

DOI 10.29254/2077-4214-2024-1-172-462-469

UDC 577.121.7

¹Loshkarova Ie. O., ²Pastukhova V. A.**COMPARISON OF ACTUAL AND PREDICTED RESTING ENERGY EXPENDITURE IN SKILLED ENDURANCE ATHLETES**¹State Research Institute of Physical Culture and Sports (Kyiv, Ukraine)²National University of Ukraine on Physical Education and Sport (Kyiv, Ukraine)

lea.dietdoc@gmail.com

The gold standard for determining resting energy expenditure is indirect calorimetry. However, this method requires special equipment and sufficient time to make the measurement. Therefore, in practice, prediction equations are often used to determine resting energy expenditure based on anthropometric data, age and gender. The study aims to compare the actual and calculated resting energy expenditure of qualified Ukrainian athletes. For this purpose, 93 measurements (62 in men, 31 in women) of resting energy expenditure by indirect calorimetry were made in athletes who are members of the national teams of Ukraine in sports with predominant endurance aged 18-35 years. The actual values were compared with six prediction equations: Harris-Benedict, Mifflin, World Health Organisation, De Lorenzo, ten Haaf and Freire formulas separately among male and female athletes. The differences between actual and calculated by the Freire equation resting energy expenditure in male ($p=0.232$) and female athletes ($p=0.421$) were not significant. Among female athletes, the differences between actual and calculated by the De Lorenzo equation resting energy expenditure were also unreliable ($p=0.961$). The results obtained allow us to conclude that for the correct calculation of resting energy expenditure in Ukrainian athletes, general population equations (Harris-Benedict, Mifflin, World Health Organization) should not be used, but rather equations specially developed for qualified athletes (Freire and De Lorenzo) should be used if resting energy expenditure measurement by indirect calorimetry is not available.

Key words: resting energy expenditure, indirect calorimetry, prediction equations, sport, endurance.

Connection of the publication with planned research works.

The work was performed within the framework of the research topics "Improvement of the system for assessing the functional capabilities of qualified athletes" (state registration number 0120U102907), "Control and correction of metabolism of qualified athletes under conditions of intense physical activity" (state registration number 0120U103004), "Influence of endogenous and exogenous factors on the course of adaptive reactions of the body to physical activity of different intensity" (state registration number 0121U108187).

Introduction.

High-performance sports are characterised by high energy expenditure for physical activity. In qualified athletes, they often amount to 1000-2000 kcal, and during intensive training and competition activities, daily energy expenditure can exceed 10000 kcal [1, 2]. Therefore, it is extremely important to compensate for energy expenditure through a diet with adequate calorie content, as rational nutrition is a basic factor in ensuring recovery processes.

Accurate determination of daily energy expenditure requires expensive equipment. It is difficult from an organisational point of view, so in sports nutrition, as in clinical nutrition, it is common to determine energy expenditure by calculation (using physical activity coefficients or metabolic equivalents of activity) [1]. In this case, the basic parameter is resting energy expenditure (REE), which is the minimum amount of energy required to ensure the vital functions of the body (respiration, blood circulation, excretory functions, muscle tone, nervous and endocrine system, etc.) [3].

Indirect calorimetry is currently the gold standard in determining the REE [4]. The method is based on calculating energy consumption according to oxygen consumption and carbon dioxide emissions. Heat production is calculated based on analysing the gas composition of inhaled and exhaled air. This method requires special equipment and much measurement time, so it is not widely available [5, 6]. For this reason, numerous equations have been developed that, based on certain standard parameters (age, gender, body length, weight, etc.), help to calculate the basal metabolic rate. Since these equations are extrapolations of population averages based on body size, gender, and age, they do not consider individual parameters that affect basal metabolism (amount of muscle mass, hormonal status, etc.) [3, 5]. Researchers involved in validating existing equations note that the more specific the sample, the more important it is to use equations developed on similar samples [7, 8].

Meanwhile, the use of general population equations, such as the Harris-Benedict or Mifflin equation, is also quite common in sports nutrition [1, 9]. The equations developed for athletes are less well known, on the one hand, and on the other hand, they were developed based on relatively small samples and often with a rather mixed composition of athletes by sports group. For example, generalised data on the actual measured REE in athletes from different sports groups could be used to calculate the equation [10], which, in our opinion, affects their relevance for use for athletes from each sport group separately due to significant differences in body composition between representatives of different sport groups.

It should also be noted that socio-demographic characteristics of the population impact the resting energy

expenditure [3], so it is best to choose equations that have been developed or tested on populations that are as similar as possible in terms of the region of residence. Until now, Ukrainian science has not studied the REE of qualified athletes to determine the most relevant equations for calculating resting energy expenditure in sports practice.

The aim of the study.

To determine the most appropriate equations for calculating energy expenditure at rest in qualified Ukrainian athletes by comparing the calculated indicators with the measured values.

Object and research methods.

The research was conducted at the State Research Institute of Physical Culture and Sports from 2019 to 2021. Ninety-three studies were conducted on anthropometric parameters (length and body weight) and resting energy expenditure in athletes aged 18-35 (mean age: men 23.2±0.6 years, women 24.3±0.8 years) who are members of the Ukrainian national teams in sports with predominant endurance.

Among them: male athletes (n=62) in the following sports: rowing (n=14), modern pentathlon (n=9), triathlon (n=3), biathlon (n=29), canoeing (n=4), kayaking (n=2); female athletes (n=31) in the following sports: rowing (n=8), kayaking (n=3), modern pentathlon (n=2), triathlon (n=7), biathlon (n=11).

The study was conducted in the morning on an empty stomach before training. After measuring the length and weight of the body (Tanita BC-545, Omron, Japan), the resting energy expenditure in the supine position was measured for 15 minutes by indirect calorimetry (Fitmate, Cosmed, Italy), determining the daily resting energy expenditure (kcal/day).

