

Факторна структура фізичної та функціональної підготовленості юних легкоатлеток-спринтерок

Савостьян Федір Павлович ¹

Опубліковано	Секція	УДК
30.11.2025	Фізична культура і спорт	796.015.86:796.332:519.2

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19581361>

Анотація. У статті представлено результати аналізу факторної структури фізичної та функціональної підготовленості юних легкоатлеток-спринтерок 15 років ($n = 13$). На констатувальному етапі педагогічного експерименту застосовано комплекс із восьми польових тестів (біг на 30 м зі старту, 30 м з ходу, 60 м, 300 м, стрибок у довжину з місця, потрійний стрибок, індекс фізичної працездатності — ІФП, RAST-тест) та велоергометричний тест Вінгейта. За допомогою кореляційного аналізу (r Пірсона) та аналізу головних компонентів (PCA) з обертанням варимак виявлено латентну структуру підготовленості. Встановлено два значущих компоненти, що сукупно пояснюють 74,7% загальної дисперсії: «анаеробно-швидкісний» (60 м, 300 м, RAST; 42,2% дисперсії) та «компонент абсолютної анаеробної потужності» (пікова та середня потужність тесту Вінгейта; 32,5%). Визначено провідну роль вибухової сили у структурі підготовленості ($r = 0,927$ між бігом на 30 м та стрибком у довжину, $p < 0,001$). Обґрунтовано необхідність диференційованого планування тренувальних навантажень із урахуванням виявленої факторної структури.

Ключові слова: юні легкоатлетки, спринт, факторний аналіз, анаеробна потужність, тест Вінгейта, RAST-тест, індекс фізичної працездатності, фізична підготовленість, педагогічний експеримент.

Factor structure of physical and functional readiness in young female sprinters

Annotation. This article presents the results of an analysis of the factor structure of the physical and functional fitness of young female sprinters aged 15 ($n = 13$). During the diagnostic phase of the pedagogical experiment, a set of eight field tests was administered (30-meter sprint from a standing start, 30-meter running start, 60 m, 300 m, standing long jump, triple jump, physical work capacity index (PWC), RAST test) and the Wingate cycle ergometer test.

Using correlation analysis (Pearson's r) and principal component analysis (PCA) with varimax rotation, a latent structure of fitness was identified. Two significant components were identified, which together explain 74.7% of the total variance: the "anaerobic-speed" component (60 m, 300 m, RAST; 42.2% of variance) and the "absolute anaerobic power" component (peak and average power of the Wingate test; 32.5%). The leading role of explosive

¹ аспірант кафедри теорії і методики спорту, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, Вінниця, Україна, orcid.org/0009-0003-6309-4438; savostyanf@gmail.com;

power in the fitness structure was determined ($r = 0.927$ between the 30 m run and the long jump, $p < 0.001$). The necessity of differentiated planning of training loads, taking into account the identified factor structure, has been substantiated.

Key words: young track and field athletes, sprint, factor analysis, anaerobic power, Wingate test, RAST test, physical performance index, physical fitness, educational experiment.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Ефективність підготовки юних легкоатлетів-спринтерів значною мірою визначається глибиною розуміння структури їхньої фізичної та функціональної підготовленості. Гетерогенність тренувальних засобів сучасного спринту — від вибухових силових вправ до темпових бігових серій — породжує практичну проблему: які фізичні якості та енергетичні механізми є провідними на конкретному етапі спортивної спеціалізації, і як вони взаємопов'язані між собою?

Особливу актуальність ця проблема набуває у роботі з атлетками 15 років, коли відбувається інтенсивне формування спеціальних рухових здібностей на тлі бурхливих морфофункціональних змін, зумовлених пубертатним розвитком. Несвоєчасне або нераціональне планування тренувальних навантажень у цей сенситивний період може призвести до стагнації спортивного результату або передчасного спортивного вигорання.

Відповідь на зазначену проблему лежить у площині комплексного тестування з подальшим застосуванням багатовимірних статистичних методів — зокрема, факторного аналізу, — що дозволяють виявити латентні конструкти підготовленості та встановити ієрархію їх внеску у загальний рівень спортивної майстерності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема структури спринтерської підготовленості є предметом активного наукового дискурсу впродовж останніх десятиліть. Класичні дослідження Gastin (2001) [6] заклали концептуальну основу розуміння взаємодії фосфагенної, гліколітичної та аеробної систем енергозабезпечення у спринтерських вправах різної тривалості, довівши, що навіть у бігу на 100 м аеробний внесок сягає 20–30%.

