



Фізична культура і спорт

УДК 796.012.1:797.21

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.16744099>

Біомеханічний аналіз плавання кролем на грудях методом повного занурення

Рибак Олег Юрійович

доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор,
професор кафедри водних та неолімпійських видів спорту,
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського,
вул. Тадеуша Костюшка, 11, Львів, Львівська область, 79000, Україна,
<https://orcid.org/0009-0004-9370-0686>

Крефт Пауліна

магістр з фізичного виховання,
аспірантка кафедри водних та неолімпійських видів спорту,
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського,
вул. Тадеуша Костюшка, 11, Львів, Львівська область, 79000, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-6474-0601>

Рибак Людмила Іванівна

кандидат наук з фізичного виховання і спорту,
доцент, доцент кафедри інформатики, кінезіології та кіберспорту
Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського,
вул. Тадеуша Костюшка, 11, Львів, Львівська область, 79000, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-1429-6418>

Прийнято: 18.07.2025 | Опубліковано: 29.07.2025



Анотація. Уміння ефективно й економно плавати має велике значення для безпеки відпочинку на воді, виконання рятувальних та військових операцій, активізації фізичної активності й оздоровлення різних груп населення тощо. Промотори популярного сьогодні плавання кролем на грудях методом повного занурення декларують його вищу ефективність та економічність порівняно з класичним кролем. Таке твердження вимагає об'єктивного порівняння основних біомеханічних характеристик зазначених методів плавання, які для першого методу досліджені недостатньо.

Метою дослідження обрано визначення основних біомеханічних характеристик плавання кролем методом повного занурення та їх порівняння з відповідними характеристиками класичного кролю на грудях.

Для досягнення поставленої мети застосовано підводний відеозапис з частотою 120 Герц, його комп'ютерний біомеханічний аналіз, а також методи порівняння й статистичної обробки отриманих даних.

Вивчено й проаналізовано особливості фазової структура циклу плавання зазначеним способом і граничні пози плавця у різних фазах, розраховано характер зміни миттєвої горизонтальної швидкості плавання упродовж циклу, виявлено характер зміни рушійної сили в циклі й причини таких змін. Описано роботу ніг та її синхронізацію з роботою рук, розраховано переміщення центра мас обох рук і зміну в циклі взаємного розташування центрів мас і плавучості тіла, визначено довжину і частоту гребків, швидкість плавання, якість гребка тощо.

Порівняння біомеханічних характеристик плавання кролем на грудях методом повного занурення і традиційним методом об'єктивно підтверджує вищу ефективність та економічність першого за рахунок збільшення довжини гребків, зменшення їх частоти і зниження гідродинамічного опору рухові, а також нижчої варіації миттєвої швидкості руху в циклі фіксованих точок на тулубі і центра мас тіла.



Результати біомеханічного аналізу плавання кролем методом повного занурення підтвердили його вищу ефективність порівняно з класичним кролем. Очікується, що його застосування в ужитковому й рекреаційному плаванні підвищить привабливість і безпеку відпочинку на воді, а також ефективність рятувальних, військових чи інших операцій, пов'язаних з переміщенням вправ.

***Ключові слова:** ужиткове плавання, кроль, метод повного занурення, біомеханічний аналіз*

Biomechanical Analysis of Front Crawl Swimming by Total Immersion Method

Oleh Rybak

Doctor of Science in Physical Education and Sports, Professor,
Professor of the Department of Aquatic and Non-Olympic Sports,
Ivan Bobersky Lviv State University of Physical Culture,
11 Tadeusz Kostyushko St., Lviv, Lviv Oblast, 79000, Ukraine,

<https://orcid.org/0009-0004-9370-0686>

Paulina Kreft

Master of Physical Education
Postgraduate Student of the Department of Aquatic and Non-Olympic Sports,
Ivan Bobersky Lviv State University of Physical Culture,
11 Tadeusz Kostyushko St., Lviv Oblast, 79000, Ukraine,

<https://orcid.org/0009-0004-9370-0686>

Liudmyla Rybak

Candidate of Sciences in Physical Education and Sports, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Informatics, Kinesiology and Cybersports,
Ivan Bobersky Lviv State University of Physical Culture,
11 Tadeusz Kostyushko St., Lviv, Lviv Oblast, 79000, Ukraine,

<https://orcid.org/0000-0002-1429-6418>



Abstract. *The ability to swim effectively and economically is of great importance for the safety of water recreation, the performance of rescue and military operations, the intensification of physical activity and the improvement of various population groups, etc. Promoters of the popular crawl swimming method using the full immersion method declare its higher efficiency and economy compared to the classic crawl. Such a statement requires an objective comparison of the main biomechanical characteristics of the mentioned swimming methods, which have not been sufficiently studied for the first method.*

The aim of the study was to determine the main biomechanical characteristics of crawl swimming using the full immersion method and compare them with the corresponding characteristics of the classic crawl.

To achieve the set goal, underwater video recording with a frequency of 120 Hertz, its computer biomechanical analysis, as well as methods of comparison and statistical processing of the obtained data were used.

The features of the phase structure of the swimming cycle in the specified method and the limit poses of the swimmer in different phases were studied and analyzed, the nature of the change in the instantaneous horizontal swimming speed during the cycle was calculated, the nature of the change in the driving force in the cycle and the reasons for such changes were revealed. The work of the legs and its synchronization with the work of the hands were described, the movement of the center of mass of both hands and the change in the cycle of the mutual location of the centers of mass and body buoyancy were calculated, the length and frequency of strokes, swimming speed, stroke quality, etc. were determined.

Comparison of the biomechanical characteristics of swimming with a crawl by the method of full immersion and the traditional method objectively confirms the higher efficiency and economy of the first due to an increase in the length of strokes, a decrease in their frequency and a decrease in hydrodynamic resistance to movement, as well as a lower variation of the instantaneous speed of movement in the cycle of fixed points on the trunk and the center of mass of the body.



The results of the biomechanical analysis of swimming with a full immersion method confirmed its higher efficiency compared to the classic crawl. Its application in commercial and recreational swimming is expected to increase the attractiveness and safety of water recreation, as well as the effectiveness of rescue, military or other operations involving swimming.

