визначити рівень резервів організму [6,29].

У полі зору дослідників традиційно знаходиться дослідження ТдФН у пацієнтів з ожирінням. Науковцями висловлюється припущення, що з підвищенням маси тіла (МТ) у пацієнтів знижується ТдФН, однак така гіпотеза досі остаточно не доведена [9]. Відомо, що в основі зниження ТдФН при ожирінні лежить порушення продукції оксиду азоту, унаслідок чого знижується транспортування кисню та його використання скелетними м'язами [2]. Крім того, накопичення жирової тканини в грудній клітці та черевній порожнині спричинює обмеження рухливості грудної клітки та діафрагми і тим самим знижує ефективність вентиляції під час фізичного навантаження [5].

Оскільки ожиріння в пацієнтів досить часто поєднується з артеріальною гіпертензією (АГ), перспективним є вивчення ТдФН саме в таких пацієнтів. У педіатрії наявні обмежені дані щодо вивчення ТдФН у пацієнтів з АГ та зовсім відсутні в дітей з поєднанням АГ та ожиріння [23].

Мета дослідження — оцінити рівень ТдФН і резервів організму в дітей шкільного віку з ожирінням та АГ.

Матеріали та методи дослідження

У дослідженні взяло участь 112 пацієнтів віком від 9 років до 18 років (52 хлопчики та

60 дівчаток). Усім дітям проведено антропометричні вимірювання (зріст, МТ, індекс маси тіла) і добовий монітор артеріального тиску (АТ) з подальшим їхнім оцінюванням згідно із загальноприйнятими стандартами для коректного розподілу в досліджуваних групах. Отримані результати дали змогу розділити всіх пацієнтів на чотири групи. До першої групи (контрольної) увійшли діти з нормальними АТ та МТ (n=35); до другої групи — з АГ та нормальною МТ (n=39); до третьої — з нормальним АТ та ожирінням (n=20); до четвертої — з поєднанням АГ та ожиріння (n=18). Кількість дітей у групах була достатня для вирішення поставлених завдань на рівні значущості $p < 0,001$.

Критерії залучення до дослідження: вік пацієнтів від 9 до 18 років, первинне ожиріння, первинна стабільна АГ або поєднання вказаних захворювань, нормальна МТ та нормальний АТ (група контролю), відсутність гострих захворювань на момент проведення дослідження, згода батьків на обстеження дітей.

Критерії незалучення до дослідження: надмірна МТ, вторинне ожиріння, вторинна АГ, лабільна АГ, стани та захворювання, які є протипоказаннями до проведення велоергометрії (ВЕМ).

Визначення ТдФН та резервів організму в дітей у досліджуваних групах проведено за допомогою серцево-легеневого тестування з фізичним навантаженням із використанням велоергометричного комплексу «Кардіолаб+ вело» і велоергометра «Kettel». Для всіх пацієнтів використано протокол ступінчастого дозування навантаження. Для пацієнтів з ожирінням для визначення стартового навантаження використано «кориговану» МТ [4]. Напередодні проведення ВЕМ діти перебували у звичному для них режимі фізичної активності. Під час проведення проби в кабінеті витримано загальноприйняті вимоги щодо температури та вологості повітря.

Розрахунок окремих показників ВЕМ проведено за формулами, наведеними в таблиці 1 [15].

Статистичну обробку отриманих результатів виконано за допомогою програми «MedStat» (Ю.Є. Лях, В.Г. Гур'янов). Перевірку розподілу показників на нормальність проведено за допомогою критерію Шапіро—Уїлка, закон розподілу для всіх груп не відрізнявся від нормального. Результати дослідження наведено у вигляді середнього значення (\bar{X}) та середнього

Таблиця 1

Розрахунок основних показників велоергометрії за формулами

Назва показника, одиниця виміру	Формула
Інотропний резерв, мм рт. ст.	$CAT_{\text{макс}} - CAT_0$
Індекс інотропного резерву, ум. од.	$(CAT_{\text{макс}} - CAT_0) / CAT_0$
Хронотропний резерв, уд/хв	$ЧСС_{\text{макс}} - ЧСС_0$
Індекс хронотропного резерву, ум.од.	$(ЧСС_{\text{макс}} - ЧСС_0) / ЧСС_0$
Обсяг виконаної роботи (А), кгм	Навантаження × час виконання навантаження
Подвійний добуток (ПД), ум. од.	$CAT \times ЧСС / 100$
Індекс енергетичних витрат, ум. од.	$ПД_{\text{макс}} \times 100 / A$
Коефіцієнт використання резервів міокарда, ум.од.	Приріст ПД × 100 / А

Примітки: $CAT_{\text{макс}}$ — максимальний систолічний артеріальний тиск під час навантаження; CAT_0 — систолічний артеріальний тиск перед проведенням проби; $ЧСС_{\text{макс}}$ — максимальна частота серцевих скорочень під час навантаження; $ЧСС_0$ — частота серцевих скорочень перед проведенням проби.

