

МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНІ ТА БІОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ВПРАВ КРОСФІТЕРАМИ РІЗНОГО ТИПУ ТІЛОБУДОВИ

Василь ФАТЕРИГА¹,

аспірант,

<https://orcid.org/0009-0007-1071-8699>,

Tbend.fvv@gmail.com

¹Львівський державний університет фізичної культури
імені Івана Боберського

Анотація. Кросфіт поєднує силові, гімнастичні та циклічні вправи високої інтенсивності в умовах обмеженого часу. Специфіка змагальної діяльності вимагає від атлетів граничної універсальності, проте високі вимоги до технічної підготовленості зумовлюють необхідність наукового обґрунтування ключових параметрів рухів, які визначають ефективність і безпечність тренувального та змагального процесів залежно від антропометричних особливостей спортсмена. У результаті дослідження установлено, що оптимізація траєкторії та амплітуди рухів, нейтральне положення хребта та активна робота м'язів-стабілізаторів є фундаментальними факторами не лише профілактики травм, а й максимізації механічної економичності рухів. Доведено, що атлети з несприятливими біомеханічними важелями виконують значно більшу механічну роботу, що потребує корекції техніки для збереження конкурентної щільності повторень. Виявлено морфофункціональні відмінності техніки виконання вправ кросфітерів різних видів тілобудови. Зокрема, спортсмени доліхоморфного типу мають біомеханічну перевагу у вправах на витривалість та гімнастику, проте через довгі важелі стикаються з підвищеним моментом сили в суглобах і великою траєкторією підйому штанги, що збільшує енергетичні витрати кожного повторення. Мезоморфний тип характеризується універсальністю та збалансованою мобільністю, забезпечуючи стабільну вертикальну траєкторію снаряда. Брахіморфний тип має домінуючу перевагу у силових вправах завдяки коротким важелям, що дає змогу виконувати роботу з меншою амплітудою та вищою швидкістю підйому ваги.

Практичне значення отриманих даних полягає у можливості диференційованого планування тренувальних програм та ведення тактики змагальної діяльності з урахуванням морфологічних характеристик атлетів для досягнення найвищої економичності рухів.

Ключові слова: кросфіт, техніка рухів, траєкторія, амплітуда, стабілізатори, соматотип.

MORPHOFUNCTIONAL AND BIOMECHANICAL FEATURES OF EXERCISE PERFORMANCE IN CROSSFIT ATHLETES OF DIFFERENT BODY TYPES

Vasyl FATERYHA¹,

Postgraduate Student,

<https://orcid.org/0009-0007-1071-8699>,

Tbend.fvv@gmail.com

¹Ivan Boberskyi Lviv State University of Physical Culture

Abstract. CrossFit combines high-intensity strength, gymnastics, and cyclic exercises under time-constrained conditions. The specificity of competitive activity requires extreme versatility from athletes; however, high demands for technical proficiency necessitate a scientific substantiation of key movement parameters. These parameters determine the efficiency and safety of the training and competitive processes depending on the athlete's anthropometric characteristics.

The study established that optimizing movement trajectory and amplitude, maintaining a neutral spine position, and ensuring the active engagement of stabilizer muscles are fundamental factors not only for injury prevention but also for maximizing mechanical movement economy. It has been demonstrated that athletes with disadvantageous biomechanical levers perform significantly greater mechanical work, necessitating technical adjustments to maintain competitive repetition density.

Morphofunctional differences in exercise execution techniques among CrossFitters of various somatotypes were identified: Dolichomorphic athletes possess a biomechanical advantage in endurance and gymnastics; however, due to their long levers, they experience an increased moment of force in the joints and an extended barbell trajectory, which elevates the energy cost of each repetition. The mesomorphic type is characterized by versatility and balanced mobility, ensuring a stable vertical trajectory of the equipment. The brachymorphic type holds a dominant advantage in strength exercises due to shorter levers, enabling performance with lower amplitude and higher lifting speed.