Keywords: *commercial swimming, crawl, total immersion method, biomechanical analysis*

Вступ. Сьогодні важко переоцінити роль фізичної активності, спорту та туризму, і особливо військово-прикладних видів спорту, у зміцненні здоров'я населення, вихованні молоді та підготовці її до захисту Вітчизни. Завдяки своєму виховному, прикладному, спортивному та оздоровчому значенню плавання займає чільне місце. Систематичні заняття плаванням сприяють розвитку всіх фізичних якостей та підвищують працездатність людини. Плавання особливо благотворно впливає на серцево-судинну та дихальну системи. Люди, які регулярно плавають, мають більшу м'язову силу та підвищені функціональні можливості. Навички плавання є основою спортивного та військово-прикладного плавання, водного поло, стрибків у воду, художнього плавання, сучасного п'ятиборства, підводних видів спорту, морських, прикладних та інших видів військово-спеціального багатоборства. Прикладне плавання успішно використовується в лікуванні розладів обміну речовин, на початкових стадіях захворювань дихальної та серцево-судинної систем, при сколіозі, для запобігання наслідкам різних травм. Тому пошук та біомеханічне обґрунтування нових, більш ефективних методів прикладного плавання є важливим науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Умовний поділ циклу на окремі фази у всіх циклічних видах рухової діяльності дає змогу не лише вивчати та оцінювати ефективність техніки самого методу та виконання рухового завдання конкретними особами, але й застосовувати розділений метод тренування,



зосереджуючись на правильному виконанні тієї чи іншої частини чи фази циклу (V. Zatsiorsky, 2008; V. Zatsiorsky, W. Kraemer, A. Fry, 2020; M. Bilinauskaite, V. Mantha, A. Rouboa, P. Ziliukas, A. Silva, 2013 [1, p. 221-224, 437-438, 442; 2, p. 34-36; 3, p. 1-2,]). Так, фахівці Barbosa T.M. et al., 2013 [4, p. 123,] рекомендують для порівняльного аналізу техніки враховувати її фазову структуру, що дає змогу порівняти техніку одного й того ж спортсмена на різних етапах тренування. З часів перших досліджень фазового складу плавального циклу до наших днів техніка кроля суттєво змінилася. Відповідно, змінювався фазовий склад плавальних циклів, а також їх опис, аналіз та практичні рекомендації щодо оцінки ефективності техніки, розроблені різними дослідниками.

Сьогодні для оцінювання ефективності техніки плавання кролем використовується фазова структура гребка на основі різних просторових та просторово-часових характеристик (A. Krylov, A. Gorelov, A. Tretyakov, 2009; E. Jorge, J. Morais, D. Marinho, T. Barbosa, 2024 [5, p. 171-172; 6, p. 2-3]). Фахівці P. Figueiredo, 2011; V. Gourgoulis et al., 2010 [7, p. 65-66; 8, p. 1166-1167] умовно розподілили цикл гребка на чотири фази: «ковзання» – від входу руки у воду до її максимального руху вперед; «підтягування» – від максимального руху руки вперед до вертикального положення плеча руки, «відштовхування» – від закінчення фази підтягування до виходу руки з води; та «перенесення» – від моменту виходу руки з води до її повторного входу у воду. Вчені V. Gourgoulis et al., 2013 [9, p. 99] також пропонують поділити цикл плавання на чотири фази, але перша з них називається «вхід руки у воду та її захоплення». Вони вважають рухову частину гребка сумою другої та третьої фаз, а нерухову частину – сумою четвертої та першої, і пропонують включати у неї рух руки вниз у фазі входження у воду та ковзання вперед, доки рука не почне рухатися назад, створюючи рушійний імпульс.

Наприклад, на рис. 1 показано хронограму гребка при плаванні кролем традиційним методом, побудовану згідно з V. Gourgoulis et al., 2010 [8, p. 1169], за відносною тривалістю окремих її фаз ($M \pm s$):

Рисунок 1

Колова хронограма і відносна тривалість окремих фаз гребка (довжина гребка – $1,85 \pm 0,09$ м, частота гребків – $0,84 \pm 0,05$ цикл/с, середня швидкість руху – $1,56 \pm 0,07$ м/с, загальна тривалість гребка – $1,19 \pm 0,10$ с, $p < 0,001$) у плаванні кролем на грудях традиційним методом ($M \pm s$)



Джерело: V. Gourgoulis et al., 2010 [8, p. 1169]

Однак, поглиблений аналіз підводної частини гребка, проведений низкою експертів з плавання, а також результати власних досліджень, свідчать про доцільність внесення низки уточнень у традиційний поділ циклу плавання кролем. Так, вчені E. W. Maglischo, 2013 [10, p. 98-101] виявили, що після завершення рушійної фази правою рукою швидкість центру мас тіла (ЦМТ) спортсмена під час руху лівої руки вниз і вперед починає сповільнюватися, доки ліва рука не почне рухатися назад (ближче до моменту захоплення води). Потім швидкість ЦМТ спортсмена збільшується на два імпульси, доки ліва рука знову не почне рухатися вперед, наближаючись до поверхні води. Тобто ЦМТ плавців кролем розганяється вперед лише тоді, коли під час підводної частини гребків руки рухаються назад відносно нерухомого басейну: завдяки роботі рук тіло не розганяється вперед з моменту входу руки у воду до моменту захоплення її біля дна, а також з моменту закінчення підводної рушійної фази гребка до моменту виходу її з води поблизу стегон. Беручи до уваги вищезазначене, експерти E. W. Maglischo, 2013 [10, p. 99] пропонують визначати момент переходу від однієї



фази до іншої відповідно до зміни напрямку руху руки, що виконує гребок, відносно напрямку руху плавця вперед (підйом вниз, підйом вгору, підйом всередину, тобто коли рука, що виконує гребок, рухається відповідно вниз, вбік та всередину до тіла плавця).

Тому дослідники М. Р. Pinto et al., 2024 [11, р. 3] – враховуючи рекомендації авторів E. W. Maglischo, 2013 [10] – умовно поділили цикл гребка на такі п'ять фаз: «початок входу руки у воду та захоплення води», «рух руки вниз», «рух руки горизонтально», «рух руки вгору» та «вихід та винесення руки вперед». Фахівці А. Krylov, А. Gorelov, А. Tretyakov, 2009 [5, р. 171, 173] умовно поділили цикл плавання кролем (для кожної руки окремо) на «рушійну» фазу, фазу «активного гальмування» та фазу «гальмування» (під час поверхневого руху руки вперед), розділивши кінематичну структуру підводної частини гребка на дві частини – рушійну (рушійну) та активне гальмування, коли загальний ефект усіх сил, що гальмують рух, перевищує зусилля плавця, спрямовані на його рух вперед у воді. При цьому, незважаючи на те, що в заключній фазі гребка плавець використовує найпотужніші групи м'язів, швидкість його руху починає знижуватися. Ця фаза зустрічається не лише у спортсменів відносно низької кваліфікації, але й у плавців високого класу. Зазначені спеціалісти також підтверджують, що в початковій фазі гребка швидкість руху руки назад менша за швидкість руху плавця вперед, а в основній своїй фазі вона перевищує швидкість руху плавця вперед, і шлях, пройдений ним у цій фазі, має бути максимально довшим, рука повинна проходити горизонтальний шлях з максимальною швидкістю, а найбільше зусилля має припадати на останню третину гребка.

