



УДК 612.766.1-053.2-044.352(048)

DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0551.17.8.2022.1547>

Марушко Ю.В. , Дмитришин О.А. , Гищак Т.В. , Іовіца Т.В. , Бовкун О.А.   
Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

## Особливості методики проведення, діагностична цінність та світові рекомендації з оцінки толерантності до фізичного навантаження у дітей (огляд літератури, власні дослідження)

For citation: *Child`s Health*. 2022;17(8):401-410 doi: 10.22141/2224-0551.17.8.2022.1547

**Резюме.** Оцінка толерантності до фізичного навантаження є одним із методів клінічної діагностики стану здоров'я людини, що дає можливість визначити та комплексно проаналізувати ступінь фізичної тренуваності пацієнта, його здатність переносити фізичне навантаження, адаптаційні можливості організму. Рівень толерантності до фізичного навантаження відіграє велику роль в оцінці стану здоров'я та якості життя дітей і підлітків, оскільки залежить від цілого комплексу чинників, а саме: функціональних властивостей серцево-судинної, дихальної, кістково-м'язової системи та рівня фізичної підготовки. Для оцінки толерантності до фізичного навантаження використовуються проби з дозованим фізичним навантаженням. Діагностична цінність методик оцінки толерантності до фізичного навантаження полягає у можливості постійного моніторингу частоти серцевих скорочень, артеріального тиску, запису електрокардіограми, фіксації рівня насичення крові киснем, визначення пікового або максимального споживання кисню ( $VO_2 \max$ ) прямим і непрямим методом під час виконання проби. Інтерпретація отриманих результатів створює значні можливості діагностичного пошуку для лікаря-педіатра. Мета роботи — узагальнити дані літератури щодо особливостей методик виконання проб з дозованим фізичним навантаженням, їх діагностичної цінності та світових рекомендацій для оцінки толерантності до фізичного навантаження у дітей; оцінка результатів власних досліджень.

**Ключові слова:** толерантність до фізичного навантаження; проби з фізичним навантаженням; проба Руф'є; велоергометрія; максимальне споживання кисню ( $VO_2 \max$ ); міокардіальні резерви; індекс Руф'є; діти

Оцінка толерантності до фізичного навантаження — це один із методів клінічної діагностики стану здоров'я людини, що дає можливість визначити та комплексно проаналізувати ступінь фізичної тренуваності пацієнта, його здатність переносити фізичне навантаження, адаптаційні можливості дихальної (ДС) та серцево-судинної системи (ССС). Саме від функціональної здатності цих систем залежить ступінь толерантності до фізичного навантаження [39].

Рівень толерантності до фізичного навантаження відіграє велику роль в оцінці стану здоров'я та якості життя дітей та підлітків, оскільки залежить від цілого комплексу чинників, а саме: функціональних можливостей

ССС, ДС, кістково-м'язової системи та рівня фізичної підготовки. Низький рівень толерантності до фізичного навантаження у дітей та підлітків є ознакою їх фізичної детренуваності та підвищує ризик несприятливого прогнозу щодо появи патологій з боку СССР у майбутньому. Чим більше навантаження та довшу його тривалість може переносити дитина чи підліток, тим менший ризик смерті від серцево-судинної патології або інших причин. Саме тому важливою є оцінка толерантності до фізичного навантаження та раннє виявлення її неадекватного рівня з метою запобігання смертельним випадкам, пов'язаним з детренуваністю СССР, у відповідь на повсякденне фізичне навантаження [37].

© 2022. The Authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC BY, which allows others to freely distribute the published article, with the obligatory reference to the authors of original works and original publication in this journal.

Для кореспонденції: Марушко Юрій Володимирович, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри педіатрії післядипломної освіти, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульв. Т. Шевченка, 13, м. Київ, 01601, Україна; e-mail: [iurii.marushko@gmail.com](mailto:iurii.marushko@gmail.com)  
For correspondence: Yurii Marushko, MD, PhD, Professor, Head of the Department of pediatrics of postgraduate education, Bogomolets National Medical University, T. Shevchenko boulevard, 13, Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: [iurii.marushko@gmail.com](mailto:iurii.marushko@gmail.com)

Full list of authors information is available at the end of the article.

Для оцінки толерантності до фізичного навантаження використовуються проби з дозованим фізичним навантаженням. Однією із найбільш широко вживаних в Україні, швидкою та доступною методикою оцінки толерантності до фізичного навантаження у дітей є проба Руф'є. Згідно з чинною «Інструкцією розподілу учнів на групи для занять на уроках фізичної культури», затвердженою Наказом Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України та Міністерства освіти і науки України № 518/674 від 20.07.2009 року, визначення функціонально-резервних можливостей ССС проводиться за пробою Руф'є. Методика проведення функціональної проби така: дитина повинна виконати 30 присідань з витягнутими вперед руками протягом 45 с. Після 3–5 хв відпочинку у положенні сидячи в обстежуваного підраховують пульс кожні 15 с, доки не буде отримано 2–3 однакові цифри (ЧСС1). Отримані дані записують до протоколу, і пропонується виконати ще раз 30 присідань. Після закінчення вправи дитина сідає і проводиться підрахунок пульсу за перші 15 с першої хвилини відновлення (ЧСС2) та за останні 15 с першої хвилини відновлення (ЧСС3). Далі обчислюють індекс Руф'є (ІР) за такою формулою:  $IP = (4 \times (ЧСС1 + ЧСС2 + ЧСС3) - 200) / 10$ . Рівні функціонального резерву серця визначаються з урахуванням п'яти градацій: менше ніж 3 — високий рівень; 4–6 — вище від середнього (добрий); 7–9 — середній; 10–14 — нижче від середнього (задовільний); більше ніж 15 — низький [27, 29]. Також для більш детальної оцінки толерантності до фізичного навантаження доцільно брати до уваги вік дитини (табл. 1) [44].

Проба Руф'є — це скринінговий метод діагностики порушень функціональних властивостей ССС, що дає можливість виявлення відповідних груп ризику і подальшого дообстеження за допомогою проб з дозованим фізичним навантаженням. Значення тестів з фізичним навантаженням полягає у тому, що під час їх проведення необхідне систематичне і лінійне збільшення інтенсивності вправ до моменту, поки людина не в змозі підтримувати або терпіти робоче навантаження. Це дає можливість оцінити зв'язок між зовнішнім (легеневим) і внутрішнім (клітинним) диханням в умовах підвищеного метаболічного попиту. Під час тесту фіксуються певні зміни ССС, ДС, метаболічні показники, за допомогою яких оцінюється здатність ССС доставляти збагачену киснем кров до скелетних м'язів і здатність м'язів використовувати кисень [6].

**Мета роботи** — узагальнити дані літератури щодо особливостей методик виконання проб з дозованим

фізичним навантаженням, їх діагностичної цінності та світових рекомендацій для оцінки толерантності до фізичного навантаження у дітей; оцінка результатів власних досліджень.