The study was conducted in accordance with the basic bioethical standards of the World Medical Association's Declaration of Helsinki on the Ethical Principles for Scientific and Medical Research (2000, amended in 2008), the Universal Declaration on Bioethics and Human Rights (1997), and the Council of Europe's Convention on Human Rights and Biomedicine (1997). Each study participant provided written informed consent to participate in the study.

The data obtained were processed separately for men and women using the following statistical methods: determination of the mean and standard error of the mean, checking for normality of data distribution using the Shapiro-Wilk test, determination of the significance of differences between the REE in men and women using the Mann-Whitney U test.

To compare the actual resting energy expenditure (REE_{act}) and the one calculated using the equations, three equations were chosen based on the analysis of the literature on the research topic, which are widely used in physiology to calculate REE in different population groups, including athletes, based on body weight and length, age and gender: Harris-Benedict [11], Mifflin [12], and World Health Organization (WHO) [13]. We also selected three formulas specifically designed for athletes based on the same equations: De Lorenzo [14], ten Haaf [15], Freire [16].

To compare the accuracy of the equations, the following was done: based on the approach generally accepted in the scientific literature to consider the deviation be-

tween the calculated and measured $REE \pm 10\%$ as acceptable, the percentage of adequate values (90-110% of the actual REE), as well as the percentage of underestimation ($\leq 89\%$) and overestimation ($\geq 111\%$) of the calculated values were calculated for each equation separately. Also, the root mean square error (RMSE) was determined for each equation separately compared to the measured REEs. The significance of the differences between the measured and calculated values was assessed using Wilcoxon's T-test for each equation separately.

Statistical data processing was performed using XLSTAT statistical analysis software (Lumivero, USA).

Research results and their discussion.

The mean data of the study participants are presented in table 1.

Table 1 – Anthropometric indicators and resting energy expenditure of the examined athletes

Indicator	Male athletes (n=62)			Female athletes (n=31)		
	M±m	Min	Max	M±m	Min	Max
Body length, m	1,83±0,01	1,63	2,01	1,72±0,02	1,59	1,97
Body weight, kg	78,4±1,40	58,4	103,4	65,7±1,72	48,9	95,1
Body mass index, kg/m ²	23,4±0,28	19,7	29,6	22,2±0,32	19,2	25,8
REE_{act} kcal/day	2140±47	1400	3231	1772±67	1351	2784
REE_{act} kcal/day/kg	27,3±0,38	18,2	33,1	26,9±0,63	20,0	36,4

Notes: M – mean; m – standard error of the mean; Min – minimum value; Max – maximum value.

At a high level of statistical significance ($p < 0.01$), differences between the measured resting energy expenditure and between the length and weight of the body among male and female athletes were found. Also, statistically significant ($p = 0.043$) differences between body mass index in male and female athletes were found.

Relative REE (kcal/kg body weight) does not differ significantly. At the same time, female athletes have a slightly higher standard error of the mean than men in absolute (kcal/day) energy expenditure values at rest. However, the mean values of this indicator in women are significantly ($p < 0.01$) lower than in men. When comparing relative (kcal/kg body weight) resting energy expenditure, the standard error of the mean of this indicator in women is higher and more significant. At the same time, the maximum value of relative REE was also recorded in female athletes.

For male and female athletes, the measured REE and those calculated using the equations were compared separately (table 2).

At a high ($p < 0.001$) level of statistical significance, differences between the actual REE and those calculated using the Harris-Benedict, Mifflin and WHO equations were found in both men and women. There was a statistically significant difference between the actual REE and those calculated by the ten Haaf equation in male ($p = 0.014$) and female athletes ($p = 0.012$), as well as between REE_{act} and those calculated by the De Lorenzo equation in male athletes. At the same time, among female athletes, the differences between REE_{act} and those calculated by the De Lorenzo equation were not significant ($p = 0.961$). Differences between Freire's equation and actual energy expenditure at rest were not significant for male ($p = 0.232$) and female athletes ($p = 0.421$).

The percentage of accurate calculations was also compared for male and female athletes separately (table 3).

Table 2 – Comparison of actual resting energy expenditure with those calculated using the equations

REE	Male athletes (n=62)			Female athletes (n=31)		
	M±m	Min	Max	M±m	Min	Max
Actual	2140±47	1400	3231	1772±67	1351	2784
Harris-Benedict	1901±22	1529	2281	1487±17	1314	1765
Mifflin	1816±18	1494	2114	1448±24	1213	1848
WHO	1866±20	1573	2261	1447±21	1215	1687
De Lorenzo	1986±23	1576	2357	1741±32	1443	2304
ten Haaf	2041±20	1688	2382	1624±25	1369	2038
Freire	2178±21	1842	2579	1782±26	1518	2198

Notes: M – mean; m – standard error of the mean; Min – minimum value; Max – maximum value.

Table 3 – Correct calculation, overestimation and underestimation of prediction equations compared to actual resting energy consumption

Equation	Male athletes (n=62)				Female athletes (n=31)			
	CC, %	OE, %	UE, %	RMSE	CC, %	OE, %	UE, %	RMSE
Harris-Benedict	44	3	53	257	45	0	55	261
Mifflin	32	3	65	259	35	0	65	254
WHO	37	5	58	272	35	0	65	251
De Lorenzo	48	15	37	261	58	23	19	243
ten Haaf	55	18	27	263	48	17	35	262
Freire	61	26	13	257	45	39	16	265

Notes: CC – correct calculation (90-110% of REE_{act}); OE – overestimation of REE ($\geq 111\%$ of REE_{act}); UE – underestimation of REE ($\leq 89\%$ of REE_{act}); RMSE – root mean square error.