Враховуючи вищезазначені рекомендації вчених E. Jorge, J. Morais, D. Marinho, T. Barbosa, 2024; P. Figueiredo, 2011; V. Gourgoulis et al., 2010 [6, 7, 8 та ін.], формально цикл плавання кролем за методом «повного занурення» – Total Immersion (далі – ТІ) також можна умовно розділити на чотири фази (для кожної руки), виходячи з таких граничних положень, як початок руху руки вниз до



досягнення плечем вертикалі (фаза підтягування), рух руки назад до повного виходу її з води (фаза відштовхування), рух руки вперед над водою (фаза руху руки вперед), та вхід руки у воду і ковзання тіла вперед (вхід руки у воду та її ковзання вперед). На жаль, публікації Т. Laughlin, 2007; Т. Laughlin, J. Delves, 2018 [12, 13], присвячені плаванню кролем методом ТІ, не наводять ні конкретних назв, ні меж для окремих фаз плавального циклу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Підсумовуючи результати досліджень плавання кролем, проведених фахівцями А. Krylov, А. Gorelov, А. Tretyakov, 2019; E.W. Maglischo, 2003; M. P. Pinto et al., 2024 [5, 10, 11 та ін.], можна ствердити, що умовний поділ циклу плавання кролем як традиційним методом, так і методом ТІ на чотири фази (вхід у воду, підтягування, відштовхування та винесення руки вперед), не враховує певних періодів, упродовж яких плавець не створює достатньої рушійної сили для подолання опору води рухомому тілу, а внутрішньо-циклова швидкість його руху вперед зменшується. Але для об'єктивного оцінювання й порівняння ефективності техніки плавання кролем традиційним методом та методом ТІ необхідно експериментально вивчити та проаналізувати біомеханічні особливості рухової діяльності плавців за методом ТІ, та порівняти їх з аналогічними даними для традиційного плавання кролем, наведеними у спеціальній літературі. Однак біомеханічні характеристики техніки ужиткового плавання кролем на грудях методом повного занурення досліджені недостатньо, що ускладнює об'єктивне порівняння ефективності такого методу плавання кролем з традиційним методом. Тому **метою нашого дослідження** обрано визначення основних біомеханічних характеристик плавання кролем методом ТІ та порівняння їх з відповідними характеристиками плавання кролем на грудях класичним методом. Це дасть змогу удосконалити техніку ужиткового плавання кролем на грудях, що дуже важливо не тільки для безпечного і корисного для зміцнення здоров'я населення безпечного відпочинку на водоймах, аматорського плавання, водного туризму та інших форм фізичної активності на воді, а й для



військово-прикладних видів спорту, ефективного виконання рятувальних та військових операцій, підготовці молоді до захисту Вітчизни тощо.

Методи. Ураховуючи, що використання елементів прогресивного методу плавання кролем методом ПІ, який детально описаний у працях його промоутерів (Т. Laughlin, 2007; Т. Laughlin, J. Delves, 2018 [12, 13]), серед плавців різної кваліфікації відбувається дуже індивідуально, і сьогодні жоден з кваліфікованих спортсменів не плаває «чистим» кролем методом ПІ. Тому до констатувального педагогічного експерименту нами було залучено інструктора з плавання кролем методом ПІ плавчиню П. К., яка продемонструвала класичну техніку плавання кролем на грудях цим методом. Вона дала письмову згоду на участь в експерименті, у якій було описано його протокол. Дослідження було схвалено етичним комітетом Академії фізичного виховання та спорту в Гданську та проводилося відповідно до морально-етичних вимог та заходів згідно з Гельсінською декларацією про дослідження на людях та етичними стандартами, запропонованими експертами D. Harriss, G. Atkinson, 2009 [14].

Дослідження проводилося у лютому 2023 року у першій половині дня у 25-метровому критому басейні зазначеного університету без присутності сторонніх осіб. Після розминки (500 м) плавчиня П. К. у рекреаційному режимі десять разів пропливла третю доріжку басейну в різних напрямках. Її рухові дії здійснювалися в каліброваному просторі середньої частини (від 5 до 20 м) басейну, і реєструвалися підводною відеокамерою Xiaomi Yi Action з частотою 120 Гц. Математична обробка відеозаписів проводилася спеціальною програмою аналізу руху Kinovea-0.9.5-x64. Були розраховані тривалість циклу плавання T , довжина гребка SL , кількість гребків за одиницю часу SR (темп гребків) та швидкість плавання v ($v = SL \cdot SR$) у кожному з десяти запливів, середня тривалість фаз плавального циклу для обох рук, а також миттєві внутрішньоциклові значення координат, кутів нахилу різних частин тіла, швидкості руху нерухомих точок на тілі, кінчиків пальців, окремих суглобів, кистей і стоп.



Отримані результати та їх обговорення. На підставі біомеханічного аналізу десятикратного проходження плавчиною П.К. середньої частини (від 5 до 20 метрів) 25-метрового басейну в обох напрямках, було визначено тривалість плавального циклу T , довжину гребка SL (довжину гребка), кількість гребків за одиницю часу SR (темп гребка) та швидкість плавання v (швидкість): $v = SL \times SR$ кожного з десяти запливів (табл. 1), а також середню тривалість для обох плечей фаз плавального циклу, описаних вище (табл. 2 та рис. 2).

Порівняння відносних тривалостей зведених у табл. 2 фаз циклу плавання (кроль методом ТІ) з відносною тривалістю фаз циклу плавання кролем традиційним методом, розрахованою експертами [8] (рис. 3), дає змогу стверджувати, що внутрішньо-циклова часова (ритмічна) структура плавання кролем методом ТІ суттєво відрізняється від часового ритму традиційного плавання кролем.

Таблиця 1

Кінематичні параметри 10 запливів кролем на грудях методом ТІ у 25-метровому басейні плавчині П.К., ранжовані за швидкістю руху

№ з/п	T циклу, с	SL , м	v , м/с	SR , цикл/хв..
1	2,68	2,78	1,037	22,38
2	2,63	2,58	0,981	22,32
3	2,41	2,28	0,948	24,90
4	2,62	2,47	0,943	22,92
5	2,53	2,38	0,941	23,70
6	2,38	2,13	0,895	25,20
7	2,70	2,41	0,893	22,20
8	2,59	2,31	0,892	23,16
9	2,42	2,12	0,876	24,78
10*	2,41	2,10	0,871	24,90
$M \pm s$	$2,537 \pm 0,039$	$2,356 \pm 0,069$	$0,928 \pm 0,017$	$23,646 \pm 0,381$

* - виконано вдих

Джерело: власна розробка авторів

Таблиця 2

Середня тривалість фаз циклу плавання кролем на грудях методом ТІ, розрахована за результатами відео-знімання з частотою 120 Гц десяти запливів у 25-метровому басейні плавчині П.К.