Стандартизована методика виконання серцево-легеневої проби з фізичним навантаженням у дітей описана в науковій заяві Ради серцево-судинних захворювань молоді, Комітету з атеросклерозу, гіпертонії та ожиріння в молодих людей Американської асоціації серця (АНА) під назвою «Клінічне стрес-тестування в педіатричній віковій групі» (Clinical Stress Testing in the Pediatric Age Group) у 2006 році. Згідно з даною настановою виконання проб з дозованим фізичним навантаженням у дитячій віковій групі має на меті оцінити продуктивність фізичних вправ і механізмів, які обмежують фізичні можливості окремої дитини або підлітка [30].

Загальні показання до стрес-тестування містять оцінку певних ознак або симптомів, які виникають при виконанні фізичного навантаження; виявлення аномальних реакцій на вправи у дітей із захворюваннями ССС, ДС. До таких реакцій відносять виникнення під час фізичного навантаження ішемії міокарда, порушень серцевого ритму, нападу бронхіальної астми, появу патологічних змін артеріального тиску (АТ) тощо [24]. Під час проби проводять оцінку функціональної ємності ССС та ДС, визначають ефективність певних медикаментозних або хірургічних методів лікування, перевіряють функціональні можливості для навчання, занять фізичною культурою, спортом та професійної діяльності, а також встановлюють вихідні параметри організму дитини для розробки комплексу реабілітаційних і спортивних заходів [2, 30].

Абсолютними протипоказаннями до проведення проб з фізичним навантаженням є серцева недостатність IIб і III ступеня, обструкція вихідного тракту лівого шлуночка (гіпертрофічна кардіоміопатія, стеноз аорти), активні запальні процеси в серці (кардит, перикардит). Відносні протипоказання: миготіння і тріпотіння передсердь, напади пароксизмальної шлуночкової тахікардії і фібриляції шлуночків в анамнезі із синкопе або без них, повна атріовентрикулярна блокада, аневризма, артеріальна гіпертензія, при якій показники перевищують такі значення: тиск більше ніж 180/100 мм рт.ст. (для дітей старше ніж 11 років), більше ніж 160/80 мм рт.ст. (для дітей молодше ніж 11 років), лихоманка та реконвалесценція протягом 1 місяця після гострих і загострення хронічних інфекційних захворювань [26].

**Таблиця 1. Нормативні показники ІР залежно від віку**

Оцінка толерантності	15 років і старше	13–14 років	11–12 років	9–10 років	7–8 років
Погана	15	16,5	18	19,5	21
Слабка	11–15	12,5–16,5	14–18	15,5–19,5	17–21
Нормальна	6–10	7,5–11,5	9–13	10,5–14,5	12–16
Добра	0,5–5	2–6,5	3,5–8	5–9,5	6,5–11
Відмінна	0	1,5	3	4,5	6

Лабораторія, у якій проводяться тести з фізичним навантаженням, повинна бути достатньо великою для розміщення бігової доріжки та/або велоергометра, ЕКГ-апарата, з місцем для огляду пацієнтів та наявністю простору навколо велоергометра для екстреного обладнання, якщо таке знадобиться. Також бажано мати місце у задній частині кімнати, щоб батьки могли бути присутніми під час тестування. Мікроклімат лабораторії повинен відповідати таким показникам: температура повітря 20–24 °С і відносна вологість 50–60 %. Освітлення у всій лабораторії повинно бути достатнім, щоб забезпечити повний огляд пацієнта та обладнання [5].

Параметри бігової доріжки або велоергометра повинні відповідати віку дитини. Наприклад, велоергометр має бути оснащений сидінням з можливістю регулювання його висоти, щоб дитина могла дістати до педалей і мати кут згинання в колінному суглобі 10–15° при розігнутій нозі. Також лабораторія повинна бути оснащена точкою подачі кисню та реанімаційними засобами. До проведення проби з дозованим фізичним навантаженням допускається лікар та асистент, які мають навички надання невідкладної допомоги дітям, проведення серцево-легеневої реанімації у дітей [12].

Перед проведенням проби лікар повинен ознайомитися з історією хвороби пацієнта. Крім цього, перед процедурою тестування пацієнт отримує низку вказівок щодо підготовки до проби. Дитина не повинна бути голодна або їсти важку їжу за 2–3 години до тесту. Також пацієнтам не рекомендується вживати кофеїн у день тесту, у тому числі газовану воду з кофеїном. Одяг дитини повинен бути зручним та спортивним. Безпосередньо перед виконанням проби необхідно ще раз пояснити техніку проведення тесту і запевнити дитину, що це не боляче. Потім дитині та батькам слід дати можливість отримати відповіді на всі запитання, що можуть їх цікавити. Також до проведення проби батьки повинні підписати інформовану згоду на проведення тестування. Обговорення того, як і чому тест може

бути припинений, у тому числі за бажанням пацієнта, також має відбуватися перед тестом. Необхідно поважати право пацієнта припинити тестування за власним бажанням [30].

Під час підготовки до тесту пацієнту встановлюється десять електродів, щоб можна було безперервно відстежувати електрокардіограму (ЕКГ) у 12 відведеннях під час виконання фізичного навантаження. Розміщення електродів має бути в модифікованій версії Mason-Likar. Також на цьому етапі фіксується манжета для вимірювання АТ на руці та датчик пульсоксиметра. Перед виконанням фізичних вправ хворому слід дати можливість ознайомитися з диханням через маску газоаналізатора видихуваної суміші. На початку фізичних вправ пацієнтам слід надати час для розминки, що складається з низького робочого навантаження [30].

Моторизована бігова доріжка є одним із варіантів обладнання для оцінки толерантності до фізичного навантаження. Збільшення навантаження під час виконання тесту відбувається шляхом збільшення швидкості та/або рівня (підйому) стрічки на біговій доріжці. Перевагою тестування на біговій доріжці є те, що більшість людей знайомі з ходьбою або бігом, зокрема діти віком до 3 років. Утім, за інформацією Американської асоціації спортивної медицини (American college of sports medicine), існує і суттєва низка недоліків використання бігової доріжки порівняно з велоергометром (табл. 2) [2].

Аналіз огляду літератури щодо порівняння результатів максимального споживання кисню ( $VO_2 \max$ ), зареєстрованих при проведенні тестування за допомогою бігової доріжки і велоергометра, показав, що обидва види тренажерів є однаково ефективними в оцінці проб з фізичним навантаженням [32].

Таким чином, вибір певного обладнання залежить від можливості лабораторії або індивідуальних вподобань, оскільки обидва методи забезпечують отримання надійних фізіологічних вимірювань та мають однакову

**Таблиця 2. Порівняння бігової доріжки та велоергометра при їх використанні для оцінки толерантності до фізичного навантаження**

Показник	Бігова доріжка	Велоергометр
Витрати	Більш дороге обладнання	Менш дороге обладнання
Шум	Більш шумна	Менш шумний
Безпека тестування	Більш небезпечна	Менш небезпечний
Можливість корекції ступеня навантаження	Легко коригувати швидкість та рівень підйому бігової доріжки	Легко коригувати важкість прокручування педалей
Визначення ефективності роботи	Важче кількісно оцінити рівень роботи через вплив на цей параметр розміру тіла, маси, ходи, довжини кроку	Велоергометри з електричними гальмами дають можливість точно виміряти виконану роботу
Особливості вимірювання показників	Складніше проводити реєстрацію ЕКГ та вимірювати АТ через артефакти руху	Легше проводити реєстрацію ЕКГ та вимірювати АТ, вплив артефактів руху менш виражений
Простір	Потребує багато простору	Не потребує багато простору
Інше	Легше проводити калібровку порівняно з велоергометром	Діти молодшого віку можуть або взагалі не вміти крутити педалі велоергометра, або не можуть утримати ритм вправи

діагностичну цінність для визначення толерантності до фізичного навантаження [30].