Таблиця 2

Середні показники $VO_{2\text{max}}$ у досліджуваних групах, $\bar{X} \pm SD$, мл/хв/кг

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	44,3±8,0 ^{2,3,4} (n=16)	37,1±8,1 ^{1,3,4} (n=17)	27,1±8,7 ^{1,2,4} (n=10)	18,8±4,3 ^{1,2,3} (n=9)
Дівчата	33,5±5,1 ^{2,3,4} (n=19)	25,0±7,3 ^{1,4} (n=22)	20,1±7,4 ¹ (n=10)	16,2±4,2 ^{1,2} (n=9)

Примітки: ¹ — відмінність від групи 1, $p < 0,05$; ² — відмінність від групи 2, $p < 0,05$; ³ — відмінність від групи 3, $p < 0,05$; ⁴ — відмінність від групи 4, $p < 0,005$.

квадратичного відхилення (SD). Для порівняння середніх значень використано однофакторний дисперсійний аналіз, попарне порівняння виконано за t-критерієм Стьюдента. Для перевірки статистичних гіпотез при порівнянні середніх значень у групах як критичний рівень значущості прийнято $p < 0,05$.

Дослідження проведено згідно з міжнародними принципами проведення клінічних досліджень GCP, GLP, протокол затверджено на засіданні Комісії з питань біоетичної експертизи при Національному медичному університеті імені О.О. Богомольця. Перед проведенням дослідження батьками/опікунами досліджуваних дітей підписано інформовану згоду (інформовану згоду затверджено на тому ж засіданні Комісії з питань біоетичної експертизи).

Результати дослідження та їх обговорення

Максимальне споживання кисню міокардом при досягненні частоти пульсу 170 ударів за хвилину ($VO_{2\text{max}}$) вважається «золотим стандартом» оцінки аеробної ємності та серцевої функції в пацієнта, це дає змогу оцінити здатність серцево-судинної системи реагувати на фізичне навантаження на момент дослідження [4,21,26].

За даними таблиці 2, у дітей контрольної групи зафіксовано найвищі результати $VO_{2\text{max}}$ — 44,3±8,0 мл/хв/кг серед хлопчиків і 33,5±5,1 мл/хв/кг серед дівчат, що статистично достовірно відрізняється від результатів

груп 2, 3 та 4 ($p < 0,05$). Деяко нижчими були результати в групі 2 (37,1±8,1 мл/хв/кг серед хлопчиків і 25,0±7,3 мл/хв/кг серед дівчат) та в групі 3 (27,1±8,7 мл/хв/кг серед хлопчиків і 20,1±7,4 мл/хв/кг серед дівчат), які достовірно відрізнялися між собою та від груп 1 та 4 серед хлопчиків, у групі 2 — від групи 1 та 4, а в групі 3 — від групи 1 серед дівчат. У дітей з поєднанням АГ та ожиріння (група 4) середні показники $VO_{2\text{max}}$ були найнижчими — 18,8±4,3 мл/хв/кг у хлопчиків і 16,2±4,2 мл/хв/кг у дівчаток. При цьому в групі 4 у хлопчиків середні показники достовірно відрізнялися від усіх досліджуваних груп, а серед дівчаток статистична різниця відмічалася лише з середніми показниками груп 1 та 2, а з групою 3 простежувалася виражена тенденція до зниження в пацієнтів із коморбідністю АГ та ожиріння.

Під час проведення ВЕМ у 100% пацієнтів спостерігалось підвищення систолічного АТ на тлі фізичного навантаження.

Аналіз середніх показників максимального систолічного АТ в досліджуваних групах за результатами ВЕМ показав, що результати були достовірно вищими ($p < 0,005$) у групах 2 та 4 порівняно з групами 1 та 3. Отримані результати пояснюються наявністю в пацієнтів груп 2 та 4 діагнозу стабільної АГ (табл. 3).

Під час проведення статистичного аналізу окремо серед хлопчиків і серед дівчаток виявлено, що в дівчаток середні показники максимального систолічного АТ під час ВЕМ у групах

Таблиця 3

Середні показники максимального систолічного артеріального тиску в досліджуваних групах за результатами велоергометрії, $\bar{X} \pm SD$, мм рт. ст.

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	149,4±10,5 ^{2,4} (n=16)	174,8±27,7 ¹ (n=17)	158,2±8,4 (n=10)	171,0±20,8 ¹ (n=9)
Дівчата	148,6±11,8 ^{2,4} (n=19)	166,8±22,2 ^{1,3} (n=22)	139,0±13,9 ^{2,4} (n=10)	168,6±10,7 ^{1,3} (n=9)
Усього	148,2±10,67 ^{2,4} (n=35)	171,7±25,48 ^{1,3} (n=39)	149,7±14,26 ^{2,4} (n=20)	170,7±17,66 ^{1,3} (n=18)

Примітки: ¹ — відмінність від групи 1, $p < 0,05$; ² — відмінність від групи 2, $p < 0,05$; ³ — відмінність від групи 3, $p < 0,05$; ⁴ — відмінність від групи 4, $p < 0,005$.

Таблиця 4

Середні показники максимального діастолічного артеріального тиску в досліджуваних групах за результатами велоергометрії, $\bar{X} \pm SD$, мм рт. ст.

