

Формування навантаження «критичної потужності» на рівні порогу втоми в умовах симуляції змагальної діяльності у веслуванні академічному

Ольга Русанова¹, Сергій Майстренко², Вей Їлунь³, Юрій Шкрєбтій⁴

Опубліковано	Секція	УДК
30.10.2025	Фізична освіта і спорт	796.012.1:612.744: 797.123

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17506022>

Анотація. Дослідження присвячено пошуку нових можливостей збільшення спеціалізованої спрямованості тренувального процесу кваліфікованих веслувальників. За основу прийнято концепцію D. Hill [3] і D. Pool et al [7], яка формує потужність навантаження на рівні перехідних процесів «стійкого» стану і компенсації втоми. *Мета дослідження* – виявити взаємозв'язок між працездатністю на рівні порога втоми та середніми показниками ергометричної потужності під час симуляції змагальної діяльності у веслуванні академічному. У дослідженні взяли участь 12 кваліфікованих веслувальників (чоловіки, відкрита категорія, 23,2±1,7 років). *Методи.* Тестування здійснювали на ергометрі Concept RowErg під час моделювання змагальної дистанції 2000 м із реєстрацією потужності в режимі реального часу (дискретність 5 с). Визначено поліноміальні тренди зміни потужності та проведено кореляційний аналіз між початком лінійного відхилення гіперболи та середньою ергометричною потужністю. Рівень концентрації латату крові визначено на 3-5 хвилині відновлення (реєстрували найбільші показники). *Результати.* Отримано виражені трендові залежності ($R^2=0,7-0,9$) і встановлено сильний позитивний зв'язок між показниками ($r=0,99$; $p<0,001$) лінійного відхилення поліноміальної ліній тренду і точки переходу на дистанційну роботу під час симуляції змагальної дистанції 2000 м в веслуванні академічному. Відмічено тенденцію до зв'язку між модельними показниками лінії тренду і ємністю гліколітичних реакцій. Показано, що різниця між моделлю і реальним переходом на дистанційний хід ($\approx 20-40$ Вт) може бути розглянута, в якості потенційний резерв розвитку спеціальної працездатності веслувальників.

Висновки. Результати підтверджують, що використання критеріїв «критичної потужності» є доцільним для індивідуалізації параметрів навантажень на рівні порогу

¹ Русанова Ольга, доктор наук з фізичного виховання і спорту, доцент, Національний університет фізичного виховання і спорту України, <https://orcid.org/0000-0001-7495-7030>, orusanova@uni-sport.edu.ua

² Майстренко Сергій, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти «Доктор філософії» Національний університет фізичного виховання і спорту України, <https://orcid.org/0009-0005-0936-7612>, maystrenko8@gmail.com

³ Вей Їлунь, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти «Доктор філософії», Національний університет фізичного виховання і спорту України, <https://orcid.org/0009-0002-0552-0817>, adnk2007@ukr.net

⁴ Юрій Шкрєбтій доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор, Національний університет фізичного виховання і спорту України, <https://orcid.org/0000-0001-7092-984>, wsmagistratura@ukr.net

втоми та оптимізації тренувальних впливів у висококваліфікованих спортсменів для спрямованого підвищення спеціальної працездатності відповідно вимоги змагальної діяльності на дистанції 2000 м.

Ключові слова: веслування академічне, критична потужність, поліноміальна модель, стійкий стан, поріг втоми, працездатність.

Formation of “Critical Power” Load at the Fatigue Threshold Level under Competitive Activity Simulation in Academic Rowing

Abstract. The study is devoted to exploring new possibilities for increasing the specialized orientation of the training process in qualified rowers. The concept of D. Hill [1] and D. Poole et al. [2] was taken as the basis, which defines workload power at the level of transitional processes of the “steady state” and fatigue compensation. The aim of the study was to identify the relationship between working capacity at the fatigue threshold level and average ergometric power indicators during simulated competitive activity in academic rowing. Twelve qualified rowers participated in the study (men, open category, 23.2 ± 1.7 years). Methods. Testing was performed on a Concept2 RowErg ergometer during the modeling of a 2000 m competitive distance with real-time power registration (5-second sampling). Polynomial trend lines of power change were determined, and a correlation analysis was performed between the onset of the linear deviation of the hyperbola and average ergometric power. Blood lactate concentration was determined at 3–5 minutes of recovery (the highest values were registered). Results. Pronounced trend dependencies were obtained ($R^2=0.7-0.9$), and a strong positive relationship was established between the indicators ($r=0.99$; $p<0.001$) of the linear deviation of the polynomial trend line and the transition point to distance-specific work during a 2000-m simulated competitive task in academic rowing. A tendency was observed towards a link between the model trend indicators and the glycolytic capacity. It was shown that the difference between the model and the real transition to distance pace ($\approx 20-40$ W) can be considered as a potential reserve for the development of rowers’ specific working capacity. Conclusions. The results confirm that the use of “critical power” criteria is appropriate for individualizing load parameters at the fatigue threshold level and optimizing training influences in highly qualified athletes to purposefully increase specific working capacity in accordance with the requirements of competitive activity over the 2000-m distance.