The highest percentage of getting into the range of correct calculation among male athletes was found in the Freire equation and women – in the De Lorenzo equation, which also has the lowest root mean square error.

The general population equations (Harris-Benedict, Mifflin, WHO) have the highest percentages of underestimation of resting energy expenditure in both genders. Among athletes of both genders, the Freire equation has the lowest percentage of underestimation of the REE.

In all the tested equations, the root mean square error was between 12% and 13% of the actual average resting energy expenditure in men and 14% and 15% in women.

The significant differences we found between the actual resting energy expenditure of male and female athletes, which disappear when recalculating energy expenditure per kg of body weight, coincide with the data of Jahim and his colleagues [17] on the sex characteristics of the REE in athletes.

The REE in the female athletes we examined is marked by a significant range of values. Modern researchers note that since the phase of the menstrual cycle has an impact on the REE and the REE may differ in different phases of the cycle [18], there is a need to standardise the measurement of REE in female athletes considering the phase of the menstrual cycle [1]. This is a complex issue both from the organisational and methodological point of view, given the possibility of menstrual disorders in highly skilled female athletes [19].

Our results on the correspondence of the calculation of the REE with the help of equations to the actual values of resting energy expenditure confirm the data of Martingo and colleagues [7] that the Harris-Benedict, Mifflin and WHO equations tend to underestimate the REE in athletes.

This also coincides with the results of the study by O'Neill and colleagues [8] on the Mifflin and WHO equa-

tions. At the same time, the authors note that the Harris-Benedict equation has better accuracy and can be generally used among athletes. We attribute this to the fact that this study is a review with meta-analysis and summarises the results of studies conducted with the participation of athletes of different fitness levels, including amateurs and those who engage in sports for rehabilitation.

Meanwhile, high-performance sports are characterised by significant physiological changes in athletes, including at the metabolism level. Studies by Balci [9] and Freire [16] involving highly skilled athletes also revealed that the Harris-Benedict equation underestimates the true REE in athletes.

At the same time, the study by Devrym-Lan-pierre and colleagues [20] found that the Mifflin equation among qualified endurance sports athletes was the most accurate. This is obviously due to the fact that this study involved athletes from ultra-long distances of triathlon and marathon, who have significant differences in body composition from representatives of shorter sports disciplines.

Regarding the equations for calculating the REE developed for athletes, our results differ from the data of the review by O'Neill and colleagues [8], where the ten Haaf equation was recognised as the best formula for calculating the REE in athletes of both genders. According to the results of the review by Martingo and colleagues [7], this equation is also recommended for athletes.

In our study, the ten Haaf equation showed a higher percentage of correct calculations compared to general population equations but is lower than the Freire equation for men and the De Lorenzo equation for women. We attribute this to the specifics of our sample, namely, homogeneity in terms of athletes' training level (all participants in our study are qualified international athletes) and sports (sports with a predominant focus on endurance). Ten Haaf's equation was developed with the participation of athletes engaged in sports for rehabilitation, and Freire and De Lorenzo's equations were developed with the participation of highly skilled athletes.

Conclusions.

The general population equations of Harris-Benedict, Mifflin and WHO for calculating resting energy expenditure significantly underestimate the REE in skilled athletes, so they should not be used to calculate energy expenditure in athletes. Among Ukrainian endurance sports athletes of international level, the most accurate among the equations considered in this study was the Freire equation for male athletes and the De Lorenzo equation for female athletes.

Prospects for further research.

A promising direction for further research is the validation of existing equations for calculating resting energy expenditure in skilled athletes of high-speed and power, complex coordinative and other sports groups. An urgent task of sports science is to develop new, more accurate equations for calculating the REE of skilled athletes and standardise the procedure for measuring the REE of female athletes to avoid errors associated with the phase of the menstrual cycle.

СПІВСТАВЛЕННЯ ФАКТИЧНИХ ТА РОЗРАХОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОРМУЛ ЕНЕРГОВИТРАТ У СТАНІ СПОКОЮ В КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ ВИДІВ СПОРТУ З ПЕРЕВАЖНИМ ПРОЯВОМ ВИТРИВАЛОСТІ¹Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту (м. Київ, Україна)²Національний університет фізичного виховання та спорту України (м. Київ, Україна)

lea.dietdoc@gmail.com

Золотим стандартом для визначення енерговитрат у стані спокою є непряма калориметрія. Однак цей метод потребує наявності спеціального обладнання та достатньо часу для проведення вимірювання. Тому на практиці часто застосовують розрахункові формули для визначення енерговитрат у стані спокою на основі антропометричних даних, віку та статі. Метою дослідження є співставлення фактичних та розрахованих за допомогою формул енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів. Для цього були здійснені 93 вимірювання (62 у чоловіків, 31 – у жінок) енерговитрат у стані спокою шляхом непрямой калориметрії у спортсменів, членів національних збірних команд України з видів спорту з переважним проявом витривалості віком 18-35 років. Фактичні значення порівнювали з 6 розрахунковими формулами: Гаріса-Бенедикта, Міффіна, Всесвітньої організації охорони здоров'я, Де Лорензо, тен Гааф та Фрейре окремо серед спортсменів чоловічої та жіночої статей. Недостовірними виявилися відмінності між фактичними та розрахованими за формулою Фрейре енерговитратами у стані спокою у спортсменів чоловічої ($p=0,232$) та жіночої статі ($p=0,421$). Серед спортсменок також недостовірними ($p=0,961$) виявилися відмінності між фактичними та розрахованими за формулою Де Лорензо енерговитратами у стані спокою. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що для коректного обчислення енерговитрат у стані спокою в українських спортсменів не слід використовувати згально популяційні формули (Гаріса-Бенедикта, Міффіна, Всесвітньої організації охорони здоров'я), а користуватися спеціально розробленими для кваліфікованих спортсменів формулами (Фрейре та Де Лорензо), якщо вимірювання енерговитрат у стані спокою шляхом непрямой калориметрії не є доступним.