Під час проведення проби з фізичним навантаженням проводиться постійний запис ЕКГ. Перед тестом слід записати ЕКГ у стані спокою. Обладнання для реєстрації ЕКГ, що використовується для тестування з фізичним навантаженням, повинно мати дисплей для відображення даних у реальному часі та «записувач» з можливістю наступного перегляду та друку [30].

Під час реєстрації ЕКГ також проводиться постійний моніторинг частоти серцевих скорочень (ЧСС). Важливо зафіксувати ЧСС до початку фізичного навантаження, її приріст під час виконання проби, значення максимально досягнутих показників та відповідні зміни в період відпочинку [30].

Під час виконання проби важливо проводити моніторинг АТ. Зазвичай рекомендується вимірювати АТ у спокої перед початком тесту, під час тесту для оцінки підйому АТ або для виявлення загрозливої гіпотензії та в період відпочинку. У більшості випадків вимірювань кожні 3 хвилини під час тренування та відновлення достатньо. Для проведення точних і надійних вимірювань АТ рекомендовано використовувати механічні тонометри, при цьому розмір манжети повинен відповідати розміру руки пацієнта. Використання занадто малої манжети призведе до переоцінки АТ та фіксації хибно високих показників [10].

Рекомендовано проведення пульсоксиметрії під час виконання фізичних вправ. Рівень насичення гемоглобіну киснем вимірюють за допомогою пульсоксиметра. Найбільш часто використовуються типи пульсоксиметрів, що вимірюють сатурацію на кінчику пальця або мочки вуха. Забезпечення належного контакту поверхні шкіри та її перфузія поліпшать надійність результатів пульсоксиметрії. Саме тому важливо вказати пацієнту не охоплювати занадто міцно опорні поперечини бігової доріжки або керма велоергометра [14].

Максимальне споживання кисню ( $VO_2 \max$ ), досягнуте під час градуального максимального фізичного навантаження, рекомендується Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) як золотий стандарт оцінки толерантності до фізичного навантаження ще з 1968 р. [38].

$VO_2 \max$  вимірюється в мл/хв або мл/кг/хв і є загальноживим індексом аеробної та серцево-судинної підготовки як у здорових, так і у хворих дітей [28]. Цей показник означає максимальну кількість кисню, що поглинається та використовується організмом під час інтенсивних фізичних навантажень із залученням значної частини м'язів, при яких подальше збільшення швидкості роботи не призводить до додаткового підвищення  $VO_2$  (тобто плато) [17]. Залежно від технічних особливостей вимірювання показника максимального споживання кисню розрізняють прямий і непрямий  $VO_2 \max$ , тобто  $VO_2 \max$ , виміряний прямим і непрямим методом відповідно. Показник  $VO_2 \max$ , отриманий за допомогою непрямого методу, — це прогнозований  $VO_2 \max$  ( $VO_2 \max \text{ predicted}$ ), що розраховується за математичними формулами залежно від протоколу виконання фізичного навантаження [19].

Прямий метод (лабораторний) — це вимірювання показника  $VO_2 \max$  у видихуваній суміші газів за допомогою автоматизованих медичних тест-систем газового аналізу (MGA) або метаболічних вимірювальних візків (MMC) [16]. Це обладнання визначає об'єм видихуваного повітря та рівень часткових концентрацій кисню ( $FeO_2$ ) і вуглекислого газу ( $FeCO_2$ ) у повітрі, що видихається. На основі цих трьох результатів вимірюються такі параметри: хвилинна вентиляція (VE), дихальний об'єм (VT), рівень поглинання кисню ( $VO_2$ ) і вуглекислого газу ( $VCO_2$ ), вентиляційний еквівалент для кисню ( $VE/VO_2$ ) і вуглекислого газу ( $VE/VCO_2$ ), парціальний тиск кисню ( $PetO_2$ ) і вуглекислого газу ( $PetCO_2$ ) у кінці вдиху, коефіцієнт дихального обміну,  $VO_2 \max$  і  $VO_2$  на анаеробному порозі. Пряме вимірювання  $VO_2 \max$  є добре обґрунтованим і надійним [11].

При використанні газоаналізаторної тест-системи необхідно подбати про правильний збір видихуваного повітря та запобігання його витоку в обстежуваних дітей. Для старших дітей рекомендовано використовувати мундштук та затискач для носа. Для дітей молодшого віку — щільно прилягаючі маски з гелем-герметиком [30].

Додатково під час виконання проби з фізичним навантаженням може використовуватися обладнання для проведення ехокардіографії, спірометрії, візуалізації міокардіального кровотоку [30].

Проведення тестування з фізичним навантаженням відбувається згідно з протоколами виконання проб. Протокол являє собою опис стандарту виконання тесту таким чином, щоб пацієнт досягнув межі толерантності до фізичного навантаження за  $10 \pm 2$  хвилини. Найбільш широко використовувані протоколи поділяються на такі категорії: 1) багатоступеневе поступове виконання вправ (збільшення фізичного навантаження кожні 2 або 3 хвилини з псевдостационарним станом на кожному етапі); 2) прогресивно поступове (щохвилине) або постійно зростаюче фізичне навантаження (пандус); 3) постійний темп фізичних вправ (5–10 хвилин). Перед виконанням протоколу обов'язково є розминка (3 хвилини), після — реєстрація періоду відновлення (від 5 до 10 хвилин). Можливі варіанти велоергометричних протоколів з визначенням  $VO_2 \max$  прямим методом наведені в табл. 3 [30].

Під час виконання тесту бажано досягнути максимальних показників фізичних можливостей дитини і бути обережним, щоб не закінчити тест занадто швидко. Існує три загальні показання для припинення тесту з фізичним навантаженням: 1) коли результати діагностики встановлені та подальше тестування не надасть додаткової інформації; 2) при виході з ладу контрольного обладнання; 3) коли знаки або симптоми вказують на те, що подальше тестування може поставити під загрозу самопочуття пацієнта. Слід спробувати швидко ідентифікувати джерело симптомів пацієнта до припинення проби, щоб тест не було припинено передчасно. Наприклад, запаморочення під час фізичного навантаження може свідчити про зниження серцевого викиду, але якщо АТ і ЧСС пацієнта збільшуються, зберігається нормальний серцевий ритм, рівень сатурації, то, ймо-

вірно, причина запаморочення не зниження серцевого викиду, а інша [30].

