

Розділ 5. Олімпійський і професійний спорт

УДК. 591.185.23/24

Андрій Данищук

Особливості підтримки стійкості вертикального положення тіла юних спортсменів із плоскостопістю, які займаються таеквон-до

Державний вищий навчальний заклад «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» (м. Івано-Франківськ)

Постановка наукової проблеми. Підтримка рівноваги у вертикальній позі в нормальних умовах пов'язана переважно з регуляцією тону м'язів нижніх кінцівок, тулуба й шиї, коли внесок м'язів плечового пояса в цю систему менш значущий [1]. Функція рівноваги може істотно порушуватися під впливом загального [2] чи локального [3] фізичного навантаження на постуральні м'язи, що особливо актуально для юних спортсменів. Одна з головних причин зниження рівноваги після фізичного навантаження – фізична втома. Вона спроможна змінювати як периферичну пропріоцептивну чутливість, так і центральну інтеграцію сенсорної інформації, а також генерацію м'язового скорочення й створення сили тяги [4, 5]. Отже, фізична втома має важливе значення в регуляції функції рівноваги в юних спортсменів. Однак величина такого порушення та швидкість відновлення рівноваги після фізичного навантаження на м'язи, які беруть і не беруть участь у підтримці рівноваги, залишаються маловивченими.

Мета роботи – визначити ступінь порушення рівноваги під впливом субмаксимального аеробного навантаження на м'язи нижніх кінцівок у спортсменів 7–14 років із плоскостопістю, які займаються таеквон-до.

Організація й методи дослідження. Обстежено 50 юних спортсменів у віці 7–14 років. До основної групи (ОГ) спортсменів із плоскостопістю увійшли 25 осіб, які займаються таеквон-до. До контрольної групи (КГ) увійшли 25 спортсменів, котрі займаються таеквон-до, без ознак порушення склепінчастого апарату стопи (САС). Антропометричні показники – ріст стоячи (см) і ріст сидячи (см) – визначали за допомогою медичного ростоміра. Обхват грудної клітки (см), клінічну базу (см) – як відстань між передньо-верхніми остьовими виступами клубової кістки у фронтальній площині, довжину нижньої кінцівки (см) – як середнє між показниками для правої й лівої ніг, від передньої верхньої ості клубової кістки до внутрішнього надвиростка в положенні стоячи визначали сантиметрою стрічкою. Масу тіла визначали на електронній вазі. Характеристика антропометричних параметрів стопи здійснювали за схемою Штрітер [1]. Для визначення електрофізіологічних властивостей м'язів гомілки й стопи проводили електроміографію переднього, малого та заднього великогомілкових м'язів, м'яза-розгинача й згинача великого пальця стопи. Набір м'язів визначали за їх причетністю до переднього та заднього кінематичних ланцюгів нижньої кінцівки [4], які впливають на правильне положення стопи відносно поздовжньої осі нижньої кінцівки і які визначають ступінь сплюснення склепіння стопи. Регуляцію вертикальної пози досліджували на стабілографічному комплексі «DIERS FAMUS» («Німеччина») за допомогою аналізу коливань центра тиску (ЦТ) під час проведення статодинамічного тестування (рис. 1).

Спортсменів просили нерухомо стояти в основній стійці на стабілометричній платформі в режимі 10 с – «тест» закриті очі (ЗО) і 10 с – «відпочинок»: відкриті очі (ВО). Для аналізу використовували показник лінійної середньої швидкості (ЛСШ) коливання центра тиску в стійці з ЗГ. Попередньо вони тренувалися стояти в такому режимі протягом 6 хв для ефекту навчання, зменшення впливу новизни й для визначення умовної індивідуальної норми стабілометричних показників. За індивідуальну норму брали результати останніх 10 с у режимі «тест» 6-хвилинного випробування.

Візуальна мета – біле коло, що розміщувалося на відстані 1,5 м від спортсмена на рівні очей.

Фізичне навантаження проводили на «постуральні» м'язи. Юні спортсмени виконували східчасто-зростаюче навантаження на велоергометрі «Kettler» (Німеччина) до досягнення ЧСС у кінці кожного ступеня 140 уд/хв для юних спортсменів віком 7–12 років та 170 уд/хв – для юних спортсменів віком 13–15 років. ЧСС під час роботи (на 59–60 с кожного ступеня) фіксували за

допомогою ЕКГ-комплексу «CardioLab+» (МАИ ХТЗ, м. Харків, Україна). Величина фізичного навантаження на першому етапі становила 50 Вт (тривалість 2 хв) і збільшувалася на 30 Вт на наступних етапах тривалістю 2 хв кожний. Режим фізичного навантаження підбирали так, щоб тривалість тестів була однаковою (9–12 хв). Після закінчення останнього ступеня юні спортсмени відразу ж уставали на стабілоплатформу, тестували рівновагу протягом 6 хв у режимі: 10 с – «тест» ЗО, 10 с – «відпочинок» ВО. Наступну серію дослідження проводили при підйомі тіла на «носок» на нозі з більш вираженою плоскостопістю до відмови. Після цього проводили стабілографію за вищезазначеним протоколом.