Key words: енерговитрати у стані спокою, непряма калориметрія, розрахункові формули, спорт, витривалість.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота виконана в межах наукових тем «Удосконалення системи оцінки функціональних можливостей кваліфікованих спортсменів» (№ державної реєстрації 0120U102907), «Контроль та корекція метаболізму кваліфікованих спортсменів за умов інтенсивних фізичних навантажень» (№ державної реєстрації 0120U103004), «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (№ державної реєстрації 0121U108187).

Вступ.

Спорт вищих досягнень характеризується великими витратами енергії на фізичну активність. У кваліфікованих спортсменів вони часто становлять 1000-2000 ккал, а під час інтенсивної тренувальної та змагальної діяльності добові енерговитрати можуть перевищувати 10000 ккал [1, 2]. Тому вкрай важливим є компенсація енерговитрат за рахунок дієти з адекватною калорійністю, оскільки раціональне харчування є базовим фактором забезпечення процесів відновлення.

Точне визначення добових енерговитрат потребує наявності дорогого обладнання та є складним з організаційної точки зору, тому в спортивній дієтології, як і у клінічній дієтології, є поширеним визначення енерговитрат розрахунковим методом (за допомогою коефіцієнтів фізичної активності або метаболічних еквівалентів діяльності) [1]. При цьому базовим параметром є енерговитрати у стані спокою (ЕВС) – це мінімальна кількість енергії, що необхідна для забезпечення жит-

тєдіяльності організму (процесів дихання, циркуляції крові, функцій виділення, збереження тону м'язів, діяльності нервової та ендокринної системи тощо) [3].

Золотим стандартом у визначенні ЕВС наразі є непряма калориметрія [4]. В основі методу лежить розрахунок витрат енергії відповідно до споживання кисню та виділення вуглекислого газу. На основі аналізу газового складу повітря, що вдихається та видихується, розраховують продукцію тепла. Дана методика потребує наявності спеціального обладнання та досить багато часу для проведення вимірювань, тому не є доступною для широкого використання [5, 6]. Через це були розроблені численні формули, які на основі певних стандартних параметрів (вік, стать, довжина та маса тіла тощо) допомагають розрахувати основний обмін. Оскільки ці формули є екстраполяцією усереднених загально популяційних даних відповідно до розмірів тіла, статі та віку, вони не враховують індивідуальних параметрів, які чинять вплив на основний обмін (кількість м'язової маси, гормональний статус тощо) [3, 5]. Дослідники, які займаються питаннями валідації існуючих формул, зазначають, що чим більш специфічною є вибірка, тим важливіше використовувати формули, які були розроблені на подібних вибірках [7, 8].

Між тим, досить розповсюдженим у спортивній дієтології є застосування і загально популяційних формул, таких як формула Гаріса-Бенедикта або Міффіна [1, 9]. Формули, які були розроблені для спортсменів, з одного боку менш відомі, а з іншого були розроблені на основі відносно невеликих вибірок і часто з до-

силь змішаним складом спортсменів за групами видів спорту. Так, для розрахунку формули могли бути використані узагальнені дані щодо фактично вимірюваних ЕВС у спортсменів з різних груп видів спорту [10], що, на нашу думку, впливає на їх релевантність для використання для спортсменів із кожної групи видів спорту окремо через значні відмінності у композиційному складі тіла між представниками різних груп видів спорту.

Слід також зважати на те, що соціо-демографічні особливості населення мають вплив на величину енерговитрат у стані спокою [3], тому найкраще обирати формули, які були розроблені або провалідовані на максимально схожих за регіоном проживання популяціях. До цього часу в українській науці відсутні дослідження ЕВС кваліфікованих спортсменів для визначення найбільш релевантних формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою в спортивній практиці.

Мета дослідження.

Визначення найбільш відповідних формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів шляхом співставлення розрахункових показників з вимірними значеннями.

Об'єкт і методи дослідження.

Дослідження проводилися на базі Державного науково-дослідного інституту фізичної культури і спорту у 2019-2021 роках. Було здійснено 93 дослідження антропометричних параметрів (довжина та маса тіла) та енерговитрат у стані спокою у спортсменів віком 18-35 років (середній вік: чоловіки $23,2 \pm 0,6$ років, жінки – $24,3 \pm 0,8$ років), які є членами національних збірних команд України з видів спорту з переважним проявом витривалості.

Серед них: спортсмени чоловічої статі ($n=62$) наступних видів спорту: веслування академічне ($n=14$), сучасне п'ятиборство ($n=9$), триатлон ($n=3$), біатлон ($n=29$), веслування на каное ($n=4$), веслування на байдарках ($n=2$); спортсмени жіночої статі ($n=31$) наступних видів спорту: веслування академічне ($n=8$), веслування на байдарках ($n=3$), сучасне п'ятиборство ($n=2$), триатлон ($n=7$), біатлон ($n=11$).

Дослідження проводили зранку натще, до тренувань. Після вимірювання довжини та маси тіла (Tanita BC-545, Omron, Японія) здійснювали вимірювання енерговитрат у стані спокою у положенні лежачи на спині протягом 15 хвилин методом непрямой калориметрії (Fitmate, Cosmed, Італія), визначаючи добові енерговитрати у стані спокою (ккал/доба).

Дослідження проведено відповідно до основних біоетичних норм Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення науково-медичних досліджень (2000, з поправками 2008), Універсальної декларації з біоетики та прав

людини (1997), Конвенції Ради Європи з прав людини та біомедицини (1997). Кожен учасник дослідження надав письмову інформовану згоду на участь у дослідженні.

