

Національний університет фізичного виховання і спорту України  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ЛОШКАРЬОВА ЄВГЕНІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА**

УДК: 796.071.2:796.012.12+612.767.2(043.3)

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ОСОБЛИВОСТІ ЕНЕРГОВИТРАТ У СТАНІ СПОКОЮ У**  
**КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ ВИДІВ СПОРТУ З**  
**ПЕРЕВАЖНИМ ПРОЯВОМ ВИТРИВАЛОСТІ**

091 Біологія

09 Біологія

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Є. О. Лошкарьова

Науковий керівник: Пастухова Вікторія Анатоліївна, доктор медичних наук,  
професор

Київ – 2025

## АНОТАЦІЯ

*Лошкарьова Є. О.* Особливості енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 Біологія. – Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 2025.

Дисертацію присвячено практичному розв'язанню актуального питання – визначенню та оцінці енерговитрат у стан спокою у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості з урахуванням їх статевих та вікових особливостей.

Аналіз та узагальнення сучасної науково-методичної літератури свідчать про недостатнє уявлення про енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів. Дослідники зазначають, що метаболізм кваліфікованих спортсменів характеризується значними відмінностями від осіб, які не займаються спортом, тому екстраполювання даних досліджень щодо загально популяційних характеристик є некоректним. Крім того, важливо враховувати расову та етнічну приналежність та соціодемографічні характеристики, оскільки вони теж мають вплив на енерговитрати у стані спокою. Між тим, точне визначення енерговитрат у стані спокою є ключовим для побудови індивідуальних програм харчування у спортсменів, так як ЕВС є базовою складовою загального енергетичного балансу. Неправильна оцінка цього показника може призводити до неефективного регулювання маси тіла, а також до розвитку низької доступності енергії – стану, який в довготривалій перспективі призводить до виникнення синдрому відносного дефіциту енергії в спорті (REDs), який суттєво впливає на працездатність та здоров'я спортсмена.

Мета дослідження – встановлення особливостей енерговитрат у стані спокою включно з визначенням оптимальних формул для їх розрахунку у

кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості.

Методологія дослідження базується на комплексному підході, включаючи визначення антропометричних параметрів, а також фактичних енерговитрат у стані спокою методом непрямой калориметрії, який є «золотим стандартом» для визначення цього показника. Досліджували зв'язки між ЕВС, антропометричними параметрами, статтю та віком. Наступним етапом було порівняння фактичних енерговитрат з розрахованими за стандартними формулами, серед яких були як загальнопопуляційні, так і розроблені спеціально для спортивної популяції. Для розрахунку енерговитрат за допомогою формул у спортсменів та спортсменок віком 18–35 років були використані наступні формули: Гаріса-Бенедикта, Міффіна, ВООЗ, Де Лорензо, тен Гааф та Фрейре. Для спортсменів та спортсменок віком 15–17 років були відібрані найбільш релевантні для цієї вікової групи формули: ВООЗ, ЮМ, Шофілда, Генрі, Ганнона та Реале.

Для глибшого аналізу отриманих даних було використано різноманітні методи математичної статистики, що забезпечило їх всебічну оцінку. Окрім визначення достовірності відмінностей середньо групових значень між фактичними енерговитратами у стані спокою та розрахованими за формулою (для кожної формули окремо) для оцінки точності прогнозів розрахункових формул використовувалися такі підходи:

- аналіз узгодженості між вимірними та розрахованими значеннями за допомогою методу Бланда-Альтмана;
- розрахунок внутрішньокласового коефіцієнта кореляції (ВКК) для оцінки рівня збігу між методами;
- визначення відсотка адекватних значень (90–110 %), недооцінки ( $\leq 89$  %) та переоцінки ( $\geq 111$  %);
- обчислення кореня середньоквадратичної помилки (КСКП) для оцінки точності моделей;

- розрахунок добових енерговитрат на основі фактичних енерговитрат у стані спокою та на основі розрахованих на основі формул;
- оцінка доступності енергії за допомогою індексу ЕВС, визначеного за різними формулами.

Такий підхід дозволив не лише оцінити відмінності між фактичними та прогнозованими даними, але й виявити найточніші моделі для кожної вікової та статевої групи.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі результатів дослідження із використанням інформативних критеріїв оцінки були отримані нові наукові дані стосовно фактичних енерговитрат кваліфікованих українських спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості.

У ході дослідження отримані дані, які мають новизну, зокрема:

*вперше* здійснено вимірювання фактичних енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості різної статі та віку;

*вперше* досліджено зв'язок енерговитрат у стані спокою та антропометричних параметрів, статі та віку серед кваліфікованих українських спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості;

*вперше* здійснено порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою з розрахованими за стандартними формулами на основі антропометричних параметрів, статі та віку;

*удосконалено* рекомендації з проведення вимірювань ЕВС за допомогою непрямой калориметрії задля стандартизації процесу вимірювання та підвищення точності й відтворюваності отриманих даних, що сприяє їх ефективному використанню у практиці підготовки спортсменів;

*розроблено* рекомендації для найбільш точного визначення енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів шляхом застосування найбільш відповідних для різної статі та віку розрахункових формул, а також щодо використання енерговитрат у стані спокою з метою оцінки доступності енергії.

Результати дослідження *підтверджують* існуючі в науковій літературі дані стосовно відмінностей в енерговитратах у стані спокою у спортсменів різної статі та віку, а також більшу точність розрахункових формул для визначення енерговитрат у стані спокою, розроблених спеціально для спортсменів, порівняно із формулами для загальної популяції.

Контингент досліджуваних: дослідження проводилися на базі Державного науково-дослідного інституту фізичної культури і спорту в 2019-2021 роках. Було здійснено 142 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) та віком 15–17 років (середній вік: юнаки  $16,6 \pm 0,6$  років, дівчата –  $16,2 \pm 0,9$  років)), які є членами національних збірних команд України з видів спорту з переважним проявом витривалості.

Дані, отримані в ході дослідження, підтверджують, що енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів характеризуються специфічними відмінностями, які залежать від вікових та статевих факторів.

Показано, що відмінності у значеннях ЕВС пов'язані не лише з віком і статтю, але й з антропометричними характеристиками, які демонструють різний рівень впливу на цей показник.

Проведені дослідження продемонстрували, що у чоловіків віком 18–35 років існує сильний прямий зв'язок між ЕВС і масою тіла та помірний зв'язок із довжиною тіла та індексом маси тіла. У юнаків 15–17 років маса тіла найбільшим чином пояснює варіацію ЕВС, а довжина тіла та ІМТ мають помірні прямі зв'язки з показником ЕВС. Серед жінок-спортсменок віком 18–35 років виявлено сильний прямий зв'язок ЕВС з масою тіла та довжиною та помірний зв'язок із ІМТ. У юних спортсменок 15–17 років основним фактором, що визначає енерговитрати у стані спокою, є індекс маси тіла, тоді як зв'язок із масою тіла довжиною тіла не є статистично значущим.

Для оцінки точності існуючих формул розрахунку енерговитрат у стані спокою було проведено аналіз шести моделей для кожної групи. У чоловіків

віком 18–35 років найбільш точною виявилася формула Фрейре (ВКК = 0,708), яка забезпечила 61 % точності розрахунків у межах  $\pm 10$  % від фактичних значень. Для юнаків 15–17 років найкращі результати продемонструвала формула ІОМ (ВКК = 0,703, точність 63 %). У жінок віком 18–35 років пріоритетною є формула Де Лорензо (ВКК = 0,844), яка продемонструвала найвищу відповідність із фактичними ЕВС, тоді як серед спортсменок 15–17 років найбільш надійною є формула Реале (59 % точності розрахунків).

Аналіз отриманих результатів показав важливість індивідуального підходу до вибору формул для розрахунку ЕВС залежно від статі, віку та фізіологічних особливостей спортсменів. Було виявлено, що неточні формули значно занижують значення добові енерговитрати, розраховані на основі ЕВС та коефіцієнту фізичної активності.

Аналіз індексів енергетичних витрат у стані спокою (ЕВС), розрахованих за різними формулами для спортсменів з найнижчими значеннями фактичних ЕВС у кожній з досліджених груп, показав важливі відмінності в оцінці доступності енергії, що підкреслює необхідність використання спеціалізованих формул для спортивної популяції:

- загально популяційні формули в більшості випадків оцінюють доступність енергії як нормальну у спортсменів з найнижчими у своїй групі значеннями;

- водночас більш точні формули, адаптовані для спортивної популяції, показують низьку доступність енергії у спортсменів з найнижчими у своїй групі значеннями ЕВС, що підтверджує необхідність їх використання для більш коректного визначення енергетичних потреб.

Проведені нами дослідження підкреслили необхідність удосконалення існуючих моделей, а також розробки нових формул, що враховують специфіку різних видів спорту, рівень тренуваності та адаптацію до фізичних навантажень. Особливої уваги заслуговує стандартизація методів

вимірювання енерговитрат у стані спокою у спортсменок, враховуючи вплив фаз менструального циклу на метаболізм.

На основі отриманих теоретичних положень розроблені методичні рекомендації щодо організації вимірювань енерговитрат у стані спокою, використання оптимальних розрахункових формул для визначення ЕВС у кваліфікованих українських спортсменів залежно від статі та віку за неможливості використання непрямой калориметрії, а також практичні рекомендації щодо інтерпретації значень енерговитрат у стані спокою, отриманих шляхом непрямой калориметрії, для оцінки наявності низької доступності енергії залежно від статі та віку спортсменів.

За результатами роботи отримано акти впровадження основних положень, що витікають з дисертаційного дослідження, у практику науково-методичного забезпечення підготовки збірних команд України з біатлону, веслування академічного, сучасного п'ятиборства, боксу, у практику підготовки юних спортсменів-бадмінтоністів спортивно-дипломатичного клубу та у навчальний процес кафедри медичної біології та спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України.

Також отримані дані можуть бути використаними спортивними дієтологами, нутриціологами, фізіологами та лікарями для вибору коректних методів розрахунку або вимірювання енерговитрат у стані спокою, а також для виявлення ризиків розвитку низької енергетичної доступності у спортсменів. Це є основою для складання індивідуалізованих рекомендацій щодо раціону харчування та профілактики виникнення синдрому відносного дефіциту енергії в спорті.

**Ключові слова:** енерговитрати у стані спокою, основний обмін, непрямая калориметрія, спортсмени, спортсменки, підлітки, витривалість, спортивна дієтологія, раціон харчування, синдром відносного дефіциту енергії в спорті, низька доступність енергії, антропометричні показники, формули для розрахунку енерговитрат, енергетичний обмін, метаболізм.

## SUMMARY

*Loshkarova Ie.* Features of Resting Energy Expenditure in Skilled Endurance Athletes. – Qualification scientific work in manuscript form.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 091 Biology. – National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, 2025.

The analysis and synthesis of modern scientific and methodological literature indicate an insufficient understanding of resting energy expenditure (REE) in qualified athletes. Researchers note that the metabolism of highly trained athletes significantly differs from that of untrained individuals, making it inappropriate to extrapolate data based on general population characteristics. Furthermore, factors such as race, ethnicity, and socio-demographic characteristics must be considered, as they also influence REE. Accurate determination of REE is critical for developing individualized nutrition programs for athletes, as REE forms the foundational component of overall energy balance. Misestimating this parameter can result in inefficient weight management. It may lead to low energy availability, a condition that, over time, contributes to the development of Relative Energy Deficiency in Sport (REDs), significantly affecting an athlete's performance and health.

The study aims to identify the features of resting energy expenditure including the identification of optimal equations for its calculation in skilled endurance athletes.

Research methodology: the study employed a comprehensive approach that included anthropometric measurements and the assessment of actual REE using indirect calorimetry, recognized as the "gold standard" for REE determination. The study investigated the relationships between resting energy expenditure, anthropometric parameters, gender, and age. The next stage involved comparing actual energy expenditures with those calculated using standard equations, including general population equations and those specifically developed for athletic populations. For athletes aged 18–35 years, the following equations were



employed: Harris-Benedict, Mifflin, WHO, De Lorenzo, Ten Haaf, and Freire. For athletes aged 15–17 years, the most relevant equations for this age group were selected: WHO, IOM, Schofield, Henry, Gannon, and Reale.

To provide a comprehensive analysis of the obtained data, various methods of mathematical statistics were applied. These methods ensured an in-depth evaluation of the results. In addition to determining the statistical significance of differences between group mean values of actual and predicted REE (for each equation separately), the following approaches were utilized to assess the accuracy of predictive equations:

- Bland-Altman analysis to evaluate the agreement between measured and calculated values.
- Calculation of the intraclass correlation coefficient (ICC) to measure the level of agreement between methods.
- Determination of the percentage of accurate predictions (90–110%), underestimation ( $\leq 89\%$ ), and overestimation ( $\geq 111\%$ ).
- Calculation of the root mean square error (RMSE) to assess model precision.
- Calculation of daily energy expenditure based on actual resting energy expenditure and on values estimated using predictive formulas.
- Assessment of energy availability using the REE index determined by various formulas.

This approach allowed us not only to evaluate the differences between actual and predicted data but also to identify the most accurate equations for each age and gender group.

The scientific novelty of the results: based on the study's findings and utilizing informative assessment criteria, new scientific data were obtained regarding the actual REE of Ukrainian skilled endurance athletes.

The novelty of the study includes:

- The first-ever measurement of actual REE in skilled Ukrainian endurance athletes, segmented by gender and age.

- Exploration of the relationship between REE and anthropometric parameters, gender, and age among skilled Ukrainian endurance athletes.
- Comparison of actual REE values with those calculated using standard formulas based on anthropometric data, gender, and age.
- Improvement of guidelines for conducting REE measurements via indirect calorimetry, aimed at standardizing the measurement process and enhancing data accuracy and reproducibility, enabling their effective application in athlete training.
- Development of recommendations for accurately determining REE in Ukrainian athletes by applying formulas tailored to different genders and age groups and utilizing REE for assessing energy availability.

Study population: research was conducted at the State Scientific Research Institute of Physical Culture and Sports from 2019 to 2021. A total of 142 measurements of anthropometric parameters (height and body weight) and REE were performed on athletes aged 18–35 years (average age: men –  $23.2 \pm 0.6$  years, women –  $24.3 \pm 0.8$  years) and 15–17 years (average age: boys –  $16.6 \pm 0.6$  years, girls –  $16.2 \pm 0.9$  years), members of Ukraine’s national endurance sports teams.

The findings confirm that REE in skilled athletes exhibits specific differences influenced by age and gender. The research demonstrated that differences in REE values are associated with age, gender, and anthropometric characteristics, which vary in their impact on this parameter.

- For men aged 18–35 years, a strong correlation was observed between REE and body mass, and a moderate correlation with height and body mass index (BMI).
- Among boys aged 15–17 years, body mass accounts for the greatest variation in REE, with height and BMI showing moderate correlations.
- For women aged 18–35 years, REE correlated strongly with body mass and height and moderately with BMI.
- In girls aged 15–17 years, BMI was the primary determinant of REE, while correlations with body mass and height were not statistically significant.

To evaluate the accuracy of existing REE prediction equations, six models were analyzed for each group. Among men aged 18–35 years, the Freire equation proved the most accurate (ICC = 0.708), achieving 61% accuracy within  $\pm 10\%$  of actual values. For boys aged 15–17 years, the IOM equation showed the best performance (ICC = 0.703, accuracy 63%). Among women aged 18–35 years, the De Lorenzo equation was prioritized (ICC = 0.844), demonstrating the highest concordance with measured REE values. For female athletes aged 15–17 years, the Reale equation was the most reliable (59% accuracy).

The analysis of the obtained results highlighted the importance of an individualized approach to selecting formulas for calculating resting energy expenditure (REE) based on the athlete's sex, age, and physiological characteristics. It was found that inaccurate formulas significantly underestimate daily energy expenditure (DEE) calculated based on REE and physical activity coefficients.

The analysis of resting energy expenditure (REE) indices, calculated using different formulas for athletes with the lowest actual REE values in each group, showed significant differences in the assessment of energy availability, emphasizing the need for specialized formulas for the sports population:

- General population formulas most often assess energy availability as normal in athletes with the lowest values in their group.
- At the same time, more accurate formulas, adapted for the sports population, show low energy availability in athletes with the lowest REE values in their group, confirming the necessity of using them for a more accurate determination of energy needs.

Our research highlights the necessity of refining existing models and developing new equations that consider the specificity of various sports disciplines, training levels, and adaptation to physical loads. Special attention should be given to standardizing REE measurement methods in female athletes, considering the impact of menstrual cycle phases on metabolism.

Recommendations and applications: the results led to methodological recommendations for conducting REE measurements, selecting appropriate equations for calculating REE in qualified Ukrainian athletes based on gender and age when indirect calorimetry is unavailable, and assessing the risks of low energy availability considering resting energy expenditure data obtained via indirect calorimetry taking into account athlete`s gender and age .

These recommendations have been incorporated into the methodological support for Ukraine`s national teams in sports such as biathlon, rowing, modern pentathlon, and boxing, as well as in the practice of training young badminton athletes of the sports-diplomatic club and educational activities at the Department of Medical Biology and Sports Dietetics at the National University of Ukraine on Physical Education and Sport.

The findings may be utilized by sports dietitians, nutritionists, physiologists, and physicians to choose appropriate methods for calculating or measuring REE and identifying risks of low energy availability in athletes. This serves as a basis for developing individualized dietary recommendations and preventing REDs.

**Keywords:** resting energy expenditure, basal metabolic rate, male athletes, female athletes, adolescent athletes, endurance, sports dietetics, dietary energy intake, energy availability, REDs, anthropometric characteristics, predictive equations, energy metabolism, metabolism.

### Список публікацій здобувача за темою дисертації

#### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

1. Loshkarova Ie. O. Resting energy expenditure in skilled athletes. *Вісник Черкаського університету. Серія: біологічні науки*. 2020. № 2. С. 76–83. DOI: [10.31651/2076-5835-2018-1-2020-2-76-83](https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2020-2-76-83) Фахове видання України.
2. Loshkarova Ie. O., Pastukhova V. A. Comparison of actual and predicted resting energy expenditure in skilled endurance athletes. *Вісник проблем біології і медицини*. 2024. Вип. 1 (172). С. 462–469. DOI: [doi.org/10.29254/2077-](https://doi.org/10.29254/2077-)

[4214-2024-1-172-462-469](#) Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів. Внесок Пастухової В. А. полягає в узгодженні концепції роботи, критичному огляді та остаточному затвердженню статті.*

3. Лошкарьова Є. О., Пастухова В. А. Використання основного обміну для оцінки доступності енергії в спорті вищих досягнень. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2024. Т. 28, № 1. С. 140–144. URL: [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28\(1\)-24](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28(1)-24) Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів. Внесок Пастухової В. А. полягає в узгодженні концепції роботи, критичному огляді та остаточному затвердженню статті.*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

4. Loshkarova Ie. Resting energy expenditure assessment in the sports practice. *Theoretical and science bases of actual tasks* : Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference, Lisbon, Portugal, June 14–17, 2022. Lisbon, 2022. P. 76–78. URL: <https://isg-konf.com/theoretical-and-science-bases-of-actual-tasks-two/>

5. Лошкарьова Є. О. Огляд методів визначення основного обміну в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів. *Молодь та олімпійський рух* : зб. тез доп. XV Міжнар. конф. молодих вчених, м. Київ, 16 верес. 2022 р. Київ : НУФВСУ, 2022. С. 91–92. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk\\_tez\\_molod\\_hv\\_zhovtlyst\\_22\\_dopovn\\_140\\_stor.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk_tez_molod_hv_zhovtlyst_22_dopovn_140_stor.pdf)

6. Лошкарьова Є. О. Енерговитрати спортсменів у стані спокою як біомаркер доступності енергії в спорті. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., Київ–Черкаси, 7–8 грудня 2023 р. Київ–Черкаси, 2023. С. 71–72. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy\\_2023\\_1.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy_2023_1.pdf)

7. Loshkarova Ye. O., Pastukhova V. A. Validation of resting energy expenditure prediction equations in highly trained female endurance athletes. *The significance of physical culture and sports for human health: Proceedings of the International Scientific Conference, Riga, the Republic of Latvia, March 6–7, 2024*. Riga, 2024. P. 88–91. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-415-3-22>  
*Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

8. Loshkarova I. O. Validation of resting energy expenditure prediction equations in highly trained adolescent endurance athletes. *Актуальні проблеми фізичного виховання, спорту, фізичної реабілітації та туризму у сучасних умовах життя* : матеріали VI Міжнар. наук-практ.конф., м. Запоріжжя, 18–19 квіт. 2024 р. Львів – Торунь : LihaPres, 2024. С. 251–253. URL: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/272>

9. Лошкарьова Є. Порівняння фактичних та розрахункових енерговитрат у стані спокою у спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості. *Молодь та олімпійський рух* : зб. тез доп. XVII Міжнар. конф. молодих вчених, м. Київ, 7 трав. 2024 р. Київ : НУФВСУ, 2024. С. 170–171. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk\\_tez\\_dopovidey\\_xvii\\_molod\\_ta\\_olimpiyskyu\\_ruh\\_13\\_05\\_24.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk_tez_dopovidey_xvii_molod_ta_olimpiyskyu_ruh_13_05_24.pdf)

10. Лошкарьова Є. Оптимізація використання формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою у спортсменок видів спорту з переважним проявом витривалості віком 15–17 років. *Сучасні погляди молоді на фізичну культуру, спорт та здоров'я людини* : збірник тез II Всеукраїнської наукової конференції, присвяченої Дню науки в Україні, м. Харків, 17 трав. 2024 р. Харків : ХДАФК, 2024. С. 71–73. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Q0PItcmHfK1QuQelqRbbk0I0tqTSvuSo/view?usp=sharing>

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

11. Лошкарьова Є. Аналіз методів оцінки основного обміну в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2019. Т. 40, № 1. С. 18–22. URL: [https://drive.google.com/file/d/1R\\_gUdnTZkAsYbhkUpq-ORK0-6UuGwI3J/view](https://drive.google.com/file/d/1R_gUdnTZkAsYbhkUpq-ORK0-6UuGwI3J/view)

12. Лошкарьова Є. Оцінка основного обміну у кваліфікованих спортсменів. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2020. Т. 41, № 1. С. 15–22. URL: <https://drive.google.com/file/d/11RCFL6GT0dazQnmySmPdQ13JdPvg244i/view>

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ У СТАНІ СПОКОЮ У КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ.....	28
1.1 Загальна характеристика енерговитрат у стані спокою.....	28
1.2 Енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів.....	34
1.3 Особливості використання формул для визначення енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів.....	36
1.4 Енерговитрати у стані спокою як біомаркер низької доступності енергії.....	41
Висновки до розділу 1.....	45
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	47
2.1 Методи досліджень.....	47
2.1.1 Теоретичний аналіз, узагальнення та систематизація даних фахової науково-методичної літератури та документальних матеріалів .....	47
2.1.2 Метод антропометрії.....	48
2.1.3 Методи для визначення енерговитрат у стані спокою.....	48
2.1.3.1 Непряма калориметрія.....	48
2.1.3.2 Визначення енерговитрат у стані спокою за допомогою розрахункових формул.....	50
2.1.4 Методи математичної обробки результатів.....	53



2.2	Організація дослідження.....	55
РОЗДІЛ 3	ЕНЕРГОВИТРАТИ У СТАНІ СПОКОЮ У СПОРТСМЕНІВ ЧОЛОВІЧОЇ СТАТІ.....	57
3.1	Енерговитрати у стані спокою у спортсменів чоловічої статті віком 18–35 років .....	57
3.2	Порівняння вимірних ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років .....	61
3.3	Оцінка низької доступності енергії у спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою .....	70
3.4	Енерговитрати у стані спокою у спортсменів чоловічої статті віком 15–17 років.....	72
3.5	Порівняння вимірних ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменів чоловічої статі 15–17 років.....	76
3.6	Оцінка низької доступності енергії у спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою.....	85
	Висновки до розділу 3.....	86
РОЗДІЛ 4	ЕНЕРГОВИТРАТИ У СТАНІ СПОКОЮ У СПОРТСМЕНОК.....	89
4.1	Енерговитрати у стані спокою у спортсменок видів спорту з переважним проявом витривалості віком 18–35 років .....	89
4.2	Порівняння вимірних ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменок віком 18–35 років.....	93
4.3	Оцінка низької доступності енергії у спортсменок віком	102

18–35 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою .....	
4.4 Енерговитрати у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років.....	103
4.5 Порівняння вимірених ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменок віком 15–17 років.....	108
4.6 Оцінка низької доступності енергії у спортсменок віком 15–17 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою.....	117
Висновки до розділу 4.....	119
<b>РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>121</b>
5.1 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості.....	121
5.1.1 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 18–35 років.....	121
5.1.2 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 15–17 років.....	124
5.2 Точність формул для визначення енерговитрат у стані спокою у спортсменів.....	128
5.2.1 Точність формул для визначення енерговитрат у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 18–35 років.....	128
5.2.2 Точність формул для визначення енерговитрат у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 15–17 років.....	132
5.3 Практичне значення результатів дослідження.....	133
5.3.1 Значення для розробки раціонів харчування	

спортсменів.....	133
5.3.2 Значення для оцінки доступності енергії у спортсменів.....	135
ВИСНОВКИ.....	138
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	143
ДОДАТКИ.....	161

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

БМТ	-	безжирова маса тіла
В	-	вік
ВКК	-	коефіцієнт внутрішньо класової кореляції
ВООЗ	-	Всесвітня організація охорони здоров'я
ДЕВ	-	добові енерговитрати
ДТ	-	довжина тіла
ЕВС	-	енерговитрати у стані спокою
ЕВС <sub>факт</sub>	-	фактичні енерговитрати у стані спокою
ІМТ	-	індекс маси тіла
ІОМ	-	Інститут медицини (США), Institute of Medicine
КСКП	-	корінь із середньо квадратичної помилки
МТ	-	маса тіла
LEA	-	низька доступність енергії, low energy availability
REDs	-	синдром відносного дефіциту енергії в спорті, relative energy deficiency in sport

## ВСТУП

Раціональне харчування є важливою складовою спортивної працездатності. Враховуючи значні енерговитрати, що пов'язані з фізичною активністю, для кваліфікованих спортсменів вкрай важливо компенсувати їх за рахунок дієти з відповідною калорійністю, оскільки відшкодування енергетичних витрат організму є базовим принципом здорового харчування. При цьому добові енерговитрати (ДЕВ) кваліфікованих спортсменів варіюють в широких межах залежно від виду спорту, специфіки тренувальної та змагальної діяльності, періоду підготовки, клімато-географічних умов та інших факторів. Більшість кваліфікованих спортсменів на фізичну активність витрачають не менше 1000-2000 ккал, а під час інтенсивних тренувань ДЕВ можуть перевищувати 10000 ккал [28].

Найбільш розповсюдженим методом визначення ДЕВ для складання адекватних раціонів харчування, що будуть відповідати індивідуальним потребам спортсменів, є розрахунковий метод (за допомогою коефіцієнтів фізичної активності) [107]. При цьому базовим параметром, відправною точкою є енерговитрати у стані спокою (ЕВС), які відображають кількість енергії, необхідної для підтримання базових процесів життєдіяльності [101]. Таким чином, точність визначення цього параметру є фундаментальною для розробки раціонального харчування, яке забезпечує не лише досягнення високих спортивних результатів, а й збереження здоров'я, оскільки недостатня енергетична доступність може призводити до порушення багатьох фізіологічних функцій організму, що ставить під загрозу довгострокову працездатність та якість життя спортсменів [104].

**Актуальність дослідження.** До цього часу дослідження енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості не були предметом аналізу, і стандартні формули для їх розрахунку на основі антропометричних параметрів не проходили валідацію для цієї популяції. Це є суттєвою проблемою, оскільки расова та етнічна приналежність, а також соціодемографічні характеристики

впливають на рівень ЕВС[11, 136]. Відсутність адаптованих формул може призводити до похибок у розрахунку енергетичних потреб, що є критичним для розробки ефективних планів харчування та запобігання енергетичному дефіциту [81].

**Зв'язок роботи з науковими програмами або практичними завданнями.** Дисертаційну роботу виконано у рамках планових наукових тем, які виконувалися у Національному університеті фізичного виховання і спорту: «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 0121U108187, термін виконання: 2021-2025 рр. ); та в Державному науково-дослідному інституті фізичної культури і спорту: «Удосконалення системи оцінки функціональних можливостей кваліфікованих спортсменів» (державний реєстраційний номер 0120U102907, термін виконання: 2020-2024 рр.), «Контроль та корекція метаболізму кваліфікованих спортсменів за умов інтенсивних фізичних навантажень» (державний реєстраційний номер 0120U103004, термін виконання: 2020-2024 рр.). Дисертантка є співвиконавцем вказаних тем. Дослідження виконано на базі Державного науково-дослідного інституту фізичної культури і спорту.

**Мета та завдання дослідження.** Мета – встановлення особливостей енерговитрат у стані спокою включно з визначенням оптимальних формул для їх розрахунку у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості. Для досягнення мети у дисертаційній роботі передбачається визначення таких завдань:

1. Проаналізувати та систематизувати сучасні наукові дані щодо енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів, їх особливостей, методів визначення та оцінки.

2. Дослідити енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості.

3. Дослідити зв'язок між енерговитратами у стані спокою та антропометричними параметрами, статтю і віком у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості.

4. Порівняти фактичні енерговитрати у стані спокою, визначені методом непрямой калориметрії, з розрахованими за допомогою стандартних формул на основі антропометричних параметрів, віку та статі, у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості.

5. Науково-експериментально обґрунтувати вибір оптимальних формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів з переважним проявом витривалості залежно від індивідуальних характеристик спортсмена для використання при розробці індивідуального раціону харчування, а також для оцінки наявності дефіциту енергії.

**Об'єкт дослідження** – енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів.

**Предмет дослідження** – енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості.

**Методи дослідження:** теоретичний аналіз, узагальнення та систематизація даних фахової науково-методичної літератури за напрямом дослідження; антропометричні вимірювання; непрямая калориметрія; методи математичної статистики.

Дослідження проводилися на базі Державного науково-дослідного інституту фізичної культури та спорту із залученням спортсменів національних збірних команд видів спорту із переважним проявом витривалості 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.

**Наукова новизна** полягає в тому, що:

*вперше* здійснено вимірювання фактичних енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості різної статі та віку;

*вперше* досліджено зв'язок енерговитрат у стані спокою та антропометричних параметрів, статі та віку серед кваліфікованих українських спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості. Встановлено, що маса тіла є найбільш значущим предиктором енерговитрат у стані спокою у всіх групах спортсменів, тоді як роль зросту та індексу маси тіла варіюється залежно від віку та статі;

*вперше* здійснено порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою з розрахованими за стандартними формулами на основі антропометричних параметрів (маса тіла, довжина тіла, індекс маси тіла), статі та віку. Встановлено, що між фактичними та розрахованими значеннями енерговитрат у стані спокою варіюється залежно від формули та статево-вікової групи спортсменів, а точність формул, розроблених спеціально для спортивної популяції, є вищою, ніж у загальнопопуляційних моделей;

*удосконалено* рекомендації з проведення вимірювань ЕВС за допомогою непрямой калориметрії задля стандартизації процесу вимірювання та підвищення точності й відтворюваності отриманих даних, що сприяє їх ефективному використанню у практиці підготовки спортсменів;

*розроблено* рекомендації для найбільш точного визначення енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів шляхом застосування найбільш відповідних для різної статі та віку розрахункових формул, а також щодо використання енерговитрат у стані спокою з метою оцінки доступності енергії.

Результати дослідження *підтверджують* існуючі в науковій літературі дані стосовно відмінностей в енерговитратах у стані спокою у спортсменів



різної статі та віку, а також більшу точність розрахункових формул для визначення енерговитрат у стані спокою, розроблених спеціально для спортсменів, порівняно із формулами для загальної популяції.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачка самостійно здійснила інформаційний пошук, аналіз та інтерпретацію даних літературних джерел, що стали основою для проведення дослідження. Вимірювання маси тіла учасників дослідження було здійснено співробітниками Державного науково-дослідного інституту фізичної культури і спорту: старшим науковим співробітником, кандидатом біологічних наук Вдовенко Н. В. та молодшим науковим співробітником Россохою Г. В.. Дисертантка виконала експериментальну частину дослідження, включаючи визначення енерговитрат у стані спокою за допомогою непрямой калориметрії та розрахунок енерговитрат у стані спокою за стандартними формулами. Аспірантка самостійно провела статистичну обробку даних, проаналізувала отримані результати та представила їх у вигляді таблиць і графіків. Всі розділи дисертації були написані здобувачкою.

У спільних публікаціях здобувачці належать пріоритети в організації, формуванні напрямків досліджень, в аналізі, описі, обговоренні фактичного матеріалу й у теоретичному узагальненні. Внесок співавторів полягав у статистичному аналізі й інтерпретації результатів дослідження.

**Публікації.** Наукові результати дисертації висвітлені в 12 наукових публікаціях: 3 статті у наукових виданнях з переліку наукових фахових видань України; 7 публікацій апробаційного характеру; 2 публікації додатково відображають наукові результати дисертації(додаток А).

**Апробація результатів дисертації.** Результати дослідження представлені в наукових доповідях (тезах) на:

XXIII International Scientific and Practical Conference «Theoretical and science bases of actual tasks» (м. Лісабон, Португалія, 2022);

XV Міжнародній конференції молодих вчених «Молодь і олімпійський рух» (м. Київ, НУФВСУ, 2022);

I Міжнародній науково-практичній конференції «Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту» (Київ – Черкаси, 2023);

International Scientific Conference «The significance of physical culture and sports for human health» (м. Рига, Латвія, 2024);

VI Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми фізичного виховання, спорту, фізичної реабілітації та туризму у сучасних умовах життя» ( м. Запоріжжя, 2024);

XVII Міжнародній конференції молодих вчених «Молодь і олімпійський рух» (м. Київ, НУФВСУ, 2024);

II Всеукраїнській науковій конференції, присвяченій Дню науки в Україні «Сучасні погляди молоді на фізичну культуру, спорт та здоров'я людини». (Харків, 2024). (додаток Б).

**Практичне значення.** На основі отриманих теоретичних положень розроблені рекомендації щодо організації вимірювань енерговитрат у стані спокою, використання оптимальних розрахункових формул для визначення ЕВС у кваліфікованих українських спортсменів залежно від статі та віку, оцінки наявності низької доступності енергії.

Представлені в роботі матеріал і висновки впроваджені у практику науково-методичного забезпечення підготовки збірних команд України з: біатлону (акт впровадження від 16 грудня 2019 р., додаток В), веслування академічного (акт впровадження від 17 грудня 2019 р., додаток Г), сучасного п'ятиборства (акт впровадження від 18 грудня 2019 р., додаток Д), боксу (акт впровадження від 20 грудня 2019 р., додаток Е), у навчальний процес кафедри медичної біології та спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України (акт впровадження від 21 жовтня 2024 р., додаток Ж), у практику підготовки юних спортсменів-бадмінтоністів (акт впровадження від 13 січня 2025 р., додаток И) та юних спортсменок-бадмінтоністок ( акт впровадження від 13 січня 2025 р., додаток К) спортивно-дипломатичного клубу.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел та 9 додатків. Обсяг загального тексту дисертації – 173 сторінки, основної частини – 122 сторінки. Робота написана українською мовою, ілюстрована 33 таблицями та 44 рисунками. Всього використано 138 джерел наукової та спеціалізованої літератури, з них 128 – іноземних.

# РОЗДІЛ 1

## СУЧАСНИЙ СТАН ВИВЧЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ У СТАНІ СПОКОЮ У КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ

### 1.1 Загальна характеристика енерговитрат у стані спокою

Енерговитрати у стані спокою – це кількість енергії, необхідна для забезпечення життєдіяльності людини у стані спокою (дихання, кровотворення, функції виділення, збереження тону м'язів, діяльність нервової та ендокринної системи тощо) [101]. У науковій літературі синонімічно використовується також термін «основний обмін», проте існує певна специфіка його використання [28,88]. Сучасні дослідники відзначають, що визначення основного обміну (англ. BMR – Basal Metabolic Rate) передбачає дотримання наступних умов: дослідження проводяться у стані повного спокою, вранці, лежачи на спині, одразу після пробудження, натщесерце та за умов 12-14-годинного інтервалу після останнього прийому їжі, у приміщенні за температури 20° С. Такі вимоги значно ускладнюють дослідження та суттєво обмежують можливість його здійснення. Якщо ж ці умови не дотримані в повній мірі, то йдеться про енерговитрати спокою (EBC) (англ. RMR – Resting Metabolic Rate або REE – Resting Energy Expenditure) [24]. В наукових публікаціях за останні 10 років здебільшого використовується термін «енерговитрати у стані спокою», особливо якщо досліджують енерговитрати спортсменів [107]. Такі вимірювання легше здійснити з організаційної точки зору, особливо якщо вони мають на меті довготривалий моніторинг цього параметру у спортсменів [81].

У пересічної людини 60-80 % добових енерговитрат припадають на EBC [111]. Зі збільшенням фізичної активності відсоток EBC в загальному розподілі ДЕВ зменшується. За даними досліджень Thompson[126] у кваліфікованих спортсменів чоловічої статі EBC становить 38–47 % від ДЕВ, а у жінок на нього припадає близько 42 %. Під час важких тривалих змагань,

таких, як ультрамарафон, основний обмін може становити менше ніж 20 % від добових енерговитрат [28].

Слід зазначити, що значна кількість енергії ЕВС витрачається на процеси анаболізму. На 1 г біосинтезу білка витрачається близько 4 ккал енергії [111]. АТФ, синтезований мітохондріями, розподіляється між різними клітинними процесами, необхідними для підтримання базових метаболічних функцій. Три біосинтетичні шляхи споживають майже третину доступного АТФ, найбільший з яких — синтез білка (приблизно 15–18 %), за ним слідують глюконеогенез (приблизно 5–8%) та уреогенез (приблизно 2 %). Ще третина АТФ використовується в реакціях, що залучають мембранні АТФ-ази. Ці ферменти вивільняють енергію, необхідну для базових клітинних процесів. Три основні класи АТФ-аз —  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  і актоміозин — забезпечують приблизно 20 %, 4–6 % і 5–6 % базального споживання мітохондріального АТФ та відповідно вироблення тепла. Функціональні завдання цих АТФ-аз включають підтримання осмотичної рівноваги клітини, електрохімічних градієнтів, м'язового тонуусу та інших пов'язаних з цим процесів. [106].

Енерговитрати у стані спокою характеризуються індивідуальними особливостями. На цей показник впливає багато факторів:

– Розміри тіла. В першу чергу ЕВС залежать від маси тіла, оскільки більший розмір тіла потребує більше енергії для підтримання життєдіяльності. Крім того, розмір тіла впливає на терморегуляцію, яка є важливою складовою енергетичних витрат. Великі тіла з більшою поверхнею вимагають більших енерговитрат на підтримання теплового балансу, особливо в умовах екстремальних температур. Збільшення маси тіла на 10 кг супроводжується зростанням енерговитрат в середньому на 120 ккал [28, 111];

– Композиційний склад тіла. Відповідно до сучасних уявлень, на величину енерговитрат у стані спокою істотно впливає композиційний склад тіла [85, 91, 112]. На тканинно-органному рівні він складається із 4-х

компонентів: кістки, скелетні м'язи, органи та жирова тканина. Перші три компоненти формують безжирову масу тіла (БМТ). Всі компоненти мають різну метаболічну активність (табл. 1.1).

**Таблиця 1.1** – Метаболічна активність органів та тканин у стандартного чоловіка та жінки [82, 93]

Орган Тканина	Маса, кг		% маси тіла		% ЕВС		% БМТ	
	Ч	Ж	Ч	Ж	Ч	Ж	Ч	Ж
Скелетні м'язи	28	17	40	29,30	21,7	16,4	50,9	43,6
Жирова тканина	15	19	21,4	32,80	4,0	6,3	-	-
Кістки	10	6,80	14,30	11,70	1,4	1,2	18,2	17,4
Серце	0,33	0,24	0,47	0,34	8,7	7,8	0,60	0,62
Печінка	1,80	1,40	2,57	2,00	21,5	20,8	3,27	3,59
Нирки	0,31	0,28	0,44	0,39	8,10	9,10	0,56	0,72
Селезінка	0,18	0,15	0,26	0,21	1,10	1,10	0,33	0,38
Головний мозок	1,40	1,20	2,00	1,71	20,0	21,3	2,55	3,08
Шкіра	2,60	1,80	3,70	3,10	1,10	1,0	4,70	4,60
Інше	10,40	10,10	14,90	17,4	12,4	15,0	18,9	25,9
Всього:	70	58	100	100	100	100	100	100

**Примітка.** Ч – чоловіки; Ж – жінки.

Найбільш поширені методи дослідження композиційного складу тіла дозволяють визначити два компоненти: жирову та безжирову масу тіла, до якої відносять всі складові маси тіла за виключенням жирової тканини. При такому розподілі найбільш метаболічно-активні компоненти (органи та скелетні м'язи) відносять до БМТ. Тому люди із однаковою масою тіла, проте із більшим відсотком безжирової маси тіла, будуть мати вищі енерговитрати спокою [26, 51];

– Вік. Найбільші енерговитрати є притаманними для дітей та підлітків. Це обумовлюється процесом росту, який вимагає значних витрат

енергії, тому у дітей та підлітків ЕВС на 1 кг маси тіла вищі, ніж у дорослих. Витрати енергії, пов'язані зі збільшенням маси тіла, становлять 5 ккал на 1 г доданої маси тіла. У дорослих ЕВС, зазвичай, лишаються доволі постійними, проте після 40 років він знижується на близько 2-3 % щороку, що пов'язується зі зниженням БМТ [4, 91];

– Стать. Основний внесок у різницю ЕВС між статями забезпечує відмінність у складі тіла. У середньому чоловіки мають більшу масу тіла та вищу частку метаболічно активної безжирової маси тіла, зокрема м'язової тканини, яка споживає більше енергії в стані спокою. [47, 110]. Жінки, навпаки, мають більшу частку жирової тканини, яка є менш метаболічно активною, що частково пояснює нижчий рівень ЕВС у жінок при однаковій загальній масі тіла. Згідно з дослідженнями, навіть при однаковій БМТ, ЕВС у жінок все одно залишається на 5–10% нижчим, ніж у чоловіків, що свідчить про додаткові фізіологічні та гормональні чинники впливу [53]. Гормональна регуляція також відіграє важливу роль у визначенні ЕВС залежно від статі. Чоловіки мають вищий рівень анаболічних гормонів, таких як тестостерон, які сприяють збереженню та підтриманню м'язової маси, підвищуючи енергетичні потреби. У жінок естрогени, сприяють більшій акумуляції жирової тканини та зниженню енерговитрат у стані спокою [28, 101]. Ще одним чинником є різниця у терморегуляторних процесах між чоловіками і жінками, які також можуть впливати на рівень ЕВС. Наприклад, у чоловіків термогенез, асоційований із м'язовою тканиною, зазвичай вищий, що додатково підвищує базальні енергетичні витрати [79, 87];

– Гормональний статус. Найбільше впливають на основний обмін гормони щитоподібної залози та наднирників. При гіпотиреоїдизмі він може знижуватися на 30 %, а при тиреотоксикозі - підвищуватися на 50 – 70 %. Підвищена секреція адреналіну під час емоційного стресу викликає тимчасове підвищення енерговитрат у стані спокою [32]. У жінок на ЕВС впливає фаза менструального циклу – мінімальні значення ЕВС спостерігаються у фолікулярній фазі (початок циклу), максимальні – у

лютеїновій фазі (наприкінці циклу). Різниця між цими фазами складає в середньому 7 % [32], проте в окремих випадках може бути і вища [23]. Частина збільшення тепловироблення під час лютеїнової фази менструального циклу може бути пояснена незначним підвищенням температури тіла (на  $0,27^{\circ}\text{C}$ ) [32];

– Температура тіла. Температура тіла впливає на біохімічні реакції: її підвищення на  $1^{\circ}\text{C}$  супроводжується зростанням ЕВС на 13% [119]. Зниження температури тіла призводить до зменшення швидкості обмінних процесів. Це адаптивна реакція організму для збереження енергії за умов недостатнього тепла;

– Температура навколишнього середовища. Мінімальні значення ЕВС спостерігаються за температури  $26^{\circ}\text{C}$ . Підвищення або зниження температури навколишнього середовища призводить до зростання інтенсивності метаболічних процесів [111]. У холодному середовищі організм збільшує ЕВС через активацію термогенезу, тоді як у спекотних умовах організм збільшує витрати енергії на процеси тепловідведення, такі як потовиділення. Проте цей вплив менш виражений, ніж у холодному середовищі [83];

– Расова та етнічна приналежність. Раса та етнічна приналежність є важливими факторами, що впливають на рівень енерговитрат у стані спокою (ЕВС), оскільки вони зумовлюють відмінності у складі тіла, метаболічній активності тканин і пов'язаних фізіологічних характеристиках. Ці відмінності мають як генетичну, так і соціокультурну основу, що впливає на оцінку енергетичних потреб у різних популяціях [136];

Однією з ключових відмінностей є те, що в середньому афроамериканці мають нижчий рівень ЕВС — приблизно на 5% порівняно з людьми європеїдної раси того ж віку, зросту та ваги [26, 45]. Це може бути частково пояснено відмінностями у складі тіла: у афроамериканців більша частка ваги припадає на скелетні м'язи та кісткову масу, а менша — на жирову тканину та масу органів [101]. Оскільки органи є найбільш метаболічно активними



структурами тіла, відносно менша їх частка може сприяти зниженню ЕВС. Етнічні відмінності також можуть впливати на енергетичний метаболізм через відмінності в гормональній регуляції, терморегуляції та функціонуванні м'язової тканини. Наприклад, деякі дослідження припускають, що адаптації до кліматичних умов в історичному контексті могли вплинути на базальний метаболізм у певних групах населення [83]. Крім того, етнічні відмінності в м'язовій масі, особливо у співвідношенні швидкоскорочувальних і повільноскорочувальних м'язових волокон, можуть змінювати рівень енерговитрат навіть у стані спокою [112].

