

**НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ МЕДИЦИНСКОГ ФАКУЛТЕТА  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

На седници Наставно-научног већа Медицинског факултета у Београду, одржаној дана 12. јула 2024. године, број 19/XXVIII-3/3-SM, именована је комисија за оцену завршене докторске дисертације под насловом:

**„ПРОЦЕНА СТАБИЛНОСТИ И СИМЕТРИЈЕ ДОЊИХ ЕКСТРЕМИТЕТА  
ПРИМЕНОМ НАИЗМЕНИЧНИХ БОЧНИХ СКОКОВА“**

кандидата др Сање Мирковић, запослене на Факултету спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду. Ментори су ванредни професор др Петар Миловановић и доцент др Оливера Кнежевић. Именована је комисија за оцену завршене докторске дисертације у следећем саставу:

1. Редовни професор др Марија Ђурић, Универзитет у Београду - Медицински факултет
2. Ванредни професор др Мирко Грајић, Универзитет у Београду - Медицински факултет
3. Редовни професор др Владимир Илић, Универзитет у Београду - Факултет спорта и физичког васпитања
4. Редовни професор др Драган Мирков, Универзитет у Београду - Факултет спорта и физичког васпитања
5. Редовни професор др Владимир Јаковљевић, Универзитет у Крагујевцу - Факултет медицинских наука

На основу анализе приложене докторске дисертације, Комисија за оцену завршене докторске дисертације једногласно подноси Научном већу Медицинског факултета следећи:

**ИЗВЕШТАЈ**

## А) Приказ садржаја докторке дисертације

Докторска дисертација др Сање Мирковић је написана на укупно 85 страна и подељена је на следећа поглавља: увод, циљеви рада, материјал и методе, резултати, дискусија, закључци и литература. У дисертацији се налази укупно 10 схематских приказа, 5 табела, 16 фотографија и 124 графикона. Докторска дисертација садржи и сажетак на српском и енглеском језику, биографију кандидата и податке о комисији.

У **уводу** су објашњени основни истраживачки појмови који се односе на покрете у људском телу, кинетички ланац, и анатомске и биомеханичке карактеристике доњег екстремитета. Приказ везе психо-физичких последица повређивања спортиста са врстом и начином извођења „зглобних покрета“, нарочито скокова, јасно указује на њихов значај у спорту – како у превенцији, тако и у рехабилитацији и повратку спортисте на терен уопште; а детаљнији приказ и разлагање покрета тј. скокова при извођењу наизменичних бочних скокова на једној нози (eng. *Side Hop Test-SHT*), даје потпуно нову перспективу и отвара низ даљих могућности, како у научном тако и у професионалном раду. Описано је да се извођење SHT може поделити у четири типичне фазе: латерални лет, латерални контакт, медијални лет и медијални контакт. Имајући ово у виду, примена напреднијих мерних система поред самих штоперица, као што су видео системи за кинематичку анализу кретања (3D системи), платформе силе које мере снагу површинске реакције и оптоелектрични системи који мере време између два контакта са површином, може омогућити прецизнију анализу моторичког задатка. Додатан приказ досадашњих истраживања која говоре о утицају замора на квалитет извођења покрета тј. скокова заокружује увод ове дисертације.

**Циљеви рада** су прецизно дефинисани. Главни циљеви овог истраживања су били да се процени међуоцењивачка поузданост и валидност мерења штоперицом у односу на платформе силе кад се гледа укупно време (eng. *Total Time*, ТТ) извођења SHT; као и да се одреди број сесија и покушаја потребних да се минимизирају ефекти учења на укупно време извођења SHT и индекс симетрије екстремитета (eng. *Limb Symetry Index*, LSI). Додатни циљ је био да се испита утицај замора појединих мишићних група доњих екстремитета на просторно-временске и кинетичке карактеристике SHT.