Обробка отриманих даних виконувалася окремо для чоловіків та жінок з застосуванням наступних статистичних методів: визначення середнього та стандартної помилки середнього, перевірка на нормальність розподілу даних за критерієм Шапіро-Уїлка, визначення значущості відмінностей між ЕВС у чоловіків та жінок – U-критерій Мана-Уїтні.

Для порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою (ЕВС_{факт}) та розрахованих за допомогою формул на підставі аналізу літератури за темою дослідження було обрано 3 формули, які широко використовуються в фізіології для розрахунку ЕВС у різних груп населення, в тому числі й у спортсменів, на основі показників маси та довжини тіла, віку та статі: Гаріса-Бенедикта [11], Міффіна [12], Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [13]. Також були вибрані 3 спеціально розроблені для спортсменів формули на основі тих самих показників: Де Лорензо [14], тен Гааф [15], Фрейре [16].

Для порівняння точності формул виконували наступне: на основі загальноприйнятого в науковій літературі підходу вважати відхилення між розрахунковими та вимірними ЕВС $\pm 10\%$ допустимим, по кожній формулі окремо був підрахований відсоток адекватних значень ($90-110\%$ від фактичних ЕВС), а також % недооцінки ($\leq 89\%$) та переоцінки ($\geq 111\%$) розрахункових значень. Також для кожної формули окремо було визначено корінь із середньоквадратичної помилки (КСКП) порівняно з вимірними ЕВС. Значущість відмінностей між вимірними та обчисленими за формулами значеннями оцінювали за допомогою Т-критерію Вілкоксона для кожної формули окремо.

Статистичну обробку даних виконували за допомогою програмного забезпечення для статистичного аналізу XLSTAT (Lumivero, США).

Результати досліджень та їх обговорення.

Середні дані учасників дослідження наведені у таблиці 1.

На високому рівні статистичної значущості ($p < 0,01$) виявлені відмінності між вимірними енерговитратами у стані спокою, а також між довжиною та масою тіла серед спортсменів чоловічої та жіночої статі. Також виявлені статистично значущі ($p = 0,043$) відмінності між індексом маси тіла у спортсменів чоловічої та жіночої статі.

Відносні ЕВС (ккал/кг маси тіла) відрізняються не значущо. При цьому спортсмени жіночої статі мають дещо більшу стандартну помилку середнього, ніж чоловіки у абсолютних (ккал/доба) значеннях енерговитрат у стані спокою, хоча середні значення цього показника у жінок значно ($p < 0,01$) менші, ніж у чоловіків. При порівнянні відносних (ккал/кг маси тіла) енерговитрат у стані спокою стандартна помилка середнього цього показника у жінок є вищим більш істотно. При цьому максимальне значення відносних ЕВС було також зафіксовано у спортсменок.

Таблиця 1 – Антропометричні показники та енерговитрати у стані спокою обстежених спортсменів

Показник	Спортсмени ($n=62$)			Спортсменки ($n=31$)		
	$M \pm m$	Мін.	Макс.	$M \pm m$	Мін.	Макс.
Довжина тіла, м	$1,83 \pm 0,01$	1,63	2,01	$1,72 \pm 0,02$	1,59	1,97
Маса тіла, кг	$78,4 \pm 1,40$	58,4	103,4	$65,7 \pm 1,72$	48,9	95,1
Індекс маси тіла, $\text{кг}/\text{м}^2$	$23,4 \pm 0,28$	19,7	29,6	$22,2 \pm 0,32$	19,2	25,8
ЕВС _{факт} ккал/доба	2140 ± 47	1400	3231	1772 ± 67	1351	2784
ЕВС _{факт} ккал/доба/кг	$27,3 \pm 0,38$	18,2	33,1	$26,9 \pm 0,63$	20,0	36,4

Примітки: М – середнє; m – стандартна помилка середнього; Мін. – мінімальне значення; Макс – максимальне значення.

Порівняння вимірюваних ЕВС з розрахованими за допомогою формул здійснювали окремо для спортсменів чоловічої та жіночої статей (таблиця 2).

На високому ($p < 0,001$) рівні статистичної значущості виявлені відмінності між фактичними ЕВС та розрахованими за допомогою формул Гаріса-Бенедикта, Міффіна та ВООЗ як у чоловіків, так і жінок. Виявлена статистично значуща відмінність між фактичними ЕВС та розрахованими за формулою тен Гааф у спортсменів чоловічої ($p = 0,014$) та жіночої статей ($p = 0,012$), а також між ЕВС_{факт} і розрахованими за формулою Де Лоренцо у спортсменів чоловічої статі. При цьому серед спортсменок відмінності між ЕВС_{факт} та розрахованими за формулою Де Лоренцо виявилися недостовірними ($p = 0,961$). Відмінності між формулою Фрейре та фактичними енерговитратами у стані спокою виявилися недостовірними для спортсменів чоловічої ($p = 0,232$) та жіночої статі ($p = 0,421$).

Порівняння відсотків точного розрахунку також проводили для спортсменів чоловічої та жіночої статі окремо (таблиця 3).

Найбільший відсоток потрапляння в діапазон коректного розрахунку серед спортсменів чоловічої статі виявлено у формули Фрейре, а у жінок – у формули Де Лоренцо, яка також має найнижчий корінь із середньоквадратичної помилки.

Загальнопопуляційні формули (Гаріса-Бенедикта, Міффіна, ВООЗ) мають найвищі відсотки недооцінки енерговитрат у стані спокою у спортсменів обох статей. Серед спортсменів обох статей найменший відсоток недооцінки ЕВС у формули Фрейре.

У всіх провалідованих формул корінь із середньоквадратичної помилки був у діапазоні 12-13% від фактичних середніх енерговитрат у стані спокою у чоловіків та 14-15% – у жінок.

