

Дятлов Юрій

ORCID 0000-0001-5456-2437

Кандидат історичних наук, доцент,
завідувач кафедри фізики та астрономії,
Національний університет «Чернігівський колегіум»
імені Т. Г. Шевченка (Чернігів, Україна)
E-mail: dofilm@ukr.net

Полетай Вячеслав

ORCID 0000-0002-0231-2740

Кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології,
Національний університет «Чернігівський колегіум»
імені Т. Г. Шевченка (Чернігів, Україна)
E-mail: v_poletaj@ukr.net

Любчикова Дарія

ORCID 0009-0003-7103-0442

Здобувачка освіти,
Національний університет «Чернігівський колегіум»
імені Т. Г. Шевченка (Чернігів, Україна)
E-mail: liubchykovadaria@gmail.com

БІОФІЗИКА ТА ЕНЕРГЕТИКА М'ЯЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В БОЙОВИХ МИСТЕЦТВАХ

Бойові мистецтва поєднують у собі фізичну силу, витривалість, швидкість реакції та стратегічне мислення. В основі ефективного виконання м'язових технік лежать закони біофізики, що визначають оптимальні параметри рухів, механізми генерування сили та використання енергії. М'язова діяльність у бойових видах спорту включає цикли скорочення та розслаблення, які залежать від типу фізичного навантаження (удари, блоки, кидки, ухили). Важливим аспектом є раціональне використання енергетичних систем організму, зокрема аеробного та анаеробного метаболізму, що визначає витривалість і швидкість відновлення бійця. Оптимальна координація м'язової роботи дозволяє мінімізувати енергетичні втрати та підвищити ефективність рухових дій. Аналіз біофізичних особливостей м'язової активності в бойових мистецтвах сприяє покращенню методів тренування та розробці ефективних стратегій ведення бою.

Мета: дослідити біофізичні механізми м'язової діяльності в бойових мистецтвах, зосереджуючись на основних енергетичних системах, типах м'язового скорочення та їх впливі на динаміку рухів.

Методологія. Дослідження базується на аналізі наукової літератури, спостереженнях за спортсменами, які займаються бойовими мистецтвами та досвіді практичного аналізу рухів. Розглянуто кінематичні та динамічні особливості ударних і захисних рухів, їхній зв'язок із м'язовою активністю та витривалістю.

Наукова новизна. Визначено основні енергетичні режими м'язової діяльності при виконанні бойових технік, проаналізовано вплив різних типів м'язового скорочення на швидкість, силу та витривалість спортсмена.

Висновки. Дослідження підтверджує, що успішність бойових технік залежить від правильної організації енергетичних процесів у м'язах. Використання різних режимів м'язового скорочення, оптимізація роботи аеробних та анаеробних джерел енергії дозволяє покращити ефективність рухових дій та зменшити стомлюваність спортсмена.

Ключові слова: біофізика м'язів, енергетика рухів, бойові мистецтва, кінематика удару, витривалість, м'язове скорочення, стратегія тренувань.

Постановка проблеми. Бойові мистецтва є однією з найдавніших форм фізичної активності, що поєднує силу, швидкість, координацію та витривалість. Удосконалення технічних і тактичних прийомів потребує глибокого розуміння біофізичних основ рухової діяльності. Важливу роль у цьому відіграє кінезіологія, яка вивчає закономірності м'язового скорочення та ефективність рухових актів у спорті [1]. Одним із ключових аспектів бойових мистецтв є оптимізація використання енергетичних ресурсів організму. М'язова діяльність під час виконання ударних або захисних рухів залежить від поєднання аеробних і анаеробних енергетичних систем, а також від типу м'язових волокон, що залучаються до роботи [3].

Ударна техніка, переміщення та маневрування спортсмена ґрунтуються на біомеханічних законах, що визначають ефективність зусилля та швидкість реакції. Дослідження кінематичних характеристик рухів дозволяють визначити оптимальні траєкторії та механізми їх виконання [5]. Крім того, велике значення має розподіл навантаження між різними групами м'язів, оскільки це впливає на енергетичні витрати та рівень стомлюваності спортсмена [4].