Важливо також враховувати соціокультурні та поведінкові фактори, які впливають на ЕВС через раціон харчування, рівень фізичної активності та доступ до медичних послуг. Наприклад, деякі відмінності у ЕВС, зафіксовані між расовими та етнічними групами, можуть бути зумовлені соціодемографічними факторами, такими як умови життя, рівень фізичної активності або особливості дієти [12];

– Генетичні фактори. Дослідження Bouchard [54] та Ravussin[91] продемонстрували значну роль спадковості для енерговитрат у стані спокою. Родинні зв'язки пов'язують з 11 % варіабельності енерговитрат у стані спокою, а у близнюків та батьків і дітей спадковість зумовлює 40 % їх варіабельності. Генетичні фактори суттєво визначають індивідуальні особливості ЕВС через їхній зв'язок із ключовими фізіологічними процесами. Зокрема, поліморфізми в генах можуть впливати на активацію бурої жирової тканини, регуляцію обміну речовин, ефективність мітохондріальної функції та апетит. Так, ген *UCP1*, що кодує білок роз'єднання 1, відповідає за теплопродукцію в бурій жировій тканині. Його висока активність сприяє посиленому використанню енергії, що пов'язано з підвищеним рівнем ЕВС. Це було підтверджено дослідженнями на пацієнтах із ожирінням, які демонстрували вищу експресію *UCP1* у вісцеральній тканині та відповідні зміни енергетичних витрат. Ген *PPARGC1A*, ключовий для регуляції мітохондріальної активності, забезпечує ефективне окислення субстратів у

клітинах. Його вплив на функцію мітохондрій може пояснити індивідуальні варіації в базальних енерговитратах. Варіації в гені *FTO* пов'язані зі схильністю до підвищеного споживання калорій і змінами у швидкості метаболізму. Цей механізм пояснює, чому носії певних алелей мають відмінності в енергетичному балансі та обміні речовин [100];

– Харчовий статус. У разі тривалого дефіциту надходження енергії з раціону харчування енерговитрати у стані спокою можуть знижуватись. Це є проявом захисних функцій, спрямованих на збереження енергії у разі її тривалого дефіциту [28, 30]. З іншого боку, при надлишковому споживанні енергії (гіперкалорійна дієта) ЕВС можуть зростати за рахунок збільшення маси тіла, зокрема жирової та м'язової тканин [111].

## **1.2 Енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів**

Розглянуті в підрозділі 1.1 аспекти метаболізму в стані спокою свідчать про те, що регулярна фізична активність може мати два вектори впливу на рівень енерговитрат у стані спокою [113]. Перший полягає у можливому зростанні безжирової маси тіла, яка має високу метаболічну активність.

Другий вектор впливу може бути зумовлений впливом фізичної активності на ті фізіологічні процеси, які регулюють залишковий рівень метаболізму в стані спокою. Обидва ці ефекти можуть реалізовуватися у довгостроковій перспективі внаслідок змін, що відбуваються протягом тривалих періодів тренувань.

Водночас зміни залишкового рівня метаболізму в стані спокою можуть відбуватися й у значно коротші терміни після окремих фізичних навантажень. Цей ефект проявляється у вигляді тимчасової зміни ЕВС одразу після виконання фізичної активності, протягом періоду, який є занадто коротким для будь-яких змін у масі безжирової тканини. Такі короточасні зміни метаболізму в стані спокою після одиничного фізичного навантаження отримали надмірного споживання кисню після фізичних вправ (ЕРОС) [124].

Однак вплив тривалих тренувань на рівень ЕВС залишається дискусійним і недостатньо вивченим. Існуючі наукові дані демонструють значні розбіжності в оцінках ЕВС: у різних дослідженнях виявлено як підвищення, так і зниження або відсутність змін порівняно з показниками у звичайній популяції [121].

Зокрема, дослідження Ravussin і Bogardus [91], Almeras [80], Taguchi [21] та Koshimizu [20] засвідчили підвищення ЕВС у спортсменів, які займаються видами спорту, що вимагають високого рівня витривалості, порівняно з особами, які не займаються спортом. На противагу цьому, Tremblay, Schultz і Herring у своїх роботах не виявили суттєвих відмінностей у рівнях ЕВС між спортсменами та звичайною популяцією [121].

Підвищення ЕВС у спортсменів зазвичай пов'язують зі збільшенням безжирової маси тіла, оскільки м'язи є одними з найбільш метаболічно активних тканин організму. Так, збільшення маси скелетних м'язів, спричинене регулярною фізичною активністю, може супроводжуватися підвищенням загальної кількості метаболічно активної тканини, що, у свою чергу, призводить до зростання ЕВС [28, 46, 94]. Крім того, у спортсменів спостерігається гіпертрофія окремих органів, таких як серце та печінка, що також може впливати на базові енергетичні витрати організму [27, 102].

Окрім структурних змін у тілі спортсменів, важливу роль у регуляції ЕВС відіграють фізіологічні та генетичні фактори. Фізичні навантаження здатні впливати на функцію щитоподібної залози, метаболізм білків, рівень циркулюючого лептину [120], індукований фізичною активністю термогенез [79],  $\beta$ -адренергічну стимуляцію [31] та активність мітохондрій у печінці [85]. Однак вплив цих чинників варіюється залежно від інтенсивності, тривалості та типу тренувань, що ускладнює інтерпретацію отриманих результатів. Неоднозначність у зміні ЕВС також може пояснюватися методологічними аспектами досліджень, такими як вибірка, техніка вимірювання та час проведення оцінок [103].

Цікаво, що у деяких випадках збільшення БМТ у спортсменів не супроводжується підвищенням ЕВС [17]. Woods [77], Cadegiani і Kater [30] зазначають, що це явище може бути обумовлене впливом інтенсивних тренувань, після яких спостерігається тимчасове зниження ЕВС. Такий ефект пояснюється уповільненням метаболічних процесів та підвищенням катаболізму у відповідь на значні енергетичні навантаження. У період інтенсивних тренувань організм витрачає великі обсяги енергії, і якщо ці витрати не компенсуються раціоном харчування, виникає метаболічна адаптація, спрямована на збереження гомеостазу. Це може включати зниження швидкості основного обміну та зменшення витрат енергії для забезпечення життєво важливих функцій.

Таким чином, аналіз ЕВС у кваліфікованих спортсменів демонструє складний і багатофакторний характер регуляції базового метаболізму. Подальші дослідження в цій галузі повинні враховувати індивідуальні особливості організму спортсменів, їх спортивну спеціалізацію, режим харчування, а також методологічні аспекти вимірювання ЕВС, щоб досягти більш повного розуміння цього феномена.

### **1.3 Особливості використання формул для визначення енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів**

Золотим стандартом у визначенні ЕВС наразі є непрямка калориметрія [61]. 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 [81, 88]. Через це були розроблені численні формули – в огляді Osagli налічується понад 200 [97], які на основі певних стандартних параметрів (вік, стать, довжина та маса тіла тощо) допомагають розрахувати

ЕВС. Оскільки ці формули є екстраполяцією усереднених загальнопопуляційних 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) [28, 107]. Дослідники, які займаються питаннями валідації існуючих формул, зазначають, що чим більш специфічною є вибірка, тим важливіше використовувати формули, які були розроблені на подібних вибірках [81, 88]. У таблиці 2.1 наведено характеристики вибірок, на основі яких були розроблені відомі формули для розрахунку ЕВС.

**Таблиця 1.2** – Окремі характеристики загальнопопуляційних формул для визначення енерговитрат у стані спокою

№	Автор/и	Рік	Розмір вибірки	Специфіка вибірки
1	Гаріс-Бенедикт	1918	239	Американці європеїдної раси, переважно з нормальною масою тіла
2	Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ)	1985	11000	Дані були зібрані з різних регіонів світу, включаючи Африку, Азію, Європу, Латинську Америку та Північну Америку,
3	Шофілд	1985	4814	Переважно європейська і північноамериканська популяція, 47 % вибірки склали італійці, переважно з нормальною масою тіла
4	Міффлін	1990	498	Американці європеїдної раси, вік від 19 до 78 років, з різною масою тіла, в т.ч. із нормальною

				масою тіла, надлишковою масою тіла та ожирінням
5	Генрі	1991	2822	Мешканці тропіків з нормальною масою тіла

Враховуючи суттєві відмінності між метаболізмом осіб, які не займаються спортом, та кваліфікованих спортсменів, були також розроблені формули для визначення ЕВС у спортивній популяції (табл.1.3).

**Таблиця 1.3** – Формули для визначення енерговитрат у стані спокою для спортивної популяції

№	Автор/и	Рік	Розмір вибірки	Специфіка вибірки
1	Де Лорензо [10]	1999	51	Італійські спортсмени
4	Вонг [88]	2012	125	Малазійські спортсмени
2	тен Гааф [116]	2014	90	Нідерландські спортсмени
5	Кім [13]	2015	50	Корейські спортсмени
3	Фрейре [78]	2022	102	Бразильські спортсмени

Між тим, не зважаючи на наявність формул, розроблених для визначення енерговитрат у стані спокою у спортсменів, досить розповсюдженим у спортивній дієтології є застосування і загальнопопуляційних формул, таких як формула Гаріса-Бенедикта або Міффіна [28, 39]. Формули, які були розроблені для спортсменів, з одного боку менш відомі, а з іншого були розроблені на основі відносно невеликих вибірок і часто з досить змішаним складом спортсменів за групами видів спорту. Так, для розрахунку формули могли бути використані узагальнені дані щодо фактично виміряних ЕВС у спортсменів з різних груп видів спорту [43], що, на нашу думку, впливає на спорту окремо через значні відмінності у композиційному складі тіла між представниками різних груп видів спорту.

Так, у дослідженні Koshimizu [20] було виявлено статистично значущі відмінності у вимірних значеннях ЕВС між спортсменами, які займаються видами спорту на витривалість, швидко-силовими та ігровими видами спорту залежно від групи видів спорту. Згідно досліджень Devrim-Lanpir, формула Гарріса-Бенедикта, як правило, недооцінювала фактичні ЕВС серед спортсменів, які займаються ультравитривалими видами спорту [64], тоді як дослідження Staal демонструють, що у танцівників Королівського балету вона переоцінювала прогнозовані ЕВС [74].

Слід також зважати на те, що соціодемографічні особливості населення мають вплив на величину енерговитрат у стані спокою [136], тому найкраще обирати формули, які були розроблені або провалідовані на максимально схожих за регіоном проживання популяціях. Так, прогнозовані ЕВС за формулою ВООЗ у середньому були суттєво нижчими за виміряні ЕВС серед індійських важкоатлетів-чоловіків [18], але виявилися найбільш відповідними для оцінки ЕВС серед дорослих чоловіків-футболістів із Малайзії [88].

Питання визначення точних формул для обчислення енерговитрат у стані спокою (ЕВС) є особливо актуальним у спортсменів-підлітків, оскільки досі не існує єдиного консенсусу щодо використання відповідних формул у педіатричних популяціях [99]. Це особливо стосується випадків, де необхідно враховувати такі чинники, як високий рівень фізичної активності або особливості складу тіла [12, 14, 36, 131]. На сьогодні дослідження, присвячені визначенню ЕВС і оцінці відповідних формул для підлітків-спортсменів, залишаються обмеженими. Це створює суттєві прогалини в розумінні енергетичних потреб цієї категорії. При цьому важливо враховувати, що спортсмени суттєво відрізняються від осіб, які не займаються спортом [10], так само як діти й підлітки мають суттєві відмінності від дорослих [60].

Дослідники відзначають різну точність формул для визначення ЕВС серед підлітків залежно від розподілу маси тіла на нормальну, недостатню або надлишкову [133]. Це пояснюється різною метаболічною активністю

безжирового та жирового компонентів тіла. Відповідно, для спортсменів-підлітків найбільш релевантними будуть формули, розроблені та/або провалідовані для підлітків з нормальною масою тіла. Незважаючи на те, що спортсмени-підлітки багато тренуються та беруть участь в офіційних змаганнях у відповідних видах спорту, їхні розміри тіла все ще знаходяться в стадії розвитку і, таким чином, є подібними до таких у малорухливої популяції[22]. Однак через відмінності в рівнях фізичної активності та композиційному складі тіла, такі формули можуть бути непридатними для молодих спортсменів. Дослідження на сьогодні показали, що використання стандартних формул може спричиняти помилки настільки значні, що вони впливають на кінцевий результат при оцінці енергетичних потреб. Літературні дані свідчать, що порівняння вибраних формул для фізично активних осіб із калориметричними тестами для підтвердження їхньої точності показує, що декілька з цих рівнянь можуть занижувати або завищувати рівень енерговитрат у стані спокою до 300 ккал [126].

В свою чергу, недооцінка фактичних енерговитрат у стані спокою призводить до подальшої недооцінки добових енерговитрат. Наприклад, при недооцінці ЕВС у спортсмена в середньому на 150 ккал його добова потреба в енергії буде занижена приблизно на 270–345 ккал/день, залежно від коефіцієнту фізичної активності, який для тренуваних спортсменів коливається у межах від 1,8 до 2,3 [60]. Така розбіжність може значно вплинути на призначення індивідуальної дієти і, ймовірно, призвести до щомісячної втрати орієнтовно 1,4 кг маси тіла, що, у свою чергу, може погіршити відновлення, підвищити ризик втоми та пошкодження м'язів, а також інших факторів, які можуть вплинути на працездатність та здоров'я спортсмена з високим рівнем фізичної активності. З іншого боку, переоцінка ЕВС може призвести до збільшення маси тіла та відсотка жирової тканини [22].

Підсумовуючи вищесказане, для коректного обчислення ЕВС слід обирати формули з урахуванням специфіки цільової групи [81, 138]. При



цьому на даний час в українській науці відсутні дослідження ЕВС кваліфікованих спортсменів для визначення найбільш релевантних для використання у спортивній практиці формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою.

#### **1.4 Енерговитрати у стані спокою як біомаркер низької доступності енергії**

Як відомо, більшість кваліфікованих спортсменів на фізичну активність витрачають не менше 1000-2000 ккал за добу. Під час інтенсивних тренувань добові енерговитрати можуть перевищувати 10 000 ккал [28]. Такі значні енерговитрати створюють передумови для виникнення дефіциту енергії. Цей стан виникає, коли споживання енергії з їжею недостатнє для компенсації енерговитрат на фізичну активність. Його виникненню сприяє навмисне обмеження добової калорійності їжі, яке практикують спортсмени з метою зменшення ваги тіла для досягнення більш тендітного зовнішнього вигляду в артистичних видах спорту або для потрапляння в певну вагову категорію у видах спорту, де існує такий розподіл.

Дефіцит енергії спочатку досліджували в контексті Тріади жінок-спортсменок – синдрому, що включає три компоненти: порушення харчування, дисфункцію менструального циклу та низьку щільність кісткової маси. Ці стани виникають через недостатнє споживання енергії в порівнянні з енергетичним витратами внаслідок інтенсивних тренувань та фізичної активності [37]. З плином часу розуміння цих станів розширилося за межі концепції тріади. У 2014 році консенсусною групою Міжнародного олімпійського комітету (МОК) у практику спортивної медицини був введений термін «синдром відносного дефіциту енергії в спорті» RED-S – «Relative Energy Deficiency in Sport» [8]. Він включає у себе різні фізіологічні порушення, включаючи швидкість метаболізму, менструальну функцію, здоров'я кісток, імунітет, синтез білка та здоров'я серцево-судинної системи

[73]. Основною причиною REDs (у 2023 році акронім «RED-S» було замінено на «REDs» [8] ) є низька доступність енергії - це відбувається, коли споживання калорій недостатньо для забезпечення калорій, витрачених під час фізичних вправ, залишаючи недостатню енергію для нормального функціонування організму [19].

Доступність енергії в спортивній практиці прийнято визначати за формулою «харчове споживання мінус енерговитрати на фізичну активність». Оцінюють показник відносно безжирової маси тіла спортсмена. Значення 30 ккал на кг БМТ є пороговим – вважається, що це мінімальна кількість енергії для підтримання базових фізіологічних функцій організму. Значення нижче цього порогу свідчать про низьку доступність енергії [73].

Між тим, даний підхід має низку недоліків, які суттєво впливають на точність отриманих результатів. Обчислення даних щоденників харчування та енерговитрат на фізичну активність потребують великих затрат часу. Використання спеціалізованих комп'ютерних програм допомагає скоротити час на обробку даних, проте не може усунути вплив інших факторів, що впливають на точність даних, зокрема якщо щоденники харчування та фізичної активності спортсмени заповнюють самостійно [28, 36].

Так, при самостійному заповненні щоденників харчування спортсменами можуть бути не зафіксувати всі спожиті продукти та напої. Крім того, великі труднощі викликає самостійна оцінка розміру порції, особливо якщо харчування не є централізованим. Мета-аналіз досліджень, які порівнюють самостійно заповнені щоденники харчування та дані, отримані за допомогою методу подвійної мітки води, демонструє, що в середньому відбувається недооцінка калорійності спожитої їжі на 19 % [134].

Схожі недоліки мають і щоденники фізичної активності. При їх самостійному заповненні можуть бути не зафіксовані всі епізоди фізичної активності і їх інтенсивність [39]. Як і при підрахунку енерговитрат за допомогою коефіцієнтів фізичної активності при цьому не враховуються

індивідуальні особливості спортсмена, зокрема, в яких пульсових зонах відбувалося те чи інше навантаження.

Слід також враховувати, що отримані за короткий період часу дані, наприклад, протягом тижня, можуть бути непоказовими для оцінки доступності енергії на більш тривалий період часу. Індивідуальні зміни у фізичній активності та харчуванні можуть суттєво вплинути на загальний баланс енергії. Тому актуальним завданням спортивної науки є пошук біомаркерів, які можуть бути додатково використані для більш точної оцінки доступності енергії. Одним з таких маркерів можуть бути енерговитрати у стані спокою, оскільки вони відображають витрати енергії на підтримання життєдіяльності організму [29, 36,107].

У разі недостатнього надходження енергії з раціону харчування ЕВС можуть знижуватись порівняно нормальними значеннями. Це є проявом захисних функцій, спрямованих на збереження енергії у разі її тривалого дефіциту [28, 30, 39].

Деякі дослідники відмічають можливе зниження енерговитрат у стані спокою у спортсменів після періоду інтенсивних тренувань [37, 39,134]. Це пояснюється зниженням швидкості метаболічних реакцій та можливим посиленням катаболічних процесів, що є реакцією організму на підвищене фізичне навантаження та недостатню компенсацію енерговитрат. Під час інтенсивних тренувань значно зростають енергетичні потреби організму. Якщо ці витрати не компенсуються через раціон харчування, виникає дефіцит енергії, що запускає каскад метаболічних і регуляторних реакцій, спрямованих на збереження гомеостазу. Одним із ключових адаптивних механізмів є зниження ЕВС, яке дозволяє організму економити енергоресурси в умовах дефіциту. Це явище, відоме як "низька доступність енергії" (LEA, low energy availability), має серйозні наслідки для здоров'я спортсмена, включаючи погіршення відновлення, зниження м'язової маси, гормональні дисбаланси та підвищення ризику травм [73].

В умовах LEA зниження EBC можуть слугувати надійним біомаркером, що відображає адаптацію організму до недостатнього надходження енергії. Такий біомаркер є особливо важливим для моніторингу стану здоров'я спортсменів в довготривалій перспективі, адже допомагає вчасно ідентифікувати енергетичний дисбаланс і запобігти його негативним наслідкам. Це стосується не лише дорослих атлетів, але й спортсменів-підлітків, у яких збереження достатньої енергетичної доступності є критичним для нормального росту, розвитку та оптимальної спортивної продуктивності. [37, 76].

Останні дослідження демонструють кореляцію між зниженим рівнем енерговитрат спокою та низькою доступністю енергії [107, 114]. Таким чином, зниження енерговитрат у стані спокою може бути корисним біомаркером доступності енергії, особливо під час довготривалого моніторингу цього параметру.

У більшості досліджень критерієм зниженого рівня EBC вважається зменшення фактичних показників на 10 % і більше порівняно з прогнозованими значеннями, розрахованими за стандартними рівняннями [7, 55, 77-92]. Таке зниження може вказувати на енергетичну недостатність, яка виникає в умовах високих фізичних навантажень і недостатньої компенсації енерговитрат через раціон харчування. Водночас використання універсальних формул для прогнозування EBC має свої обмеження, оскільки такі формули не завжди точно враховують індивідуальні особливості, зокрема склад тіла або рівень фізичної активності спортсменів. Це може призводити до похибок у діагностиці та недооцінки LEA, особливо в осіб із високою безжировою масою тіла.

Більш доцільним є підхід до моніторингу EBC, який передбачає регулярне вимірювання фактичних значень у динаміці. Такий підхід дозволяє оцінити індивідуальні зміни в енергетичному статусі спортсмена, враховуючи вплив змін у тренувальному процесі, харчуванні або складі тіла [81, 114]. Особливу увагу слід приділяти співвідношенню EBC до маси тіла

або до безжирової маси, оскільки саме ці параметри можуть відображати енергетичний стан більш точно, ніж абсолютні значення ЕВС. Наприклад, стабільне зниження ЕВС відносно БМТ може сигналізувати про недостатню доступність енергії, навіть якщо абсолютні показники ЕВС перебувають у межах норми. Крім того, аналіз ЕВС має поєднуватися з іншими методами оцінки енергетичного статусу, такими як аналіз складу тіла, оцінка харчових звичок, фізичної активності та метаболічних маркерів [84].

У практиці спортивної медицини важливо враховувати, що раннє виявлення зниження ЕВС дозволяє запобігти серйозним наслідкам LEA, таким як втрата м'язової маси, гормональні дисбаланси, підвищений ризик травм і порушення відновлення [7]. Для цього слід використовувати адаптовані формули для певних груп спортсменів [81, 88]. Комплексний підхід до аналізу ЕВС, що включає динамічний моніторинг, врахування складу тіла та інших біомаркерів, є найефективнішим способом виявлення та профілактики LEA, що сприяє підтриманню здоров'я та фізичної працездатності спортсменів.

## **Висновки до розділу 1**

1. Вплив тривалої спортивної діяльності на енерговитрати у стані спокою остаточно не визначено. ЕВС у спортсменів можуть бути як вищими, так і зниженими або залишатися без змін порівняно зі звичайною популяцією. Ці відмінності обумовлені рівнем тренувального навантаження, складом тіла, енергетичним балансом та адаптацією організму до фізичних навантажень. Підвищення ЕВС зазвичай спостерігається у кваліфікованих спортсменів через більшу безжирову масу тіла, тоді як зниження ЕВС може бути наслідком інтенсивних тренувань та недостатньої компенсації енергетичних витрат з раціоном харчування.

2. Для точного розрахунку енергетичних потреб спортсменів критично важливим є коректне визначення ЕВС. Загально популяційні формули для

розрахунку EBC можуть бути непридатними для спортивної популяції, оскільки вони не враховують специфіку складу тіла, рівень фізичної активності, соціо-демографічні особливості та расово-етнічну належність спортсменів. Особливо актуальним є дослідження EBC серед українських кваліфікованих спортсменів, оскільки до цього часу не було отримано даних щодо їхніх фактичних EBC, а також щодо релевантності існуючих формул у цій популяції.

3. Енерговитрати у стані спокою можуть бути використані як чутливий біомаркер для виявлення низької доступності енергії у спортсменів. Зниження EBC на 10 % і більше від прогнозованих або початкових значень свідчить про невідповідність між енергетичними витратами і надходженням енергії. Для адекватної оцінки дефіциту енергії та виявлення LEA важливо використовувати точні й релевантні формули, які враховують особливості спортивної популяції, а також расові/етнічні особливості. Використання EBC у комплексному моніторингу LEA разом із показниками складу тіла та фізіологічними маркерами є перспективним підходом для вчасного виявлення енергетичного дисбалансу, що може впливати на функціональний стан та працездатність атлетів.

## **РОЗДІЛ 2**

### **МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ**

#### **2.1 Методи досліджень**

Для досягнення цілей дисертаційної роботи були використані різноманітні методи дослідження, зокрема:

- теоретичний аналіз, узагальнення та систематизація даних фахової науково-методичної літератури та документальних матеріалів за напрямом дослідження;
- використання антропометричних вимірювань
- здійснення непрямой калориметрії для оцінки енергетичних витрат організму;
- застосування методів математичної статистики для обробки отриманих даних.

Ці методи дозволили зібрати всебічну інформацію та забезпечити наукову обґрунтованість і надійність отриманих результатів.

##### **2.1.1 Теоретичний аналіз, узагальнення та систематизація даних фахової науково-методичної літератури та документальних матеріалів**

У процесі дослідження літературних джерел і систематизації інформації з фахової літератури було сформовано загальне розуміння об'єкта дослідження, визначено актуальність проблеми та оцінено перспективи обраної тематики. Активно використовувалися інформаційні ресурси для пошуку наукових публікацій і статей, такі як PubMed, Google Scholar та ScienceDirect. Перевага надавалася публікаціям пізніше 2015 року.

Аналіз літературних джерел забезпечив глибоке розуміння проблеми та надав можливість використовувати отримані дані при підготовці вступної частини, огляду літератури, а також розділу, присвяченого вибору й опису методів дослідження та при обговоренні отриманих результатів.

## 2.1.2 Метод антропометрії

Використовували показники довжини тіла (ДТ) та маси тіла (МТ). Дані про довжину тіла були отримані з результатів попередніх медичних обстежень спортсменів, проведених у рамках диспансеризації (вимірювання були здійснені за допомогою стадіометру). Вимірювання маси тіла спортсменів проводилося за стандартною процедурою на пристрої Tanita BC-545 (Японія) під час стандартної процедури обстеження спортсменів перед проведенням подальших досліджень співробітниками Державного науково-дослідного інституту фізичної культури і спорту. Перед проведенням непрямой калориметрії спортсмени надавали ці дані для внесення до програмного забезпечення приладу Fitmate, як того вимагає процедура вимірювання енерговитрат у стані спокою на даному приладі.

На основі отриманих антропометричних даних (маса та довжина тіла) розраховували індекс маси тіла (ІМТ) за загальноприйнятою формулою:

$$\text{ІМТ} = \frac{\text{МТ}}{\text{ДТ}^2}$$

де МТ – маса тіла (кг), ДТ – довжина тіла (м).

## 2.1.3 Методи для визначення енерговитрат у стані спокою

### 2.1.3.1 Непряма калориметрія

Непряма калориметрія вважається золотим стандартом для визначення енерговитрат у стані спокою [61]. В основі методу лежить розрахунок витрат енергії відповідно до споживання кисню та виділення вуглекислого газу під час дихання. На основі аналізу газового складу повітря, що вдихається та видихується, розраховують продукцію тепла.

У нашому дослідженні витрати енергії в стані спокою (ккал/день) вимірювали за допомогою непрямого калориметра Fitmate Cosmed (Італія). Точність вимірювань цього приладу підтверджена порівнянням отриманих даних з результатами, отриманими за допомогою мішка Дугласа в дослідженні Nieman [132], а дослідження Campbell підтверджує надійність



вимірювань згідно системи оцінки надійності вимірювань тест-ретест як у межах одного дня, так і між двома різними днями [62]. Перед початком дослідження було проведено повне сервісне обслуговування вимірювального приладу. Калібрування виконувалося відповідно до інструкцій виробника. Дослідження проводили зранку натще, до тренувань. Після вимірювання довжини та маси тіла здійснювали вимірювання енерговитрат у стані спокою у положенні лежачи на спині протягом 15 хвилин. Під час проведення дослідження було дотримано спеціального протоколу [98] для вимірювання енерговитрат у стані спокою за допомогою непрямой калориметрії (Таблиця 2.1).

**Таблиця 2.1** – Умови проведення вимірювання енерговитрат у стані спокою шляхом непрямой калориметрії

Критерій	Рекомендації щодо вимірювання
Голод (для уникнення харчового термогенезу)	Мінімальний період голодування становить 5 годин після прийому їжі.
Споживання алкоголю	Мінімальне утримання від алкоголю становить 2 години
Споживання нікотину	Мінімальне утримання від нікотину становить 2 години
Період відпочинку безпосередньо перед вимірюванням	Відпочинок 10–20 хвилин
Обмеження фізичної активності	Мінімальне утримання від помірних аеробних або анаеробних вправ становить 2 години перед тестом, утримання від інтенсивних силових вправ – щонайменше 14 годин
Умови навколишнього середовища	Температура в приміщенні від 20 до 25 °С. Забезпечення фізичного комфорту кожної особи під час вимірювань

Продовження таблиці 2.1

Умови стабільного стану та інтервал вимірювання	Вилучення перших 5 хвилин вимірювання. Досягнення щонайменше 5-хвилинного періоду з коливаннями енерговитрат не більше 10 %.
---	--

### 2.1.3.2 Визначення енерговитрат у стані спокою за допомогою розрахункових формул

Для порівняння фактичних ЕВС з розрахованими за формулами були вибрані максимально релевантні для вікових груп 18–35 та 15–17 років та статі формули на основі показників маси тіла, довжини тіла та віку. Такий підхід був зумовлений наявністю даних щодо однакової здатності формул як на основі безжирової маси, так і формул на основі маси тіла прогнозувати ЕВС [118,128] серед однієї групи спортсменів, а також більшою доступністю вимірювань маси тіла порівняно з визначенням безжирової маси тіла, оскільки останнє потребує наявності спеціального обладнання. В результаті були обрані як широковідомі загально популяційні формули [111], так і формули, розроблені спеціально для спортсменів[88].

Формули, використані для підрахунку ЕВС розрахунковим методом у спортсменів віком 18–35 років:

Гаріса-Бенедикта [55]:

$$\text{ЕВС} = 66,47 + 13,75 (\text{МТ}) + 5 (\text{ДТ}) - 6,76 (\text{В}) \quad (1)$$

де МТ — маса тіла (кг), ДТ — довжина тіла (см), В — вік (роки).

Міффіліна [8]:

$$\text{ЕВС} = 9,99 (\text{МТ}) + 6,25(\text{ДТ}) - 4,92(\text{В}) + 166(1) - 161 \quad (2)$$

ВООЗ [60] для чоловіків 18-30 років (3 а) та 30-60 років (3 б):

$$\text{ЕВС} = (15,3 \times \text{МТ}) + 679 \quad (3 \text{ а})$$

$$\text{ЕВС} = (11,6 \times \text{МТ}) + 879 \quad (3 \text{ б})$$

Де Лорензо [10]:

$$EBC = (9 \times MT) + (1170 \times DT) - 857 \quad (4)$$

тен Гааф [116]:

$$EBC = (11,936 \times MT) + (587,728 \times DT) - (8,29 \times B) + (191,027 \times 1) + 9,279 \quad (5)$$

Фрейре [78]:

$$EBC = 729,50 + 175,64(1) - 7,23(B) + 15,87(MT) + 1,08(DT) \quad (6)$$

Формули, використані для підрахунку EBC розрахунковим методом у спортсменів віком 15–17 років:

ВООЗ [60]:

$$EBC = (17,5 \times MT) + 651 \quad (7)$$

Інституту медицини (ІОМ) [43]:

$$EBC = 68 - (43,3 \times B) + (712 \times DT) + (19,2 \times MT) \quad (8)$$

Шофілда [108]:

$$EBC = (17,686 \times MT) + 658,2 \quad (9)$$

Генрі [57]:

$$EBC = (18,4 \times MT) + 581 \quad (10)$$

Ганнона [49]:

$$EBC = 1254 + (9,5 \times MT) \quad (11)$$

Реале [76]:

$$EBC = (11,1 \times MT) + (8,4 \times DT) - 340 \quad (12)$$

Формули, використані для підрахунку EBC розрахунковим методом у спортсменок віком 18–35 років:

Гаріса-Бенедикта [55]:

$$EBC = 655,1 + 9,56 (MT) + 1,85 (DT) - 4,68 (B) \quad (13)$$

Міффліна [8]:

$$EBC = 9,99 (MT) + 6,25(DT) - 4,92(B) + 166(0) - 161 \quad (14)$$

ВООЗ [60] для жінок 18-30 років (15 а) та для жінок 30-60 років (15 б):

$$EBC = (14,7 \times MT) + 496 \quad (15 \text{ а})$$

$$EBC = (8,7 \times MT) + 829 \quad (15 \text{ б})$$

тен Гааф [116]:

$$EBC = (11,936 \times MT) + (587,728 \times DT) - (8,29 \times V) + (191,027 \times O) + 9,279 \quad (16)$$

Фрейре [78]:

$$EBC = 729,50 + 175,64(1) - 7,23(V) + 15,87(MT) + 1,08(DT) \quad (17)$$

Також для порівняння фактичних EBC з розрахованими у спортсменок віком 18–35 років використовували формулу Де Лорензо (4), яка існує в універсальному варіанті без урахування статі [10]:

Формули, використані для підрахунку EBC розрахунковим методом у спортсменок віком 15–17 років:

ВООЗ [60]:

$$EBC = (12,2 \times MT) + 746 \quad (18)$$

ЮМ [43]:

$$EBC = 189 - (17,6 \times V) + (625 \times DT) + (7,9 \times MT) \quad (19)$$

Шофілда [108]:

$$EBC = (13,384 \times MT) + 692,6 \quad (20)$$

Генрі [57]:

$$EBC = (11,1 \times MT) + 761 \quad (21)$$

Реале [76]:

$$EBC = (11,1 \times MT) + (8,4 \times DT) - 537 \quad (22)$$

Також для порівняння фактичних EBC з прогнозованими за допомогою формул у спортсменок віком 15–17 років використовували формулу Ганнона (11) для спортсменів-підлітків [49], яка існує в універсальному варіанті без урахування статі.

#### 2.1.4 Методи математичної обробки результатів

Обробка отриманих даних виконувалася окремо для чоловіків та жінок віком 18–35 років та віком 15–17 років з застосуванням наступних статистичних методів: визначення середнього та стандартного відхилення, перевірка на нормальність розподілу даних за критерієм Шапіро-Уїлка, визначення значущості відмінностей між ЕВС у спортсменів та спортсменок віком 18–35 років – U-критерій Мана-Уїтні (оскільки фактичні ЕВС у спортсменок віком 18–35 років не підлягають закону нормального розподілу). Визначення значущості відмінностей між ЕВС у спортсменів та спортсменок віком 15–17 років – критерій Стьюдента для незалежних вибірок (оскільки дані мають нормальний розподіл). Визначення значущості відмінностей у ЕВС між всіма 4 групами (спортсмени/спортсменки 18–35 років та юнаки/дівчата 15–17 років) – за допомогою критерію Краскала-Воліса.

Взаємозв'язок між енерговитратами у стані спокою, антропометричними параметрами та віком оцінювали за допомогою критерію кореляції Пірсона ( $r$ ) для вибірок з нормальним розподілом даних та згідно з критерієм рангової кореляції Спірмена ( $\rho$ ) для вибірок, які не підлягають нормальному розподілу даних. Відмінності вважали статистично значущими при  $p \leq 0,05$ .

Значущість відмінностей між вимірними та обчисленими за формулами значеннями оцінювали за допомогою парного t-критерію Стьюдента (для вибірок, які підлягають нормальному розподілу), та T-критерію Вілкоксона (для вибірок які не підлягають нормальному розподілу) для кожної формули окремо.

Для оцінки точності визначення енерговитрат у стані спокою за допомогою розрахункових формул був використаний метод Бланда-Альтмана, який широко використовується в наукових дослідженнях для оцінки узгодженості різних методів вимірювання [25]. Він передбачає побудову графіка, на якому зображені різниці між вимірюваннями двох методів на осі Y та середні значення цих вимірювань на осі X. Це дозволяє візуально

оцінити узгодженість між методами, виявити систематичні зміщення і межі узгодженості, що вказують на діапазон, в якому знаходяться більшість різниць між методами.

Також для кожної пари фактичні ЕВС-розраховані за формулою був визначений внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції (ВКК), який використовується для оцінки надійності або узгодженості вимірювань між кількома спостерігачами або приладами. ВКК показує, наскільки вимірювання, зроблені різними методами або оцінювачами, схожі між собою. Значення ВКК варіюється від 0 до 1, де 0 означає відсутність узгодженості, а 1 вказує на ідеальну узгодженість. Високий ВКК свідчить про те, що більша частина варіабельності даних пояснюється різницею між об'єктами вимірювання, а не між спостерігачами чи методами.

Для порівняння точності формул також виконували наступне: на основі загальноприйнятого в науковій літературі [39, 81, 88] підходу вважати відхилення між розрахунковими та виміряними 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 виміряними ЕВС. Цей показник є мірою точності моделі або методу вимірювання, що відображає середню величину відхилень між прогнозованими і фактичними значеннями. КСКП обчислюється як квадратний корінь із середнього значення квадратів різниць між цими значеннями. Чим менше значення КСКП, тим точніше модель або метод відповідає фактичним даним. Корінь із середньоквадратичної помилки особливо корисний для порівняння різних моделей або методів, оскільки він показує, наскільки передбачення або вимірювання відхиляються від реальних значень.

Для більш детального аналізу впливу вибору формули на визначення добових енерговитрат був здійснений розрахунок добових енерговитрат з

використанням коефіцієнта фізичної активності 2,2 на основі фактичних ЕВС, а також на основі ЕВС, розрахованих за кожною з досліджених формул.

Для оцінки, як різні формули впливають на інтерпретацію наявності або відсутності низької доступності енергії, було розраховано індекс енерговитрат у стані спокою (ЕВС). Індекс визначали як співвідношення фактичних ЕВС до розрахованих за формулою, при цьому значення  $\leq 0,89$  трактували як ознаку низької доступності енергії [67, 73, 114]. Такий підхід забезпечив комплексне уявлення про точність формул та їх потенційну придатність для розробки раціонів харчування та моніторингу енергетичного балансу спортсменів.

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

## **2.2 Організація дослідження**

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

Дослідження проводилися на базі Державного науково-дослідного інституту фізичної культури і спорту у 2019-2021 роках. Було здійснено 142 дослідження антропометричних параметрів (довжина та маса тіла) та енерговитрат у стані спокою у спортсменів вікових груп 18–35 та 15–17 років, які є членами національних збірних команд України з видів спорту з переважним проявом витривалості. Розподіл спортсменів на вікові групи здійснено на основі практичних аспектів медико-біологічного супроводу спортсменів, зокрема підходів, що використовуються у спортивній медицині

та дієтології. Відповідно до клінічної практики спортивних лікарів і дієтологів, осіб віком від 18 років розглядають як дорослих, оскільки з цього віку змінюються підходи до медичного спостереження та організації харчування, що обумовлено відмінностями у метаболічних процесах і фізіологічних потребах у дітей та дорослих, а також різними підходами до діагностики, лікування та профілактики захворювань для цих вікових груп.

Кількість учасників дослідження за окремими видами спорту представлена у таблиці 2.2.

**Таблиця 2.2** – Розподіл учасників дослідження за видами спорту, (n = 142)

Вид спорту	Кількість учасників			
	Чоловіки		Жінки	
	18–35 р.	15–17р.	18–35 р.	15–17 р.
Веслування академічне	14	-	8	1
Веслування на байдарках та каное	7	5	3	12
Біатлон	29	17	11	7
Триатлон	3	1	7	1
Сучасне п'ятиборство	9	4	9	1
Всього:	62	27	31	22

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.



### РОЗДІЛ 3

## ЕНЕРГОВИТРАТИ У СТАНІ СПОКОЮ У СПОРТСМЕНІВ ЧОЛОВІЧОЇ СТАТІ

### 3.1 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років

Серед спортсменів чоловічої статі видів спорту з переважним проявом витривалості було проведено 62 вимірювання ЕВС. Середні дані учасників дослідження представлені у таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1** – Загальні характеристики дорослих спортсменів чоловічої статі, (n = 62)

Показник	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
Вік, роки	24,3 ± 4,5	18	35
Довжина тіла, м	1,83 ± 0,08	1,63	2,01
Маса тіла, кг	78,4 ± 11,0	58,4	103,4
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	23,4 ± 2,2	19,7	29,6
ЕВС, ккал/доба	2140 ± 373	1400	3231
ЕВС, ккал/доба/кг	27,3 ± 3,0	18,2	33,1

**Примітка.**  $\bar{X}$  – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

За результатами перевірки на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Вілка енерговитрати у стані спокою у досліджених спортсменів підлягають закону нормального розподілу ( $p = 0,069$ ). Тому для оцінки зв'язку між антропометричними та віковими характеристиками обстежених спортсменів з енерговитратами у стані спокою був виконаний кореляційний аналіз з визначенням коефіцієнтів кореляції Пірсона. Результати наведені у таблиці 3.2

**Таблиця 3.2** – Зв'язок ЕВС з віком та антропометричними параметрами у дорослих спортсменів чоловічої статі, кореляційний аналіз за Пірсоном, (n = 62)

Показник	r	p	r <sup>2</sup>
Вік, роки	<b>0,37</b>	<b>0,003</b>	0,137
Довжина тіла, м	<b>0,59</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,350
Маса тіла, кг	<b>0,75</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,564
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	<b>0,58</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,332

**Примітка 1.** r – коефіцієнт кореляції; p – значення ймовірності; r<sup>2</sup> – коефіцієнт детермінації.

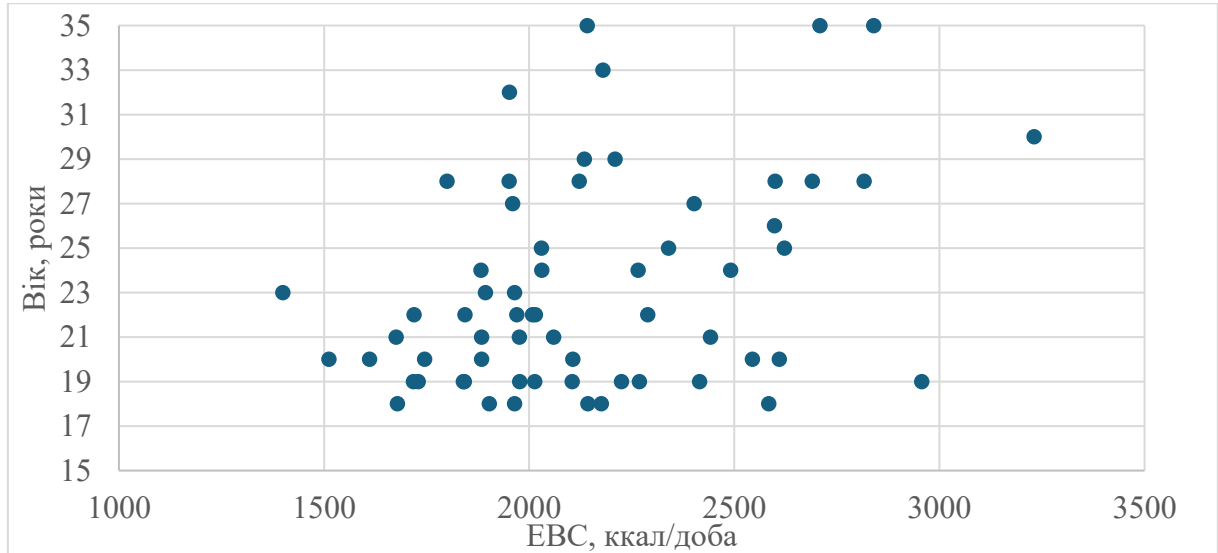
**Примітка 2.** Значення, виділені жирним шрифтом, відрізняються від 0 на рівні значущості  $\alpha = 0,05$ .

Отримані дані свідчать про наступне:

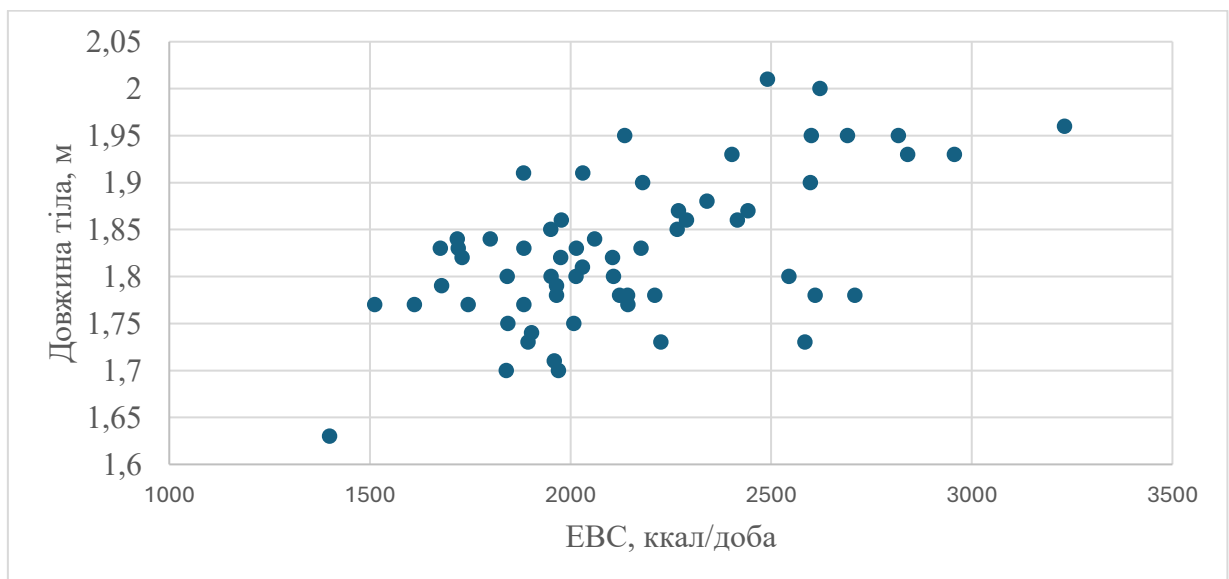
- існує слабкий позитивний зв'язок між віком і енерговитратами. Коефіцієнт детермінації вказує на те, що вік пояснює лише 14 % варіації у енерговитратах у стані спокою;
- спостерігається помірний позитивний зв'язок між довжиною тіла і енерговитратами у стані спокою. Значення коефіцієнта детермінації вказує на те, що зріст пояснює 35 % варіації у енерговитратах;
- коефіцієнт кореляції між масою тіла та енерговитратами у стані спокою свідчить про сильний позитивний зв'язок між цими показниками. Значення коефіцієнта детермінації вказує на те, що маса тіла пояснює 56 % варіації у енерговитратах у стані спокою;
- між ІМТ і ЕВС існує помірний позитивний зв'язок, а коефіцієнт детермінації вказує на те, що ІМТ пояснює значну (33%) частину варіації у енерговитратах у стані спокою.

