

УДК 796. 011.3: 055. 2: 662

Філіпов М.М., Ільїн В.М.

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОНАННЯ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ ЗАНЯТТЯХ ОЗДОРОВЧИМ СПОРТОМ

Мета: оцінити можливість аналізу мобілізації функціональних резервів організму під час виконання фізичної роботи, потужність якої рівномірно змінюється. *Методи дослідження:* в процесі виконання велоергометричної роботи, потужність якої плавно збільшується від нуля до певної точки реверсу, а потім таким же чином зменшується, безперервно реєструють зміни ЧСС. *Результати:* для характеристики резервних можливостей організму запропонований методичний підхід, який ґрунтується на взаємозв'язку ЧСС з рівномірною зміною потужності виконуваної механічної роботи. На підставі аналізу петлі гістерезису здійснюється оцінювання різних компонентів, що якісно характеризують як фізіологічні прояви реакцій організму, так і ті, які визначають потужність роботи. *Висновок:* на основі обґрунтування окремих ділянок петлі гістерезису, що визначає залежність "ЧСС – потужність", доводимо можливість оцінювання специфіки адаптованості організму до фізичного навантаження.

Ключові слова: резервні можливості організму, взаємозв'язок "ЧСС – потужність", петля гістерезису, фізичне навантаження.

Постановка проблеми. Проблема оцінювання фізичної підготовленості і стану фізіологічних систем організму людини при заняттях оздоровчим спортом – є актуальною. Незважаючи на те, що такому оцінюванню присвячена велика кількість наукових розробок провідних спеціалістів у галузі теорії і методики спорту високих досягнень, спортивної фізіології і медицини, до сьогодення часу недостатньо розроблені оперативні методи оцінювання резервних можливостей організму, які ґрунтуються на педагогічному тестуванні, оцінкових критеріях та інформативних показниках, що свідчать про закономірності функціонування головних енергозабезпечуючих фізичну працездатність систем організму в процесі короткострокової адаптації до фізичних навантажень.

Зв'язок із науковими планами. Роботу виконано у рамках теми 2.4.1. "Системний аналіз морфофункціональних перебудов організму людини у процесі адаптації до фізичних навантажень" Зведеного плану науково-дослідної роботи у галузі фізичної культури і спорту на 2006 – 2010 рр.

Мета роботи – оцінити можливість аналізу мобілізації функціональних резервів організму під час виконання фізичної роботи, потужність якої рівномірно змінюється.

Методи дослідження. Серед різноманітних способів оцінювання резервів адаптації організму до фізичних навантажень може бути використаний метод тестування фізичної працездатності, що дає змогу отримати інформацію про системну адаптивну реакцію організму в одиницях потужності роботи. Він ґрунтується на оригінальній ідеї, яка була подана Г.М. Яковлевим, В.П. Андріановим і Н.К. Лісовим [2].

Основою цього методу є використання велоергометрії, в процесі якої регулюють потужність із заданою швидкістю зміни за замкнутим циклом – спочатку її підвищують від нуля до певної (заданої експериментатором) величини, а потім з такою ж швидкістю знижують. У процесі виконання роботи реєструють взаємозв'язок частоти серцевих скорочень (ЧСС) з потужністю виконуваної роботи, який потім графічно зображують у вигляді так званої петлі гістерезису, за формою якої оцінюють системну адаптивну відповідь організму на збурювальний вплив.

Тестування здійснюють у такій послідовності: обстежуваний адаптується до обстановки протягом 5 хв, потім реєструють ЧСС, після чого він починає педалювання. Рівномірне зростання потужності (протягом кожної хвилини на 33 Вт) до точки реверсу (наприклад, 230 Вт) і повернення (із заданою швидкістю) до нуля здійснюється автоматично за допомогою електромеханічної приставки до велоергометра. Сигнали про зміну потужності і ЧСС подаються на двокоординатний самописець, який будує петлю гістерезису в системі координат "потужність – ЧСС", що дає змогу здійснити фазовий аналіз циклу навантаження (приклад запису наведено на рис. 1). Тривалість роботи – 836 с, обсяг виконаної роботи – 96,18 кДж. Початок зниження потужності (реверс) задається або за досягненням певної потужності роботи (наприклад, 230 Вт), або за значенням фізіологічного параметру (наприклад, ЧСС = 150хв⁻¹).

