

УДК 796.412-055.2

МЕХАНІЗМИ ОЦІНКИ БЕЗПЕЧНОСТІ РЕЖИМІВ НАВАНТАЖЕННЯ В БОДІБІЛДИНГУ АДАПТАЦІЙНИМ МОЖЛИВОСТЯМ ОРГАНІЗМУ ПІДЛІТКІВ НА ЕТАПІ ПОЧАТКОВОЇ ПІДГОТОВКИ

Андрій Чернозуб¹, Алла Альошина¹, Вадим Коваль²,
Олег Пагулич¹, Юрій Гаврилов¹, Володимир Потоп^{3,4,5}

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна, chernozub@gmail.com;

²ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янука», Рівне, Україна;

³Department of Physical Education and Sport, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, University Center Pitesti, Pitesti, Romania, vladimir_potop@yahoo.com;

⁴Doctoral School of Sports Science and Physical Education, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, University Center Pitesti, Pitesti, Romania, vladimir_potop@yahoo.com;

⁵State University of Physical Education and Sport, Chisinau, Republic of Moldova, vladimir_potop@yahoo.com

<https://doi.org/10.29038/2220-7481-2024-02-52-60>

Анотації

Актуальність. Сучасні вимоги в бодібілдингу навіть на етапі початкової підготовки вимагають від дослідників пошуку найбільш інформативних маркерів оцінки адекватності силових навантажень адаптаційним резервам організму підлітків для розробки безпечних та водночас ефективних моделей тренувальних занять. **Мета** дослідження – визначити оптимальний спектр біохімічних маркерів крові для оцінки адаптаційно-компенсаторних реакцій організму підлітків на стресовий подразник в умовах використання різних за інтенсивністю режимів навантажень на етапі початкової підготовки в бодібілдингу. **Методи.** Обстежено 60 підлітків віком 15–16 років, які протягом року займаються бодібілдингом і не мають протипоказів до подібних занять. Ураховуючи мету роботи, учасників розділили на три групи. Представники першої в процесі тренування використовували режим силових навантажень високої інтенсивності ($R_a=0,72$). Учасники другої групи – режим силових навантажень середньої інтенсивності ($R_a=0,67$), третьої – режим навантажень низької інтенсивності ($R_a=0,58$). Для оцінки адаптаційно-компенсаторних реакцій організму підлітків на навантаження в умовах заданих режимів у процесі занять бодібілдингом використовували показники біохімічного контролю активності ферментів креатинфосфокінази, лакатдегідрогенази та концентрації кортизолу в сироватці крові. **Результати.** Отримані результати свідчать, що у відповідь на силові навантаження в умовах застосування режиму високої інтенсивності ($R_a=0,72$) в підлітків збільшується активність ферменту креатинфосфокінази на 46,0 % та концентрація кортизолу – на 50,5 % у сироватці крові в порівнянні зі станом спокою. Установлено, що у відповідь на навантаження середньої інтенсивності ($R_a=0,67$) в учасників підвищуються всі контрольовані біохімічні показники в сироватці крові в межах 19,3–22,1 % у зіставленні з вихідними даними. Виявлені біохімічні результати в умовах використання представниками 3-ї групи в процесі тренувального заняття режиму навантажень низької інтенсивності ($R_a=0,58$) демонструють підвищення креатинфосфокінази на 3,8 %, лактатдегідрогенази – на 14,4 % і зниження концентрації кортизолу в сироватці крові на 20,4 % у відповідь на подразник. **Висновки.** Виявлена різноманітність характеру змін досліджуваних нами показників біохімічного контролю крові чітко демонструє адаптаційно-компенсаторні реакції організму підлітків в умовах різних за інтенсивністю та енергозабезпеченням м'язової діяльності режимів силових навантажень у бодібілдингу на етапі початкової підготовки. Отримані результати дають підставу обґрунтовано змодельовати оптимальний, залежно від умов тренувальної діяльності та адаптаційних резервів організму, комплекс інформативних біохімічних маркерів крові.

Ключові слова: біохімічні маркери крові, підлітки, силові навантаження, режими енергозабезпечення, адаптаційно-компенсаторні реакції, бодібілдинг.

Andrii Chernozub, Alla Aloshyna, Vadym Koval, Oleh Pahulych, Yurii Havrylov, Vladimir Potop. **Mechanisms for Assessing the Safety of Bodybuilding Exercise Program to the Adaptive Capacity of Adolescents' Organisms at the Initial Training Stage.** *Topicality.* Even at the initial training stage, the modern needs in bodybuilding, require researchers to find the most informative markers for assessing the adequacy of power loads to the adaptive reserves of the adolescent body to develop safe and efficient training models. *The Aim of the Research.* To determine the optimal spectrum of biochemical blood markers for assessing the adaptive and compensatory reactions of adolescents to a stressful stimulus in terms of using different intensity modes of loading at the stage of initial training in bodybuilding. *Methods.* The study involved 60 adolescents aged 15–16 who have been engaged in bodybuilding for a year and have no contraindications to such activities. Given the purpose of the study, the participants have been divided into three groups. Representatives of the first group used high-intensity power loads during training ($R_a=0,72$). Participants of the second group – the mode of power loads of average intensity ($R_a=0,67$). Persons of the third group – a mode of low-intensity loads ($R_a=0,58$). To estimate adaptation-compensatory reactions of an organism of adolescents to loading under conditions of the set modes in the course of bodybuilding, indicators of biochemical control of activity of enzymes creatine phosphokinase, lactate dehydrogenase, and concentration of cortisol in blood serum were used. *Results.* The obtained results indicate that in response to physical exertion under the conditions of using a high-intensity mode ($R_a=0,72$) in adolescents, the activity of the enzyme creatine phosphokinase increases by 46,0 % and the concentration of cortisol by 50,5 % in blood serum compared to the resting state. It was established that in response to medium-intensity loads ($R_a=0,67$), all controlled biochemical indicators in the blood serum increased in the range of 19,3–22,1 % compared to the initial data. The revealed biochemical results in the conditions of use by the representatives of the 3rd group in the course of the low-intensity exercise regime ($R_a=0,58$) show an increase in creatine phosphokinase by 3,8 %, lactate dehydrogenase by 14,4 % and a decrease in the concentration of cortisol in the blood serum by 20,4 % in response to a stimulus. *Conclusions.* The revealed diversity of the nature of the changes in the biochemical blood control indicators we studied demonstrates the adaptive and compensatory reactions of the adolescent body in conditions of different intensity and energy supply of muscle activity regimes of power loads in bodybuilding at the initial training stage. The obtained results will make it possible to reasonably model the optimal set of informative biochemical markers of blood, depending on the conditions of training activity and adaptation reserves of the body.

