

УДК 378.172(476.2)

Данищук Андрій, Попель Сергій

## ПЛАНТОГРАФІЧНІ ПОКАЗНИКИ У СПОРТСМЕНІВ ТАЕКВОН-ДО ПРИ РІЗНИХ ТИПАХ СТОПИ

**Анотація.** **Мета роботи** – виявити залежність плантографічних параметрів різної форми стопи з нейроміографічними показниками у спортсменів таеквон-до. **Методи:** дослідження стопи проведено плантографічним методом. Основну групу склали 32 спортсмени з плоскостопістю(ПС) I ступеня важкості. Групу контролю склали 35 практично здорових спортсменів. Реєстрація ЕМГ проводилась при допомозі “Нейро-ЕМГ-Мікро”. **Результати** Погіршення морфо-функціональних резервів стопи при ПС, яка виявляється у 28,9% спортсменів таеквон-до виражалось у зменшенні індексу Фрідланда і «плеснового кута стопи» на 14,7 %. Дослідження м’язів гомілки показали, що при ПС показник їх тонуусу у «стані ізотонічного напруження» знижується на 17,0 %, індекс «скоротливої здатності м’язів» збільшився на 79,4 %; показник «додаткового розслаблення» зменшився на 24,4 %. **Висновки** плантографічні показники відповідають нейроміографічним даним, що дозволяє розробляти програми профілактики травматизму стопи у таеквон-до.

**Ключові слова:** стопа, таеквон-до, студенти-спортсмени, плантографія

**Abstract.** The **purpose** of the work is to reveal the dependence of linear-angular parameters of different foot shapes with electroneuromyographic indicators in students of 19-20 years of age who are engaged in taekwondo. **Methods:** foot morphometry was performed in 67 students using the plantographic method at rest and during dynamic loading. The general index of the Friedland foot was determined, the height of the longitudinal arch was determined by the Strieter formula, and the state of the transverse arch was determined by the value of the Chizhin index, and the shape of the foot was determined by the length of the toes. The study was carried out at the Taekwon-Do Center. The main group consisted of 32 athletes with flat feet of the first degree of severity. The control group consisted of 35 practically healthy athletes. Global EMG was recorded at the Neuro-EMG-Micro complex. **The results.** The data on the size of the foot of athletes of the control group testify to the sufficient development of the arch of the foot, which has powerful morpho-functional reserves and which can serve as control data for further analysis of the arch apparatus of the foot in relation to electroneuromyographic indicators. Deterioration of the condition of the supporting and damping properties of the foot with flat feet, which is found in 28.9% of taekwondo athletes, was expressed in a probable deterioration of the Friedland index by 14.1% and the value of the "plantar angle of the foot" by 14.7%. Studies of the contractile ability of the lower leg muscles showed that with flat feet, the average value of the muscle tone index in the "state of isotonic tension" decreases by 17.0%, the coefficient of "muscle contractile ability" increased by 79.4%; the coefficient of "additional relaxation" probably decreased by 24.4%. **Conclusions.** plantographic indicators are

consistent with neuromyographic data, which allows developing programs for the prevention of foot injuries in Tae Kwon Do.

**Key words:** foot, taekwon-do, student-athletes, plantography

**Вступ.** Вивчення морфології «здорової» стопи дозволяє визначити чітку межу між крайніми варіантами норми і початковими стадіями її патологічної деформації [1]. При цьому таке розмежування залишається досить складним завданням з огляду на те, що форма стопи залежить від багатьох факторів, а підтримка її склепінчастого апарату має свої статево-вікові особливості, які обумовлюють специфічні вимоги до нього [2]. Ці фактори впливають на ступінь та діапазон функціонального запасу міцності міо-фасціальних кінематичних ланцюгів, як основного біомеханічного компонента стопи, а порушення пропорційності тіла людини сприяє зниженню ресорних властивостей склепіння стопи, що може призвести до травматизації опорно-рухового апарату або розвитку різного ступеня плоскостопості [3]. Надзвичайна складність анатомічної будови стопи людини у поєднанні з різноманітністю виконуваних нею функцій вказує на важливість пізнання впливу антропометричних параметрів на її біомеханічні властивості [1, 2, 4].