№ з/п	Назва фази	Кількість кадрів			Тривалість фази, с; %
		Права рука	Ліва рука	Середнє	
1	Ковзання	133,5 ± 3,4	137,2 ± 4,3	135,35 ± 2,69	1,128 с; 43,58%
2	Підтягування	54,5 ± 3,2	53,8 ± 1,4	54,15 ± 1,68	0,451 с; 17,43%
3	Відштовхування	62,4 ± 1,3	61,2 ± 0,8	61,80 ± 0,76	0,515 с; 19,90%
4	Перенесення	58,6 ± 3,2	60,0 ± 2,2	59,30 ± 1,87	0,494 с; 19,09%
Разом:		135,35 + 54,15 + 61,80 + 59,30 = 310,60			2,588 с; 100%

Джерело: власна розробка авторів

Рисунок 2

Колова хронограма і відносна тривалість окремих фаз гребка (довжина гребка – 2,356±0,069 м, частота гребків – 23,646±0,381 цикл/хв, середня швидкість руху – 0,928±0,017 м/с, загальна тривалість гребка – 2,588 с) у плаванні кролем на грудях методом ТІ (M±s), розраховані на підставі аналізу результатів відео-знімання десяти запливів у 25-метровому басейні плавчині П.К.

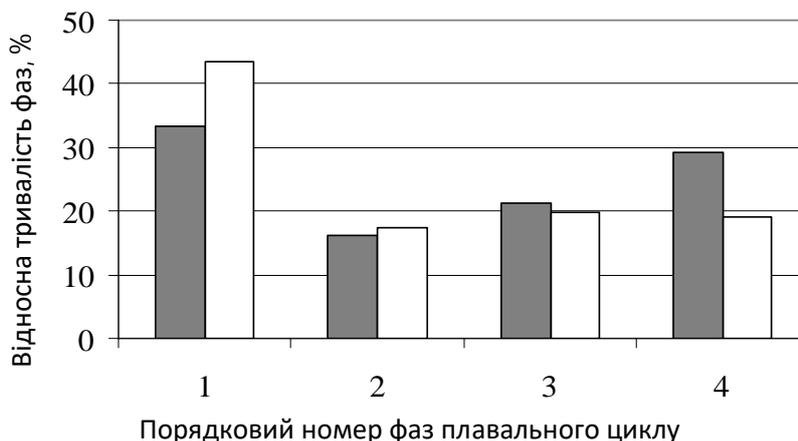


Джерело: власна розробка авторів

Таким чином, у плаванні ТІ фаза входження у воду та ковзання вперед триває на 30,91% довше, а фаза перенесення руки над водою на 34,91% коротше, ніж аналогічні фази у плаванні традиційним методом.

Рисунок 3

Відносна тривалість фаз плавального циклу кролем на грудях традиційним методом (■) і методом ТІ (□): 1 – фаза входу кисті у воду; 2 – фаза підтягування; 3 – фаза відштовхування; 4 – фаза перенесення руки над водою (назви фаз – умовні)



Джерело: власна розробка авторів

Відносна тривалість фаз підтягування та відштовхування у плаванні кролем зазначеними методами також відрізняється, але виявлені відмінності значно менші (у плаванні кролем ТІ підтягування на 7,73% довше, а відштовхування на 6,18% коротше, ніж такі самі фази у плаванні традиційним кролем). Це означає, що плавець, який використовує техніку ТІ, «ковзає» вперед довше, намагаючись насамперед зменшити опір води під час перенесення руки над водою, коли він рухається з найменшою миттєвою швидкістю, за рахунок максимального витягування тіла (покращення його обтічної форми), а також збільшити довжину гребка SL (основний принцип збільшення мінімальної та



середньої внутрішньо-циклової швидкості плавання без додаткових зусиль та витрат енергії, що неодноразово підкреслюється авторами Т. Laughlin, 2007 [12]).

Слід зазначити, що загальний час повного циклу гребка кролем різними методами ($1,19 \pm 0,10$ с традиційним методом та $2,59 \pm 0,09$ с методом ТІ), які ми порівнюємо, відрізняється більш ніж у два рази.

Але результати порівняння таких показників гребка, як SL, v та SR при плаванні традиційним методом ($1,85 \pm 0,09$ м; $1,56 \pm 0,07$ м/с та $50,40 \pm 0,30$ циклів/хв., V. Gourgoulis et al., 2010 [8, р. 1169], та методом ТІ ($2,36 \pm 0,07$ м; $0,93 \pm 0,02$ м/с та $23,65 \pm 0,38$ циклів/хв., табл. 1) свідчать про те, що у випадку використання методу ТІ, навіть при нижчій середній швидкості плавання SV на 40,39%, довжина гребка SL більша на 21,61%, а частота гребка була більш ніж удвічі нижчою – на 53,08%.

Враховуючи, що ми порівнювали характеристики плавання кролем традиційним методом та методом ТІ у різних режимах (традиційним кролем пливли спортсменки віком $18,2 \pm 4,6$ років з найкращим результатом на дистанції 100 м у 50-метровому басейні за $63,32 \pm 2,27$ с), які долали дистанцію 25 м з максимальною інтенсивністю [8, р. 1169], а П.К. подолала дистанцію 25 м методом ТІ десять разів у рекреаційному темпі), описані вище результати дають лише якісну оцінку та потребують подальшого підтвердження в педагогічних експериментах за умови залучення плавців однакової кваліфікації, на різних дистанціях та в однакових режимах.

Підводна частина циклу плавання кролем методом ТІ починається з фази входження руки у воду та ковзання вперед. Фахівці з плавання ТІ описують це як послідовне опускання (входження) руки (під початковим кутом нахилу від горизонталі 45°), передпліччя та плеча у воду: кисть та вся рука опускаються у воду, продовжуючи поздовжню вісь тіла через вісь плечового суглоба; кисть максимально витягнута вперед.

На рис. 4 показано зміну кута нахилу кисті у фазі її входження у воду та ковзання вперед. Згідно з даними, представленими на рис. 4, одразу після входження кінчиків пальців кисті у воду вона, орієнтована відносно поверхні води в кінці надводної фази перенесення під кутом 45° , одразу починає обертатися в горизонтальному напрямку, а при повному зануренні кут між площиною кисті та горизонталлю стає $-9,0^\circ$.

Рисунок 4

Кут нахилу α_m площини кисті відносно горизонталі у фазі входу руки у воду і ковзання вперед



Джерело: власна розробка авторів

Після цього, упродовж 0,5 с, її нахил майже лінійно зменшується до горизонтального положення. Далі плавне, але вже уповільнене обертання площини кисті руки продовжується вгору (упродовж 0,2 с), досягаючи кута повороту $1,5^\circ$, а потім кисть руки (також упродовж 0,2 с) починає плавно нахилитися вниз, і в кінці фази знову приймає горизонтальне положення.