На підставі аналізу петлі гістерезису "потужність – ЧСС" здійснюють оцінювання різних компонентів як фізіологічної реакції організму, так і характеристик, що визначають потужність роботи. Сама петля є похідною функції серцевої діяльності від потужності роботи, тоді як її площа – другою похідною цієї функції [1].

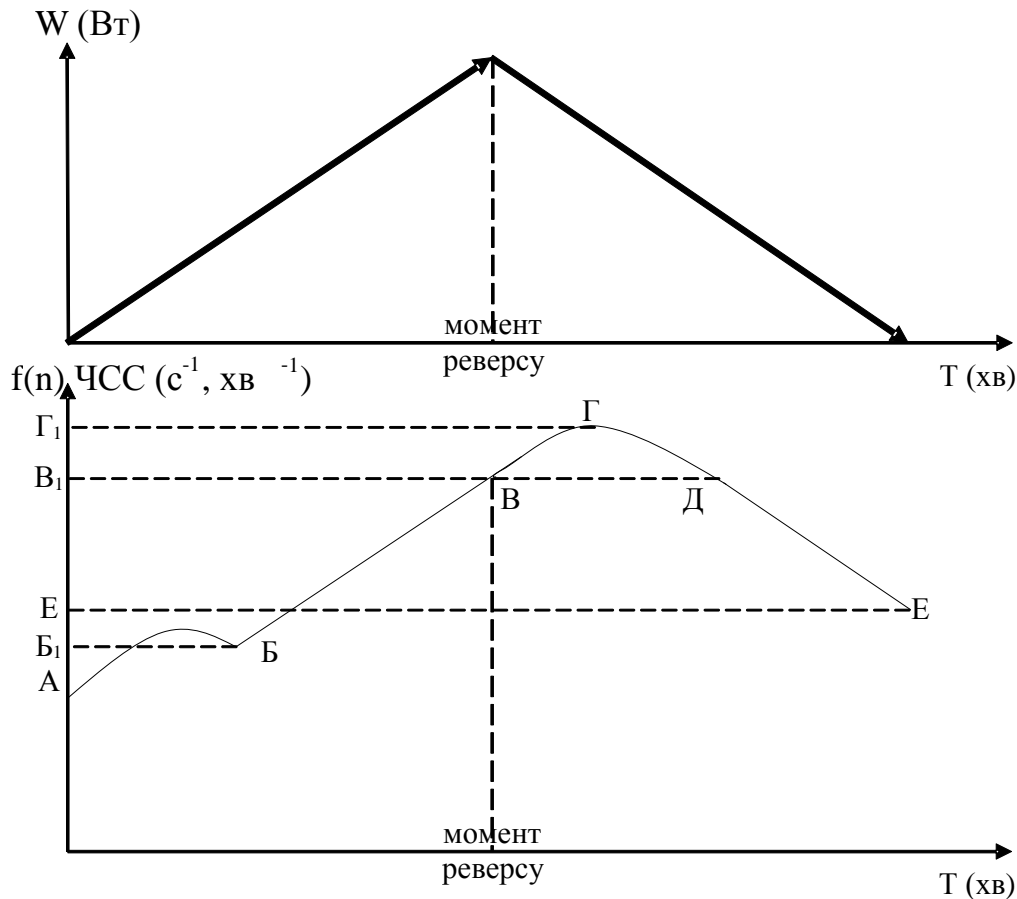


Рис. 1. Динаміка зміни потужності виконуваної роботи (верхня частина рисунку) та ЧСС (нижня частина рисунку) у процесі тестування

Результати дослідження та їх обговорення. У структурі петлі виокремлюють кілька діагностичних ділянок (фаз), з аналізу різних компонентів яких й оцінюють характер адаптаційних можливостей організму. Основними фазами є такі (рис. 2).

