ISSN 2078-3396 (Print)
ISSN 2411-4707 (Online)

УДК 796.37.037
doi: 10.15330/fcult.46.24-29

Пауліна Крефт

ПОРІВНЯЛЬНИЙ БІОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІКИ УЖИТКОВОГО ПЛАВАННЯ КРОЛЕМ НА ГРУДЯХ МЕТОДОМ «ПОВНОГО ЗАНУРЕННЯ» ТА КЛАСИЧНИМ КРОЛЕМ

Анотація. *Мета дослідження* – здійснити порівняльний біомеханічний (кінематичний) аналіз техніки ужиткового плавання кролем на грудях методом «повного занурення» та класичним кролем шляхом визначення відмінностей у просторово-часових характеристиках та показниках швидкісної ефективності. *Методи й організація дослідження*. Використано покадровий кінематичний аналіз із високочастотною підводною відеофіксацією для визначення довжини гребка (SL), частоти гребків (SR), середньої швидкості (v) та тривалості циклу (T). Досвідчена плавчиня (30 років) виконала десять запливів на 25 м у критому басейні. *Результати*. Метод «повного занурення» забезпечує подовження довжини гребка (+21,61%), зниження середньої швидкості (–40,39%) і частоти гребків (–53,08%) та подовження циклу у 2,2 раза порівняно з класичним кролем. *Висновки*. Техніка реалізується в економічному режимі з рівномірним розподілом фаз, стабілізованою траєкторією тіла та оптимізацією внутрішньоциклових коливань. Класичний кроль демонструє більшу швидкість завдяки високій частоті гребків і коротшим циклам, але з менш економічним розподілом сил. Результати можуть бути використані для вдосконалення техніки та підвищення ефективності тренувань.

Ключові слова: довжина гребка, середня швидкість, частота гребків, тривалість циклу, економічність плавання, техніка плавання

Summary. *Objective of the study* – to conduct a comparative biomechanical (kinematic) analysis of recreational front crawl swimming using the Total Immersion method and the classical front crawl by identifying differences in spatiotemporal characteristics and indicators of speed efficiency. *Methods and study design*. Frame-by-frame kinematic analysis with high-frequency underwater video recording was applied, allowing determination of spatiotemporal movement characteristics, stroke length (SL), stroke rate (SR), and average velocity (v). The study involved an experienced 30-year-old female swimmer who performed a series of ten 25-meter swims in an indoor pool. The obtained data were compared with results from contemporary studies of swimmers. The main parameters analyzed were stroke length (SL), average velocity (SV), stroke rate (SR), and cycle duration (T). *Results* showed that the Total Immersion method is characterized by a significant increase in stroke length (+21.61%), a decrease in average velocity (–40.39%), a reduction in stroke rate (–53.08%), and an increase in cycle duration by 2.2 times compared to the classical front crawl. *Conclusions*. These findings indicate that the Total Immersion technique is performed in an economical, energy-saving mode: the increased stroke length compensates for the lower stroke rate, ensuring a more even distribution of movement phases, a stabilized body trajectory, and optimized intracycle velocity fluctuations. The classical front crawl demonstrates higher velocity due to a higher stroke rate and shorter cycles, but with a less economical distribution of force components. The results can be applied to improve recreational swimming technique, enhance efficiency, and optimize the distribution of movement phases in training programs.

Keywords: stroke length, average velocity, stroke rate, cycle duration, swimming efficiency, swimming technique

Постановка проблеми й аналіз результатів останніх досліджень. Сучасні тенденції розвитку плавання зумовлюють необхідність поглибленого біомеханічного аналізу різних технічних моделей плавання кролем на грудях з метою підвищення ефективності руху та економічності плавання. Особливої уваги потребує порівняння кінематичних характеристик ужиткової техніки методом «повного занурення» та класичної техніки плавання кролем, що дозволяє об’єктивно оцінити їх фазову структуру та раціональність розподілу часу в межах плавального циклу.