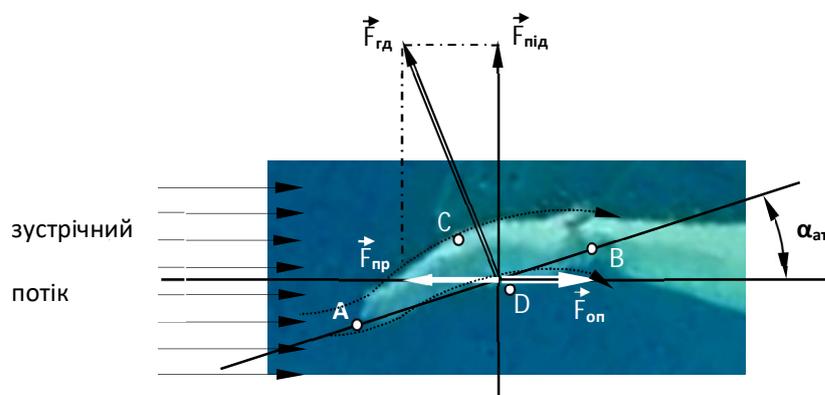
Аналіз форми руки, її нахилу відносно горизонталі та її руху відносно нерухомого басейну під час фази входження у воду та ковзання вперед дозволяє припустити, що в певних зонах зазначеної фази вона може створювати гідродинамічну підйомну силу завдяки різниці швидкостей зустрічних потоків

рідини над та під площиною руки, викликаної її специфічним опукло-увігнутих профілем у сагітальній площині (рис. 5).

Через 0,58 с після початку фази входження кисті у воду та ковзання вперед кут нахилу кисті переходить нульове значення, а до моменту 0,8 с збільшується до $1,5^\circ$.

Рисунок 5

Схема розрахунку підіймальної гідродинамічної сили, яку у певних зонах фази входу руки у воду та ковзання вперед може створювати її кисть завдяки випукло-увігнутому профілю у сагітальній площині, який обумовлює різницю швидкостей набігаючих потоків води над і під нею, де: F_{zd} – гідродинамічна сила; F_{nd} – підіймальна складова сили F_{zd} ; F_{np} – пропульсивна складова сили F_{zd} ; F_{on} – сила гідродинамічного опору водного середовища рухові кисті; α_{at} – кут атаки; A і B – точки на передній і задній частинах кисті; C і D – точки на верхній і нижній поверхнях кисті



Джерело: власна розробка авторів

До цього моменту форма кисті, порівняно з першою частиною фази, поступово змінюється за рахунок повного та максимального розгинання пальців



вперед, і її нова форма не дає змоги сподіватися на створення гідродинамічної сили через різницю відносних швидкостей потоків над і під нею. Потім вісь площини кисті знову нахиляється до горизонтального положення і починається підготовка до наступної фази – підтягування. Під час підготовки до фази підтягування горизонтально орієнтована кисть починає опускатися, занурюючись на глибину понад 21 см. У цей момент закінчується перша фаза циклу плавання кролем – вхід у воду та ковзання вперед, і починається його наступна фаза.

На відміну від плавання кролем методом ТІ, під час традиційного плавання кролем не видається можливим створити гідродинамічну силу рукою під час фази входження руки у воду, горизонтальна складова якої може бути рушійною, оскільки після занурення руки у воду під кутом нахилу до горизонталі, близьким до 30° , її площина не повертається до горизонталі, як у плаванні кролем методом ТІ, а продовжує нахилятися вниз, досягаючи та переходячи у вертикальне положення.

Загалом, теоретичне обґрунтування самої можливості виникнення такої гідродинамічної сили та розрахунок її кількісного значення, враховуючи відсутність таких досліджень та можливий вплив на результат такого розрахунку великої кількості неврахованих чинників (мала ширина профілю, плавний перехід кисті в масивне передпліччя, екранний ефект від поверхні води, зміна профілю кисті тощо), значно ускладнюються. Тому це вимагає додаткових експериментальних досліджень, і на даному етапі можливий лише якісний опис та оцінка можливих характеристик такої рушійної сили під час фази входження кисті у воду та її ковзання вперед. Однак, наявність на графіку миттєвої внутрішньо-циклової швидкості руху тіла при плаванні кролем за методом ТІ вираженого прискорення на самому початку фази входження кисті у воду (рис. б) може бути підтвердженням виникнення такої гідродинамічної сили.

Фаза підтягування починається з початку руху всієї випрямленої руки (з дещо відведеними вбік передпліччям і кистю) вниз відносно поздовжньої осі

тіла; кисть, рухаючись вниз, «захоплює» воду, рука поступово згинається в ліктьовому суглобі до 90° . Фаза підтягування закінчується, коли плече стає перпендикулярним до поздовжньої осі тіла. Граничними положеннями зазначеної фази відповідно до розташування руки, що виконує гребок, є її максимальне випрямлення вперед і початок руху вниз, а також проходження її плечем вертикального положення відносно поздовжньої осі тіла.

Рисунок 6

Швидкість руху ліктьового суглоба v_b (——) і кінчиків пальців v_m (.....) правої руки відносно нерухомого басейну у фазах підтягування і відштовхування в циклі плавання кролем на грудях методом ТІ (25-метровий басейн, плавчиня П.К., рекреаційний режим плавання)



Джерело: власна розробка авторів

Рух руки, що виконує гребок вниз, у фазі підтягування починається з її максимально витягнутого вперед положення, коли кінчики пальців у кінці фази входження руки у воду та ковзання вперед рухаються відносно нерухомого басейну разом з тілом зі швидкістю понад 0,76 м/с. Але для створення рушійної сили у фазі підтягування рука повинна рухатися назад відносно басейну, а така зміна швидкості не може відбутися миттєво та потребує певного часу. Результати, отримані дослідниками E. W. Maglischo, 2003 [10], підтверджують,



що після витягування руки вперед перед гребком, кисть продовжує рухатися вперед упродовж певного часу, створюючи не рушійну силу, а додатковий опір руху. Тому, спираючись на рухи кінчиків пальців та центру ліктьового суглоба руки, що виконує гребок, ми розрахували їх миттєві горизонтальні швидкості під час фаз підтягування та відштовхування. Результати цих розрахунків, показані на рис. 6, дозволили виділити окремі зони у підводних фазах гребка кролем за допомогою методу ТІ, в яких створення належної рушійної сили неможливе.

На думку фахівців з техніки плавання кролем за методом ТІ фаза відштовхування є найефективнішою рушійною фазою підводної частини плавального циклу, під час якої рука, що виконує гребок, досягає найвищої швидкості руху назад до лінії стегон. До кінця фази рука випрямляється, а після завершення відштовхування зазвичай починається вдих, який виконується з поворотом голови.

Граничною позою тіла, як початком зазначеної фази – відповідно до розташування руки, що виконує гребок – є вертикальне положення плеча відносно поздовжньої осі тіла, а позою кінця фази – повний вихід руки з води.

Після підводної частини гребка рука виконує підготовчу, або поверхневу, фазу, яка полягає в послідовному виведенні плеча, передпліччя та кисті з води, що значно полегшується обертанням (латеральним поворотом) тулуба. Початок перенесення руки над поверхнею води після її виходу здійснюється злегка зігнутою в ліктьовому суглобі. Потім рука виводиться вперед над водою, і в середині поверхневої фази згинання ліктя збільшується до 90–120° («правило високого ліктя»). Після поверхневої фази рука входить у воду, і підводна частина плавального циклу починається знову.