1. Гетероакселераційна (перехідна) фаза відповідає початку ділянки АБ петлі і характеризує аперіодичний процес впрацювання організму. Варіабельність ділянки АБ зумовлена вихідним станом організму.

2. Ізоакселераційна фаза відповідає лінійній ділянці ВВ петлі, характеризує сталість збільшення фізіологічного показника (це може бути ЧСС або значення споживання кисню) у відповідь на приріст потужності. Котангенс кута нахилу цієї лінійної ділянки від ізолінії до осі "Х" ($\text{ctg}\alpha$) відображає індивідуальний характер використання функціональних резервів організму, які залежать від специфіки адаптованості обстежуваного.

3. Гетероакселераційна (перехідна) фаза відповідає ділянці ВД петлі гістерезису і відображає динаміку використання функціональних резервів організму на початковому етапі рівномірного зниження потужності роботи. Ділянка ВД може мати різну протяжність, за якою можна оцінити інерційність регуляторних процесів організму. Кінцева точка цієї ділянки характеризує максимальне значення фізіологічного параметра ($f_{\text{макс}}$).

4. Ізоакселераційна фаза відповідає ділянці ДЕ петлі гістерезису і характеризує сталість зміни значення фізіологічного параметра під час зниження потужності роботи. Котангенс кута нахилу ділянки ДЕ до осі "Х" ($\text{ctg}\beta$) відображає характер функціонального стану організму, який визначається потужністю роботи, швидкістю відновних процесів і станом адаптованості організму.

Оскільки усі точки обох ізоакселераційних фаз ВВ і ДЕ характеризуються сталістю зміни фізіологічного параметра під час зміни потужності роботи, то відповідно, що площа, обмежена петлею гістерезису, буде відповідати "внутрішній роботі" організму (навантаженню). Якщо б організм не був змушений здійснювати внутрішню роботу, нисхідна частина петлі співпала б з висхідною. Сама петля відображає першу похідну мобілізації функціональних резервів адаптації організму від потужності виконуваної роботи, тоді як його площа – другу похідну цієї мобілізації [1].