Завжди слід миттєво припиняти проведення проби при таких ознаках: зниження ЧСС при збільшенні навантаження, пов'язане із сильною втомою, запамороченням (ознака недостатнього серцевого викиду); прогресуюче падіння систолічного АТ на фоні підвищення робочого навантаження; тяжка гіпертензія, систолічний АТ більше ніж 190–220 мм рт.ст., діастолічний АТ більше ніж 95–125 мм рт.ст.; біль у ділянці серця; нестерпні з точки зору пацієнта задишка і тахікардія; прогресуюче падіння сатурації до 90 % і нижче; наявність плоскої або похилої депресії сегмента ST  $\geq 3$  мм; збільшення шлуночкової ектопії на фоні збільшення навантаження [30].

Під час виконання проб з фізичним навантаженням можливе виникнення різних ускладнень, зокрема серцевих (брадиаритмії, тахіаритмії, гострий коронарний синдром, артеріальна гіпотензія, синкопе та шок), несерцевих (травма опорно-рухового апарату та м'яких тканин) та інших (сильне відчуття втоми і нездужання, запаморочення) [13].

Стандартизована методика оцінки толерантності до фізичного навантаження дає можливість отримати найточніші результати тестування та має найбільшу діагностичну цінність. Попри це серцево-легеневе тестування з фізичним навантаженням і визначенням  $VO_2 \max$  прямим методом має декілька недоліків, зокрема складне дороге обладнання, наявність спеціально облаштованої лабораторії, високі експлуатаційні витрати, у тому числі для газоаналізаторного обладнання, що потребує ретельного обслуговування та калібрування [19].

У науковій заяві Американської асоціації серця (АНА) під назвою «Кардіореспіраторний фітнес у молоді: важливий маркер здоров'я» (Cardiorespiratory Fitness in Youth: An Important Marker of Health), що опублікована в 2020 році, вказується на можливість та доцільність застосування тестів без аналізу видихуваної суміші газів [34]. Це групи тестів, під час яких визначається так званий прогнозований  $VO_2 \max$  ( $VO_2 \max \text{ predicted}$ ) з використанням непрямого методу, тобто за допомогою математичної формули залежно від протоколу виконання тесту з урахуванням ЧСС, пройденої відстані, кількості присідань, найвищої потужності, досягнутої під час випробування, об'єму виконаної роботи, маси тіла тощо [19].

Моніторинг роботи ССС під час виконання цих тестів можна проводити за допомогою портативних пульсоксиметрів, які забезпечують постійне вимірювання ЧСС та сатурації. За відсутності портативного обладнання моніторинг проводиться до, під час і після проби [30].

Такі тести є альтернативою для оцінки функціональної здатності ССС і мають такі переваги, як низькі експлуатаційні витрати, простота застосування та доступ до тестових місць. З іншого боку, існує ймовірність, що оцінка  $VO_2 \max$  з використанням непрямих методів його визначення може мати похибки вимірювань і меншу діагностичну цінність [8].

За даними огляду літератури та наукових робіт, у яких проводився аналіз результатів  $VO_2 \max$ , отриманих прямим і непрямим методом обрахунку, було встановлено, що в одному із досліджень було визначено сильний кореляційний зв'язок між  $VO_2 \max$ , що був виміряний прямим методом під час велоергометрії, і прогнозованим  $VO_2 \max$ , що був отриманий непрямим методом, у спортсменів, які виконували 20-метровий човниковий біг ( $r = 0,78$ ) [36]. Схожі дані наводяться і в дослідженні бразильських учених, які не виявили істотних відмінностей  $VO_2 \max$  у випадку прямого і непрямого вимірювання [21].

Таким чином, можна стверджувати, що тести непрямого вимірювання  $VO_2 \max$  демонструють сильну кореляцію з тестами прямого вимірювання, що свідчить про рівнозначність обох методів для оцінки толерантності до фізичного навантаження [36].

Існує більше ніж 20 видів тестів без аналізу видихуваної суміші газів з непрямим визначенням  $VO_2 \max$ , які поділяються на дві основні групи: польові тести (Field-Based Tests) та офісні тести (Office-Based Tests) [34].

До різновидів польових тестів належать: човниковий біг на 20 метрів та тест «12-хвилинний біг». Методика виконання човникового бігу на 20 метрів така: пацієнт біжить між 2 лініями на відстані 20 метрів одна від одної зі стартовою швидкістю 8,5 км/год для дівчаток і 10 км/год для хлопчиків та слідкує за звуковими сигналами. Коли дитина чує короткий звук, вона повинна бути на одній із цих двох ліній, а коли чує довгий звук — збільшити швидкість приблизно на 0,5 км/год за 1 хв. Дитина продовжує бігати доти, доки може підтримувати ритм бігу. Прогнозований  $VO_2 \max$  обраховується за формулою:  $VO_2 \max \text{ predicted}$  (мл/кг/хв) =  $31,025 + 3,248 \times V$  (км/год)  $- 3,248 \times \text{вік}$  (у роках) +

**Таблиця 3. Типи велоергометричних протоколів з визначенням  $VO_2 \max$  прямим методом**

Назва	Опис
Протокол Джеймса (James Protocol)	Передбачає виконання фізичного навантаження з розрахунку 1 Вт/кг в 3 етапи по 3 хвилини. Після завершення цих 3 етапів навантаження збільшується на 18 або 36 Вт/хв, поки не буде досягнуто максимальне добровільне зусилля. Критерії визначення цього моменту — дихальний обмінний коефіцієнт ( $VCO_2/VO_2$ ) становить більше ніж 1,1; ЧСС наближається до 200 ударів на хвилину [43]
Протокол Макмастера (McMaster Protocol)	Виконання подібне до протоколу Джеймса. Відмінність полягає в тому, що при протоколі Макмастера фізичне навантаження виконується в 3 етапи по 2 хвилини [4]
Протокол сили (Strong Protocol)	Передбачає виконання фізичного навантаження з розрахунку 1 Вт/кг в 4 етапи по 3 хвилини. При досягненні ЧСС 170 ударів на хвилину виконання тесту припиняється [1]

+ 0,1536 × (вік × V), де V — це швидкість. При виконанні тесту «12-хвилинний біг» обстежувана дитина отримує вказівку бігати або швидко ходити, коли це необхідно для запобігання надмірному виснаженню, протягом 12 хвилин. Після виконання тесту вимірюється пройдена відстань в милях. Прогнозований  $VO_2 \max$  обчислюється за формулою:  $VO_2 \max \text{ predicted} = 35,97 \times \text{дистанція (мили)} - 11,29$  [8, 34].

Офісні тести містять різні варіації виконання проб і поділяються на дві підгрупи: без використання тренажерів (так звані альтернативні проби) та з використанням. До першої підгрупи належить тест «6-хвилинна ходьба», при виконанні якого пацієнта заохочують спробувати пройти якомога більшу дистанцію за 6 хвилин. Прогнозований  $VO_2 \max$  обчислюється за формулою:  $VO_2 \max \text{ predicted}$  (мл/кг/хв) = 553,289 + (-2,11 × вік (у роках)) + (45,323 × стать (хлопчики = 1, дівчатка = 0)). Також до цієї групи належить степ-тест (Queen's college step test, QST), при якому дитина виконує степінг (піднімається та опускається зі степ-дошки) протягом 3 хвилин зі швидкістю 24 кроки на хвилину для хлопчиків і 22 кроки на хвилину для дівчаток. Після завершення виконання тесту вимірюється ЧСС на сонних артеріях за перші 15 секунд відновного періоду. 15-секундну ЧСС конвертують в ЧСС за хвилину і для прогнозування  $VO_2 \max$  використовують таке рівняння: для хлопчиків  $VO_2 \max \text{ predicted}$  (мл/кг/хв) = 111,33 - (0,42 × ЧСС (уд/хв)), для дівчаток  $VO_2 \max \text{ predicted}$  (мл/кг/хв) = 65,81 - (0,1847 × ЧСС (уд/хв)) [8, 34].