У дослідженнях з використанням факторного аналізу встановлено, що структура швидкісно-силової підготовленості юних легкоатлетів є, як правило, двох- або трикомпонентною. Перший компонент традиційно відображає «вибухову» або «нейром'язову» потужність (коротші спринти, стрибки), другий — анаеробну витривалість (довші спринти, повторні зусилля) (McArdle et al., 2015) [9]. Застосування тесту Вінгейта для оцінки анаеробної потужності велоергометричним методом широко описане у літературі (Var-Or, 1987) [1], однак кореляційний зв'язок між показниками Вінгейта та польовими тестами у юних спортсменів залишається дискусійним.

Разом з тим бракує досліджень, які б комплексно поєднували польові тести, RAST-тест та тест Вінгейта з метою виявлення факторної структури підготовленості саме у 15-річних дівчат-спринтерів. Нормативні дані Biomedical Human Kinetics (2024) [2] свідчать про те, що середня пікова потужність у тесті Вінгейта для даної вікової групи знаходиться на рівні «Fair–Below average», що підкреслює необхідність диференційованого підходу до оцінки та розвитку анаеробних якостей.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета дослідження — виявити факторну структуру фізичної та функціональної підготовленості юних легкоатлеток-спринтерок 15 років за результатами комплексного тестування на констатувальному етапі педагогічного експерименту та обґрунтувати напрями диференційованого планування тренувального процесу.

Об'єкт дослідження – тренувальний процес юних легкоатлеток-спринтерок на етапі початкової спортивної спеціалізації.

Предмет дослідження – факторна структура показників фізичної та функціональної підготовленості юних легкоатлеток-спринтерок 15 років.

Методи дослідження: У дослідженні застосовано такі методи: аналіз та узагальнення науково-методичної літератури; педагогічне тестування (польові тести та велоергометрія); методи математичної статистики — описова статистика, кореляційний аналіз (r Пірсона), аналіз головних компонентів (PCA) з обертанням варимакс, дослідницький факторний аналіз методом головної осі (PAF). Обробку даних здійснено у програмному середовищі jamovi (версія 2.7) з використанням пакету psych (Revelle, 2025).

Для досягнення мети було поставлено такі завдання дослідження:

1. Провести комплексне тестування фізичної та функціональної підготовленості юних легкоатлеток і отримати описові статистики досліджуваних показників.
2. Визначити кореляційні взаємозв'язки між показниками польових тестів та тесту Вінгейта.
3. За допомогою аналізу головних компонентів виявити латентну факторну структуру підготовленості.
4. Обґрунтувати практичні рекомендації щодо диференційованого планування тренувальних навантажень на основі виявленої структури.

Наукова новизна:

Уперше комплексно досліджено факторну структуру фізичної та функціональної підготовленості юних легкоатлеток-спринтерок 15 років на основі поєднання польових тестів, RAST-тесту та велоергометричного тесту Вінгейта. Виявлено двокомпонентну структуру підготовленості («анаеробно-швидкісний» та «компонент абсолютної анаеробної потужності»), що підтверджує концепцію енергетичної специфічності рухової діяльності та обґрунтовує необхідність роздільного розвитку цих компонентів у тренувальному процесі. Доведено статистичну незалежність показників велоергометричного тестування від польових бігово-стрибкових тестів у досліджуваній віковій групі.

Результати

На констатувальному етапі педагогічного експерименту обстежено 13 юних легкоатлеток 15 років (спеціалізація — спринт). Комплекс тестування охоплював вісім польових тестів та велоергометричний тест Вінгейта (таблиця 1).

Таблиця 1.

Описова статистика показників підготовленості (n = 13)

Показник	M	S	min	max	V, %
Біг 30 м, с	4,95	0,15	4,70	5,20	2,93
Біг 30 м з ходу, с	3,88	0,22	3,60	4,30	5,69
Біг 60 м, с	8,35	0,16	8,10	8,60	1,93
Біг 300 м, с	49,12	0,90	47,80	50,50	1,84
Стрибок у довжину, см	232,1	5,30	226	240	2,28
Потрійний стрибок, м	6,35	0,14	6,15	6,58	2,14
ІФП, ум. од.	32,86	0,90	31,45	34,25	2,74
RAST, Вт	414,9	64,43	332	530	15,53
Wingate PP, Вт·кг ⁻¹	8,65	0,32	8,20	9,16	3,67
Wingate MP, Вт·кг ⁻¹	7,15	0,41	6,55	7,86	5,77
Wingate FI, %	34,78	4,63	27,40	40,80	13,30

Примітка. М — середнє; S — стандартне відхилення; V — коефіцієнт варіації; ІФП — індекс фізичної працездатності; РР — пікова потужність; МР — середня потужність; FІ — індекс втоми.