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	93,3±14,9 (n=16)	105,6±32,8 (n=17)	79,8±16,3 (n=10)	92,0±11,04 (n=9)
Дівчата	97,0±16,5 (n=19)	95,6±27,4 (n=22)	103,8±24,9 (n=10)	93,8±10,5 (n=9)
Усього	94,3±14,8 (n=35)	102,3±30,8 (n=39)	91,8±24,3 (n=20)	90,8±11,2 (n=18)

пацієнтів 2 та 4 були статистично достовірно вищими, ніж у групах 1 та 3 на рівні значущості $p < 0,05$. Деяка інша ситуація зафіксована під час проведення аналогічних розрахунків для хлопчиків. Серед хлопчиків така різниця спостерігалася лише між групами 2 та 4 і групою 1. Показники в групі 3 серед хлопчиків статистично не відрізнялися від показників в інших групах, однак простежувалася тенденція до підвищення порівняно з групою контролю. При порівнянні середніх показників максимального систолічного АТ у групах серед хлопчиків і дівчаток статистична різниця виявлена в групі 3 на рівні значущості $p = 0,032$. Такі дані співпадають із результатами досліджень науковців різних країн, які вказують на тенденцію до розвитку АГ у пацієнтів з ожирінням, а також на те, що АГ частіше розвивається у хлопчиків, ніж у дівчаток [11,20,24,30].

Під час аналізу середніх показників діастолічного АТ виявлено, що результати в групах статистично не відрізнялися між собою ні під час підрахунку даних серед загальної кількості дітей у групах, ні під час обробки даних окремо серед хлопчиків і серед дівчаток (табл. 4). Також результати статистично не відрізнялися при порівнянні між статтю в межах однакових груп дослідження.

Для визначення гемодинамічного забезпечення організму під час фізичного навантаження та оцінки судинних резервів пацієнтів у досліджуваних групах розраховано показник інотропного резерву.

За даними таблиці 5, середні показники інотропного резерву були найнижчими в групах 3 та 4 і серед загальної кількості дітей, і окремо серед хлопчиків та серед дівчаток. Однак статистична різниця відмічалася серед хлопчиків (група 4 відрізнялася від груп 1 та 2 на рівні значущості $p < 0,05$) та при аналізі середніх показників загальної кількості дітей у групах (група 3 відрізнялася від групи 1 ($p < 0,05$), група 4 відрізнялася від групи 1 та 2 ($p < 0,05$)). Серед дівчаток спостерігалася тенденція до зниження середніх показників інотропного резерву в групах 3 і 4, однак достовірної різниці не виявлено.

Для поглибленого вивчення судинних резервів у досліджуваних групах визначено індекс інотропного резерву. Цей показник порівняно з інотропним резервом вважається більш точним, оскільки враховує систолічний АТ на момент початку ВЕМ.

За даними таблиці 6, найвищими були результати середніх показників індексу інотропного резерву в групі 1 ($0,45 \pm 0,19$ ум. од.). Деяко нижчими були результати в групі 2 ($0,39 \pm 0,21$ ум. од.), однак вони статистично не відрізнялися від показників у групі 1. Достовірне зниження показників зафіксовано в групах 3 та 4 порівняно з групами 1 та 2 ($p < 0,05$). За результатами аналізу середніх показників інотропного резерву окремо серед хлопчиків та серед дівчаток отримано майже такі самі статистичні результати, однак у дівчат не відмічалася статистичної різниці між групами 2 та 3. Також статистично не відрізня-

Таблиця 5
Середні показники інотропного резерву в пацієнтів досліджуваних груп, $\bar{X} \pm SD$, мм рт. ст.

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	40,4±11,5 ⁴ (n=16)	49,5±24,5 ⁴ (n=17)	34,4±4,6 (n=10)	28,6±10,7 ^{1,2} (n=9)
Дівчата	47,08±17,4 (n=19)	40,6±20,5 (n=22)	34,0±14,1 (n=10)	35,6±14,5 (n=9)
Усього	43,5±14,6 ^{3,4} (n=35)	46,3±2,8 ⁴ (n=39)	34,2±10,4 ¹ (n=20)	29,5±11,8 ^{1,2} (n=18)

Примітки: ¹ — відмінність від групи 1 статистично значуща, $p < 0,05$; ² — відмінність від групи 2 статистично значуща, $p < 0,05$; ³ — відмінність від групи 3 статистично значуща, $p < 0,05$; ⁴ — відмінність від групи 4 статистично значуща, $p < 0,05$.

Таблиця 6
Середні показники індексу інотропного резерву в пацієнтів у досліджуваних групах, $\bar{X} \pm SD$, ум. од.

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	0,38±0,12 ^{3,4} (n=16)	0,36±0,21 ^{3,4} (n=17)	0,23±0,08 ^{1,2} (n=10)	0,19±0,10 ^{1,2} (n=9)
Дівчата	0,50±0,22 ^{3,4} (n=19)	0,33±0,19 ⁴ (n=22)	0,23±0,10 ¹ (n=10)	0,20±0,08 ^{1,2} (n=9)
Усього	0,45±0,19 ^{3,4} (n=35)	0,39±0,21 ^{3,4} (n=39)	0,23±0,08 ^{1,2} (n=20)	0,19±0,09 ^{1,2} (n=18)

Примітки: ¹ — відмінність від групи 1 статистично значуща, $p < 0,05$; ² — відмінність від групи 2 статистично значуща, $p < 0,05$; ³ — відмінність від групи 3 статистично значуща, $p < 0,05$; ⁴ — відмінність від групи 4 статистично значуща, $p < 0,005$.