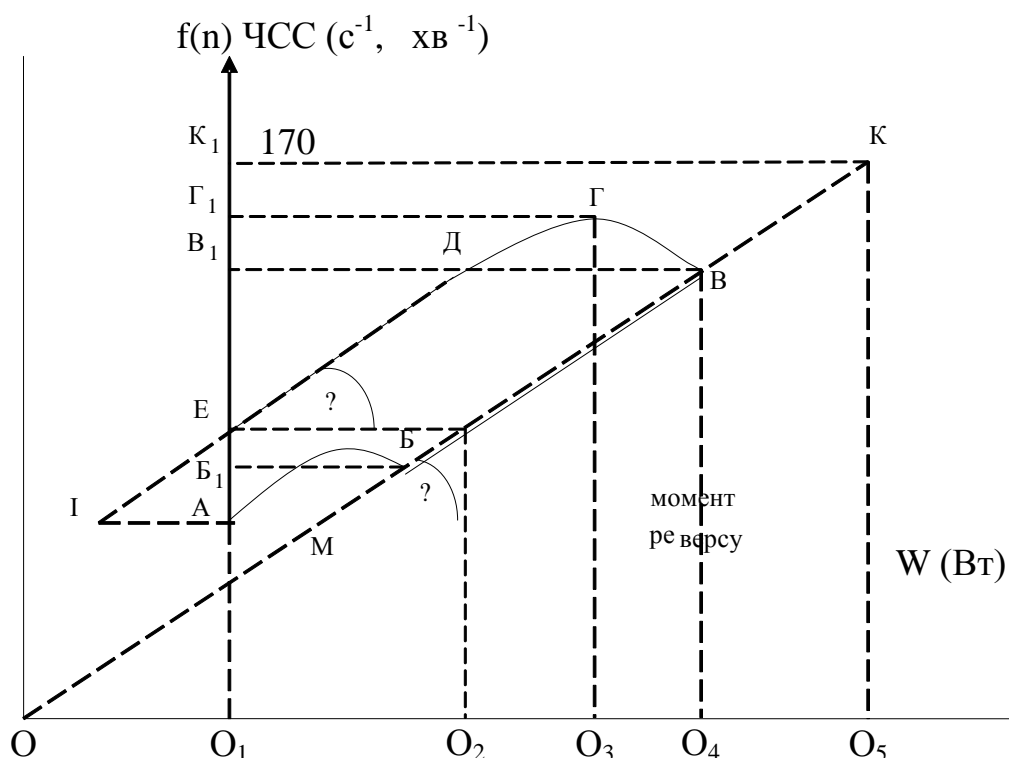


Рис. 2. Запис петлі гістерезису в абсолютній системі координат (пояснення в тексті)

Графічне зображення петлі гістерезису дає можливість виділити низку показників, що характеризують особливості мобілізації функціональних резервів організму в процесі термінової адаптації до фізичної роботи, а також оцінити компоненти фізичної працездатності. При цьому можна зробити допущення про можливість подання петлі гістерезису в абсолютній системі координат. Підставою для цього є припущення про те, що інтенсивність функціонування організму лінійно залежить від потужності виконуваної механічної роботи. Це підтверджується ізоакселераційною фазою, яка описана вище.

Усі результати тестування згруповані логічно і піддаються комп'ютерній обробці із застосуванням кластерного аналізу.

Виділимо такі показники тестування.

I. Показники, що характеризують функціональну пробу:

1) швидкість зміни потужності механічної роботи (V , Вт/с) є постійною величиною – плавно на 33 Вт за хвилину;

2) потужність реверсу ($W_{рев.}$, Вт) характеризує функціональну пробу в тому випадку, якщо момент реверсу заздалегідь планують за значенням потужності механічної роботи;

3) значення фізіологічного параметра (наприклад, ЧСС = 150 хв⁻¹) в момент реверсу ($f_{рев.}$, хв⁻¹ або с⁻¹). Цей показник характеризує функціональну пробу у тому випадку, якщо реверс встановлюють за значенням фізіологічного показника.

II. Показники напруження організму за значенням фізіологічного параметра:

1. початкове значення фізіологічного параметра ($f_{висх.}$, хв⁻¹ або с⁻¹). На рис. 2 – точка А;

2) порогове значення фізіологічного параметра ($f_{порог.}$, хв⁻¹ або с⁻¹). На рисунку – точка Б₁. Цей параметр характеризує початок ізоакселераційної навантажувальної фази і, як правило, досить стабільний і відносно незалежний від його значення перед виконанням роботи;

3) значення фізіологічного параметра в момент реверсу ($f_{рев.}$, хв⁻¹ або с⁻¹). На рисунку – точка В₁;

4) максимальне значення зареєстрованого фізіологічного параметру ($f_{макс.}$, хв⁻¹ або с⁻¹). На рисунку – точка Г₁;

5) значення зареєстрованого фізіологічного параметру у момент закінчення роботи ($f_{зак.}$, хв⁻¹ або с⁻¹). На рисунку – точка Е.

6) середнє значення фізіологічного параметра за весь період виконуваної роботи ($f_{ср.}$, хв⁻¹ або с⁻¹). Визначається як частка від ділення кількості серцевих скорочень за час повного

навантажувального циклу на загальний час навантаження і вказує, яке середнє значення ЧСС могло б забезпечити виконання тесту.