За рекомендаціями МОЗ України, проба Руф'є є скринінговим методом визначення толерантності до фізичного навантаження та виявлення порушень функціональних властивостей ССС. Однак недоліком проведення проби Руф'є є неможливість обчислити показник  $VO_2 \max$ . Подібною за технікою виконання до проби Руф'є є QST. Існує дослідження, що встановлює сильний кореляційний зв'язок між ЧСС та показником  $VO_2 \max$  у молодих людей під час виконання степ-тесту незалежно від частоти кроку ( $r = 0,8$ ,  $p < 0,01$ ) [15]. Це дає можливість припустити наявність кореляційного зв'язку між IP та прогнозованим  $VO_2 \max$ , що створює перспективу подальших досліджень щодо створення діагностичної цінності проби Руф'є.

Друга підгрупа офісних тестів містить проби з використанням велоергометра (протокол Астранда — Римінга (Astrand-Ryhming Protocol), максимальний велосипедний тест Storer (Storer Maximal Bicycle Test), тест субмаксимального циклу YMCA (The YMCA Sub-maximal Bicycle Test), Milfit-тест (Military Fitness Test), PWC 170 (Physical working capacity 170)) або бігової доріжки (одноступінчастий тест ходьби на бігівій доріжці (Single-Stage Sub-maximal Treadmill Walking Test or Ebbeling Test)) та обчислення прогнозованого  $VO_2 \max$  непрямим методом, тобто за математичною формулою [34].

Наприклад, при виконанні велоергометрії за протоколом PWC 170 дитина крутить педалі велоергометра зі швидкістю 60–70 обертів на хвилину з початковим робочим навантаженням 1 Вт/кг. Далі навантаження

збільшується на 20–25 Вт кожні 3 хвилини до моменту досягнення ЧСС 170 ударів на хвилину. На цьому моменті проба зупиняється і фіксується найвища потужність, досягнута під час тесту. Тривалість виконання проби не більше ніж 10 хв. Прогнозований  $VO_2 \max$  вираховується за таким рівнянням:  $VO_2 \max \text{ predicted} = 3,5 + 12 \times P \max / m$ , де  $P \max$  — це найвища потужність, досягнута під час випробування (Вт),  $m$  — маса тіла обстежуваного (кг). Після цього 10 хв триває фаза відпочинку, під час якої продовжує рееструватися ЧСС, АТ, ЕКГ, сатурація [8, 34].

Варто додати, що також існує низка математичних формул, які дозволяють обрахувати прогнозований  $VO_2 \max$  без результатів фізичного навантаження, які можуть враховувати різні показники: масу, зріст, індекс маси тіла (ІМТ), стать та вік. Наприклад, для хлопчиків  $VO_2 \max \text{ predicted} = 60 - 0,55 \times \text{вік (у роках)}$ , для дівчаток  $VO_2 \max \text{ predicted} = 48 - 0,37 \times \text{вік (у роках)}$ . Проте з огляду літератури відомо, що вірогідність цих показників є дискусійною і в переважній більшості кореляції між отриманими результатами та  $VO_2 \max$ , отриманим прямим методом, не відмічається [35].

Діагностична цінність описаних методик оцінки толерантності до фізичного навантаження полягає у можливості постійного моніторингу ЧСС, АТ, запису ЕКГ, фіксації рівня насичення крові киснем, визначення пікового або максимального  $VO_2 \max$  прямим і непрямим методом. Інтерпретація отриманих результатів створює значні можливості діагностичного пошуку для лікаря-педіатра [30].

Наприклад, при аналізі ЧСС важливо оцінити її приріст, який у нормі відбувається поступово зі зростанням потужності навантаження і відновлюється до початкових значень на 3–5-й хвилині після його припинення. Раннє досягнення ЧСС 150–170 уд/хв є однією з ознак порушення толерантності до фізичного навантаження. Надмірно виражена тахікардія може означати тяжке органічне ураження серця (дилатаційна кардіоміопатія, постміокардитичний кардіосклероз), а надмірно низька ЧСС може бути пов'язана із синдромом слабкості синусового вузла, вживанням бета-блокаторів, високим рівнем фізичної тренуваності [26].

АТ є важливою змінною для оцінки реакції на фізичні вправи. Рівень АТ пов'язаний як з серцевим викидом, так і з периферичним судинним опором. У нормі при фізичному навантаженні відбувається збільшення серцевого викиду, що призводить до підвищення систолічного артеріального тиску (САТ) на кожному прогресивному етапі тесту. Розширення судин, що спостерігається при фізичних навантаженнях, зазвичай приводить до збереження діастолічного артеріального тиску (ДАТ) без змін. У нормі АТ повинен наблизитися до початкових цифр протягом 6–8 хв фази відпочинку [31]. Відсутність відповідного підвищення САТ при фізичному навантаженні може вказувати на серцеву дисфункцію. Падіння САТ може бути пов'язане з серцевою недостатністю або обструкцією лівих відділів серця (аортальний стеноз) [20].

Залежно від реакції АТ на фізичне навантаження виділяють такі типи реакції:

1. Нормотонічна — характеризується поступовим збільшенням АТ у відповідь на фізичне навантаження і поступовим поверненням до вихідних значень на 3–5-й хвилини відпочинку. Звичайний приріст САТ становить 70–75 мм рт.ст., ДАТ знижується або не змінюється.

2. Гіпотонічна — характеризується зниженням ДАТ більше ніж на 30 мм рт.ст., приріст САТ становить менше ніж 60 мм рт.ст.

3. Гіпертонічна — характеризується ізольованим підвищенням САТ більше ніж 160–180 мм рт.ст. або підвищенням і САТ, і ДАТ більше ніж 160–180/80–100 мм рт.ст.

4. Дистонічна — характеризується великою різницею між САТ і ДАТ (пульсовий тиск), приріст САТ до 220–230 мм рт.ст. і значне зниження ДАТ менше ніж 40 мм рт.ст. [26].

Отримавши результати ЧСС і АТ до фізичного навантаження ( $ЧСС_0$ ,  $АТ_0$ ) та максимальні ЧСС і АТ, досягнуті під час виконання проби ( $ЧСС_{макс.}$ ,  $АТ_{макс.}$ ), можна обчислити показники резервних можливостей міокарда та оцінити раціональність їх використання [23], а саме:

1. Подвійний добуток ( $ПД = САТ \times ЧСС / 100$ ), приріст якого характеризує міокардіальні резерви.