Keywords: academic rowing, critical power, polynomial model, steady state, fatigue threshold, working capacity.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У сучасному спорті напрями вдосконалення спортивної підготовки ґрунтуються на точному розумінні вимог змагальної діяльності та факторів, що її забезпечують. Передусім це стосується наявності функціональних резервів і методичного підґрунтя для їх реалізації в умовах наднапружених режимів роботи в процесі подолання змагальної дистанції у веслуванні академічному [6, 9].

Актуальність вирішення цього питання пов'язана з необхідністю глибокого розуміння структури функціонального забезпечення спеціальної працездатності, зокрема кількісних і якісних характеристик другої половини змагальної дистанції 2000 м, коли фізіологічне напруження навантаження досягає граничних значень. У цей період функції, які в середині дистанції характеризуються стійким станом і сталим розвитком, зберігають високий рівень працездатності завдяки активізації механізмів компенсації втоми [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Усвідомлення значущості перехідних фізіологічних процесів в умовах долання змагальної дистанції створило передумови для цілеспрямованого розвитку функціональних можливостей веслувальників в умовах значного фізіологічного напруження навантаження [11]. У цьому напрямі, в більшості випадків новітні наукові розробки стосувалися модуляції тренувальних навантажень, умовно визначених як «навантаження критичної потужності» [4, 8]. В основі цієї концепції лежать методологічні положення «навантаження критичної потужності» визначені D. W. Hill [3]. В основі концепції лежать узагальнені принципи формування навантаження, яке має визначену спрямованість на стимуляцію функціональних можливостей спортсменів за рахунок мобілізації потужності аеробного енергозабезпечення в умовах перехідних процесів аеробного – анаеробного енергозабезпечення за умови розвинення втоми та «кінцевого результату» реалізації працездатності – відмови від роботи.

Сучасні дослідження у сфері «навантажень критичної потужності» створили передумови для вдосконалення спеціальної працездатності на основі індивідуалізації тренувальних впливів, зокрема через модуляцію режимів тренувальних навантажень відповідно індивідуальним проявам спеціальної працездатності веслувальників на дистанції 2000 м [9]. Це передбачає врахування закономірностей динаміки ергометричної потужності та пов'язаних із нею характеристик функціонального забезпечення перехідних процесів стійкого стану і сталого розвитку функцій в умовах компенсації втоми.

В якості інструменту модуляції «навантаження критичної потужності», спрямованого на розвиток спеціальної працездатності спортсменів розглянуті дані, що були представлені D. Pool et al [7], A. Vanhatalo [10]. Ці дані були науково-методичним підґрунтям для проведення досліджень провідними спеціалістами з функціональної підготовки і підготовленості спортсменів, присвячені практичному застосуванню «навантаження критичної потужності» [1, 5].

Результати досліджень і спеціальних розрахунків сфокусували застосування (моделі критичної потужності (CP-моделі) для розвитку спеціальної працездатності в значного фізіологічного напруження навантаження і максимальної (субмаксимальної) інтенсивності роботи. Дані наведені D. Pool et al [7] свідчать, як «навантаження критичної потужності» відокремлює рівень потужності роботи (інтенсивності), який може бути стабільно підтриманим і відокремленим від навантажень, що призводять до передчасного накопичення втоми. В даному сенсі гіперболічну форму розглянуто в якості *асимптота гіперболи – критична потужність (CP) – поріг*, нижче якого організм працює без наростання втоми. В математичному вигляді мова йде про визначення точки переходу від гіперболічної кривої навантаження до лінійного зменшення потужності навантаження. В практичному сенсі мова про перехід від стартової ергометричної потужності роботи до середнього дистанційного ходу веслування. Дане припущення дозволяє виявити нові критерії модуляції тренувальних навантажень на рівні порогу втоми, навантаження, що надає можливості пролонгації стійкого стану і відокремлює фізіологічне напруження навантаження, яке сприяє швидкому розвитку втоми.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Все це дає підстави для обґрунтування і впровадження в систему підготовки кваліфікованих спортсменів - веслувальників методу розрахунків індивідуальних параметрів навантаження, зокрема нормативних рівней ергометричної потужності на рівні порогу втоми, що розвивається протягом долання змагальної дистанції 2000 м. Розрахункові показники формують передумови роботи на веслувальному ергометрі Concept RowErg, що надає можливості точної реєстрації і відтворення характеристик працездатності в природних умовах спортивної підготовки. Водночас це надає певні можливості для порівняння