На підставі цих даних можна стверджувати, що найбільше варіації енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років пояснює маса тіла, а найменше - вік.

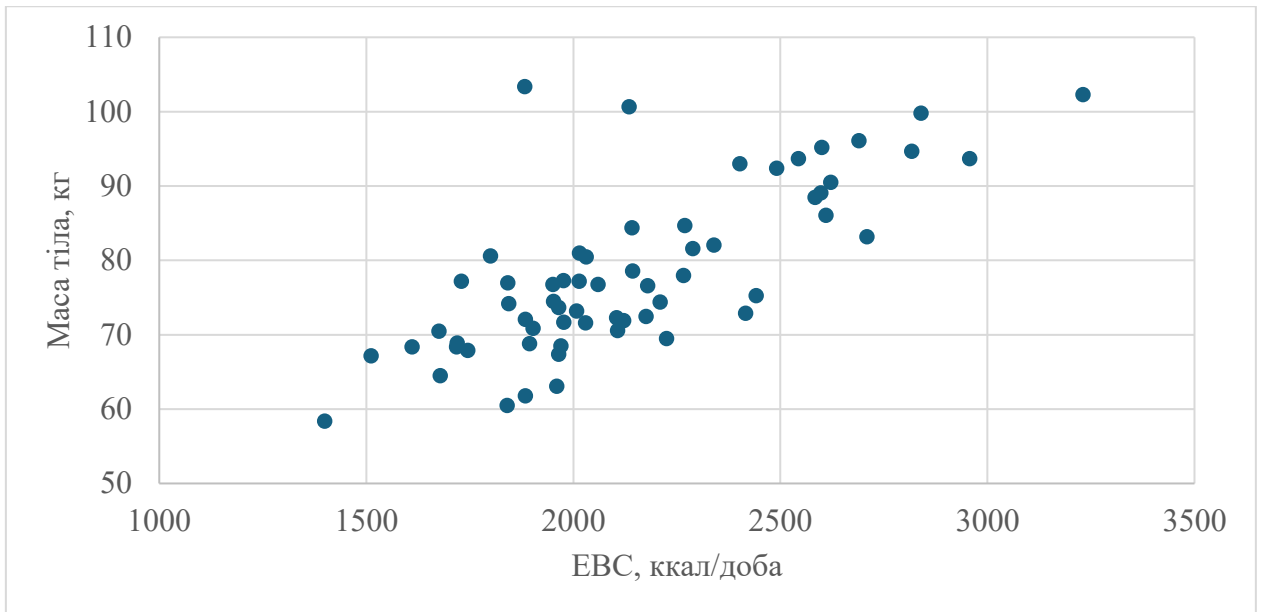
Для кращого візуального уявлення про зв'язок між змінними зроблено діаграми розсіювання (рис.3.1-3.4), які ілюструють розподіл даних та взаємозв'язок між ними.



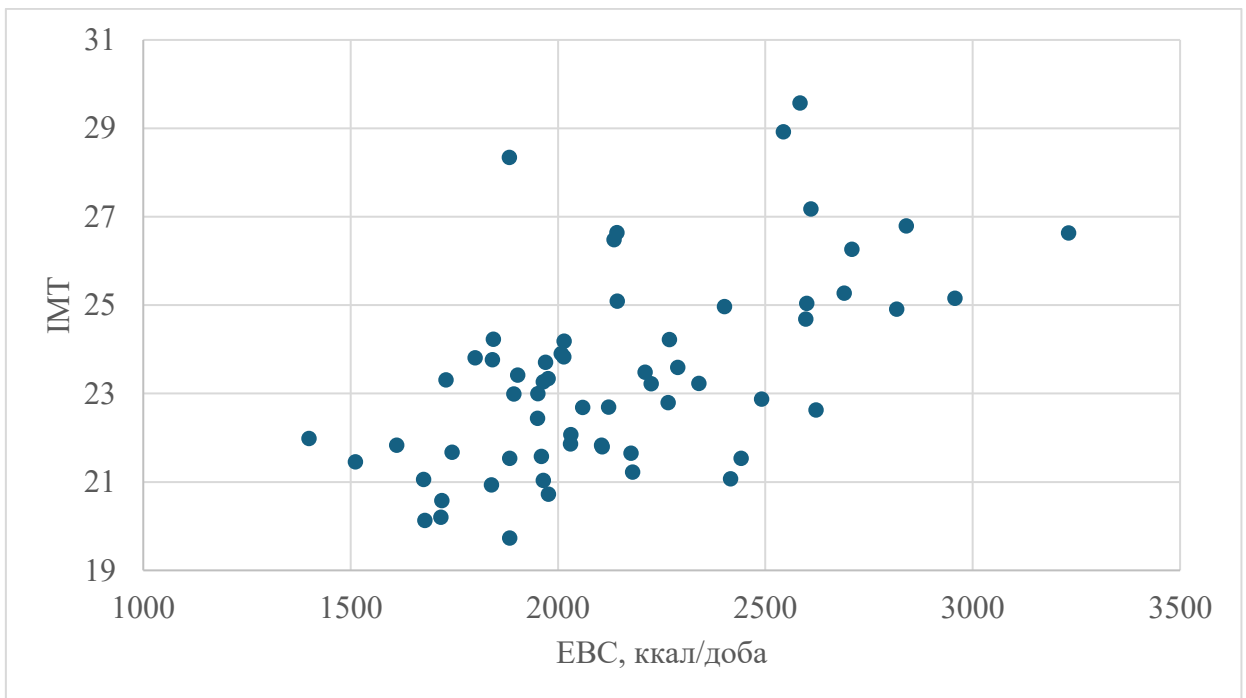
**Рисунок 3.1** – Залежність між віком та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 18–35 років



**Рисунок 3.2** – Залежність між довжиною тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 18–35 років



**Рисунок 3.3** – Залежність між масою тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 18–35 років



**Рисунок 3.4** – Залежність між індексом маси тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 18–35 років

### 3.2 Порівняння вимірних ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років

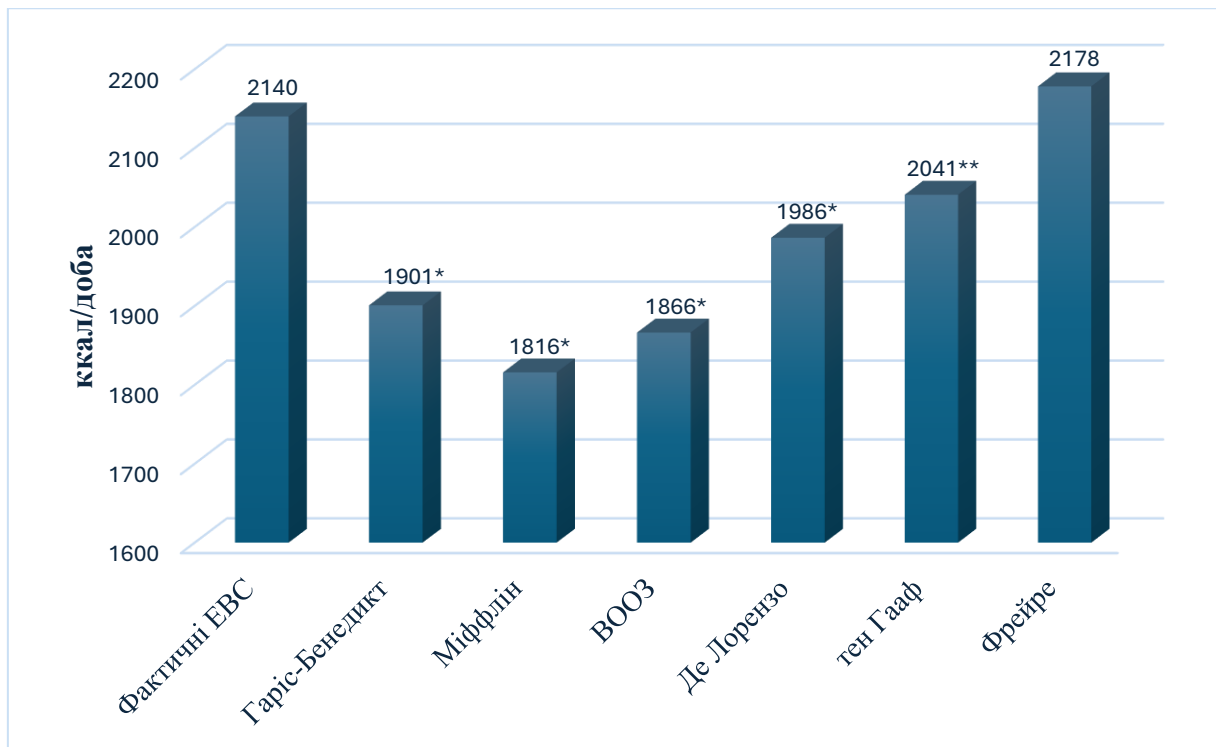
Для порівняння фактичних значень ЕВС з розрахованими за формулами були вибрані 3 загально популяційні формули для чоловіків (Гаріса-Бенедикта, Міффліна, ВООЗ) та 3 формули розроблені спеціально для спортсменів (Де Лорензо, тен Гааф, Фрейре).

**Таблиця 3.3** – Порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою з обчисленими за допомогою формул у спортсменів віком 18–35 років, (n = 62)

ЕВС	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
Фактичні	2140±373	1400	3231
Гаріс-Бенедикт	1901±171	1529	2281
Міффлін	1816±142	1494	2114
ВООЗ	1866±159	1573	2261
Де Лорензо	1986±179	1576	2357
тен Гааф	2041±156	1688	2382
Фрейре	2178±169	1842	2579

**Примітка.**  $\bar{X}$ – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

Значущість відмінностей меж фактичними енерговитратами у стані спокою та розрахованими за допомогою формул визначалася за допомогою парного t-критерію Стьюдента, оскільки вибірка підлягає закону нормального розподілу даних. Значущість відмінностей визначали окремо для кожної із досліджених розрахункових формул, порівнюючи дані розрахунку з фактичними енерговитратами у стані спокою, які були виміряні шляхом непрямой калориметрії. Результати представлені на рисунку 3.5.



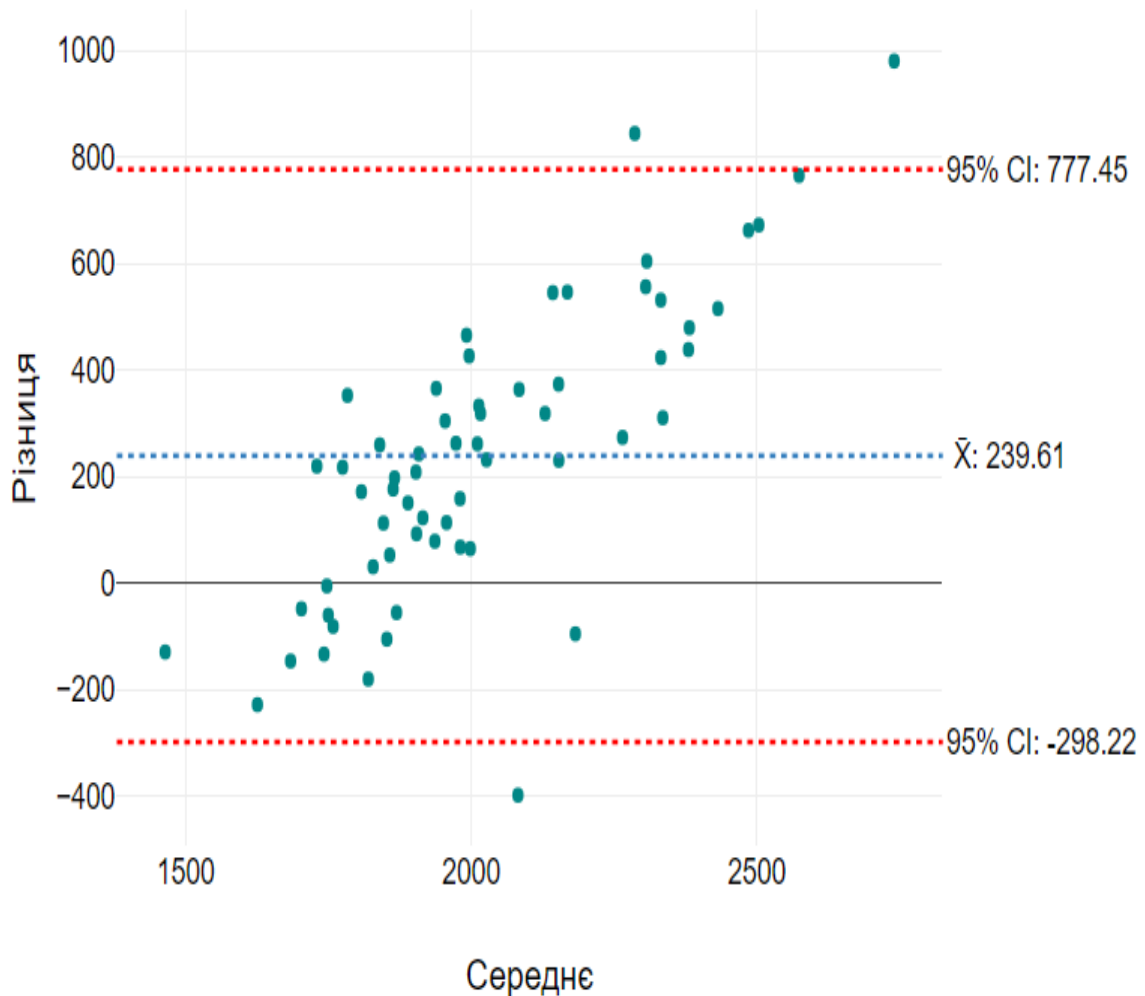
**Примітка 1.** \* – різниці статистично значущі на високому рівні ( $p \leq 0,01$ ).

**Примітка 2.** \*\* – різниці статистично значущі ( $p \leq 0,05$ ).

**Рисунок 3.5** – Середньогрупові величини фактичних та розрахованих за допомогою формул енерговитрат у стані спокою у дорослих спортсменів ( $n = 62$ )

На високому  $p \leq 0,001$ ) рівні статистичної значущості виявлені відмінності між фактичними ЕВС та розрахованими за допомогою формул Гаріса-Бенедикта, Міффліна та ВООЗ. Виявлена статистично значуща ( $p \leq 0,005$ ) відмінність між фактичними ЕВС та розрахованими за формулою тен Гааф і за формулою Де Лоренцо у спортсменів чоловічої статі.

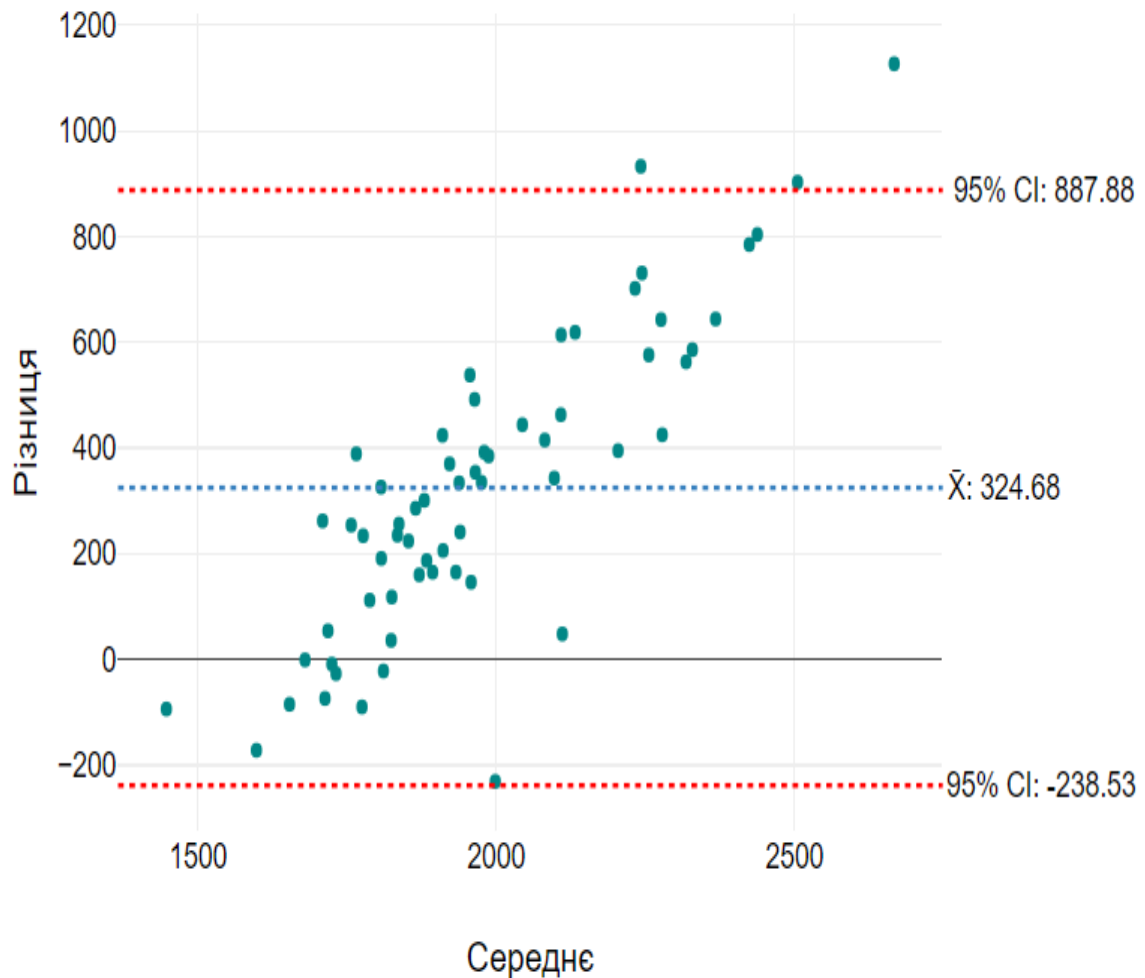
Для оцінки точності визначення енерговитрат у стані спокою за розрахунковими формулами було застосовано метод Бланда-Альтмана. Цей метод є одним із найпоширеніших у наукових дослідженнях і дозволяє оцінити узгодженість між різними методами вимірювання та виявити систематичні відхилення розрахункових формул. Графіки Бланда-Альтмана представлені на рисунках 3.6–3.11.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.6** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Гаріса-Бенедикта енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Гаріса-Бенедикта свідчать, що існує досить суттєва середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також значний діапазон різниці між значеннями. Ці дані також підтверджує внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Гаріса-Бенедикта енерговитратами у стані спокою, який становить 0,586 і свідчить про помірне узгодження між цими показниками.



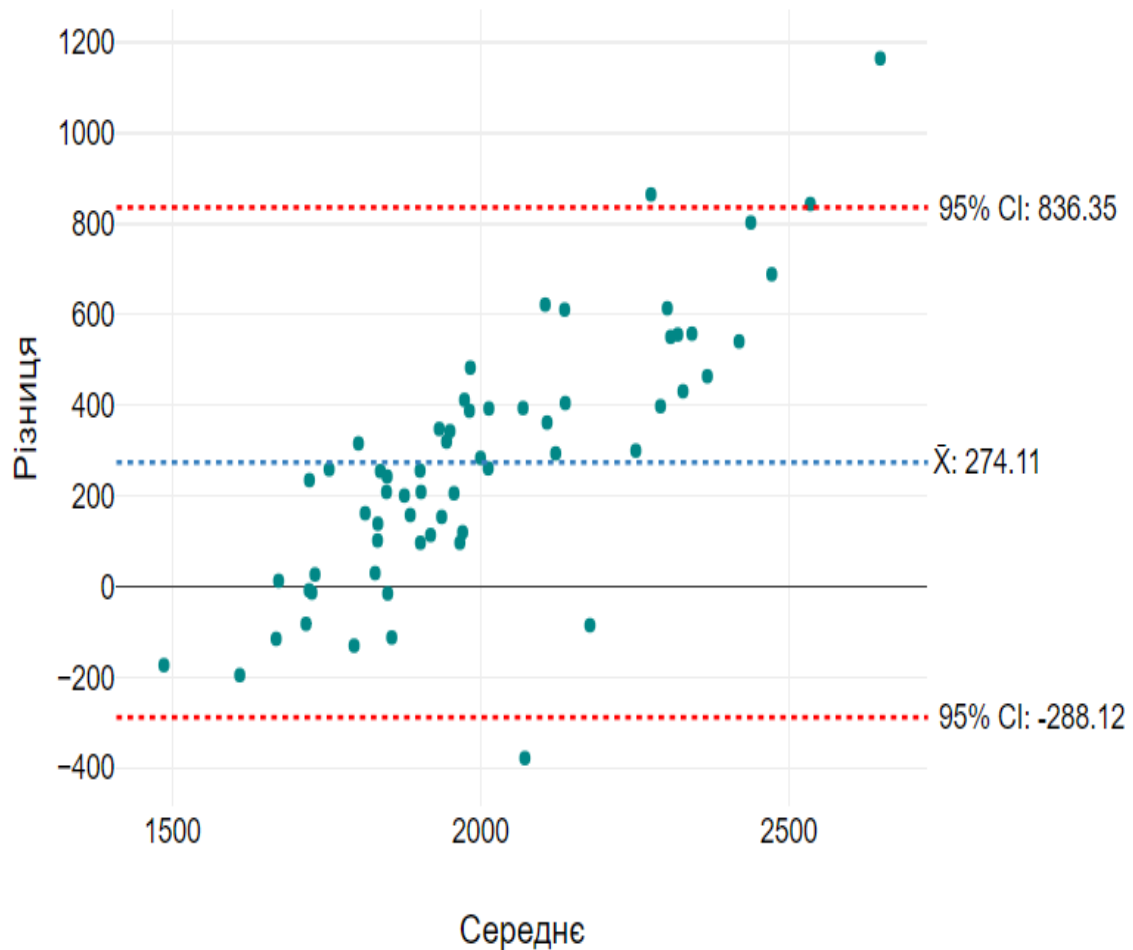
**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.7** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Міффіліна енерговитрат у стані спокою

Середня різниця між парами вимірювань для формули Міффіліна є ще більшою, ніж для формули Гарріса-Бенедикта, що свідчить про більшу варіабельність результатів. При цьому спостерігається тенденція до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями. Додатково відмічається значний діапазон коливань між парами вимірювань. Коефіцієнт внутрішньокласової кореляції між формулою Міффіліна та фактичними значеннями енерговитрат у стані спокою становить



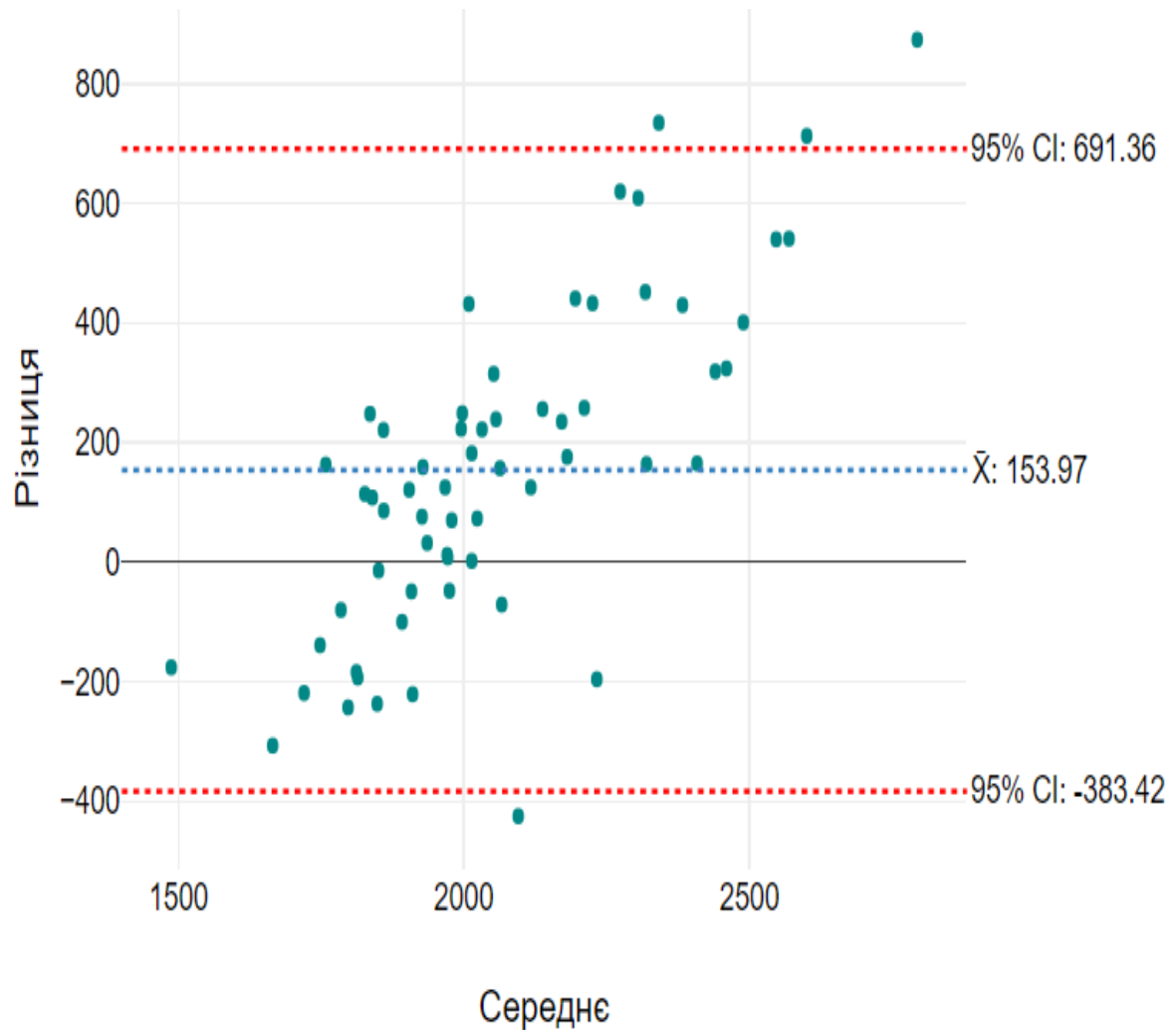
0,451, що вказує на слабку узгодженість між розрахунковими та реальними показниками.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.8** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули ВООЗ енерговитрат у стані спокою

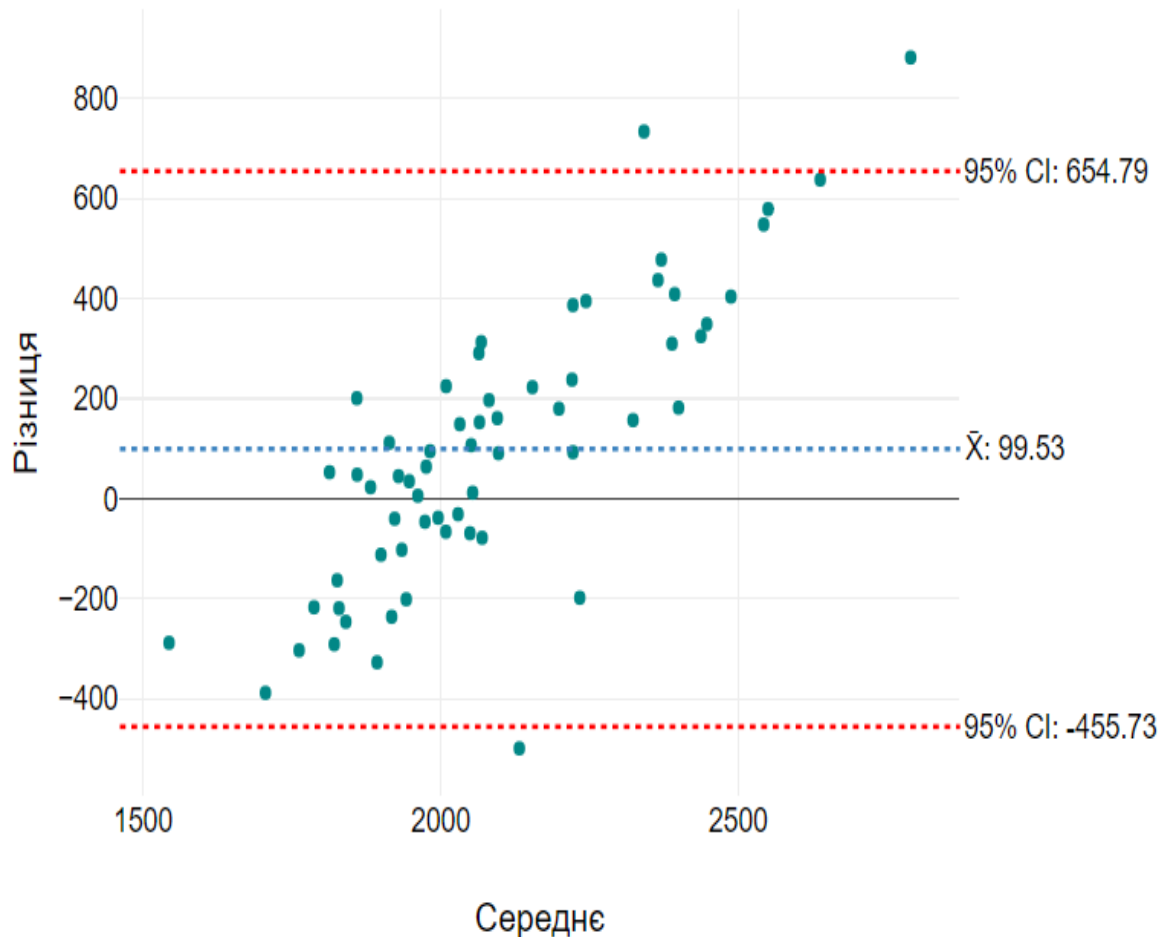
Середня різниця між парами вимірювань для формули менша, ніж для Міффіна, проте більша, ніж для формул Гаріса-Бенедикта і також суттєва і має тенденцію до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, відмічається широкий діапазон різниці між парами. Коефіцієнт внутрішньо класової кореляції для формули ВООЗ і фактичних ЕВС становить 0,513, що свідчить про середню узгодженість.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % СІ – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.9** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Де Лорензо енерговитрат у стані спокою

Середня різниця менша, ніж у попередніх формул (з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями), проте також досить великий діапазон коливання різниці. Внутрішньо класовий коефіцієнт становить 0,663, що свідчить про середню узгодженість між фактичними та розрахованими за допомогою формули Де Лорензо енерговитратами у стані спокою.

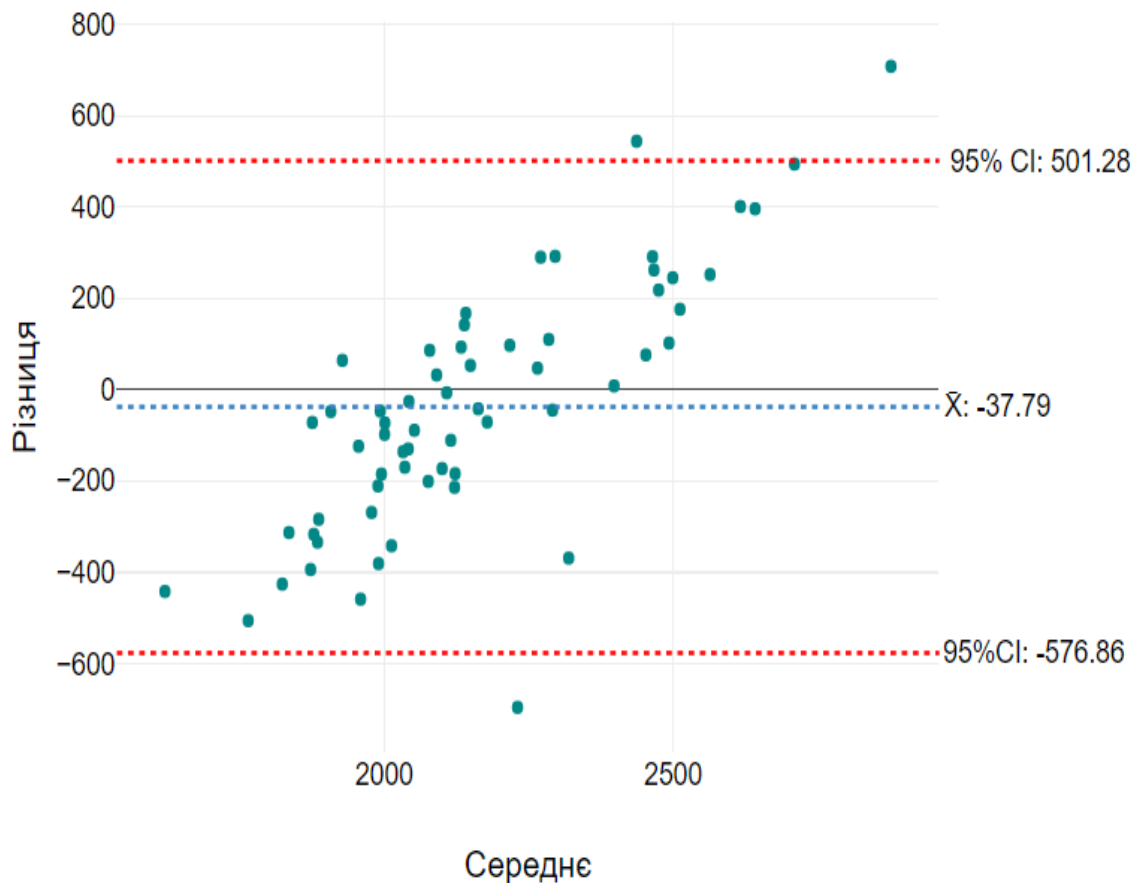


**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.10** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули тен Гааф енерговитрат у стані спокою

Середня різниця між парами вимірювань, а також діапазон її коливань для формули тен Гааф є меншими порівняно з попередніми розрахунковими формулами. Це свідчить про певну стабільність отриманих результатів. Однак, при цьому спостерігається тенденція до недооцінки енерговитрат у стані спокою, якщо порівнювати їх із фактичними значеннями.

Додатково, було визначено внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції, який дорівнює 0,652. Це значення свідчить про середній рівень узгодженості між фактичними енерговитратами у стані спокою та тими, що були розраховані за допомогою формули тен Гааф.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.11** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Фрейре енерговитрат у стані спокою

Середня різниця для пари вимірювань фактичних та розрахованих за допомогою формули Фрейре найменша серед усіх розглянутих формул. Про більшу точність цієї формули це також свідчить найбільший внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції серед усіх досліджених формул, який становить 0,708.

Також в межах даного дослідження було здійснено порівняння відсотків коректного розрахунку за кожною зі застосованих формул. За результатами аналізу літератури за темою дослідження коректний розрахунок було прийнято як відхилення  $\pm 10\%$  від фактичних енерговитрат у стані спокою ( $EVC_{\text{факт}}$ ) (табл. 3.4).

**Таблиця 3.4** – Коректний розрахунок, переоцінка та недооцінка розрахункових формул порівняно з фактичними енерговитратами у стані спокою | серед дорослих спортсменів-чоловіків, (n = 62)

Формула	КР, %	ПО, %	НО, %	КСКП, ккал
Гаріс-Бенедикт	44	3	53	257
Міффлін	32	3	65	259
ВООЗ	37	5	58	272
Де Лорензо	48	15	37	261
тен Гааф	55	18	27	263
Фрейре	61	26	13	257

**Примітка.** КР – коректний розрахунок (90–110 % ЕВС<sub>факт</sub>); ПО – переоцінка ЕВС ( $\geq 111$  % ЕВС<sub>факт</sub>); НО – недооцінка ЕВС ( $\leq 89$  % ЕВС<sub>факт</sub>); КСКП – корінь із середньоквадратичної помилки.

Найбільший відсоток потрапляння в діапазон коректного розрахунку серед дорослих спортсменів чоловічої статі виявлено у формули Фрейре. Загально популяційні формули (Гаріса-Бенедикта, Міффліна, ВООЗ) мають найвищі відсотки недооцінки енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменів. Найменший відсоток недооцінки ЕВС у формули Фрейре.

Серед усіх провалідованих формул корінь із середньоквадратичної помилки знаходився в межах 12–13 % від фактичних середніх енерговитрат спортсменів-чоловіків.

Для кращого розуміння впливу різних розрахункових методик на оцінку добових енерговитрат було проведено додатковий аналіз. Ми здійснили розрахунок ДЕВ із застосуванням коефіцієнта фізичної активності, який дорівнює 2,2. Цей коефіцієнт було обрано відповідно до класифікації рівнів фізичної активності, запропонованої Всесвітньою організацією охорони здоров'я [60]. Такий підхід дозволяє оцінити, наскільки різняться значення добових енерговитрат залежно від того, за якою із формул були визначені енерговитрати у стані спокою. Отримані результати представлені у таблиці 3.5.

**Таблиця 3.5** – Розрахунок добових енерговитрат спортсменів віком 18–35 років за формулами з різною точністю, (n = 62)

ЕВС	ДЕВ	Δ ДЕВ, ккал/доба
Фактичні	4708	-
Гаріс-Бенедикт	4182	526
Міффлін	3995	713
ВООЗ	4105	603
Де Лорензо	4369	339
тен Гааф	4490	218
Фрейре	4792	- 84

**Примітка.** Δ ДЕВ – різниця між добовими енерговитратами розрахованими на основі фактичних ЕВС та на основі розрахованих за формулами ЕВС.

Найменша різниця між добовими енерговитратами, визначеними на основі фактичних енерговитрат у стані спокою та на основі розрахованих за формулами ЕВС становить 2 % для формули Фрейре, а найбільша – 15 % для формули Міффліна.

### **3.3 Оцінка низької доступності енергії у спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою**

Для повноцінної діагностики LEA рекомендується використовувати комплексний підхід, що включає аналіз споживання енергії з харчуванням, оцінку енерговитрат на фізичну активність, вимірювання енерговитрат у стані спокою (ЕВС), а також додаткові клінічні дослідження, такі як аналізи крові та оцінка гормонального статусу.

У нашому дослідженні, яке зосереджується на особливостях ЕВС у кваліфікованих спортсменів, ми обмежились аналізом фактичних ЕВС, визначених за допомогою непрямой калориметрії, та оцінкою індексу ЕВС,

розрахованого на основі шести різних формул. Це дозволяє оцінити, як різні методи розрахунку можуть впливати на виявлення можливих ризиків LEA і наскільки точними є ці формули для спортсменів із низькими ЕВС.

У рамках цього підрозділу було виділено п'ять спортсменів із найнижчими значеннями фактичних ЕВС серед групи чоловіків віком 18–35 років. Для кожного з них було розраховано індекси ЕВС за обраними формулами. Одержані дані наведені у таблиці 3.6, яка демонструє відмінності у співвідношеннях фактичних ЕВС та розрахованих значень залежно від використовуваної формули. Також для отримання більш повного уявлення про особливості спортсменів із найнижчими фактичними ЕВС у таблицю включено їх індекси маси тіла, оскільки цей показник може бути непрямим свідченням загального фізичного стану та енергетичного балансу спортсменів.

**Таблиця 3.6** – Індекси ЕВС за різними формулами у спортсменів віком 18–35 років із найнижчими фактичними ЕВС, (n = 5)

Показник	С 1	С 2	С 3	С 4	С 5
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	22	21,4	21,8	21,1	20,1
ЕВС фактичні, ккал/доба	1400	1512	1611	1676	1679
Гаріс-Бенедикт	0,92	<b>0,87</b>	0,92	0,93	0,97
Міффлін	0,94	0,90	0,95	0,96	1,00
ВООЗ	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	0,93	0,95	1,01
Де Лорензо	<b>0,89</b>	<b>0,83</b>	<b>0,88</b>	<b>0,87</b>	0,92
тен Гааф	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>	<b>0,84</b>	<b>0,85</b>	<b>0,89</b>
Фрейре	<b>0,76</b>	<b>0,75</b>	<b>0,79</b>	<b>0,81</b>	<b>0,84</b>

**Примітка 1.** С 1–С 5 – спортсмен 1–5.

**Примітка 2.** Виділені жирним шрифтом індекси означають низьку доступність енергії.

Індекси ЕВС, розраховані за різними формулами, демонструють суттєві коливання. Індекс за формулою Міффліна для всіх спортсменів свідчить про

нормальну доступність енергії, індекс за формулою Фрейре – про низьку доступність енергії у всіх спортсменів, як й індекс за формулою тен Гааф. Індекс за формулою ВООЗ оцінив доступність енергії як недостатню у 2 спортсменів з 5, індекс за формулою Гаріса-Бенедикта – у 1 спортсмена з 5. Індекс за формулою Де Лорензо свідчить про низьку доступність енергії у 4 спортсменів з 5.

### 3.4 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років

В межах даного дослідження було здійснено 27 вимірювань енерговитрат у стані спокою серед спортсменів віком 15–17 років. Середні дані учасників дослідження представлені у таблиці 3.5.

**Таблиця 3.7** – Загальні характеристики спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років, (n = 27)

Показник	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
Вік, роки	16,59±0,64	15,00	17,00
Довжина тіла, м	1,79 ± 0,05	1,70	1,88
Маса тіла, кг	71,1 ± 7,4	63,8	88,8
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	22,4 ± 1,8	19,3	27,0
ЕВС <sub>факт</sub> ккал/доба	2019 ± 337	1471	2628
ЕВС <sub>факт</sub> ккал/доба/кг	28,0 ± 3,5	21,4	35,9

**Примітка:**  $\bar{X}$  – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

У таблиці 3.6 наведено результати кореляційного аналізу наявності зв'язку між енерговитратами у стані спокою, віком та антропометричними параметрами у спортсменів віком 15–17 років.



**Таблиця 3.8** – Зв'язок ЕВС з віком та антропометричними параметрами у спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років, кореляційний аналіз за Пірсоном, (n = 27)

Показник	r	p	r <sup>2</sup>
Вік	0,18	0,378	0,03
Зріст, м	<b>0,50</b>	<b>0,007</b>	0,25
Маса тіла, кг	<b>0,69</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,48
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	<b>0,54</b>	<b>0,004</b>	0,29

**Примітка 1.** r – коефіцієнт кореляції; p – значення ймовірності; r<sup>2</sup> – коефіцієнт детермінації.

**Примітка 2.** Значення, виділені жирним шрифтом, відрізняються від 0 на рівні значущості  $\alpha = 0,05$ .

Отримані дані свідчать про наступне:

- відзначається слабкий позитивний зв'язок між віком і енерговитратами у стані спокою. Результат не є статистично значущим (p = 0,378), а значення коефіцієнта детермінації вказує на те, що вік пояснює лише 3% варіації у енерговитратах;

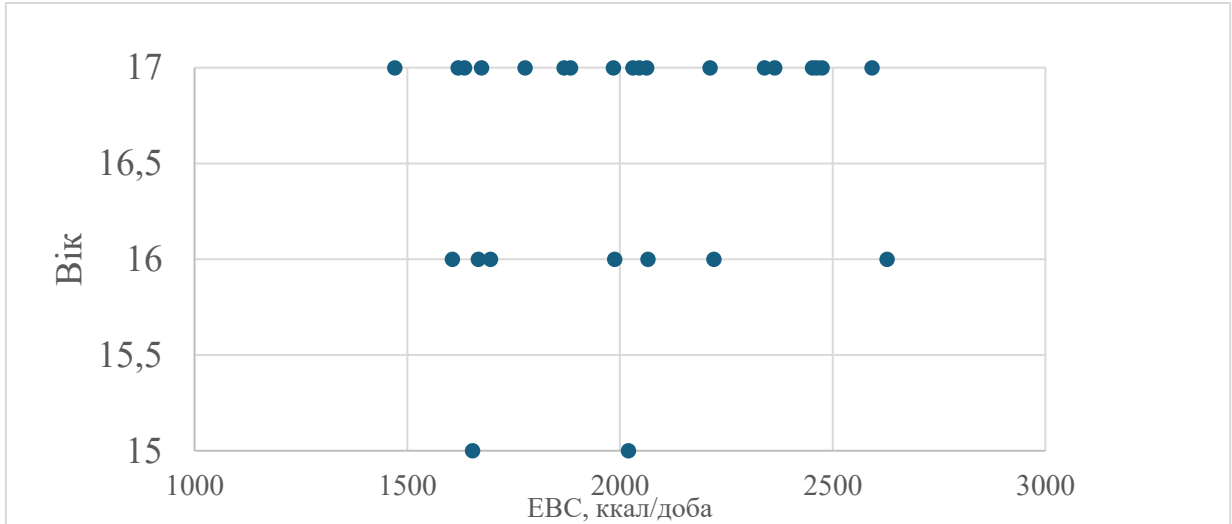
- спостерігається помірний позитивний зв'язок між зростом та енерговитратами у стані спокою, але коефіцієнт детермінації вказує на те, що зріст пояснює 25 % варіації у енерговитратах;

- відмічається сильний позитивний зв'язок між масою тіла та енерговитратами у стані спокою. Значення коефіцієнта детермінації свідчить про те, що маса тіла пояснює 48 % варіації у енерговитратах;

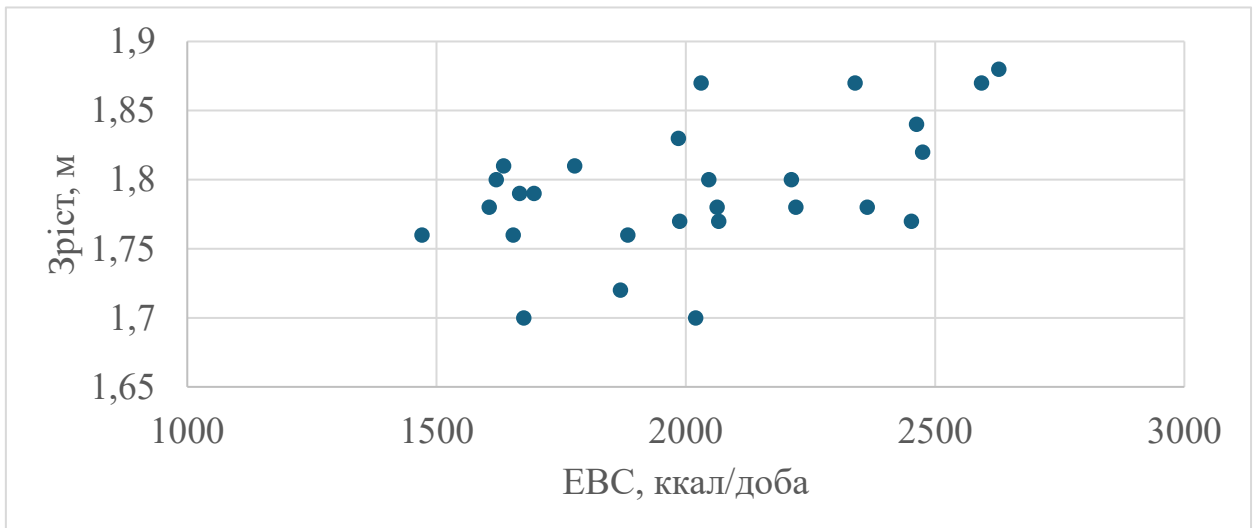
- коефіцієнт кореляції показує помірний позитивний зв'язок між ІМТ і енерговитратами у стані спокою. Значення коефіцієнта детермінації вказує на те, що ІМТ пояснює 29 % варіації у енерговитратах.