Фундаментальний огляд біомеханіки плавання кролем на грудях [1] систематизує основні кінематичні та динамічні компоненти, що визначають продуктивність плавця, виділяє центральні параметри (частота, довжина гребка, кутові траєкторії) і підкреслює важливість мінімізації опору та стабільного горизонтального положення тіла.

Нові дослідження [2,3] підкреслюють, що для повноцінного опису ефективності техніки необхідно аналізувати не лише середні значення параметрів, а й внутрішньоциклові профілі, що відповідає нашому підходу. Так, сучасний огляд [2],

© Крефт П., 2026

Увесь контент ліцензовано за умовами CC BY 4.0

який аналізує механіку контролю швидкості в кролі з гідродинамічної точки зору, узагальнює вплив положення тіла на опір, внутрішньоциклові коливання швидкості, важливість оптимального балансу довжини і частоти гребків для економічності. Сучасне дослідження [3], яке застосовує статистичне параметричне картографування (SPM) для аналізу пропульсивних характеристик у кролі оцінює кінематичні профілі руху під час циклу, дозволяє виявляти відмінності фазових патернів, добре ілюструє неоднорідність поведінки швидкості в межах циклу.

Класичні джерела [4,5] підтверджують, що оптимальна техніка плавання кролем – це не максимальна частота, а баланс між частотою і довжиною гребка. Джерела [6,7] розглядають координацію рухів та фазові взаємозв'язки у кролі: зміни скручування плечей та стегон, взаємозалежність фазових компонентів циклу.

Попри значну кількість досліджень, присвячених біомеханіці кроля на грудях, у сучасній науковій літературі недостатньо висвітленими залишаються такі аспекти, як аналіз фазової структури плавального циклу в межах альтернативних технічних моделей, зокрема з позицій просторово-часового розподілу рухів та обґрунтування співвідношення економічності та швидкісної ефективності в альтернативних технічних моделях плавання, що ускладнює оцінку їх придатності для змагальної або рекреаційної практики.

Таким чином, потребує уточнення питання, чи забезпечує техніка «повного занурення» лише підвищення економічності руху, чи може вона бути ефективною з позицій підтримання оптимальної середньої швидкості у порівнянні з класичною змагальною моделлю.

Мета дослідження – здійснити порівняльний біомеханічний (кінематичний) аналіз техніки ужиткового плавання кролем на грудях методом «повного занурення» та класичним кролем шляхом визначення відмінностей у просторово-часових характеристиках та показниках швидкісної ефективності.

Методи й організація дослідження.

Дослідження мало характер одноосібного експериментального біомеханічного аналізу техніки ужиткового плавання кролем на грудях методом «повного занурення» з подальшим порівнянням результатів із даними спеціальної літератури.

Констатувальний експеримент проведено у лютому 2023 року в 25-метровому критому басейні університету в стандартизованих умовах. У дослідженні взяла участь плавчиня 30 років (172 см, 70 кг), яка володіє зазначеною технікою. Після розминки (500 м) спортсменка виконала 10 запливів по 25 м у рекреаційному режимі. Аналіз здійснювався в межах середньої частини дистанції (5–20 м), що дозволило виключити вплив старту та фінішу.

Реєстрацію рухів проводили підводною відеокамерою (120 Гц), а обробку – за допомогою програми Kinovea 0.9.5 (покадровий кінематичний аналіз). Визначали тривалість циклу (T), довжину гребка (SL), частоту гребків (SR), середню швидкість ($v = SL \cdot SR$), а також внутрішньоциклові кінематичні характеристики (координати фіксованих точок, кути сегментів тіла, швидкість їх переміщення).

Отримані показники порівнювали з даними дослідження [8,9], виконаного на 10 плавчинях (18,2±4,6 років), де аналізували вплив плавання з додатковим опором на кінематичні параметри гребка. Для зіставлення використовували SL, SR, середню швидкість, тривалість циклу.