індивідуальних показників спеціальної працездатності і прогностичних характеристик функціональних резервів веслувальників.

Зв'язок роботи з науковими планами, темами. Дослідження проведено відповідно до теми 2.4 «Сучасні технології управління тренувальними та змагальними навантаженнями у процесі підготовки кваліфікованих спортсменів у водних видах спорту» (№ державної реєстрації 0121U108251) - згідно Плану науково-дослідної роботи НУФВСУ на 2021-2025 рр.

Мета дослідження. Виявити взаємозв'язок між працездатністю на рівні порога втоми і середніми показниками ергометричної потужності в результаті симуляції змагальної діяльності в веслуванні академічному.

Завдання статті:

1. Проаналізувати сучасні методи модуляції тренувальних навантажень «критичної потужності»
2. Проаналізувати розрахункові закономірності «потужність – тривалість роботи» для визначення індивідуальних параметрів тренувальних навантажень на Concept RowErg.
3. Обґрунтувати шляхи визначення функціональних резервів і шляхи їх реалізації в процесі спеціальної фізичної підготовки веслувальників.

Матеріал

Кваліфіковані спортсмени чоловіки, які спеціалізуються у веслуванні академічному, відкрита категорія, n=20, вік 23,2±1,7.

Методи

Ергометрія. Дослідження проведено на веслувальному тренажері Concept RowErg в процесі симуляції змагальної дистанції 2000 м в веслуванні академічному. Реєстрацію даних проведено в режимі реального часу з дискретністю 5 секунд.

Біохімічні методи дослідження. Забір крові для визначення рівня концентрації лактату поведено на 3 і 5 хвилині відновлення після виконання тесту.

Статистичний аналіз. Для оцінки та аналізу отриманих даних використано непараметричну статистику (\bar{x} , Me, max, min, Q1 – 25%, Q3 – 75%).

Результати

Коефіцієнт детермінації знаходиться в межах $R^2 = 0,7 - 0,9$, Тобто тренд є вираженим і статистично значущим, але дані мають хвилеподібні відхилення, що типовим для тестів із втомою або відновленням між зусиллями, що є природним для розкладу зусиль на дистанції 2000 м в веслуванні академічному. Це надає можливість визначити варіації потужності за допомогою поліноміальної моделі лінії тренду, зокрема тенденції до зростання → плато → спад.

В таблиці 1 представлені ергометричні характеристики працездатності, зареєстровані в процесі симуляції змагальної дистанції 2000 м в веслуванні академічному. З таблиці видно, що всі спортсмени мали характеристики, які відповідали підготовленості веслувальників високої кваліфікації. Окремі зменшені характеристики вказують на певні резерви підготовленості, які спортсмени мусять вирішити на синергічній основі (індивідуальній корекції тренувального процесу). Водночас, окреслені певні тенденції, які супроводжують додання дистанції.

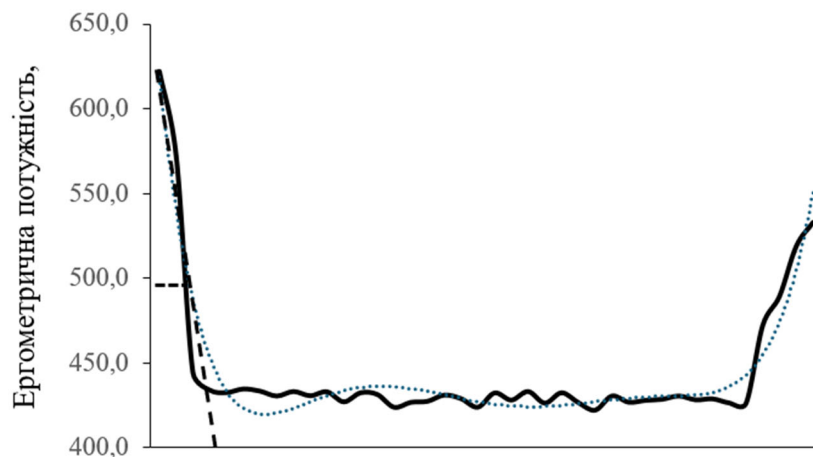
Таблиця 1.