**Мета роботи** – виявити залежність лінійних і кутових параметрів різної форми стопи у студентів-чоловіків 19-20 років, які займаються таекван-до.

**Методи дослідження:** морфометрія стопи проведена у 67 студентів-чоловіків 19-20 років із застосуванням плантографічного методу [4] в стані спокою і при статичному і динамічному навантаженні. За результатами замірів виявляли залежність лінійних і кутових параметрів, визначали висоту поздовжнього склепіння за формулою Штритера, стан поперечного склепіння за величиною індексу Чижина, загальний індекс стопи Фрідлянда, а за співвідношенням довжини пальців встановлювали форму стопи [2, 4]. Порівнюючи різні індекси робили висновок про тип стопи – склепінчаста, нормальна, плоска та її форму – єгипетська, прямокутна чи грецька [3]. Дослідження виконано в Івано-Франківському центрі «Таеквон-до» протягом 2018-2019 рр. Обстежено 55 спортсменів з ПС I-го ступеня тяжкості у віці від 7 до 14 років. Групу контролю склали 23 практично здорових юних спортсменів, порівнянних за віком і статтю.

Проводилась реєстрація глобальної ЕМГ з використанням комп'ютерного електронейроміографічного комплексу “Нейро-ЕМГ-Микро” виробництва фірми “Нейрософт” (Росія). Оцінювалися параметри викликаної біоелектричної активності (БЕА) м'язів: амплітуда, латентний період, тривалість і площа М-відповідей. Аналіз довільної активності переднього великогомілкового і литкового м'язів при виконанні рухових завдань

проводився за якісними і кількісними параметрами з оцінкою регулярності амплітуди коливань. Без осьового навантаження проводили реєстрацію довільної активності м'язів при згинанні і розгинанні стопи.

Реєстрацію активності м'язів гомілки проводили при положенні пацієнтів в так званій стандартній основній стійці: ноги і тулуб випрямлені, голова тримається рівно, руки вільно звисають по сторонах. Запис біопотенціалів проводили протягом 50 секунд. При проведенні комп'ютерного стимуляційного мануального м'язового тестування (ММГ) вивчали параметри викликаних механічних відповідей м'язів гомілки при ходьбі на комп'ютерному комплексі для дослідження морфо-функціональних особливостей ОРА "DIERS FAMUS" (Німеччина), який дозволяє проводити відеокомп'ютерний аналіз стопи в статиці і динаміці (ходьба, біг, стрибки) (рис. 1). Одержані дані обробляли варіаційно-статистичним методом.

**Результати дослідження та їх обговорення.** При аналізі плантограм було встановлено, що для оцінки резервних запасів поздовжнього склепіння стопи немаловажне значення мають так звані «внутрішні» поздовжні розміри [1] і стан міо-фасціальних кінематичних ланцюгів, що впливають на величину індексів Чижина і Штрітера, які становлять відповідно в середньому  $1,88 \pm 0,11$  та  $4,47 \pm 0,18$  у.о.

Для характеристики переднього відділу стопи, який відповідає подушкоподібному підвищенню пальців стопи і ступеня розсування пальців при постановці стопи ми встановили, що в залежності від того, який палець стопи має більшу довжину, тобто більше розвинутий, тому кути при I-ому і V-ому пальцях можуть значно коливатись, що в свою чергу буде суттєво впливати на вираженість горизонтальної складової динамографічної кривої при статичному і динамічному навантаженнях на склепінчастий апарат стопи при постановці стопи на опорну поверхню, особливо виражених в процесі виконання ударних вправ таеквон-до.