Таким чином, найбільше варіації енерговитрат у стані спокою серед спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років пояснює маса тіла, а найменше – вік.

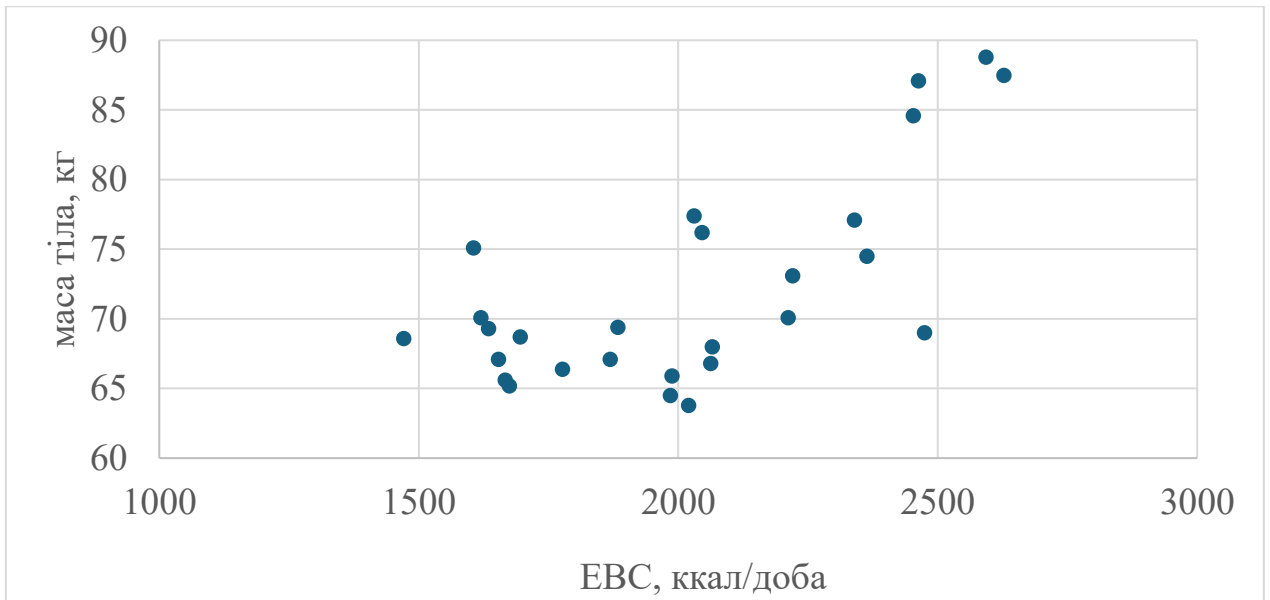
Для кращого візуального уявлення про зв'язок між змінними зроблено діаграми розсіювання (рис.3.12-3.15), які ілюструють розподіл даних та взаємозв'язок між ними.



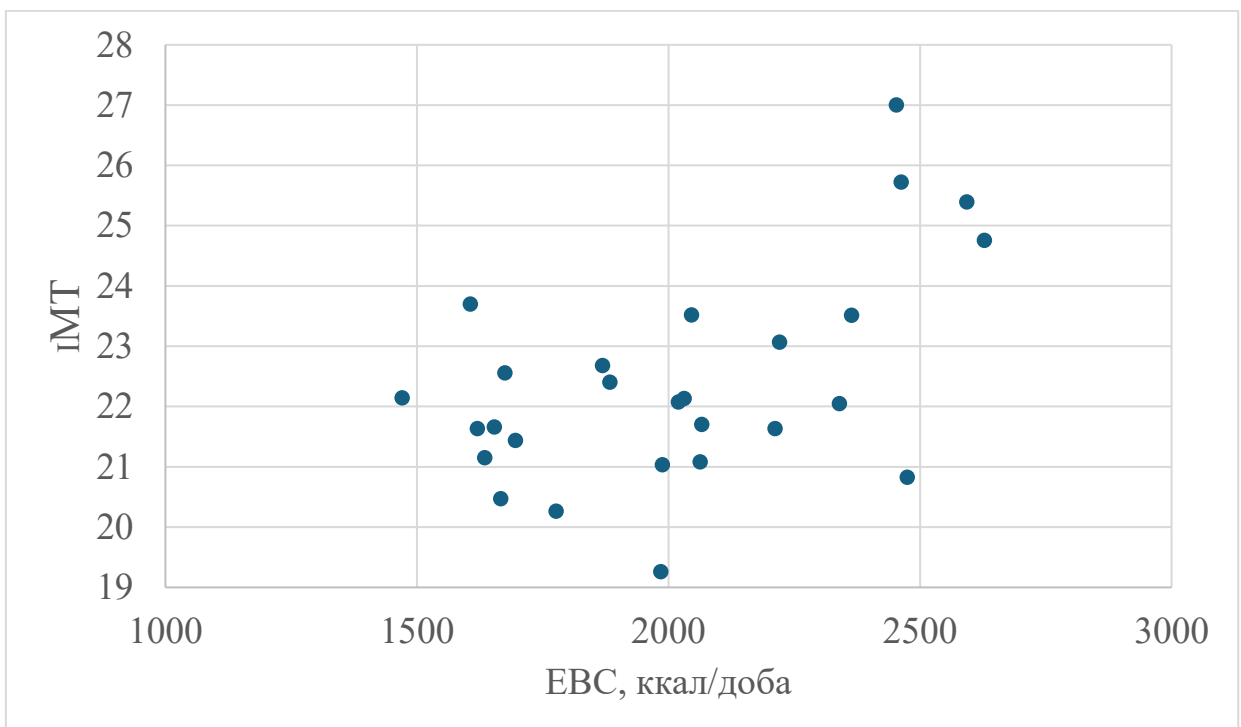
**Рисунок 3.12** – Залежність між віком та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 15–17 років



**Рисунок 3.13** – Залежність між довжиною тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 15–17 років



**Рисунок 3.14** – Залежність між масою тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 15–17 років



**Рисунок 3.15** – Залежність між індексом маси тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменів віком 15–17 років

### 3.5 Порівняння вимірних ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменів чоловічої статі 15–17 років

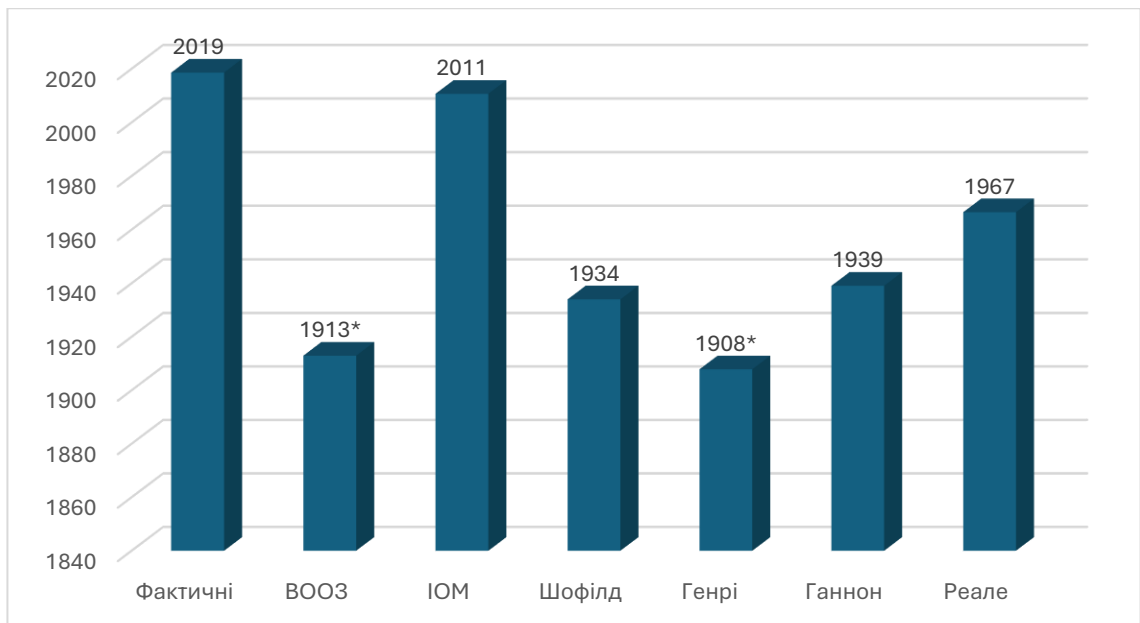
Для порівняння фактичних значень ЕВС з розрахованими за формулами були вибрані максимально релевантні для даної вікової групи та статі формули на основі показників маси тіла, довжини тіла та віку. Серед них 4 загально популяційні (ВООЗ, ІОМ, Шофілда та Генрі) та 2 формули розроблені спеціально для спортсменів-підлітків (Ганнона, Реале). Результати порівняння наведені у таблиці 3.7.

**Таблиця 3.9** – Порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою з обчисленими за допомогою формул у спортсменів віком 15–17 років, (n = 27)

ЕВС	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
Фактичні	2019 ± 337	1417	2628
ВООЗ	1913 ± 129	1768	2205
ІОМ	2011 ± 160	1794	2394
Шофілд	1934 ± 131	1546	1881
Генрі	1908 ± 136	1755	2215
Ганнон	1939 ± 70	1860	2098
Реале	1967 ± 112	1796	2216

**Примітка.**  $\bar{X}$  – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

Значущість відмінностей меж фактичними енерговитратами у стані спокою та розрахованими за допомогою формул визначали для кожної формули окремо, порівнюючи результати розрахунку з визначеними інструментальним шляхом фактичними енерговитратами у стані спокою. Результати представлені на рисунку 3.16.

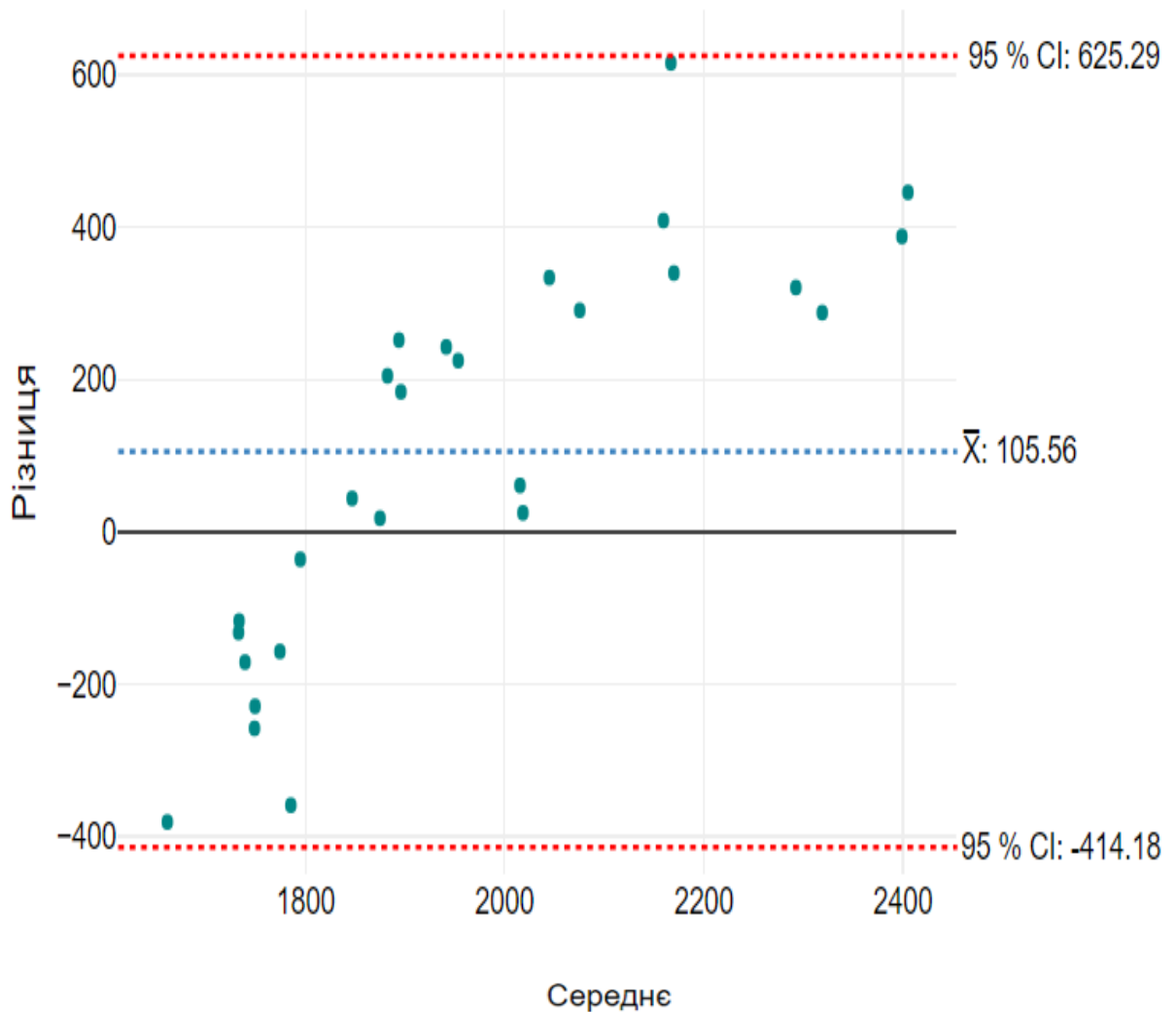


**Примітка.** \* – відмінності статистично значущі на високому рівні ( $p \leq 0,01$ ).

**Рисунок 3.16** – Середньогрупові величини фактичних та розрахованих за допомогою формул енерговитрат у стані спокою у спортсменів віком 15–17 років, ( $n = 27$ )

Виявлена статистично значуща ( $p \leq 0,005$ ) відмінність між фактичними ЕВС та розрахованими за формулою ВООЗ та за формулою Генрі. Відмінності між фактичними енерговитратами у стані спокою та визначеними за формулами ІОМ, Шофілда, Ганнона та Реале не є статистично значущими.

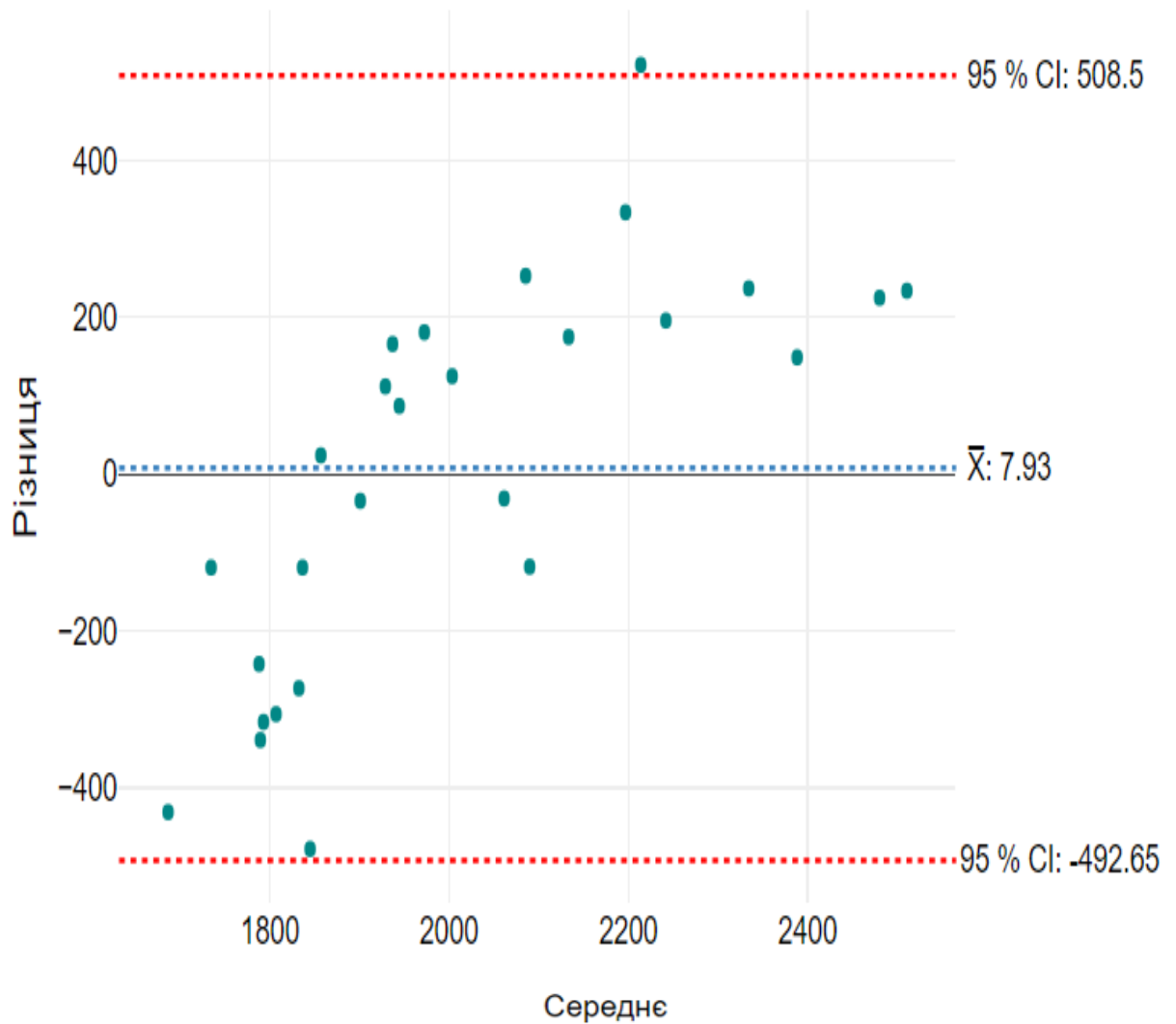
Для оцінки точності визначення енерговитрат у стані спокою за розрахунковими формулами було застосовано метод Бланда-Альтмана, оскільки цей метод є одним із найпоширеніших у наукових дослідженнях і дозволяє оцінити узгодженість між різними методами вимірювання, виявити систематичні відхилення та проаналізувати межі згоди, що допомагає визначити точність використаних розрахункових формул. Графіки Бланда-Альтмана, які ілюструють порівняння точності вимірювання для кожної пари ЕВС фактичні-розраховані за формулою представлені на рисунках 3.17-3.22.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.17** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули ВООЗ енерговитрат у стані спокою

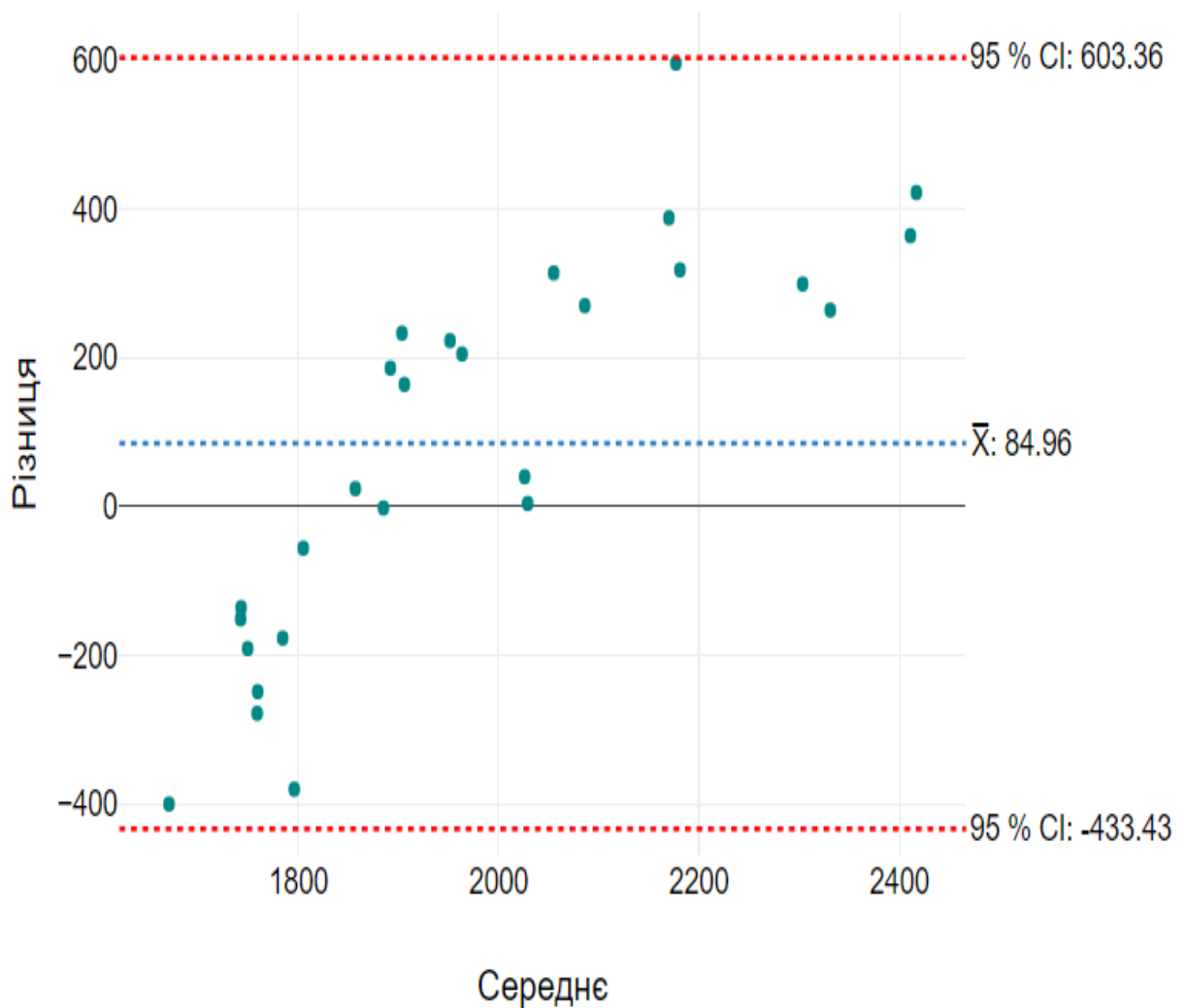
Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули ВООЗ для юнаків віком 15–17 років свідчать, що існує помірна середня різниця у кожній порівняній парі (з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями), проте досить значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою ВООЗ енерговитратами у стані спокою становить 0,604, що свідчить про помірне узгодження між цими показниками.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.18** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули ІОМ енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули ІОМ свідчать, що існує незначна середня різниця у кожній порівняній парі, проте значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою ІОМ енерговитратами у стані спокою становить 0,703 і свідчить про помірне узгодження між цими показниками.

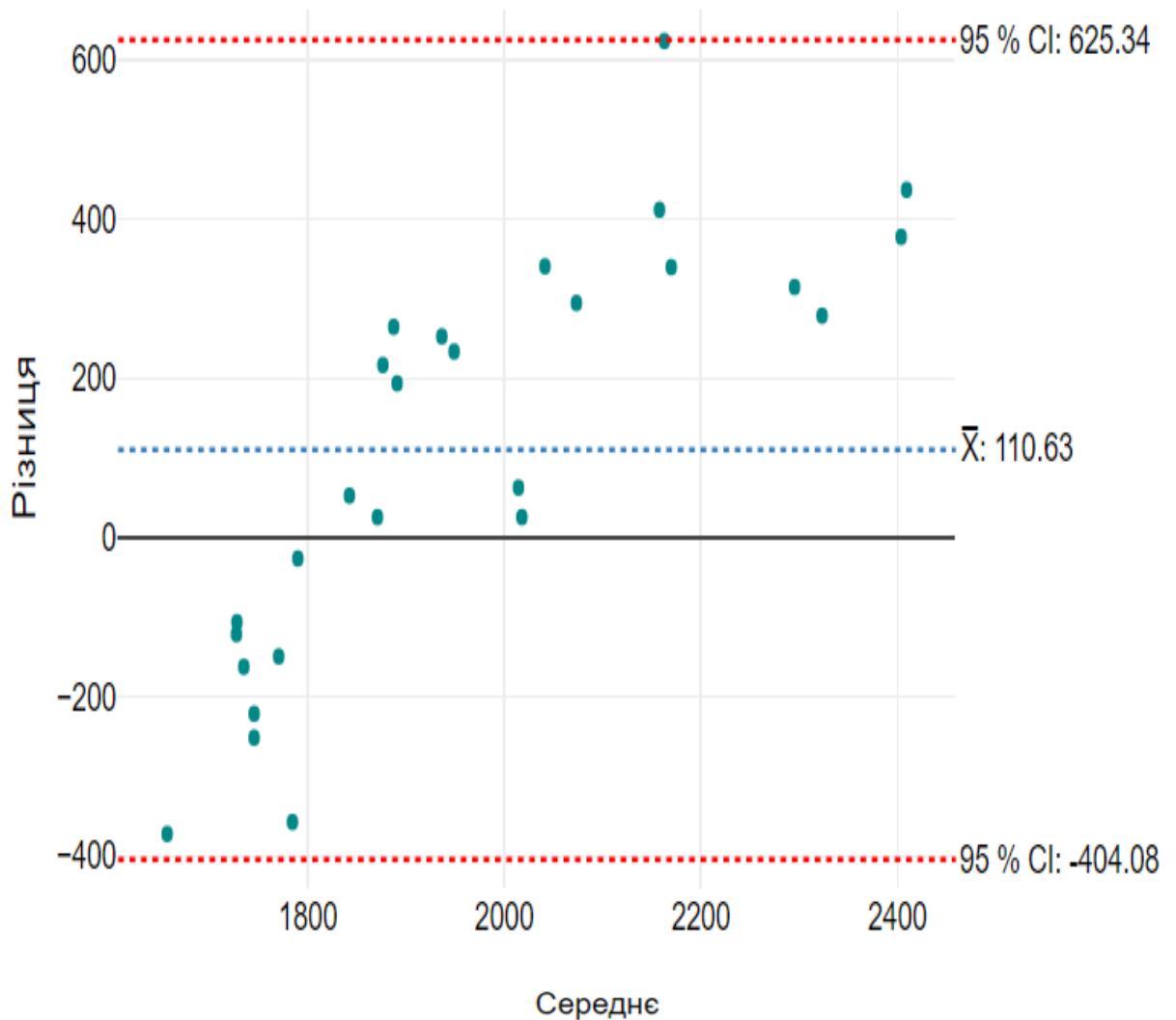


**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.19** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Шофілда енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Шофілда свідчать, що існує невелика середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Шофілда енерговитратами у стані спокою становить 0,624 і свідчить про помірну узгодженість між цими показниками.

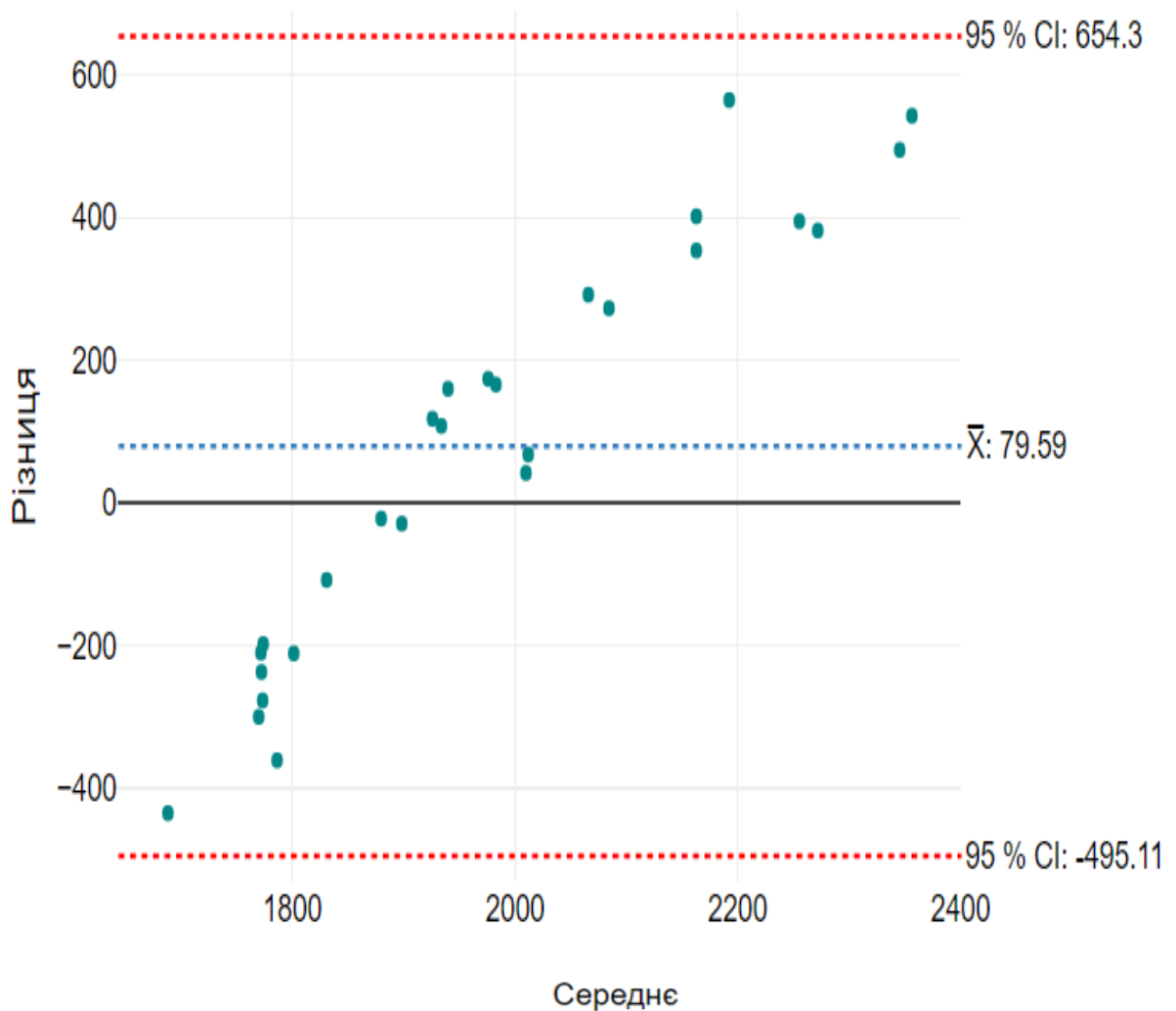




**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.20** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Генрі енерговитрат у стані спокою

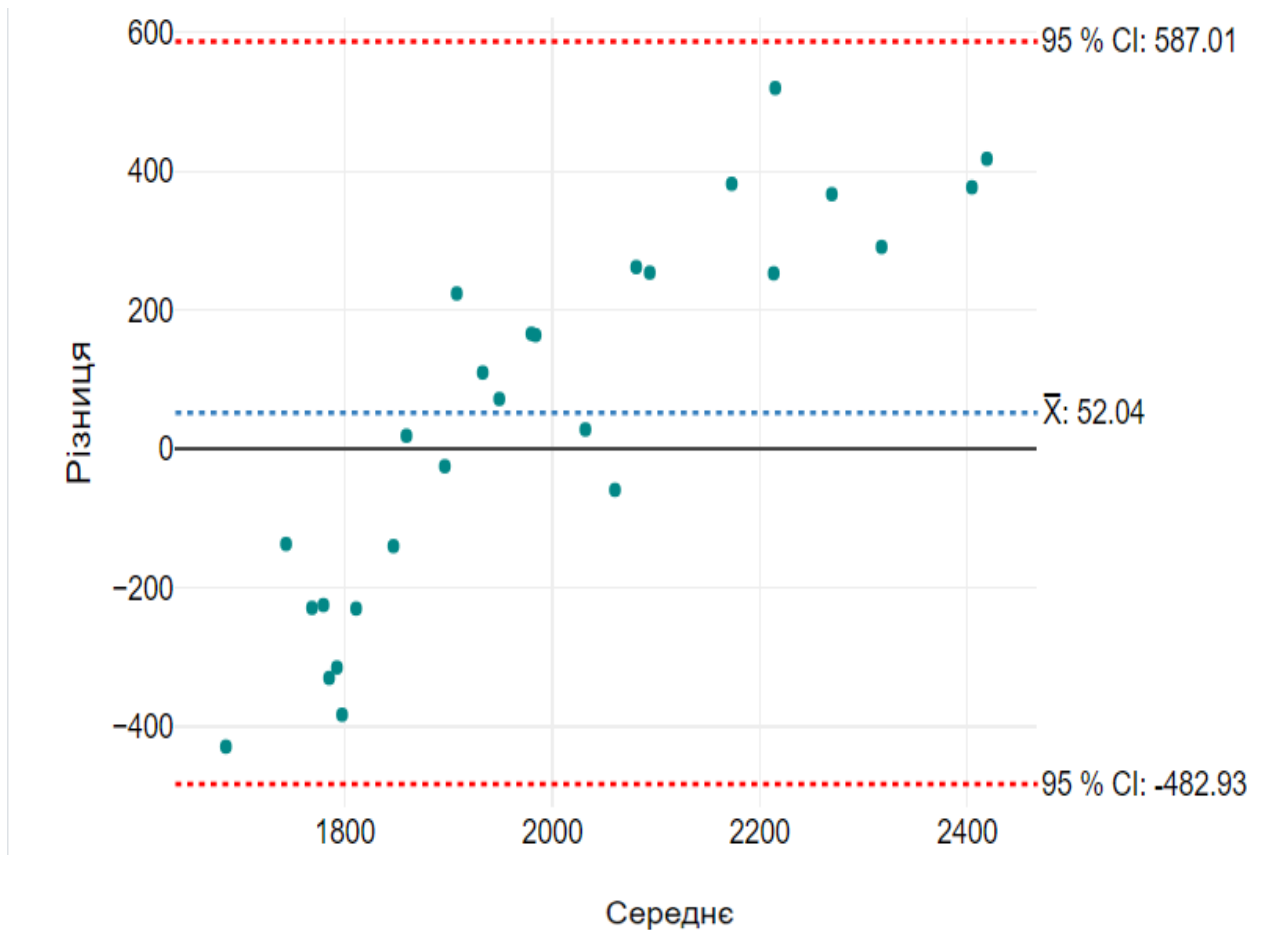
Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Генрі свідчать, що існує помірна середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Генрі енерговитратами у стані спокою, становить 0,617 і свідчить про помірне узгодження між цими показниками.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.21** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Ганнона енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Ганнона і свідчать, що існує невелика середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Ганнона енерговитратами у стані спокою, становить 0,423 і свідчить про помірне узгодження між цими показниками.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 3.22** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Реале енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Реале свідчать, що існує незначна різниця у кожній порівняній парі, проте значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Реале енерговитратами у стані спокою, становить 0,581 і свідчить про помірне узгодження між цими показниками.

Порівняння відсотків точного розрахунку за кожною з застосованих формул наведено в таблиці 3.8). За результатами аналізу літератури за темою дослідження коректний розрахунок було прийнято як відхилення  $\pm 10\%$  від фактичних енерговитрат у стані спокою.

**Таблиця 3.10** – Коректний розрахунок, переоцінка та недооцінка розрахункових формул порівняно з фактичними енерговитратами у стані спокою | серед спортсменів-чоловіків віком 15–17 років, (n = 27)

Формула	КР, %	ПО, %	НО, %	КСКП
ВООЗ	11	15	44	249
ІОМ	63	26	11	250
Шофілд	41	18	41	249
Генрі	37	15	48	249
Ганнон	37	30	33	249
Реале	37	26	37	250

**Примітка.** КР – коректний розрахунок (90–110 % ЕВС факт); ПО – переоцінка ЕВС ( $\geq 111$  % ЕВС факт); недооцінка ЕВС ( $\leq 89$  % ЕВС факт); КСКП – корінь із середньоквадратичної помилки.

Найбільший відсоток потрапляння в діапазон коректного розрахунку серед спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років виявлено у формули ІОМ. Інші загально популяційні формули (ВООЗ, Генрі) мають найвищі відсотки недооцінки енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменів. Найменший відсоток недооцінки ЕВС у формули Ганнона.

У всіх провалідованих формул корінь із середньоквадратичної помилки склав 12 % від фактичних середніх енерговитрат спортсменів-чоловіків віком 15–17 років.

З метою візуалізації впливу використання різних формул на розрахунок добових енерговитрат за допомогою коефіцієнтів фізичної активності нами здійснено розрахунок добових енерговитрат з використанням коефіцієнту активності 2,2 відповідно до класифікації рівнів фізичної активності ВООЗ [60], подібно до розрахунку добових енерговитрат у спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років на основі різних формул для визначення енерговитрат у стані спокою. Результати представлені у таблиці 3.11.

**Таблиця 3.11** – Розрахунок добових енерговитрат спортсменів віком 15–17 років за формулами з різною точністю, (n = 27)

ЕВС	ДЕВ	Δ ДЕВ, ккал/доба
Фактичні	4442	-
ВООЗ	4209	233
ІОМ	4424	18
Шофілд	4255	187
Генрі	4198	244
Ганнон	4266	176
Реале	4327	115

**Примітка.** Δ ДЕВ – різниця між добовими енерговитратами розрахованими на основі фактичних ЕВС та на основі розрахованих за формулами ЕВС.

Найменша різниця між добовими енерговитратами, визначеними на основі фактичних енерговитрат у стані спокою та на основі розрахованих за формулами ЕВС становить 0,4 % для формули ІОМ, а найбільша – 5 % для формули Генрі.

### **3.6 Оцінка низької доступності енергії у спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою**

Як і підрозділі 3.3, у рамках цього підрозділу було виділено п'ять спортсменів із найнижчими значеннями фактичних ЕВС серед спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років. Для кожного з них було розраховано індекси ЕВС за обраними формулами. Одержані дані наведені у таблиці 3.12, яка демонструє відмінності у співвідношеннях фактичних ЕВС та розрахованих значень залежно від використовуваної формули. Також для отримання більш повного уявлення про особливості спортсменів із найнижчими фактичними ЕВС у таблицю включено їх індекси маси тіла,

оскільки цей показник може бути непрямим свідченням загального фізичного стану та енергетичного балансу спортсменів.

**Таблиця 3.12** – Індеси ЕВС за різними формулами у спортсменів віком 15–17 років із найнижчими фактичними ЕВС, (n = 5)

Показник	С 1	С 2	С 3	С 4	С 5
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	22,1	23,7	23,1	21,2	21,7
ЕВС фактичні, ккал/доба	1417	1606	1620	1635	1654
ВООЗ	<b>0,79</b>	<b>0,82</b>	<b>0,86</b>	<b>0,88</b>	0,91
ІОМ	<b>0,77</b>	<b>0,77</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>
Шофілд	<b>0,79</b>	<b>0,81</b>	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	0,90
Генрі	<b>0,80</b>	<b>0,82</b>	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>	0,91
Ганнон	<b>0,77</b>	<b>0,82</b>	<b>0,84</b>	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>
Реале	<b>0,77</b>	<b>0,81</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>	<b>0,88</b>

**Примітка 1.** С 1–С 5 – спортсмен 1–5.

**Примітка 2.** Виділені жирним шрифтом індеси означають низьку доступність енергії.

Індеси енерговитрат у стані спокою за всіма формулами свідчать про низьку доступність енергії у даних спортсменів, окрім індесів ВООЗ, Шофілда та Генрі для спортсмена під номером 5, який мав найвищі абсолютні ЕВС у цій підгрупі спортсменів.

### **Висновки до розділу 3**

1. Середні значення енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменів чоловічої статі становлять  $2140 \pm 373$  ккал/доба для дорослих спортсменів віком 18–35 років та  $2019 \pm 337$  ккал/доба для юнаків 15–17 років.

2. Між енерговитратами у стані спокою та віком є слабкий прямий зв'язок ( $r = 0,37$ ) серед спортсменів віком 18–35 років. Серед спортсменів віком 15–17 років зв'язок між цими параметрами не є статистично значущим.

3. Між енерговитратами у стані спокою та антропометричними показниками серед спортсменів обох вікових груп існують наступні зв'язки: помірний прямий з довжиною тіла ( $r = 0,59$  у дорослих та  $r = 0,50$  у юнаків) та ІМТ ( $r = 0,58$  у дорослих та  $r = 0,54$  у юнаків), сильний прямий з масою тіла ( $r = 0,75$  у дорослих та  $r = 0,69$  у юнаків). Згідно з коефіцієнтом кореляції маса тіла пояснює 56 % варіації у енерговитратах у стані спокою серед спортсменів віком 18–35 років та 48 % серед юнаків 15–17 років.

4. У спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років при порівнянні 6 формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою (Гаріса-Бенедикта, Міффліна, ВООЗ, Де Лорензо, тен Гааф та Фрейре) з фактичними ЕВС відмінності не були статистично значущі тільки для ЕВС обрахованих за формулою Фрейре. Також обраховані за цією формулою енерговитрати у стані спокою мають найкращі показники узгодженості з фактичними енерговитратами згідно аналізу Бланда-Альтмана, найвищий коефіцієнт (0,708) внутрішньокласової кореляції та найвищий відсоток (61 %) коректного (в межах  $\pm 10$  % від фактичних значень) розрахунку серед досліджених формул.

5. При розрахунку добових енерговитрат на основі ЕВС та коефіцієнту фізичної активності у спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років формула Фрейре демонструє найкращу точність порівняно з добовими енерговитратами, розрахованими на основі фактичних енерговитрат у стані спокою (2 % різниці). Найгірша точність у формули Міффліна (15 % різниці).

6. При оцінці доступності енергії серед спортсменів-чоловіків віком 18–35 років із найнижчими фактичними енерговитратами у стані спокою індекси, розраховані за різними формулами, продемонстрували суттєві відмінності. Формула Міффліна вказує на нормальну доступність енергії у всіх спортсменів, тоді як формули Фрейре та тен Гааф свідчать про низьку

доступність енергії у всіх випадках. Формула ВООЗ виявила недостатню доступність енергії у двох із п'яти спортсменів, формула Гаріса-Бенедикта – в одного спортсмена, а формула Де Лорензо – у чотирьох із п'яти спортсменів.

7. У спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років при порівнянні 6 формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою (ВООЗ, ІОМ, Шофілда, Генрі, Ганнона та Реале) з фактичними ЕВС відмінності не були статистично значущі для ЕВС обрахованих за формулами ІОМ, Шофілда, Ганнона та Реале. Серед досліджених формул найкращі показники узгодженості з фактичними енерговитратами згідно аналізу Бланда-Альтмана, найвищий коефіцієнт внутрішньо класової кореляції (0,703) та найвищий відсоток (63 %) коректного (в межах  $\pm 10\%$  від фактичних значень) розрахунку має формула ІОМ.

8. При розрахунку добових енерговитрат на основі ЕВС та коефіцієнту фізичної активності у спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років формула ІОМ демонструє найкращу точність порівняно з добовими енерговитратами, розрахованими на основі фактичних енерговитрат у стані спокою (0,4 % різниці). Найгірша точність у формули Генрі (5 % різниці).

9. Серед спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років із найнижчими фактичними енерговитратами у стані спокою індекси ЕВС за всіма дослідженими розрахунковими формулами для цієї вікової групи переважно свідчать про низьку доступність енергії. Винятком є результати за формулами ВООЗ, Шофілда та Генрі для спортсмена, який мав найвищі абсолютні значення фактичних ЕВС у цій підгрупі.

Результати цього розділу опубліковані у роботах здобувача [2, 3, 5, 7, 69, 70, 71].



## РОЗДІЛ 4

### ЕНЕРГОВИТРАТИ У СТАНІ СПОКОЮ У СПОРТСМЕНОК

#### 4.1 Енерговитрати у стані спокою у спортсменок видів спорту з переважним проявом витривалості віком 18–35 років

Серед дорослих спортсменок видів спорту з переважним проявом витривалості було проведено 31 вимірювання ЕВС. Середні дані учасниць дослідження представлені у таблиці 4.1.

**Таблиця 4.1** – Загальні характеристики дорослих спортсменок, (n = 31)

Показник	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
Вік	24,3 ± 4,5	18	35
Довжина тіла, м	1,72±0,08	1,59	1,97
Маса тіла, кг	65,7±9,6	48,9	95,1
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	22,2±1,8	19,2	25,8
ЕВС <sub>факт</sub> ккал/доба	1772±376	1351	2784
ЕВС <sub>факт</sub> ккал/доба/кг	26,9±3,5	20,0	36,4

**Примітка.**  $\bar{X}$  – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

На високому рівні статистичної значущості ( $p \leq 0,01$ ) 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 ( $p \leq 0,05$ ) 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 більше стандартне відхилення, ніж чоловіки у абсолютних (ккал/доба) значеннях енерговитрат у стані спокою, хоча середні значення цього показника у жінок значно ( $p \leq 0,01$ ) менші, ніж у чоловіків. При порівнянні відносних (ккал/кг маси тіла) енерговитрат у стані

спокою стандартне відхилення цього показника у жінок є вищим більш істотно. При цьому максимальне значення відносних ЕВС було також зафіксовано у спортсменок.

За результатами перевірки на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Вілка енерговитрати у стані спокою у досліджених спортсменок не підлягають закону нормального розподілу ( $p = 0,002$ ). Тому для оцінки зв'язку між антропометричними та віковими характеристиками обстежених спортсменок з енерговитратами у стані спокою був виконаний кореляційний аналіз з визначенням коефіцієнтів кореляції Спірмена. Результати наведені у таблиці 4.2.