Таблиця 7
Середні показники хронотропного резерву в пацієнтів у досліджуваних групах, $\bar{X} \pm SD$, уд. хв

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	53,3±9,3 (n=16)	52,6±19,5 (n=17)	68,4±18,2 (n=10)	55,0±17,1 (n=9)
Дівчата	61,9±15,0 (n=19)	64,4±28,9 (n=22)	64,6±26,2 (n=10)	63,7±7,0 (n=9)
Усього	57,1±8,6 (n=35)	57,1±24,3 (n=39)	65,8±23,1 (n=20)	58,1±17,8 (n=18)

лися середні показники в групах при порівнянні їх між статтю.

Для визначення гемодинамічного забезпечення організму під час фізичного навантаження в пацієнтів нами розраховано хронотропний резерв як маркер кардіального компоненту функціональних резервів.

Під час аналізу результатів не виявлено статистичної різниці в досліджуваних групах за середніми показниками хронотропного резерву (табл. 7). Також не виявлено відмінності між середнім показниками у хлопчиків і дівчаток у межах досліджуваних груп.

Визначення індексу хронотропного резерву дає змогу більш точно оцінити гемодинамічне забезпечення організму після фізичного навантаження порівняно з показником хронотропного резерву. Точність цього показника забезпечується тим, що під час його визначення враховується частота серцевих скорочень пацієнта на момент початку ВЕМ.

За даними таблиці 8, найнижчі показники індексу хронотропного резерву зафіксовано в групі 4 ($0,44 \pm 0,14$ ум. од.). Під час статистич-

ної обробки результатів виявлено достовірне зниження показників індексу хронотропного резерву в групі 4 порівняно з групами 1, 2 та 3. Між іншими групами достовірної відмінності не зафіксовано. За результатами статистичної обробки результатів окремо серед дівчаток отримано аналогічну статистичну різницю в групах. Під час аналізу середніх показників індексу хронотропного резерву серед хлопчиків статистичної різниці між групами не виявлено. При порівнянні результатів хлопчиків та дівчаток у межах однієї групи достовірної відмінності не виявлено.

Отримані нами результати ВЕМ, які вказують на достовірне зниження судинних резервів у пацієнтів з АГ або ожирінням і більш виражене зниження цих резервів у пацієнтів із поєднанням обох захворювань, співпадають із літературними даними. Науковці різних країн підкреслюють підвищений ризик розвитку дисфункції судин і збільшення їхньої жорсткості в дорослих та дітей з ожирінням [10,18,19].

Для визначення ефективності використання серцево-судинних резервів, а також вияв-

Таблиця 8

Середні показники індексу хронотропного резерву в пацієнтів у досліджуваних групах, $\bar{X} \pm SD$, ум. од.

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	0,64±0,19 (n=16)	0,66±0,38 (n=17)	0,66±0,23 (n=10)	0,50±0,21 (n=9)
Дівчата	0,61±0,20 ⁴ (n=19)	0,64±0,14 ⁴ (n=22)	0,67±0,18 ⁴ (n=10)	0,37±0,11 ^{2,3} (n=9)
Усього	0,60±0,21 ⁴ (n=35)	0,65±0,33 ⁴ (n=39)	0,69±0,21 ⁴ (n=20)	0,44±0,14 ^{1,2,3} (n=18)

Примітки: ¹ — відмінність від групи 1 статистично значуща, $p < 0,05$; ² — відмінність від групи 2 статистично значуща, $p < 0,005$; ³ — відмінність від групи 3 статистично значуща, $p < 0,05$; ⁴ — відмінність від групи 4 статистично значуща, $p < 0,05$.

Таблиця 9

Середні показники індексу енергетичних витрат у пацієнтів у досліджуваних групах, $\bar{X} \pm SD$, ум. од.

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	1,6±1,2 ^{2,3,4} (n=16)	7,2±6,3 ¹ (n=17)	3,3±2,2 ¹ (n=10)	10,2±7,0 ¹ (n=9)
Дівчата	2,7±1,7 (n=19)	5,7±4,7 (n=22)	2,3±0,8 (n=10)	7,4±3,3 (n=9)
Усього	2,2±1,6 ^{2,4} (n=35)	7,6±6,8 ^{1,3} (n=39)	2,8±1,9 ^{2,4} (n=20)	9,2±6,6 ^{1,3} (n=18)

Примітки: ¹ — відмінність від групи 1 статистично значуща, $p < 0,05$; ² — відмінність від групи 2 статистично значуща, $p < 0,005$; ³ — відмінність від групи 3 статистично значуща, $p < 0,005$; ⁴ — відмінність від групи 4 статистично значуща, $p < 0,001$.