The practical value of these findings lies in the potential for differentiated training programming and competitive tactical management, taking into account athletes' morphological characteristics to achieve peak movement economy.

Key words: CrossFit, movement technique, trajectory, range of motion, stabilizers, somatotype.

Постановка проблеми. Сучасний кросфіт як мультидисциплінарний вид спорту висуває екстремальні вимоги до адаптаційних можливостей організму атлета. Поєднання в одному тренувальному циклі елементів важкої атлетики, спортивної гімнастики та високоінтенсивних циклічних навантажень створює унікальний запит на універсальність. Проте, незважаючи на прагнення до всебічного розвитку фізичних якостей, результативність спортсмена залишається жорстко лімітованою його генетично зумовленими морфофункціональними характеристиками. Тип тілобудови атлета визначає пропорції тіла, довжину кінцівок, співвідношення м'язової та жирової маси, що безпосередньо диктує внутрішню біомеханічну логіку виконання кожної рухової дії [2; 9].

Морфологічний тип є фундаментальним чинником, що визначає не лише зовнішню траєкторію руху, а й енергетичну вартість роботи. Антропометричні параметри, зокрема довжина плечей важелів, безпосередньо впливають на момент сили в суглобах та положення загального центру мас. У кросфіті це набуває особливого значення, оскільки атлети з різними пропорціями тулуба та кінцівок змушені виконувати ідентичні за стандартами вправи, маючи при цьому діаметрально протилежні біомеханічні умови. Таким чином, конституційні особливості стають визначальними у формуванні індивідуальної економічності рухів та здатності організму протистояти метаболічній утомі [4].

Центральна проблема полягає у суттєвому протиріччі між уніфікованими стандартами виконання змагальних вправ та об'єктивною нерівністю біомеханічних умов для атлетів різних соматотипів. Для спортсмена з доліхоморфним типом

тілобудови (довгі кінцівки) виконання одного повторення, наприклад у трастерах або присіданнях, означає подолання значно більшої амплітуди руху порівняно з брахіморфним атлетом. За ідентичної ваги на снаряді атлет доліхоморфного типу тілобудови вимушений виконувати більше роботи за той самий проміжок часу. Це створює ситуацію «біомеханічної несправедливості», де фізіологічна ціна результату та швидкість накопичення втоми ЦНС у спортсменів значно різняться, що безпосередньо впливає на щільність повторень та підсумковий результат.

З огляду на це, існує гостра потреба у науковому обґрунтуванні диференціації техніки виконання вправ, яка базувалася б на врахуванні індивідуального соматотипу. Відсутність таких методичних підходів призводить до того, що атлети з несприятливими пропорціями тіла намагаються копіювати «еталонну» техніку, що призводить до зниження змагальної ефективності. Розв'язання цієї проблеми дасть змогу не лише оптимізувати тренувальний процес, а й виробити стратегії змагальної діяльності, що забезпечать максимальну реалізацію потенціалу кожного атлета незалежно від його типу тілобудови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Фундаментальні засади взаємозв'язку між антропометричними показниками та механікою рухів були закладені у класичних працях К. Нортон та Т. Олдса [9]. У своєму масштабному дослідженні «Anthropometrica» автори довели, що морфологічна конституція атлета є первинним лімітуючим чинником у видах спорту з високими вимогами до енергозабезпечення. Вони встановили, що пропорції тіла визначають не лише статику, а й динамічну стійкість атлета. У контексті важкоатлетичних вправ, які є базисом кросфіту, Дж.

Гархаммер [5] детально описав біомеханічні моделі підйомів, акцентуючи увагу на тому, що довжина ланок кінцівок безпосередньо диктує величину моменту сили в колінних та кульшових суглобах.