**Таблиця 4.2** – Зв'язок ЕВС з віком та антропометричними параметрами у дорослих спортсменок, кореляційний аналіз за Спірменом, ( $n = 31$ )

Показник	$\rho$	$p$	$\rho^2$
Вік, роки	<b>0,60</b>	<b>0,001</b>	0,356
Довжина тіла, м	<b>0,67</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,446
Маса тіла, кг	<b>0,74</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,548
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	<b>0,40</b>	<b>0,027</b>	0,159

**Примітка 1.**  $\rho$  – коефіцієнт кореляції;  $p$  – значення ймовірності;  $\rho^2$  – коефіцієнт детермінації.

**Примітка 2.** Значення, виділені жирним шрифтом, відрізняються від 0 на рівні значущості  $\alpha = 0,05$ .

Отримані дані свідчать про наступне:

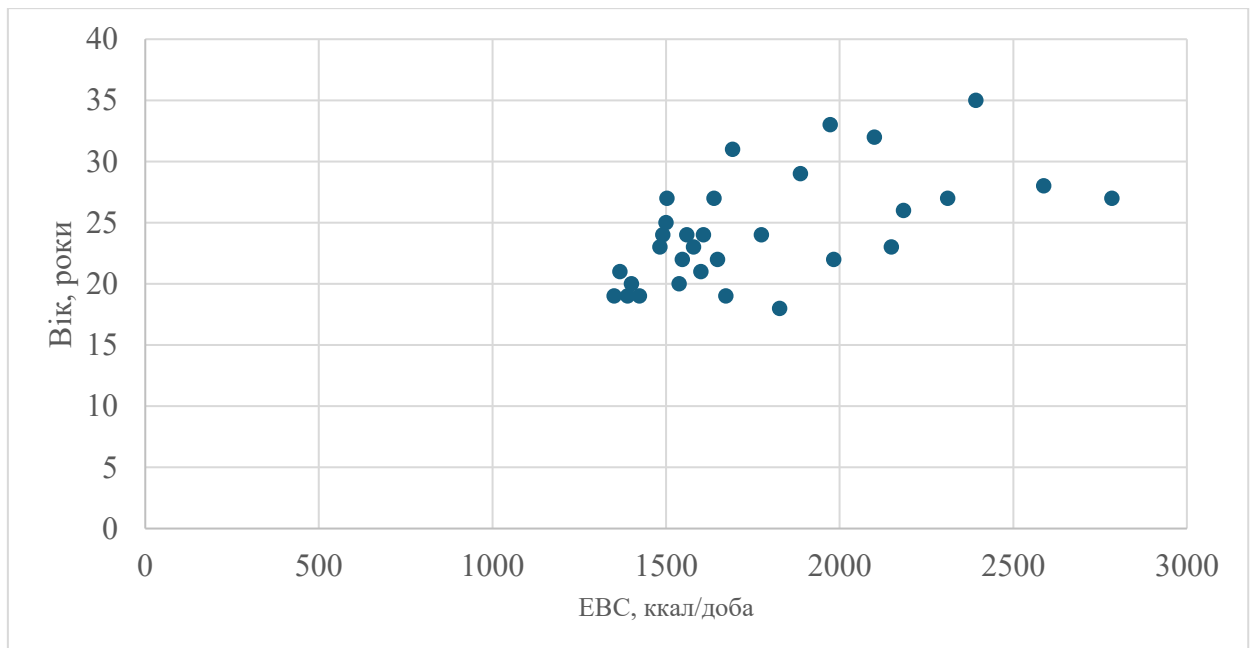
- існує високий позитивний зв'язок між віком і енерговитратами у стані спокою. Коефіцієнт детермінації вказує на те, що вік пояснює 36 % варіації у енерговитратах у стані спокою;
- спостерігається високий позитивний зв'язок між довжиною тіла і енерговитратами у стані спокою. Значення коефіцієнта детермінації вказує на те, що зріст пояснює 45 % варіації у енерговитратах;

– коефіцієнт кореляції між масою тіла та енерговитратами у стані спокою свідчить про високий позитивний зв'язок між цими показниками. Значення коефіцієнта детермінації вказує на те, що маса тіла пояснює 55 % варіації у енерговитратах у стані спокою;

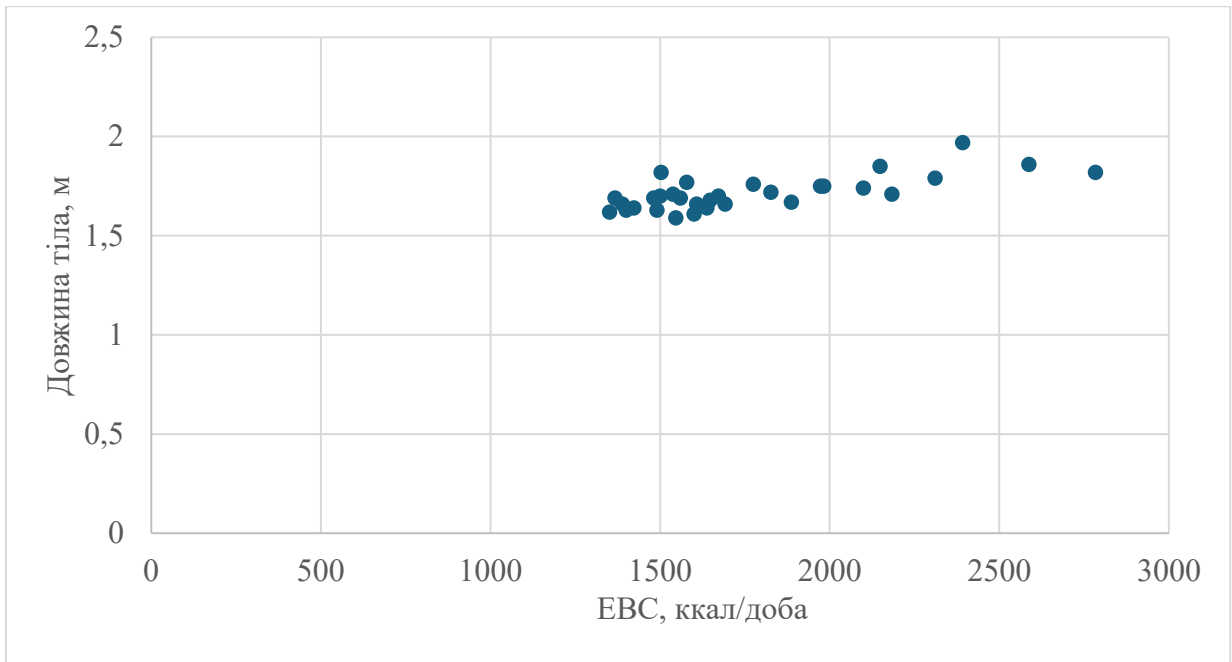
– між ІМТ і ЕВС існує помірний позитивний зв'язок, а коефіцієнт детермінації вказує на те, що ІМТ 16 % пояснює варіації у енерговитратах у стані спокою.

На підставі цих даних можна стверджувати, що найбільше варіації енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменок віком 18–35 років пояснює маса тіла, а найменше – індекс маси тіла.

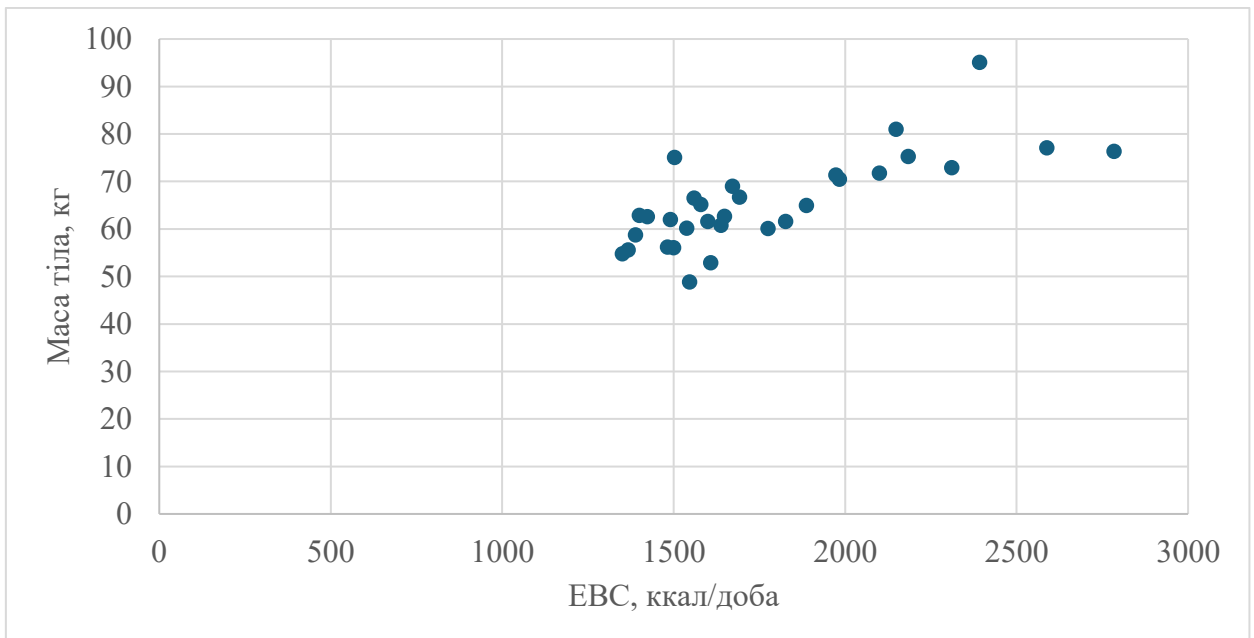
Для кращого візуального уявлення про зв'язок між змінними зроблено діаграми розсіювання (рис.4.1-4.4), які ілюструють розподіл даних та взаємозв'язок між ними.



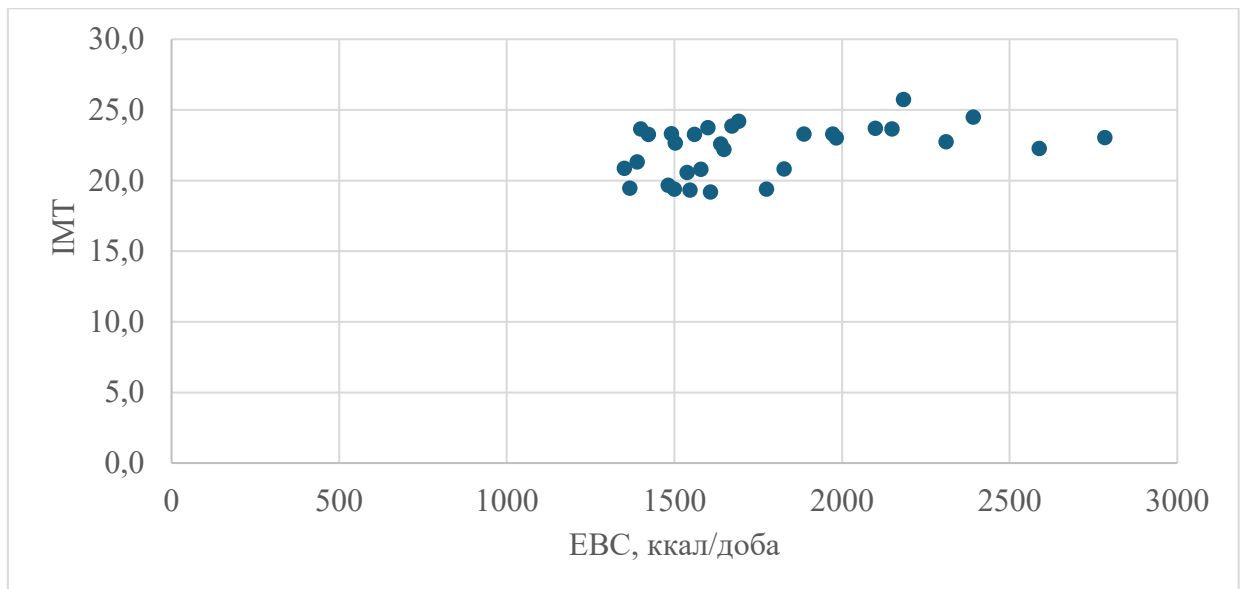
**Рисунок 4.1** – Залежність між віком та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 18–35 років



**Рисунок 4.2** – Залежність між довжиною тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 18–35 років



**Рисунок 4.3** – Залежність між масою тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 18–35 років



**Рисунок 4.4** – Залежність між індексом маси тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 18–35 років

#### 4.2 Порівняння вимірних ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменок віком 18–35 років

Для порівняння фактичних значень ЕВС з розрахованими за формулами були використані 3 загально популяційні формули для жіночої популяції (Гаріса-Бенедикта, Міффліна, ВООЗ) та 3 формули розроблені спеціально для спортивної популяції (Де Лорензо, тен Гааф, Фрейре).

**Таблиця 4.3** – Порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою з обчисленими за допомогою формул, (n = 31)

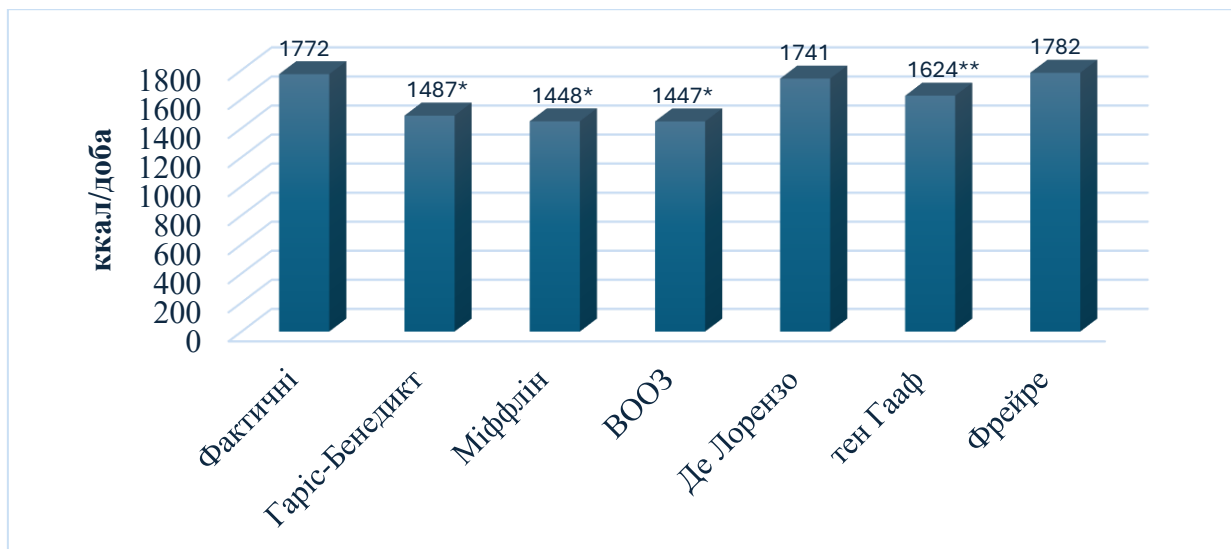
ЕВС	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
ЕВС <sub>факт</sub>	1772±376	1351	2784
Гаріс-Бенедикт	1487±94	1314	1765
Міффлін	1448±131	1213	1848
ВООЗ	1447±119	1215	1687
Де Лорензо	1741±178	1443	2304

## Продовження таблиці 4.3

тен Гааф	1624±140	1369	2038
Фрейре	1782±143	1518	2198

**Примітка.**  $\bar{X}$  – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

Значущість відмінностей між фактичними ЕВС та розрахованими за допомогою формул представлена на рисунку 4.5.



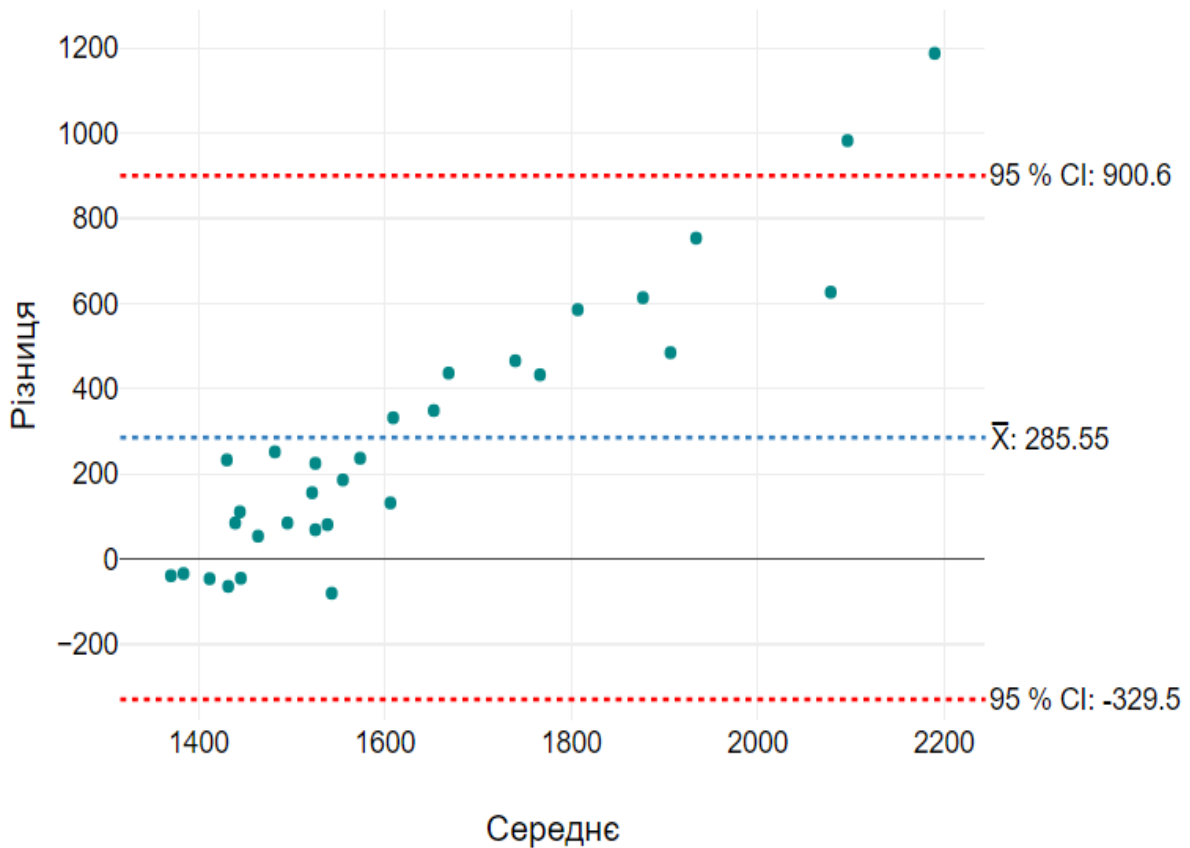
**Примітка 1.**\* – відмінності статистично значущі на високому рівні ( $p \leq 0,01$ ).

**Примітка 2.**\*\* – відмінності статистично значущі ( $p \leq 0,05$ ).

**Рисунок 4.5** – Середньогрупові величини фактичних та розрахованих за допомогою формул енерговитрат у стані спокою у спортсменок віком 18–35 років ( $n = 31$ )

На високому ( $p \leq 0,001$ ) рівні статистичної значущості виявлені відмінності між фактичними ЕВС та розрахованими за допомогою формул Гаріса-Бенедикта, Міффліна та ВООЗ. Виявлена статистично значуща ( $p \leq 0,005$ ) відмінність між фактичними ЕВС та розрахованими за формулою тен Гааф. При цьому серед досліджених спортсменок відмінності між ЕВС<sub>факт</sub> та розрахованими за формулами Де Лоренцо та Фрейре виявилися не достовірними.

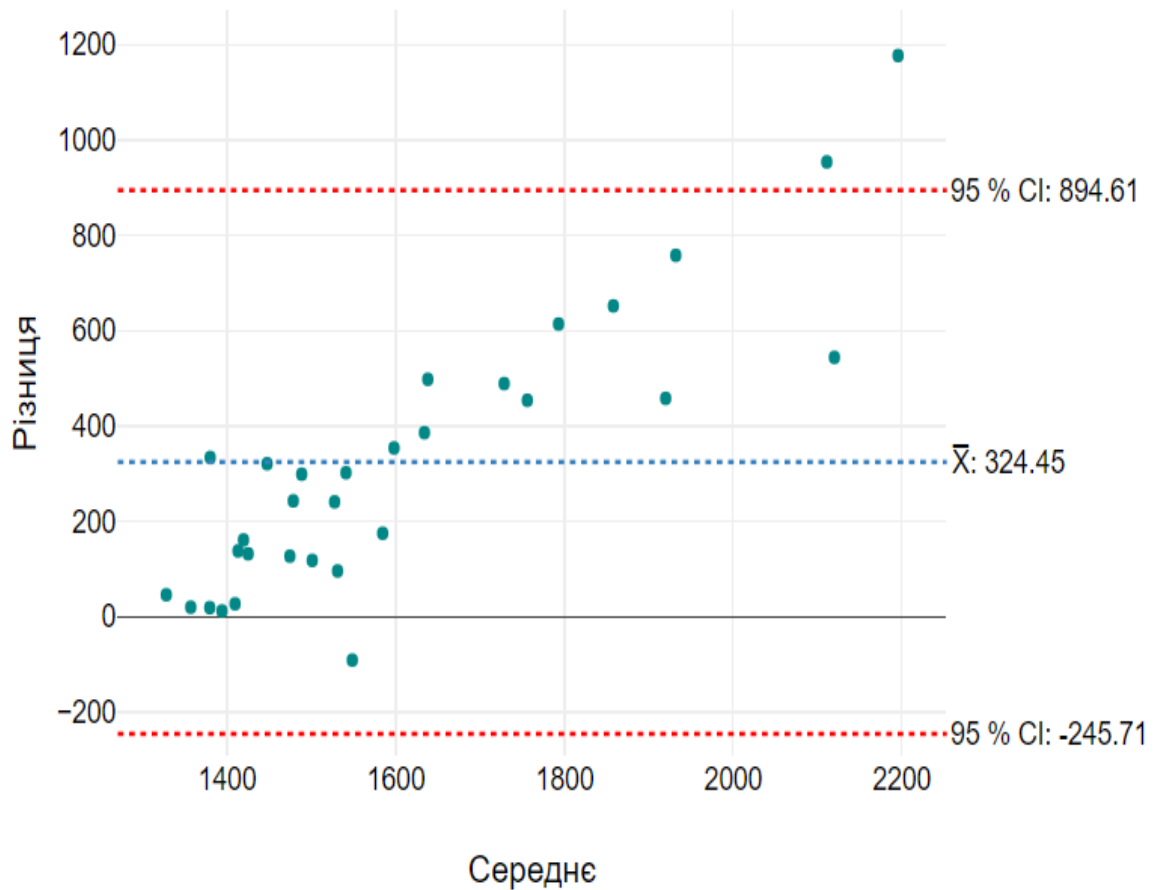
Для оцінки точності визначення енерговитрат у стані спокою за допомогою розрахункових формул були зроблені графіки Бланда-Альтмана (рис. 4.6-4.11).



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.6** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Гаріса-Бенедикта енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Гаріса-Бенедикта свідчать, що існує досить суттєва середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також значний діапазон різниці між значеннями. При цьому внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Гаріса-Бенедикта енерговитратами у стані спокою становить 0,786 і свідчить про хороше узгодження між цими показниками.

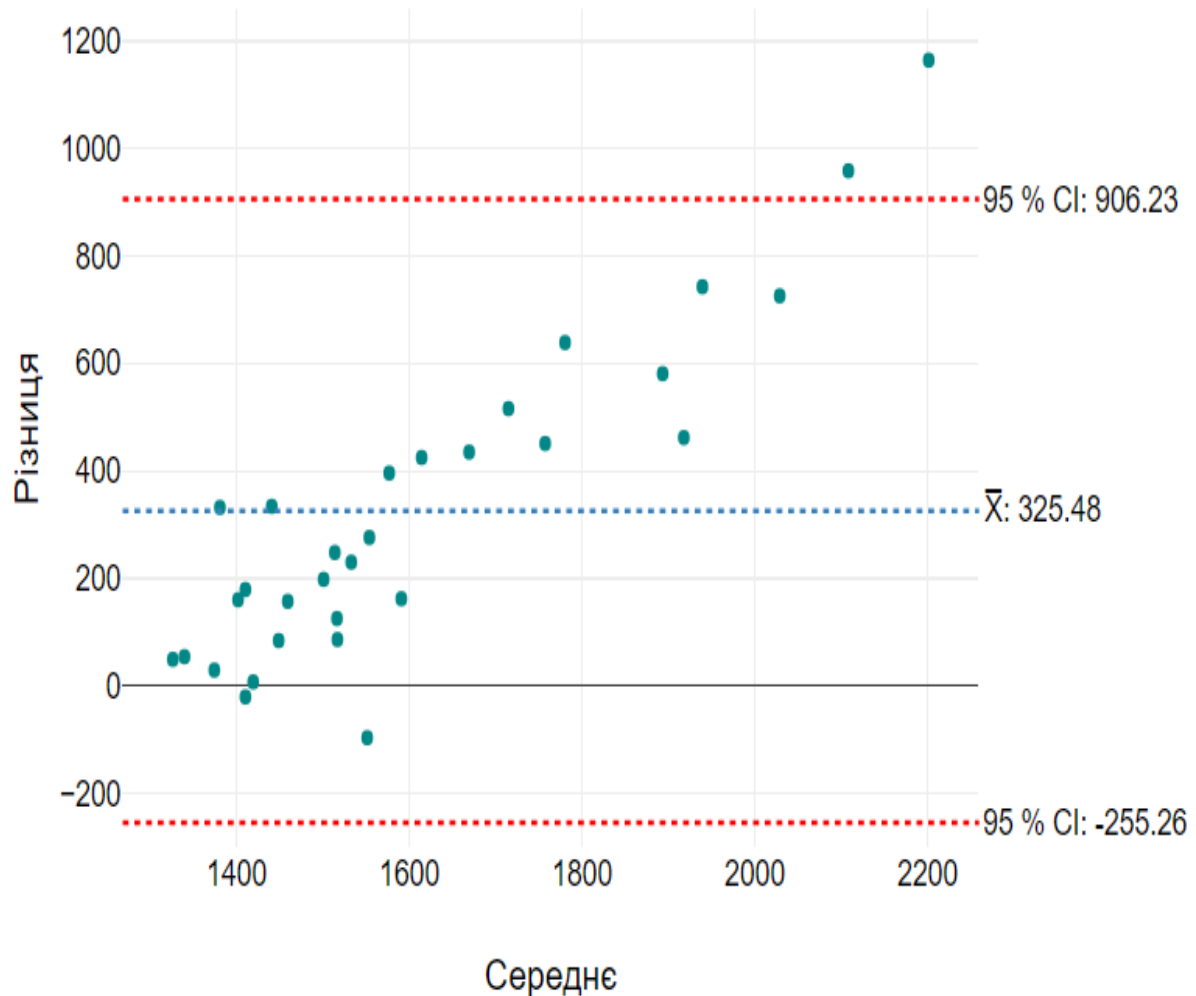


**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.7** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Міффіна енерговитрат у стані спокою

Середня різниця між парами вимірювань, розрахованими за формулою Міффіна, є ще більшою, ніж у випадку використання формули Гарріса-Бенедикта. При цьому спостерігається чітка тенденція до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з їх фактичними значеннями. Зафіксовано значний діапазон коливань між окремими парами вимірювань, що вказує на варіабельність отриманих результатів. Незважаючи на це, коефіцієнт внутрішньокласової кореляції між фактичними енерговитратами у стані спокою та розрахунковими значеннями за формулою Міффіна становить 0,793. Це свідчить про хорошу узгодженість між розрахунковими та фактичними показниками.

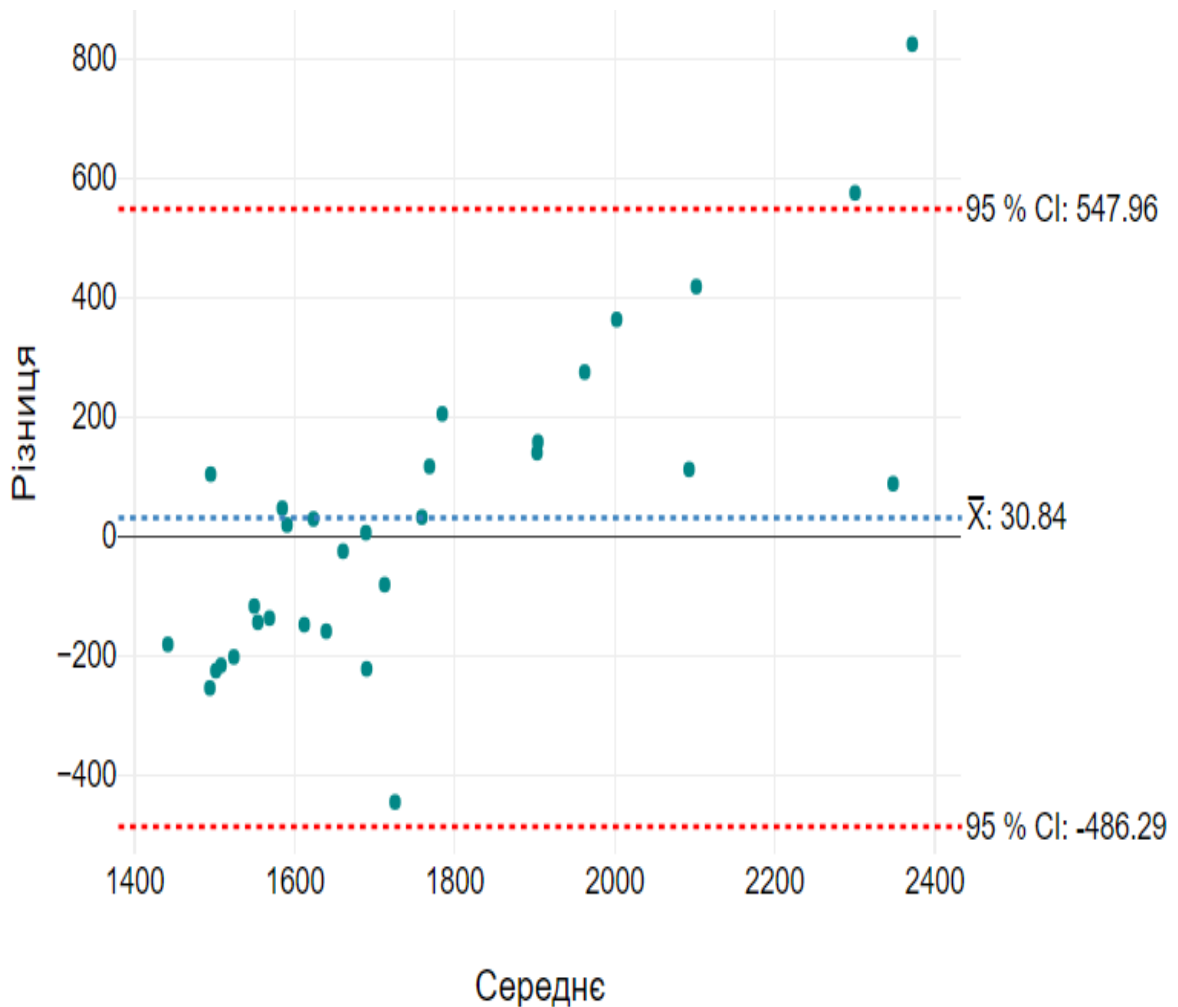




**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.8** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули ВООЗ енерговитрат у стані спокою

Середня різниця між парами вимірювань для формули Всесвітньої організації охорони здоров'я є досить суттєвою. Відзначається з тенденція до недооцінки розрахованих за формулою енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також помітний діапазон різниці між парами. Коефіцієнт внутрішньо класової кореляції для формули ВООЗ і фактичних ЕВС становить 0,789, що свідчить про хорошу узгодженість.

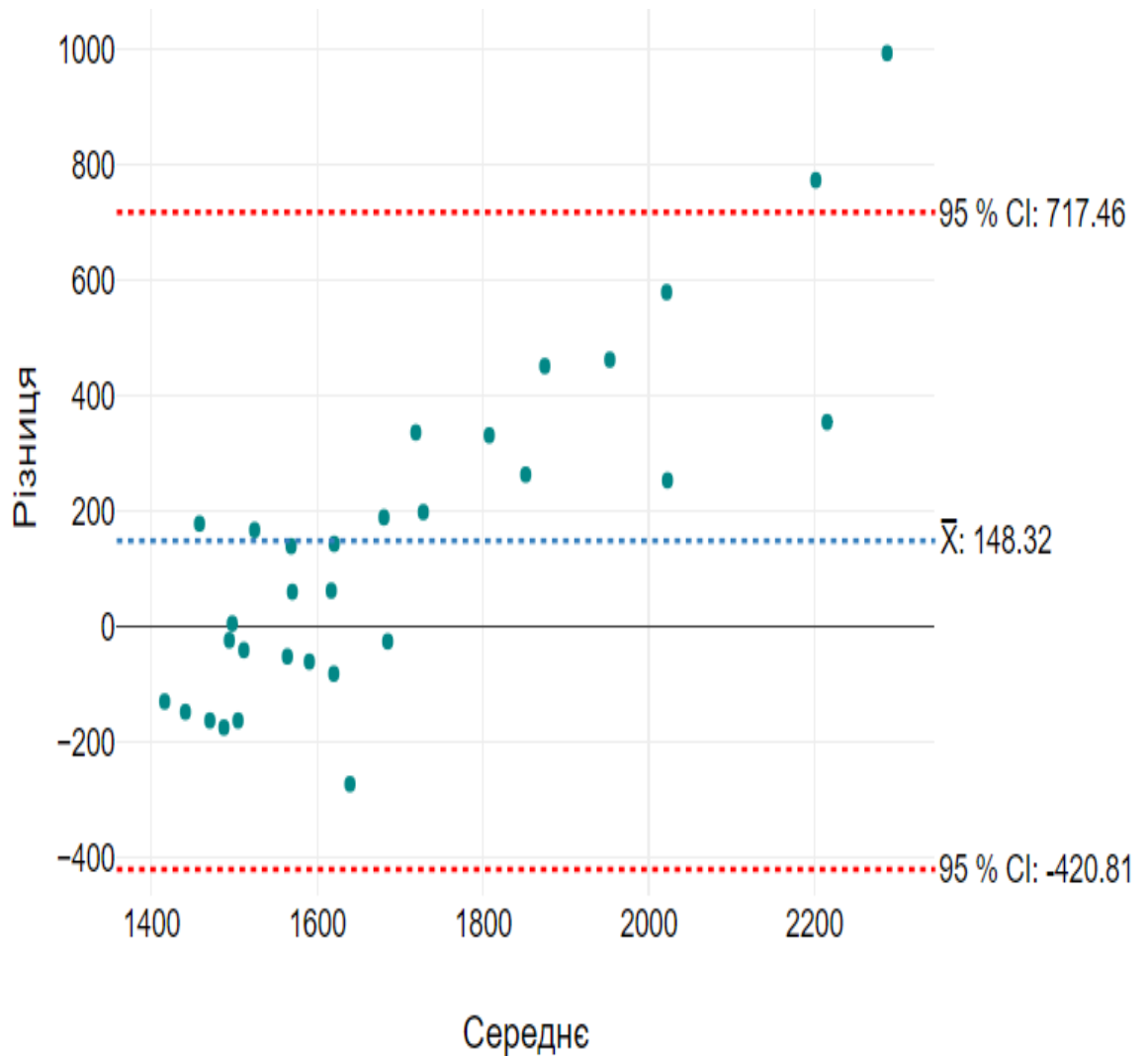


**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.9** –Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Де Лорензо енерговитрат у стані спокою

Середня різниця між фактичними та розрахунковими енерговитратами за формулою Де Лорензо є суттєво меншою порівняно з попередніми формулами. Це вказує на покращену точність у прогнозуванні енергетичних витрат у стані спокою. Однак, незважаючи на зменшення середньої різниці, все ще спостерігається досить великий діапазон коливань між окремими парами вимірювань, що може впливати на стабільність результатів. При цьому внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції становить 0,884, що свідчить про високий рівень узгодженості між фактичними показниками

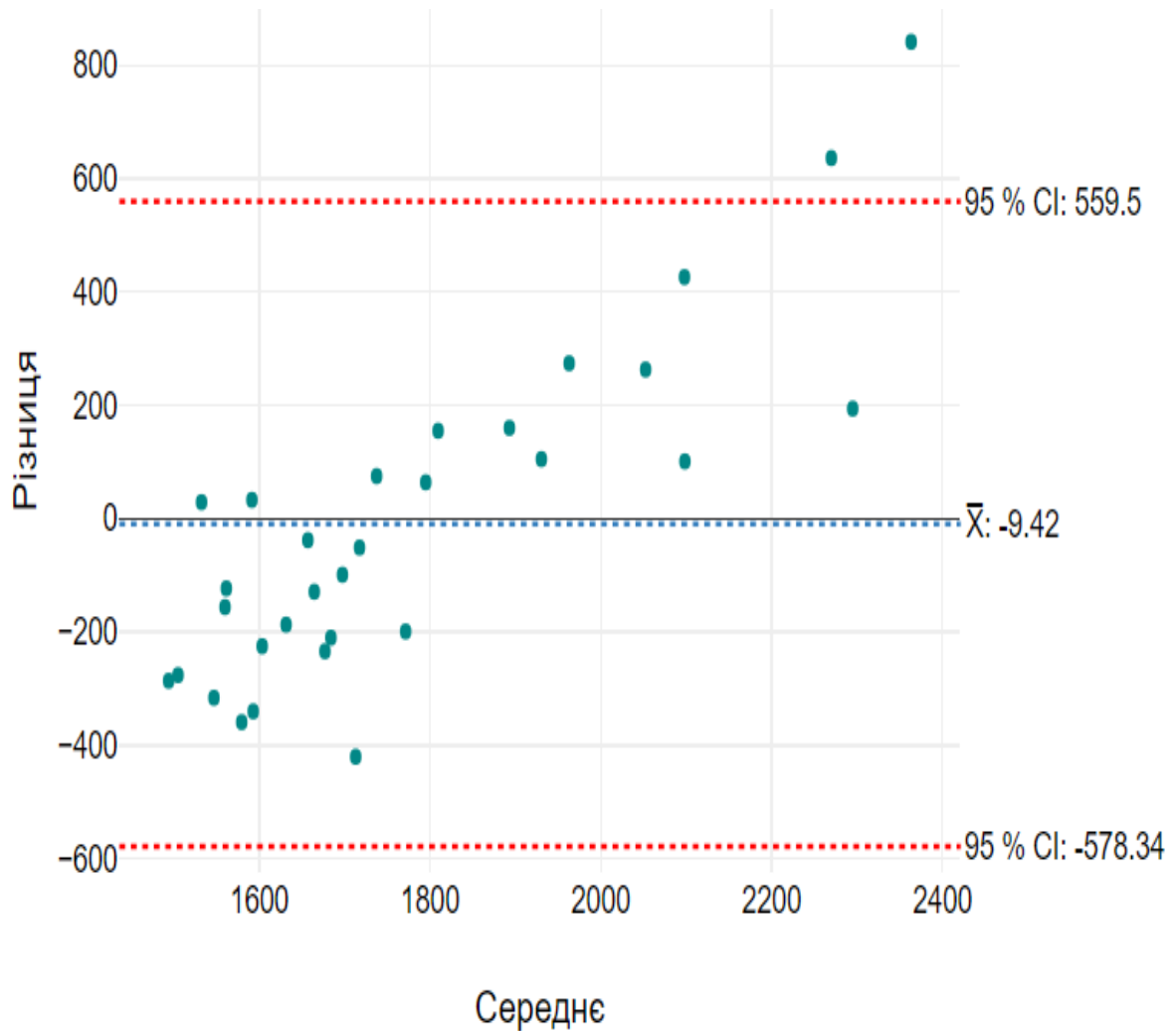
енерговитрат у стані спокою та тими, що були розраховані за допомогою формули Де Лорензо.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.10** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули тен Гааф енерговитрат у стані спокою

Середня різниця та діапазон коливання різниці між парами вимірювань у формули тен Гааф менші, ніж у загальнопопуляційних формул (Гаріса-Бенедикта, Міфіліна, ВООЗ), проте більші, ніж у формули Де Лорензо. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції становить 0,824, що свідчить про хорошу узгодженість між фактичними та розрахованими за допомогою формули тен Гааф енерговитратами у стані спокою.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.11** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Фрейре енерговитрат у стані спокою

Середня різниця для пари вимірювань фактичних та розрахованих за допомогою формули Фрейре найменша серед усіх розглянутих формул. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції становить 0,817, що свідчить про хорошу узгодженість.

Також в межах даного дослідження було здійснено порівняння відсотків коректного розрахунку за кожною зі застосованих формул. За результатами аналізу літератури за темою дослідження коректний розрахунок було

прийнято як відхилення  $\pm 10\%$  від фактичних енерговитрат у стані спокою (табл. 4.4).

**Таблиця 4.4** – Коректний розрахунок, переоцінка та недооцінка розрахункових формул порівняно з фактичними енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 18–35 років, (n = 31)

Формула	КР, %	ПО, %	НО, %	КСКП
Гаріс-Бенедикт	45	0	55	261
Міффлін	35	0	65	254
ВООЗ	35	0	65	251
Де Лорензо	58	23	19	243
тен Гааф	48	17	35	262
Фрейре	45	39	16	265

**Примітка.** КР – коректний розрахунок (90–110 % ЕВС факт); ПО – переоцінка ЕВС ( $\geq 111\%$  ЕВС факт); недооцінка ЕВС ( $\leq 89\%$  ЕВС факт); КСКП – корінь із середньоквадратичної помилки.

Найбільший відсоток потрапляння в діапазон коректного розрахунку серед спортсменок виявлено у формули Де Лорензо, яка також має найнижчий корінь із середньоквадратичної помилки. Загальнопопуляційні формули (Гаріса-Бенедикта, Міффліна, ВООЗ) мають найвищі відсотки недооцінки енерговитрат у стані спокою у спортсменок віком 18–35 років. Найменший відсоток недооцінки ЕВС у формули Фрейре.

У всіх провалідованих формул серед спортсменок віком 18–35 років корінь із середньоквадратичної помилки був у діапазоні 14–15 % від фактичних середніх енерговитрат у стані спокою.

З метою візуалізації впливу використання різних формул на розрахунок добових енерговитрат за допомогою коефіцієнтів фізичної активності нами здійснено розрахунок ДЕВ з використанням коефіцієнту активності 2,2 відповідно до класифікації рівнів фізичної активності ВООЗ [60] (табл. 3.5).

**Таблиця 4.5** – Розрахунок добових енерговитрат спортсменок віком 18–35 років за формулами з різною точністю, (n = 31)

ЕВС	ДЕВ	Δ ДЕВ, ккал/доба
Фактичні	3898	-
Гаріс-Бенедикт	3271	627
Міффлін	3186	712
ВООЗ	3183	715
Де Лорензо	3830	68
тен Гааф	3573	325
Фрейре	3923	- 25

**Примітка.** Δ ДЕВ – різниця між добовими енерговитратами розрахованими на основі фактичних ЕВС та на основі розрахованих за формулами ЕВС.

Найменша різниця між добовими енерговитратами, визначеними на основі фактичних енерговитрат у стані спокою та розрахованими за формулами, у становить 0,6% для формул Фрейре – 0, 6 %,та у формули Де Лорензо – 1,7 %. Найбільша різниця у формули ВООЗ – 18,3%.

#### **4.3 Оцінка низької доступності енергії у спортсменок віком 18–35 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою**

Серед досліджених спортсменок даної вікової категорії були виділені 5 осіб з найнижчими значеннями фактичних енерговитрат у стані спокою, оскільки ми обмежились аналізом фактичних ЕВС, визначених за допомогою непрямой калориметрії, та оцінкою індексу ЕВС, розрахованого на основі шести різних формул. Це дозволяє оцінити, як різні методи розрахунку можуть впливати на виявлення можливих ризиків LEA і наскільки точними є ці формули для спортсменів із низькими ЕВС. Також для отримання більш повного уявлення про особливості спортсменок із найнижчими фактичними ЕВС у таблицю включено їх індекси маси тіла, оскільки цей показник може

бути непрямим свідченням загального фізичного стану та енергетичного балансу спортсменів. Дані представлено у таблиці 4.6.

**Таблиця 4.6** – Індеси ЕВС за різними формулами у спортсменок віком 18–35 років із найнижчими фактичними ЕВС, (n = 5)

Показник	С 1	С 2	С 3	С 4	С 5
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	20,9	19,5	21,3	23,7	23,3
ЕВС фактичні, ккал/доба	1351	1367	1389	1400	1423
Гаріс-Бенедикт	0,97	0,98	0,97	0,96	0,97
Міффлін	1,04	1,04	1,01	1,02	1,02
ВООЗ	1,04	1,04	1,02	0,99	1,00
Де Лорензо	<b>0,88</b>	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>
тен Гааф	0,91	0,90	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	0,90
Фрейре	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	<b>0,81</b>	<b>0,80</b>	<b>0,81</b>

**Примітка 1.** С 1-С 5 – спортсменка 1-5.

**Примітка 2.** Виділені жирним шрифтом індеси означають низьку доступність енергії.

Індеси за формулами Гаріса-Бенедикта, Міффліна, ВООЗ свідчать про нормальну доступність енергії у всіх спортсменок. Індеси за формулою Фрейре та Де Лорензо – про низьку доступність енергії у всіх спортсменок. Індекс за формулою тен Гааф свідчить про нормальну доступність енергії у трьох спортсменок і про низьку – у двох.

#### **4.4 Енерговитрати у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років**

В межах даного дослідження було здійснено 22 вимірювання енерговитрат у стані спокою серед спортсменок віком 15–17 років. Середні дані учасниць дослідження представлені у таблиці 4.7.

**Таблиця 4.7** – Загальні характеристики спортсменок віком 15–17 років, (n = 22)

Показник	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
Вік, роки	16,23 ± 0,87	15,00	17,00
Довжина тіла, м	1,68 ± 0,07	1,53	1,86
Маса тіла, кг	61,6 ± 7,8	49,7	80,0
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	21,9 ± 2,3	17,8	25,4
ЕВС <sub>факт</sub> ккал/доба	1641 ± 213	1242	2112
ЕВС <sub>факт</sub> ккал/доба/кг	26,8 ± 3,7	21,1	34,1

**Примітка.**  $\bar{X}$  – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

На високому рівні статистичної значущості ( $p \leq 0,01$ ) виявлені відмінності між вимірними енерговитратами у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 15–17 років. Також на високому рівні статистичної значущості ( $p \leq 0,01$ ) виявлені відмінності між вимірними ЕВС у всіх 4 групах досліджених (спортсмени/спортсменки віком 18–35 років, спортсмени/спортсменки віком 15–17 років).