Для оцінки поперечного склепіння стопи існує цілий ряд маркерних пунктів, які враховуються при аналізі плантограми [2, 4]. Отримані результати вказують, що стопа у студентів-спортсменів таеквон-до при постановці на тверду основу знаходиться в слабо супінованому положенні. При динамічному навантаженні у них проходить перебудова в основному поздовжнього склепіння стопи і такий вид навантаження мало торкається її поперечних розмірів. При цьому індекс Фрідлянда змінюється незначно, а індекс Чижина досягає значень  $0,91-1,11$  у.о. При статичних навантаженнях зміни стосуються як поздовжнього, так і поперечного склепіння, що тісно корелює ( $r=+0,87$ ;  $p<0,0012$ ) з електронейроміографічними змінами в міо-фасціальних кінематичних ланцюгах гомілки. При первинному дослідженні у студентів-спортсменів таеквон-до 17-19 років з порушенням склепінчастого апарату стопи

виявлене зниження тону м'язів переднього міо-фасціального кінематичного ланцюга гомілки, що проявляється збільшенням діапазону частотно-амплітудних характеристик із збільшенням поліфазних потенціалів рухової одиниці у передньому великогомілковому м'язі та їх зменшенням у довгому малогомілковому і задньому великогомілковому м'язах, що спостерігається у 95,6% обстежених з плоскостопістю. Це свідчить про дисбаланс електрофізіологічної активності між м'язами міо-фасціального кінематичного ланцюга гомілки при порушеннях склепінчастого апарату стопи. Це відображається на рівні фізичної підготовленості студентів-спортсменів таекон-до 17-19 років. У переважній більшості випадків амплітуда біо-електричної активності (БЕА) литкового м'язу була знижена в межах від 20 до 35%. Показники амплітуди активності переднього великогомілкового м'язу відповідали нормі.