Сучасні дослідження специфіки кросфіту, зокрема роботи Дж. Манджіна та співавторів [8], указують на пряму кореляцію між типом тілобудови та результативністю у стандартних комплексах (Benchmark WODs). Було доведено, що мезоморфний склад тіла є найбільш адаптивним для універсальних навантажень, тоді як доліхоморфні атлети мають статистично значущу перевагу у вправах, що потребують великого радіусу обертання та циклічної інерції, таких як веслування на ергометрі. Водночас праці С. Батчера [3] вказують на те, що показники робочої потужності у кросфітерів часто лімітуються саме антропометричною невідповідністю техніки, а не лише рівнем максимального споживання кисню.

Питання технічної ефективності та профілактики травматизму через призму біомеханічних важелів глибоко аналізуються у працях Г. Г. Хаффа та С. Німфіус [7]. Вони наголошують, що в умовах високої інтенсивності, характерної для кросфіту, відхилення траєкторії снаряда від вертикальної осі навіть на кілька сантиметрів призводить до зростання навантаження на поперековий відділ хребта у атлетів із довгим тулубом. Дослідження Б. Шонфелда [10] щодо механічного напруження підтверджують, що атлети з короткими важелями (брахіморфи) мають перевагу у здатності підтримувати високу щільність повторень за рахунок меншого діапазону руху, що створює специфічний «біомеханічний бонус» у змагальній діяльності.

Попри значний масив даних щодо загальної фізіології кросфіту, стратегії цілеспрямованої компенсації несприятливих антропометричних особливостей залишаються науково несистематизованими. Більшість існуючих рекомендацій у методичній літературі, зокрема у посібниках Г. Глассмана [6], має узагальнений характер і не пропонує диференційованих моделей техніки для атлетів різного типу тілобудови. Відсутність інтегрованого підходу, який би поєднував антропометричне профілювання з корекцією кутів та положень, створює науковий дефіцит у галузі підготовки елітних кросфітерів. Це визначає необхідність нашого дослідження як кроку до розроблення алгоритмів технічної підготовки, що ґрунтуються на індивідуальній архітектурі тіла спортсмена [1; 11].

Метою є визначення ключових параметрів техніки вправ у кросфіті та з'ясування їхнього впливу на ефективність тренувального та змагального процесів спортсменів різних типів тілобудови (доліхоморфного, мезоморфного та брахіморфного).

Методи дослідження: аналогія, аналіз, синтез, абстрагування, індукція, екстраполяція, узагальнення практичного досвіду, відеоспостереження та біомеханічний аналіз техніки виконання базових вправ кросфіту (ривок, поштовх, трастер, присідання, тяги, підтягування, вихід силою на кільцях, веслування на ергометрі).

Виклад основного матеріалу. У процесі нашого дослідження було з'ясовано, що соматотип атлета виступає не просто візуальною характеристикою, а фундаментальним детермінуючим чинником, який визначає механічну економічність рухів. Сучасний кросфіт базується на принципі уніфікації змагальних стандартів: незалежно від зросту чи довжини кінцівок атлети мають переміщувати штангу фіксованої ваги на ідентичну висоту або долати стандартні завдання.

Наші інструментальні вимірювання під час виконання вправи трастери (Thrusters) зафіксували критичну різницю: атлет доліхоморфного типу зі зростом 188 см через довжину сегментів кінцівок змушений переміщувати штангу на траєкторію, що на 25–32 см довша, ніж у представника брахіморфного типу зі зростом 166 см.

Якщо розглядати це в межах типового комплексу з 50 повторень, «довговажельний» атлет виконує колосальний обсяг додаткової роботи. Така «біомеханічна націнка» неминуче призводить до каскадного наростання втоми: підвищується рівень споживання кисню, прискорюється накопичення лактату в м'язах і відбувається передчасне вичерпання запасів глікогену. Таким чином, для високого атлета ідентичний комплекс є значно важчим із погляду фізіологічної ціни результату.

За допомогою антропометрії нами було визначено довжинні та поперечні розміри 20 кросфітерів (спортивних клубів м. Львова). На основі приналежності більшості визначених параметрів їх було розподілено за трьома типами тілобудови (мезоморфний, доліхоморфний, брахіморфний).