За результатами перевірки на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Вілка енерговитрати у стані спокою у досліджених спортсменок підлягають закону нормального розподілу ( $p = 0,83$ ). Тому для оцінки зв'язку між антропометричними та віковими характеристиками обстежених спортсменок з енерговитратами у стані спокою був виконаний кореляційний аналіз з визначенням коефіцієнтів кореляції Пірсона. Результати наведені у таблиці 4.8.

**Таблиця 4.8** – Зв'язок ЕВС з віком і антропометричними параметрами у спортсменок віком 15–17 років, кореляційний аналіз за Пірсоном (n = 22)

Показник	r	p	r <sup>2</sup>
Вік, роки	0,06	0,798	0,00



Продовження таблиці 4.8

Довжина тіла, м	0,01	0,976	0,00
Маса тіла, кг	0,41	0,059	0,17
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	<b>0,50</b>	<b>0,017</b>	0,25

**Примітка 1.** R – коефіцієнт кореляції; p – значення ймовірності; r<sup>2</sup> – коефіцієнт детермінації.

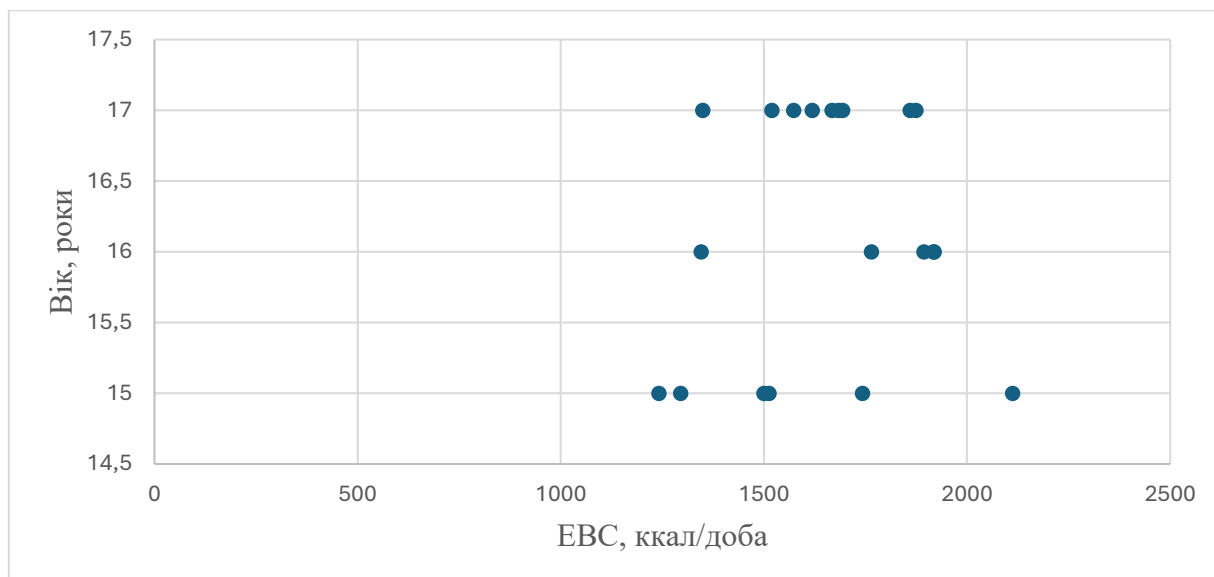
**Примітка 2.** Значення, виділені жирним шрифтом, відрізняються від 0 на рівні значущості  $\alpha = 0,05$ .

Отримані дані свідчать про наступне:

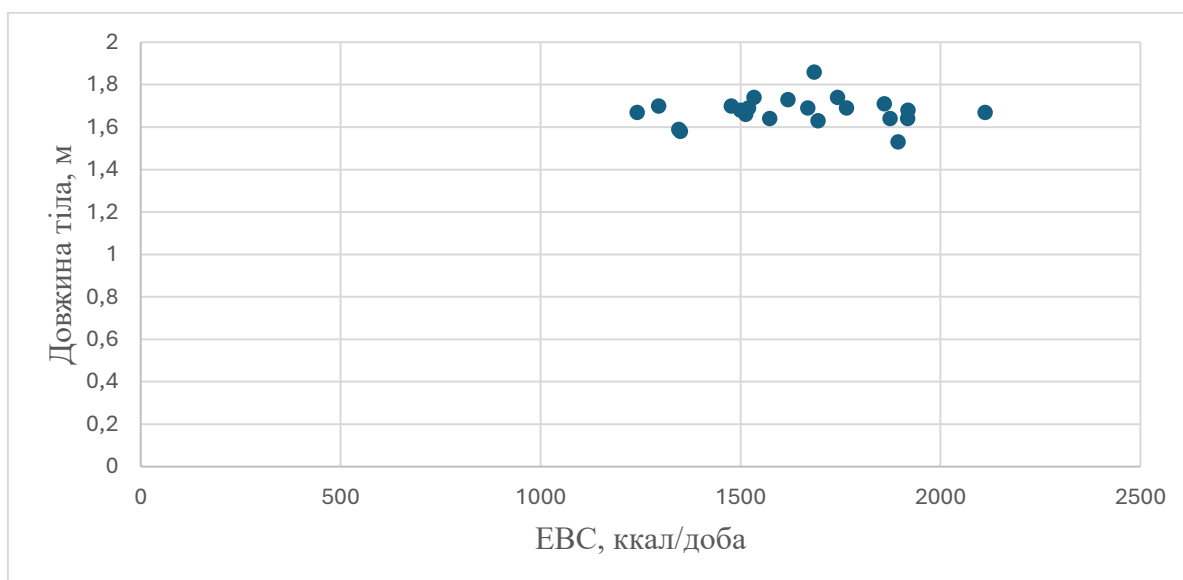
- не виявлено зв'язку між віком і енерговитратами у стані спокою у групі спортсменок віком 15–17 років;
- не виявлено зв'язку між довжиною тіла і енерговитратами у стані спокою;
- коефіцієнт кореляції між масою тіла та енерговитратами у стані спокою відповідає середньому позитивному зв'язку, проте значення ймовірності трохи перевищує поріг статистичної значущості, тому статистична значущість кореляції знаходиться на межі прийнятності;
- між ІМТ і ЕВС існує сильний позитивний зв'язок, а коефіцієнт детермінації вказує на те, що ІМТ пояснює 25 % варіації у енерговитратах у стані спокою.

На підставі цих даних можна стверджувати, що найбільше варіації енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменок віком 15–17 років пояснює індекс маси тіла, а найменше – вік та довжина тіла.

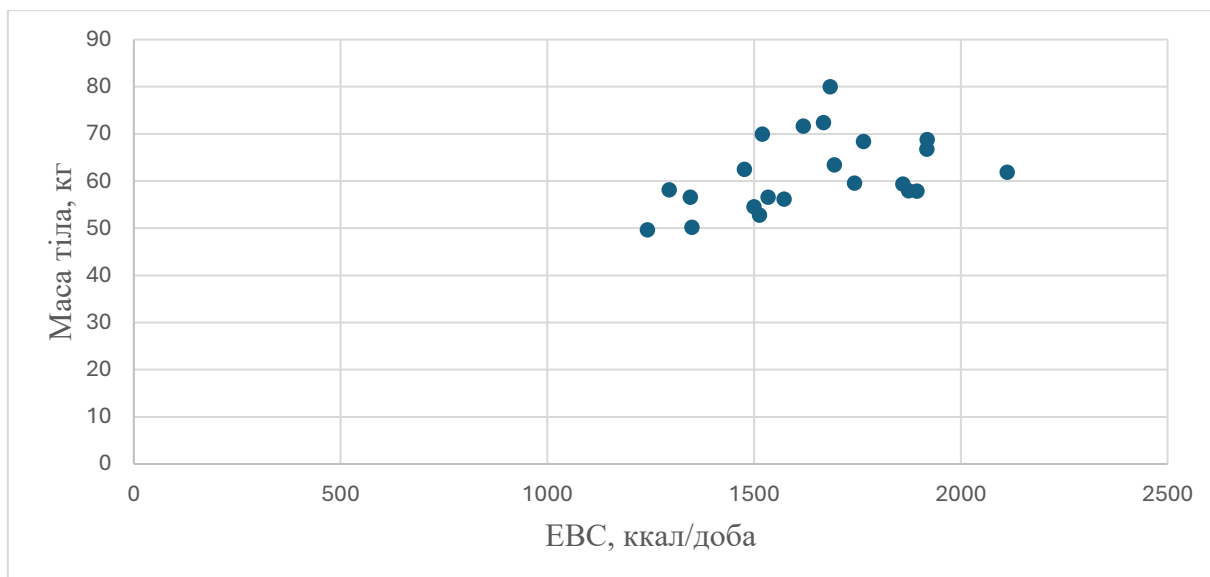
Для кращого візуального уявлення про зв'язок між змінними зроблено діаграми розсіювання (рис.4.12-4.15), які ілюструють розподіл даних та взаємозв'язок між ними.



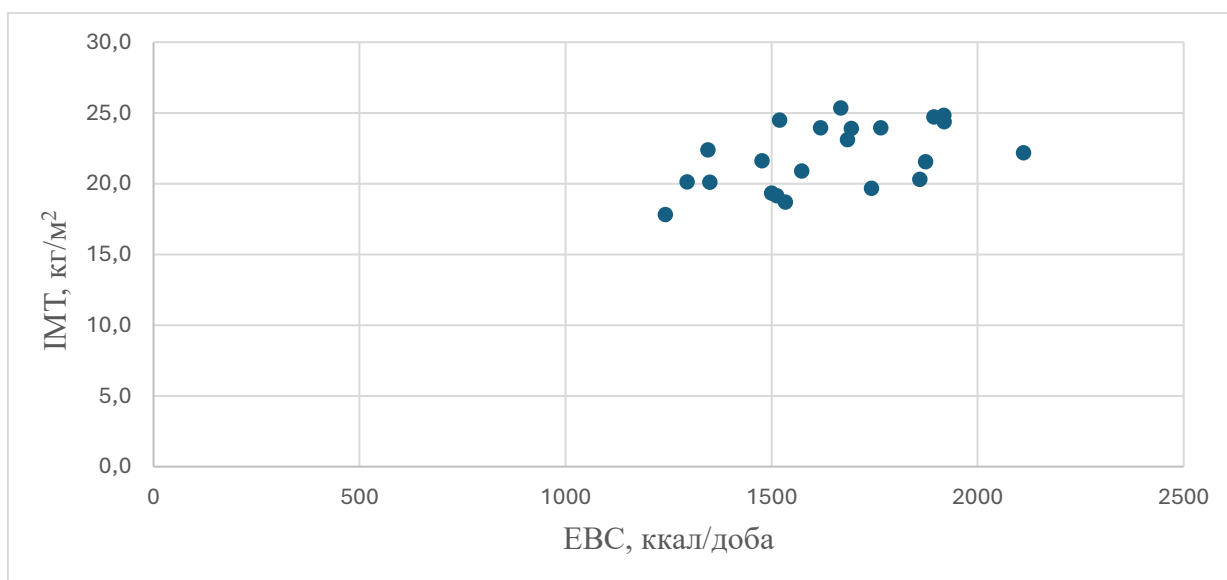
**Рисунок 4.12** – Залежність між віком та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років



**Рисунок 4.13** – Залежність між довжиною тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років



**Рисунок 4.14** – Залежність між масою тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років



**Рисунок 4.15** – Залежність між індексом маси тіла та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років

#### 4.5 Порівняння вимірних ЕВС з розрахованими за допомогою формул у спортсменок віком 15–17 років

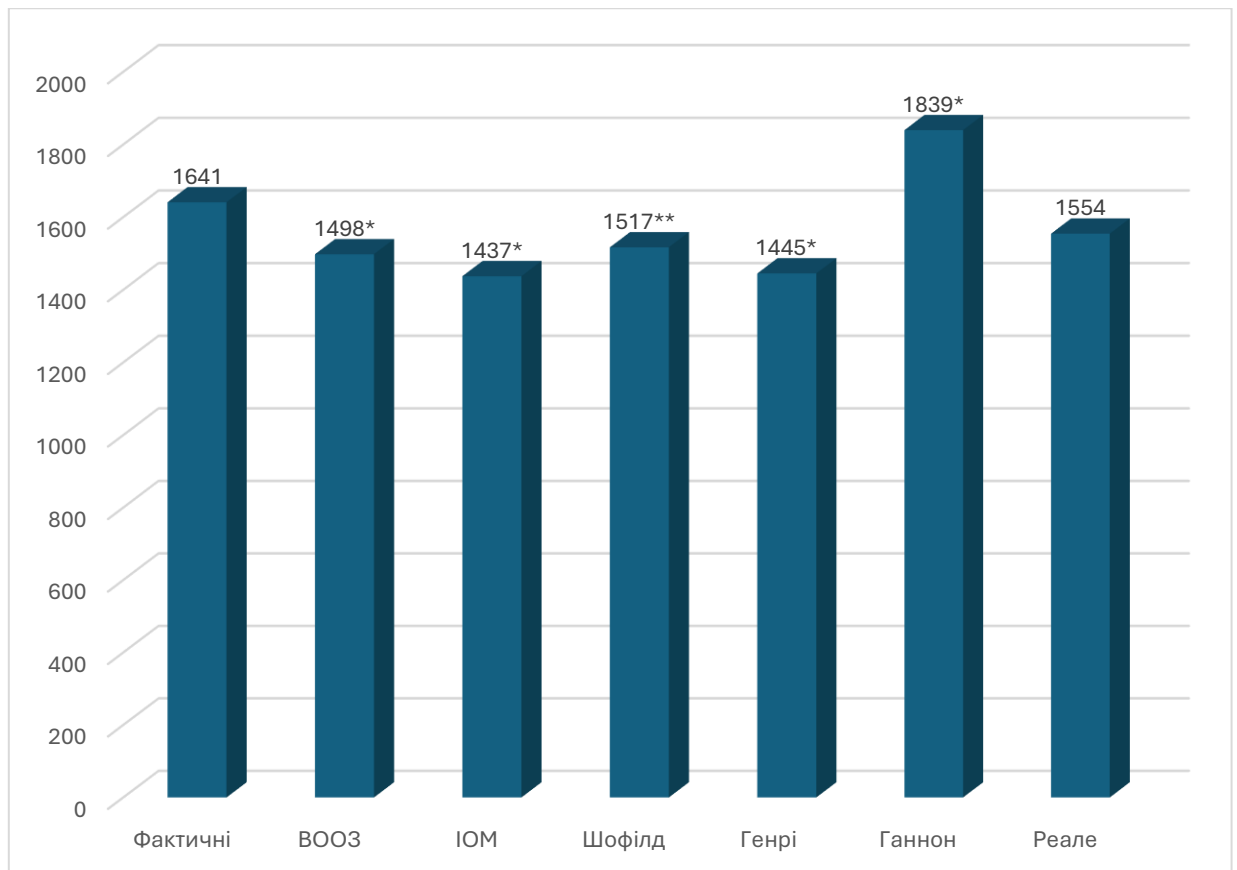
Для порівняння фактичних значень ЕВС з розрахованими за формулами були вибрані максимально релевантні для даної вікової групи та статі формули на основі показників маси тіла, довжини тіла та віку. Серед них 4 загальнопопуляційні (ВООЗ, ІОМ, Шофілда, Генрі) та 2 формули розроблені спеціально для спортсменів-підлітків (Ганнона, Реале). Дані наведено у таблиці 4.9.

**Таблиця 4.9** – Порівняння фактичних енерговитрат у стані спокою з обчисленими за допомогою формул, (n = 22)

ЕВС	$\bar{X} \pm S$	Мін.	Макс.
Фактичні	1641 ± 231	1242	2112
ВООЗ	1498 ± 95	1352	1722
ІОМ	1437 ± 88	1274	1684
Шофілд	1517 ± 105	1358	1763
Генрі	1445 ± 87	1313	1649
Ганнон	1839 ± 74	1726	2014
Реале	1554 ± 126	1347	1913

**Примітка.**  $\bar{X}$  – середнє; S – стандартне відхилення; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

Значущість відмінностей між фактичними енерговитратами у стані спокою та розрахованими за допомогою формул визначали для кожної формули окремо, порівнюючи результати розрахунку з визначеними інструментальним шляхом фактичними енерговитратами у стані спокою. Дані представлені на рисунку 4.16.



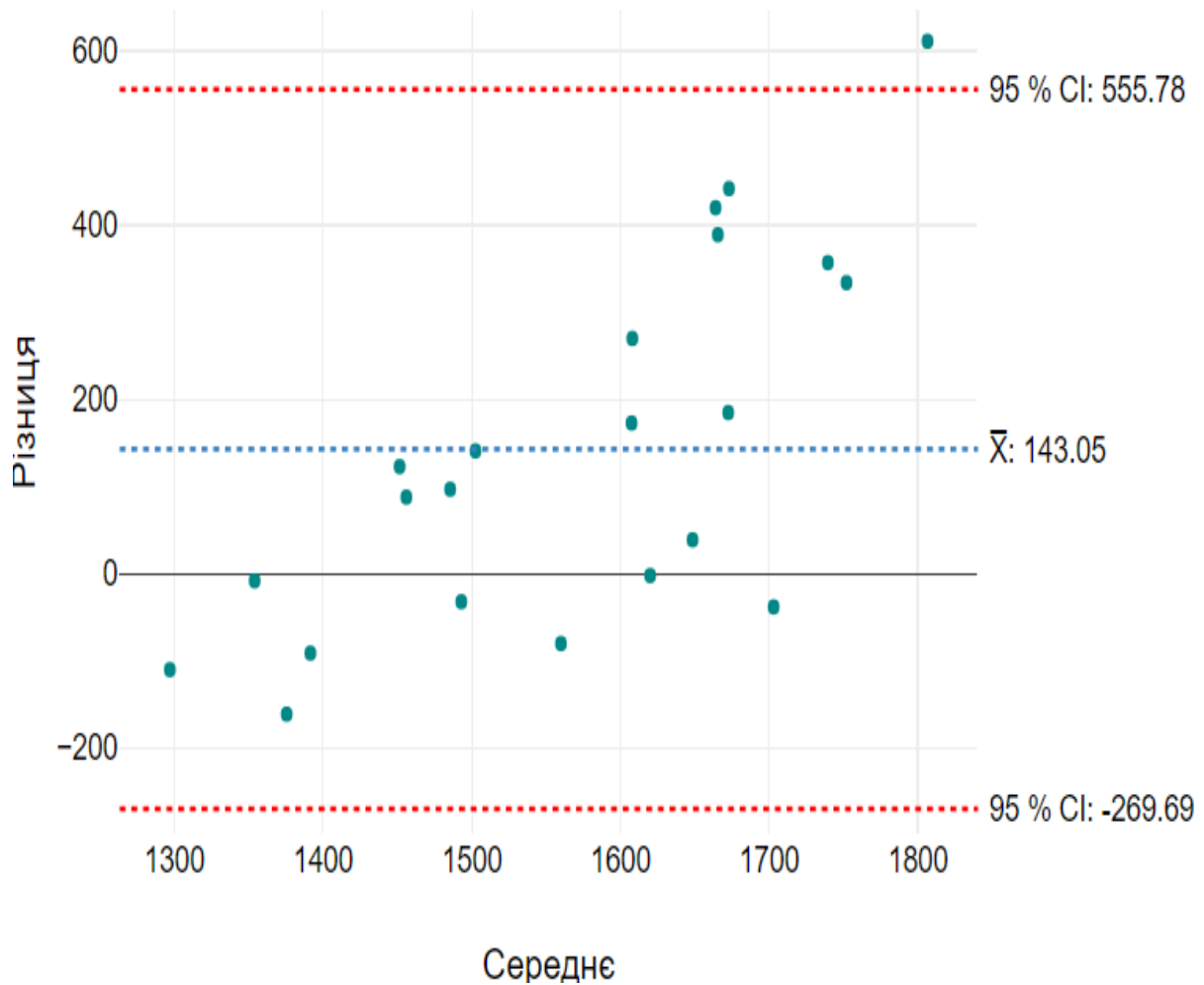
**Примітка 1.** \* – відмінності статистично значущі на високому рівні ( $p \leq 0,01$ ).

**Примітка 2.** \*\* – відмінності статистично значущі ( $p \leq 0,05$ ).

**Рисунок 4.16** – Середньогрупові величини фактичних та розрахованих за допомогою формул енерговитрат у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років ( $n = 22$ )

На високому ( $p \leq 0,001$ ) рівні статистичної значущості виявлені відмінності між фактичними ЕВС та розрахованими за допомогою формул ВООЗ, ІОМ, Генрі та Ганнона. Виявлена статистично значуща ( $p \leq 0,005$ ) відмінність між фактичними ЕВС та розрахованими за формулою Шофілда. При цьому серед досліджених спортсменок відмінності між ЕВС <sub>факт</sub> та розрахованими за формулою Реале виявилися не достовірними.

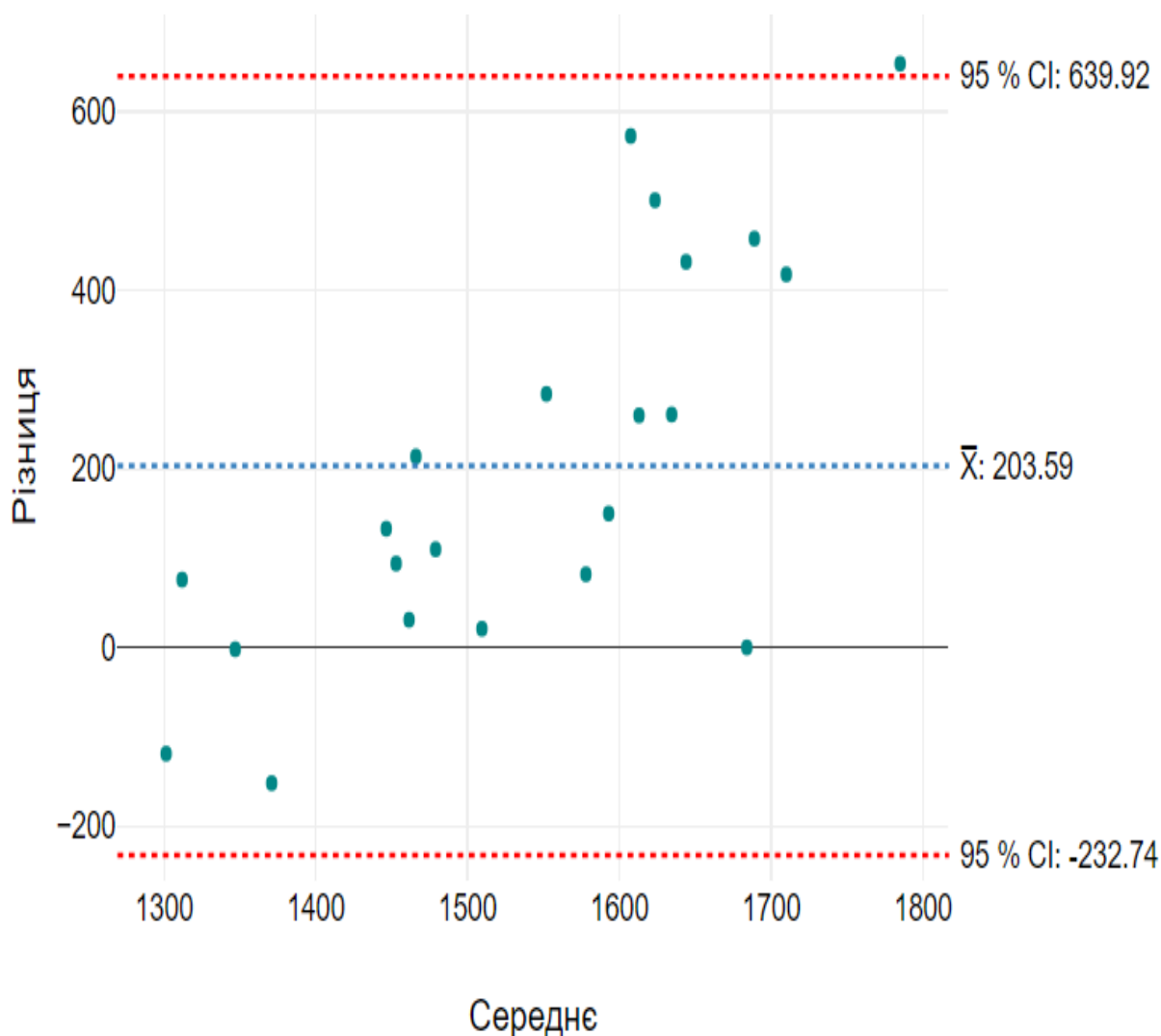
Графіки Бланда-Альтмана (рис. 4.17-4.22) ілюструють порівняння точності вимірювання для кожної пари ЕВС фактичні-розраховані за формулою.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.17** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули ВООЗ енерговитрат у стані спокою

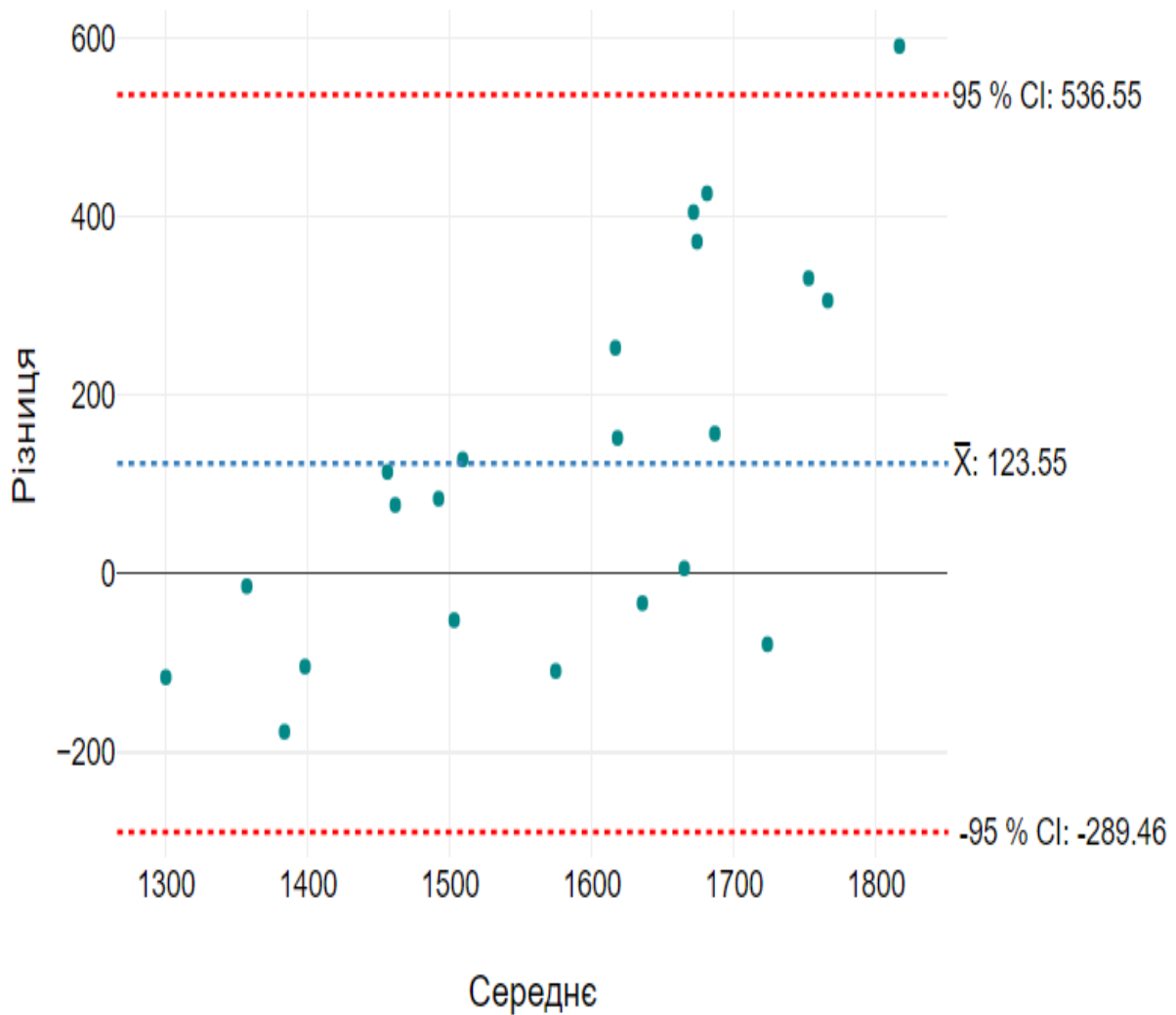
Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули ВООЗ для спортсменок віком 15–17 років свідчать, що існує помірна середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, проте досить значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою ВООЗ енерговитратами у стані спокою становить 0,364, що свідчить про низьку узгодженість між цими показниками.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.18** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули ІОМ енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули ІОМ свідчать, що існує помірна середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями та значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою ІОМ енерговитратами у стані спокою становить 0,205 і свідчить про низьку узгодженість між цими показниками.

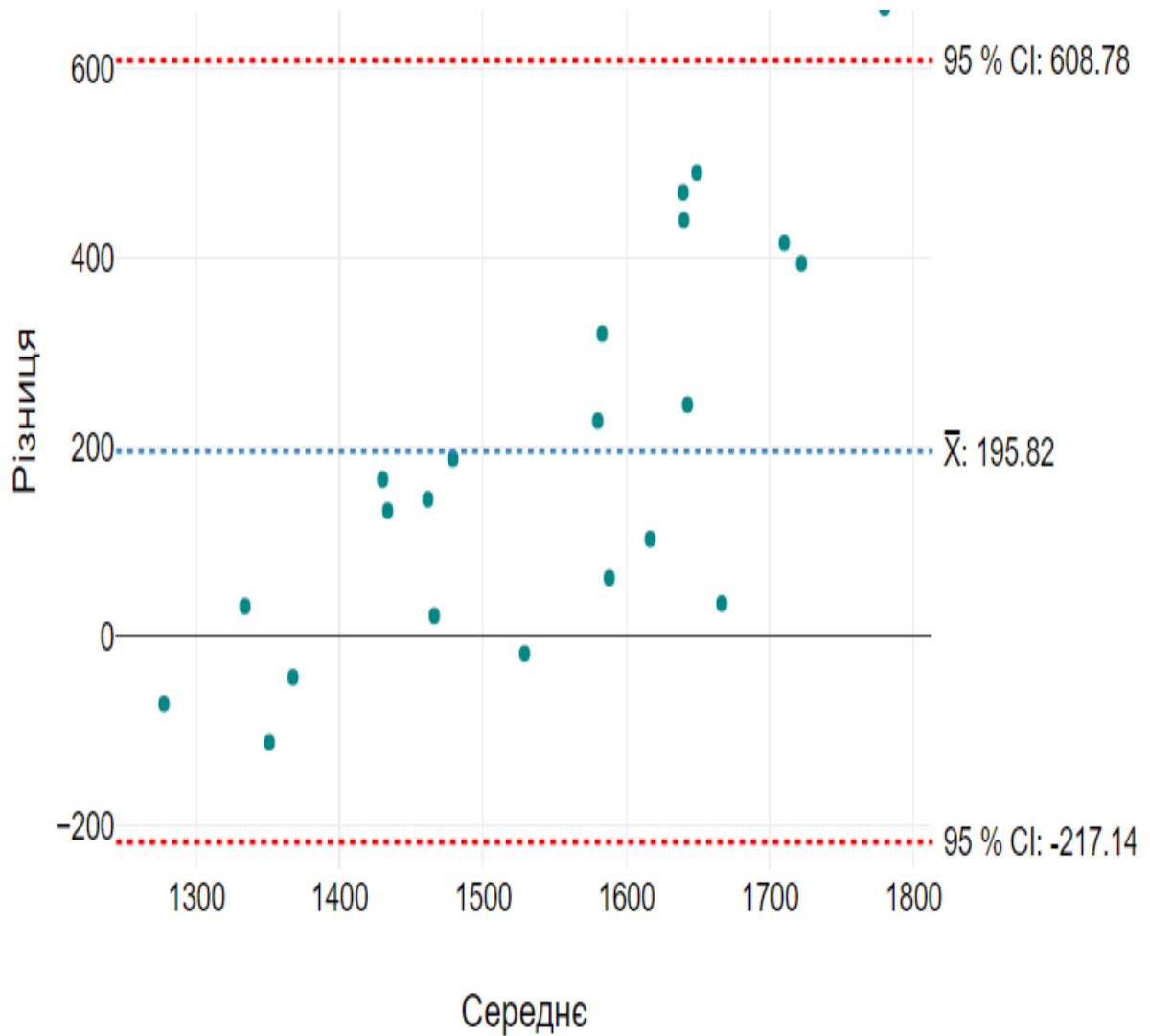


**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.19** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Шофілда енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Шофілда свідчать, що існує помірна середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями. Ці дані також підтверджує внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Шофілда енерговитратами у стані спокою, який становить 0,384 і свідчить про низьку узгодженість між цими показниками.

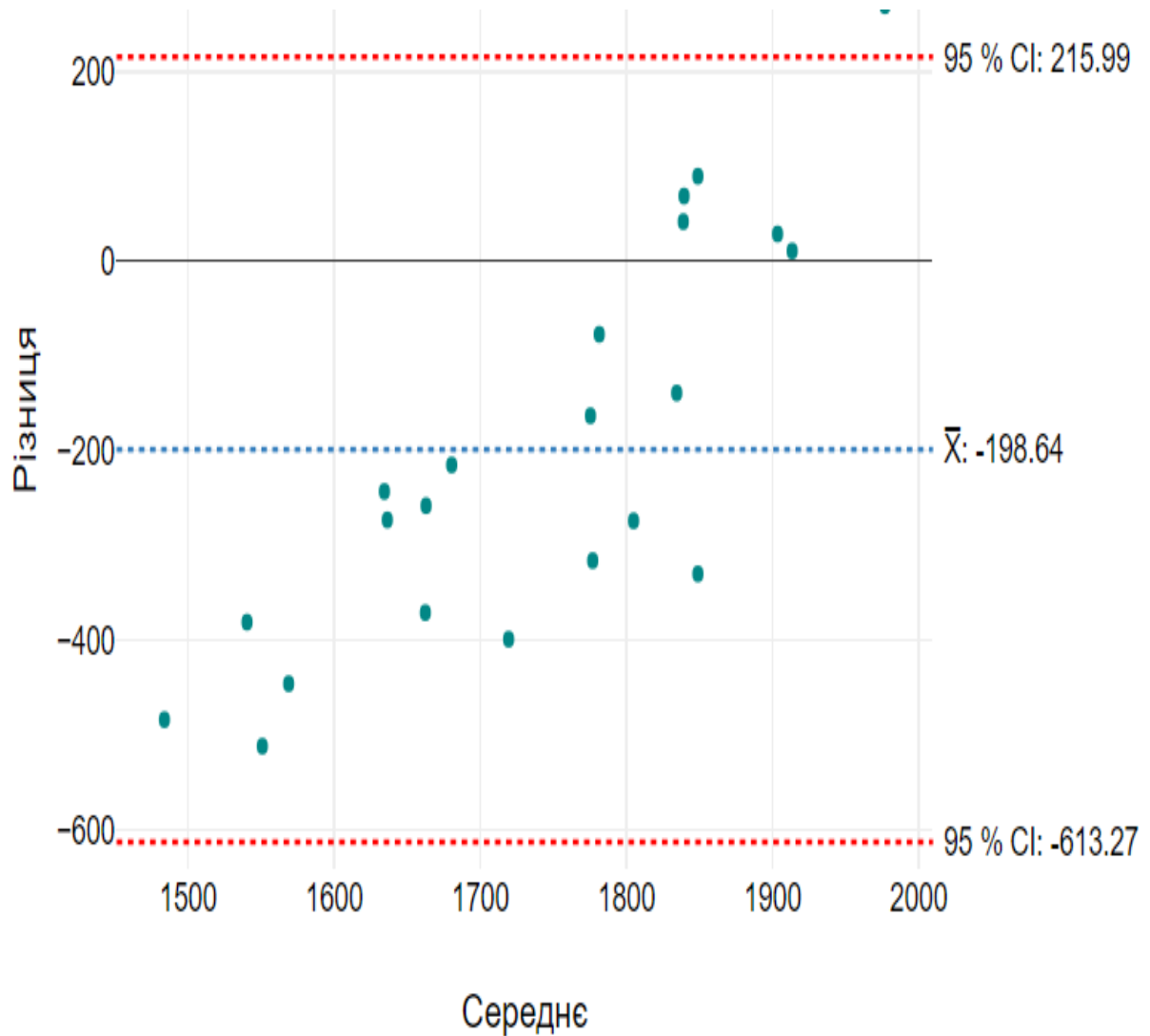




**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.20** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Генрі енерговитрат у стані спокою

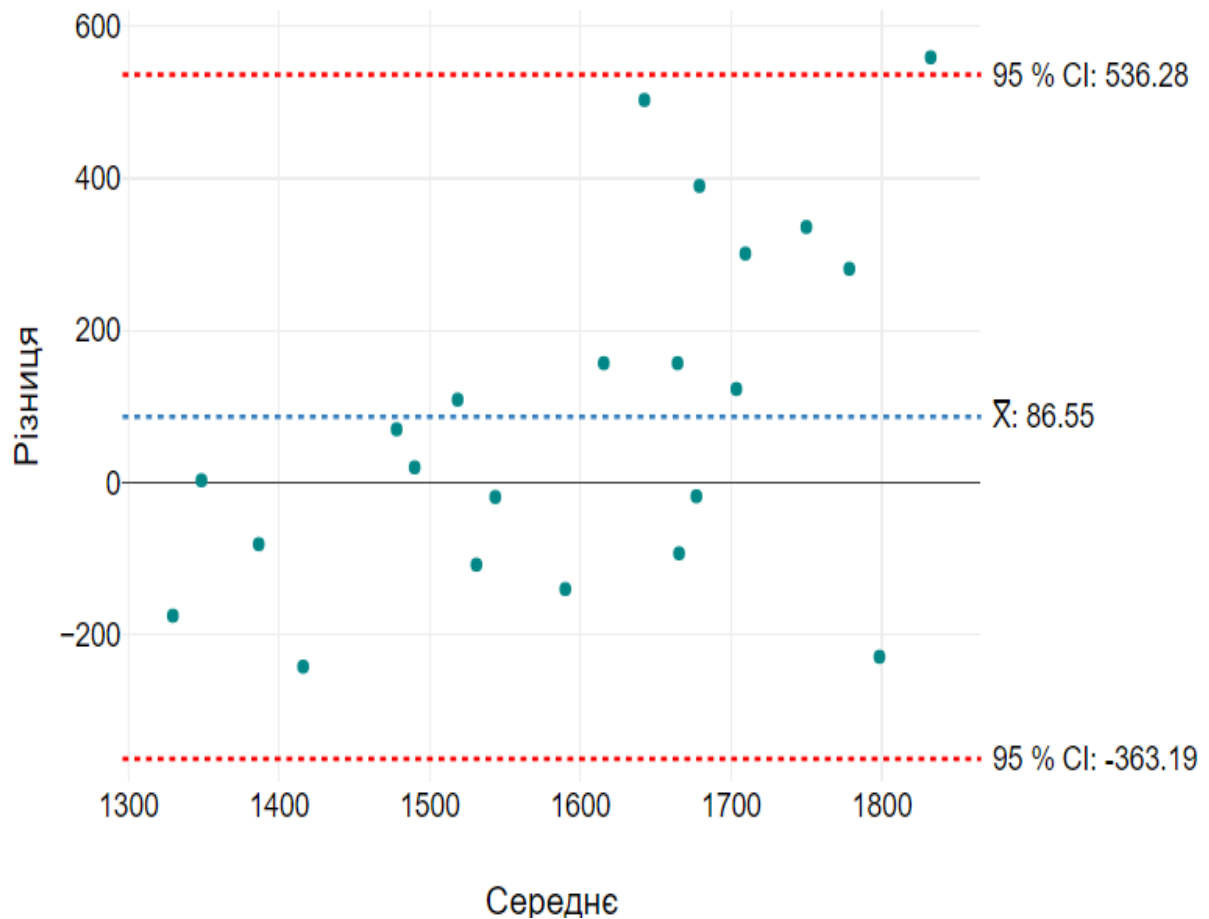
Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Генрі свідчать, що існує помірна середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до недооцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Генрі енерговитратами у стані спокою, становить 0,289 і свідчить про низьку узгодженість між цими показниками.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.21** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Ганнона енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Ганнона і свідчать, що існує помірна середня різниця у кожній порівняній парі з тенденцією до переоцінки енерговитрат у стані спокою порівняно з фактичними значеннями, а також значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Ганнона енерговитратами у стані спокою, становить 0,254 і свідчить про низьку узгодженість узгодження між цими показниками.



**Примітка.**  $\bar{X}$  – середня різниця між парами вимірювань, 95 % CI – довірчий інтервал для стандартних відхилень різниці між парами вимірювань.

**Рисунок 4.22** – Графік Бланда-Альтмана для фактичних та розрахованих за допомогою формули Реале енерговитрат у стані спокою

Результати аналізу Бланда-Альтмана щодо точності формули Реале свідчать, що існує незначна різниця у кожній порівняній парі, проте значний діапазон різниці між значеннями. Внутрішньо класовий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими за формулою Реале енерговитратами у стані спокою, становить 0,365 і свідчить про низьку узгодженість між цими показниками.

Порівняння відсотків точного розрахунку за кожною з застосованих формул наведено в таблиці 4.8. За результатами аналізу літератури за темою дослідження коректний розрахунок було прийнято як відхилення  $\pm 10\%$  від фактичних енерговитрат у стані спокою.

**Таблиця 4.10** – Коректний розрахунок, переоцінка та недооцінка розрахункових формул порівняно з фактичними енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років, (n = 22)

Формула	КР, %	ПО, %	НО, %	КСКП
ВООЗ	64	4	32	216
ІОМ	50	4	46	227
Шофілд	64	4	32	216
Генрі	50	0	50	216
Ганнон	36	60	4	216
Реале	59	14	27	227

**Примітка.** КР – коректний розрахунок (90–110 % ЕВС факт); ПО – переоцінка ЕВС ( $\geq 111$  % ЕВС факт); недооцінка ЕВС ( $\leq 89$  % ЕВС факт); КСКП – корінь із середньоквадратичної помилки.

Загально популяційні формули (ВООЗ, ІОМ, Шофілда, Генрі, Ганнона) мають найвищі відсотки недооцінки енерговитрат у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років. Формула Ганнона має найвищий відсоток переоцінки енерговитрат у стані спокою.

У всіх провалідованих формул серед спортсменок віком 15–17 років корінь із середньоквадратичної помилки був у діапазоні 13–14 % від фактичних середніх енерговитрат у стані спокою.

З метою візуалізації впливу використання різних формул на розрахунок добових енерговитрат за допомогою коефіцієнтів фізичної активності нами здійснено розрахунок добових енерговитрат з використанням коефіцієнту активності 2,2, відповідно до класифікації рівнів фізичної активності Всесвітньої організації охорони здоров'я [60], подібно до розрахунку добових енерговитрат у інших групах досліджених спортсменів на основі різних формул для визначення енерговитрат у стані спокою. Результати представлені у таблиці 4.11.

**Таблиця 4.11** – Розрахунок добових енерговитрат спортсменок віком 15–17 років за формулами з різною точністю, (n = 22)

ЕВС	ДЕВ	Δ ДЕВ, ккал/доба
Фактичні	3610	-
ВООЗ	3296	314
ІОМ	3161	449
Шофілд	3337	273
Генрі	3179	431
Ганнон	4045	435
Реале	3419	191

**Примітка.** Δ ДЕВ – різниця між добовими енерговитратами розрахованими на основі фактичних ЕВС та на основі розрахованих за формулами ЕВС.

Найменша різниця між добовими енерговитратами, визначеними на основі фактичних енерговитрат у стані спокою та на основі розрахованих за формулами ЕВС становить 5 % для формули Реале, а найбільша – 12 % для формули ІОМ.

#### **4.6 Оцінка низької доступності енергії у спортсменок віком 15–17 років за допомогою індексу енерговитрат у стані спокою**

Серед досліджених спортсменок даної вікової категорії були виділені 5 осіб з найнижчими значеннями фактичних енерговитрат у стані спокою, оскільки ми обмежились аналізом фактичних ЕВС, визначених за допомогою непрямой калориметрії, та оцінкою індексу ЕВС, розрахованого на основі шести різних формул. Це дозволяє оцінити, як різні методи розрахунку можуть впливати на виявлення можливих ризиків LEA і наскільки точними є ці формули для спортсменів із низькими ЕВС. Також для отримання більш повного уявлення про особливості спортсменок із найнижчими фактичними ЕВС у таблицю включено їх індекси маси тіла, оскільки цей показник може

бути непрямим свідченням загального фізичного стану та енергетичного балансу спортсменів. Дані представлено у таблиці 4.12.

**Таблиця 4.12** – Індекси ЕВС за різними формулами у спортсменок віком 15–17 років із найнижчими фактичними ЕВС, (n = 5)

Показник	С 1	С 2	С 3	С 4	С 5
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	17,8	20,1	22,4	20,1	21,6
ЕВС фактичні, ккал/доба	1242	1295	1346	1350	1477
ВООЗ	0,92	<b>0,89</b>	0,94	0,99	0,98
ІОМ	0,91	<b>0,89</b>	1,00	1,06	1,02
Шофілд	0,91	<b>0,88</b>	0,93	0,99	0,97
Генрі	0,91	<b>0,88</b>	0,93	0,99	0,97
Ганнон	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>
Реале	<b>0,88</b>	<b>0,84</b>	0,94	1,00	0,93

**Примітка 1.** С 1–С 5 – спортсменка 1–5.

**Примітка 2.** Виділені жирним шрифтом індекси означають низьку доступність енергії.

Найменші індекси енерговитрат у стані спокою, які свідчать про низьку доступність енергії, були отримані за формулою Ганнона для всіх спортсменок, незалежно від фактичних енерговитрат у стані спокою. Ця тенденція спостерігалася у всіх спортсменок незалежно від їхніх фактичних показників енерговитрат у стані спокою. Формули Всесвітньої організації охорони здоров'я, Інституту медицини, а також Шофілда та Генрі, визначають низьку доступність енергії переважно у спортсменок із найнижчими фактичними показниками енерговитрат у стані спокою (С1–С2). Водночас для спортсменок із відносно вищими показниками ЕВС (С4–С5) ці ж формули демонструють нормальні рівні доступності енергії. Формула Реале свідчить про низьку доступність енергії у трьох спортсменок із п'яти.