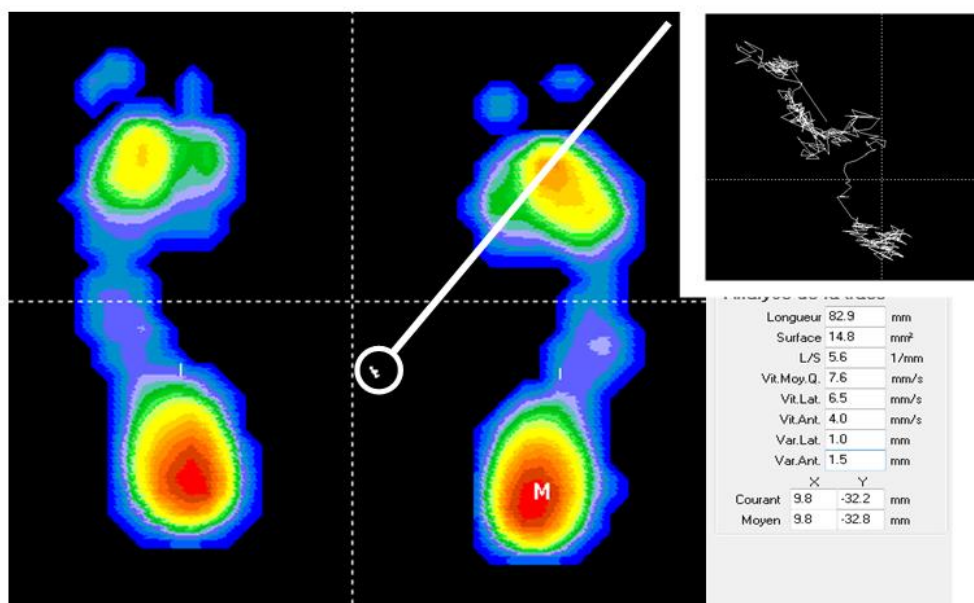


Рис. 1. Стабілограма спортсмена таеквон-до А., 7 років
М – зона максимального тиску

Розходження в ступені зміни показників після тесту $PWC_{140-170}$ між групами визначали за допомогою ANOVA для повторних вимірів у програмі «Statistica 6».

Результати та їх обговорення. Лінійна середня швидкість коливання центра тиску є досить надійним параметром, що відображає стійкість вертикальної пози та ступінь напруги функції регулювання рівноваги [2, 6]. До фізичного навантаження ЛСШ не відрізнялася між ОГ і КГ. Підвищені значення ЛСШ в обох групах відразу після субмаксимального фізичного навантаження вказують на зниження стійкості рівноваги під впливом фізичної втоми, що розвивається в м'язах гомілки, які належать до постуральної групи м'язів (рис. 2).

Ступінь збільшення ЛСШ у групах після фізичного навантаження був однаковий, проте тривалість відновлення стійкості вертикальної пози значно коротша в спортсменів КГ (протягом 1 хв), ніж в ОГ (протягом 3 хв 30 с). Протягом усього тесту в спортсменів ОГ ЛСШ загалом була істотно вищою, ніж у КГ ($p < 0.05$), що узгоджується з іншими, раніше опублікованими даними [6]. Ергометрія однією ногою також викликала суттєве збільшення ЛСШ зразу після фізичного навантаження (рис. 3).

Порівнюючи величини ЛСШ відразу після роботи двома ногами на велоергометрі та однією ногою під час виконання вправи «підйом на носок» до відмови, можемо сказати, що ступінь приросту цього параметра після субмаксимальної роботи був однаковим в обох групах. Однак швидкість відновлення під час роботи однією ногою була значно нижчою в ОГ, ніж у КГ. Період підвищених величин ЛСШ в ОГ після фізичного навантаження становив 3 хв після роботи двома ногами й 4 хв 15 с – після роботи на одній нозі. Отже, можемо зробити висновок, що субмаксимальне аеробне фізичне навантаження як на дві ноги, так і на одну викликає зниження стійкості вертикальної пози приблизно однаковою мірою в кожній групі окремо. При цьому порівняльний міжгруповий аналіз засвідчив, що юні спортсмени, котрі займаються таеквон-до в КГ, мають кращі показники як за показниками ЛСШ, так і за часом відновлення після тестування загальної витривалості.