2. Хронотропний резерв ( $ХР = ЧСС_{макс.} - ЧСС_0$ ) та індекс хронотропного резерву ( $ІХР = (ЧСС_{макс.} - ЧСС_0) / ЧСС_0$ ) — описують серцевий компонент функціональних резервів.

3. Інотропний резерв ( $ІР = САТ_{макс.} - САТ_0$ ) та індекс інотропного резерву ( $ІІР = (САТ_{макс.} - САТ_0) / САТ_0$ ) — описують судинний компонент функціональних резервів.

4. Серцевий навантажувальний індекс ( $СНІ = ПД / W$ , де  $W$  — це максимальна потужність фізичного навантаження, що виконане пацієнтом, у Вт) — характеризує гемодинамічне забезпечення фізичного навантаження.

5. Індекс енергетичних витрат ( $ІЕВ = ПД \times 100 / A$ , де  $A$  — це об'єм виконаної роботи, у кГм), коефіцієнт витрачання резервів міокарда ( $КВРМ = \text{приріст } ПД \times 100 / A$ ), індекс ефективності роботи серця ( $ІЕРС$ ) — характеризують раціональність використання резервів скоротливої роботи серця [22, 25].

Запис ЕКГ під час проведення проб з фізичним навантаженням має на меті провести точну оцінку ЧСС на висоті фізичного навантаження, діагностику та оцінку аритмії, оцінку аномалій провідності, зміни інтервалу QT, сегмента ST і зубця T, що відповідають критеріям ішемії міокарда [30].

Оцінка сатурації киснем крові проводиться з метою визначення наявності гіпоксемії. Наприклад, у нормі показник сатурації при фізичному навантаженні тримається на рівні більше ніж 90 %. Менший показник вважається патологічною реакцією на виконання проби, що спостерігається при захворюваннях ССС, ДС і є показанням до миттєвого припинення тестування [30].

Як уже зазначалося,  $VO_2 max$  є стандартом оцінки толерантності до фізичного навантаження; це опти-

мальний маркер здоров'я ССС та загальної фізичної форми людини, що означає максимальний об'єм кисню, який споживається й транспортується до працюючих скелетних м'язів під час інтенсивних вправ [3].

Фізіологія отримання показника  $VO_2 max$  складається з двох основних елементів — центрального та периферичного і виглядає так. Центральний компонент містить серцевий викид (СВ), який, у свою чергу, складається з добутку ЧСС і ударного об'єму (УО) — це кількість крові, яку накачує серце за один удар. Зі збільшенням інтенсивності вправ лінійно зростає і ЧСС, доки не буде досягнуто максимальної ЧСС, і УО. У відповідь на раптове фізичне навантаження СВ досягає плато у нетренованих осіб на рівні приблизно 40 % від  $VO_2 max$  [33]. Це плато виникає, коли ЧСС настільки висока, що шлуночки не мають достатньо часу, щоб максимально наповнитися кров'ю до наступного скорочення. Як наслідок, зафіксований результат  $VO_2 max$  не є коректним. Саме тому при проведенні проби необхідно акцентувати увагу на поступовому збільшенні фізичного навантаження з метою резервування часу, необхідного для адаптації СВ і отримання вірогідного  $VO_2 max$  [40].

Робота периферійного компонента  $VO_2 max$  залежить від таких факторів: тонус і щільність капілярів і мітохондрій, швидкість окисного фосфорилування, концентрація гемоглобіну. Порушена робота цих факторів, обумовлена генетично або наявністю низької фізичної підготовки чи анемії, погіршує транспорт кисню до периферичних тканин, які виконують роботу, і, відповідно, результат  $VO_2 max$  буде заниженим [42].

Інтерпретація цього показника є складним питанням, особливо у дітей, оскільки результат  $VO_2 max$  залежить від низки фізіологічних обмежувальних факторів. Наприклад, певні індивідуальні похибки, що можуть становити до 50 % отриманого  $VO_2 max$  у нетренованих популяціях, незважаючи на фізичну підготовку обстежуваної дитини, можуть пояснюватися генетично успадкованими особливостями [7]. Хлопчики демонструють відносно вищий рівень аеробної підготовленості через нижчий рівень жирової тканини в організмі, більші розміри серця та вищий рівень гемоглобіну для транспортування кисню в крові. Також середньостатистичні показники залежать від властивостей популяції, тобто народу, країни чи регіону [9].

Описані фактори, а також відхилення роботи центрального та периферичного компонентів ускладнюють можливість створення стандартизованих показників для оцінки  $VO_2 max$ . Проте при огляді літератури нами було встановлено, що найбільш поширеним та цитованим варіантом аналізу  $VO_2 max$  у дітей є класифікація, що наведена в табл. 4 [18].

Діагностична цінність показника максимального споживання кисню також полягає в тому, що за його допомогою можна оцінити вплив різних захворювань на рівень толерантності до фізичного навантаження [41].

Нами було досліджено вплив перенесеного гострого епізоду COVID-19 на толерантність до фізичного навантаження у дітей та підлітків. Для цього була використана методика виконання офісного тесту з ви-

Таблиця 4. Нормативні показники  $VO_2 \max$  (мл/кг/хв) у дітей 13–19 років залежно від статі

Оцінка	Хлопчики	Дівчатка
Низький $VO_2 \max$	< 35,0	< 25,0
Нижче середнього	35,0–38,3	25,0–30,9
Середній	38,4–45,1	31,0–34,9
Добрий	45,2–50,9	35,0–38,9
Відмінний	51,0–55,9	39,0–41,9
Найкращий	> 55,9	> 41,9

користанням велоергометра за протоколом PWC 170 і оцінка показника максимального споживання кисню ( $VO_2 \max$ ), вимірюного непрямим методом. У дослідженні взяли участь 27 дітей віком від 9 до 18 років, серед яких було виділено дві обстежувані групи. Перша група — 15 дітей, які перехворіли на COVID-19, друга група — 12 дітей, які на COVID-19 не хворіли. Порівняння  $VO_2 \max$  у дітей обох груп показало, що у першій групі ( $n = 15$ ) показник  $VO_2 \max$  становив у середньому  $29,87 \pm 7,4$  мл/хв/кг,  $p < 0,001$ , а у другій групі ( $n = 12$ ) —  $37,54 \pm 6,4$  мл/хв/кг,  $p < 0,001$ . Таким чином, середнє  $VO_2 \max$  у дітей першої групи нижче порівняно із середнім значенням  $VO_2 \max$  у другій групі, що свідчить про зниження толерантності до фізичного навантаження у дітей, які перенесли COVID-19.

Об'єм отриманих результатів під час виконання проб з фізичним навантаженням залежить від можливостей лабораторій, що проводять такі проби, та їх оснащення. Очевидно, що найбільшу діагностичну цінність має серцево-легеневе тестування з фізичним навантаженням, при якому  $VO_2 \max$  визначається прямим методом. Проте і виконання офісних тестів на тренажерах (велоергометрах, бігових доріжках) без газоаналізаторного обладнання, але із записом ЧСС, АТ, ЕКГ, сатурації дає можливість вивчати ті ж показники. Єдина відмінність — це визначення  $VO_2 \max$  непрямим методом. Як уже раніше зазначалося, обидва результати мають сильний кореляційний зв'язок і тому майже однаково діагностичну цінність [30].