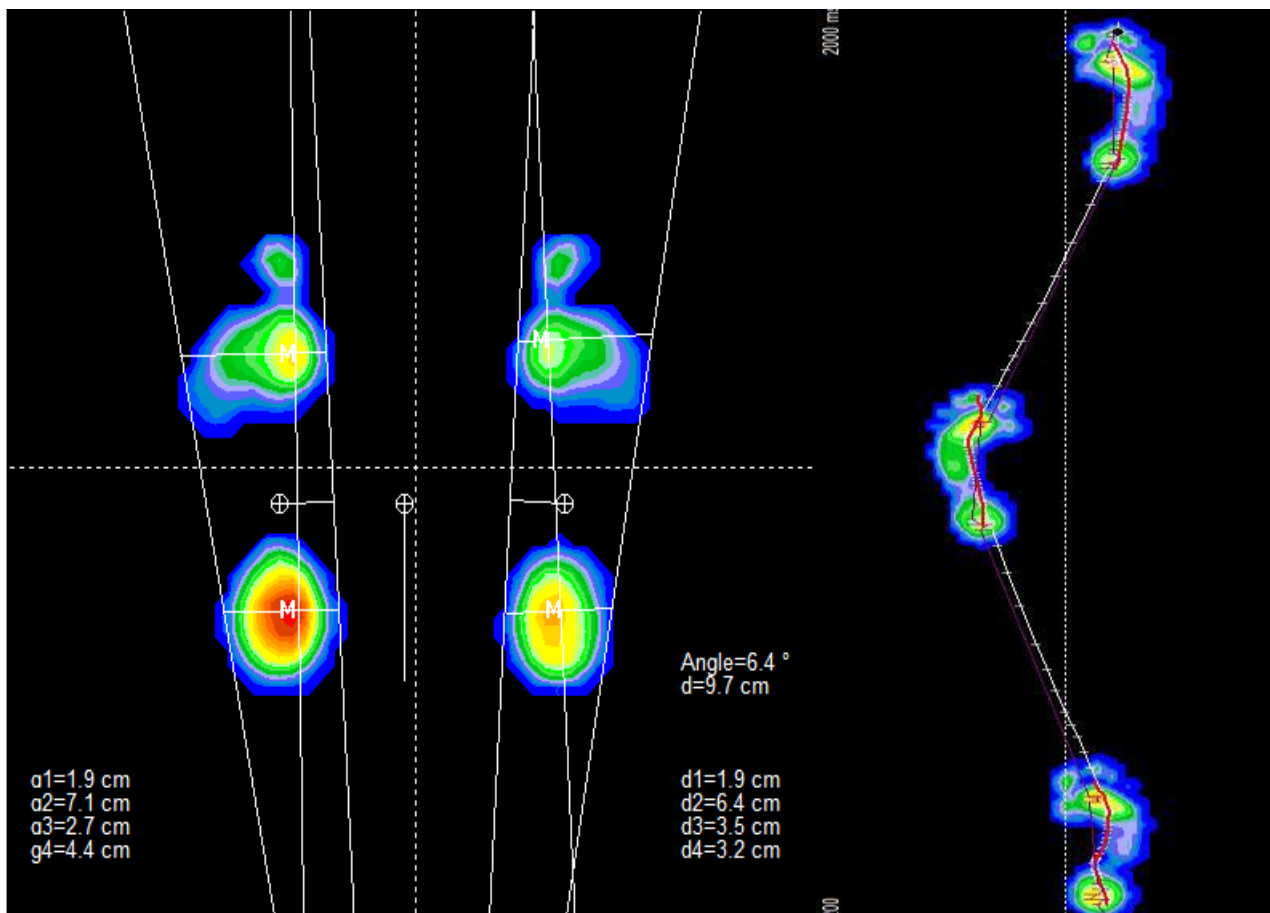


Рис. 1. Загальний вигляд сторінки аналізу комп'ютерної статичної (а) і динамічної (б) плантограми за допомогою програми "DIERS FAMUS" (Німеччина).

Результати стимуляційної ММГ виявили виражені якісні зміни форми кривої відповіді литкового м'язу. За співвідношенням тривалості фаз скорочення і розслаблення їх механічні відповіді характерні для «швидких» фазних м'язів. Нормально сформований навик активної стабілізації стопи передбачає переважно тонічну функцію задньої групи м'язів гомілки, в той

час як м'язи передньої групи є переважно фазними, але при збереженні тонічної функції, що відображається на співвідношенні повільних і швидких волокон в їх складі. Регуляція тонічної функції м'язів є неусвідомленим (виключно рефлекторним) видом діяльності системи біоуправління ОРА [3]. Основними руховими стратегіями збереження балансу тіла при вертикальному способі пересування у просторі є гомілковостопний (стабілізація загального центру ваги (ЗЦВ) тіла в сагітальній площині) і кульшовий (стабілізація у фронтальній площині) суглоби. Зсув ЗЦВ при природних коливаннях тіла коригуються системою біоуправління м'язовою діяльністю, керуючись набутим у процесі індивідуального психо-моторного розвитку руховим навиком. Коригувальна активація м'язів гомілки в нормі виражається в порушенні переднього і задньої груп в антагоністичному режимі, що забезпечує балансуєчу і стабілізуєчу функцію [2, 4]. При дослідженні активності передніх великогомілкового і литкового м'язів у юних спортсменів з ПС було виявлено зниження активності м'язів задньої групи гомілки при реалізації стратегії стабілізації стопи в гомілковостопному суглобі, що виявляється в зниженні амплітуди ЕМГ литкового м'язу на тлі збереженого антагоністичного ритму збудження. Спектральний аналіз записів визначив розширення спектру ЕМГ литкового м'язу зі зниженням низькочастотної складової, що свідчить про зниження кількості функціонуючих тонічних м'язових волокон. Активність м'язів-згиначів і розгиначів при нормальній ходьбі визначається «ритмом» автоматизованої рухової навички і відповідно до гіпотези про різні функції м'язів при ходьбі проявляється в переважно силовій функції для розгиначів і переважно корекційній – для згиначів. В процесі напруження може превалювати або «статична», або «динамічна» антагоністична функція м'язів гомілки. При дослідженні активності переднього великогомілкового і литкового м'язів при ходьбі після застосування методики ФБУ зареєстровано в основному збереження нормального антагоністичного ритму та амплітудних показників ЕМГ. Спектральний аналіз також виявив значне розширення спектра ЕМГ переднього великогомілкового м'язу зі зниженням низькочастотної складової. Для ЕМГ литкового м'язу характерні звуження спектра і зміщення у низькочастотну область.