Порівняння періоду відновлення постуральної стійкості після субмаксимального фізичного навантаження на одну ногу в юних спортсменів ОГ із показниками юних спортсменів у КГ показало (рис. 4), що в КГ він значно коротший (20 с), ніж в ОГ (1 хв 40 с).

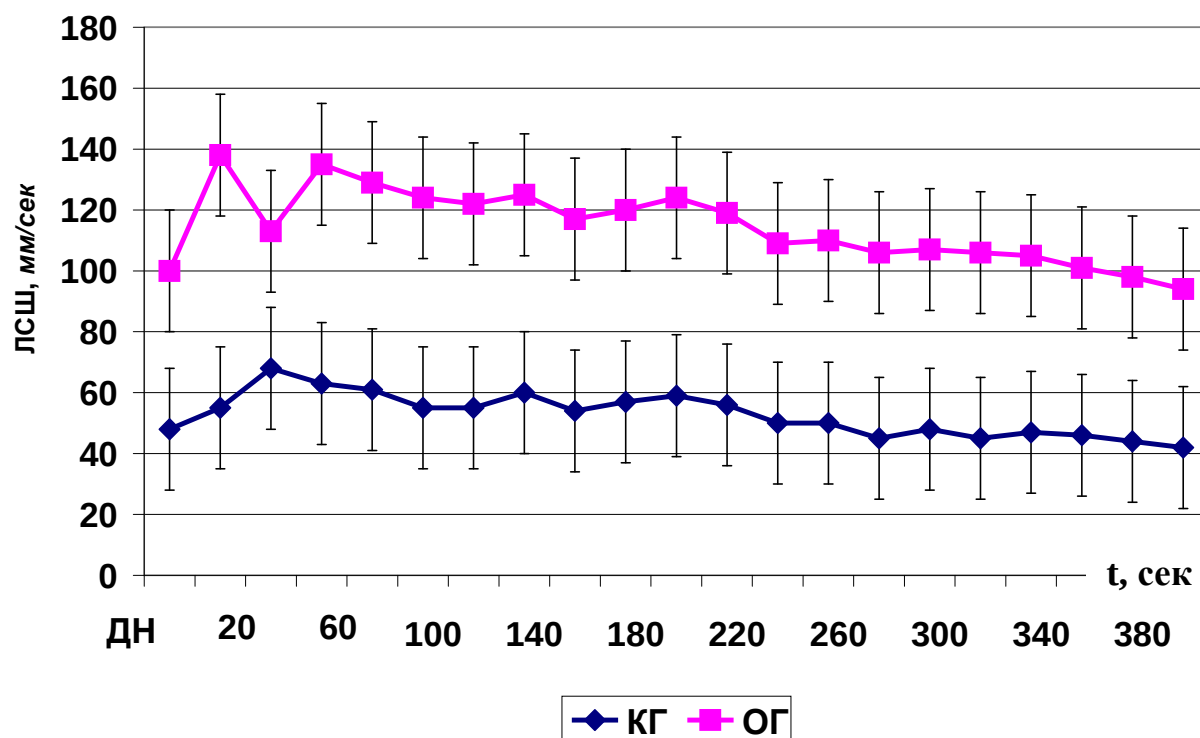


Рис. 2. Лінійна середня швидкість (ЛСШ, мм/сек) зміщення центра тиску після субмаксимального велоергометричного навантаження в юних спортсменів із плоскостопією (ОГ) і без ознак порушення склепінчастого апарату стопи (КГ)

Примітка. ДН – до навантаження. По осі абсцис – час відновлення (середнє арифметичне $\pm 95\%$ довірчий інтервал).