Аналіз коефіцієнтів варіації виявив неоднорідний рівень мінливості показників. Найнижчу варіабельність демонструють часові характеристики спринту (V бігу на 300 м — 1,84%; бігу на 60 м — 1,93%), тоді як RAST-тест (V = 15,53%) та індекс втоми Вінгейта (V = 13,30%) характеризуються значно вищою варіабельністю. Це свідчить про індивідуальні відмінності у здатності підтримувати анаеробну потужність при повторних спринтах і є орієнтиром для індивідуалізації тренувального процесу.

Середня пікова потужність у тесті Вінгейта ($8,65 \pm 0,32 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$) відповідає рівню «Fair-Below average» за нормативною класифікацією Biomedical Human Kinetics (2024) для дівчат 15–16 років, що є типовим для початкового етапу спеціалізованої підготовки [2].

Кореляційний аналіз виявив 7 статистично значущих зв'язків ($p < 0,05$). Найвищою є кореляція між бігом на 30 м та стрибком у довжину ($r = 0,927$, $p < 0,001$), що відображає спільну детермінацію цих тестів вибуховою силою м'язів нижніх кінцівок та фосфагенним механізмом енергозабезпечення (McArdle et al., 2015) [9]. Виражений зв'язок між бігом на 30 м з ходу та бігом на 300 м ($r = 0,727$, $p < 0,01$) свідчить про те, що рівень максимальної дистанційної швидкості суттєво визначає результат у відносно тривалому спринті.

Зв'язок між бігом на 60 м та RAST-тестом ($r = -0,733$, $p < 0,01$) є методологічно важливим: від'ємний знак зумовлений різноспрямованістю шкал, а за змістом — спортсменки з кращими результатами у бігу на 60 м демонструють вищу анаеробну потужність при повторних спринтах. Це підтверджує, що гліколітична система є ключовим механізмом як бігу на 60 м, так і RAST-тесту. Від'ємний зв'язок між бігом на 30 м з ходу та ІФП ($r = -0,664$, $p < 0,05$) свідчить про роль аеробного метаболізму у відновленні між повторними зусиллями та підтриманні дистанційної швидкості (Gastin, 2001) [6].

Показники тесту Вінгейта не мають статистично значущих кореляцій з жодним польовим тестом (усі $p > 0,05$). Водночас між внутрішніми показниками тесту виявлено потужні зв'язки: РР × МР ($r = 0,915$, $p < 0,001$) та МР × FІ ($r = -0,849$, $p < 0,001$). Відсутність зв'язку з польовими тестами пояснюється специфічністю велоергометричного зусилля відносно бігово-стрибкової діяльності.

До аналізу головних компонентів (РСА) залучено шість теоретично різномірних показників: біг на 60 м, 300 м, RAST, ІФП, пікову та середню потужність тесту Вінгейта. Показники з мультиколінеарністю (біг на 30 м, стрибки, FІ Вінгейта) виключено. Перевірка придатності матриці: КМО = 0,411, тест Бартлетта $\chi^2(15) = 41,36$ ($p < 0,001$). Незважаючи на граничний КМО, значущий тест Бартлетта дозволяє продовжити аналіз з відповідними застереженнями.

За критерієм Кайзера ($\lambda > 1,0$) виділено два значущі компоненти (таблиця 2).

Таблиця 2.

Власні значення компонентів РСА та частка поясненої дисперсії

Компонент	Власне значення (λ)	% дисперсії	Кумулятивний %
1	2,534	42,2	42,2
2	1,947	32,5	74,7
3	0,939	15,6	90,3
4–6	< 0,40	9,7	100,0

Два значущих компоненти сукупно пояснюють 74,7% загальної дисперсії, що перевищує рекомендований поріг 70% (Hair et al., 2019) [7]. Після обертання варимакс отримано таку матрицю навантажень (таблиця 3).

Таблиця 3.

Навантаження компонентів PCA (обертання варимакс, n = 13)

Змінна	Компонент 1 (анаеробно-швидкісний)	Компонент 2 (потужнісний)	Унікальність
Біг 60 м, с	-0,832	-0,353	0,187
Біг 300 м, с	-0,885	-0,025	0,217
RAST, Вт	0,824	0,096	0,211
ІФП, ум. од.	0,473	0,271	0,650
PP Wingate, Вт·кг ⁻¹	0,276	-0,919	0,079
MP Wingate, Вт·кг ⁻¹	0,284	-0,946	0,026

Примітка. Жирним виділено навантаження $> |0,70|$ (практично значущі за Hair et al., 2019) [7].

Перший компонент об'єднує біг на 300 м (-0,885), біг на 60 м (-0,832) та RAST (0,824). Від'ємні знаки бігових тестів відображають зворотну спрямованість шкали (менший час = краща підготовленість). Цей компонент інтерпретується як «анаеробно-швидкісний» фактор — реалізація субмаксимальних зусиль тривалістю 6–45 секунд за рахунок переважно гліколітичного механізму енергозабезпечення.