Key words: biochemical markers of blood, teenagers, strength loads, energy supply regimes, adaptive and compensatory reactions, bodybuilding.

Вступ. Незважаючи на зростаючу популяризацію серед молоді пріоритетності практичної реалізації в процесі рухової активності широкого спектра навантажень і засобів силового характеру, вважаємо, що проблема розробки інтегральної системи контролю з використанням широкого комплексу об'єктивних показників оцінки перебігу адаптаційно-компенсаторних реакцій у процесі занять бодібілдингом, пауерліфтингом, різноманітними видами фітнесу й кросфіту залишається одним з актуальних питань серед дослідників у сфері спорту та біології [5, 6, 13].

Протягом останнього десятиліття питання, що стосуються пошуку нових шляхів розв'язання проблем вибору в процесі медико-біологічного контролю інформативних фізіологічних та біохімічних маркерів оцінки ефективності впливу навантажень тренувальної та змагальної діяльності в бодібілдингу з урахуванням адаптаційних резервів організму та рівня резистентності систем спортсменів до зовнішнього стресового подразника, залишаються найбільш дискусійними серед науковців [2, 15, 16]. Ускладнення у вирішенні цього питання тривалий час були пов'язані з відсутністю в системі підготовки чітких кількісних показників оцінки параметрів навантажень у певних умовах м'язової діяльності, що не давало змоги розробити ефективний механізм оптимізації тренувального процесу [3, 7, 9]. Досліджуючи цю проблему, науковці та практики [5, 8] розробили інтегральний метод кількісної оцінки рівня фізичного навантаження для спортсменів у бодібілдингу, силовому фітнесі й водночас запропонували інноваційний механізм моделювання різних за показниками обсягу та інтенсивності режимів навантаження. Водночас одним зі спірних питань серед науковців, які вивчають сучасні механізми вдосконалення системи підготовки в бодібілдингу [6, 17], є проблема доцільності використання в процесі розробки моделей тренувальних занять відповідних режимів силових навантажень залежно від особливостей етапу багатолітньої підготовки й вікових фізіологічних процесів адаптації.

Сучасні вимоги в бодібілдингу навіть на етапі початкової підготовки вимагають від дослідників пошуку найбільш інформативних маркерів оцінки адекватності силових навантажень адаптаційним резервам організму підлітків для розробки безпечних та водночас ефективних моделей тренувальних занять [10, 13, 14]. Незважаючи на широкий спектр представлених у доступній науковій літературі результатів [1, 16, 18], бачимо, що чіткої інформації щодо визначення найбільш інформативних

біохімічних маркерів оцінки адаптаційно-компенсаторних реакцій організму підлітків на силові навантаження в умовах застосування різних за обсягом й інтенсивністю режимів у поєднанні з відповідною варіативністю видів енергозабезпечення м'язової діяльності в процесі занять бодіблінгом не виявлено.

Мета дослідження – визначити оптимальний спектр біохімічних маркерів крові для оцінки адаптаційно-компенсаторних реакцій організму підлітків на стресовий подразник в умовах використання різних за інтенсивністю режимів навантажень на етапі початкової підготовки в бодіблінгу.

Методи дослідження. Обстежено 60 підлітків віком 15–16 років, які протягом року займалися бодіблінгом і на момент проведення досліджень не мали протипоказань до застосування в процесі занять подібних силових навантажень. Для оцінки адаптаційно-компенсаторних реакцій організму підлітків на силові навантаження в процесі занять бодіблінгом використовували показники біохімічного контролю активності ферментів креатинфосфокінази (КФК), лактатдегідрогенази (ЛДГ) і концентрації к्लюкокортикоїдного гормону й кортизолу в сироватці крові. У процесі досліджень активність ферментів лактатдегідрогенази та креатинфосфокінази в сироватці крові бодіблдерів обстежених груп визначали кінетичним методом на обладнанні фірми «High Technology Inc» (США) з набором реактивів PRESTIGE 24i LQ LDH (Польща). Концентрацію стероїдного гормону тестостерону та кортизолу в сироватці крові учасників дослідження визначали методом імуоферментного аналізу з використанням набору реагентів СтероїдІФА-тестостерон на обладнанні фірми «Алкор Біо». Референтні значення досліджуваних біохімічних показників у сироватці крові підлітків 15–16 років були такими: креатинфосфокіназа (40–270 од/л), лактатдегідрогеназа (195–462 од/л), кортизол (150–660 нмоль/л).