Проведення польових та офісних тестів без додаткового обладнання та газоаналізаторної установки має найменшу діагностичну цінність, але не виключає можливість обрахунку  $VO_2 \max$  непрямим методом та певних показників міокардіальних резервів на основі результатів часткового моніторингу ЧСС, АТ, рівня насичення крові киснем [34].

Таким чином, у статті розглянуті світові рекомендації щодо використання різних методик аналізу рівня толерантності до фізичного навантаження у дітей. Визначення цього показника необхідне для оцінки ЧСС, АТ, серцевого ритму,  $VO_2 \max$  на фоні фізичного навантаження, що дозволяє оцінити функціональні можливості ССС, ДС, фізичної підготовки та стан здоров'я дитини в цілому. Золотим стандартом оцінки толерантності є серцево-легеневе тестування з фізичним навантаженням та визначенням  $VO_2 \max$  прямим методом. Проте існує і значна кількість інших, більш доступних

методів, описаних у статті, які за своєю значимістю не поступаються стандартизованому методу. Їх використання дає можливість визначити  $VO_2 \max$  непрямим методом, показники якого корелюють з прямим  $VO_2 \max$  і мають вагомий діагностичний цінність при оцінці толерантності до фізичного навантаження у дітей.

Отримані нами результати велоергометричної проби та показники непрямого  $VO_2 \max$  у дітей, які перенесли COVID-19, свідчать про зниження толерантності до фізичного навантаження різного ступеня у дітей після COVID-19. Описані зміни вказують на нераціональне використання функціональних резервів ССС, ДС та погіршення стану здоров'я дітей, асоційоване з перенесеним COVID-19.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

## References

1. Alpert BS, Flood NL, Strong WB, et al. Responses to ergometer exercise in a healthy biracial population of children. *J Pediatr.* 1982 Oct;101(4):538-545. doi:10.1016/s0022-3476(82)80696-3.
2. American College of Sports Medicine (ACSM). ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription. 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins; 2021. 862 p.
3. Baechle TR, Earle RW, editors. Essentials of strength training and conditioning. 3rd ed. Champaign, IL: Human kinetics; 2008. 597 p.
4. Bar-Or O, Rowland TW. Pediatric exercise medicine: from physiologic principles to health care application. Champaign, IL: Human Kinetic; 2004. 520 p.
5. Barber G. Pediatric exercise testing: methodology, equipment, and normal values. *Progress in Pediatric Cardiology.* 1993;2(2):4-10. doi:10.1016/1058-9813(93)90012-O.
6. Beltz NM, Gibson AL, Janot JM, Kravitz L, Mermier CM, Dalleck LC. Graded exercise testing protocols for the determination of  $VO_{2\max}$ : historical perspectives, progress, and future considerations. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp).* 2016;2016:3968393. doi:10.1155/2016/3968393.
7. Bouchard C, An P, Rice T, et al. Familial aggregation of  $VO_{2\max}$  response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *J Appl Physiol* (1985). 1999 Sep;87(3):1003-1008. doi:10.1152/jappl.1999.87.3.1003.
8. Buttar KK, Saboo N, Kacker S. A review: Maximal oxygen uptake ( $VO_2 \max$ ) and its estimation methods. *IJPESH.* 2019;6(6):24-32.
9. Cureton K, Bishop P, Hutchinson P, Newland H, Vickery S, Zwiren L. Sex difference in maximal oxygen uptake. Effect of equating haemoglobin concentration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;54(6):656-660. doi:10.1007/BF00943356.