Статистична обробка включала розрахунок середніх значень, стандартних відхилень і застосування Statistical Parametric Mapping (SPM) для виявлення відмінностей у профілях внутрішньоциклової швидкості. Такий дизайн забезпечив валідність, повторюваність та інформативність результатів для оцінки ефективності техніки «повного занурення».

Результати дослідження. Отримані результати (табл.1) свідчать про суттєву перебудову структури рухового циклу та кінематичних характеристик при використанні техніки «повного занурення» порівняно з даними, представленими у спеціальній літературі щодо традиційного кроля на грудях. Порівняння наших результатів з даними спеціальної літератури показує значно більшу довжину гребка; знижену частоту; подовжений цикл. Водночас середня швидкість істотно нижча, ніж у даних [10]; ефективність у швидкісному аспекті поступається традиційній моделі.

Так, під час плавання кролем методом «повного занурення» довжина гребка була на 21,6% більша, ніж під час плавання класичним методом [10]. Це свідчить про кращу фазу ковзання, більш повне використання пропульсивного імпульсу, зниження гідродинамічного опору, ефективніше витягування тіла у горизонтальній площині.

Таблиця 1

Кінематичні показники техніки ужиткового плавання кролем на грудях методом «повного занурення» і класичним кролем

Показники	Метод «повного занурення», власні дані [9]	Класичний метод плавання [10]	Розбіжності,%
SL – довжина гребка, м	2,36±0,07	1,85±0,09	21,61%
SV – середня швидкість, м·с$^{-1}$	0,93±0,02	1,56±0,07	-40,39
SR – кількість гребків за хв	23,65±0,38	50,40±0,30	53,08
T – тривалість циклу, с	2,59±0,09	1,19±0,10	у 2,2 раза

У спеціальній літературі [4,11,12] довжина гребка розглядається як один із ключових показників технічної майстерності та економічності руху. Довша відстань на гребок асоціюється з більшою ефективністю та меншою частотою рухів, що забезпечує раціональний розподіл сил та менші внутрішньоциклові коливання швидкості. Для техніки «повного занурення» характерне саме збільшення довжини гребка за рахунок подовженого ковзання. Отримані нами дані узгоджуються з теоретичною моделлю техніки «повного занурення» [13], яка робить акцент на балансі тіла та зниженні гідродинамічного опору.

Частота гребків у плаванні методом «повного занурення» зменшена більш ніж на 53% порівняно з класичним методом плавання. Це дуже суттєва відмінність; вона пояснюється свідомим зниженням темпу, подовженням циклу, переходом до енергоощадної моделі руху.

У дослідженнях елітних плавців [4,8] зазначається, що збільшення довжини гребка супроводжується зменшенням частоти при дистанційних режимах плавання. Однак така різка редукція кількості гребків за одиницю часу характерна більше для навчально-методичної або рекреаційної моделі, ніж для змагального темпу [1,8].

Подовження циклу у плаванні методом «повного занурення» до 2,59 с (що у 2,2 рази більше) є логічним наслідком зниження частоти гребків. Це свідчить про більшу тривалість ковзання, меншу піковість пропульсивних фаз, плавніший розподіл сил у циклі. З точки зору внутрішньоциклової варіації швидкості така модель потенційно знижує амплітуду коливань горизонтальної швидкості.

Найважливіший показник – середня швидкість. Попри збільшення довжини гребка, середня швидкість зменшилася на 40,4%. Це свідчить, що зниження частоти перевищило позитивний ефект від збільшення довжини гребка; техніка реалізується в економічному, але не швидкісному режимі; модель більше відповідає енергоощадному, а не результативному плаванню. У спортивній літературі [4] вказується, що оптимальна швидкість є функцією співвідношення SL × SR. У проведеному нами дослідженні зниження частоти гребків є настільки значним, що компенсаторний ефект довжини

гребка не забезпечує високої швидкості. У більшості наукових досліджень підкреслюється, що надмірне зниження частоти гребків може призводити до зменшення середньої швидкості, особливо у змагальних умовах. Отримані нами дані повністю підтверджують цю закономірність.