Сучасні наукові дослідження підтверджують, що біомеханічні технології можуть значно покращити ефективність навчання бойовим технікам [6]. Однак залишається відкритим питання щодо оптимальних співвідношень між силовими, швидкісними та витривалими характеристиками м'язової роботи в різних стилях бойових мистецтв. Дослідження цієї проблеми сприятиме вдосконаленню тренувального процесу, підвищенню спортивних результатів та зниженню ризику травматизму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних наукових працях значна увага приділяється кінезіології рухів та їхньому біомеханічному аналізу. Арзютов Г. М. та ін. [1] розглядають концепцію «живих рухів», яка підкреслює важливість природних моторних механізмів у спорті. Куртова Г. Ю. та співавт. [3] досліджують теоретико-методичні основи спортивної кінезіології, акцентуючи увагу на взаємодії м'язових груп і їхньому впливі на продуктивність рухів.

Лапунтін А. Н. [4] аналізує фундаментальні аспекти кінезіології та їх застосування у вивченні рухової функції людини, що є важливим для розуміння механізмів роботи м'язів у бойових мистецтвах. Дослідження Носка М. О. та Архипова О. А. [5] присвячене біомеханічним характеристикам рухових якостей, дозволило нам обґрунтувати значення енергетичних режимів у формуванні ефективної бойової техніки.

Крім того, Носко М. та співавт. [6] звертають увагу на роль біомеханічних технологій у навчанні руховим діям, що відкриває нові можливості для вдосконалення тренувального процесу. Таким чином, сучасна наука пропонує широкий спектр досліджень, які допомагають розкрити біофізичні аспекти м'язової діяльності в бойових мистецтвах, проте питання оптимального використання енергетичних ресурсів і взаємодії м'язових груп під час бойових технік залишаються предметом подальших досліджень.

Мета: дослідити біофізичні механізми м'язової діяльності в бойових мистецтвах, зосереджуючись на основних енергетичних системах, типах м'язового скорочення та їх впливі на динаміку рухів.

Методологія. Дослідження базується на аналізі наукової літератури, спостереженнях за спортсменами, які займаються бойовими мистецтвами та досвіді практичного аналізу рухів. Розглянуто кінематичні та динамічні особливості ударних і захисних рухів, їхній зв'язок із м'язовою активністю та витривалістю.

Наукова новизна. Визначено основні енергетичні режими м'язової діяльності при виконанні бойових технік, проаналізовано вплив різних типів м'язового скорочення на швидкість, силу та витривалість спортсмена.

Методи дослідження. При виконанні дослідження використано комплекс нижчеперелічених методів: теоретичні – узагальнення, систематизація, теоретичного моделювання, конкретизація, порівняння, аналіз, синтез; емпіричні – спостереження, аналіз результатів діяльності спортсменів. Задля вимірювання швидкості нанесення ударів та часу необхідного для ухилю від ударів використовувалась високошвидкісна камера Sony DSC-RX100 M6 з частотою кадрів 1000 fps.

Результати дослідження. Бойові мистецтва характеризуються високою інтенсивністю рухової активності, що вимагає ефективної роботи м'язової системи та енергозабезпечення. Основними біофізичними особливостями м'язової діяльності є вибуховий характер рухів, висока швидкість скорочення м'язових волокон та необхідність швидкого відновлення між серіями вправ. Біохімічно це супроводжується активною мобілізацією АТФ, швидким використанням креатинфосфату (КФ) та інтенсивним гліколізом.

У спортсменів бойових мистецтв спостерігається значна адаптація м'язових тканин до повторюваних короткотривалих навантажень [5,6], що виражається у збільшенні активності ферментів анаеробного гліколізу, а також у покращенні буферних властивостей м'язів, що допомагає контролювати рівень рН під час виконання високоінтенсивних вправ. Ефективність ударів значною мірою визначається біомеханічними принципами. Розрахунок імпульсу, сили, кінетичної енергії та потужності, що генеруються при різних типах ударів, є ключовим для розуміння їхньої руйнівної сили. Важливу роль у визначенні сили удару відіграють кут атаки, швидкість руху та маса тіла, оскільки вони впливають на передачу енергії від тіла до цілі. Оптимізація рухів на основі біофізичних принципів дозволяє досягти максимальної ефективності удару при мінімальних енергетичних витратах, що є критично важливим для успіху в спарингу.

Експеримент було проведено серед 30 спортсменів, які займаються бойовими мистецтвами, у трьох вікових групах: 7–10 років, 11–15 років і 16–20 років. Його метою було визначення кінематичних,

динамічних та енергетичних параметрів ударних і захисних рухів, а також виявлення ефективних методів покращення тренувального процесу. Фотовідеотехніка як засіб фіксації для уповільнення механічних процесів є доволі популярним методом, оскільки дозволяє здійснити такі дії як оцінка розмірів, візуальні перетворення об'єктів та речовин тощо [2].