Ергометричні характеристики працездатності, зареєстровані в процесі симуляції змагальної дистанції 2000 м в веслуванні академічному

Статистика	Веслувальники, умовні позначення											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Показатели ергометрии, \bar{W}											
\bar{X}	456,4	430,7	472,2	427,6	486,2	442,8	454,8	466,3	423,8	478,0	399,8	411,6
Me	440,1	415,7	460,5	413,9	476,4	429,7	439,7	453,4	407,5	464,6	379,5	393,5
min	416,1	402,8	433,1	392,3	460,5	411,9	426,0	432,9	390,5	449,7	367,3	379,0
max	612,0	594,6	612,1	601,2	612,1	623,3	658,6	634,8	623,3	634,8	646,5	612,1
Q1	430,9	402,8	453,7	403,5	469,4	422,5	434,0	449,0	399,9	459,0	374,8	389,0
Q3	464,5	419,0	472,3	420,4	484,4	435,8	448,0	459,3	413,7	475,0	386,3	400,8

На рисунку 1 представлено динаміку показників ергометричної потужності і поліноміальної моделі лінії тренду навантаження під час модуляції змагальної дистанції 2000 м. Мова йде про середні показники, зареєстровані на кожній ділянці змагальної дистанції. В якості прикладу, схематично подано точку переходу від гіперболічної кривої навантаження до лінійного зниження ергометричного потуження роботи. На рисунку наведено усереднені дані групи веслувальників, отримані за результатами відповідного тестування. Отримані результати дають підстави висунути гіпотезу щодо можливих прогностичних критеріїв навантаження «критичної потужності», які можуть слугувати орієнтиром для визначення потенційного резерву робочих нормативів навантаження.

На рисунку 2 схематично показано співвідношення параметрів ергометричної потужності, визначених за розрахунком показників рівня початку лінійного відхилення гіперболи після виконання стартового прискорення, та середньої ергометричної потужності під час подолання дистанції 2000 м.



Симуляція змагальної дистанції 2000 м на ергометрі RowErg

- Примітка 1.** — ергометрична потужність навантаження;
Примітка 2. поліноміальна лінія тренду;
Примітка 3. - - - - лінія перетину поліноміальної лінії тренду і ергометричної потужності роботи

Рисунок 1. Показники ергометричної потужності і поліноміальної моделі лінії тренду навантаження під час модуляції змагальної дистанції 2000 м

Для визначення достовірності отриманих відмінностей та оцінювання ступеня взаємозв'язку між показниками було проведено кореляційний аналіз між параметрами початку лінійного відхилення гіперболи після виконання стартового прискорення та середньою ергометричною потужністю під час подолання дистанції 2000 м. Результати аналізу засвідчили наявність сильного позитивного зв'язку між досліджуваними показниками: коефіцієнт кореляції Пірсона становив $r = 0.99$, $p < 0.001$. Це свідчить про те, що зростання ергометричної потужності у зоні початку лінійного відхилення супроводжується пропорційним підвищенням середньої потужності роботи під час моделювання дистанції 2000 м.

Додатково проведено аналіз взаємозв'язку між експериментально визначеним нормативом порогу втоми та рівнем анаеробної гліколітичної ємності. Отримане значення коефіцієнта кореляції ($r \approx 0.50$) вказує на помірно позитивну лінійну залежність між цими характеристиками працездатності веслувальників. Це означає, що підвищення порогу втоми сприяє зростанню енергетичного забезпечення змагальної діяльності.

Дискусія. В сучасній системі підготовки веслувальників високого класу вже багато років ведеться пошуків шляхів вдосконалення тренувального процесу на основі збільшення спеціалізованої спрямованості тренувальних навантажень. Є певне розуміння, що запропоновані спортсменам тренувальні впливи мають бути максимально наближеними до функціонального забезпечення змагальної діяльності. Водночас проблемним питання є індивідуалізація тренувальних навантажень, зокрема формування якісних і кількісних характеристик тренувального процесу, який ґрунтується на принципах системного і синергічного підходів. Реалізація останнього принципу потребує чіткого розуміння типологічних особливостей функціональної підготовленості і їх індивідуальних проявів на дистанції. Процес реалізація цього фактору є найбільш складним, в силу відсутності науково обґрунтованих і методично вивірених підходів до їх практичного застосування.