лення підвищеної потреби міокарда в кисні в пацієнтів під час виконання роботи для всіх обстежених осіб розраховано індекс енергетичних витрат. У результаті статистичного аналізу результатів (табл. 8) виявлено, що найнижчими були показники в групах 1 та 3, достовірної різниці між цими досліджуваними групами не виявлено. Дещо гіршими були середні показники в групі 2 (7,6±6,8 ум. од.), при цьому вони достовірно відрізнялися від показників у групах 1 та 3. Найгіршими були показники в 4 групі (9,2±6,6 ум. од.), які статистично відрізнялися від показників у групі 1 та 3, а порівняно з групою 2 прослідковувалася тенденція до зниження, однак достовірної відмінності не відмічено. При порівнянні середніх показників індексу енергетичних витрат серед хлопчиків і дівчаток у межах однієї групи виявлено, що в дівчаток у групах 2, 3 і 4 показники дещо кращі, ніж у хлопчиків, однак статистичної відмінності не виявлено.

За результатами порівняння середніх показників індексу енергетичних витрат серед хлопчиків виявлено достовірну різницю між групою 1 (контроль) і групами 2, 3 та 4. І серед хлопчиків, і серед дівчаток не виявлено достовірної відмінності між групами 2, 3 та 4 однак чітко прослідковувалася тенденція до зниження показників у пацієнтів із коморбідністю АГ та ожиріння.

Для більш точного визначення ефективності роботи серця та економності використання серцево-судинних резервів для всіх обстежених па-

цієнтів розраховано коефіцієнт використання резервів міокарда. За даними таблиці 9, найкращими були середні показники в групах 1 та 3, при цьому статистичної різниці між цими групами не виявлено. Дещо гіршими були середні показники в групі 2, при цьому вони достовірно відрізнялися від середніх показників у групах 1 та 3. Найгіршими були показники в групі 4, статистично від цієї групи відрізнялися показники груп 1 та 3, при порівнянні з групою 3 відмічалася чітко виражена тенденція до погіршення в пацієнтів із коморбідністю АГ та ожиріння.

Отже, визначено, що в наведеному дослідженні в дітей з АГ спостерігалось менш економне використання резервів організму порівняно зі здоровими дітьми та дітьми з ожирінням, яке посилювалося за наявності ожиріння.

Отримані результати вказують на те, що за наявності в пацієнта АГ або ожиріння знижується ТдФН, більше виражене в пацієнтів із коморбідністю АГ та ожиріння.

У світовій практиці вивчення ТдФН серед дитячого населення не набуло такого поширення при різних патологіях, як серед дорослих. Однак дослідження ТдФН з урахуванням МТ в дітей вивчено в достатній кількості досліджень. Серед них — опубліковане у 2020 р., проведене в Нідерландах, показує рівень VO_{2max} у здорових дітей без ожиріння віком від 8 до 19 років ($VO_{2max}=48,3 \pm 6,2$ мл/кг/хв серед хлопчиків і $VO_{2max}=41,2 \pm 5,7$ мл/кг/хв, $p < 0,001$). У 2021 р. опубліковано дослідження, проведене серед китайських підлітків ві-

Таблиця 10

Середні показники коефіцієнта використання резервів міокарда в пацієнтів у досліджуваних групах, $\bar{X} \pm SD$, ум. од.

Стать	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
Хлопці	1,6±0,6 ^{2,4} (n=16)	4,2±5,3 ¹ (n=17)	1,8±1,2 ⁴ (n=10)	7,2±7,1 ^{1,3} (n=9)
Дівчата	1,7±1,1 ^{2,4} (n=19)	4,8±5,1 ^{1,3} (n=22)	1,9±1,3 ^{2,4} (n=10)	7,6±7,5 ^{1,3} (n=9)
Усього	1,9±0,7 ^{2,4} (n=35)	4,1±4,6 ^{1,3} (n=39)	1,8±1,2 ^{2,4} (n=20)	7,4±6,9 ^{1,3} (n=18)

Примітки: ¹ — відмінність від групи 1 статистично значуща, $p < 0,05$; ² — відмінність від групи 2 статистично значуща, $p < 0,05$; ³ — відмінність від групи 3 статистично значуща, $p < 0,05$; ⁴ — відмінність від групи 4 статистично значуща, $p < 0,05$.

ком $15,40 \pm 0,34$ року. Визначення ТдФН проведено на бігівій доріжці. З дослідження вилучено пацієнтів, які мали АГ, та курців. Однак пацієнтів не розділяли за МТ, хоча автори наголошують, що серед досліджуваних були діти з надмірною МТ та ожирінням. Середні показники VO_{2max} становили $52,73 \pm 10,34$ мл/кг/хв [26]. Проведене в Австрії дослідження, опубліковане у 2021 р., наводить подібні результати. До дослідження залучено дітей віком від 14 до 18 років, які мали нормальну МТ і були розподілені випадковим чином на групи 4 для проведення тестування за різними протоколами. Отримані результати суттєво не відрізнялися від результатів, отриманих в описаних вище дослідженнях (група 1 — $VO_{2max} = 49,9 \pm 6,5$ мл/кг/хв, група 2 — $VO_{2max} = 49,3 \pm 7,1$ мл/кг/хв, група 3 — $VO_{2max} = 51,4 \pm 10$ мл/кг/хв, група 4 — $VO_{2max} = 48,3 \pm 4,7$ мл/кг/хв) [29].