III. Показники ефективності мобілізації резервів:

1) швидкість розподілу стану напруження організму в процесі повного циклу роботи (V_1 , Вт/с). Визначається площею петлі гістерезису (на рисунку – площа АБВГДЕА) і характеризує рівень мобілізації функціональних резервів організму;

2) швидкість розподілу напруження організму в перехідний період (V_2 , Вт/с). Визначається площею ВГДВ;

3) час інерції (Тін., с) – період, протягом якого після реверсу ще спостерігають підвищення значення фізіологічного параметра. Визначається відношенням O_3-O_4 (Вт) до V (Вт/с) і характеризує час інерційності регуляторних механізмів;

4) коефіцієнт інерції (Кін., відн. од.). Визначається відношенням $f_{рев.}$ до $f_{макс.}$;

5) коефіцієнт швидкості перерозподілу інтенсивності мобілізації функціональних резервів організму (Кпер., відн. од.). Являє собою частку від ділення V_2 на V_1 ;

6) коефіцієнт ефективності регуляції організму (Кефф., відн. од.) – відношення часу інерції до загального часу функціональної проби;

7) максимальна швидкість перерозподілу інтенсивності мобілізації функціональних резервів організму в перехідний період ($V_{2макс.}$, Вт/с). Визначається аналогічно попередньому показнику, але у відношенні до перехідного періоду;

8) коефіцієнт ефективності використання функціональних резервів під час підвищення потужності виконуваної роботи (R_1 , відн. од.) – $\cos\alpha$;

9) коефіцієнт ефективності використання функціональних резервів під час зниження потужності виконуваної роботи (R_2 , відн. од.) – $\cos\beta$;

IV. Показники енергетичного рівня організму (рівня активації, напруження, функціонування):

1) зовнішня робота, що відповідає нормованому значенню фізіологічного параметра (наприклад, одному серцевому скороченню) під час зростання потужності роботи ($W_{1вн.}$, Дж). Є котангенсом кута α (на рисунку – відношення O_4O до O_1B_1);

2) зовнішня робота, що відповідає нормованому значенню фізіологічного параметра (наприклад, одному серцевому скороченню) під час закінчення роботи ($W_{2вн.}$, Дж). Є котангенсом кута β (на рисунку – відношення IA до AE);

3) рівень напруження організму перед навантаженням ($W_{пред.}$, Вт). На рисунку визначено відрізком OO ;

4) рівень напруження організму в момент реверсу ($W_{1рев.}$, Вт) (на рисунку – відрізок OO_4);

5) рівень напруження організму в момент припинення фізичної роботи (на рисунку – відрізок OO_2);

6) максимальний рівень напруження організму ($W_{макс.}$, Вт). Характеризується половиною довжини петлі (вказує на найбільший рівень напруження організму, яке він може утворити за таких умов роботи);

7) приріст рівня напруження організму під впливом функціональної проби (ΔW_1 , Вт). Є різницею між $W_{вих.}$ і $W_{поперед.}$ (На рисунку: $OO_2 - OO_1$);

8) зниження рівня напруження організму після виконання механічної роботи (ΔW_2 , Вт). Є різницею між $W_{макс.}$ і $W_{рев.}$. Характеризує енергію, витрачену на внутрішню роботу;

9) коефіцієнт корисної дії мобілізації функціональних резервів організму (ККД, %). Визначають відношенням O_1O_4 до половини довжини петлі (характеризує фізіологічну ціну виконаної фізичної роботи або ефективність енерговитрат);

10) значення рівня активації організму у передробочому стані (ΔW_3 , Вт). Визначається на рисунку відрізком AM ;

11) значення рівня активації організму під час закінчення фізичної роботи (ΔW_4 , Вт). Визначається на рисунку відрізком IA . Як і попередній показник, характеризує рівень напруження організму.

V. Показники загальної фізичної працездатності:

Якщо момент реверсу потужності роботи задають визначеним значенням, показником загальної фізичної працездатності виступає PWC_{170} (ОТ), який на рисунку дорівнює різниці відрізків O_1O_5 і O_3O_4 . Відрізок O_3O_4 відображає інерційність процесів регуляції.

Якщо момент реверсу здійснюється за досягненням певного значення фізіологічного параметру, то показниками загальної фізичної працездатності крім PWC_{170} буде $W_{рев.}$. Загальний час виконання роботи (відношення відрізка $O_1-O_4-O_1$ до V), а також обсяг виконаної зовнішньої механічної роботи (добуток середньої потужності роботи на загальний час роботи).