Таким чином, амплітуда біоелектричної активності м'язів МФКЛ гомілки при ПС знижена за рахунок низькочастотної складової, що свідчить про зниження кількості функціонуючих тонічних м'язових волокон. У спортсменів з деформацією САС страждає рухова функція активних і пасивних стабілізаторів стопи, на що вказують зміни аферентно-еферентних взаємовідносин між ЦНС та ОРА. На підставі вивчення ЕМГ-показників у юних спортсменів з ПС встановлено, що формування ПС супроводжується утворенням

патологічного амплітудно-частотного рухового стереотипу, зруйнувати який можна за допомогою методики функціонального біоуправління (ФБУ).

При аналізі показників рівня фізичної підготовленості студентів-спортсменів таеквон-до 17-19 років при порушеннях склепінчастого апарату стопи відзначено статистично вірогідне зниження: швидкісних якостей у середньому на 21,8 %, швидкісно-силових – на 22,5 %, спритності – на 16,1 %, здатності до статичної рівноваги – на 22,91 %. Таке зниження рівня рухових здібностей супроводжується порушенням техніки виконання окремих елементів таеквон-до.

Аналіз динаміки способів та прийомів володіння технікою ударів ногою у студентів-спортсменів таеквон-до 17-19 років при порушеннях склепінчастого апарату стопи при первинному обстеженні показав, що: майже 70 % із них не вміють використовувати почергове проведення ударів по прямій чи проведення ударів зовнішньою стороною стопи, – а у 60,97 % випадків надають перевагу виконання ударів тільки «носковою» частиною стопи і тільки у 38,2 % випадків вони виконують удари зовнішньою стороною стопи; на 52,8 % статистично вірогідно ( $p < 0,05$ ) зменшена частота ударів зовнішньою частиною стопи при одночасному підйомі тіла на пальцях опорної стопи, що приводить до збільшення навантаження на гомілковостопний суглоб і проявляється низькою ефективністю вирішення рухового завдання в цілому.

Таким чином, отримані кількісні дані основних розмірів стопи студентів-спортсменів таеквон-до свідчать про достатній розвиток як поперечного, так і поздовжнього склепіння стопи, який має потужні функціональні пружно-еластичні можливості і, які можуть служити контрольними даними для подальшого аналізу склепінчастого апарату стопи у взаємозв'язку з іншими антропометричними показниками. Погіршення стану опорно-амортизаційних властивостей стопи при плоскостопості, яка виявляється у 28,9% студентів-спортсменів таеквон-до виражалася у статистично вірогідному ( $p < 0,05$ ) погіршенні у них лінійно-кутових показників стопи (індексу Фрідланда (в середньому на 14,04 % ( $p < 0,01$ )), величини «плеснового кута стопи» ( $\alpha$ ) (в середньому на 14,69 % ( $p < 0,01$ )). Дослідження скоротливої здатності м'язів міо-фасціальних кінематичних ланцюгів гомілки показали, що у студентів-спортсменів таеквон-до середнє значення показника тонуусу м'язів у «стані ізотонічного напруження» (А) знижується на 17,0 % ( $p < 0,01$ ), коефіцієнт «скоротливої здатності м'язів» ( $K_1$ ) збільшився на 79,4 % ( $p < 0,01$ ); коефіцієнт «додаткового розслаблення» ( $K_2$ ) статистично вірогідно зменшений на 24,4 % ( $p < 0,01$ ).