Організація дослідження. Від батьків кожного спортсмена отримано письмові згоди на проведення обстежень, згідно з рекомендаціями до етичних комітетів із питань біомедичних досліджень, законодавства України про охорону здоров'я та Гельсінської декларації 2000 р., директиви Європейського товариства 86/609 стосовно участі людей у медико-біологічних дослідженнях.

Ураховуючи мету роботи, учасників розділили на три групи. Кожній із груп, використовуючи інтегральний метод кількісної оцінки рівня фізичного навантаження в силових видах спорту [5], запропонували різні за параметрами інтенсивності, обсягу й виду енергозабезпечення м'язової діяльності режими силових навантажень (табл. 1). Представники першої групи в процесі тренування застосовували режим силових навантажень високої інтенсивності та малого обсягу роботи ($R_a=0,72$) в умовах змішаного режиму енергозабезпечення (80 % – анаеробно-алактатний та 20 % – анаеробно-гліколітичний). Учасники другої групи в процесі занять використовували режим силових навантажень середнього обсягу й інтенсивності ($R_a=0,67$) в умовах анаеробно-лактатного (гліколітичний) режиму енергозабезпечення. Особи третьої групи під час тренувань застосовували режим навантажень низької інтенсивності та великого обсягу роботи ($R_a=0,58$) в умовах змішаного режиму енергозабезпечення м'язової діяльності (80 % – анаеробно-лактатний і 20 % – аеробний).

Таблиця 1

Основні характеристики режимів силових навантажень, які використовують бодіблдери-підлітки на етапі початкової підготовки

Режими силових навантажень	Основні характеристики режимів силових навантажень
1	2
№ 1 $R_a=0,72$ у.о.	<ul style="list-style-type: none"> – змішаний режим енергозабезпечення (80 % – анаеробно-алактатний та 20 % – анаеробно-гліколітичний; основними субстратами є креатинфосфат та частина м'язового глікогену); – показник робочої маси снаряда (m) від 74–80 % від 1 ПМ у базових вправах і 72–74 % – в ізольованих; – вправи виконуються з частковою амплітудою руху (90–95 % від max.) без фіксації в обох пікових точках; – кількість повторень у сеті за умови тривалості окремого повторення 8–9 с, становить 3–4 рази в базових вправах та 4–5 – в ізольованих; загальна тривалість навантаження в окремому сеті – від 24 до 40 с; – тривалість відпочинку між сетами в одній вправі становить до 50 с, а між базовими й ізольованими вправами – до 90 с; – навантаження високої інтенсивності та малого обсягу роботи.

Закінчення таблиці 1

1	2
№ 2 $R_a=0,67$ у.о.	<ul style="list-style-type: none"> – анаеробно-лактатний (гліколітичний) режим енергозабезпечення (субстратом є м'язовий глікоген); – показник робочої маси снаряда (m) від 69–72 % від 1 ПМ у базових вправах і 65–69 % – в ізольованих; – вправи виконуються з повною амплітудою руху без фіксації в обох пікових точках; – кількість повторень у сеті за умови тривалості окремого повторення 6–7 с, становить 6–8 разів у базових вправах та 8–10 – в ізольованих; загальна тривалість навантаження в окремому сеті – від 42 до 70 с; – тривалість відпочинку між сетами в одній вправі становить 60 с, а між базовими й ізольованими вправами – 90–120 с; – навантаження середньої інтенсивності та обсягу роботи.
№ 3 $R_a=0,58$ у.о.	<ul style="list-style-type: none"> – змішаний режим енергозабезпечення (80 % – анаеробно-лактатний та 20 % – аеробний; основними субстратами є м'язовий і печінковий глікоген, вуглеводи); – показник робочої маси снаряда (m) від 58–60 % від 1 ПМ у базових вправах і 54–55 % – в ізольованих; – вправи виконуються з повною амплітудою руху з обов'язковою фіксацією та додатковим напруженням працюючої м'язової групи в піковій точці концентричної фази; – кількість повторень у сеті за умови тривалості окремого повторення 4–5 с, становить 12–14 разів; загальна тривалість навантаження в окремому сеті – 60–70 с; – тривалість відпочинку між сетами в одній вправі становить 1,5–2 хв, а між базовими й ізольованими вправами – 2–3 хв; – навантаження низької інтенсивності та великого обсягу роботи.

Процедура забору крові в учасників обстежених груп відбувалась із дотриманням загальних вимог до проведення медико-біологічних досліджень [17, 18]. Забір крові в учасників відбувався в стані спокою з вени до й після тренувального заняття. Забір крові з вени брали лікарі з дотриманням усіх необхідних вимог. Проби крові нумерували, здійснювали необхідний опис, заповнювали супровідні документи та доставляли в клінічну лабораторію. Усього таким чином відібрано й досліджено близько 120 проб та отримано 360 біохімічних показників крові.