У поглављу **материјал и методе** наведено је да је у ово истраживање укључено 15 здравих студената физичког васпитања мушког пола (узраст  $23 \pm 3$  године; висина  $181 \pm 9$  цм; тежина  $72 \pm 6$  кг). У процедури тестирања, главни задатак је био извођење SHT, при чему је испитаник стајао на тестној нози, а затим скакао с једне на другу страну што је брже могуће између две паралелне праве линије означене на поду на удаљености од 30 cm, и то укупно 28 пута или 14 циклуса, што чини један покушај. Сваки учесник је извео седам оваквих сесија (у седам различитих дана), са периодом одмора од најмање 5-7 дана између њих. Укупно време извођења SHT је мерено штоперицом. За детаљнију анализу, додатном применом 3D система, платформе силе и оптоелектричних система, анализирани су четири типичне фазе SHT: фаза бочног лета, бочни контакт, фаза медијалног лета и медијални контакт.

У поглављу **резултати** детаљно су описани сви добијени резултати. Добијени резултати су наведени веома јасно и прегледно, и приказани су графички.

**Дискусија** је написана јасно и прегледно, уз адекватно поређење резултата ове докторске дисертације са резултатима других истраживања.

**Закључци** сажето приказују најважније налазе који су проистекли из резултата рада. **Коришћена литература** садржи списак од 89 референци.

## **Б) Провера оригиналности докторске дисертације**

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације под насловом: „**Процена стабилности и симетрије доњих екстремитета применом наизменичних бочних скокова**“, аутора Сање Мирковић, констатујемо да утврђени индекс подударња текста (енгл. Similarity Index) износи 26%.

Најзначајнији извор наведеног степена подударности (укупно 12%) је преклапање делова реченица у тексту дисертације са садржајем научних публикација које су резултат рада на изради ове докторске тезе, односно са научним публикацијама где је кандидат први аутор *Mirković, S. V., Durić, S., Sember, V., Knežević, O. M., Pajek, M., Mirković, M. M., & Mirkov, D. M. (2022). Evaluation of the Limb Symmetry Index: The Side Hop Test. Frontiers in Physiology, 13, 874632.* и *Mirković S. V., Milovanović P., Knežević O. M. (2024). Primena testa naizmeničnih bočnih skokova na jednoj nozi u proceni funkcionalne stabilnosti donjih ekstremiteta. Medicinski podmladak, Vol. 77 Br. 3 (2026) DOI 10.5937/mp77-50923.* Ово је у складу са чланом 9 Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, а нарочито ако се узме у обзир да су и дисертација и публиковани резултати писани енглеским језиком. У самој дисертацији су јасно наведени сви радови кандидата у којима су објављени делови ове дисертације, тј. радови проистекли из дисертације су јасно цитирани у самој докторској дисертацији, што је у складу са Правилником о стицању звања доктор медицинских наука на Медицинском факултету у Београду и у складу са правилима издавача часописа у којима су ови радови публиковани.

Преосталих 14% подударности је превасходно последица тога што софтвер препознаје одређене уобичајене речи и изразе које се користе у овој научној области (нпр. „sports-related injuries”, “functional asymmetries in the lower limbs”, „effect of muscle fatigue”, “the ability of a muscle/joint to...”, „open and closed kinematic chain”, “associated with increased risk of injury”, „force plate“, “successful return to sport”); речи у вези са тестирањем функционалних способности различитих врста спортиста у лабораторијским условима (нпр. „assessment of neuromuscular function“, „clinical and research conditions“, “between the lower limb and the ground”); речи које се односе на опис