Дослідження ТдФН серед дітей з ожирінням проведено в США та опубліковано у 2015 р. Обстежено 72 дитини віком від 8 до 18 років без супутньої патології з ІМТ ≥ 95 перцентилу та 142 дитини того ж віку з ІМТ ≤ 85 перцентилу. Результати свідчать, що за наявності ожиріння в дітей VO_{2max} достовірно нижчий порівняно з дітьми з нормальною МТ ($p < 0,0001$) [9]. Ще одне дослідження проведено в Греції та опубліковано у 2017 р. Обстежено 32 дитини з ожирінням, 21 дитину з надмірною МТ та 30 дітей з нормальною МТ віком $11,98 \pm 1,95$ року, $10,91 \pm 1,72$ і $11,35 \pm 2,21$ року відповідно. Результати дослідження вказують, що VO_{2max} статистично достовірно нижчий за наявності ожиріння ($p = 0,001$) або надмірної МТ ($p = 0,025$) порівняно зі здоровими дітьми того ж віку [28]. Дослідження, проведене в м. Берлін та опубліковане у 2022 р., включало в себе дітей з екстремальним ожирінням віком від 12 до 17 років. Середні показники VO_{2max} становили $23,5 \pm 2,9$ мл/хв/кг. Однак слід зазначити, що в цьому дослідженні не виділено в окрему

групу дітей з коморбідністю ожиріння та АГ. На нашу думку, цей факт міг суттєво вплинути на результати обстеження [17].

У педіатрії наявні обмежені дані щодо вивчення ТдФН в пацієнтів з АГ та зовсім відсутні в дітей з поєднанням АГ та ожиріння. Так, у 2017 р. опубліковано дослідження, проведене нашою командою науковців серед дітей м. Києва, віком від 10 до 17 років, з первинною АГ. Середні показники VO_{2max} становили $35,50 \pm 0,18$ мл/хв/кг. Однак у цьому дослідженні не проведено розподіл дітей за масою тіла [23].

Перспектива досліджень. Розрахунок показників, що дають змогу оцінити судинні та кардіальні резерви пацієнтів (інотропний резерв, індекс інотропного резерву, хронотропний резерв, індекс хронотропного резерву), а також ефективність їхнього використання під час серцево-легеневого тестування (індекс енергетичних витрат і коефіцієнт використання резервів міокарда) не є загальноприйнятою світовою практикою та не входить до чинних рекомендацій щодо інтерпретації результатів ВЕМ [12,16,25].

Однак визначення цих показників суттєво розширює можливості ВЕМ та допомагає ефективніше її використовувати в практичній та науковій діяльності, на що вказано в нашій попередній роботі [23]. Перспектива подальших досліджень із використанням ВЕМ має полягати у визначенні та оцінюванні судинних і кардіальних резервів, а також ефективності їхнього використання під час фізичного навантаження в дітей при різних патологіях. Це дасть змогу розробити нові та удосконалити існуючі реабілітаційні заходи для пацієнтів.

Висновки

За наявності в пацієнтів АГ або ожиріння відмічається зниження VO_{2max} за результатами ВЕМ. При коморбідності АГ та ожиріння зни-

ження цього показника достовірно більше виражено ($p < 0,05$) порівняно з пацієнтами, які мають лише одне з названих захворювань.

У хлопчиків з ожирінням відмічається тенденція до підвищення максимального систолічного АТ під час ВЕМ ($158,2 \pm 8,4$ мм рт. ст.) порівняно зі здоровими дітьми ($149,4 \pm 10,5$ мм рт. ст.). У дівчаток такої тенденції не виявлено.

Середні показники максимального діастолічного АТ під час ВЕМ в усіх досліджуваних групах достовірно не відрізнялися від середніх показників контрольної групи.

Аналіз середніх показників інотропного резерву та індексу інотропного резерву свідчить, що АГ та ожиріння негативно впливають на судинні резерви пацієнтів та гемодинамічне забезпечення фізичного навантаження. Ожиріння супроводжується більш вираженим зниженням судинних резервів, ніж АГ. Коморбідність цих захворювань у пацієнтів асоціюється з погіршенням даного показника порівняно з пацієн-

тами, у яких наявне тільки одне захворювання. Показники судинних резервів не відрізняються в хлопчиків і дівчаток у межах однакових досліджуваних груп.

Отримані результати вказують на зниження кардіальних резервів (хронотропний резерв та індекс хронотропного резерву за результатами ВЕМ) за наявності в пацієнта коморбідності АГ та ожиріння. Водночас наявність у пацієнта тільки одного з названих захворювань не супроводжується достовірним зниженням показників порівняно з групою контролю.