Статистичний аналіз результатів виконували із застосуванням пакету програм IBM *SPSS*Statistics 26 (StatSoftInc., США). Для визначення найменшого розміру вибірки для дослідження (розрахунок статистичної потужності) використовували програму G-Power 3.1.96 (Німеччина). Застосовуючи критерій Колмогорова-Смирнова визначали нормальний розподіл, за його відсутності використовували непараметричні методи дослідження. Визначали median, interquartile range (IQR). Двофакторний ранговий дисперсійний аналіз Фрідмана для зв'язаних вибірок застосовували для порівняння показників у часових відрізках контролю на одній і тій самій вибірці досліджуваних

Результати дослідження. На рис. 1 графічно представлено результати зміни активності ферменту креатинфосфокінази в сироватці крові учасників обстежених груп у відповідь на стресовий подразник в умовах використання заданих режимів навантаження в процесі занять бодібілдингом.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що досліджуваний біохімічний показник крові демонструє достовірне підвищення своїх параметрів у відповідь на фізичний подразник у представників усіх обстежених груп незалежно від особливостей режимів навантажень, які вони застосовували в процесі тренувального заняття. Установлено, що в представників 1 групи виявлено найбільш виражене підвищення на 46,0 % ($p<0,05$) активності ферменту креатинфосфокінази в сироватці крові у відповідь на силові навантаження високої інтенсивності з малим обсягом роботи ($R_a=0,71$) у порівнянні зі станом спокою. Відповідні навантаження відбувалися в умовах змішаного режиму енергозабезпечення м'язової діяльності (80 % – анаеробно-алактатний та 20 % – анаеробно-гліколітичний). Однак найменше підвищення рівня активності цього ферменту в сироватці крові на 3,8 % ($p<0,05$) виявлено в підлітків 3-ї групи після застосування режиму навантажень низької інтенсивності й великого обсягу ($R_a=0,58$) у зіставленні з вихідними даними. М'язова діяльність у таких умовах забезпечувалася змішаним режимом енергозабезпечення (80 % – анаеробно-лактатний та 20 % – аеробний).

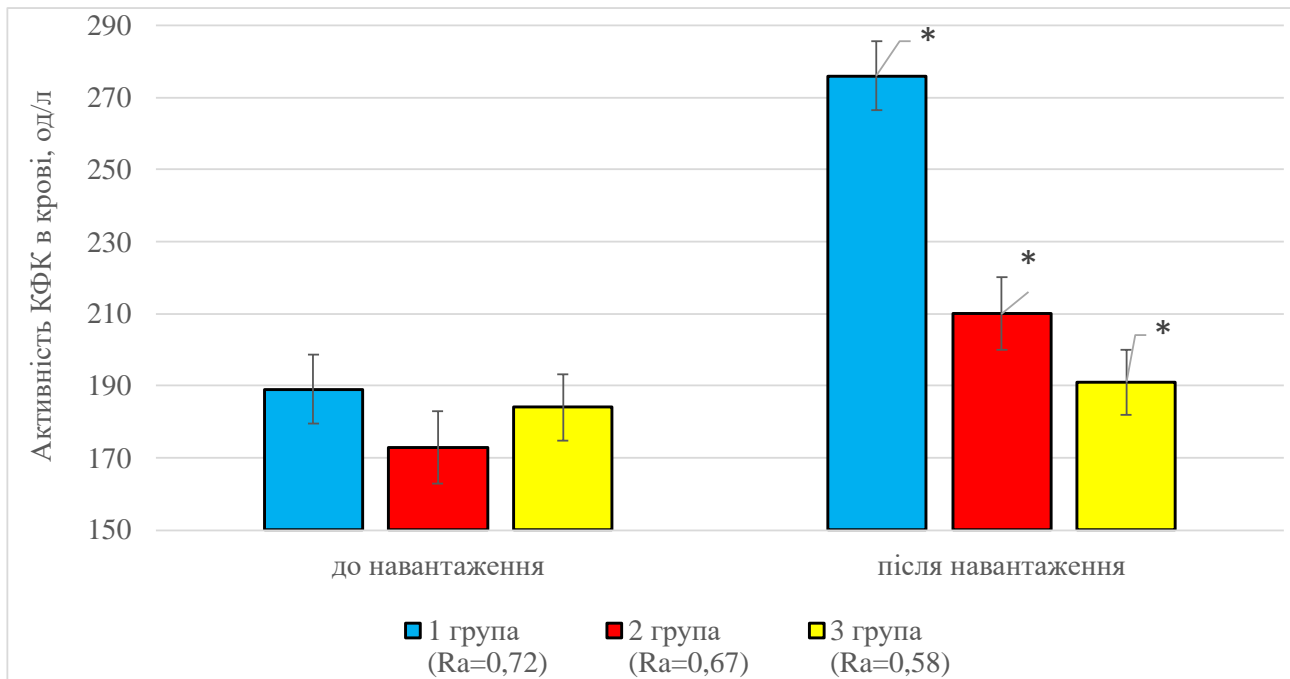


Рис. 1. Результати активності ферменту креатинфосфокінази (КФК) у сироватці крові бодібілдерів обстежених груп в умовах використання різних режимів навантажень (R_a), $n=60$

Примітка. * – $p < 0,05$ у порівнянні з показниками до навантаження.

Представлені на рис. 2 результати демонструють особливості зміни активності ферменту лактатдегідрогенази в сироватці крові обстеженого контингенту у відповідь на фізичний подразник під час використання заданих режимів навантаження.