саме процедуре тестирања испитаника (нпр. „testing procedure“, „evaluate inter-rater reliability“, „concurrent validity“, „side hop test“, „limb symmetry index“, „return to sport“); анатомске изразе (нпр. “the ankle joint complex”, „anterior cruciate ligament“, „posterior cruciate ligament“, “hip abductors and knee extensors”, “articular surfaces of the femur and tibia”); називе равни (нпр. “movement in... sagittal, frontal, and transverse planes“); опште фразе у опису истраживања (нпр. “aim was to investigate effects”, “was divided into four phases”, “in the second part of the study”, „lower extremity injuries“, „objectives of the present study“); и називе индикатора. Такође, препознате су и речи и фразе које су уобичајене у статистичкој обради података нарочито када се примењује двофакторска АНОВА, а које су коришћене и у овој дисертацији приликом презентовања резултата истраживања (нпр. “Interaction between time and ... was not significant”, “did not show significant effect of...“, „partial  $\eta^2$ ...“, “significant effect of ... Pillai’s trace =.”, “effect (Pillai’s trace =.”, “condition (Pillai’s trace =.”, „significant interaction effect“). Имајући у виду да су резултати ове дисертације приказани на скоро 40 страна, са обимном статистичком анализом која се базирала на спровођењу исте статистичке методе за различите мишићне групе и мерења, нужен је велики број понављања ових фраза, што је софтвер препознао као подударање са деловима различитих радова иако ови резултати нису ни у каквој у вези са тим радовима.

Поред тога постоји и преклапање одређених цитата, личних имена и имена институција и административних фраза (нпр. „University of Belgrade Faculty of Medicine“, „Institute of Anatomy“, “Skeletal Biology”, „Faculty of sport and physical Education“, „Ministry of Education, Science and Technological Development“, „date of public defence“, „scientific field“, „According to Surveillance data from the National Collegiate Athletic Association...“, „...in the Union of European Football Associations (UEFA)“), стандардних поднаслова (Materials and methods), појединих израза у захвалници, као и случајна преклапања, што је све у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду.

На основу свега наведеног, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, закључујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## **В) Кратак опис добијених резултата**

Укупно време извођења SHT добијено је током седам сесија спроведених у размаку од 5–7 дана. Временски записи два мериоца били су слични са високом поузданошћу (сви ICC > 0,99 и CV% < 0,1) и без систематске пристрасности у поређењу са подацима на платформама силе. Укупно време се побољшало током сесија и покушаја, без значајне интеракције између фактора. Нису откривене разлике између ногу. LSI се кретао од 0,999 до 1,055 у свим сесијама и покушајима. У другом делу студије, показано је да је замор мишића значајно смањено просторно-временске

перформансе SHT кроз различита мерења, укључујући време латералног лета, време медијалног лета, време латералног контакта, време медијалног контакта и укупно време. Унакрсни ефекти на незамарану ногу су такође били присутни, посебно након процедура замарања које укључују абдукторе кука и екстензоре колена. На бочно време лета највише је утицао замор мишића, посебно абдуктора кука и екстензора колена. Замором изазвано смањење јачине екстензора колена значајно је утицало на продужење трајања бочног лета, трајање бочног контакта и укупно време. Поред тога, замор мишића је утицао на промену образаца кретања у зависности од фазе SHT.

На основу добијених резултата може се закључити да су учесници заузимали опруженији положај тела након замарања, посебно када су екстензори колена и кука били заморени. Повећане вредности импулса после замора указују на смањену ефикасност и перформансе у свим мишићним групама. Замор мишића значајно смањује перформансе током извођења SHT, при чему су исте најосетљивије на замарање абдуктора кука и екстензора колена. На основу промена уочених на нози која није заморена, протокол замарања који је коришћен у овој студији био је довољно јак да изазове значајан унакрсни ефекат који је примећен у више варијабли. Ови налази наглашавају важност издржљивости у јачини у контексту утицаја компензаторних механизма на укупну стабилност и координацију у спортским активностима. Ипак, потребна су даља истраживања да би се разјаснило да ли процена временске реакције мишића може бити од интереса за повратак спорту након повреда колена и скочног зглоба.

### **Г) Упоредна анализа докторске дисертације са резултатима из литературе**

Истраживања која се баве SHT кинематиком су генерално ретка, са методолошким разликама у студијама, углавном у вези са трајањем SHT и растојањем (30 cm или 40 cm) између паралелних правих линија означених на поду преко којих се скаче, што отежава прављење поређења између студија (Itoh и сар., 2016, Оно и сар., 2011, Yoshida и сар., 2011) су први препознали потенцијал примене SHT у проучавању кинематике скочног зглоба. Колико је познато, ово истраживање је тек друга студија у којој се пореде резултати SHT након протокола замарања.