Виявлені нами достовірні відмінності між фактичними енерговитратами у стані спокою у спортсменів чоловічої та жіночої статей, що зникають при перерахунку енерговитрат на кг маси тіла, збігаються з даними дослідника Джагім та його колег [17] щодо статевих особливостей ЕВС у спортсменів.

ЕВС у обстежених нами жінок-спортсменок відзначаються значним діапазоном значень. Сучасні дослідники зазначають, що оскільки фаза менструального циклу має вплив на ЕВС і в різні фази циклу ЕВС можуть відрізнятися [18], то існує потреба в стандартизації вимірювань ЕВС у жінок-спортсменок з урахуванням фази менструального циклу [1]. Це є складним питанням як з організаційної, так і з методологічної точки зору, враховуючи можливість виникнення порушень менструального циклу у висококваліфікованих спортсменок [19].

Виявлені нами результати щодо відповідності розрахунку ЕВС за допомогою формул актуальним значенням енерговитрат у стані спокою підтверджують дані Мартінго з колегами [7] що формули Гаріса-Бенедикта, Міффіна та ВООЗ мають тенденцію до недооцінки ЕВС у спортсменів.

Це також збігається з результатами дослідження О'Ніл з колегами [8] щодо фор-

Таблиця 2 – Порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою з обчисленими за допомогою формул

ЕВС	Спортсмени (n=62)			Спортсменки (n=31)		
	M±m	Мін.	Макс.	M±m	Мін.	Макс.
Фактичні	2140±47	1400	3231	1772±67	1351	2784
Гаріс-Бенедикт	1901±22	1529	2281	1487±17	1314	1765
Міффіна	1816±18	1494	2114	1448±24	1213	1848
ВООЗ	1866±20	1573	2261	1447±21	1215	1687
Де Лоренцо	1986±23	1576	2357	1741±32	1443	2304
тен Гааф	2041±20	1688	2382	1624±25	1369	2038
Фрейре	2178±21	1842	2579	1782±26	1518	2198

Примітки: М – середнє; m – стандартна помилка середнього; Мін. – мінімальне значення; Макс – максимальне значення.

мул Міффіна і ВООЗ. При цьому автори зазначають, що формула Гаріса-Бенедикта має кращі показники точності і загалом може бути використана серед спортсменів. Ми пов'язуємо це з тим, що дане дослідження являє собою огляд з мета-аналізом та узагальнює результати досліджень які проводилося за участі спортсменів різного рівня підготовленості, в тому числі аматорів та тих, хто займається спортом з оздоровчою метою.

Між тим, спорт вищих досягнень характеризується значними фізіологічними змінами у спортсменів, в тому числі і на рівні метаболізму. Дослідження Балчі [9] та Фрейре [16] за участі висококваліфікованих спортсменів також виявили, що формула Гаріса-Бенедикта недооцінює справжні ЕВС у спортсменів.

При цьому дослідження Деврім-Ланпир з колегами [20] виявили, що серед кваліфікованих спортсменів видів спорту на витривалість найбільш точною виявилася формула Міффіна. Це вочевидь пов'язано з тим, що в цьому дослідженні брали участь спортсмени з ультра-довгих дистанцій триатлону та марафону, які мають значні відмінності у композиційному складі тіла від представників менш тривалих спортивних дисциплін.

Щодо формул для розрахунку ЕВС, розроблених для спортсменів, отримані нами результати відрізняються від даних огляду дослідника О'Ніл з колегами [8] де найкращою формулою для підрахунку ЕВС у спортсменів обох статей визнано формулу тен Гааф. Також цю формулу рекомендують використовувати для спортсменів і за результатами огляду Мартінго з колегами [7].

В нашому дослідженні формула тен Гааф показала вищий відсоток коректного розрахунку порівняно з загальнопопуляційними формулами, проте поступається формулі Фрейре у чоловіків та Де Лоренцо у жінок.

Таблиця 3 – Коректний розрахунок, переоцінка та недооцінка розрахункових формул порівняно з фактичними енерговитратами у стані спокою

Формула	Спортсмени (n=62)				Спортсменки (n=31)			
	КР, %	ПО, %	НО, %	КСКП	КР, %	ПО, %	НО, %	КСКП
Гаріс-Бенедикт	44	3	53	257	45	0	55	261
Міффіна	32	3	65	259	35	0	65	254
ВООЗ	37	5	58	272	35	0	65	251
Де Лоренцо	48	15	37	261	58	23	19	243
тен Гааф	55	18	27	263	48	17	35	262
Фрейре	61	26	13	257	45	39	16	265

Примітки: КР – коректний розрахунок (90-110% ЕВС_{факт}); ПО – переоцінка ЕВС ($\geq 111\%$ ЕВС_{факт}); НО – недооцінка ЕВС ($\leq 89\%$ ЕВС_{факт}); КСКП – корінь із середньоквадратичної помилки.

Ми пов'язуємо це з специфікою нашої вибірки, а саме однорідністю за рівнем підготовки спортсменів (всі учасники нашого дослідження є кваліфікованими спортсменами міжнародного рівня) та за видами спорту (види спорту з переважним проявом витривалості). Формула тен Гааф була розроблена за участі спортсменів, що займаються спортом з оздоровчою метою, а формули Фрейре і Де Лоренцо були розроблені за участі висококваліфікованих спортсменів.

Висновки.

Загально популяційні формули Гаріса-Бенедикта, Міффіна та ВООЗ для розрахунку енерговитрат у стані спокою значною мірою недооцінюють ЕВС у кваліфікованих спортсменів, тому їх не слід використовувати для розрахунку енерговитрат у спортсменів. Серед українських спортсменів видів спорту на витривалість міжнародного рівня найбільш точною серед розглянутих у цьому дослідженні формул виявилася формула Фрейре для спортсменів чоловічої статі та формула Де Лоренцо – для спортсменів жіночої статі.