Установлено, що саме в представників 2-ї групи активність ферменту лактатдегідрогенази в сироватці крові демонструє найбільше серед усіх учасників дослідження підвищення на 22,1 % ($p < 0,05$) у відповідь на силові навантаження в режимі середньої інтенсивності й обсягу роботи ($R_a=0,67$) у зіставленні зі станом спокою. Енергозабезпечення м'язової діяльності в цих умовах відбувалося за рахунок анаеробно-лактатного (гліколітичного) режиму. Водночас підвищення параметрів досліджуваного біохімічного показника крові на 14,4 % ($p < 0,05$) у порівнянні зі станом спокою виявили в учасників 3-ї групи, які в процесі занять із бодібілдингу застосовували силові навантаження низької інтенсивності й малого обсягу роботи ($R_a=0,58$). Енергозабезпечення м'язової діяльності в цих умовах відбувалося переважно за рахунок анаеробного та аеробного видів гліколізу. Серед представників першої групи рівень активності ферменту лактатдегідрогенази в сироватці крові на всіх етапах контролю не змінював своїх параметрів.

На рис. 3 представлено результати зміни концентрації гормону кортизолу в сироватці крові учасників усіх трьох груп у відповідь на стресовий подразник в умовах застосування заданих режимів навантаження в процесі занять бодібілдингом.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що досліджуваний глюкокортикоїдний гормон у відповідь на силові навантаження високої інтенсивності й малого обсягу роботи ($R_a=0,71$) на тлі використання переважно анаеробно-алактатного режиму енергозабезпечення м'язової діяльності демонструє підвищення концентрації в крові на 50,5 % ($p < 0,05$) учасників 1-ї групи в зіставленні зі станом спокою. Подібну гормональну відповідь, але з меншим у 2,6 раза рівнем підвищення концентрації цього біохімічного показника в крові виявлено в представників 2-ї групи, які застосовували режим навантажень середнього обсягу й інтенсивності в поєднанні з анаеробно-гліколітичним видом енергозабезпечення.

Результати біохімічного контролю щодо зміни концентрації кортизолу в сироватці крові учасників 3-ї групи у відповідь на силові навантаження низької інтенсивності та великого обсягу роботи свідчать про те, що цей показник демонструє достовірне зниження на 20,4 % ($p < 0,05$) у зіставленні зі станом спокою, незважаючи на той факт, що енергозабезпечення в таких умовах відбувалося за рахунок змішаного режиму (80 % – анаеробно-лактатний і 20 % – аеробний). Відпо-

відного характеру зміни концентрації в крові досліджуваного нами глюкокортикоїдного гормону кортизолу на силові навантаження свідчать про активації компенсаторних механізмів за рахунок глікоконезу внаслідок дефіциту енергетичних резервів організму.

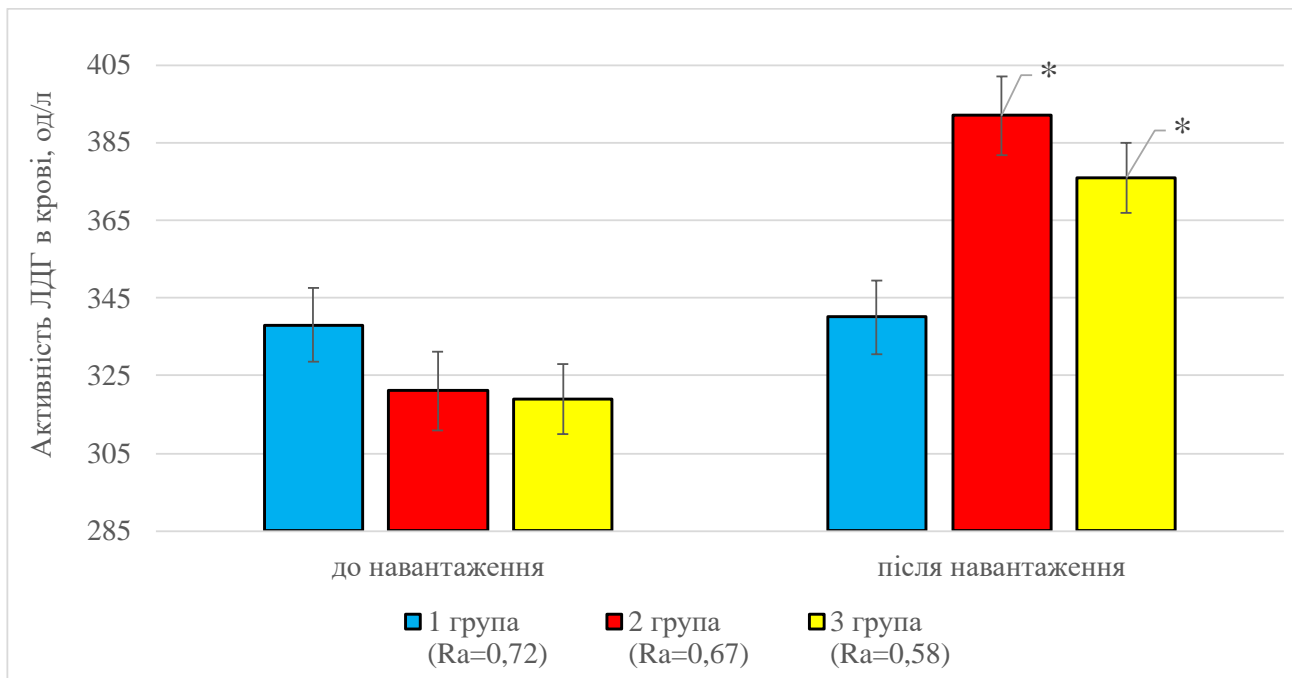


Рис. 2. Результати активності ферменту лактатдегідрогенази (ЛДГ) у сироватці крові бодібілдєрів обстежених груп в умовах використання різних режимів навантажень (R_a), $n=60$

Примітка. * – $p < 0,05$ у порівнянні з показниками до навантаження.