Необхідно зауважити, що сумарний час повного циклу плавання кролем на грудях різними методами (1,19±0,10 с традиційним методом і 2,59±0,09 с – методом повного занурення), які ми порівнюємо, відрізняється більш ніж удвічі, зате результати порівняння таких показників гребка, як *SL, SV* та *SR* при плаванні традиційним методом (1,85±0,09 м; 1,56±0,07 м·с$^{-1}$ та 50,40±0,30 цикл·хв$^{-1}$) і методом «повного занурення» (2,36±0,07 м; 0,93±0,02 м·с$^{-1}$ та 23,65±0,38 цикл·хв$^{-1}$) вказують, що у випадку використання методу «повного занурення» навіть при меншій середній швидкості плавання на 40,39% довжина гребка є більшою на 21,61%, а частота гребків менша більш ніж удвічі – на 53,08%.

Таким чином, наші дані свідчать, що при використанні техніки «повного занурення» відбулося збільшення довжини гребка, зменшення частоти, підвищення економічності, зменшення гідродинамічного опору, спостерігається більш стабільний профіль швидкості. Отже, з біомеханічної точки зору можна стверджувати, що техніка «повного занурення» є більш економічною та енергоощадною. З позиції досягнення максимальної швидкості традиційний варіант є ефективнішим. Найвищий результат може бути досягнутий за умов оптимального поєднання збільшеної довжини гребка з помірним рівнем частоти, а не її радикального зниження.

Ураховуючи, що нами порівнювались характеристики плавання кролем на грудях традиційним методом і методом повного занурення у різних режимах (традиційним кролем спортсменки віком 18,2±4,6 років з найкращим результатом у плаванні кролем на 100 м у 50-метровому басейні 63,32±2,27 с) долали дистанцію 25 м з максимальною інтенсивністю [10], а кролем методом «повного занурення» дистанцію 25 м плавчиня долала десятиразово у рекреаційному темпі), описані вище результати дають лише якісну оцінку і вимагають подальшого підтвердження у педагогічних експериментах при умові залучення до них плавців однакової кваліфікації, на різних дистанціях та в однакових режимах.

Для подальшого об’єктивного підтвердження вищої ефективності плавання кролем на грудях методом повного занурення порівняно з плаванням традиційним кролем доцільно детально проаналізувати біомеханічні особливості рухової діяльності плавців при застосуванні методу повного занурення.

Дискусія. Порівняння отриманих даних із результатами наукових досліджень техніки плавання кролем на грудях свідчить про суттєву перебудову структури рухового циклу та кінематичних характеристик при використанні техніки «повного занурення».

У нашому дослідженні довжина гребка становила 2,36±0,07 м, що на 21,61% перевищує показники, наведені в літературі (1,85±0,09 м). Згідно з узагальненими біомеханічними дослідженнями [1,2,4], збільшення довжини гребка розглядається як маркер технічної майстерності та економічності плавання. Елітні дистанційні плавці демонструють тенденцію до підвищення довжини гребка при зменшенні частоти, що дозволяє знижувати енергетичні витрати. Таким чином, отримані результати узгоджуються з положеннями літератури щодо гідродинамічної раціоналізації техніки.

Частота гребків під час плавання методом «повного занурення» (23,65 цикл·хв$^{-1}$) майже вдвічі нижча за дані літератури (50,40 цикл·хв$^{-1}$), що зумовило подовження тривалості циклу до 2,59 с проти 1,19 с. За даними [6,8], оптимальна швидкість у кролі визначається балансом між довжиною та частотою гребка. Надмірне зниження частоти гребків може призводити до зменшення середньої швидкості навіть при збільшенні довжини гребка. Отримані нами результати підтверджують цю закономірність: значне зменшення частоти не було компенсоване збільшенням довжини гребка.