Під час першого етапу експерименту оцінювалася швидкість виконання ударів руками та ногами. Учасники мали завдати 10 ударів з максимальною швидкістю, після чого фіксувався загальний час виконання вправи та точність попадання в ціль. Найвищу швидкість показали спортсмени у віковій групі 11–15 років, тоді як у молодших учасників удари були менш точними через недостатню розвинену координацію. Група 16–20 років продемонструвала більш контрольовану, але не завжди найшвидшу техніку, що свідчить про свідоміше використання силових ресурсів.

На другому етапі оцінювалася сила удару. Спортсмени виконували удар по підвішеному мішку, а кут його відхилення дозволяв оцінити рівень переданої сили. Найбільшу силу удару продемонстрували старші спортсмени, що пояснюється як розвитком м'язової маси, так і більшою ефективністю кінетичного ланцюга під час виконання руху. Водночас у групі 11–15 років помітні відмінності між окремими учасниками: ті, хто тренується довше, демонстрували значно кращі результати, що свідчить про важливість технічної підготовки.

Оцінка захисних рухів проводилася шляхом виконання ухилів і блоків від раптових атак тренера або партнера. Фіксувалася кількість успішних захистів і швидкість реакції. У молодшій групі (7–10 років) спостерігалася затримка в ухилах, що може бути пов'язано з ще не повністю сформованою моторикою. Група 11–15 років виявила найбільш збалансований рівень швидкості й точності рухів, тоді як старші учасники (16–20 років) використовували більш ефективні комбінації ухилів і контратак.

Оцінка енергетичних характеристик проводилася шляхом виконання серії ударів протягом 30 секунд із максимальною інтенсивністю. Після навантаження учасники оцінювали рівень своєї втоми за п'ятибальною шкалою. Молодші спортсмени швидко втрачали темп після перших 15 секунд, що свідчить про недостатню розвиненість аеробної системи. Група 11–15 років демонструвала стійкість до втоми, хоча спостерігалася поступове зниження інтенсивності рухів наприкінці вправи. Найкращі показники витривалості мала група 16–20 років, що пояснюється адаптацією їхньої енергетичної системи до повторюваних навантажень.

За підсумками експерименту встановлено, що ефективність ударних і захисних рухів значною мірою залежить від віку, рівня підготовки та адаптації енергетичних систем до інтенсивних фізичних навантажень. Найбільш технічно точні удари продемонстрували спортсмени 16–20 років, а найвищу швидкість рухів – група 11–15 років. Витривалість значно зростала з віком і досвідом тренувань, що вказує на важливість розвитку аеробних і анаеробних механізмів енергозабезпечення.

Результати досліджень показують, що м'язова діяльність у спортсменів, які займаються бойовими мистецтвами, має унікальні біофізичні та біохімічні особливості. Висока інтенсивність рухів супроводжується вибуховими м'язовими скороченнями, що активують різні енергетичні системи. Удари, блоки та ухили потребують швидкої генерації сили, оптимального розподілу навантаження між м'язовими групами та ефективного використання енергетичних ресурсів організму.

Енергозабезпечення під час виконання швидко-силового руху залежить від взаємодії фосфатної системи, анаеробного гліколізу та окисного фосфорилування. Для вибухових рухів основним джерелом енергії є креатинфосфатна система, яка дозволяє підтримувати максимальну потужність протягом короткого часу. Анаеробний гліколіз забезпечує роботу м'язів при інтенсивних серіях атак, однак призводить до накопичення лактату, що викликає втому. Окисне фосфорилування є домінуючим при тривалих динамічних навантаженнях, забезпечуючи стабільний рівень енергії під час поєдинків.

Адаптаційні зміни в м'язових волокнах проявляються у збільшенні частки швидких м'язових волокон, їхній гіпертрофії, а також покращенні ефективності мітохондріального дихання. Регулярні навантаження призводять до змін у буферних системах м'язів, що допомагає контролювати рівень кислотності та запобігати передчасній втомі. Водночас спостерігається підвищення рівня антиоксидантної активності, що зменшує негативний вплив окислювального стресу на м'язові клітини.