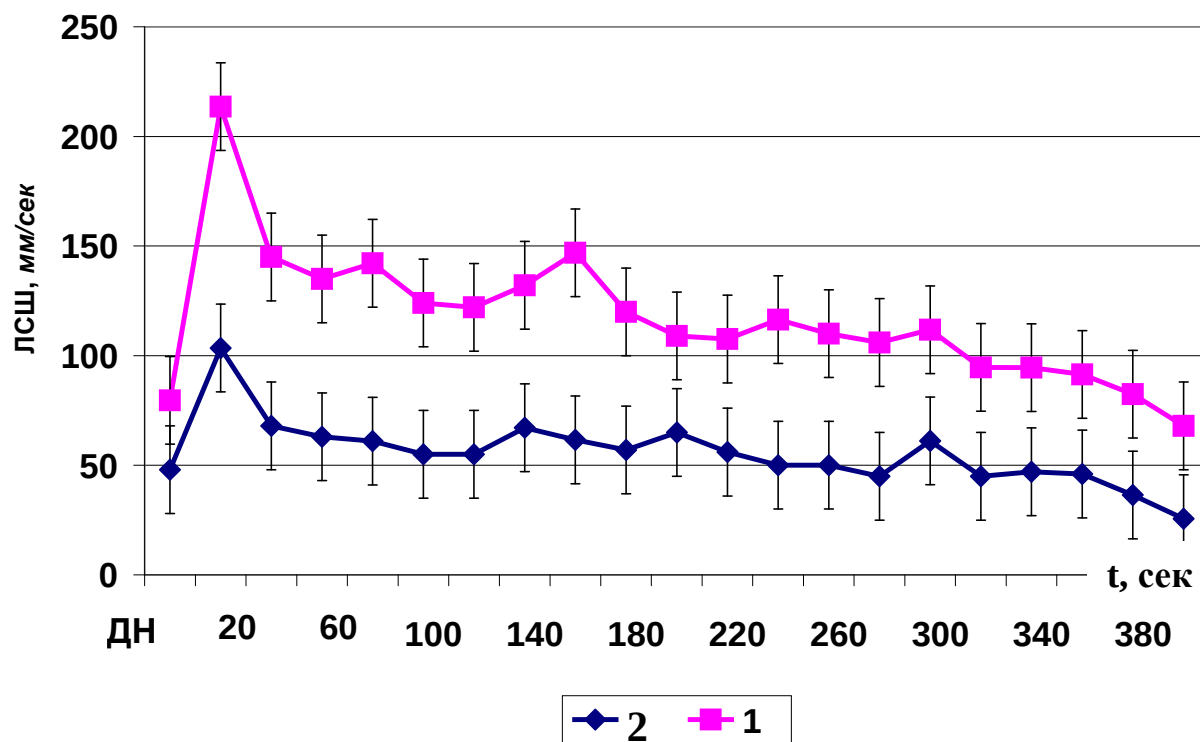


Рис. 3. Різниця лінійної середньої швидкості (ЛСШ, мм/сек) після субмаксимального навантаження на обидві ноги (2) і на одну ногу (1)

Примітка. ДН – до навантаження. По осі абсцис – час відновлення (середнє арифметичне $\pm 95\%$ довірчий інтервал).