У пацієнтів з АГ відмічається менш ефективне використання резервів міокарда та підвищена потреба міокарда в кисні під час виконання роботи порівняно зі здоровими дітьми. Коморбідність АГ та ожиріння в пацієнтів супроводжується погіршенням цих показників порівняно з дітьми, які мають лише АГ.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES/ЛІТЕРАТУРА

- Anselmi F, Cavigli L, Pagliaro A, Valente S, Mondillo S, Focardi M et al. (2021). Cardiopulmonary exercise testing: an essential tool for a tailored exercise prescription in patients with cardiac disease. *Giornale italiano di cardiologia*. 22 (9): 716–726. <https://doi.org/10.1714/3660.36449>.
- Behrens CE Jr, Ahmed K, Ricart K, Linder B, Fernández J et al. (2020). Acute beetroot juice supplementation improves exercise tolerance and cycling efficiency in adults with obesity. *Physiological reports*. 8 (19): e14574. <https://doi.org/10.14814/phy2.14574>.
- Blais S, Berbari J, Counil FP, Dallaire F. (2015). A Systematic Review of Reference Values in Pediatric Cardiopulmonary Exercise Testing. *Pediatric cardiology*. 36 (8): 1553–1564. <https://doi.org/10.1007/s00246-015-1205-6>.
- Blanchard J, Blais S, Chetaille P, Bisson M, Counil FP et al. (2018). New Reference Values for Cardiopulmonary Exercise Testing in Children. *Medicine and science in sports and exercise*. 50 (6): 1125–1133.
- Borasio N, Neunhaeuserer D, Gasperetti A, Favero C, Baioccatto V et al. (2021). Ventilatory Response at Rest and During Maximal Exercise Testing in Patients with Severe Obesity Before and After Sleeve Gastrectomy. *Obesity surgery*. 31 (2): 694–701. <https://doi.org/10.1007/s11695-020-04944-z>.
- Boutou AK, Daniil Z, Pitsiou G, Papakosta D, Kioumis I, Stanopoulos I. (2020). Cardiopulmonary exercise testing in patients with asthma: What is its clinical. *Respiratory medicine*. 167: 105953. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2020.105953>.
- Boutou AK, Zafeiridis A, Pitsiou G, Dipla K, Kioumis I, Stanopoulos I. (2020). Cardiopulmonary exercise testing in chronic obstructive pulmonary disease: An update on its clinical value and applications. *Clinical physiology and functional imaging*. 40 (4): 197–206. <https://doi.org/10.1111/cpf.12627>.
- Cooper DM, Leu SY, Galassetti P, Radom-Aizik S. (2014). Dynamic interactions of gas exchange, body mass, and progressive exercise in children. *Medicine and science in sports and exercise*. 46 (5): 877–886. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000180>.
- Cooper DM, Leu SY, Taylor-Lucas C, Lu K, Galassetti P, Radom-Aizik S. (2016). Cardiopulmonary Exercise Testing in Children and Adolescents with High Body Mass Index. *Pediatric exercise science*. 28 (1): 98–108. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0107>.
- Cuijpers I, Simmonds, S J, van Bilsen M, Czarnowska E, González Miqueo A, Heymans S et al. (2020). Microvascular and lymphatic dysfunction in HFpEF and its associated comorbidities. *Basic research in cardiology*. 115 (4): 39. <https://doi.org/10.1007/s00395-020-0798-y>.
- Fantin F, Giani A, Zoico E, Rossi AP, Mazzali G, Zamboni M. (2019). Weight Loss and Hypertension in Obese Subjects. *Nutrients*. 11 (7): 1667. <https://doi.org/10.3390/nu11071667>.
- Grzyb A, Domagalska-Szopa M, Siwiec A, Kwiecień-Czerwieńec I, Szopa A. (2021). Cardiopulmonary Capacity in Overweight and Obese Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study. *Frontiers in physiology*. 12: 671827. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.671827>.
- Guazzi M, Bandera F, Ozemek C, Systrom D, Arena R. (2017). Cardiopulmonary Exercise Testing: What Is its. *Journal of the American College of Cardiology*. 70 (13): 1618–1636. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.08.012>.
- Hyshchak TV, Marushko YuV, Dmytryshyn OA, Kostynska NG, Dmytryshyn BYa. (2022). Tolerance to physical activity and its changes in children after COVID-19 (literature review, own data). *Modern Pediatrics. Ukraine*. 5 (125): 108–116. doi: 10.15574/SP.2022.125.108.