Вочевидь зрозуміло, що наведені дані мають суто емпіричні передумови. Вони ґрунтуються на евристичному моделювання верхньої межі стійкості потужності (асимптоти гіперболи) і точки початку лінійного падіння кривої.

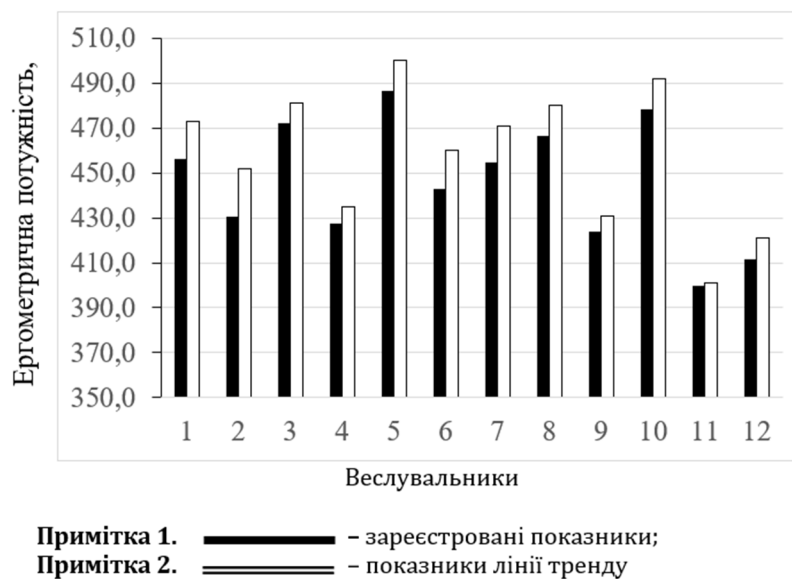


Рисунок 2. Індивідуальні показники ергометричної потужності, визначені за розрахунком показників рівня початку лінійного відхилення гіперболи після виконання стартового прискорення та середньої ергометричної потужності під час подолання дистанції 2000 м.

Підстави для певних висновків зроблені на основі загальної концепції D. Hill [3] і результатів дослідження провідних дослідників «навантаження критичної потужності» [7], які обґрунтували взаємозалежність «потужності навантаження», його динаміки і тривалістю роботи в умовах стійкого стану і сталого розвитку втоми. За даними D. Pool et al [7] початок лінійного «падіння кривої» є моментом перетину зони надкритичної потужності, коли йдуть незворотні втрати (різке зростання втоми).

Наведені дані формують передумови про практичні дії відповідно реальних даних тестування спортсменів, зокрема. Ці дані мають безпосереднє відношення до нормування тренувальних навантажень, спрямованих на вдосконалення функціонального забезпечення змагальної діяльності кваліфікованих веслувальників-академістів. Як розвиток цієї теорії, D. Poole et al [] представили концепцію, відповідно до якої можуть бути визначені певні предиктори функціонального забезпечення змагальної діяльності в умовах навантаження «критичної потужності». Критерієм такого навантаження є активне зростання втоми за умов комплексного напруження систем аеробного та анаеробного енергозабезпечення відповідно структури функціонального забезпечення змагальної діяльності. Запропонована методика формує передумови для визначення ергометричної потужності на рівні «порогу втоми» — навантаження, що передуює фазі її активного зростання. Це дозволяє підвищити функціональні резерви працездатності та забезпечити виконання роботи в умовах стійкого функціонального стану.

Є теоретичні і емпіричні підстави вважати, що різниця лінійним відхиленням поліноміальної лінії тренду і фактичним зниженням ергометричної потужності навантаження є потенційним резервом розвитку спеціальної працездатності веслувальників. Дані наведені в дослідженні свідчать, що відмінності «точки лінійного падіння» і зони реального переходу на дистанційний хід (за суб'єктивними ознаками) знаходяться в діапазоні від 20 до 40 Вт. Це власне формує передумови моделювання тренувальних навантажень пролонгованого типу тривалість, яких залежить від спроможності підтримувати рівень заданої ергометричної потужності в серії.