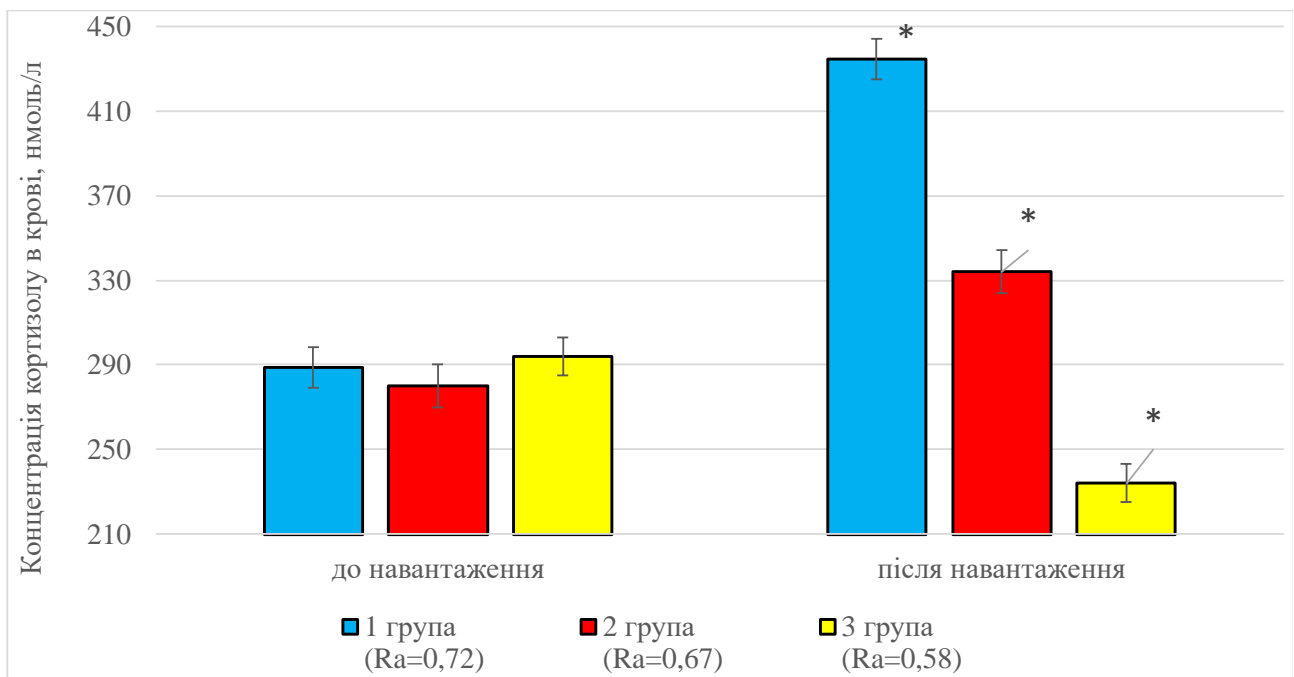


Рис. 3. Результати концентрації гормону кортизолу в сироватці крові бодібілдєрів обстежених груп в умовах використання різних режимів навантажень (R_a), $n=60$

Примітка. * – $p < 0,05$ у порівнянні з показниками до навантаження.

Дискусія. У цій роботі представлено результати досліджень, які розкривають одну з найбільш дискусійних у бодібілдінгу проблем щодо визначення оптимального комплексу біохімічних маркерів

крові, які дають змогу в найкоротший термін часу оцінити ефективність і безпечність використовуваних режимів силових навантажень залежно від адаптаційних резервів організму підлітків на етапі початкової підготовки й рівня резистентності їхніх систем до зовнішнього стресового фізичного подразника. Результати досліджень свідчать про те, що застосовувані нами біохімічні показники крові (активність ферментів креатинфосфокінази, лактатдегідрогенази та концентрації кортизолу в сироватці крові) дають змогу чітко визначити характер адаптаційно-компенсаторних реакцій організму підлітків на різні за видами енергозабезпечення м'язової діяльності й параметрами обсягу та інтенсивності режими навантажень. Отримані в процесі досліджень результати розкривають один із механізмів оцінки адекватності використовуваних у процесі занять бодібілдингом на етапі початкової підготовки режимів силових навантажень функціональним можливостям організму підлітків, особливо адаптаційних резервів системи енергозабезпечення м'язової діяльності. Результати досліджень сприятимуть удосконаленню механізмів корекції тренувального процесу для спортсменів цієї вікової категорії з подальшою розробкою безпечних і водночас ефективних режимів навантаження, які враховуватимуть не лише рівень резистентності систем організму до стресового подразника, але й вікові фізіологічні особливості процесів довготривалої адаптації.