15. Hyshchak TV. (2017). Pervynna arterialna hipertenzia u ditei: systemni mekhanizmy adaptatsii, dyferentsiivana terapiia. Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia doktora medychnykh nauk: 14.01.10 «Pediatriia». K.: 330. [Гишчак ТВ. (2017). Первинна артеріальна гіпертензія у дітей: системні механізми адаптації, диференційована терапія. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора медичних наук: 14.01.10 «Педіатрія». К.: 330].
16. Johansson L, Brissman M, Morinder G, Westerståhl M, Marcus C. (2020). Reference values and secular trends for cardiorespiratory fitness in children and adolescents with obesity. *Acta paediatrica* (Oslo, Norway: 1992). 109 (8): 1665–1671. <https://doi.org/10.1111/apa.15163>.
17. Kalski L, Wannack M, Wiegand S, Wolfarth B. (2022). Comparison of two methods of cardiopulmonary exercise testing for assessing physical fitness in children and adolescents with extreme obesity. *European journal of pediatrics*. 181 (6): 2389–2397. <https://doi.org/10.1007/s00431-022-04434-7>.
18. Köchli S, Endes K, Infanger D, Zahner L, Hanssen H. (2018). Obesity, Blood Pressure, and Retinal Vessels: A Meta-analysis. *Pediatrics*. 141 (6): e20174090. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-4090>.
19. Koenen M, Hill MA, Cohen P, Sowers JR. (2021). Obesity, Adipose Tissue and Vascular Dysfunction. *Circulation research*. 128 (7): 951–968. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.318093>.
20. Litwin M, Kułaga Z. (2021). Obesity, metabolic syndrome, and primary hypertension. *Pediatric nephrology* (Berlin, Germany). 36 (4): 825–837. <https://doi.org/10.1007/s00467-020-04579-3>.
21. Martial MM. (2014). The role of exercise testing in pediatric cardiology. *Archives of cardiovascular diseases*. 107 (5): 319–327. URL: https://www.researchgate.net/publication/262538399_The_role_of_exercise_testing_in_pediatric_cardiology.
22. Marushko Yu, Dmytryshyn O, Hyshchak T, Iovitsa T, Bovkun O. (2023). Osoblyvosti metodyky, diahnostychna tsinnist ta hlobalni rekomendatsii shchodo otsinky tolerantnosti do fizychnykh navantazhen u ditei (ohliad literatury, vlasni doslidzhennia). *Zdorovia dytyny*. 17 (8): 401–410. [Марушко Ю, Дмитришин О, Гишчак Т, Іовіца Т, Бовкун О. (2023). Особливості методики, діагностична цінність та глобальні рекомендації щодо оцінки толерантності до фізичних навантажень у дітей (огляд літератури, власні дослідження). *Здоров'я дитини*. 17 (8): 401–410]. <https://doi.org/10.22141/2224-0551.17.8.2022.1547>.
23. Marushko YuV, Hyschak TV. (2017). Features of cardiovascular systems functional reserves according to a bicycle stress test in children with primary hypertension and magnesium deficiency and correction of revealed violations. *Sovremennaya pediatriya*. 1 (81): 92–98. [Марушко ЮВ, Гишчак ТВ. (2017). Особливості функціональних резервів серцево-судинної системи за результатами велоергометрії у дітей з первинною артеріальною гіпертензією і дефіцитом магнію та виявлених порушень. *Современная педиатрия*. 1 (81): 92–98]. doi 10.15574/sp.2017.81.92.
24. Natsis M, Antza C, Doundoulakis I, Stabouli S, Kotsis V. (2020). Hypertension in Obesity: Novel Insights. *Current hypertension reviews*. 16 (1): 30–36. <https://doi.org/10.2174/1573402115666190415154603>.
25. Pritchard A, Burns P, Correia J, Jamieson P, Moxon P, Purvis J et al. (2021). ARTP statement on cardiopulmonary exercise testing 2021. *BMJ open respiratory research*. 8 (1): e001121. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2021-001121>.
26. Sheridan S, McCarren A, Gray C, Murphy RP, Harrison M, Wong SHS, Moyna NM. (2020). Maximal oxygen consumption and oxygen uptake efficiency in adolescent males. *Exerc Sci Fit*. 19 (2): 75–80. doi: 10.1016/j.jesf.2020.11.001.
27. Tomkinson GR, Lang JJ, Tremblay MS. (2019). Temporal trends in the cardiorespiratory fitness of children and adolescents representing 19 high-income and upper middle-income countries between 1981 and 2014. *British journal of sports medicine* 53 (8): 478–486. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097982>.
28. Tsiroukidou K, Papagianni M, Hatziagorou E, Galli-Tsinopoulou A, Giannopoulos A, Tsanakas I. (2017). Exercise testing and adipokine levels for the evaluation of overweight and obesity in children. *Hippokratia*. 21 (3): 124–129.
29. Windhaber J, Steinbauer M, Holter M, Wieland A, Kogler K et al. (2021). Bicycle spiroergometry: comparison of standardized examination protocols for adolescents: is it necessary to define own standard values for each protocol? *European journal of applied physiology*. 121 (6): 1783–1794. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04601-y>.
30. Wühl E. (2019). Hypertension in childhood obesity. *Acta paediatrica* (Oslo, Norway: 1992). 108 (1): 37–43. <https://doi.org/10.1111/apa.14551>.

Відомості про авторів:

Марушко Юрій Володимирович — д.мед.н., проф., зав. каф. педіатрії післядипломної освіти НМУ імені О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, б-р Т. Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0001-8066-9369>.

Костинська Наталія Георгіївна — PhD-аспірант каф. педіатрії післядипломної освіти НМУ імені О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, б-р Т. Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0002-1922-3381>.

Гишчак Тетяна Віталіївна — д.мед.н., проф. каф. педіатрії післядипломної освіти, НМУ імені О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, б-р Тараса Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0002-7920-7914>.

Дмитришин Ольга Андріївна — асистент каф. педіатрії післядипломної освіти, НМУ імені О.О. Богомольця. Адреса: м. Київ, б-р Тараса Шевченка, 13. <https://orcid.org/0000-0002-5550-7234>.

Стаття надійшла до редакції 10.01.2023 р., прийнята до друку 11.04.2023 р.