Плавання кролем на грудях методом ТІ є двох-ударним. Проте характер створення нижніми кінцівками пропульсивних імпульсів відрізняється від роботи ніг у плаванні кролем традиційним методом. Незважаючи на те, що внесок роботи ніг у просування плавця кролем на грудях вперед менший, ніж в інших способах плавання, рухи ногами в кролі методом ТІ відіграють дуже



важливу роль у ротації й урівноваженні тіла, забезпечуючи тим самим його високу обтічність.

Упродовж першої половини фази відштовхування кожною рукою плавець кролем на грудях методом ПІ утримує стегна паралельно одне до одного, які синхронно з тулубом повертаються навколо поздовжньої до напрямку плавання осі. Приблизно за $59,3 \pm 3,94$ кадрів (за $0,494$ с) до початку фази підтягування правою рукою, поки вона ковзає вперед, починається повільне (щоб не створювати великого гідродинамічного опору, що вимагає додаткових енерговитрат) розведення ніг (права – вгору, ліва – додолу) – так звана підготовча фаза перед пропульсивною – до кута $11,3 \pm 0,96^\circ$ між стегнами, яке закінчується орієнтовно через $26,8 \pm 1,79$ кадрів (через $0,223$ с) після початку зазначеної фази підтягування (тобто сумарна тривалість підготовчої фази розведення ніг триває біля $86,1 \pm 4,12$ кадрів, або $0,718$ с). Після цього починається набагато інтенсивніше зведення ніг, яке триває упродовж $46,4 \pm 1,84$ кадрів ($0,387$ с). Під час руху вгору лівої ноги права гомілка зі стопою під дією гідродинамічного опору на початку її руху додолу згинається в колінному суглобі в середньому – до кута $157,9 \pm 3,32^\circ$ (у класичному кролі це згинання набагато більше – до кута $130\text{--}140^\circ$), і відразу після цього згинання правого стегна в кульшовому суглобі різко гальмується під дією м'язів-розгиначів, що зупиняють його і намагаються почати рух догори, а нижня її частина за принципом батога починає інтенсивно розгинатися, створюючи за рахунок максимально зігнутої стопи, як лопасті, і гомілки потужний пропульсивний імпульс, спрямований назад і вгору, який просуває тіло вперед і дає йому змогу триматися ближче до поверхні води (його у спеціальній літературі з плавання називають «ударом»). Поки вісь лівої ноги, яка рухається догори, не прийме горизонтального положення, вона також створює невеликий пропульсивний імпульс за рахунок горизонтальної складової рівнодійної її тиску на воду, спрямованої назад. Разом це є перший за цикл пропульсивний імпульс, який створюють нижні кінцівки. Цей імпульс, який накладається на початок входу кисті протилежної руки у воду, тобто на описаний



вище додатковий пропульсивний імпульс, який за рахунок гідродинамічного ефекту створює кисть, сприяє потужному повороту тулуба навколо поздовжньої осі у протилежний бік. Цей поворот викликаний парєю сил, що виникають унаслідок гідродинамічного опору води зустрічному рухові ніг. Далі процес повторюється, але вже іншою рукою і ногою.

Сам «удар», на відміну від кролю на грудях традиційним методом, характеризується істотно меншою амплітудою. Ноги у плаванні кролем методом ТІ не досягають поверхні води, не створюючи пов'язаного з цим додаткового опору рухові.

Підсумок наведеного вище зображено на рис. 7, де хронограма фаз гребка руками і ногами накладається на графіки миттєвих внутрішньо-циклових швидкостей нерухомої точки тазу (зверху) та кінчиків пальців (знизу).

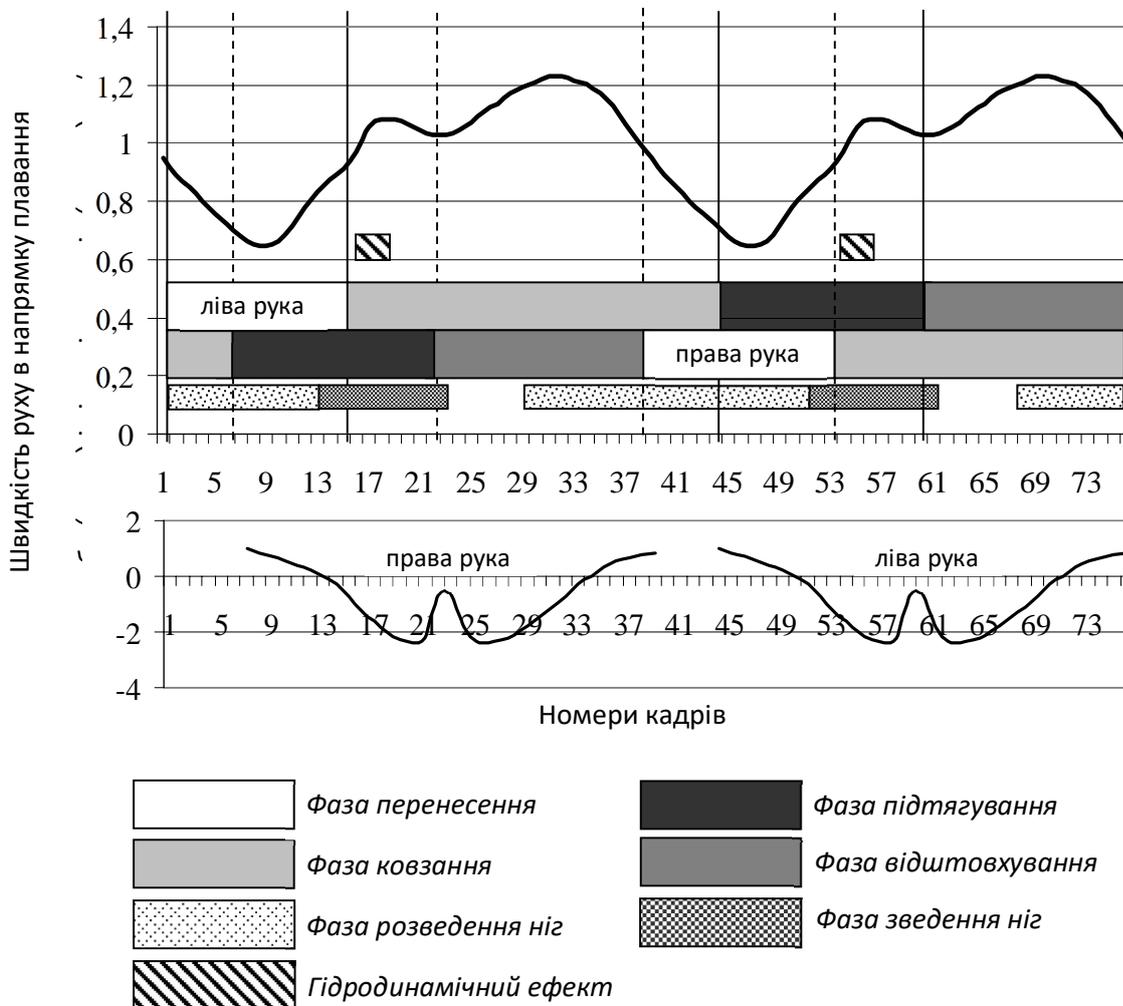
Таким чином, зменшення миттєвої швидкості тазу в певні періоди циклу плавання зумовлене переважно миттєвою швидкістю кінчиків пальців, які створюють рушійні сили. Так, на початку фаз підтягування та у другій половині фаз відштовхування миттєва швидкість тазу зменшується, оскільки руки в цей час рухаються вперед відносно нерухомого басейну і не можуть створювати рушійні сили. На межі фаз підтягування і відштовхування рука, яка рухалася назад під тілом відносно нерухомого басейну, переміщується з-під тіла убік, що перешкоджає її подальшому рухові назад для продовження гребка: в цей момент її горизонтальна швидкість, а також створювана нею рушійна сила, різко зменшуються, що спричиняє зменшення миттєвої швидкості тазу.