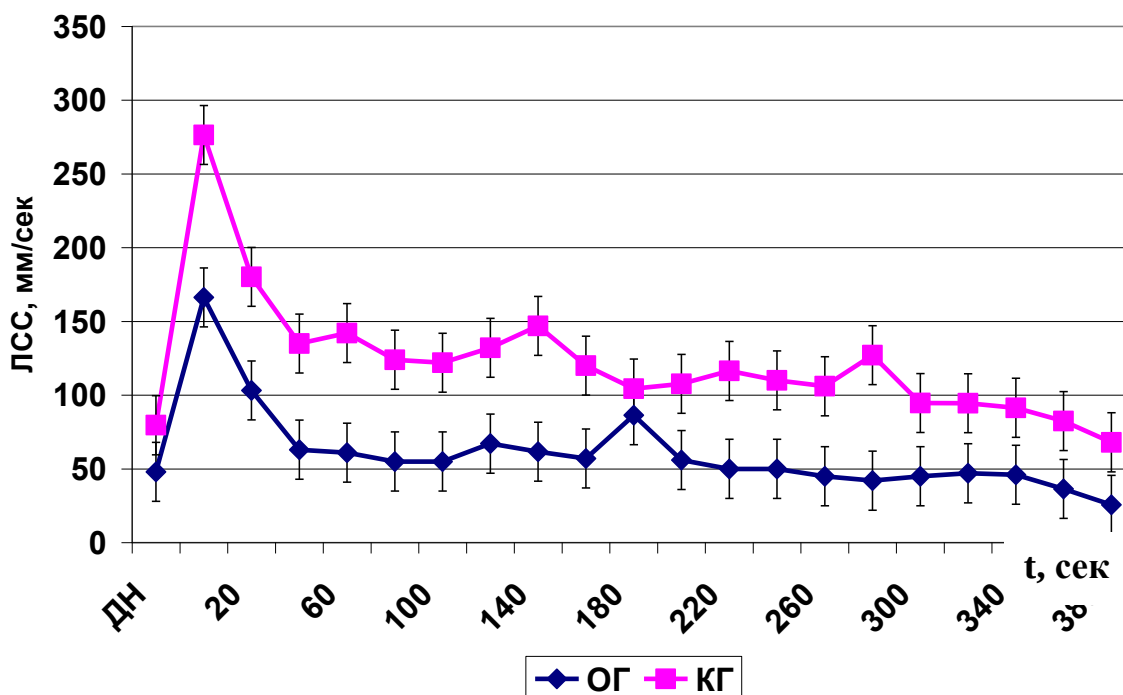


Рис. 4. Лінійна середня швидкість (ЛСС, мм/сек) зміщення центра тиску після субмаксимального навантаження на одну ногу в юних спортсменів із плоскостопістю (ОГ) і без ознак порушення склепінчастого апарату стопи (КГ)

Примітка. ДН – до навантаження. По осі абсцис – час відновлення (середнє арифметичне $\pm 95\%$ довірчий інтервал).

Факт порушення функції рівноваги після субмаксимального фізичного навантаження пов'язаний із розвитком периферичної втоми [2–6] і з посиленням діяльності кардіореспіраторної системи [7]. Порушення стійкості вертикальної пози після фізичного навантаження на різні м'язові групи може бути зумовлено як загальними механізмами, так і специфічними, пов'язаними з функціональним призначенням м'язів. Загальний механізм, імовірно, зумовлений посиленою роботою дихальної мускулатури відразу після роботи [7], що викликає збільшення коливань тіла, а також можливою загальною локалізацією втоми в центральній нервовій системі під час роботи однією й двома ногами [8].

Також ми вважаємо, що периферична втома в будь-яких м'язових регіонах впливає на центральну інтеграцію та аналіз сенсорної інформації, що надходить до центральної нервової системи та спричиняє зниження стійкості вертикальної пози.

Специфічні механізми втоми, імовірно, пов'язані з накопиченням метаболічних факторів втоми в робочих м'язах, що порушує чутливість пропріоцептивної системи в цих м'язах і, загалом, впливає на постуральну регуляцію [3, 4]. Пояснюючи зниження стійкості вертикальної пози після фізичного навантаження на одну ногу, зазначимо, що, імовірно, нам не вдалося повністю виключити втому в постуральних м'язах, наприклад у м'язах шиї й спини під час роботи однією ногою, оскільки вони все ж таки брали участь у роботі та також залучені до підтримки рівноваги. Отже, частково порушення рівноваги після фізичного навантаження на одну ногу зумовлене також утомою в постуральних м'язах, розміщених у вищерозташованих частинах тіла.

Це підтверджується даними електроміографії, згідно з якою в юних спортсменів в ОГ спостерігаємо дисбаланс електричної збудливості в м'язах, що належать до різних міофасціальних кінематичних ланцюгів у межах одного кінематичного сегмента тіла людини, у нашому випадку – це м'язи гомілки (рис. 5). У спортсменів КГ електрофізіологічна активність в обох групах м'язів однакова, оскільки частотно-амплітудні характеристики не мають різниці між м'язами переднього й заднього міофасціального кінематичного ланцюга (див. рис. 5.1 а, б). І навпаки, у юних спортсменів ОГ спостерігаємо не лише зниження загальної активності в обох м'язах, але і явно виражений дисбаланс м'язової активності між переднім (див. рис. 5.2 а) і заднім (див. рис. 5.2 б) міофасціальним кінематичним ланцюгом.