10. National High Blood Pressure Education Program Working Group on High Blood Pressure in Children and Adolescents. The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents. *Pediatrics*. 2004 Aug;114(Suppl 2):555-576.
11. Evans HJ, Ferrar KE, Smith AE, Parfitt G, Eston RG. A systematic review of methods to predict maximal oxygen uptake from submaximal, open circuit spirometry in healthy adults. *J Sci Med Sport*. 2015 Mar;18(2):183-188. doi:10.1016/j.jsams.2014.03.006.
12. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013 Aug 20;128(8):873-934. doi:10.1161/CIR.0b013e31829b5b44.
13. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*. 2001 Oct 2;104(14):1694-1740. doi:10.1161/hc3901.095960.
14. Fletcher GF, Froelicher VF, Hartley LH, Haskell WL, Pollock ML. Exercise standards. A statement for health professionals from the American Heart Association. *Circulation*. 1990 Dec;82(6):2286-2322. doi:10.1161/01.cir.82.6.2286.
15. Francis K, Feinstein R. A simple height-specific and rate-specific step test for children. *South Med J*. 1991 Feb;84(2):169-174. doi:10.1097/00007611-199102000-00005.
16. Grant JA, Joseph AN, Campagna PD. The prediction of VO<sub>2</sub>max: a comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 1999;13(4):346-352. doi:10.1519/1533-4287(1999)013<0346:TP OOMA>2.0.CO;2.
17. Herdy AH, Ritt LE, Stein R, et al. Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arq Bras Cardiol*. 2016 Nov;107(5):467-481. doi:10.5935/abc.20160171.
18. Heyward VH. *Advanced fitness assessment and exercise prescription*. 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 1998. 48 p.
19. Hyschak TV, Marushko YuV, Dmytryshyn OA, Kostynska NG, Dmytryshyn BYa. Tolerance to physical activity and its changes in children after COVID-19 (literature review, own data). *Modern Pediatrics. Ukraine*. 2022;(125):108-116. doi:10.15574/SP.2022.125.108. (in Ukrainian).
20. James FW, Blomqvist CG, Freed MD, et al. Standards for exercise testing in the pediatric age group. American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young. Ad hoc committee on exercise testing. *Circulation*. 1982 Dec;66(6):1377A-1397A.
21. Lima AMJ, Silva D, Soares de Souza AO. Correlation between direct and indirect VO<sub>2</sub>max measurements in indoor soccer players. *Rev Bras Med Esporte*. 2005;11(3):164-166. doi:10.1590/S1517-86922005000300002.
22. Marushko TV, Marushko YuV, Hyschak TV. Diagnostyka ta udoskonalennja likuvannja vtorynnoi' kardiomiopatii' u ditej: metodychni rekomendacii [Diagnosis and improvement of treatment of secondary cardiomyopathy in children: guidelines]. Kyiv; 2016. 32 p. (in Ukrainian).
23. Marushko YuV, Hyschak TV. 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 pedyatriya*. 2017;(81):92-98. doi:10.15574/SP.2017.81.92. (in Ukrainian).
24. Marushko YuV, Hyschak TV. Diagnostic and correction problem of reduced exercise tolerance in school age children. *Sovremennaya pedyatriya*. 2014;(7):34-40. doi:10.15574/SP.2014.63.34. (in Ukrainian).
25. Marushko YuV, Hyschak TV. Systemni mehanizmy adaptacii'. Stres u ditej: monografija [System adaptation mechanisms. Stress in children: monograph]. Kyiv; 2014. 138 p. (in Ukrainian).
26. Marushko YuV, Hyschak TV. Bicycle ergometry in practical medicine. *Pediatrica. Zdorov'ja Ukrainy*. 2020;(55):42-45. (in Ukrainian).
27. Marushko YuV, Hyschak TV, Pisocka SA, Marushko TV. Klinichne obstezhennja ta semiotyka urazhen' organiv i sistem u ditej: navchal'nyj posibnyk [Clinical examination and semiotics of organ lesions and systems in children: a study guide]. 5th ed. Kyiv-Khmelnytskyi; 2020. 208 p. (in Ukrainian).
28. Marushko YuV, Kostynska NH, Hyschak TV. Exercise tolerance in school-age children with hypertension based on body weight. *Zaporozhye Medical Journal*. 2021;23(4):509-515. doi:10.14739/2310-1210.2021.4.227348. (in Ukrainian).
29. Ministry of Health of Ukraine. Order on July 20, 2009 № 518/674. On Providing of Medical and Pedagogical Control over the Physical Education of Students in General Educational Institutions. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0772-09#Text>. Accessed: July 20, 2009. (in Ukrainian).
30. Paridon SM, Alpert BS, Boas SR, et al. Clinical stress testing in the pediatric age group: a statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation*. 2006 Apr 18;113(15):1905-1920. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.174375.
31. Perloff D, Grim C, Flack J, et al. Human blood pressure determination by sphygmomanometry. *Circulation*. 1993 Nov;88(5 Pt 1):2460-2470. doi:10.1161/01.cir.88.5.2460.
32. Polen ZK, Joshi S. Comparison of treadmill versus cycle ergometer training on functional exercise capacity in normal individuals. *Int J Cur Res Rev*. 2014;(20):61.
33. Powers SK, Howley ET, Quindry J. *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*. New York, NY: McGraw-Hill; 2007. 640 p.
34. Raghuvver G, Hartz J, Lubans DR, et al. Cardiorespiratory fitness in youth: an important marker of health: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2020 Aug 18;142(7):e101-e118. doi:10.1161/CIR.0000000000000866.
35. Rocha AMD, Herdy AH, Souza PD. Comparative analysis of direct and indirect methods for the determination of maximal oxygen uptake in sedentary young adults. *Int J Cardiovasc Sci*. 2019;32(4):362-367. doi:10.5935/2359-4802.20190052.
36. Rusdiana A. Analysis differences of Vo<sub>2</sub>max between direct and indirect measurement in badminton, cycling and rowing. *International Journal of Applied Exercise Physiology*. 2020;9(3):162-170.
37. Senatorova GS, Gonchar' MA, Sanina IO, Onikijenko OL, Strashok OI. Funkcional'ni proby sercevo-sudynnoi' systemy v dytjachij kardiologii': metodychni vkazivky [Functional tests of the cardiovascular system in pediatric cardiology: guidelines]. Kharkiv: KhSMU; 2014. 32 p. (in Ukrainian).
38. Shephard RJ, Allen C, Benade AJ, et al. The maximum oxygen intake. An international reference standard of cardiorespiratory fitness. *Bull World Health Organ*. 1968;38(5):757-764.
39. Shevchenko N, Holovko T, Aghogho A, Margret M, Bernard OF. Level of the exercise tolerance in healthy adolescents. *Actual problems of modern medicine*. 2021;(7):82-88. doi:10.26565/2617-409X-2021-7-09. (in Ukrainian).
40. Snarr RL, Chrysoferidis P, Toluoso D. Understanding the physiological limiting factors of VO<sub>2</sub>max. *Personal Training Quarterly*. 2018;5(3):16-18.
41. Su Y, Zheng L. Construction of regression equation for maximum oxygen uptake recognition of respiration and heart rate in exercise training. *Advances in Multimedia*. 2022;2022:9709117.
42. Wagner PD. Gas exchange and peripheral diffusion limitation. *Med Sci Sports Exerc*. 1992 Jan;24(1):54-58.
43. Washington RL, van Gundy JC, Cohen C, Sondheimer HM, Wolfe RR. Normal aerobic and anaerobic exercise data for North American school-age children. *J Pediatr*. 1988 Feb;112(2):223-233. doi:10.1016/s0022-3476(88)80059-3.
44. Zanevsky IP, Zanevskaya LH. Ruffier test model taking into account an age of the patient. Theory and methods of physical education and sports. 2013;(2):17-27. doi:10.17309/tmfv.2013.2.1013. (in Ukrainian).

Отримано/Received 07. 10.2022

Рецензовано/Revised 15. 10.2022

Прийнято до друку/Accepted 24. 10.2022 ■

**Information about authors**

Yu. Marushko, MD, PhD, Professor, Head of the Department of pediatrics of postgraduate education, Bogomolets National Medical University, T. Shevchenko boulevard, 13, Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: iurii.marushko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8066-9369>

O. Dmytryshyn, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: dmytryshyn.olha@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5550-7234>

T. Hyshchak, MD, PhD, Associate Professor at the Department of pediatrics of Postgraduate Education, Bogomolets National Medical University, T. Shevchenko boulevard, 13, Kyiv, 01601, Ukraine; e-mail: Tgischak@i.ua, phone +380 (67) 501 67 48; <https://orcid.org/0000-0002-7920-7914>

T. Iovitsa, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: iovitsadoc@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-7952-2650>

O. Bovkun, PhD, assistant of the Postgraduate Education Department A.A. Bogomolets National Medical University, Kyiv; e-mail: ksunyabov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7091-4025>

**Conflicts of interests.** Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

---

*Yu. V. Marushko, O. A. Dmytryshyn, T. V. Hyshchak, T. V. Iovitsa, O. A. Bovkun*  
*Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine*

**Peculiarities of the methodology, diagnostic value, and global recommendations  
for assessing exercise tolerance in children  
(literature review, own research)**

**Abstract.** Assessment of exercise tolerance is one of the methods for clinical diagnosis of health status, which makes it possible to determine and comprehensively analyze the degree of physical fitness of a patient, his ability to tolerate physical exertion, and the adaptation capabilities of the body. The level of exercise tolerance plays a major role in assessing health status and quality of life of children and adolescents, as it depends on a whole set of factors, namely: the functional properties of the cardiovascular, respiratory, and musculoskeletal systems and the level of physical fitness. Tests with dosed physical activity are used to assess exercise tolerance. The diagnostic value of methods for evaluating exercise tolerance consists in the possibility of constant monitoring of heart rate, blood pressure,

recording of an electrocardiogram, fixation of the level of blood oxygen saturation, determination of peak or maximum oxygen consumption obtained by direct and indirect methods during the test. The interpretation of the obtained results creates significant opportunities in terms of the diagnostic search for a pediatrician. The purpose of the work is to summarize the literature data about peculiarities of the tests with dosed physical activity, their diagnostic value, and global recommendations for assessing exercise tolerance in children, to evaluate the results of own research.

**Keywords:** exercise tolerance; exercise tests; Ruffier test; cycle ergometry; maximal oxygen consumption; myocardial reserves; Ruffier index; children