Метаболічний гомеостаз під час бою порушується через накопичення лактату, зміну електролітного балансу та виснаження запасів креатинфосфату. Одним із ключових біохімічних маркерів втоми є підвищення рівня креатинкінази, що вказує на мікропошкодження м'язів. Антиоксидантні механізми активуються для нейтралізації реактивних форм кисню, які утворюються при високих фізичних навантаженнях.

Результати експерименту дозволяють зробити висновок про необхідність диференційованого підходу до тренувального процесу. Для молодших спортсменів варто більше уваги приділяти розвитку координації та реакції, а для старших – підвищенню витривалості й оптимізації використання енергетичних ресурсів. Запропоновані методи оцінки можуть бути використані тренерами для контролю прогресу спортсменів та вдосконалення їхніх індивідуальних тренувальних програм.

Висновки. Тренування викликають значні біофізичні зміни в м'язах, що є адаптаційними реакціями організму на фізичні навантаження. М'язові волокна адаптуються до тренувальних стимулів, змінюючи свою структуру та функцію. Тренування також впливають на нервово-м'язову координацію, покращуючи ефективність передачі нервових імпульсів до м'язів та синхронізацію їхньої роботи. Це дозволяє збільшити силу та швидкість скорочення м'язів, а також покращити контроль за рухами. Знання біофізичних та

біохімічних особливостей м'язової діяльності в бойових мистецтвах дозволяє покращити тренувальні методики. Використання інтервальних високоінтенсивних навантажень сприяє адаптації анаеробних і аеробних систем до бойових умов, а правильне відновлення за допомогою харчових факторів і спеціалізованих тренувань мінімізує ризик перевтоми. Успішність бойових технік залежить від правильної організації енергетичних процесів у м'язах. Використання різних режимів м'язового скорочення, оптимізація роботи аеробних та анаеробних джерел енергії дозволяє покращити ефективність рухових дій та зменшити стомлюваність спортсмена.

References

1. Арзютов Г. М., Гаврилюк В. О., Лукіянчук В. Л. Кинезиология «живих рухів» у спорті. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*. 2014. Вип. 11. С.4-9. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nchnpu_015_2014_11_3.
Arziutov H. M., Havryliuk V. O., Lukiianchuk V. L. (2014) Kynezyolohyia «zhyvykhrukhiv» usporti [Kinesiology of «livingmovements» insports]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Serii15 : Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fyzychna kultura i sport)*. [in Ukrainian].
2. Дятлов Ю. В., Пустовий О. М. Про підходи до вивчення цифрової фотографії і відеозйомки для потреб різних систем освіти. *Наукові записки. ЦДПУ імені Володимира Винниченка, Серія: Педагогічні науки*. Випуск 198. Кропивницький: 2021. С.100-104.
Diatlov Yu. V., Pustovyi O. M. Pro pidkhody do vyvchennia tsyfrovoyi fotografii i videoziomky dlia potreb riznykh system osvity [Approaches to the study of digital photography and video recording for the needs of various education systems]. *Naukovi zapysky. TsDPU imeni Volodymyra Vynnychenka. Serii: Pedahohichni nauky*. Vypusk 198. Kropyvnytskyi: 2021. S. 100-104. [in Ukrainian].
3. Куртова Г. Ю., Пономаренко О. В., Жуков О. В., Хоменко О. С. Теоретико-методичні основи спортивної кинезиології. *Вища школа*. 2020, No 70. Т. 3. С. 108-112.
Kurtova H. Yu., Ponomarenko O. V., Zhukov O. V., Khomenko O. S. (2020) Teoretyko-metodychni osnovy sportyvnoi kineziolohii [Theoretical and methodological foundations of sports kinesiology]. *Vyshcha shkola*. No 70. T. 3. S. 108-112. [in Ukrainian].
4. Лапутин А. Н. Кинезиология – учение о двигательной функции организма человека. *Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Серія «Педагогічні науки»*. Чернігів : ЧДПУ, 2008. No 54. С. 9–13.
Laputyn A. N. (2008) Kynezyolohyia–ucheny o dvihatelnoi funktsyy orhanyzma cheloveka [Kinesiology is the science of motor function of the human body]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni T.H. Shevchenka. Serii «Pedahohichni nauky»*. Chernihiv : ChDPU. No 54. S. 9–13. [in Ukrainian].
5. Носко М. О., Архипов О. А. Біомеханічна характеристика рухових якостей людини (теоретичний аналіз). *Вісник ЧНПУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт*. Чернігів, 2014. Вип. 118 : Т. 1. С. 227-239. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchdpuPN_2014_118%281%29_31
Nosko M., Arkhypov O. (2014) Biomechanical characteristics of the motor qualities of the man (theoretical analysis). *Visnyk ChNPU im. T.H. Shevchenka. Serii: Pedahohichni nauky. Fizychnе vykhovannia ta sport.–Bulletin of the ChNPU named after T.G. Shevchenko. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports*. Chernihiv, 2014. issue. 118 : T.1. pp. 227-239. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VchdpuPN_2014_118%281%29_52. [in Ukrainian].
6. Носко М. О., Архипов О. А., Половніков І. І. Роль та місце біомеханічних технологій в навчанні руховим діям: збірник наукових праць, *Вісник ЧНПУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт*. Чернігів. 2017. Вип. 147. Т. 1. С. 160-166. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=VchdpuPN_2017_147\(1\)](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=VchdpuPN_2017_147(1))
Nosko M., Arkhypov O. & Polovnikov I. (2017) The role and place of biomechanical technologies in learning motor actions. *Visnyk ChNPU im. T.H. Shevchenka. Serii : Pedahohichni nauky. Fizychnе vykhovannia ta sport.–Bulletin of the ChNPU named after T.G. Shevchenko. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports*. Chernihiv Chernihiv. 2017. issue. 147. T.1. pp. 160-166. Retrieved from: URL: <http://surl.li/rkyxl>. [in Ukrainian].
7. Носко М., Мехед О. Науково-дослідницька робота студентів як складова частина підготовки до соціально-педагогічної діяльності. *Наука і освіта*. 2022. №2. С. 39-43. DOI: <https://doi.org/10.24195/2414-4665-2022-2-6>
Nosko, M., Mekhed, O. (2022). Naukovo-doslidnytska robota studentiv yak skladova chastyna pidhotovky do sotsialno-pedahohichnoi diialnosti [Scientific research work of students as an integral part of preparation for socio-pedagogical activity]. *Nauka i osvita*. 2. 39-43. [in Ukrainian].