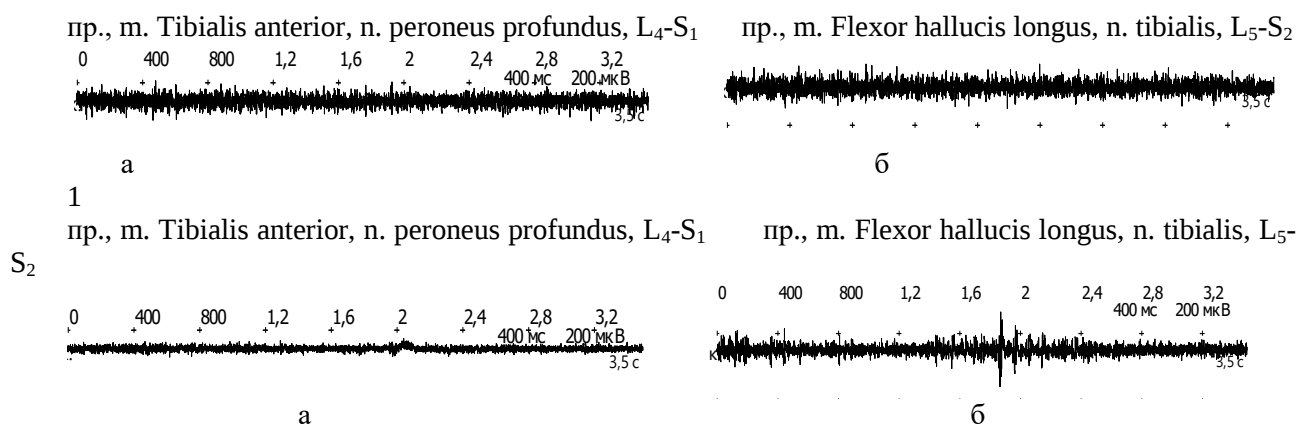


Рис. 5.2. Інтерференційна електроміограма м'язів гомілки, які входять до переднього (а) й заднього (б) міофасціального кінематичного ланцюга, що беруть участь у підтримці склепінчастого апарату стопи спортсмена 14 років без плоскостопості (1) і спортсмена 14 років із плоскостопістю (2)

Такий дисбаланс, на думку окремих авторів [3], може слугувати фундаментом для порушення склепінчастого апарату стопи й розвитку плоскостопості.

Висновок. Отже, після субмаксимального фізичного навантаження як на одну, так і на дві ноги, стійкість вертикальної пози юних спортсменів із плоскостопістю знижується однаковою мірою, незалежно від ступеня їх участі в підтримці постуральної постави, однак час відновлення стійкості вертикальної пози менший після роботи на велоергометрі. Швидкість відновлення порушення постуральної стійкості в спортсменів без порушення склепінчастого апарату стопи після фізичного навантаження на велоергометрі у 2 рази, а після роботи на одній нозі – більш ніж утричі вища, ніж у юних спортсменів таеквон-до з плоскостопістю.

Джерела та література

1. Nashner L. M., Mc Collum G. The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav. Brain Sci.* 1985. № 8. С. 135–167.
2. Мельников А. А., Савин А. А., Емельянова Л. В., Викулов А. Д. Регуляция равновесия у борцов-самбистов на фоне физического утомления после субмаксимальной велоэргометрической нагрузки. *Вестник спортивной науки.* 2010. № 5. С. 136–141.
3. Gribble P. A., Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2004. № 85. С. 589–592.
4. Taylor J. L., Butler J. E., Gandevia S. C. Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000. № 83. Р. 106–115.
5. Hagbarth K. E., Macefield V. G. The fusimotor system. Its role in fatigue. *Adv. Exp. Med. Biol.* 1995. № 384. Р. 259–270.
6. Савин А. А., Емельянова Л. В., Мельников А. А. Влияние острого физического утомления на показатели стабильности у борцов высокого класса. *Известия ЮФУ. Технические науки.* 2010. № 110(9). С. 155–158.
7. Zemková E., Hamar D. Postural sway and cardiorespiratory response to resistance exercises. *Facta Universitatis Series: Physical Education and Sport.* 2009. № 7. Р. 181–187.
8. Taylor J. L., Gandevia S. C. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *J. Appl. Physiol.* 2008. № 104. Р. 542–550.

References

1. Nashner, L. M., Mc. Collum, G. (1985). The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav. Brain Sci.* 8, 135–167.
2. Mel'nikov, A. A., Savin, A. A., Emel'janova, L. V., Vikulov, A. D. (2010). Reguljacija ravnovesija u borcov-sambistov na fone fizicheskogo utomlenija posle submaksimal'noj vellojergometricheskoj nagruzki [Regulation of equilibrium in sambo wrestlers against the background of physical fatigue after submaximal bicycle ergometric load]. *Vestnik sportivnoj nauki*, 5, 136–141.
3. Gribble, P. A., Hertel, J. (2004). Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 85, 589–592.
4. Taylor, J. L., Butler, J. E., Gandevia, S. C. (2000). Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83, 106–115.
5. Hagbarth, K. E., Macefield, V. G. (1995). The fusimotor system. Its role in fatigue. *Adv. Exp. Med. Biol.* 384, 259–270.

6. Savin, A. A. Emel'janova, L. V., Mel'nikov, A. A. (2010). Vliyanie ostrogo fizicheskogo utomleniya na pokazateli stabilografii u borcov vysokogo klassa [The influence of acute physical fatigue on the stability indicators of high-class fighters]. *Izvestiya JuFU. Tehnicheskie nauki*, 110(9), 155–158.
7. Zemková, E., Hamar, D. (2009). Postural sway and cardiorespiratory response to resistance exercises. *Facta Universitatis Series: Physical Education and Sport*, 7, 181–187.
8. Taylor, J. L., Gandevia, S. C. (2008). A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *J. Appl. Physiol*, 104, 542–550.