Середня швидкість у нашому дослідженні становила 0,93±0,02 м·с$^{-1}$, що на 40,39% нижче за значення літератури (1,56±0,07 м·с$^{-1}$). Згідно з роботами [7,14], швидкість плавання є інтегральним показником взаємодії пропульсивних сил і гідродинамічного опору. Хоча техніка «повного занурення» сприяє зниженню опору, її реалізація у повільнішому темпі зменшує загальний результативний ефект. Отже, зниження швидкості в нашому дослідженні відповідає теоретичним уявленням про компроміс між економічністю та результативністю.

Висновки. Отримані показники довжини гребка та фазової структури узгоджуються з сучасними біомеханічними моделями економічного плавання. Значне зниження частоти гребків зумовило зменшення середньої швидкості, що підтверджує встановлений у літературі принцип оптимального співвідношення SL–SR. Техніка «повного занурення» демонструє підвищену гідродинамічну раціональність, але поступається традиційній моделі у швидкісному аспекті.

Відсутність прямих порівняльних біомеханічних досліджень техніки ужиткового плавання методом «повного занурення» та класичного кроля в однакових експериментальних умовах обґрунтовує подальші пошуки в цьому напрямі.

Список використаних джерел

1. Toussaint HM, Beek PJ. Biomechanics of competitive front crawl swimming. Sports Med. 1992;13(1):8-24. https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002.
2. Takagi H, Nakashima M, Sengoku Y, Tsunokawa T, Koga D, Narita K, et al. How do swimmers control their front crawl swimming velocity? Current knowledge and gaps from hydrodynamic perspectives. Sports Biomech. 2023;22(12):1552-1571. https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1959946.
3. Morais J, Barbosa TM, Lopes T, et al. Analysis of upper limb propulsion in young swimmers in front-crawl through statistical parametric mapping. J Biomech. 2023;159:111792. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111792.
4. Craig AB Jr, Pendergast DR. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. Med Sci Sports. 1979;11(3):278-283. https://doi.org/10.1249/00005768-197923000-00007.
5. Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes R, Colaço P, Lima AB, Vilas-Boas JP. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in front crawl. Eur J Appl Physiol. 2005;93(5-6):519-523. https://doi.org/10.1007/s00421-004-1251-4.
6. Psycharakis SG, Sanders RH. Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. Med Sci Sports Exerc. 2009;41(11):2129-2136. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a7d406.
7. Toussaint HM, Truijens MJ, Elzinga MJ, van de Ven A, de Best H, Snabel B, et al. Effect of a fast-skin body suit on drag during front crawl swimming. Sports Biomech. 2002;1(1):1-10. https://doi.org/10.1080/14763140208522784.
8. Seifert L, Chollet D, Rouard A. Swimming constraints and arm coordination. Hum Mov Sci. 2007;26(1):68-86. https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.09.003.
9. Рибак О, Крефт П, Рибак Л. Біомеханічний аналіз плавання кролем на грудях методом повного занурення. Педагогічна Академія: наукові записки. 2025;(20):1-28. https://doi.org/10.5281/zenodo.16744099.
10. Gourgoulis V, Antoniou P, Aggeloussis N, et al. Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. J Sports Sci. 2010;28(11):1165-1173. https://doi.org/10.1080/02640414.2010.507251.
11. Guedes J, Zacca R, de Souza Castro F. Swimming front crawl in pool and open water: comparisons of kinematics, arm-stroke efficiency, and internal load in a 2 km test. Rev Port Cien Desporto. 2024;24:68-83. https://doi.org/10.5628/rpcd.24.01.68.
12. Staunton CA, Ruiz-Navarro JJ, Born DP. Stroke rate–stroke length dynamics in elite freestyle swimming: application of kernel density estimation. Front Sports Act Living. 2025;7:1656633. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1656633.
13. Рибак О, Скальський ДВ, Рибак Л, Крефт П. Біомеханічні переваги плавання стилем «Total Immersion». In: Моделювання та інформаційні технології у фізичному вихованні і спорті: зб. матеріалів XVIII Міжнар. наук. конф. 19–23 верес. 2023 р.; Львів–Берегово. Львів–Берегово: ЛДУФК імені Івана Боберського; 2023. p. 43-4.
14. Zamparo P, Pendergast DR, Termin A, Minetti AE. Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. Eur J Appl Physiol. 2002;86(6):476-482. https://doi.org/10.1007/s00421-001-0582-8.