На підставі співвідношень довжини пальців серед обстежених студентів виявлені три форми стопи: 1) «єгипетська» – довжина пальців рівномірно зменшується від першого до

п'ятого (64,5%); 2) «грецька» (17,6%) – довжина другого пальця більша від довжини першого пальця; 3) «прямокутна» (17,9%) – довжина всіх пальців однакова [4].

При всіх формах стопи її довжина характеризується незначною мінливістю ( $C_v=2,7-4,1\%$ ). Найбільшу косу ширину має прямокутна форма стопи ( $90,2\pm 0,4$  мм), а найменшу – «грецька» ( $88,8\pm 0,5$  мм).

Найбільша мінливість коефіцієнтів переднього відділу і сплющення склепіння під впливом статичного і динамічного навантаження, яке часто спостерігається в таеквон-до характерна для «прямокутної» стопи. Коефіцієнти поперечного і поздовжнього сплющення при всіх формах стопи не виходять за межі норми і становлять відповідно 0,26 і 0,80 у.о.

Оскільки стопа відіграє особливу роль у спортивних досягненнях спортсменів таеквон-до, тому велике значення при оцінці функціонально-морфологічних властивостей стопи має вивчення змін її міо-фасціальних кінематичних ланцюгів та їх адаптаційних можливостей у процесі занять таеквон-до. Аналіз спеціальної літератури вказує на недостатню кількість досліджень стосовно виникнення травм стопи у спортсменів таеквон-до та відсутність узагальнених досліджень з даної тематики з метою розробки програм профілактики плоскостопості, які набувають все більшої актуальності, особливо з огляду на військові дії на Сході України.

Оскільки стопа є реалізувальною ланкою у більшості звичайних рухів, зокрема в бігу, стрибках, приземленнях та різноманітних ударах в таеквон-до, то її міо-фасціальні кінематичні ланцюги зазнають значних і часто різновекторних фізичних навантажень. У випадку значних і тривалих перенавантажень нерідко створюються умови для виникнення больового синдрому та ослаблення м'язів гомілки і стопи, що спричиняє її динамічне сплющення або плоскостопість, яка може супроводжуватись різними деформаціями стопи. В зв'язку з цим нами була розроблена програма профілактики травматизму стопи у спортсменів таеквон-до, яка включає: оцінку постановки стопи, виготовлення індивідуальних ортопедичних устилок, застосування комплексу спеціальних вправ та контроль за ефективністю процесу реабілітації.

### Дискусія

Окремі автори висувують гіпотезу про те, що величина мобільності стопи у значній мірі визначається характером постановки стопи на опору [1]. Наші дослідження доповнили правильність такої гіпотези, однак, для її підтвердження, необхідні дані для розрахунку коефіцієнта мобільності стопи, які мають досить високу відтворюваність і забезпечують фізичного терапевта а методом кількісної оцінки вертикальної і медіальної (бічної) рухливості в середній частині стопи. Варто відзначити, що використання такої простої і