Анотація

Мета роботи – визначити ступінь порушення рівноваги під впливом субмаксимального аеробного навантаження на м'язи нижніх кінцівок у спортсменів 7–14 років із плоскостопістю. **Методика.** Досліджено вплив субмаксимального аеробного навантаження на стійкість вертикальної постави в спортсменів, які займаються таеквон-до, у віці 7–14 років із плоскостопістю I–II ступенів ($n = 25$) і без порушення склепінчастого апарату стопи ($n = 25$). Регуляцію вертикальної пози досліджували за допомогою комплексу для аналізу функціональних здібностей опорно-рухового апарату «DIERS FAMUS» («Німеччина»). **Результати.** Показано, що фізичне навантаження збільшує лінійну швидкість коливань центра тиску на стопу в обох групах спортсменів. Однак період відновлення стійкості вертикальної постави був меншим у групі юних спортсменів без ознак плоскостопості. Після фізичного навантаження на одну стопу період зниженої стійкості вертикальної постави був більшим у юних спортсменів із плоскостопістю, порівняно з контрольною групою: 3 хв – 1 хв 50 с після фізичного навантаження. Стійкість вертикальної постави в спортсменів із плоскостопістю в середньому була нижчою, ніж у респондентів без порушення склепінчастого апарату стопи. **Висновок.** Регуляція вертикальної пози юних спортсменів, які займаються таеквон-до, із плоскостопістю під впливом фізичного навантаження погіршується більшою мірою, ніж у їхніх однолітків без ознак порушення склепінчастого апарату стопи, що пов'язано з асиметрією тонусу м'язів гомілки, які належать до різних міофасціальних кінематичних ланцюгів. Специфічне тренування у вправах таеквон-до вдосконалює систему постуральної регуляції й підвищує швидкість її відновлення після фізичного навантаження в юних спортсменів із плоскостопістю.

Ключові слова: стабілографія, фізичне навантаження, спортсмени 7–14 років, таеквон-до, плоскостопість.

Андрей Данышук. Особенности поддержания устойчивости вертикального положения тела юных спортсменов с плоскостопием, которые занимаются таеквон-до. Цель работы – определить степень нарушения равновесия под влиянием субмаксимальной аэробной нагрузки на мышцы нижних конечностей у спортсменов 7–14 лет с плоскостопием. **Методика.** Исследуется влияние субмаксимальной аэробной нагрузки на устойчивость вертикальной позы спортсменов в возрасте 7–14 лет с плоскостопием I–II степеней, которые занимаются таеквон-до ($n=25$) и без нарушения сводчатого аппарата стопы ($n=25$). Регуляцию вертикальной позы исследовали при помощи комплекса для исследования функциональных способностей опорно-двигательного аппарата «DIERS FAMUS» («Германия»). **Результаты.** Показано, что физическая нагрузка увеличивает линейную скорость колебаний центра давления на стопу в обеих группах спортсменов. Период восстановления устойчивости вертикальной позы был меньше в группе юных спортсменов без признаков плоскостопия. После физической нагрузки на одну стопу период сниженной устойчивости вертикальной позы был больше у юных спортсменов с плоскостопием, чем в контрольной группе: 3 мин по сравнению с контрольной группой – 1 мин 50 сек после физической нагрузки. Устойчивость вертикальной позы у спортсменов с плоскостопием в среднем была ниже, чем у спортсменов без нарушения сводчатого аппарата стопы. **Выводы.** Регуляция вертикальной позы юных спортсменов, которые занимаются таеквон-до, с плоскостопием под влиянием физического напряжения ухудшается в большей степени, чем у их сверстников без признаков нарушения сводчатого аппарата стопы, что связано с асимметрией тонуса мышц голени, принадлежащих к разным миофасциальным кинематическим цепям. Специфическая тренировка в упражнениях таеквон-до совершенствует систему постуральной регуляции и повышает скорость ее восстановления после физической нагрузки у юных спортсменов с плоскостопием.

Ключевые слова: стабілографія, фізическа навантаження, спортсмени 7–14 лет, таеквон-до, плоскостопіє.