Як зазначали раніше, момент реверсу потужності роботи може здійснюватися або після досягнення запланованої величини потужності, або після досягнення певного значення фізіологічного параметра. Як найадекватніший для тестування осіб, які явно відрізняються за рівнем адаптованості, слід

використовувати другий варіант, бо в цьому випадку фізіологічна ціна навантаження буде однаковою для всіх категорій осіб, яких тестують. Для зіставлення результатів тестування враховують величину виконаної зовнішньої механічної роботи, для чого значення всіх показників, що залежать від обсягу навантаження (довжина, площа петлі і похідні від їх значень), відносять до величини виконаної роботи.

Розробляючи описувану методику оцінювання системної реакції організму, нами були проведені синхронні записи петель гістерезису ЧСС та показників газообміну (споживання кисню і виділення вуглекислого газу). Це дало можливість зробити кореляційний аналіз досліджуваних показників.

Отримані результати свідчать, що переважна більшість параметрів петлі гістерезису серцевої діяльності з високим ступенем корелює з параметрами петлі гістерезису газообміну ($r = 0,80-0,97$), що вказує, щонайменше, на загальні механізми, яким підкоряється динаміка згаданих фізіологічних показників. Водночас, проведений інтеркореляційний аналіз показав, що описані вище параметри петлі гістерезису майже не пов'язані один з одним (коефіцієнти кореляцій не перевищують 0,3), що вказує на їх самостійну інформативність і можливість за їх допомогою оцінювати різні сторони системної мобілізації функціональних резервів організму під час м'язової діяльності.

Висновок. Підсумовуючи викладений матеріал, можемо стверджувати, що "гістерезисний метод" можна ефективно використовувати, оцінюючи специфіку адаптованості організму людини до фізичного навантаження.

Використані джерела

1. Чистяков В.А. Математическая модель оценки резервов адаптации организма к мышечной деятельности / В.А.Чистяков, Д.Н.Давиденко // Вестник Балтийской Педагогической Академии. – Вып.41. – 2001. – С.45-47.
2. Яковлев, Г.М. Новый методический подход в исследовании адаптации системы кровообращения к циклической физической нагрузке / Г.М. Яковлев, В.П. Андрианов, Н.К. Лесной // Характеристика функциональных резервов спортсмена. – Л.: ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта, 1982. – С. 83-88.

Filippov M., Plyin V.

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE EVALUATION OF THE ABILITY TO PERFORM PHYSICAL ACTIVITIES AT RECREATIONAL SPORT

It is proposed in the field of recreational sports to evaluate the possibility of analysis of mobilization of functional reserves of the organism during physical work. To do this, when you perform a Bicycle stress of work, the power of which increased smoothly from zero to a certain point of reversal, and then decreased continuously recorded changes in heart rate (HR). Thus, we analyzed the relationship of heart rate and power of the work performed, which is graphically depicted in the form of so-called "hysteresis loop", the form of which has been evaluated by systemic adaptive response of the organism to physical stress. Analysis of "hysteresis loops" allowed assessment of different components, qualitatively characterize how the existence of physiological reactions of the organism, and those that determine the power of work. On the basis of the justification of individual sections of the hysteresis loop was identified several diagnostic plots (phases), from the analysis of the various components and assessed the nature of adaptive capacity of the organism to physical load. Thus, according to the graph, the transition phase was judged on the process of work, in linear – gain mode of the physiological indicator for the slope of the linear plot of individual character of functional reserves of the organism. In addition, the nature of the curve at lower power operation, determine the speed of recovery process. All test results were grouped logically and subjected to computer processing using cluster analysis. Based on the latest featured the following physiological characteristics: the strain of the organism, the efficiency of mobilization of reserves, the energy level of the body (the level of activation, voltage, function) General physical performance. Thus it is argued that the method of analysis "hysteresis loop" can be used effectively to assess the specificity of adaptation of human organism to physical activity.

Key words: reserve possibilities of organism, intercommunication of "HR - power", hysteresis loop, physical loading.

Стаття надійшла до редакції 13.09.2015 р.