Його прискорення на початку фаз входження руки у воду та ковзання вперед може бути викликане гідродинамічним ефектом, створюваним рукою, що рухається під відповідними кутами відносно водного середовища. Певний, хоч і незначний, внесок у рушійну силу тіла на початку фази зведення належить також нижнім кінцівкам. Такий аналіз змін миттєвої внутрішньо-циклової швидкості нерухомої точки на тілі плавця дає змогу з'ясувати, за рахунок чого і коли

створюються рушійні сили під час гребка, як їх збільшити або зробити більш плавними, та де шукати резерви для підвищення ефективності плавання.

Рисунок 7

Графік миттєвої внутрішньо-циклової швидкості руху в напрямку плавання тулуба (вгорі) і кінчиків пальців руки, що виконує гребок (внизу) плавання кролем на грудях методом ТІ; під рисунком – хронограми основних фаз плавального циклу (плавчиня П.К., 25-метровий басейн, повний цикл двома руками, зареєстрований між відмітками 10 і 15 м дистанції підводною відеокамерою з частотою 120 Гц)



Джерело: власна розробка авторів



Згідно з результатами численних досліджень (M. Alberty et al., 2005; T. M. Barbosa et al., 2006; R. Fernandes et al., 2012; A. Fernandes et al., 2023; P. Figueiredo, P. Kjendlie, J. Vilas-Boas, R. Fernandes, 2012; S. G. Psycharakis et al., 2010; J. Vilas-Boas, R. Fernandes, T. Barbosa, 2010 [15, p.471; 16, p.28; 4, p. 123-124; 17, p.15-16; 18, p. 1; 19, p. 285; 20, p. 128-129; 21, p. 120]), встановлено, що просторово-часові характеристики, пов'язані з коливаннями (флуктуаціями) внутрішньо-циклової швидкості тіла (далі – IVV – Intracycle Velocity Variation) у плаванні кролем, найточніше відображають рівень ефективності техніки плавання. Проаналізовані нами дані щодо значення IVV, отримані різними вченими (A. Fernandes et al., 2023; P. Figueiredo, P. Kjendlie, J. Vilas-Boas, R. Fernandes, 2012; V. Gourgoulis et al., 2013; M. P. Pinto et al., 2024; S. G. Psycharakis et al., 2010 [18, p.15; 19, p. 288; 9, p. 102; 11, p. 4(132); та 20, p. 131-132]), дали змогу визначити параметри лінії регресії між значеннями IVV та середньою внутрішньо-цикловою швидкістю руху фіксованої точки на тілі плавця. Це дає змогу розрахувати очікуване середнє значення IVV для різних середніх швидкостей $v_{\text{ср.}}$ руху тіла, а також порівняти значення IVV, отримані різними дослідниками для різних середніх швидкостей:

$$IVV = -18,34 \cdot v_{\text{ср.}} + 43,97 (\%) \quad (1)$$

Очікуване значення IVV нерухомої точки на тілі плавчині П.К., розраховане за наведеною вище формулою, має становити 26,01%. Однак IVV, розраховане за матеріалами підводного відеозапису, виявилось 18,703%, що майже на 40% нижче.

Також були визначені параметри лінії регресії між значеннями IVV та середньою внутрішньо-цикловою швидкістю руху ЦМТ аматорів, плавців-початківців та плавців низької кваліфікації:

$$IVV = -10,9 \cdot v_{\text{ср.}} + 22,72 (\%) \quad (2)$$

Значення IVV ЦМТ плавчині П.К., розраховане за формулою (2), становить 12,038%, а значення IVV, розраховане за результатами підводного відеозапису (7,013%), є більш ніж на 40% нижчим.



Показники плавчині П.К. під час плавання кролем методом ТІ у 25-метровому басейні в рекреаційному режимі також виявилися меншими за середні значення IVV для плавання кролем за літературними даними, які розраховувалися за рухом нерухомої точки на тілі ($20,11 \pm 1,50\%$) та рухом ЦМТ ($10,08 \pm 1,74\%$) для плавців різної кваліфікації.

Таким чином, експериментально розрахована нами IVV плавання кролем методом ТІ для плавчині П.К. – як за рухом тазу, так і за рухом ЦМТ – виявилася значно нижчою за значення IVV, розраховані за рівняннями регресії для плавання в рекреаційному режимі кролем на грудях традиційним методом, а також нижчою за середні значення таких показників за даними спеціальної літератури, що дає змогу прийти до висновку про вищу ефективність першого методу плавання.

Висновки:

1. Умовний поділ циклу плавання кролем як традиційним методом, так і методом ТІ на чотири фази (вхід у воду, підтягування, відштовхування та винесення руки вперед), запропонований численними вченими, не враховує певних періодів, упродовж яких плавець не створює достатньої рушійної сили для подолання опору води рухові тіла, а внутрішньо-циклова швидкість його руху вперед зменшується. Отже, для об'єктивного оцінювання ефективності плавання кролем традиційним методом та методом ТІ необхідно експериментально вивчити та проаналізувати біомеханічні особливості рухової активності плавців, які використовують обидва методи плавання кролем.

2. У результаті експериментального дослідження плавання кролем методом ТІ було виявлено, що фаза входу у воду та ковзання вперед триває на 30,91% довше, а фаза перенесення руки над водою на 34,91% коротше, ніж аналогічні фази традиційного плавання кролем. Це означає, що плавець, який використовує техніку ТІ, «ковзає» вперед довше, намагаючись насамперед зменшити опір води під час перенесення руки над водою, коли він рухається з найменшою миттєвою швидкістю, за рахунок максимального витягування тіла



(покращення його обтічної форми), а також збільшити довжину гребка SL для збільшення мінімальної та середньої внутрішньо-циклової швидкості плавання без додаткових зусиль та витрат енергії. Відносна тривалість фаз підтягування та поштовху у плаванні кролем різними способами також відрізняється, але виявлені відмінності значно менші (у кролі TI підтягування на 7,73% довше, а поштовх на 6,18% коротше, ніж аналогічні фази у традиційному плаванні кролем). Виявлено, що у плаванні кролем методом TI, навіть при нижчій на 40,39% середній швидкості плавання, довжина гребка SL на 21,61% більша, а частота гребків – на 53,08% менша, ніж у плаванні традиційним методом.