Перспективи подальших досліджень.

Перспективним напрямком подальших досліджень є валідація існуючих формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів швидко-силових, складнокоординаційних та інших груп видів спорту. Актуальним завданням спортивної науки є розробка нових, більш точних, формул для розрахунку ЕВС у кваліфікованих спортсменів, а також стандартизація процедури вимірювання ЕВС у спортсменів жіночої статі для уникнення похибок, пов'язаних з фазою менструального циклу.

References / Література

- Burke L, Deakin V, Minehan M. Clinical sports nutrition. Sydney: McGraw-Hill Education/Australia; 2021. 687 p.
- Jagim AR, Fields J, Magee MK, Kerkick CM, Jones MT. Contributing Factors to Low Energy Availability in Female Athletes: A Narrative Review of Energy Availability, Training Demands, Nutrition Barriers, Body Image, and Disordered Eating. *Nutrients*. 2022 Feb 25;14(5):986. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14050986>.
- Heymsfield SB, Smith B, Dahle J, Kennedy S, Fearnbach N, Thomas DM, et al. Resting Energy Expenditure: From Cellular to Whole-Body Level, a Mechanistic Historical Perspective. *Obesity*. 2021 Feb 23;29(3):500–11. DOI: <https://doi.org/10.1002/oby.23090>.
- Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, Pichard C. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. *Journal of Clinical Medicine*. 2019 Sep 5;8(9):1387. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6780066/>.
- Schofield KL, Thorpe H, Sims ST. Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population. *Experimental Physiology*. 2019 Mar 4;104(4):469–75. DOI: <https://doi.org/10.1113/ep087512>.
- Loshkarova I. Resting Energy Expenditure in Skilled Athletes. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*. 2020;2:76–83. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2020-2-76-83>.
- Martinho D, Naughton R, Faria A, Rebelo A, Sarmento H. Predicting resting energy expenditure among athletes: a systematic review. *Biology of Sport*. 2023;40(3):787–804. DOI: <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.119986>.
- O'Neill J, Corish C, Horner K. Accuracy of Resting Metabolic Rate Prediction Equations in Athletes: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine*. 2023 Aug 26;53:2373–98. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01896-z>.
- Balci A, Badem EA, Yilmaz AE, Devrim-Lanpir A, Akinoğlu B, Kocahan T, et al. Current Predictive Resting Metabolic Rate Equations Are Not Sufficient to Determine Proper Resting Energy Expenditure in Olympic Young Adult National Team Athletes. *Frontiers in Physiology*. 2021 Feb 4;12(12):625370. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.625370>.
- Abulmeaty MMA, Almajwal A, Elsayed M, Hassan H, Aldossari Z, Alsager T. Development and validation of novel equation for prediction of resting energy expenditure in active Saudi athletes. *Medicine*. 2023;102(52):e36826–6. DOI: <https://doi.org/10.1097/md.00000000000036826>.
- Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1918 Dec 1;4(12):370–3. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>.
- Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1990 Feb 1;51(2):241–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2305711/>.
- FAO, World Health Organization, United Nations University. Human energy requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation: Rome, 2001. Rome: FAO; 2004. 103 p.
- De Lorenzo A, Bertini L, Candeloro N, Piccinelli R, Innocente L. New Predictive Equation to Calculate Resting Metabolic Rate in Athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 1999;29:213–3.
- ten Haaf T, Weijts PJM. Resting Energy Expenditure Prediction in Recreational Athletes of 18–35 Years: Confirmation of Cunningham Equation and an Improved Weight-Based Alternative. *PLoS ONE*. 2014 Oct 2;9(10):e108460. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108460>.
- Freire R, Pereira G, Alcantara JMA, Santos R, Hausen M, Itaborahy A. New Predictive Resting Metabolic Rate Equations for High-Level Athletes: A Cross-validation Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2022 Apr 1;54(8):1335–45. DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002926>.
- Jagim AR, Camic CL, Askow A, Luedke J, Erickson J, Kerkick CM, et al. Sex Differences in Resting Metabolic Rate Among Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019 Nov;33(11):3008–14. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002813>.
- Benton MJ, Hutchins AM, Dawes JJ. Effect of menstrual cycle on resting metabolism: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*. 2020 Jul 13;15(7):e0236025. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236025>.
- Heikura IA, Stellingwerff T, Areta JL. Low energy availability in female athletes: From the lab to the field. *European Journal of Sport Science*. 2021 May 3;22(5):1–11. DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1915391>.
- Devrim-Lanpir A, Kocahan T, Deliceoglu G, Tortu E, Bilgic P. Is there any predictive equation to determine the resting metabolic rate in ultra-endurance athletes? *Progress in Nutrition*. 2019;21(1):1–9. Available from: <https://www.mattioli1885journals.com/index.php/progressinnutrition/article/view/8052>.

СПІВСТАВЛЕННЯ ФАКТИЧНИХ ТА РОЗРАХОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОРМУЛ ЕНЕРГОВИТРАТ У СТАНІ СПОКОЮ У КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ ВИДІВ СПОРТУ З ПЕРЕВАЖНИМ ПРОЯВОМ ВИТРИВАЛОСТІ

Лощкарьова Є. О., Пастухова В. А.