Другий компонент визначається виключно показниками тесту Вінгейта: MP (-0,946) та PP (-0,919). Він відображає здатність до реалізації максимальної велоергометричної потужності й інтерпретується як «компонент абсолютної анаеробної потужності». Виділення Вінгейта в окремий фактор узгоджується з відсутністю значущих кореляцій між велоергометричними та польовими тестами, підтверджуючи специфічність цього виду тестування.

Показник ІФП має відносно низькі навантаження на обидва компоненти (0,473 та 0,271) і найвищу унікальність (0,650), що свідчить про відносну незалежність аеробної продуктивності від виявлених латентних конструктивів.

Для підтвердження результатів PCA проведено дослідницький факторний аналіз (EFA) за чотирма показниками першого дослідження (біг 30 м, 300 м, ІФП, RAST). Однофакторне рішення PAF виявило, що найвищі навантаження мають ІФП (0,979) та RAST (1,136). Над одинична оцінка RAST (Neuwood case) свідчить про обмеження однофакторного рішення. Двокомпонентна структура PCA ($\lambda_1 = 1,899$; $\lambda_2 = 1,411$; кумулятивно — 82,7%) більш адекватно описує дані, виділяючи «анаеробну потужність» (ІФП, RAST, біг 30 м) та «швидкісну витривалість» (біг 300 м) як самостійні латентні конструкти.

Висновки

Комплексне тестування юних легкоатлеток-спринтерок 15 років виявило неоднорідний рівень варіабельності показників: низьку мінливість швидкісних характеристик (V бігу на 60 м — 1,93%) при значній варіабельності анаеробної витривалості (RAST, $V = 15,53\%$), що є орієнтиром для індивідуалізації тренувального процесу.

Встановлено найвищу кореляцію між бігом на 30 м та стрибком у довжину ($r = 0,927$, $p < 0,001$), що підтверджує домінуючу роль вибухової сили у структурі

підготовленості даної вікової групи; ці тести є взаємозамінними для надійної оцінки фосфагенного компоненту.

Факторний аналіз (РСА, варимакс) виявив двокомпонентну структуру підготовленості: «анаеробно-швидкісний» компонент (60 м, 300 м, RAST) та «компонент абсолютної анаеробної потужності» (PP та MP тесту Вінгейта), що сукупно пояснюють 74,7% загальної дисперсії.

Відсутність значущих кореляцій тесту Вінгейта з польовими тестами підкреслює необхідність застосування обох видів тестування у комплексній оцінці підготовленості: польові тести відображають готовність до специфічної бігової діяльності, тест Вінгейта — абсолютну анаеробну потужність незалежно від техніки бігу.

Отримані результати обґрунтовують диференційоване планування навантажень: паралельний розвиток анаеробно-швидкісного компонента (бігові інтервальні вправи) та абсолютної анаеробної потужності (вибухова силова робота) на тлі підтримання аеробного фундаменту.

Перспективи подальших досліджень є верифікація виявленої структури на більшій вибірці із застосуванням конфірматорного факторного аналізу (CFA) та оцінка динаміки факторної структури під впливом цілеспрямованого тренувального впливу.

Список використаних джерел

1. Bar-Or O. The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine*. 1987. Vol. 4(6). P. 381–394.
2. Biomedical Human Kinetics. Normative data for the Wingate anaerobic test in adolescent athletes. 2024.
3. Browne M. W., Cudeck R. Alternative ways of assessing model fit. *Sociological Methods & Research*. 1992. Vol. 21(2). P. 230–258.
4. Costello A. B., Osborne J. Best practices in exploratory factor analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*. 2005. Vol. 10(7). P. 1–9.
5. Field A. *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*. 5th ed. London: SAGE, 2018. 1096 p.
6. Gastin P. B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*. 2001. Vol. 31(10). P. 725–741.
7. Hair J. F., Black W. C., Babin B. J., Anderson R. E. *Multivariate data analysis*. 8th ed. Mason: Cengage, 2019. 813 p.
8. Kaiser H. F. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*. 1974. Vol. 39(1). P. 31–36.
9. McArdle W. D., Katch F. I., Katch V. L. *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance*. 8th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2015. 1038 p.
10. Revelle W. *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research [R package]*. CRAN, 2025.
11. Tabachnick B. G., Fidell L. S. *Using multivariate statistics*. 7th ed. New York: Pearson, 2019. 815 p.
12. van Driel O. P. On various causes of improper solutions in maximum likelihood factor analysis. *Psychometrika*. 1978. Vol. 43(2). P. 225–243.