У подальшому за допомогою відеозйомки та комп'ютерного статистичного аналізу біомеханіки рухів 20 кросфіт-атлетів ми деталізувати ключові кінематичні характеристики трьох профілів тілобудови, кожен із яких має свою унікальну логіку взаємодії з навантаженням.

Доліхоморфний тип. Атлети цього типу володіють довгими трубчастими кістками, які функціонують як потужні важелі третього роду.

Біомеханічний аналіз рухів у вправах показав, що великий радіус обертання кінцівок створює значний момент сили у суглобах. Це вимагає від атлета екстремальної жорсткості м'язів-стабілізаторів. Навіть міліметрове відхилення штанги від вертикальної осі створює величезне «плече», що призводить до критичного навантаження на поперековий відділ.

Однак біомеханічний аналіз рухів під час виконання вправ показав і функціональні переваги атлетів доліхоморфного типу тілобудови ($n = 6$). Вони демонструють максимальну ефективність у циклічних дисциплінах (веслування, біг), де довжина сегментів дає змогу долати більшу відстань за один цикл. У гімнастиці довгі руки створювали потужний інерційний маятник, що дає змогу легше виходити над снарядом за рахунок грамотного використання «кіппінгу» порівняно зі спортсменами мезоморфного та брахіморфного типів тілобудови.

Брахіморфний тип. Ці спортсмени характеризуються низьким розташуванням загального центру мас (ЗЦМ) та масивним скелетом. Даний тип тілобудови відзначається важелями для потужності та компактності рухів.

Біомеханічний аналіз рухів у вправах показав, що короткі важелі мінімізують плече сили, даючи змогу утримувати снаряд у безпосередній близькості до осі тіла. Це суттєво знижує енерговитрати на стабілізацію та дає змогу спрямувати весь ресурс на підйом ваги. Коротка амплітуда руху забезпечує їм величезну щільність повторень. Атлети брахіморфного типу тілобудови за однаковий час виконали на 30% більшої кількості підйомів (13), аніж атлети доліхоморфного типу (10).

Біомеханічний аналіз рухів під час виконання вправ показав функціональні переваги атлетів: вони абсолютно домінують у важкоатлетичних циклах та вправах із власною вагою з коротким шляхом переміщення (віджимання, бурпі) порівняно з атлетами доліхоморфного та мезоморфного типів тілобудови.

Мезоморфний тип. Дані атлети характеризуються універсальністю. Антропометричні дослідження кросфітерів цього типу тілобудови показали збалансовані пропорції, які дають їм змогу демонструвати техніку, максимально наближену до класичних моделей важкої атлетики. Їхні важелі є найбільш «пластичними» для адаптації.

Унаслідок досліджень мезоморфів було встановлено їхню найбільшу конкурентоспроможність у мультимодальних комплексах (класичний комплекс Benchmark WODs, комплекс «Fran» та комплекс «Diane»), де вимагається миттєвий перехід від вибухової силової роботи до високоінтенсивного кардіо. Дані атлети ($n = 8$) показали достовірно вищі часові та кількісні показники в даних комплексах порівняно з атлетами брахіморфного та доліхоморфного типів тілобудови.

Деякі практичні вказівки біомеханічної корекції та компенсації несприятливих антропометричних особливостей атлетів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Спеціалізація вправ кросфіту та методичні рекомендації залежно від морфологічного профілю спортсмена

Тип тілобудови	Оптимальні вправи («Пасують»)	Стратегічні рекомендації з підготовки
Доліхоморф	Веслування, біг, Muscle-up, Kettlebell swings	Скорочення амплітуди через широкі стійки; контроль стабільності кору
Брахіморф	Deadlift, Squats, HSPU, Thrusters, Burpees	Робота над мобільністю суглобів; тактика «високої щільності»
Мезоморф	Snatch, Clean & Jerk, комплексні WOD	Шліфування швидкості переходів (transitions) між станціями

Диференціація для атлетів доліхоморфного типу тілобудови

Для подолання довгої амплітуди рухів довгих кінцівок рекомендовано (табл. 1):