Diatlov Yurii

ORCID 0000-0001-5456-2437

Candidate of Historical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Physics and Astronomy,
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium» (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: dvfilm@ukr.net

Poletay Vyacheslav

ORCID 0000-0002-0231-2740

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium» (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: v_poletaj@ukr.net

Liubchykova Daria

ORCID 0009-0003-7103-0442

Undergraduate student,
T.H. Shevchenko National University
«Chernihiv Colehium» (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: liubchykovadaria@gmail.com

BIOPHYSICS AND ENERGETICS OF MUSCLE ACTIVITY IN MARTIAL ARTS

Martial arts combine physical strength, endurance, reaction speed and strategic thinking. The effective execution of combat techniques is based on the laws of biophysics, which determine the optimal parameters of movements, mechanisms for generating force and using energy. Muscular activity in martial arts includes cycles of contraction and relaxation, which depend on the type of physical activity (strikes, blocks, throws, deflections). An important aspect is the rational use of the body's energy systems, in particular aerobic and anaerobic metabolism, which determines the endurance and speed of recovery of a fighter. Optimal coordination of muscle work allows you to minimize energy losses and increase the efficiency of motor actions. Analysis of the biophysical characteristics of muscle activity in martial arts contributes to the improvement of training methods and the development of effective combat strategies.

Purpose: to investigate the biophysical mechanisms of muscle activity in martial arts, focusing on the main energy systems, types of muscle contraction and their influence on the dynamics of movements.

Methodology. The study is based on the analysis of scientific literature, observations of athletes participating in martial arts and own experience of practical analysis of movements. The kinematic and dynamic features of striking and defensive movements, their connection with muscle activity and endurance are considered.

Scientific novelty. The main energy modes of muscle activity when performing combat techniques are determined, the influence of different types of muscle contraction on the speed, strength and endurance of the athlete is analyzed.

Conclusions. The study confirms that the success of combat techniques depends on the correct organization of energy processes in the muscles. The use of different modes of muscle contraction, optimization of the work of aerobic and anaerobic energy sources allows to improve the efficiency of motor actions and reduce the athlete's fatigue.

Keywords: muscle biophysics, movement energetics, martial arts, impact kinematics, endurance, muscle contraction, training strategy.

Стаття надійшла до редакції 12.01.2025

Рецензент: доктор педагогічних наук, професор **Мехед О. Б.**