## Висновки до розділу 4

1. Середні значення енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменок віком 18–35 років становлять  $1772 \pm 376$  ккал/доба для та  $1641 \pm 231$  ккал/доба для спортсменок віком 15–17 років.

2. Між енерговитратами у стані спокою та віком є сильний прямий зв'язок ( $\rho = 0,60$ ) серед спортсменок віком 18–35 років. Серед спортсменок віком 15–17 років зв'язок між цими параметрами не є статистично значущим.

3. Між енерговитратами у стані спокою та антропометричними показниками серед спортсменок віком 18–35 років існує сильний прямий зв'язок з довжиною тіла ( $\rho = 0,67$ ) та масою тіла ( $\rho = 0,74$ ), та помірний прямий зв'язок з індексом маси тіла ( $\rho = 0,40$ ). В той час серед спортсменок віком 15–17 років зв'язок з довжиною тіла відсутній, а помірна пряма кореляція з масою тіла знаходиться на межі статистичної значущості ( $r = 0,41$ ,  $p = 0,059$ ), при цьому з індексом маси тіла спостерігається достовірна висока пряма кореляція ( $r = 0,50$ ).

4. У спортсменок віком 18–35 років при порівнянні 6 формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою (Гаріса-Бенедикта, Міффліна, ВООЗ, Де Лорензо, тен Гааф та Фрейре) з фактичними ЕВС відмінності не були статистично значущі для ЕВС обрахованих за формулою Де Лорензо та формулою Фрейре. Ці формули також мають найкращі показники узгодженості з фактичними енерговитратами у стані спокою згідно аналізу Бланда-Альтмана та коефіцієнтів внутрішньо класової кореляції 0,844 для формули Де Лорензо та 0,817 – для формули Фрейре). Найвищий відсоток (58 %) коректного (в межах  $\pm 10$  % від фактичних значень) розрахунку серед досліджених формул виявлено у формули Де Лорензо.

5. При розрахунку добових енерговитрат на основі ЕВС та коефіцієнту фізичної активності у спортсменок віком 18–35 років найменша різниця між добовими енерговитратами за фактичними ЕВС і

розрахунковими значеннями становить 0,6% для формули Фрейре та 1,7% для формули Де Лорензо, найбільша – 18,3% для формули ВООЗ.

6. При оцінці доступності енергії серед спортсменок віком 18–35 років індекси ЕВС за формулами Гаріса-Бенедикта, Міффліна та ВООЗ демонструють нормальну доступність енергії у всіх спортсменок. Формули Фрейре та Де Лорензо вказують на низьку доступність енергії у всіх спортсменок. Індекс тен Гааф свідчить про нормальну доступність енергії у трьох спортсменок і низьку у двох.

7. У спортсменок віком 15–17 років при порівнянні 6 формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою (ВООЗ, ІОМ, Шофілда, Генрі, Ганнона та Реале) з фактичними ЕВС відмінності не були статистично значущі для ЕВС обчислених за формулою Реале. Серед досліджених формул ця формула має найкращу узгодженість з фактичними енерговитратами у стані спокою за результатами аналізу Бланда-Альтмана, а також високий відсоток (59 %) коректного (в межах  $\pm 10\%$  від фактичних значень) розрахунку енерговитрат у стані спокою.

8. При розрахунку добових енерговитрат на основі ЕВС та коефіцієнту фізичної активності у спортсменок віком 15–17 років формула Реале демонструє найкращу точність порівняно з добовими енерговитратами, розрахованими на основі фактичних енерговитрат у стані спокою (5 % різниці). Найгірша точність у формули ІОМ (12 % різниці).

9. Серед спортсменок віком 15–17 років із найнижчими фактичними енерговитратами у стані спокою найнижчі індекси енерговитрат у стані спокою зафіксовано за формулою Ганнона для всіх спортсменок. Формули ВООЗ, ІОМ, Шофілда та Генрі вказують на низьку доступність енергії у спортсменок із найнижчими фактичними ЕВС, тоді як для інших оцінки відповідають нормальним значенням. Формула Реале свідчить про низьку доступність енергії у трьох із п'яти спортсменок.

Результати цього розділу опубліковані у роботах здобувача [3, 5, 6, 71, 72].



## РОЗДІЛ 5

### АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### **5.1 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості**

Енерговитрати у стані спокою серед 4 груп досліджених спортсменів (спортсмени/спортсменки 18–35 років, спортсмени/спортсменки 15–17 років) достовірно відрізняються між собою, що потребує диференційного підходу для аналізу даних в кожній групі. При цьому в сучасній науковій літературі здебільшого наявні дані щодо ЕВС у окремих вікових груп спортсменів та/або статі, тому з метою якісного порівняння отриманих в нашому дослідженні даних з даними інших дослідників вважаємо за потрібне розділити їх за віком: дорослі спортсмени (18–35 років) та спортсмени-підлітки (15–17 років).

##### **5.1.1 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 18–35 років**

Середні значення ЕВС серед досліджених нами спортсменів-чоловіків ( $2140 \pm 373$  ккал), є дещо вищими, ніж ті, що були раніше зафіксовані у спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості чоловічої статі (табл. 5.1), окрім дослідження Carlsohn [104], в якому середні значення ЕВС вищі, ніж зафіксовані нами. Ми пов'язуємо це з відмінностями у середніх антропометричних показниках спортсменів, які представляють різні види спорту, що вимагають витривалості. Наприклад, у дослідженні Carlsohn значну частину вибірки складала спортсмени з веслування академічного, які, як правило, мають більшу довжину та масу тіла. На відміну від них, бігуни на довгі дистанції та триатлоністи зазвичай відзначаються меншою масою та довжиною тіла.

**Таблиця 5.1** – Енерговитрати у стані спокою у спортсменів-чоловіків видів спорту з переважним проявом витривалості віком 18-35 років

Дослідження	ЕВС, ккал/доба	Кількість осіб	Види спорту
Thompson J., Manore[126]	1868 ± 239	24	біг на довгі дистанції, велоспорт
Poehlman[87]	1858 ± 72	9	легкоатлетичний крос, біг на довгі дистанції
Schulz[46]	1808 ± 342	20	біг на довгі дистанції, велоспорт, триатлон
Cocate [115]	2051 ± 169	15	велоспорт
Carlsohn [104]	2675 ± 526	8	веслування академічне, веслування на каное
Devrim-Lanpir[64]	2041 ± 301	15	ультрамарафон, ультратриатлон

Схожа тенденція спостерігається і щодо середніх значень енерговитрат у стані спокою серед жінок-спортсменок, які взяли участь у даному дослідженні. Зокрема, середнє значення ЕВС склало  $1772 \pm 376$  ккал, що є вищим порівняно з результатами, отриманими в попередніх дослідженнях жінок-спортсменок. Винятком є лише дослідження Devrim-Lanpir, де були зафіксовані подібні або дещо вищі значення (табл. 5.2).

Це може бути пов'язано зі специфікою вибірок, зокрема невеликими їх розмірами, а також відмінностями у розмірах тіла та інших індивідуальних параметрах.

**Таблиця 5.2** – Енерговитрати у стані спокою у спортсменок видів спорту з переважним проявом витривалості віком 18–35 років

Дослідження	ЕВС, ккал/доба	Кількість осіб	Види спорту
Thompson J., Manore [126]	1486 ± 103	13	біг на довгі дистанції, велоспорт
Carlsohn et al. [104]	1577 ± 253	9	веслування академічне, веслування на каное
Devrim-Lanpir [64]	1788 ± 341	15	ультрамарафон, ультратриатлон

Середньогрупові значення фактичних ЕВС у чоловіків достовірно вищі, ніж у жінок як у спортсменів віком 18–35 років, так і в спортсменів віком 15–17 років. Такі відмінності між фактичними енерговитратами у стані спокою у спортсменів чоловічої та жіночої статей є загальновідомими [47, 53]. Зокрема, відмінності між фактичними енерговитратами у стані спокою у спортсменів чоловічої та жіночої статі, які зникають при перерахунку енерговитрат на кг маси тіла, збігаються з даними дослідника Jagim та його колег [109, 110] щодо статевих особливостей ЕВС у спортсменів.

Загалом спортсмени та спортсменки віком 18–35 років мають схожу картину кореляційних зав'язків ЕВС з антропометричними параметрами, де найбільший відсоток варіації ЕВС пояснює маса тіла. Це збігається з даними інших дослідників як на загальнопопуляційному рівні [122, 135], у так і у спортивній популяції [118, 128].

Цікавим при цьому є той факт, що у нашому дослідженні вік пояснює більший відсоток варіації ЕВС у жінок, ніж у чоловіків, в той час як з ІМТ зворотна ситуація – у чоловіків він пояснює 33 % варіації ЕВС, а у жінок – тільки 16 %. Такі результати можуть вказувати на те, що вікові зміни впливають на енерговитрати у спокої по-різному для чоловіків і жінок.

Зокрема, вік може сильніше впливати на ЕВС у жінок через вікові особливості менструального циклу, які можуть змінюватися упродовж репродуктивного періоду.

Також для чоловіків ІМТ може краще відображати рівень м'язової маси, що напряму впливає на ЕВС. У жінок ІМТ може включати більше варіацій жирової тканини, що пояснює менший зв'язок ІМТ з ЕВС. Тому різниця у впливі віку та ІМТ між статями може бути результатом фізіологічних відмінностей у складі тіла, гормональних змін та інших факторів, що по-різному впливають на метаболізм чоловіків і жінок. Загалом, сучасні наукові дані свідчать про те, що статеві відмінності в обміні речовин та композиційному складі тіла (зокрема кількість жирової та безжирової маси тіла) зумовлюють відмінності ЕВС у чоловіків та жінок [53].

Слід зазначити, що ЕВС у обстежених нами жінок-спортсменок відзначаються значним діапазоном значень. У дослідженнях Jagim[109, 110] відзначають подібні відмінності. На нашу думку, це свідчить про значний вплив на ЕВС додаткових чинників у жіночому організмі, зокрема фази менструального циклу. Так, Venton відзначає, що ЕВС не є постійними під час різних фаз менструального циклу [23]. Більшість дослідників сходяться на думці, що врахування фази менструального циклу є важливим при моніторингу та оцінці ЕВС у спортсменок [47, 88]], зокрема для оцінки ризику розвитку дефіциту енергії, що є складним питанням як з організаційної, так і з методологічної точки зору, враховуючи можливість виникнення порушень менструального циклу у висококваліфікованих спортсменок [37, 55].

### **5.1.2 Енерговитрати у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 15–17 років**

Енерговитрати спокою у досліджених нами спортсменів віком 15–17 років чоловічої статі ( $2019 \pm 337$  ккал/доба) є вищими, порівняно з ЕВС у спортсменів підліткового віку в опублікованих раніше дослідженнях (табл.

5.3). Слід зазначити, що наявні дослідження ЕВС у спортсменів підліткового віку містять дані здебільшого футболістів і характеризуються досить широким віковим діапазоном досліджених (11-17 років), і, відповідно, значним діапазоном антропометричних показників.

**Таблиця 5.3** – Енерговитрати у стані спокою у спортсменів-чоловіків віком 15–17 років

Дослідження	ЕВС, ккал/доба	Кількість осіб	Види спорту
Cherian [105]	1343 ± 297	21	футбол
Hannon [49]	1858 ± 215	99	футбол
Loureiro [22]	1559 ± 203	17	п'ятиборство
Kim [13]	1648 ± 111	30	футбол
Oliveira [89]	1717 ± 203	45	футбол
Reale [76]	2010 ± 294	97	футбол, баскетбол, бейсбол, лакрос, легка атлетика, теніс, гольф
Łuszczki [98]	1844 ± 328	184	футбол

Середні значення енерговитрат спокою у спортсменок віком 15–17 років ( $1641 \pm 213$  ккал) є вищими порівняно з даними інших дослідників (табл. 5.4) Ми пов'язуємо це з відмінностями між вибірками як за видами спорту, так і за індивідуальними показниками, такими як вік та антропометричні параметри.

**Таблиця 5.4** – Енерговитрати у стані спокою у спортсменок видів віком 15–17 років

Дослідження	ЕВС, ккал/доба	Кількість осіб	Види спорту
Cherian [105]	1135 ± 117	19	футбол
Loureiro [22]	1357 ± 140	11	п'ятиборство
Kim [12]	1365 ± 186	20	футбол
Branco [35]	1618 ± 175	11	спортивна гімнастика, художня гімнастика
Reale [76].	1535 ± 171	29	футбол, баскетбол, лакрос, легка атлетика, теніс, гольф

При кореляційному аналізі у спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років відмічається дещо менша сила зв'язку між антропометричними параметрами і енерговитратами у стані спокою, проте загалом схожа картина: найбільше варіації ЕВС пояснює маса тіла, потім довжина тіла та індекс маси тіла. При цьому кореляційні зв'язки між антропометричними параметрами та енерговитратами у стані спокою у спортсменок віком 15–17 років кардинальним чином відрізняються як від показників спортсменок віком 18–35 років, так і від показників спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років.

У спортсменок віком 15–17 років маса тіла має помірний вплив на ЕВС, але статистична значущість кореляції знаходиться на межі прийнятності, що, вочевидь можна пояснити порівняно невеликим розміром вибірки відносно інших досліджених груп. Довжина тіла не має значущого впливу на енерговитрати у стані спокою, оскільки кореляція дуже слабка і незначуща. В той же час індекс маси тіла має помірну кореляцію, яка є статистично значущою, що вказує на те, що він може бути важливим фактором для ЕВС

серед спортсменок віком 15-17 років. На нашу думку, це можна пояснити тим, що індекс маси тіла є більш комплексним показником, що враховує і масу, і довжину тіла, що дозволяє точніше оцінити фізичний стан індивіда і його метаболічні потреби. Подібні результати, а саме відсутність кореляції між енерговитратами у стані спокою та антропометричними параметрами у спортсменок підліткового віку описані в дослідженні Branco [35].

На нашу думку, це може бути зумовлено тим, що у цьому віковому періоді організм дівчат перебуває на активній стадії росту і біологічного дозрівання, що вимагає значних енергетичних ресурсів. Так, у звіті ВООЗ щодо потреб людини в енергії зазначають, що при визначенні потреб в енергії серед дітей та підлітків слід зважати на витрати енергії для забезпечення оптимального росту та розвитку організму [60]. Процеси формування кісткової, м'язової та інших тканин, а також завершення статевого дозрівання є пріоритетними для організму і забирають значну частину від загальних енергетичних витрат. Таким чином, значна частина ЕВС може спрямовуватися саме на підтримку цих фізіологічних змін, а не лише на базові потреби підтримання життєдіяльності. Через це навіть за однакових антропометричних показників (маси та довжини тіла) рівень ЕВС може варіювати між спортсменками залежно від темпів їхнього росту та етапу фізіологічного розвитку.

Окрім процесів росту та розвитку, значний вплив на ЕВС у дівчат-спортсменок відіграють гормональні зміни, зумовлені менструальним циклом. У цьому віковому діапазоні у частини спортсменок менархе вже відбулося, у інших — ще ні, а у багатьох, навіть після його початку, цикл може бути нестабільним. Коливання рівнів естрогену і прогестерону у різних фазах менструального циклу впливають на основний обмін і можуть спричиняти як його підвищення, так і зниження. Зокрема, у лютеїновій фазі метаболізм може бути підвищеним через термогенний ефект прогестерону, тоді як у фолікулярній фазі енергетичні витрати зазвичай нижчі [23, 32].

Поєднання цих двох чинників створює значну індивідуальну варіативність у рівнях ЕВС серед спортсменок. З одного боку, енергетичні потреби, пов'язані з ростом і розвитком, можуть бути домінуючими, "маскуючи" кореляцію з антропометричними показниками. З іншого боку, гормональні впливи, пов'язані з менструальним циклом, додатково підсилюють цю варіативність. Як наслідок, залежність між ЕВС та масою чи довжиною тіла у дівчат-спортсменок стає статистично незначущою.

Для кращого розуміння цих взаємозв'язків необхідно враховувати фізіологічний стан спортсменок, включаючи стадію статевого дозрівання, регулярність менструального циклу, а також темпи росту й розвитку організму. Ці фактори повинні бути інтегровані в майбутні дослідження для більш точної оцінки енергетичних потреб юних спортсменок.

## **5.2 Точність формул для визначення енерговитрат у стані спокою у спортсменів**

### **5.2.1 Точність формул для визначення енерговитрат стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 18–35 років**

Важливим аспектом цього дослідження є необхідність акуратної та комплексної інтерпретації результатів, що враховує весь спектр статистичного аналізу. Для цього було проведено оцінку достовірності відмінностей між середньо груповими значеннями, визначеними вимірюваннями та обрахунками за формулами. Використано такі методи, як корінь із середньоквадратичної помилки, внутрішньокласовий кореляційний коефіцієнт, графік Бланда-Альтмана, а також визначено відсоток значень, що потрапляють у коридор  $\pm 10\%$  від фактичних даних. Цей підхід дозволяє оцінити не тільки рівень відповідності між обрахованими та фактичними значеннями, але й визначити ступінь точності та узгодженості кожної формули, що є важливим для подальшого використання їх у практичних рекомендаціях.



Хоча середньо групові значення фактичних ЕВС та розрахованих за формулами можуть не мати статистично значущої різниці, проте на індивідуальному рівні розбіжності можуть бути суттєвими, що може призводити до низького ВКК. Внутрішньокласовий кореляційний коефіцієнт оцінює не тільки схожість середніх значень, а й узгодженість між вимірюваннями в парі для кожного індивіда, враховуючи розкид значень. Таким чином, навіть якщо середні значення близькі, низький ВКК може вказувати на недостатню відповідність між окремими парами даних.

Окрім цього, графік Бланда-Альтмана демонструє, наскільки вимірювання за формулою узгоджуються з фактичними значеннями у всьому діапазоні даних. Помірне узгодження на цьому графіку може свідчити про те, що формула має систематичні відхилення для певних підгруп або у певних діапазонах значень, що не відображається на середньому значенні. Наприклад, формула може добре працювати для людей з певними характеристиками (вагою, віком тощо), але мати більші помилки для інших підгруп, що створює невисоку узгодженість.

Таким чином, навіть якщо середні значення, отримані за формулою, не відрізняються від фактичних, низький ВКК і помірне узгодження на графіку Бланда-Альтмана свідчать про те, що на індивідуальному рівні розбіжності між розрахованими та виміряними значеннями залишаються значними, що вимагає обережного підходу до використання таких формул у практичних умовах.

Виявлені нами результати щодо відповідності розрахунку ЕВС за допомогою формул актуальним значенням енерговитрат у стані спокою підтверджують дані Martinho[88] що формули Гаріса-Бенедикта, Міффіна та ВООЗ мають тенденцію до недооцінки ЕВС у спортсменів.

Це також збігається з результатами дослідження O'Neill [81] щодо формул 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. На користь такої думки свідчать дослідження Maskau , в якому формули Гаріса-Бенедикта, Міффліна та ВООЗ переоцінювали енерговитрати у стані спокою у групі жінок, які тренуються з оздоровчою метою, однак у групі високотренованих спортсменок ці формули недооцінювали ЕВС [88].

Як відомо, спорт вищих досягнень характеризується значними фізіологічними змінами у спортсменів, в тому числі і на рівні метаболізму [34, 75, 86]. Дослідження Valci [39] та Freire [78] за участі висококваліфікованих спортсменів також виявили, що формула Гаріса-Бенедикта недооцінює справжні ЕВС у спортсменів.

При цьому дослідження Devrim-Lanpir[64] виявили, що серед кваліфікованих спортсменів видів спорту на витривалість найбільш точною виявилася формула Міффліна. 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 збігаються з дослідженням Fields, в якому формули для розрахунку ЕВС значно недооцінювали ЕВС, хоча для жінок не було різниці між рівняннями Де Лоренцо та фактичними ЕВС. У чоловіків же формула Фрейре виявилася однією з найбільш точних.

Подібні результати щодо формули Де Лоренцо у жінок відмічають у дослідженні Chmielewska[32]: у альпіністів чоловічої та жіночої статі усі формули недооцінювали ЕВС, за винятком рівняння Де Лоренцо в жіночій групі. Однак у дослідженні Tortu [130] серед спортсменок усі формули, в т.ч. формула Де Лоренцо значно недооцінили ЕВС.

Слід зазначити, що отримані нами дані відрізняються від даних огляду O'Neill [81], де найкращою формулою для підрахунку ЕВС у спортсменів обох статей визнано формулу тен Гааф. Цю формулу рекомендують використовувати для спортсменів і за результатами огляду Martinho [88].

В нашому дослідженні формула тен Гааф показала вищий відсоток коректного розрахунку порівняно з загальнопопуляційними формулами, проте поступається формулі Фрейре у чоловіків та Де Лорензо у жінок. 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 Лорензо були розроблені за участі висококваліфікованих спортсменів.

Таким чином, загальнопопуляційні формули Гарріса-Бенедикта, Міффіна та ВООЗ, які широко застосовуються для розрахунку енерговитрат у стані спокою, виявилися непридатними для використання у кваліфікованих українських спортсменів. Проведені дослідження показали, що ці формули суттєво недооцінюють фактичні енерговитрати спортсменів, зокрема через ігнорування специфіки їхнього фізичного навантаження, складу тіла та адаптаційних змін, характерних для тренуваних осіб. Це робить їх нерелевантними для використання з метою оцінки енергетичних потреб спортсменів у практиці спортивної медицини та планування раціонального харчування спортсменів.

Серед формул, що були проаналізовані у цьому дослідженні, найкращу точність для оцінки ЕВС серед українських спортсменів міжнародного рівня у видах спорту на витривалість продемонструвала формула Фрейре для чоловіків і формула Де Лорензо для жінок. Ці формули продемонстрували вищий рівень відповідності фактичним енерговитратам, ніж загально

популяційні підходи, і, відповідно, можуть бути рекомендовані як більш релевантні для використання у тренуваних спортсменів.

Втім, слід наголосити, що, незважаючи на їхню вищу точність порівняно із загально популяційними формулами, навіть ці спеціалізовані формули демонструють хорошу, а не високу, узгодженість з фактичними ЕВС, визначеними методом непрямой калориметрії. Розрахункові формули не здатні повною мірою врахувати індивідуальні особливості спортсменів, такі як морфофункціональні зміни, специфіка метаболічної адаптації до навантажень та рівень тренуваності. Як результат, розрахунки на основі навіть відносно точних формул можуть призводити до суттєвих похибок у визначенні енергетичних потреб.

Таким чином, хоча формули Фрейре і Де Лорензо є найбільш відповідними для оцінки ЕВС серед українських спортсменів видів спорту на витривалість віком 18–35 років, вони не можуть повністю замінити дані, отримані за допомогою непрямой калориметрії. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вдосконалення існуючих формул або розробку нових методів оцінки, що дозволять більш точно враховувати специфіку кваліфікованих спортсменів.

### **5.2.2 Точність формул для визначення енерговитрат у стані спокою у спортсменів та спортсменок віком 15–17 років**

У нашому дослідженні, подібно до результатів серед спортсменів віком 18–35 років та даних інших дослідників формули демонструють різну точність залежно від статі [95].

Серед спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років найкращі показники узгодженості з фактичними енерговитратами згідно аналізу Бланда-Альтмана, найвищий коефіцієнт внутрішньо класової кореляції (0,703) та найвищий відсоток (63 %) коректного (в межах  $\pm 10$  % від фактичних значень) розрахунку має формула ІОМ. Це збігається з даними дослідження Ascar-Тек, де для підлітків з нормальною вагою тіла найбільш

точною була формула ІОМ [133]. Кращі показники точності для формули ІОМ серед спортсменів віком 15–17 років порівняно із іншими дослідженими формулами також співпадають з даними досліджень Zorrilla-Revilla [117] та Łuszczki [98]. Порівняно з іншими загально популяційними формулами високі показники точності має формула Реале, яка демонструє найкращу точність після формули ІОМ.

Серед спортсменок віком 15–17 років досліджені загально популяційні формули (ВООЗ, ІОМ, Генрі та Ганнона) значно недооцінюють фактичні енерговитрати у стані спокою порівняно з їх фактичними значеннями, що збігається з даними дослідження Branco [35]. Відмінності між фактичними та розрахованими за формулами ЕВС серед спортсменок віком 15–17 років не були значущі тільки для формули Реале. Ми пов'язуємо це з тим, що ця формула була розроблена на основі даних ЕВС та антропометрії у спортсменів віком 13-19 років і тому враховує їх метаболічні особливості.

Слід зазначити, що хоча формули ІОМ для юнаків і Реале для дівчат виявилися більш точними порівняно з іншими, вони все ж не гарантують точного визначення енерговитрат у стані спокою. Залишається ризик помилок, що може впливати на оцінку енергетичних потреб, особливо у випадках індивідуальних особливостей складу тіла або рівня фізичної активності. Таким чином, необхідність використання індивідуалізованого підходу при оцінці енерговитрат у молодих спортсменів залишається актуальною.

### **5.3. Практичне значення результатів дослідження**

#### **5.3.1 Значення для розробки раціонів харчування спортсменів**

Точність розрахунку енерговитрат у стані спокою (ЕВС) має критичне значення для ефективної розробки раціонів харчування спортсменів. Адекватне визначення цього показника дозволяє визначити індивідуальні потреби організму в енергії, що, в свою чергу, сприяє оптимізації харчування та покращенню фізичних результатів. Результати нашого дослідження

свідчать, що загально популяційні формули (окрім формули ІОМ для спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років) значно недооцінюють енерговитрати у стані спокою у спортсменів, тому їх не слід використовувати для розрахунку потреб енергії у кваліфікованих спортсменів при створенні раціону харчування.

Точність розрахунку добових енерговитрат є ключовим фактором для створення раціонів харчування з адекватною калорійністю, що забезпечує енергетичні потреби спортсменів. Відхилення між фактичними ДЕВ і тими, що розраховані за неточними формулами, можуть бути значними. Наприклад, у чоловіків віком 18–35 років різниця для формули Міффіна склала 712 ккал/добу, а для формули ВООЗ – 715 ккал/добу, що може призводити до значної недооцінки раціону. У жінок віком 15–17 років формула ВООЗ недооцінює ДЕВ на 314 ккал/добу, що також створює ризик недостатньої доступності енергії.

Тому для уникнення енергетичного дефіциту при відсутності можливості вимірювання ЕВС за допомогою непрямой калориметрії рекомендовано використовувати найбільш точні формули, які відповідають статеві-віковим характеристикам спортсменів. Це дозволяє забезпечити оптимальне харчування та підтримку спортивної працездатності.

За відсутності можливості визначення ЕВС у кваліфікованих спортсменів за допомогою непрямой калориметрії слід використовувати найбільш відповідні індивідуальним характеристикам спортсмена формули:

- Фрейре для чоловіків віком 18–35;
- ІОМ для юнаків віком 15–17 років;
- Де Лорензо для жінок віком 18–35 років;
- Реале для дівчат віком 15–17 років.

Таким чином, спортивні дієтологи або інші спеціалісти, дотичні до розробки раціонів харчування для спортсменів, отримують чіткі розуміння того, яким чином визначити енерговитрати у стані спокою у кваліфікованих спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості залежно від

статі та віку. Враховуючи той факт, що наше дослідження мало на меті встановлення особливостей ЕВС саме у кваліфікованих спортсменів, досліджені нами вікові групи 15–17 та 18–35 років значною мірою охоплюють можливий віковий діапазон у цій категорії спортсменів.

Отже, точний розрахунок ЕВС дозволяє створити науково обґрунтовані рекомендації для харчування спортсменів, що забезпечує оптимальні умови для тренувального процесу, підтримання фізичної форми і здоров'я, а також ефективно відновлення після навантажень.

### **5.3.2 Значення для оцінки доступності енергії у спортсменів**

Оцінка низької доступності енергії є важливим аспектом підтримки здоров'я та спортивної працездатності спортсменів. Інтегральним показником, який дозволяє оцінити цей стан, є індекс енерговитрат у стані спокою. Значення індексу ЕВС, менші або рівні 0,89, вказують на можливу LEA. Тому правильне визначення фактичних ЕВС та їх коректне співвідношення із розрахунковими формулами є критично важливими, оскільки похибки, пов'язані з використанням не релевантних для спортивної популяції формул, можуть призводити як до недооцінки енергетичного дефіциту або, навпаки, до його неправильного діагностування [123].

Наші результати демонструють, що загальнопопуляційні формули не завжди адекватно оцінюють ЕВС, що може призводити до помилкової діагностики LEA. Наприклад, для чоловіків віком 18–35 років індекси ЕВС, розраховані за формулами Фрейре (0,76–0,84) і тен Гааф (0,80–0,89), свідчать про низьку доступність енергії для більшості спортсменів у групі з найнижчими фактичними ЕВС. Формули Гаріса-Бенедикта та Міффіна, навпаки, оцінюють доступність енергії як нормальну, що може створювати хибне відчуття енергетичної достатності.

Схожі тенденції спостерігались і у спортсменок віком 15–17 років. Формула Ганнона систематично демонструє індекси, що вказують на LEA (0,72–0,80) у всіх досліджених спортсменок. Водночас формули ВООЗ, ІОМ,

Шофілда та Генрі оцінюють доступність енергії як низьку лише у спортсменок із найнижчими фактичними ЕВС (індекси 0,88–0,92), а у дівчат із вищими фактичними ЕВС – як нормальну. Формула Реале також вказує на LEA у трьох із п'яти спортсменок із найнижчими фактичними ЕВС.

Отже, використання формул із низькою точністю для оцінки доступності енергії може призводити до значних помилок. Враховуючи, що наслідки LEA включають погіршення фізичної працездатності, гормонального балансу, функцій імунної системи та ризик травм, важливо використовувати найбільш точні формули для кожної статевої та вікової групи. Для чоловіків віком 18–35 років найбільш точними виявилися формули Фрейре, для жінок віком 18–35 років – Де Лорензо, для юнаків віком 15–17 років – ІОМ, а для дівчат цього ж віку – формула Реале.

Таким чином, застосування точних формул дозволяє не тільки уникнути помилок у діагностиці низької доступності енергії, а й своєчасно скоригувати раціони харчування, забезпечуючи адекватне енергозабезпечення спортсменів, особливо тих, хто знаходиться у групі ризику розвитку LEA.

Подальші дослідження в галузі спортивної науки повинні бути зосереджені на валідації існуючих формул для оцінки енерговитрат у стані спокою серед кваліфікованих спортсменів, які представляють різні групи видів спорту, зокрема швидко-силові, складно координаційні, ігрові дисципліни. Важливість цього напряму обумовлена необхідністю адаптації стандартних підходів до розрахунків ЕВС, враховуючи специфіку фізичних навантажень, типову для кожної спортивної дисципліни, а також індивідуальні особливості спортсменів, зокрема їхній рівень підготовки, склад тіла та метаболічні характеристики.

Окрему увагу слід приділити розробці нових, більш точних формул для визначення ЕВС, які були б оптимізовані для кваліфікованих спортсменів. Існуючі методики часто базуються на загальних популяційних моделях, що не завжди враховують особливості метаболізму та енергетичних потреб спортсменів із високим рівнем фізичної активності. Це підкреслює



необхідність подальшого вдосконалення методів оцінки енергетичних потреб спортсменів, особливо у контексті виявлення низької доступності енергії, яка залишається критичною проблемою спортивної медицини. Зважаючи на важливість адекватного рівня доступності енергії для підтримання здоров'я, функціональної здатності та спортивних результатів, точність визначення ЕВС стає важливим інструментом для діагностики цього стану. Нові формули повинні бути створені на основі сучасних даних, отриманих у спеціалізованих дослідженнях із залученням широкого кола спортсменів різних вікових і статевих груп, а також представників різних видів спорту.

Додатково важливим завданням є стандартизація процедур вимірювання енерговитрат у стані спокою, особливо серед спортсменів жіночої статі. Для цієї категорії спортсменів необхідно враховувати вплив фізіологічних змін, пов'язаних із фазами менструального циклу, оскільки вони можуть суттєво впливати на метаболічну активність та результати розрахунків. Розробка чітких протоколів, які враховують ці фактори, дозволить зменшити похибки та підвищити точність вимірювань.

Таким чином, комплексний підхід до валідації існуючих і створення нових формул, а також стандартизація методів оцінки ЕВС є перспективним напрямом наукових досліджень, спрямованих на оптимізацію харчування та відновлення спортсменів.

## ВИСНОВКИ

1. У дисертаційному дослідженні проведено детальний аналіз сучасної наукової літератури та провідного світового досвіду щодо енерговитрат у стані спокою, які є базовим компонентом загальних енерговитрат організму. Підтверджено, що ЕВС визначають мінімальний рівень енергії, необхідний для підтримання життєдіяльності організму, і мають важливе значення для розрахунку загальних потреб в енергії при створенні раціонів харчування. ЕВС також є важливим інструментом для оцінки метаболічного статусу спортсменів, включаючи діагностику низької доступності енергії. Встановлено, що на показник ЕВС впливають численні фактори, серед яких: вік, стать, склад тіла, рівень фізичної підготовки, гормональний статус, а також расова та етнічна приналежність. У спортивній популяції ЕВС можуть бути як підвищеними через більший вміст безжирової маси, яка є метаболічно активною, так і зниженими за умов тривалого енергетичного дефіциту. Підтверджено практичну значущість вивчення ЕВС у спортсменів для забезпечення точності розрахунків їхніх енергетичних потреб, розробки адекватних раціонів харчування та профілактики синдрому дефіциту енергії у спорті.

2. Середні значення енерговитрат у стані спокою серед досліджених спортсменів-чоловіків становлять  $2140 \pm 373$  ккал/добу у дорослих спортсменів віком 18–35 років та  $2019 \pm 337$  ккал/добу у юнаків віком 15–17 років. У спортсменок середні значення енерговитрат у стані спокою становлять  $1772 \pm 376$  ккал/добу у віковій групі 18–35 років та  $1641 \pm 231$  ккал/добу у віці 15–17 років.

3. У спортсменів-чоловіків віком 18–35 років найбільший вплив на енерговитрати у стані спокою має маса тіла ( $r = 0,75$  у дорослих та  $r = 0,69$  у юнаків), яка пояснює 56 % варіації цього показника у дорослих та 48 % у юнаків віком 15–17 років. Помітний вплив також мають довжина тіла ( $r = 0,59$  у дорослих та  $r = 0,50$  у юнаків) та ІМТ ( $r = 0,58$  у дорослих та  $r = 0,54$  у

юнаків). Водночас між енерговитратами у стані спокою та віком встановлено слабкий прямий зв'язок ( $r = 0,37$ ) у спортсменів віком 18–35 років, тоді як у юнаків 15–17 років цей зв'язок не є статистично значущим.

4. У спортсменок віком 18–35 років найбільший вплив на енерговитрати у стані спокою мають маса тіла ( $\rho = 0,74$ ) та довжина тіла ( $\rho = 0,67$ ), тоді як зв'язок із ІМТ є помірним ( $\rho = 0,40$ ). У юних спортсменок 15–17 років довжина тіла не пов'язана з енерговитратами у стані спокою, проте помірною прямою кореляцією з масою тіла є майже статистично значущою ( $r = 0,41$ ,  $p = 0,059$ ), а висока пряма кореляція з ІМТ є достовірною ( $r = 0,50$ ). Вік також має значний вплив на енерговитрати у стані спокою у спортсменок 18–35 років, про що свідчить сильний прямий зв'язок ( $\rho = 0,60$ ), тоді як у спортсменок 15–17 років цей зв'язок не є статистично значущим.

5. Серед спортсменів чоловічої статі віком 18–35 років із шести досліджених формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою (Гарріса-Бенедикта, Міффіна, ВООЗ, Де Лорензо, тен Гааф, Фрейре) статистично значущих відмінностей із фактичними ЕВС не виявлено лише для формули Фрейре. Ця формула продемонструвала найкращі показники узгодженості з фактичними ЕВС за аналізом Бланда-Альтмана, найвищий коефіцієнт внутрішньокласової кореляції: 0,708 та 61 % точності розрахунків у межах  $\pm 10$  % від фактичних значень. Серед спортсменів чоловічої статі віком 15–17 років із шести формул (ВООЗ, ІОМ, Шофілда, Генрі, Ганнона, Реале) статистично значущих відмінностей із фактичними ЕВС не виявлено для формул ІОМ, Шофілда, Ганнона та Реале. Формула ІОМ продемонструвала найкращу відповідність із фактичними значеннями ЕВС, включаючи високий коефіцієнт внутрішньокласової кореляції (0,703) та 63 % точності розрахунків у межах  $\pm 10$  % від фактичних значень. Таким чином, формула Фрейре є найбільш придатною для чоловіків віком 18–35 років, тоді як формула ІОМ є оптимальною для юнаків віком 15–17 років.

6. У спортсменок віком 18–35 років із шести формул (Гарріса-Бенедикта, Міффіна, ВООЗ, Де Лорензо, тен Гааф, Фрейре) статистично

значущих відмінностей із фактичними ЕВС не виявлено для формул Де Лорензо та Фрейре. Найкращі показники узгодженості з фактичними ЕВС спостерігалися у формули Де Лорензо (ВКК = 0,844) та формули Фрейре (ВКК = 0,817), причому найвищий відсоток точності розрахунків (58 %) у межах  $\pm 10$  % показала формула Де Лорензо. У спортсменок віком 15–17 років із шести формул (ВООЗ, ІОМ, Шофілда, Генрі, Ганнона, Реале) статистично значущих відмінностей із фактичними ЕВС не виявлено для формули Реале. Формула Реале показала найкращу узгодженість із фактичними значеннями ЕВС за аналізом Бланда-Альтмана, а також 59 % точності розрахунків у межах  $\pm 10$  % від фактичних значень. Таким чином, у спортсменок віком 18–35 років перевагу слід надавати формулі Де Лорензо, яка забезпечує найкращу відповідність із фактичними ЕВС. Серед спортсменок 15–17 років формула Реале демонструє найкращі результати для розрахунків.

7. Застосування диференційованого підходу до вибору формул для розрахунку ЕВС, що передбачає використання найбільш точних формул залежно від віку та статі дозволяє враховувати індивідуальні характеристики спортсменів і забезпечує високу точність оцінки ЕВС у спортивній практиці як для коректного розрахунку добових енерговитрат і подальшого створення раціонів харчування з відповідною калорійністю, так і для правильної інтерпретації значень фактичних енерговитрат у стані спокою, отриманих шляхом непрямой калориметрії, для оцінки доступності енергії.

8. Перспективним напрямком подальших досліджень є валідація існуючих формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів швидко-силових, складно координаційних та інших груп видів спорту, особливо в умовах змін тренувального навантаження. 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.

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

### Алгоритм визначення та оцінки енерговитрат у стані спокою та енергетичної доступності у спортсменів

#### 1. Найточніше визначення ЕВС: непряма калориметрія

Непряма калориметрія є золотим стандартом для вимірювання ЕВС, що забезпечує найвищу точність даних. Для отримання достовірних результатів слід дотримуватися таких умов:

- **Голод:** Мінімум 5 годин після прийому їжі або 4 години після легкої їжі, якщо триваліший період голодування неможливий.
- **Споживання алкоголю:** Утримання від алкоголю щонайменше за 2 години до тестування.
- **Споживання нікотину:** Утримання від нікотину щонайменше за 2 години до тестування.
- **Фізична активність:** Утримання від помірних фізичних вправ щонайменше 2 години перед тестом та від інтенсивних силових вправ щонайменше 14 годин.
- **Умови вимірювання:** Температура приміщення має становити 20–25 °С, забезпечується фізичний комфорт випробуваного. Повторні вимірювання проводяться в однакових умовах і позиціях. При вимірюванні енерговитрат у стані спокою у спортсменок слід відмічати день менструального циклу, в який проводиться вимірювання.
- **Стабільний стан:** Період стабільності повинен становити щонайменше 5 хвилин із коливанням енерговитрат не більше ніж 10 %. Перші 5 хвилин вимірювання слід виключити.

#### 2. Альтернативний метод: використання розрахункових формул

Якщо непряма калориметрія недоступна, рекомендується використовувати адаптовані до статі та віку спортсмена розрахункові формули:

- **Чоловіки 18–35 років.** Формула Фрейре:

$$EBC = 729,50 + 175,64(1) - 7,23(B) + 15,87(MT) + 1,08(ДТ)$$

– **Юнаки 15–17 років.** Формула ІОМ:

$$EBC = 68 - (43,3 \times B) + (712 \times ДТ) + (19,2 \times MT)$$

– **Жінки 18–35 років.** Формула Де Лорензо:

$$EBC = (9 \times MT) + (1170 \times ДТ) - 857$$

– **Дівчата 15–17 років.** Формула Реале:

$$EBC = (11,1 \times MT) + (8,4 \times ДТ) - 537$$

Ці формули рекомендовані для використання у спортивній практиці за відсутності можливості проведення непрямой калориметрії.

### 3. Оцінка можливої наявності низької доступності енергії

Для оцінки низької доступності енергії використовується індекс енерговитрат у стані спокою, який визначають як співвідношення фактичних EBC, отриманих за допомогою непрямой калориметрії, до розрахункових значень за формулами. Оптимальні формули для розрахунку EBC з урахуванням статі та віку спортсменів наведені у пункті 2 цих рекомендацій.

Отримані значення індексу EBC інтерпретуються наступним чином:

– **Індекс  $\geq 0,90$ :** Свідчить про нормальну доступність енергії і не вказує на LEA.

– **Індекс  $< 0,90$ :** Може свідчити про наявність LEA, особливо за наявності інших клінічних або фізіологічних показників дефіциту енергії.

Такий підхід дозволяє більш об'єктивно оцінити енергетичний баланс у спортсменів із використанням даних непрямой калориметрії та адаптованих формул.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лошкарьова Є. Аналіз методів оцінки основного обміну в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2019. Т. 40, № 1. С. 18–22. URL: [https://drive.google.com/file/d/1R\\_gUdnTZkAsYbhkUpq-ORK0-6UuGwI3J/view](https://drive.google.com/file/d/1R_gUdnTZkAsYbhkUpq-ORK0-6UuGwI3J/view)
2. Лошкарьова Є. Оцінка основного обміну у кваліфікованих спортсменів. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2020. Т. 41, № 1. С. 15–22. URL: <https://drive.google.com/file/d/11RCFL6GT0dazQnmySmPdQ13JdPvg244i/view>
3. Лошкарьова Є. О., Пастухова В. А. Використання основного обміну для оцінки доступності енергії в спорті вищих досягнень. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2024. Т. 28, № 1. С. 140–144. DOI: [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28\(1\)-24](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28(1)-24)
4. Лошкарьова Є. Огляд методів визначення основного обміну в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів. *Молодь та олімпійський рух* : Зб. тез доп. XV Міжнар. конф. молодих вчен., м. Київ, 16 вер. 2022. Київ: НУФВСУ, 2022. С. 91-92. URL: [https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk\\_tez\\_molod\\_hv\\_zhovt-lyst\\_22\\_dopovn\\_140\\_stor.pdf](https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk_tez_molod_hv_zhovt-lyst_22_dopovn_140_stor.pdf)
5. Лошкарьова Є. Енерговитрати спортсменів у стані спокою як біомаркер доступності енергії в спорті. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., Київ–Черкаси, 7–8 грудня 2023 р. Київ–Черкаси, 2023. С. 71–72. URL: [https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy\\_2023\\_1.pdf](https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy_2023_1.pdf)
6. Лошкарьова Є. Оптимізація використання формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою у спортсменок видів спорту з переважним проявом витривалості віком 15–17 років. *Сучасні погляди молоді на фізичну культуру, спорт та здоров'я людини*: збірник тез II Всеукраїнської наукової конференції, присвяченої Дню науки в Україні (електронне видання). Харків: ХДАФК, 2024. С.71-73. URL:

<https://drive.google.com/file/d/1Q0PItcmHfK1QuQelqRbbk0I0tqTSvuSo/view?usp=sharing>

7. Лошкарьова Є. Порівняння фактичних та розрахованих за допомогою формул енерговитрат у стані спокою у спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості. *Молодь та олімпійський рух* : Зб. тез доп. XVII Міжнар. конф. молодих вчен., м. Київ, 7 трав. 2024 р. URL: [https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk\\_tez\\_dopovidey\\_xvii\\_molod\\_ta\\_olimpiyskyu\\_ruh\\_13\\_05\\_24.pdf](https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk_tez_dopovidey_xvii_molod_ta_olimpiyskyu_ruh_13_05_24.pdf)

8. 2023 international Olympic Committee's (IOC) consensus statement on relative energy deficiency in sport (REDs) / M. Mountjoy et al. *British journal of sports medicine*. 2023. Vol. 57, no. 17. P. 1073–1097. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106994>

9. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals / M. D. Mifflin et al. *The American journal of clinical nutrition*. 1990. Vol. 51, no. 2. P. 241–247. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>

10. A new predictive equation to calculate resting metabolic rate in athletes / A. De Lorenzo et al. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 1999. Vol. 39, no. 3. P. 213–219. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10573663/>.