- оптимізацію стартового положення: варто зробити перехід на анатомічно можливу максимально широку постановку ніг у присіданнях та підніманні штанги. Це дає змогу штучно «занизити» таз відносно підлоги, скорочуючи вертикальну траєкторію руху штанги на 12–15%. Однак варто слідкувати за положенням стоп та колін, щоб вони не «провалювалися» всередину;
- хват та фіксацію: використовувати ширший хват у ривку, поштовху та жимах для скорочення дистанції до повної фіксації снаряда над головою. Бажано використовувати пульсовики на кисті, оскільки одразу зростає навантаження на ці суглоби;
- обов'язкове використання спеціалізованого взуття (штангеток) із вищим підйомом п'яти для компенсації нахилу тулуба вперед, зумовленого довгими стегновими кістками, порівняно з атлетами мезоморфного та брахіморфного типів тілобудови.

Диференціація для атлетів брахіморфного типу тілобудови

Тут дієвою є стратегія інерційного підсилення руху:

– розвиток розмаху. Оскільки через короткі важелі вони мають слабкий природний маятник у гімнастиці, акцент слід робити на «агресивному розкритті» грудного відділу та вибуховій роботі таза для створення штучної потужнішої інерції;

– збільшення темпу. Зважаючи на низьку енергетичну вартість одного повторення, брахіморфи повинні будувати змагальну тактику на довгих серіях без пауз, випереджаючи суперників за рахунок частоти рухів.

Диференціація для атлетів мезоморфного типу тілобудови

Для атлетів цього типу, чий антропометричні параметри є найбільш наближеними до еталонних біомеханічних моделей, рекомендовано:

– мінімізацію часу переходів. Оскільки мезоморфи не мають виражених «просідань» у жодній із модальностей (сила/гімнастика/кардіо), їхня головна стратегічна перевага – у швидкості переключення між вправами. Рекомендовано відпрацьовувати миттєвий перехід від циклічної роботи (веслування) до технічно складної (ривок), зберігаючи стабільний серцевий ритм;

– дотримання еталонної техніки. На відміну від інших типів мезоморфам не потрібно

«підлаштовувати» кути підйому. Їм варто зосередитися на технічній прецизійності – виконанні рухів по найкоротшій вертикальній траєкторії без зайвих відхилень у траєкторії руху снаряда, що забезпечує максимальну механічну економічність;

– управління темповою стабільністю. Зважаючи на збалансованість важелів, мезоморфи здатні підтримувати «високе плато» потужності протягом усього комплексу. Рекомендовано будувати змагальну тактику не на вибухових спринтах, а на утриманні середньо-високого темпу, який є недосяжним для брахіморфів у кардіо та для доліхоморфів у силових циклах.

Висновки. Проведене нами дослідження переконливо доводить, що диференціація технічної підготовки в кросфіті є критично важливим інструментом вирівнювання змагальної конкурентоспроможності атлетів різного типу тілобудови. Розуміння механіки власних важелів дає змогу атлету трансформувати антропометричні обмеження в ефективну математичну модель. Це забезпечує перехід від «боротьби із власною анатомією» до свідомого управління траєкторіями, що гарантує найвищу економічність рухів та стабільність спортивних результатів на міжнародному рівні.

Перспектива подальших досліджень полягає у розробленні цифрових моделей атлетів різних соматотипів для автоматизованого аналізу траєкторій рухів, що дасть змогу ще точніше коригувати техніку в режимі реального часу.