Відсутність єдиного механізму розробки ефективних та водночас безпечних режимів силових навантажень у бодібілдингу на етапі початкової підготовки з урахуванням вікових фізіологічних особливостей адаптації підлітків продовжує залишатись однією з актуальних та нерозв'язаних проблем. Проблема полягає не лише в розробці безпечних режимів навантажень у цьому виді спорту на певному етапі підготовки, але й визначення мінімальної кількості об'єктивних й інформативних маркерів оцінки ефективності їх впливу на системи організму, використовуючи фізіологічні та біохімічні методи контролю [2, 3, 9]. Однак у більшості наукових робіт увагу приділяють пріоритетно деталізованому аналізу зміни відповідних біохімічних показників крові спортсменів у процесі тренувальної чи змагальної діяльності, не заглиблюючись у вивчення кількісних параметрів оцінки показників інтенсивності та обсягу навантаження, розглядаючи їх лише як суб'єктивний зовнішній подразник [10, 12, 17]. При цьому науковці [6, 7, 13], які вивчають процеси вдосконалення системи підготовки в бодібілдингу й характер адаптаційно-компенсаторних реакцій на силовий подразник, використовуючи як маркери біохімічні показники крові, не проводили порівняльний аналіз між варіативністю поєднання параметрів інтенсивності в процесі розробки режимів навантаження та видами анаеробно-алактатного (креатинфосфокіназного) чи анаеробно-гліколітичного енергозабезпечення м'язової діяльності. Дискусійним залишається також питання щодо основних причин підвищення активності ферментів креатинфосфокінази й лактатдегідрогенази в сироватці крові внаслідок зміни проникності мембранних структур міоциту під впливом тренувальних навантажень або процесів метаболізму [1, 11, 18].

Найбільш виражене одночасне підвищення ферменту креатинфосфокінази та гормону кортизолу в сироватці крові учасників дослідження виявлено у відповідь на силові навантаження в умовах режиму високої інтенсивності ($R_a=0,71$). При цьому рівень активності ферменту лактатдегідрогенази в сироватці крові протягом дослідження не змінювався в підлітків цієї групи. Відповідний характер адаптаційно-компенсаторних реакцій організму підлітків на цей фізичний подразник засвідчує те, що енергозабезпечення м'язової діяльності відбувалося переважно за рахунок резервів креатинфосфату й не вимагало додаткового залучення запасів м'язового глікогену, незважаючи на потужний стрес через застосування навантажень у режимі високої інтенсивності [3, 4].

Отримані результати свідчать, що найбільш виражене підвищення активності ферменту лактатдегідрогенази за мінімального зростання параметрів креатинфосфату на тлі суттєвого зниження концентрації глюкокортикоїдного гормону в сироватці крові обстежених підлітків виявлено у відповідь на силові навантаження в умовах режиму низької інтенсивності та великого обсягу роботи ($R_a=0,58$). Значне підвищення ферменту ЛДГ у сироватці крові в умовах силових навантажень свідчить про накопичення в працюючих м'язах у лактату внаслідок активного застосування резервів м'язового глікогену в процесі анаеробно-лактатного (кліколітичного) механізму енергозабезпечення м'язової діяльності [9, 18]. Підвищення активності креатинфосфокінази в сироватці крові в умовах силових навантажень низької інтенсивності відбувається через ресинтез резервів креатинфосфату за рахунок накопичення АТФ у періоди відновлення між сетами [4, 10]. Суттєве зниження концентрації кортизолу в сироватці крові в умовах використання в силових видах спорту режиму навантажень великого обсягу й низької інтенсивності свідчить про значний енергетичний дефіцит, викликаний зниженням резервів м'язового глікогену, що призвело до активації процесів глюконеогенезу [12, 14, 17].

Отже, отримані результати свідчать про необхідність індивідуально підходити до вибору інформативних маркерів оцінки адаптаційно-компенсаторних реакцій організму, особливо підлітків, на етапі початкової підготовки в бодібілдингу. Дослідження довели, що на цьому етапі підготовки в бодібілдингу для спортсменів указаної вікової категорії найбільш безпечними, які передусім не призводять до виснаження енергетичних резервів організму та за яких не відбувається прояв компенсаторних механізмів, є режими навантажень високої ($R_a=0,71$) і середньої ($R_a=0,67$) інтенсивності.

Висновки. Виявлена різноманітність характеру змін досліджуваних нами показників біохімічного контролю крові чітко демонструє адаптаційно-компенсаторні реакції організму підлітків в умовах різних за інтенсивністю та енергозабезпеченням м'язової діяльності режимів силових навантажень у бодібілдингу на етапі початкової підготовки. Отримані результати дають підставу обґрунтовано змоделювати оптимальний, залежно від умов тренувальної діяльності та адаптаційних резервів організму, комплекс інформативних біохімічних маркерів крові.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому планується проведення досліджень щодо вивчення процесів довготривалої адаптації організму підлітків до тренувальних навантажень, використовуючи різні за інтенсивністю, обсягом й енергозабезпеченням режими на етапі початкової підготовки в бодібілдингу.