Вочевидь зрозуміло, що представлена концепція потребує ретельної перевірки, зокрема виявлення її практичної суті. Застосування тренувальних навантажень визначених за відповідними критеріями мають визначити нові можливості нормування тренувальних навантажень, які сприяють спеціалізованим адаптаційним процесам і як наслідок формують відповідні тренувальні ефекти на рівні «порогу втоми» відповідно вимогам змагальної діяльності веслувальників на дистанції 2000 м.

Висновки

Поліноміальна лінія тренду показала високий рівень детермінації ($R^2 = 0,7-0,9$), що свідчить про виражену тенденцію зміни потужності на дистанції 2000 м з характерним переходом «зростання → плато → спад».

Виявлено сильний кореляційний зв'язок ($r = 0,99$; $p < 0,001$) між рівнем потужності у точці початку лінійного відхилення гіперболи після стартового прискорення та середньою ергометричною потужністю на дистанції, що дозволяє використовувати цей показник як прогностичний критерій.

Взаємозв'язок між експериментально визначеним нормативом порогу втоми та рівнем анаеробної гліколітичної ємності ($r \approx 0,50$) вказує на помірно позитивну лінійну залежність між цими характеристиками працездатності веслувальників. Це означає, що підвищення порогу втоми сприяє зростанню енергетичного забезпечення змагальної діяльності.

Визначена різниця між моделлю та фактичним переходом на дистанційний хід (20–40 Вт) може вважатися потенційним резервом розвитку спеціальної працездатності спортсменів.

Отримані результати дозволяють обґрунтовано формувати модель навантажень на рівні «порогу втоми» та створюють передумови для удосконалення індивідуального нормування тренувальних впливів, спрямованих на розвиток функціонального забезпечення змагальної діяльності у веслуванні академічному.

Список використаних джерел

1. Black, M. I., Jones, A. M., Blackwell, J. R., Bailey, S. J., Wylie, L. J., McDonagh, S. T., Thompson, C., Kelly, J., Sumners, P., Mileva, K. N., Bowtell, J. L., & Vanhatalo, A. (2017). Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 122(3), 446–459. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00942.2016>
2. Diachenko, A., Guo Pengcheng, Wang Weilong, Rusanova O., Kong Xianglin, Shkrebtii, Y. (2020) Characteristics of the power of aerobic energy supply for paddlers with high qualification in China. *Journal of physical education and sport @ (jpes)*, vol 20 (supplement issue 1), art 43 pp 312 – 317, 2020. Doi:10.7752/jpes.2020.s1043
3. Hill, D. W. (1993). The critical power concept. A review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 16(4), 237–254. <https://doi.org/10.2165/00007256-199316040-00003>
4. Jones, A. M., Vanhatalo, A. (2017). The 'Critical Power' Concept: Applications to Sports Performance with a Focus on Intermittent High-Intensity Exercise. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(Suppl 1), 65–78. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0688-0>
5. Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., Poole, D. C. (2010). Critical power: implications for determination of $\dot{V}O_{2\max}$ and exercise tolerance. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(10), 1876–1890. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f>
6. Mattioni, M., Fontana, F. Y., Pogliaghi, S., Passfield, L., Murias, J. M. (2018). Critical power: How different protocols and models affect its determination. *Journal of science and medicine in sport*, 21(7), 742–747. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.015>
7. Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(11), 2320–2334. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000939>
8. Schäfer, L. U., Hayes, M., Dekerle, J. (2019). The magnitude of neuromuscular fatigue is not intensity dependent when cycling above critical power but relates to aerobic and anaerobic capacities. *Experimental physiology*, 104(2), 209–219. <https://doi.org/10.1113/EP087273>
9. Turnes T., Cruz R. S. O., Caputo F., De Aguiar R. A. The Impact of Preconditioning Strategies Designed to Improve 2000-m Rowing Ergometer Performance in Trained Rowers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2019. №14(7). P. 871–879.
10. Vanhatalo, A., Black, M. I., Di Menna, F. J., Blackwell, J. R., Schmidt, J. F., Thompson, C., Wylie, L. J., Mohr, M., Bangsbo, J., Krustup, P., Jones, A. M. (2016). The mechanistic bases of the power-time relationship: muscle metabolic responses

- and relationships to muscle fibre type. *The Journal of physiology*, 594(15), 4407–4423. <https://doi.org/10.1113/JP271879>
11. Ye, C., Pengcheng G., Rusanova O., Diachenko A., Nikonorov D. (2021). The Use of Ergometry in the Kayakers' Special Physical Conditioning. *Sport Mont.* 19(2). P. 119–124.