Список використаних джерел

1. Бріскін Ю. А., Товстоног О. Ф., Зубков С. П. Індивідуалізація технічної підготовки важкоатлетів різного типу тілобудови на етапі спеціалізованої базової підготовки. *Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*. Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова. 2013. Вип. 7 (33). Т. 1. С. 66–71.
2. Сорокін Ю. В. Морфо-функціональні показники як чинник адаптації спортсменів до високоінтенсивних навантажень. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 15: Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*. 2018. Вип. 5(99). С. 122–126. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/22055>
3. Butcher S. J., Neyedly T. J., Horvey K. J., Jaffe D. A. Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance? *Journal of Human Kinetics*. 2015. Vol. 45, no. 1. P. 241–247. DOI: <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0024>
4. Carter J. E. L., Heath B. H. *Somatotyping: Development and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 464 p.
5. Garhammer J. A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction, and evaluation tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1993. Vol. 7, no. 2. P. 76–89. DOI: <https://doi.org/10.1519/00124278-199305000-00002>
6. Glassman G. The CrossFit Training Guide. *CrossFit Journal*. 2017. 115 p. URL: <http://journal.crossfit.com/2017/02/the-crossfit-training-guide.tpl>
7. Haff G. G., Nimphius S. Training principles for peak performance. *ACSM's Health & Fitness Journal*. 2012. Vol. 16, no. 2. P. 31–34. DOI: <https://doi.org/10.1249/01.FIT.0000413060.10173.34>
8. Mangine G. T., Hoffman J. R., Gonzalez A. M. et al. Predictors of CrossFit Open Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2015. Vol. 10, no. 4. P. 522–525. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0230>

9. Norton K., Olds T. *Anthropometrica: A Textbook of Body Measurement for Sports and Health Courses*. UNSW Press, 2001. 423 p.
10. Schoenfeld B. J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010. Vol. 24, no. 10. P. 2857–2872. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
11. Tovstonoh O., Roztorhui M., Pityn M. et al. Dynamics of the snatch technique cinematic parameters in qualified female weightlifters during different periods of training macrocycle. *Journal of Physical Education and Sport*. 2019. Vol. 19, no. 1. P. 514–520. DOI: <https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s1074>

References

1. Brisikin, Yu. A., Tovstonoh, O. F., & Zubkov, S. P. (2013). Indyvidualizatsiia tekhnichnoi pidhotovky vazhkoatletiv riznoho typu tilobudovy na etapi spetsializovanoi bazovoi pidhotovky [Individualization of technical training of weightlifters of different body types at the stage of specialized basic training]. *Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport)*, 7(33), 1, 66–71. [in Ukrainian].
2. Butcher, S. J., Neyedly, T. J., Horvey, K. J., & Jaffe, D. A. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance? *Journal of Human Kinetics*, 45(1), 241–247. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0024>
3. Carter, J. E. L., & Heath, B. H. (1990). *Somatotyping: Development and Applications*. Cambridge University Press.
4. Garhammer, J. (1993). A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction, and evaluation tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(2), 76–89. <https://doi.org/10.1519/00124278-199305000-00002>
5. Glassman, G. (2017). The CrossFit Training Guide. *CrossFit Journal*. <http://journal.crossfit.com/2017/02/the-crossfit-training-guide.tpl>
6. Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training principles for peak performance. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 16(2), 31–34. <https://doi.org/10.1249/01.FIT.0000413060.10173.34>
7. Mangine, G. T., Hoffman, J. R., & Gonzalez, A. M. (2015). Predictors of CrossFit Open Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 522–525. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2014-0230>
8. Norton, K., & Olds, T. (2001). *Anthropometrica: A Textbook of Body Measurement for Sports and Health Courses*. UNSW Press.
9. Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
10. Sorokin, Yu. V. (2018). Morfo-funktsionalni pokazniki yak chynnyk adaptatsii sportsmeniv do vysokointensyvnykh navantazhen [Morphofunctional parameters as a factor of athletes' adaptation to high-intensity loads]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M. P. Drahomanova*, 5(99), 122–126. [in Ukrainian].
11. Tovstonoh, O., Roztorhui, M., Pityn, M., Pasichnyk, V., Khimenes, K., & Novokshonova, A. (2019). Dynamics of the snatch technique cinematic parameters in qualified female weightlifters during different periods of training macrocycle. *Journal of Physical Education and Sport*, 19(1), 514–520. <https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s1074>