Резюме. Визначення енерговитрат спокою є першим кроком при обчисленні добових енерговитрат за допомогою коефіцієнтів фізичної активності або метаболічних коефіцієнтів діяльності. Золотим стандартом для визначення енерговитрат у стані спокою є непрямка калориметрія. Однак цей метод потребує наявності спеціального обладнання та достатньо часу для проведення вимірювання. Тому на практиці часто застосовують розрахункові формули для визначення енерговитрат у стані спокою на основі антропометричних даних, віку та статі. Метою дослідження є співставлення фактичних та розрахованих за допомогою формул енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів. Для цього були здійснені 93 вимірювання (62 у чоловіків, 31 – у жінок) енерговитрат у стані спокою шляхом непрямої калориметрії у спортсменів, членів національної

них збірних команд України з видів спорту з переважним проявом витривалості віком 18-35 років. Фактичні значення порівнювали з 6 розрахунковими формулами: Гаріса-Бенедикта, Міффіна, Всесвітньої організації охорони здоров'я, Де Лорензо, тен Гааф та Фрейре окремо серед спортсменів чоловічої та жіночої статей. Були виявлені статистично значущі на високому рівні ($p < 0,01$) відмінності між енерговитратами у стані спокою серед спортсменів чоловічої та жіночої статі. Енерговитрати у стані спокою, обчислені за формулами Гаріса-Бенедикта, Міффіна, Всесвітньої організації охорони здоров'я відрізняються на високому рівні статистичної значущості ($p < 0,01$) від фактичних енерговитрат у стані спокою як у чоловіків, так і жінок. Енерговитрати у стані спокою, обчислені за формулою тен Гааф статистично значуще відрізняються від фактичних як у чоловіків ($p = 0,014$), так і у жінок ($p = 0,012$). Недостовірними виявилися відмінності між фактичними та розрахованими за формулою Фрейре енерговитратами у стані спокою у спортсменів чоловічої ($p = 0,232$) та жіночої статі ($p = 0,421$). Серед спортсменів також недостовірними ($p = 0,961$) виявилися відмінності між фактичними та розрахованими за формулою Де Лорензо енерговитратами у стані спокою. При порівнянні відсотків з коректним розрахунком (в межах $\pm 10\%$ від фактичних значень) найбільш точною серед досліджених формул виявилася формула Фрейре серед чоловіків (61% коректного розрахунку) та формула Де Лорензо серед жінок (58% коректного розрахунку). Валідація розрахункових формул для визначення енерговитрат у стані спокою була вперше проведена серед кваліфікованих українських спортсменів. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що для коректного обчислення енерговитрат у стані спокою в українських спортсменів не слід використовувати загальнопопуляційні формули (Гаріса-Бенедикта, Міффіна, Всесвітньої організації охорони здоров'я), а користуватися спеціально розробленими для кваліфікованих спортсменів формулами (Фрейре та Де Лорензо), якщо вимірювання енерговитрат у стані спокою шляхом непрямой калориметрії не є доступним.

Ключові слова: енерговитрати у стані спокою, непряма калориметрія, розрахункові формули, спорт, витривалість.

COMPARISON OF ACTUAL AND PREDICTED RESTING ENERGY EXPENDITURE IN SKILLED ENDURANCE ATHLETES

Loshkarova Ie. O., Pastukhova V. A.

Abstract. Determination of resting energy expenditure is a crucial initial step in computing total daily energy expenditure, relying on physical activity coefficients or metabolic equivalents. Indirect calorimetry is the gold standard for resting energy expenditure measurement, though its application demands specialized equipment and a substantial time investment. In practical scenarios, prediction equations based on anthropometric data, age, and gender are often employed to estimate resting energy expenditure. This study compares the measured and predicted resting energy expenditure in skilled Ukrainian athletes. Ninety-three resting energy expenditure measurements (62 in men, 31 in women) were conducted via indirect calorimetry on athletes aged 18-35, members of Ukraine's national teams in endurance sports. The actual values were separately compared against six prediction equations (Harris-Benedict, Mifflin, World Health Organization, De Lorenzo, ten Haaf, and Freire) for male and female athletes. Statistically significant differences at a high level ($p < 0.01$) were observed in resting energy expenditure between male and female athletes. The predicted resting energy expenditure by Harris-Benedict, Mifflin, and World Health Organization equations differed significantly ($p < 0.01$) from the measured values in both genders. The ten Haaf equation demonstrated a statistically significant difference from actual values in both male ($p = 0,014$) and female ($p = 0,012$) athletes. However, differences between measured and predicted resting energy expenditure by the Freire equation were statistically non-significant in both male ($p = 0,232$) and female ($p = 0,421$) athletes. Among female athletes, the differences using the De Lorenzo equation were also considered statistically non-significant ($p = 0,421$). Assessing percentages within $\pm 10\%$ of the measured values, the Freire equation among men (61% correct calculation) and the De Lorenzo equation among women (58% correct calculation) emerged as the most accurate among the examined equations. This study represents the first-time validation of prediction equations for determining resting energy expenditure in skilled Ukrainian athletes. The findings suggest that general population prediction equations (Harris-Benedict, Mifflin, World Health Organization) should be avoided for accurate resting energy expenditure calculations in Ukrainian athletes. Instead, specialized prediction equations for skilled athletes, such as Freire and De Lorenzo, should be employed when indirect calorimetry is unavailable.

Key words: resting energy expenditure, indirect calorimetry, prediction equations, sport, endurance.

ORCID and contributionship: / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Loshkarova Ie. O.: <https://orcid.org/0000-0001-8057-524X>^{ABDEF}

Pastukhova V. A.: <https://orcid.org/0000-0002-4091-913X>^{AEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Loshkarova Ievheniia Oleksandrivna / Лощкарьова Євгенія Олександрівна
State Research Institute of Physical Culture and Sports / Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту Україна
Ukraine, 03131, Kyiv, Stolychne shosse 19, block B / Адреса: Україна, 03131, м. Київ, Столичне шосе 19, корпус Б
Tel.: +380503968325 / Тел.: +380503968325
E-mail: lea.dietdoc@gmail.com

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статистичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті

Received 02.10.2023 / Стаття надійшла 02.10.2023 року
Accepted 27.02.2024 / Стаття прийнята до друку 27.02.2024 року