References

1. Toussaint HM, Beek PJ. Biomechanics of competitive front crawl swimming. Sports Med. 1992;13(1):8-24. https://doi.org/10.2165/00007256-199213010-00002.
2. Takagi H, Nakashima M, Sengoku Y, Tsunokawa T, Koga D, Narita K, et al. How do swimmers control their front crawl swimming velocity? Current knowledge and gaps from hydrodynamic perspectives. Sports Biomech. 2023;22(12):1552-1571. https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1959946.
3. Morais J, Barbosa TM, Lopes T, et al. Analysis of upper limb propulsion in young swimmers in front-crawl through statistical parametric mapping. J Biomech. 2023;159:111792. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111792.
4. Craig AB Jr, Pendergast DR. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. Med Sci Sports. 1979;11(3):278-283. https://doi.org/10.1249/00005768-197923000-00007.
5. Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes R, Colaço P, Lima AB, Vilas-Boas JP. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in front crawl. Eur J Appl Physiol. 2005;93(5-6):519-523. https://doi.org/10.1007/s00421-004-1251-4.
6. Psycharakis SG, Sanders RH. Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. Med Sci Sports Exerc. 2009;41(11):2129-2136. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a7d406.
7. Toussaint HM, Truijens MJ, Elzinga MJ, van de Ven A, de Best H, Snabel B, et al. Effect of a fast-skin body suit on drag during front crawl swimming. Sports Biomech. 2002;1(1):1-10. https://doi.org/10.1080/14763140208522784.
8. Seifert L, Chollet D, Rouard A. Swimming constraints and arm coordination. Hum Mov Sci. 2007;26(1):68-86. https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.09.003.
9. Rybak O, Kreft P, Rybak L. Biomechanical analysis of front crawl swimming using the total immersion method. Pedahohichna Akademiia: Naukovi Zapysky. 2025;(20):1-28. https://doi.org/10.5281/zenodo.16744099.
10. Gourgoulis V, Antoniou P, Aggeloussis N, et al. Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. J Sports Sci. 2010;28(11):1165-1173. https://doi.org/10.1080/02640414.2010.507251.
11. Guedes J, Zacca R, de Souza Castro F. Swimming front crawl in pool and open water: comparisons of kinematics, arm-stroke efficiency, and internal load in a 2 km test. Rev Port Cien Desporto. 2024;24:68-83. https://doi.org/10.5628/rpcd.24.01.68.
12. Staunton CA, Ruiz-Navarro JJ, Born DP. Stroke rate–stroke length dynamics in elite freestyle swimming: application of kernel density estimation. Front Sports Act Living. 2025;7:1656633. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1656633.
13. Rybak O, Skalsky DW, Rybak L, Kreft P. Biomechanical advantages of swimming using the total immersion method. In: Proceedings of the XVIII International Scientific Conference “Modeling and Information Technologies in Physical Education and Sport”; 2023 Sep 19-23; Lviv-Berehove. Lviv: LDUFK; 2023. p. 43-44.
14. Zamparo P, Pendergast DR, Termin A, Minetti AE. Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. Eur J Appl Physiol. 2002;86(6):476-482. https://doi.org/10.1007/s00421-001-0582-8.

Цитування на цю статтю:

Крефт П. Порівняльний біомеханічний аналіз техніки ужиткового плавання кролем на грудях методом «повного занурення» та класичним кролем. Вісник Прикарпатського університету Серія: Фізична культура. 2026 Травень 05; 46: 24-29.

Відомості про авторів

Пауліна Крефт - аспірант, Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського
https://orcid.org/0000-0002-6474-0601
e-mail: paulinakreft@onet.eu

Дата першого надходження статті до видання: 19.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.04.2026