References

1. Bäcker, H., Richards, J., Kienzle, A., Cunningham, J., & Braun K. (2023). Exertional Rhabdomyolysis in Athletes: Systematic Review and Current Perspectives. *Clinical Journal of Sport Medical*, 33(2), 187–194. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001082> (in English).
2. Baranauskienė, N., Wang, J., Eimantas, N., Solianik, R., & Brazaitis, M. (2023). Age-related differences in the neuromuscular performance of fatigue-provoking exercise under severe whole-body hyperthermia conditions. *Medicine & Science in Sports*, 33, 9, 1621–1637. <https://doi.org/10.1111/sms.14403> (in English).
3. Boukhris, O., Trabelsi, K., Ammar, A., Hsouna, H., Abdesslem, R., Altmann, ... Chtourou, H. (2023). Performance, muscle damage, and inflammatory responses to repeated high-intensity exercise following a 40-min nap. *Research in Sports Medicine*, 31, 4, 398–415. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1988951> (in English).
4. Chen, T., Wu, S., Chen, H., Tseng, W., Tseng, K., Kang, H., & Nosaka, K. (2023). Effects of Unilateral Eccentric versus Concentric Training of Nonimmobilized Arm during Immobilization. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55(7), 1195–1207. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003140> (in English).
5. Chernozub, A., Titova, H., Dubachinskiy, O., Bodnar, A., Abramov, K., Mینenko, A., & Chaban, I. (2018). Integral method of quantitative estimation of load capacity in power fitness depending on the conditions of muscular activity and level of training. *Journal of Physical Education and Sport*, 18(1), 217–221. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.01028> (in English).
6. Chernozub, A., Potop, V., Korobeynikov, G., Timnea, O., Dubachinskiy, O., Ikkert, ... Korobeynikova, L. (2020). Creatinine is a biochemical marker for assessing how untrained people adapt to fitness training loads. *PeerJ*, 5, e9137. <https://doi.org/10.7717/peerj.9137> (in English).
7. Chernozub, A., Manolachi, V., Tsos, A., Potop, V., Korobeynikov, G., Manolachi, ... Mihaila, I. (2023). Adaptive changes in bodybuilders in conditions of different energy supply modes and intensity of training load regimes using machine and free weight exercises. *PeerJ*, 11, e14878. <https://doi.org/10.7717/peerj.14878> (in English).
8. Chernozub, A., Hlukhov, I., Drobot, K., Synytsia, A., Rymyk, R., Pyatnychuk, H., ... Potop, V. (2024). Correlation between load volume and indicators of adaptive body changes in untrained young men participating in fitness. *Journal of Physical Education and Sport*, 24, 321–328. <https://doi.org/10.7752/jpes.2024.02038> (in English).
9. Curty, V., Zovico, P., Salgueiro, R., Caldas, L., Leite, R., Sousa, N., ... Barauna, V. (2023). Blood Flow Restriction Attenuates Muscle Damage in Resistance Exercise Performed Until Concentric Muscle Failure. *International Journal of Exercise Science*, 16(2), 469–481 (in English).
10. Haller, N., Behringer, M., Reichel, T., Wahl, P., Simon, P., Krüger, K., ... Stöggl, T. (2023). Blood-Based Biomarkers for Managing Workload in Athletes: Considerations and Recommendations for Evidence-Based Use of Established Biomarkers. *Sports Med*, 53(7), 1315–1333. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01836-x> (in English).
11. Leite, C., Zovico, P., Rica, R., Barros, B., Machado, A., Evangelista, A., ... Bocalini, D. (2023). Exercise-Induced Muscle Damage after a High-Intensity Interval Exercise Session: Systematic Review. *International J Environ Res Public Health*, 20(22), 7082. <https://doi.org/10.3390/ijerph20227082> (in English).
12. Moyers, S., & Hagger, M. (2023). Physical activity and cortisol regulation: A meta-analysis. *Biological Psychology*, 179, 108548. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2023.108548> (in English).
13. Potop, V., Manolachi, V., Chernozub, A., Kozin, V., Syvokhop, E., Spivak, A., ... Jie, Z. (2023). Changes in circumference sizes of bodybuilders using machine and free weight exercises in combination with different

- load regimes. *Health, sport, rehabilitation*, 9(2), 74–85. <https://doi.org/10.34142/HSR.2023.09.02.06> (in English).
14. Schoenfeld, B., Androulakis-Korakakis, P., Piñero, A., Burke, R., Coleman, M., Mohan, A., ... Helms E. (2023). Alterations in Measures of Body Composition, Neuromuscular Performance, Hormonal Levels, Physiological Adaptations, and Psychometric Outcomes during Preparation for Physique Competition: A Systematic Review of Case Studies. *Journal Functional Morphology and Kinesiology*, 8(2), 59. <https://doi.org/10.3390/jfmk8020059> (in English).
15. Schuth, G., Szigeti, G., Dobreff, G., Pasic, A., Gabbett, T., Szilas, A., & Pavlik, G. (2023). Individual-Specific Relationship Between External Training and Match Load and Creatine-Kinase Response in Youth National Team Soccer Players. *Sports Health*, 15(5), 700–709. <https://doi.org/10.1177/19417381221128822> (in English).
16. Schwiete, C., Roth, C., Skutschik, C., Möck, S., Rettenmaier, L., Happ, K., ... Behringer, M. (2023). Effects of muscle fatigue on exercise-induced hamstring muscle damage: a three-armed randomized controlled trial. *Eur J Appl Physiol*, 123(11), 2545–2561. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05234-z> (in English).
17. Vechin, F., Vingren, J., Telles, G., Conceicao, M., Libardi, C., Lixandrao, M., ... Ugrinowitsch, C. (2023). Acute changes in serum and skeletal muscle steroids in resistance-trained men. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 14, 1081056. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1081056> (in English).
18. Yeom, D., Hwang, D., Lee, W., Cho, J., & Koo, J. (2023). Effects of Low-Load, High-Repetition Resistance Training on Maximum Muscle Strength and Muscle Damage in Elite Weightlifters: A Preliminary Study. *International Journal of Exercise Science*. 24, 23, 17079. <https://doi.org/10.3390/ijms242317079> (in English).

Стаття надійшла до редакції 24.05.2024 р.