Andriy Danyschuk. Features of Maintaining the Stability of the Vertical Body Position of Young Athletes with Flat Feet, Who are Engaged in Taekwon-do. The Objective of the work is to determine the degree of imbalance under the influence of submaximal aerobic exercise on posturally significant muscles of the lower extremities in athletes aged 7–14 years old with flat-footedness. **Methods.** The influence of submaximal aerobic load on the lower limbs on the stability of the vertical posture of athletes at the age of 7–14 years with flat-footedness of the I-II degree ($n = 25$) who are engaged in taekwon-do and without violation of the arches of the foot ($n = 25$) was studied. The regulation of the vertical posture was investigated using the complex for the study of the functional abilities of the musculoskeletal system «DIERS FAMUS» («Germany»). **Results.** It is shown that physical activity increases the linear velocity of the oscillations of the pressure center in both groups. The recovery period of vertical posture stability was less in the group

of young athletes with no flatfoot signs. After exercise on one leg, the period of reduced stability of the vertical posture was longer for young athletes with flat-footedness than in the control group: 3 minutes compared to the control group – 1 minute 50 seconds after the exercise. The stability of the vertical posture in athletes with flat-footedness was on average lower than in athletes without violating the arches of the foot ($p < 0,05$). **Conclusion.** Regulation of the vertical posture of young athletes engaged in taekwon-do with flat-footedness under the influence of physical stress worsens to a greater extent than those of their peers without signs of violation of the arch of the foot, which is associated with asymmetry of the tone of the shin muscles belonging to different myo-fascial kinematic chains. Specific training in the taekwon-do exercises improves the system of postural regulation and increases the speed of its recovery after exercise in young athletes with flat-footedness.

Key words: stabilography, physical activity, athletes aged 7–14 years old, taekwon-do, flatfoot.

УДК 796.616.

Оксана Самойлюк

Стан біомеханіки стопи юних спортсменів на сучасному етапі

Державний вищий навчальний заклад «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» (м. Івано-Франківськ)

Постановка наукової проблеми. Організм людини являє собою складну біомеханічну систему, у якій в органічній єдності взаємодіють різні фізичні, хімічні, біологічні підсистеми, а результатом цього є складні рухові прояви різних його функцій. Одна з найважливіших функцій організму людини – рухова функція [1, 7, 13].

Опорно-руховий апарат (ОРА) – система кісткових важелів, що приводиться в дію м'язами. Руховий апарат людини, із погляду біомеханіки, являє собою систему біокінематичних ланцюгів, усі ланки котрого об'єднані в біокінематичні пари та мають між собою зв'язки, що визначають їх зовнішню свободу рухів [12, 13]. Біокінематичним ланцюгом вважають зв'язані між собою біокінематичні пари з урахуванням їхнього природного місця в ОРА й біологічної ролі, яка філогенетично склалася в організмі людини [12, 14].

ОРА людини відчуває різноманітні механічні впливи, що залежать від специфіки рухової діяльності, регламентованої умовами звичайного буття або особливостями процесу, що вимагає проявів рухової активності (заняття спортом, оздоровчі фізичні вправи та ін.) [8, 12, 14].

Основою будь-якого локомоторного акту є опорні взаємодії – це короткочасний механічний контакт ланок тіла людини з опорою, у результаті якого виникають сили, що спроможні змінити рух ЗЦМ тіла й впливати на рішення рухового завдання [6, 12, 14].

Опорні взаємодії володіють усіма фізичними ознаками ударних взаємодій, як-от: короткочасність взаємодії, значне збільшення модуля сили, що створює «ударні» перевантаження, деформаційний або пересуваючий ефект – із теоретичного погляду, можна трактувати як такі [6, 12, 14]. ОРА людини достатньо складний, але стопа як опорна конструкція й частина цієї системи першою сприймає ударний імпульс опорної реакції та від її функціональних можливостей багато в чому залежить подальший характер взаємодії із середовищем. У процесі філогенезу стопа придбала біомеханічну поліфункціональність і представляє специфічну особливість ОРА людини [6, 12, 13, 14]. Виділяють три основні функції нормальної стопи: здатність до пружного розпластання під дією навантаження (ресорна функція), головна участь у регуляції позої активності (балансувальна функція) і надання прискорення ЗЦМ тіла при локомоціях (толчкова функція). Толчкова функція стопи є найбільш складною, тому що при наданні прискорення ЗЦМ тіла використовуються і ресорність стопи, і її здатність до балансування [6, 12, 13, 14]. Ресорна, балансувальна й толчкова функції стопи багато в чому визначаються внутрішнім силовим полем самої стопи, спроможним протидіяти зовнішнім силам і забезпечувати необхідну функціональність цієї біоланки [6, 12, 13, 14].

При перевантаженнях систем, котрі підтримують склепіння, порушується функція стопи, спотворюється в цілому руховий стереотип, відбувається небажаний перерозподіл сил і перевантаження в інших відділах ОРА, у результаті чого й виникає патологія. Така стопа працює не як