надійної методики необхідні також для більш широкого розуміння морфології стопи спортсмена, як одного із основних чинників ризику виникнення можливих травм, та розробки на базі цього профілактичних заходів для спортсменів таеквон-до, що з нашої точки зору може бути перспективним напрямком сучасних досліджень в галузі фізичної культури і спорту. На нашу думку, отримані нами дані дозволяють запропонувати широке обговорення цієї проблеми в рамках їх використання в галузі фізичної терапії, оскільки, основою базової терапії багатьох травматичних пошкоджень стопи є виготовлення індивідуальних ортопедичних устилок [4], а результати нашого дослідження дозволяють дати виробникам таких устилок знання про морфо-функціональні особливості склепінчастого апарату стопи (САС) для створення індивідуальних ортопедичних устилок, які будуть використовуватись як лікувальний і профілактичний засіб при порушенні функцій стопи внаслідок її травми чи деформації різної етіології. Устилки забезпечують нормалізацію ресорної, опорної, поштовхової і балансувальної функцій за рахунок рівномірного розподілу статичних і динамічних навантажень на стопу та утримання її у фізіологічному положенні про стан якого свідчить величина коефіцієнта мобільності стопи. Ми пропонуємо визначати цей коефіцієнт якості не тільки кінцевого, але й в якості етапного контролю за станом САС в тренувальному процесі у різних видах спорту. Це дає розуміння того, що профілактика порушень опорно-ресорних властивостей стопи повинна бути спрямована на зміцнення окремих міо-фасціальних кінематичних ланцюгів (МФКЛ) гомілки, як підтримуючої системи для САС за рахунок фізичних вправ [4]. Нами розроблений комплекс вправ для профілактики травматизму, що передбачає спеціальні пліометричні та пропріоцептичні вправи на основі таеквон-до для укріплення м'язів стопи та МФКЛ гомілки, які підбираються в кожному конкретному випадку із відповідних складових в залежності від мети тренувального заняття та функціонального стану м'язів, які входять до складу того чи іншого МФКЛ тіла спортсмена. Цей комплекс включає також вправи для відпрацювання правильної біомеханічної техніки ударів в таеквон-до, виконання стрибків та приземлення, зміни напрямку рухів та зупинок.

**Висновки.** Таким чином плантографічні показники дозволяють розробляти програми профілактики травматизму стопи у таеквон-до, що передбачає послідовне вирішення основних завдань, які включають: діагностику, яка базується на визначенні коефіцієнта мобільності стопи, проектування і виготовлення індивідуальних ортопедичних устилок, виконання спеціальних пліометричних і пропріоцептичних вправ та відпрацювання правильної біомеханічної техніки ударів таеквон-до, а також контроль процесу реабілітації при плоскостопості спортсменів таеквон-до.



### Література

1. Cornwall MW, McPoil TG. Relationship between static foot posture and foot mobility. *Foot Ankle Res.* 2011. Vol.4. P. 1–9.
2. Беспалько ВП. Слагаемые педагогической технологии. Слагаемые педагогической технологи. Москва: Педагогика; 1989. 192 с.
3. Круцевич ТЮ. Контроль у фізичному вихованні дітей, підлітків і молоді. Київ: Олімпійська література; 2011. 224 с.
4. Кожевников ОВ, Косов ІС. Сучасні підходи до лікування плосковальгусної деформації стопи у дітей і підлітків. *Кубанський науковий медичний вісник.* 2016; 5: 54-57.
5. Пінчук ДЮ, Дудін МГ. Біологічний зворотний зв'язок по електроміограмі в неврології та ортопедії. Київ: 2015. 237 с.

### Danyshchuk A.T., Popel S.L. PLANTOGRAPHIC INDICATORS IN TAEKWON-DO ATHLETES WITH DIFFERENT TYPES OF FEET

**Відомості про авторів** popelsergij@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9019-3966>

:

Данищук Андрій Сергійович – канд. наук з фіз. вих. і сп. викладач кафедри фізичного виховання, ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника” (Івано-Франківськ, Україна)	Andriy Danyshchuk – Vasyl Stefanyk Precarpathian National University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)
e-mail: <a href="mailto:AndriyDan11ITF@gmail.com">AndriyDan11ITF@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-6931-1080">https://orcid.org/0000-0002-6931-1080</a>	
Попель Сергій Любомирович – кандидат медичних наук, доцент, ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника” (Івано-Франківськ, Україна)	Popel Sergey Lyubomyrovich – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor (Ph. D.), Vasyl Stefanyk Precarpathian National University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)
e-mail: <a href="mailto:popelsergij@gmail.com">popelsergij@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-9019-3966">https://orcid.org/0000-0001-9019-3966</a>	