11. Accuracy of four resting metabolic rate prediction equations: effects of sex, body mass index, age, and race/ethnicity / R. E. Hasson et al. *Journal of science and medicine in sport*. 2011. Vol. 14, no. 4. P. 344–351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.02.010>

12. Accuracy of predictive equations for estimating resting energy expenditure in obese adolescents / M. Marra et al. *The journal of pediatrics*. 2015. Vol. 166, no. 6. P. 1390–1396.e1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.03.013>

13. Accuracy of predictive equations for resting metabolic rate in Korean athletic and non-athletic adolescents / J.-H. Kim et al. *Nutrition research and practice*. 2015. Vol. 9, no. 4. P. 370. DOI: <https://doi.org/10.4162/nrp.2015.9.4.370>



14. Accuracy of resting energy expenditure calculations in unselected overweight and obese patients / V. Schusdziarra et al. *Annals of nutrition and metabolism*. 2014. Vol. 65, no. 4. P. 299–309. DOI: <https://doi.org/10.1159/000364953>
15. Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes / A. R. Jagim et al. *Journal of strength and conditioning research*. 2018. Vol. 32, no. 7. P. 1875–1881. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002111>
16. Al-Domi H., Al-Shorman A. Validation of resting metabolic rate equations in obese and non-obese young healthy adults. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2018. Vol. 26. P. 91–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2018.04.008>
17. Are increases in skeletal muscle mass accompanied by changes to resting metabolic rate in rugby athletes over a pre-season training period? / K. L. MacKenzie-Shalders et al. *European journal of sport science*. 2019. Vol. 19, no. 7. P. 885–892. DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1561951>
18. Are predictive equations for estimating resting energy expenditure accurate in Asian Indian male weightlifters? / R. Gupta et al. *Indian journal of endocrinology and metabolism*. 2017. Vol. 21, no. 4. P. 515. DOI: [https://doi.org/10.4103/ijem.ijem\\_563\\_16](https://doi.org/10.4103/ijem.ijem_563_16)
19. Association of energy availability with resting metabolic rates in competitive female teenage runners: a cross-sectional study / N. Kinoshita et al. *Journal of the international society of sports nutrition*. 2021. Vol. 18, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00466-w>
20. Basal metabolic rate and body composition of elite Japanese male athletes / T. Koshimizu et al. *The journal of medical investigation*. 2012. Vol. 59, no. 3.4. P. 253–260. DOI: <https://doi.org/10.2152/jmi.59.253>
21. Basal metabolic rate in Japanese female endurance athletes. / M. Taguchi et al. *The Japanese journal of nutrition and dietetics*. 2001. Vol. 59, no. 3. P. 127–134. DOI: <https://doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.59.127>
22. Basal metabolic rate of adolescent modern pentathlon athletes: agreement between indirect calorimetry and predictive equations and the

correlation with body parameters / L. L. Loureiro et al. *Plos one*. 2015. Vol. 10, no. 11. P. e0142859. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142859>

23. Benton M. J., Hutchins A. M., Dawes J. J. Effect of menstrual cycle on resting metabolism: a systematic review and meta-analysis. *Plos one*. 2020. Vol. 15, no. 7. P. e0236025. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236025>

24. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review / C. Compher et al. *Journal of the American dietetic association*. 2006. Vol. 106, no. 6. P. 881–903. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.02.009>

25. Bland J. M., Altman D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *International journal of nursing studies*. 2010. Vol. 47, no. 8. P. 931–936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2009.10.001>

26. Body-composition differences between African American and white women: relation to resting energy requirements / A. Jones et al. *The American journal of clinical nutrition*. 2004. Vol. 79, no. 5. P. 780–786. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.780>

27. Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass / S. B. Heymsfield et al. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*. 2002. Vol. 282, no. 1. P. E132–E138. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2002.282.1.e132>

28. Burke L., Deakin V., Minehan M. *Clinical sports nutrition*. McGraw-Hill Education, 2021. 687 p.

29. Byrne H. K., Wilmore J. H. The effects of a 20-week exercise training program on resting metabolic rate in previously sedentary, moderately obese women. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2001. Vol. 11, no. 1. P. 15–31. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsem.11.1.15>

30. Cadegiani F. A., Kater C. E. Novel insights of overtraining syndrome discovered from the EROS study. *BMJ open sport & exercise medicine*. 2019. Vol. 5, no. 1. P. e000542. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000542>

31. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender / H. Zouhal et al. *Sports medicine*. 2008. Vol. 38, no. 5. P. 401–423. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200838050-00004>
32. Changes in sleeping energy metabolism and thermoregulation during menstrual cycle / S. Zhang et al. *Physiological reports*. 2020. Vol. 8, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.14814/phy2.14353>
33. Chmielewska A., Kujawa K., Regulska-Ilow B. Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in sport climbers. *International journal of environmental research and public health*. 2023. Vol. 20, no. 5. P. 4216. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054216>
34. Comparing metabolic profiles between female endurance athletes and non-athletes reveals differences in androgen and corticosteroid levels / A. H. Tarkhan et al. *The journal of steroid biochemistry and molecular biology*. 2022. Vol. 219. P. 106081. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2022.106081>
35. Comparison between equations for estimation of resting energy expenditure and indirect calorimetry in gymnasts / M. Branco et al. *Revista brasileira de nutrição esportiva*. 2018. Vol. 12, no. 70. P. 195–203.
36. Comparison of predictive equations and measured resting energy expenditure among obese youth attending a pediatric healthy weight clinic / S. T. Henes et al. *Nutrition in clinical practice*. 2013. Vol. 28, no. 5. P. 617–624. DOI: <https://doi.org/10.1177/0884533613497237>
37. Contributing factors to low energy availability in female athletes: a narrative review of energy availability, training demands, nutrition barriers, body image, and disordered eating / A. R. Jagim et al. *Nutrients*. 2022. Vol. 14, no. 5. P. 986. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14050986>
38. Cupka M., Sedliak M. Hungry runners – low energy availability in male endurance athletes and its impact on performance and testosterone: mini-review. *European journal of translational myology*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.4081/ejtm.2023.11104>

39. Current predictive resting metabolic rate equations are not sufficient to determine proper resting energy expenditure in olympic young adult national team athletes / A. Balci et al. *Frontiers in physiology*. 2021. Vol. 12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.625370>
40. Dave S. C., Fisher M. Relative energy deficiency in sport (RED – S). *Current problems in pediatric and adolescent health care*. 2022. P. 101242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2022.101242>
41. Determining a resting metabolic rate prediction equation for collegiate female athletes / A. D. Watson et al. *Journal of strength and conditioning research*. 2019. Vol. 33, no. 9. P. 2426–2432. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002856>
42. Development and validation of new predictive equations for resting energy expenditure in physically active boys / E. Łuszczki et al. *Scientific reports*. 2023. Vol. 13, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31661-1>
43. Development and validation of novel equation for prediction of resting energy expenditure in active Saudi athletes / M. M. A. Abulmeaty et al. *Medicine*. 2023. Vol. 102, no. 52. P. e36826. DOI: <https://doi.org/10.1097/md.00000000000036826>
44. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. Washington, D.C. : National Academies Press, 2005. DOI: <https://doi.org/10.17226/10490>
45. Differences in resting metabolic rate between white and african-american young adults / T. A. Sharp et al. *Obesity research*. 2002. Vol. 10, no. 8. P. 726–732. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2002.99>
46. Effect of endurance training on sedentary energy expenditure measured in a respiratory chamber / L. O. Schulz et al. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*. 1991. Vol. 260, no. 2. P. E257–E261. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1991.260.2.e257>
47. Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons / J. T. Lemmer et al. *Medicine and science in*

*sports and exercise*. 2001. P. 532–541. DOI: <https://doi.org/10.1097/00005768-200104000-00005>

48. Energy availability in athletics: health, performance, and physique / A. K. Melin et al. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2019. Vol. 29, no. 2. P. 152–164. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0201>

49. Energy requirements of male academy soccer players from the English premier league / M. P. Hannon et al. *Medicine & science in sports & exercise*. 2020. Publish Ahead of Print. DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002443>

50. Factors influencing variation in basal metabolic rate include fat-free mass, fat mass, age, and circulating thyroxine but not sex, circulating leptin, or triiodothyronine / A. M. Johnstone et al. *The American journal of clinical nutrition*. 2005. Vol. 82, no. 5. P. 941–948. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/82.5.941>

51. Frankenfield D., Roth-Yousey L., Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *Journal of the American dietetic association*. 2005. Vol. 105, no. 5. P. 775–789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2005.02.005>

52. Functional body composition: insights into the regulation of energy metabolism and some clinical applications / M. J. Müller et al. *European journal of clinical nutrition*. 2009. Vol. 63, no. 9. P. 1045–1056. DOI: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.55>

53. Gender-Specific associations in age-related changes in resting energy expenditure (REE) and MRI measured body composition in healthy Caucasians / C. Geisler et al. *The journals of gerontology series A: biological sciences and medical sciences*. 2015. Vol. 71, no. 7. P. 941–946. DOI: <https://doi.org/10.1093/gerona/glv211>

54. Genetic effect in resting and exercise metabolic rates / C. Bouchard et al. *Metabolism*. 1989. Vol. 38, no. 4. P. 364–370. DOI: [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(89\)90126-1](https://doi.org/10.1016/0026-0495(89)90126-1)

55. Harris J. A., Benedict F. G. A biometric study of human basal metabolism. *Proceedings of the national academy of sciences*. 1918. Vol. 4, no. 12. P. 370–373. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>
56. Heikura I. A., Stellingwerff T., Areta J. L. Low energy availability in female athletes: from the lab to the field. *European journal of sport science*. 2021. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1915391>
57. Henry C., Dyer S., Ghossein-Choueiri A. New equations to estimate basal metabolic rate in children aged 10–15 years. *European journal of clinical nutrition*. 1999. Vol. 53, no. 2. P. 134–142. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600690>
58. High REE in sumo wrestlers attributed to large organ-tissue mass / T. Midorikawa et al. *Medicine & science in sports & exercise*. 2007. Vol. 39, no. 4. P. 688–693. DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802f58f6>
59. How well do activity monitors estimate energy expenditure? A systematic review and meta-analysis of the validity of current technologies / R. O’Driscoll et al. *British journal of sports medicine*. 2018. P. bjsports–2018–099643. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099643>
60. Human energy requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. / ed. by Food and Agricultural Organization of the United Nations., Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation on Human Energy Requirements (2001 : Rome, Italy). Rome : Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2004. 96 p.
61. Indirect calorimetry in clinical practice / M. Delsoglio et al. *Journal of clinical medicine*. 2019. Vol. 8, no. 9. P. 1387. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm8091387>
62. Inter- and intra-day test-retest reliability of the Cosmed Fitmate ProTM indirect calorimeter for resting metabolic rate / B. Campbell et al. *Journal of the international society of sports nutrition*. 2014. Vol. 11, S1. DOI: <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-s1-p46>



63. Interaction of acute changes in exercise energy expenditure and energy intake on resting metabolic rate / R. C. Bullough et al. *The American journal of clinical nutrition*. 1995. Vol. 61, no. 3. P. 473–481.

DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/61.3.473>

64. Is there any predictive equation to determine resting metabolic rate in ultra-endurance athletes? / A. Devrim-Lanpir et al. *Progress in nutrition*. 2019. Vol. 21, no. 1. P. 1–9.

DOI: <https://www.mattioli1885journals.com/index.php/progressinnutrition/article/view/8052>.

65. Jonvik K. L., Vardardottir B., Broad E. How do we assess energy availability and RED-S risk factors in para athletes?. *Nutrients*. 2022. Vol. 14, no. 5. P. 1068. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14051068>

66. Jurov I., Keay N., Rauter S. Reducing energy availability in male endurance athletes: a randomized trial with a three-step energy reduction. *Journal of the international society of sports nutrition*. 2022. Vol. 19, no. 1. P. 179–195.

DOI: <https://doi.org/10.1080/15502783.2022.2065111>

67. Kuikman M. A., Coates A. M., Burr J. F. Markers of low energy availability in overreached athletes: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01723-x>

68. Loshkarova I. Resting energy expenditure assessment in the sports practice. *Theoretical and science bases of actual tasks* : Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference, Lisbon, 14–17 June 2022. URL:

<https://isg-konf.com/theoretical-and-science-bases-of-actual-tasks-two/>

69. Loshkarova Ie. O. Resting energy expenditure in skilled athletes. *Вісник Черкаського університету. Серія: біологічні науки*. 2020. № 2. С. 76–83. DOI: [10.31651/2076-5835-2018-1-2020-2-76-83](https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2020-2-76-83)

70. Loshkarova I. O. Validation of resting energy expenditure prediction equations in highly trained adolescent endurance athletes. *The significance of physical culture and sports for human health*: Proceedings of the International

Scientific Conference, Riga, the Republic of Latvia, March 6–7, 2024. Riga, 2024. P. 88–91. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-415-3-22>

71. Loshkarova I. O., Pastukhova V. A. Comparison of actual and predicted resting energy expenditure in skilled endurance athletes. *Вісник проблем біології і медицини*. 2024. Вип. 1 (172). С. 462–469. DOI: [doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-462-469](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-462-469)

72. Loshkarova Y. O., Pastukhova V. A. Validation of resting energy expenditure prediction equations in highly trained female endurance athletes. *Актуальні проблеми фізичного виховання, спорту, фізичної реабілітації та туризму у сучасних умовах життя* : матеріали VI Міжнар. наук-практ.конф., м. Запоріжжя, 18–19 квіт. 2024 р. Львів – Торунь : LihaPres, 2024. С. 251–253. URL: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/272>

73. Low energy availability in athletes 2020: an updated narrative review of prevalence, risk, within-day energy balance, knowledge, and impact on sports performance / D. M. Logue et al. *Nutrients*. 2020. Vol. 12, no. 3. P. 835. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12030835>

74. Low RMR ratio as a surrogate marker for energy deficiency, the choice of predictive equation vital for correctly identifying male and female ballet dancers at risk / S. Staal et al. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2018. Vol. 28, no. 4. P. 412–418. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0327>

75. Metabolic profiling of elite athletes with different cardiovascular demand / F. Al-Khelaifi et al. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/sms.13425>

76. Metabolic rate in adolescent athletes: the development and validation of new equations, and comparison to previous models / R. J. Reale et al. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2020. Vol. 30, no. 4. P. 249–257. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2019-0323>



77. New approaches to determine fatigue in elite athletes during intensified training: resting metabolic rate and pacing profile / A. L. Woods et al. *Plos one*. 2017. Vol. 12, no. 3. P. e0173807.

DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173807>

78. New predictive resting metabolic rate equations for high-level athletes: a cross-validation study / R. Freire et al. *Medicine & science in sports & exercise*. 2022. Publish Ahead of Print.

DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002926>

79. Non-exercise activity thermogenesis (NEAT): a component of total daily energy expenditure / N. Chung et al. *Journal of exercise nutrition & biochemistry*. 2018. Vol. 22, no. 2. P. 23–30.

DOI: <https://doi.org/10.20463/jenb.2018.0013>

80. Non-exercise daily energy expenditure and physical activity pattern in male endurance athletes / N. Almeras et al. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1991. Vol. 63, no. 3-4. P. 184–187.

DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00233845>

81. O'Neill J. E. R., Corish C. A., Horner K. Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes: a systematic review with meta-analysis. *Sports medicine*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01896-z>

82. Obesity tissue: composition, energy expenditure, and energy content in adult humans / P. Hwaung et al. *Obesity*. 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1002/oby.22557>

83. Ocobock C., Niclou A. Commentary - fat but fit...and cold? Potential evolutionary and environmental drivers of metabolically healthy obesity. *Evolution, medicine, and public health*. 2022.

DOI: <https://doi.org/10.1093/emph/eoac030>

84. Overtraining syndrome (OTS) and relative energy deficiency in sport (RED-S): shared pathways, symptoms and complexities / T. Stellingwerff et al. *Sports medicine*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01491-0>

85. Physical exercise and liver “fitness”: role of mitochondrial function and epigenetics-related mechanisms in non-alcoholic fatty liver disease / J. Stevanović et al. *Molecular metabolism*. 2020. Vol. 32. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2019.11.015>
86. Physiological aspects of world elite competitive German winter sport athletes / P. Zimmermann et al. *International journal of environmental research and public health*. 2022. Vol. 19, no. 9. P. 5620. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19095620>
87. Poehlman E. T., Melby C. L., Badylak S. F. Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in highly trained and untrained males. *The American journal of clinical nutrition*. 1988. Vol. 47, no. 5. P. 793–798. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/47.5.793>
88. Predicting resting energy expenditure among athletes: a systematic review / D. Martinho et al. *Biology of sport*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5114/biolSport.2023.119986>
89. Predictive equations for resting metabolic rate are not appropriate to use in Brazilian male adolescent football athletes / T. M. Oliveira et al. *Plos one*. 2021. Vol. 16, no. 1. P. e0244970. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970>
90. Published predictive equations overestimate measured resting metabolic rate in young, healthy females / A. C. Li et al. *Journal of the American college of nutrition*. 2010. Vol. 29, no. 3. P. 222–227. DOI: <https://doi.org/10.1080/07315724.2010.10719837>
91. Ravussin E., Bogardus C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *The American journal of clinical nutrition*. 1989. Vol. 49, no. 5. P. 968–975. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/49.5.968>
92. Relative energy deficiency in sports (RED-S): elucidation of endocrine changes affecting the health of males and females / K. Diplá et al. *Hormones*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42000-020-00214-w>

93. Report of the task group on reference man. *Annals of the ICRP*. 1979. Vol. 3, no. 1-4. P. iii. DOI: [https://doi.org/10.1016/0146-6453\(79\)90123-4](https://doi.org/10.1016/0146-6453(79)90123-4)
94. Resistive training increases fat-free mass and maintains RMR despite weight loss in postmenopausal women / A. S. Ryan et al. *Journal of applied physiology*. 1995. Vol. 79, no. 3. P. 818–823. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.79.3.818>
95. Resting energy expenditure (REE) in six- to seventeen-year-old japanese children and adolescents / K. Kaneko et al. *Journal of nutritional science and vitaminology*. 2013. Vol. 59, no. 4. P. 299–309. DOI: <https://doi.org/10.3177/jnsv.59.299>
96. Resting energy expenditure in children and adolescents: agreement between calorimetry and prediction equations / G. Rodríguez et al. *Clinical nutrition*. 2002. Vol. 21, no. 3. P. 255–260. DOI: <https://doi.org/10.1054/clnu.2001.0531>
97. Resting energy expenditure in the elderly: systematic review and comparison of equations in an experimental population / H. Ocagli et al. *Nutrients*. 2021. Vol. 13, no. 2. P. 458. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13020458>
98. Resting energy expenditure of physically active boys in southeastern poland—the accuracy and validity of predictive equations / E. Łuszczki et al. *Metabolites*. 2020. Vol. 10, no. 12. P. 493. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo10120493>
99. Resting energy expenditure prediction equations in the pediatric population: a systematic review / J. Fuentes-Servín et al. *Frontiers in pediatrics*. 2021. Vol. 9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fped.2021.795364>
100. Resting energy expenditure, insulin resistance and UCP1 expression in human subcutaneous and visceral adipose tissue of patients with obesity / S. Bettini et al. *Frontiers in endocrinology*. 2019. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00548>

101. Resting energy expenditure: from cellular to whole-body level, a mechanistic historical perspective / S. B. Heymsfield et al. *Obesity*. 2021. Vol. 29, no. 3. P. 500–511. DOI: <https://doi.org/10.1002/oby.23090>

102. Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling / Z. Wang et al. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*. 2000. Vol. 279, no. 3. P. E539–E545. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2000.279.3.e539>

103. Resting metabolic rate after endurance exercise training / M.-G. Lee et al. *Medicine & science in sports & exercise*. 2009. Vol. 41, no. 7. P. 1444–1451. DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31819bd617>

104. Resting metabolic rate in elite rowers and canoeists: difference between indirect calorimetry and prediction / A. Carlsohn et al. *Annals of nutrition and metabolism*. 2011. Vol. 58, no. 3. P. 239–244. URL: <https://doi.org/10.1159/000330119>

105. Resting metabolic rate of Indian Junior Soccer players: testing agreement between measured versus selected predictive equations / K. S. Cherian et al. *American journal of human biology*. 2017. Vol. 30, no. 1. P. e23066. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.23066>

106. Rolfe D. F., Brown G. C. Cellular energy utilization and molecular origin of standard metabolic rate in mammals. *Physiological reviews*. 1997. Vol. 77, no. 3. P. 731–758. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.731>

107. Schofield K. L., Thorpe H., Sims S. T. Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population. *Experimental physiology*. 2019. Vol. 104, no. 4. P. 469–475. DOI: <https://doi.org/10.1113/ep087512>

108. Schofield W. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human nutrition : clinical nutrition*. 1985. Vol. 39, no. 1. P. 5–41.

109. Sex differences in resting metabolic rate among athletes and association with body composition parameters: a follow-up investigation /

A. R. Jagim et al. *Journal of functional morphology and kinesiology*. 2023. Vol. 8, no. 3. P. 109. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfmk8030109>

110. Sex differences in resting metabolic rate among athletes / A. R. Jagim et al. *Journal of strength and conditioning research*. 2019. Vol. 33, no. 11. P. 3008–3014. DOI: <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002813>

111. Shils M., Shike M. *Modern nutrition in health and disease*. Philadelphia : Lea & Febiger, 2010. 2069 p.

112. Skeletal muscle metabolism is a major determinant of resting energy expenditure. / F. Zurlo et al. *Journal of clinical investigation*. 1990. Vol. 86, no. 5. P. 1423–1427. DOI: <https://doi.org/10.1172/jci114857>

113. Speakman J. R., Selman C. Physical activity and resting metabolic rate. *Proceedings of the nutrition society*. 2003. Vol. 62, no. 3. P. 621–634. DOI: <https://doi.org/10.1079/pns2003282>

114. Sterringer T., Larson-Meyer D. E. RMR ratio as a surrogate marker for low energy availability. *Current nutrition reports*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13668-021-00385-x>

115. Taxa metabólica de repouso de ciclistas estimada por equações e obtida por calorimetria indireta / P. G. Cocate et al. *Revista brasileira de medicina do esporte*. 2009. Vol. 15, no. 5. P. 360–364. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1517-86922009000600008>

116. ten Haaf T., Weijts P. J. M. Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18–35 years: confirmation of cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9, no. 10. P. e108460. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108460>

117. Testing compensatory mechanisms: higher resting metabolic rates than predicted in highly active children and adolescents / G. Zorrilla-Revilla et al. *Medicine & science in sports & exercise*. 2024. Vol. 56, no. 10S. P. 611–612. DOI: <https://doi.org/10.1249/01.mss.0001057888.63927.b4>

118. The accuracy of ten common resting metabolic rate prediction equations in men and women collegiate athletes / J. B. Fields et al. *European*

*journal of sport science.* 2022. P. 1–26.

DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2130098>

119. The basal metabolism in fever. *JAMA: the journal of the american medical association.* 1921. Vol. 77, no. 5. P. 352.

DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.1921.02630310022006>

120. The effect of chronic exercise training on leptin: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / M. V. Fedewa et al. *Sports medicine.* 2018. Vol. 48, no. 6. P. 1437–1450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0897-1>

121. The effect of exercise interventions on resting metabolic rate: a systematic review and meta-analysis / K. MacKenzie-Shalders et al. *Journal of sports sciences.* 2020. Vol. 38, no. 14. P. 1635–1649.

DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1754716>

122. The effects of intensified training on resting metabolic rate (RMR), body composition and performance in trained cyclists / A. L. Woods et al. *Plos one.* 2018. Vol. 13, no. 2. P. e0191644.

DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191644>

123. The influence of energy balance and availability on resting metabolic rate: implications for assessment and future research directions / M. R. Siedler et al. *Sports medicine.* 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01856-7>

124. The influence of physical activity on BMR / A. M. Sjodin et al. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 1996. Vol. 28, no. 1. P. 85–91.

DOI: <https://doi.org/10.1097/00005768-199601000-00018>

125. The validity of resting metabolic rate-prediction equations and reliability of measured RMR in female athletes. *International journal of exercise science.* 2019. Vol. 12, no. 2. P. 886–897.

URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6719816/pdf/ijes-12-2-886.pdf>.

126. Thompson J., Manore M. M. Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes. *Journal of the american*

*dietetic association*. 1996. Vol. 96, no. 1. P. 30–34.

DOI: [https://doi.org/10.1016/s0002-8223\(96\)00010-7](https://doi.org/10.1016/s0002-8223(96)00010-7)

127. Thompson J., Manore M. M., Skinner J. S. Resting metabolic rate and thermic effect of a meal in low- and adequate-energy intake male endurance athletes. *International journal of sport nutrition*. 1993. Vol. 3, no. 2. P. 194–206.

DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsn.3.2.194>

128. Tinsley G. M., Graybeal A. J., Moore M. L. Resting metabolic rate in muscular physique athletes: validity of existing methods and development of new prediction equations. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. 2019. Vol. 44, no. 4. P. 397–406. DOI: <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0412>

129. Tissue losses and metabolic adaptations both contribute to the reduction in resting metabolic rate following weight loss / A. Martin et al. *International journal of obesity*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41366-022-01090-7>

130. Tortu E., Birol A., Aksarı M. Evaluation of different equations for resting metabolic rate prediction in female combat sports athletes. *Montenegrin journal of sports science and medicine*. 2023. Vol. 12, no. 2. P. 41–48. DOI: <https://doi.org/10.26773/mjssm.230906>

131. Validating predictive factors for resting energy expenditure of adolescents in Indonesia / A. Uemura et al. *International journal of food sciences and nutrition*. 2011. Vol. 63, no. 2. P. 145–152. DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.607800>

132. Validation of Cosmed's Fitmate™ in measuring oxygen consumption and estimating resting metabolic rate / D. C. Nieman et al. *Research in sports medicine*. 2006. Vol. 14, no. 2. P. 89–96. DOI: <https://doi.org/10.1080/15438620600651512>

133. Validation of predictive equations for resting energy expenditure in children and adolescents with different body mass indexes / N. Acar-Tek et al. *Nutrition journal*. 2023. Vol. 22, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-023-00868-3>



134. Validity of dietary assessment in athletes: a systematic review / L. Capling et al. *Nutrients*. 2017. Vol. 9, no. 12. P. 1313. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu9121313>
135. Validity of predictive equations for resting energy expenditure according to the body mass index in a population of 1726 patients followed in a Nutrition Unit / P. Jésus et al. *Clinical Nutrition*. 2015. Vol. 34, no. 3. P. 529–535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.06.009>
136. Why are there race/ethnic differences in adult body mass index-adiposity relationships? A quantitative critical review / S. B. Heymsfield et al. *Obesity reviews*. 2015. Vol. 17, no. 3. P. 262–275. DOI: <https://doi.org/10.1111/obr.12358>
137. Within-Day energy deficiency and metabolic perturbation in male endurance athletes / M. K. Torstveit et al. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2018. Vol. 28, no. 4. P. 419–427. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0337>
138. Wouters-Adriaens M. P. E., Westerterp K. R. Low resting energy expenditure in Asians can be attributed to body composition. *Obesity*. 2008. Vol. 16, no. 10. P. 2212–2216. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2008.343>



## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації***

1. Loshkarova Ie. O. Resting energy expenditure in skilled athletes. *Вісник Черкаського університету. Серія: біологічні науки*. 2020. № 2. С. 76–83. DOI: [10.31651/2076-5835-2018-1-2020-2-76-83](https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2020-2-76-83) Фахове видання України.

2. Loshkarova Ie. O., Pastukhova V. A. Comparison of actual and predicted resting energy expenditure in skilled endurance athletes. *Вісник проблем біології і медицини*. 2024. Вип. 1 (172). С. 462–469. DOI: [doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-462-469](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-1-172-462-469) Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів. Внесок Пастухової В. А. полягає в узгодженні концепції роботи, критичному огляді та остаточному затвердженню статті.*

3. Лошкарьова Є. О., Пастухова В. А. Використання основного обміну для оцінки доступності енергії в спорті вищих досягнень. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2024. Т. 28, № 1. С. 140–144. URL: [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28\(1\)-24](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28(1)-24) Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів. Внесок Пастухової В. А. полягає в узгодженні концепції роботи, критичному огляді та остаточному затвердженню статті.*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

4. Loshkarova Ie. Resting energy expenditure assessment in the sports practice. *Theoretical and science bases of actual tasks* : Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference, Lisbon, Portugal, June 14–17, 2022. Lisbon, 2022. P. 76–78. URL: <https://isg-konf.com/theoretical-and-science-bases-of-actual-tasks-two/>

5. Лошкарьова Є. О. Огляд методів визначення основного обміну в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів. *Молодь та олімпійський*

рух : зб. тез доп. XV Міжнар. конф. молодих вчених, м. Київ, 16 верес. 2022 р. Київ : НУФВСУ, 2022. С. 91–92. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk\\_tez\\_molod\\_hv\\_zhovt-lyst\\_22\\_dopovn\\_140\\_stor.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk_tez_molod_hv_zhovt-lyst_22_dopovn_140_stor.pdf)

6. Лошкарьова Є. О. Енерговитрати спортсменів у стані спокою як біомаркер доступності енергії в спорті. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., Київ–Черкаси, 7–8 грудня 2023 р. Київ–Черкаси, 2023. С. 71–72. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy\\_2023\\_1.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy_2023_1.pdf)

7. Loshkarova Ye. O., Pastukhova V. A. Validation of resting energy expenditure prediction equations in highly trained female endurance athletes. *The significance of physical culture and sports for human health: Proceedings of the International Scientific Conference, Riga, the Republic of Latvia, March 6–7, 2024*. Riga, 2024. P. 88–91. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-415-3-22>  
*Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

8. Loshkarova I. O. Validation of resting energy expenditure prediction equations in highly trained adolescent endurance athletes. *Актуальні проблеми фізичного виховання, спорту, фізичної реабілітації та туризму у сучасних умовах життя* : матеріали VI Міжнар. наук-практ.конф., м. Запоріжжя, 18–19 квіт. 2024 р. Львів – Торунь : LihaPres, 2024. С. 251–253. URL: <http://catalog.liha-pres.eu/index.php/liha-pres/catalog/book/272>

9. Лошкарьова Є. Порівняння фактичних та розрахункових енерговитрат у стані спокою у спортсменів видів спорту з переважним проявом витривалості. *Молодь та олімпійський рух* : зб. тез доп. XVII Міжнар. конф. молодих вчених, м. Київ, 7 трав. 2024 р. Київ : НУФВСУ, 2024. С. 170–171. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk\\_tez\\_dopovidey\\_xvii\\_molod\\_ta\\_olimpiyskyu\\_ruh\\_13\\_05\\_24.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/zbirnyk_tez_dopovidey_xvii_molod_ta_olimpiyskyu_ruh_13_05_24.pdf)

10. Лошкарьова Є. Оптимізація використання формул для розрахунку енерговитрат у стані спокою у спортсменок видів спорту з переважним проявом витривалості віком 15–17 років. *Сучасні погляди молоді на фізичну культуру, спорт та здоров'я людини* : збірник тез II Всеукраїнської наукової конференції, присвяченої Дню науки в Україні, м. Харків, 17 трав. 2024 р. Харків : ХДАФК, 2024. С. 71–73. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Q0PIcmHfK1QuQelqRbbk0I0tqTSvuSo/view?usp=sharing>

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

11. Лошкарьова Є. Оцінка основного обміну у кваліфікованих спортсменів. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2020. Т. 41, № 1. С. 15–22. URL: <https://drive.google.com/file/d/11RCFL6GT0dazQnmySmPdQ13JdPvg244i/view>

12. Лошкарьова Є. Аналіз методів оцінки основного обміну в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2019. Т. 40, № 1. С. 18–22. URL: [https://drive.google.com/file/d/1R\\_gUdnTZkAsYbhkUpq-ORK0-6UuGwI3J/view](https://drive.google.com/file/d/1R_gUdnTZkAsYbhkUpq-ORK0-6UuGwI3J/view)

## ДОДАТОК Б

**ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ ДИСЕРТАЦІЙНОГО  
ДОСЛІДЖЕННЯ**

№ п/п	Назва конференції	Місце та дата проведення	Форма участі
1	XXIII International Scientific and Practical Conference «Theoretical and science bases of actual tasks»	м. Лісабон, 14–17 червня 2022 р.	публікація
2	XV Міжнародна конференція молодих вчених «Молодь та олімпійський рух»	м. Київ, 16 вересня 2022 р.	публікація
3	I Міжнародна науково-практична конференція «Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту»	м. Київ–Черкаси, 7–8 грудня 2023 р.	публікація
4	International Scientific Conference «The significance of physical culture and sports for human health»	м. Рига, 6–7 березня 2024 р.	публікація
5	VI Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми фізичного виховання, спорту, фізичної реабілітації та туризму у сучасних умовах життя»	м. Запоріжжя, 18–19 квітня 2024 р.	публікація
6	XVII Міжнародна конференція молодих вчених «Молодь та олімпійський рух»	м. Київ, 7 травня 2024 р.	публікація; доповідь

7	II Всеукраїнська наукова конференція «Сучасні погляди молоді на фізичну культуру, спорт та здоров'я людини»	м. Харків, 17 травня 2024 р.	публікація
---	---	---------------------------------	------------

## ДОДАТОК В

## АКТ

впровадження результатів наукових досліджень у практику науково-методичного забезпечення підготовки збірної команди України з біатлону

Ми, ті, що підписали нижче: Федерація біатлону України з одної сторони, і Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту з іншої сторони, склали цей акт про те, що виконавці наукової теми 2015-1 «Використання ергогенних факторів в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів» Лошкарьова С.О. та Россоха Г.В., в період з 11.10. по 12.12.2019 року внесли в навчально-тренувальний процес збірної команди України з біатлону пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і порівняльна характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
Методика оцінки основного обміну у кваліфікованих спортсменів збірної команди України з біатлону. Розроблена методика оцінки основного обміну ґрунтується на використанні методу непрямой калориметрії, що дозволяє визначити та оцінити метаболічний статус спортсмена.	Імплементовано нову методику оцінки метаболічного статусу спортсмена шляхом визначення енерговитрат спокою. Запропонована методика може бути використана у комплексному контролі функціонального стану та підготовленості спортсменів з метою підвищення ефективності тренувальної та змагальної діяльності. Розроблена методика оцінки основного обміну кваліфікованих спортсменів може бути використана в практиці поточного контролю функціонального стану та підготовленості спортсменів різної кваліфікації, що спеціалізуються в біатлоні.	Підвищення ефективності підготовки спортсменів збірної команди України з біатлону у спеціально-підготовчому та передзмагальному періоді підготовки.

Автори розробки:

Головний фахівець відділу НОР ДНДІФКС

Лошкарьова С.О.

Молодший науковий співробітник лабораторії ергогенних чинників у спорті ДНДІФКС

Россоха Г.В.

Директор ДНДІФКС

Майданок О.В.

Президент Федерації біатлону України

Бринзак В. М.

Державний тренер штатної збірної команди України з біатлону

Колупасв С.Ф.



## ДОДАТОК Г

**АКТ**  
**впровадження результатів наукових досліджень у практику науково-методичного забезпечення підготовки збірної команди України з веслування академічного**

Ми, ті, що підписали нижче: Федерація академічного веслування України з одної сторони, і Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту з іншої сторони, склали цей акт про те, що виконавць наукової теми 2015-1 «Використання ергогенних факторів в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів» Лошкарьова Є.О., в період з 28.11. по 12.12.2019 року внесли в навчально-тренувальний процес збірної команди України з веслування академічного пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і порівняльна характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
Методика оцінки основного обміну у кваліфікованих спортсменів збірної команди України з веслування академічного. Розроблена методика оцінки основного обміну ґрунтується на використанні методу непрямої калориметрії, що дозволяє визначити та оцінити метаболічний статус спортсмена.	Імплементовано нову методику оцінки метаболічного статусу спортсмена шляхом визначення енерговитрат спокою. Запропонована методика може бути використана у комплексному контролі функціонального стану та підготовленості спортсменів з метою підвищення ефективності тренувальної та змагальної діяльності. Розроблена методика оцінки основного обміну кваліфікованих спортсменів може бути використана в практиці поточного контролю функціонального стану та підготовленості спортсменів різної кваліфікації, що спеціалізуються з веслування академічного.	Підвищення ефективності підготовки спортсменів збірної команди України з веслування академічного у загально-підготовчому періоді підготовки.

Автор розробки:  
Головний фахівець відділу НОР ДНДІФКС

Лошкарьова Є.О.

Директор ДНДІФКС

Майданюк О.В.

Президент Федерації академічного веслування України

Вінграновський А.М.

Головний тренер штатної команди національної збірної команди України з веслування академічного

Кириченко О.А.



## ДОДАТОК Д

**АКТ**  
**впровадження результатів наукових досліджень у практику науково-методичного забезпечення підготовки збірної команди України з сучасного п'ятиборства**

Ми, ті, що підписали нижче: Федерація сучасного п'ятиборства України з одної сторони, і Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту з іншої сторони, склали цей акт про те, що виконавець наукової теми 2015-1 «Використання ергогенних факторів в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів» Лошкарьова Є.О., в період з 11.10. по 12.12.2019 року внесли в навчально-тренувальний процес збірної команди України з сучасного п'ятиборства пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і порівняльна характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
Методика оцінки основного обміну у кваліфікованих спортсменів збірної команди України з сучасного п'ятиборства. Розроблена методика оцінки основного обміну ґрунтується на використанні методу непрямой калориметрії, що дозволяє визначити та оцінити метаболічний статус спортсмена.	Імплементовано нову методику оцінки метаболічного статусу спортсмена шляхом визначення енерговитрат спокою. Запропонована методика може бути використана у комплексному контролі функціонального стану та підготовленості спортсменів з метою підвищення ефективності тренувальної та змагальної діяльності. Розроблена методика оцінки основного обміну кваліфікованих спортсменів може бути використана в практиці поточного контролю функціонального стану та підготовленості спортсменів різної кваліфікації, що спеціалізуються з сучасного п'ятиборства.	Підвищення ефективності підготовки спортсменів збірної команди України з сучасного п'ятиборства у загально-підготовчому періоді підготовки.

Автор розробки:  
Головний фахівець відділу НОР ДНДіФКС

Лошкарьова Є.О.

Директор ДНДіФКС

Майданюк О.В.

Президент Федерації сучасного п'ятиборства України

Панін І.М.

Головний тренер збірної команди України з сучасного п'ятиборства

Мерцій Ю.В.



## ДОДАТОК Е

## АКТ

впровадження результатів наукових досліджень у практику науково-методичного забезпечення підготовки збірної команди України з боксу

Ми, ті, що підписали нижче: Федерація боксу України з одної сторони, і Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту з іншої сторони, склали цей акт про те, що виконавець наукової теми 2015-1 «Використання ерогенних факторів в практиці підготовки кваліфікованих спортсменів» Лошкарьова Є.О., в період з 4.11. по 12.12.2019 року внесли в навчально-тренувальний процес збірної команди України з боксу (чоловіки) пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і порівняльна характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
<p>Методика оцінки основного обміну у кваліфікованих спортсменів збірної команди України з боксу.</p> <p>Розроблена методика оцінки основного обміну ґрунтується на використанні методу непрямої калориметрії, що дозволяє визначити та оцінити метаболічний статус спортсмена.</p>	<p>Імплементовано нову методику оцінки метаболічного статусу спортсмена шляхом визначення енерговитрат спокою.</p> <p>Запропонована методика може бути використана у комплексному контролі функціонального стану та підготовленості спортсменів з метою підвищення ефективності тренувальної та змагальної діяльності.</p> <p>Розроблена методика оцінки основного обміну кваліфікованих спортсменів може бути використана в практиці поточного контролю функціонального стану та підготовленості спортсменів різної кваліфікації, що спеціалізуються з боксу.</p>	<p>Підвищення ефективності підготовки спортсменів збірної команди України з боксу у загально-підготовчому періоді підготовки.</p>

Автор розробки:

Головний фахівець відділу НОР ДНДІФКС

Лошкарьова Є.О.

Директор ДНДІФКС

Майданок О.В.

Президент Федерації боксу України

Продивус В.С.

Головний тренер штатної збірної команди України з боксу (чоловіки)

Лоївський Л.М.



## ДОДАТОК Ж

## АКТ

впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України

м.Київ

« 26 » 10 2024 р.

Ми, ті, що підписали нижче, склали цей акт про те, що відповідно до плану науково-дослідних робіт Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 роки, Лошкарьова Євгенія Олександрівна як виконавець теми "Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності" (номер державної реєстрації 0121U108187), за результатами роботи протягом 2021-2024 р., внесла такі рекомендації та пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
<p><b>Назва пропозиції:</b> «Практичні аспекти визначення енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих спортсменів»</p> <p><b>Форма впровадження:</b> методичні рекомендації для проведення практичних занять з дисципліни «Спортивна дієтологія»</p> <p><b>Переваги над аналогами:</b> Враховані особливості енерговитрат у стані спокою українських спортсменів</p>	<p><b>Наукова новизна:</b> Визначено особливості енерговитрат у стані спокою у кваліфікованих українських спортсменів, зокрема відповідність стандартних формул для підрахунку енерговитрат у стані спокою фактичним енерговитратам у стані спокою для спортсменів чоловічої та жіночої статей віком 18-35 років та 15-17 років. Оптимізовано визначення енерговитрат у стані спокою розрахунковим методом у кваліфікованих українських спортсменів залежно від статі та віку.</p> <p><b>Рекомендації:</b> результати досліджень можуть використовуватися в освітньому процесі при викладанні дисциплін зі спеціалізації «Спортивна дієтологія»</p>	<p>Матеріали дослідження було використано при проведенні практичних занять для магістрантів групи ІМЗ-МБ2, спеціалізація «Спортивна дієтологія» з дисципліни «Спортивна дієтологія».</p> <p>Впровадження результатів дослідження сприяло поглибленню компетенцій магістрантів у визначенні енерговитрат у стані спокою серед кваліфікованих спортсменів. Це підвищило ефективність навчального процесу та зміщило експертний потенціал українських спеціалістів у сфері спортивної дієтології, що є соціально значущим для країни.</p>

**Автор розробки:**

Аспірант кафедри медичної біології та спортивної дієтології

Євгенія ЛОШКАРЬОВА

**Представники НУФВСУ:**  
Проректор з навчально-методичної роботи

Оксана ШИНКАРУК

**Представник установи,**  
де виконувалося впровадження:  
Завідувач кафедри медичної біології та спортивної дієтології

Вікторія ПАСТУХОВА



## ДОДАТОК И

## АКТ

## впровадження результатів наукових досліджень у практику підготовки юних спортсменів-бадмінтоністів Спортивно-Дипломатичного клубу (DSC)

м. Київ

« 13 » 01 2025 р.

Ми, ті, що підписали нижче, склали цей акт про те, що відповідно до Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр. Лошкарьова Свєнєія Олександрівна та Пастухова Вікторія Анатоліївна, як виконавці теми "Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності" (номер державної реєстрації 0121U108187), за результатами роботи протягом 2021-2024 рр. внесли такі рекомендації та пропозиції:

<i>Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика</i>	<i>Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання</i>	<i>Ефект від впровадження</i>
<p><i>Назва пропозиції:</i> «Визначення добових енерговитрат розрахунковим методом у спортсменів-бадмінтоністів підліткового віку»</p> <p><i>Форма впровадження:</i> практичні рекомендації для тренерського складу та спортсменів</p> <p><i>Переваги над аналогами:</i> Враховані особливості енерговитрат у стані спокою в українських спортсменів-підлітків</p>	<p><i>Наукова новизна:</i> Оптимізовано визначення енерговитрат розрахунковим методом у спортсменів-бадмінтоністів підліткового віку</p> <p><i>Рекомендації:</i> результати досліджень можуть використовуватися в тренувальному процесі для визначення добових енерговитрат спортсменів</p>	<p>Впровадження результатів дослідження в практику підготовки спортсменів-бадмінтоністів підліткового віку сприяло вдосконаленню методичних підходів до визначення енерговитрат у стані спокою в цій віковій групі. Це забезпечило більш точне планування тренувальних навантажень і раціонального харчування, що підвищило ефективність підготовки юних спортсменів..</p>

**Автори розробки:**

Аспірант кафедри медичної біології та спортивної фізіології

Завідувач кафедри медичної біології та спортивної фізіології

Свєнєія ЛОШКАРЬОВА

Вікторія ПАСТУХОВА

**Представник НУФВСУ:**

Проректор з науково-педагогічної роботи

Ольга БОРИСОВА

**Представник установи, де виконувалося впровадження:**

Директор ГО «Спортивно-дипломатичний клуб»

Іван ГУСАРОВ



## ДОДАТОК К

## АКТ

## впровадження результатів наукових досліджень у практику підготовки юних спортсменок-бадмінтоністок Спортивно-Дипломатичного клубу (DSC)

м. Київ

« 13 » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Ми, ті, що підписали нижче, склали цей акт про те, що відповідно до Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 роки Лошкарьова Євгенія Олександрівна та Пастухова Вікторія Анатоліївна, як виконавці теми "Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності" (номер державної реєстрації 0121U108187), за результатами роботи протягом 2021-2024 рр. внесли такі рекомендації та пропозиції:

<i>Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика</i>	<i>Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання</i>	<i>Ефект від впровадження</i>
<p><i>Назва пропозиції:</i> «Визначення добових енерговитрат розрахунковим методом у спортсменок-бадмінтоністок підліткового віку»</p> <p><i>Форма впровадження:</i> практичні рекомендації для тренерського складу та спортсменів</p> <p><i>Переваги над аналогами:</i> Враховані специфічні особливості енерговитрат у стані спокою у спортсменок-бадмінтоністок підліткового віку, зокрема відмінності в метаболізмі порівняно з хлопцями-спортсменами</p>	<p><i>Наукова новизна:</i> Оптимізовано визначення енерговитрат у стані спокою за допомогою формули, яка більш точно враховує фізіологічні особливості спортсменок-бадмінтоністок підліткового віку, що є суттєвим доповненням до існуючих методик.</p> <p><i>Рекомендації:</i> результати досліджень можуть бути використані для точнішого визначення добових енерговитрат спортсменок-бадмінтоністок підліткового віку. Це сприятиме вдосконаленню планування тренувальних програм та індивідуалізації харчових стратегій у їх підготовці.</p>	<p>Впровадження результатів дослідження в практику підготовки спортсменок-бадмінтоністок підліткового віку сприяло вдосконаленню методичних підходів до визначення енерговитрат у стані спокою в цій групі. Це забезпечило більш точне планування тренувальних навантажень і раціонального харчування, що підвищило ефективність підготовки юних спортсменок..</p>

**Автори розробки:**

Аспірант кафедри медичної біології та спортивної дієтології  
Завідувач кафедри медичної біології та спортивної дієтології



Євгенія ЛОШКАРЬОВА



Вікторія ПАСТУХОВА

**Представник НУФВСУ:**

Проректор з науково-педагогічної роботи



Ольга БОРИСОВА

**Представник установи,  
де виконувалося впровадження:**

Директор ГО «Спортивно-дипломатичний клуб»



Юрій ГУСАРОВ