3. Аналіз форми руки, її нахилу відносно горизонталі та її руху відносно нерухомого басейну під час фази входу у воду та ковзання вперед дає змогу припустити, що на початку зазначеної фази вона може створювати гідродинамічну підйомну силу завдяки різниці швидкостей зустрічних потоків рідини над та під площиною руки, зумовленій її специфічним опукло-увігнутих профілем у сагітальній площині. Теоретичне обґрунтування можливості виникнення такої гідродинамічної сили та розрахунок її кількісного значення істотно ускладнені та потребують додаткових експериментальних досліджень. Однак, прискорення тіла, виявлені на початку фаз входу рук у воду, можуть бути підтвердженням виникнення такої гідродинамічної сили.

4. Зменшення миттєвої внутрішньо-циклової швидкості тазу упродовж окремих періодів плавального циклу зумовлене зміною миттєвих швидкостей рук, які створюють рушійні сили. Таким чином, на початку фаз підтягування та у другій половині фаз відштовхування миттєва швидкість тазу зменшується, оскільки руки в цей час рухаються вперед відносно нерухомого басейну й не можуть створювати рушійних сил. На межі фаз підтягування та відштовхування рука, яка раніше рухалася назад під тілом, рухається вбік, щоб продовжити гребок, і в цей момент її горизонтальна швидкість, а також створювана нею рушійна сила різко знижуються. Прискорення тіла на початку фаз входження рук у воду та ковзання вперед може бути викликане гідродинамічним ефектом,



створюваним рукою, що рухається під відповідними кутами відносно водного середовища. Певний (але відносно незначний) внесок у рушійний рух тіла на початку фаз відведення створюють нижні кінцівки.

5. Величини IVV плавання кролем на грудях методом ТІ плавчині П.К., визначені нами експериментально (як за рухом тазу, так і за рухом ЦМТ) виявилися значно нижчими за розраховані згідно рівнянь регресії для плавання кролем традиційним методом (розрахована IVV за рухом тазу –26,01%, а фактична – 18,703%; розрахована IVV за рухом ЦМТ – 12,03%, а фактична – 7,013%), а також меншими, ніж середні значення таких показників за даними спеціальної літератури. Це дає змогу стверджувати про вищу ефективність плавання кролем методом ТІ порівняно з плаванням кролем традиційним методом.

Однак, наведені вище висновки потребують додаткового експериментального підтвердження в педагогічному експерименті за участю двох ідентичних груп плавців-початківців, яких паралельно навчали плаванню кролем різними методами.

Список використаних джерел

1. Biomechanics in Sport : Performance Enhancement and Injury Prevention (The Encyclopaedia of Sports Medicine, Vol. 9) 1st / Edition by [Vladimir Zatsiorsky](#). Wiley-Blackwell, 2008. 667 p.

2. Zatsiorsky V.M., Kraemer W.J., Fry A. C. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign : Human Kinetics, 2020. 344 p. ISBN: 1492592013, 9781492592013.

3. Bilinauskaite M., Mantha V. R., Rouboa A. I., Ziliukas P., Silva A. J. Computational fluid dynamics study of swimmer's hand velocity, orientation, and shape: contributions to hydrodynamics. *BioMed research international*. Vol. 2013. Article ID 140487, 14 p. <https://doi.org/10.1155/2013/140487>.



4. The interaction between intra-cyclic variation of the velocity and mean swimming velocity in young competitive swimmers / T. M. Barbosa et al. *Int. J. Sport. Med.* 2013. Vol. 34, P. 123–130.
5. Krylov A.I., Gorelov A.A., Tretyakov A.A. Integral indicators of the swimming techniques effectiveness of highly qualified crawl-stroke swimmers. *Pedagogics, psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports.* 2019. Vol. 23(4), P. 169–175. <https://doi.org/10.15561/18189172.2019.0402>
6. Jorge E., Morais J. E., Marinho D. A., Barbosa T. M. Measurement of the active drag coefficient in front-crawl : A stroke-by-stroke analysis. *Journal of Biomechanics.* 2024. Vol. 164. Article ID 111993. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2024.111993>.
7. Figueiredo P. Biophysical Analysis of the 200 m Front Crawl – Interplay between the biomechanica, energetic, coordinative, and muscular factors : Doctoral Thesis in Sport Sciences : Centre of Research, Educacion, Innovation and Intervention in Sport Faculty of Sport, University of Porto. Porto, 2011. 316 p.
8. Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming / V. Gourgoulis et al. *Journal of Sports Sciences.* 2010. Vol. 28 (11), P. 1165–1173. <https://doi:10.1080/02640414.2010.507251>.
9. Acute Effect of Front Crawl Sprint Resisted Swimming on the Propulsive Forces of the Hand / V. Gourgoulis et al. *Journal of Applied Biomechanics.* 2013. Vol. 29, P. 98–104.
10. Maglischo, E.W. *Swimming Fastest.* Champaign, Illinois : Human Kinetics Publisher, 2003. 791 p.
11. Insights on the Selection of the Coefficient of Variation to Assess Speed Fluctuation in Swimming / M. P. Pinto et al. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology.* 2024. Vol. (9), 129. <https://doi.org/10.3390/jfmk9030129>.
12. Laughlin T. *Пływanie dla każdego.* Zielonka : Buk Rower, 2007. 204 s.



13. Laughlin T., Delves J. . *Kraul metodq Total Immersion*, Warszawa : Buk Rower, 2018. 300 s.
14. Harriss D. J., Atkinson G. International Journal of Sports Medicine - ethical standards in sport and exercise science research. *International Journal of Sports Medicine*. 2009. Vol. 30(10), P. 701–702.
15. Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke / M. Albery et al. *International Journal of Sports Medicine*. 2005. Vol. 26(6), P. 471–475.
16. Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes / T. M. Barbosa et al. *Portuguese Journal of Sport Science*. 2006. Vol. 6(S2), P. 28–29.
17. Kinematics of the hip and body center of mass in front crawl / R. Fernandes et al. *J. Hum. Kinet.*. 2012. Vol. 33, P. 15–23.
18. Intracycle Velocity Variation in Swimming : A Systematic Scoping Review / A. Fernandes et al. *Bioengineering*. 2023. Vol. 10(3). 308. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030308>
19. Figueiredo P., Kjendlie P.L., Vilas-Boas J.P., Fernandes, R.J. Intracycle velocity variation of the body centre of mass in front crawl. *Int. J. Sport. Med.* 2012. Vol. 33, P. 285–290.
20. Three- dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming / S. G. Psycharakis et al. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2010. Vol. 20(1), P. 128–135.
21. Vilas-Boas J. P., Fernandes R. J., Barbosa T. M. Intra-Cycle Velocity Variations, Swimming Economy, Performance and Training in Swimming. *World Book of Swimming : From Science to Performance* / L. Seifert, D. Chollet, I. Mujika (Eds.). Nova Science Publishers, 2010. P. 120–140