Једна од ретких објављених студија до сада која је истраживала ефекте пре и после фудбалске утакмице на учинак SHT је студија Vereijkena и сарадника (2022). Поред тога, проценили су разлике у исходима извођења SHT између фудбалера који се враћају спорту након повреде доњих екстремитета и њихових здравих саиграча. Иако је други тест скока који су користили поред SHT открио занемарљиве до мале разлике у величини ефекта пре и после меча унутар обе групе, SHT тест је открио велику разлику у величини ефекта на повређену ногу код играча који се враћају спорту. Међутим, треба истаћи важну методолошку разлику, а тиче се SHT протокола. У овој студији, учесницима је наложено да изведу 28 скокова на растојању од 30 cm што је брже и прецизније могуће, док је у поменутој студији SHT изведен у периоду од 30 s и

пребројани су скокови (Vereijken и сар., 2022). С обзиром да су разлике између обе групе биле занемарљиве до мале, аутори су препоручили коришћење додатног теста функционалних перформанси, захтевнијег и специфичнијег за спорт – у сврху одлучивања о сигурном повратку спорту.

Пошто је ова студија прва и једина која истражује ефекте локалног мишићног замора на варијабле кинетичких и кинематичких перформанси  $_{neo}SHT$ , тешко је расправљати о добијеним резултатима у односу на објављене студије. Међутим, добијени резултати могу се делимично објаснити помоћу истраживања које су спровели Gette и сар. (2014), који су приметили промене у мишићној активности током 30 s SHT у групи здравих учесника. Аутори су комбиновали електромиографију са снимцима платформе силе да би проучили почетак активације мишића у односу на SHT слетање. Њихови налази су открили раније време почетка активације мишића екстензора колена пре слетања, али не и флексора колена. Они су спекулисали да је ранија активација екстензора колена вероватно повезана са укрућењем зглоба колена што може помоћи да се предвиде ударна оптерећења под замором. Разлог зашто ово није примећено у мишићима флексора колена је нејасан.

Обзиром да је ова студија ишла даље од мерења кинетике и кинематике и пружања свеобухватних података о позиционирању зглобова током  $_{neo}SHT$  фаза, резултати ће се такође упоређивати у односу на резултате објављених студија које истражују биомеханику извођења SHT. Примена биомеханичке анализе може помоћи клиничарима и истраживачима да донесу научно поткрепљене одлуке у вези са потенцијално штетним начином утицања оптерећења током извођења SHT и помоћи у идентификацији појединаца са повећаним ризиком од повреда. Постојећа истраживања SHT подржавају налазе да замор мишића утиче на перформансе, посебно у динамичким покретима који захтевају стабилност и координацију. Унакрсни ефекти примећени код абдуктора кука и екстензора колена у складу су са претходним студијама које наглашавају међусобну повезаност мишићних група и системску природу замора. Поред тога, конзистентан утицај екстензора кука и флексора колена на обе ноге потврђује разумевање билатералне активације мишића и равномерне расподеле оптерећења током таквих тестова.

#### **Д) Објављени радови који чине део докторске дисертације:**

1. Mirković SV, Đurić S, Sember V, Knežević OM, Pajek M, Mirković MM, Mirkov DM. Evaluation of the Limb Symmetry Index: The Side Hop Test. *Front Physiol.* 2022 Jun 17;13:874632. doi: 10.3389/fphys.2022.874632. **M21, импакт фактор 4,755** (ИФ 2021).
2. Mirković S, Milovanović P, Knežević O. Primena testa naizmeničnih bočnih skokova na jednoj nozi u proceni funkcionalne stabilnosti donjih ekstremiteta. *Medicinski podmladak* 77(3): 2026. doi: 10.5937/mp77-50923

## Б) Закључак (образложење научног доприноса)

Докторска дисертација „ПРОЦЕНА СТАБИЛНОСТИ И СИМЕТРИЈЕ ДОЊИХ ЕКСТРЕМИТЕТА ПРИМЕНОМ НАИЗМЕНИЧНИХ БОЧНИХ СКОКОВА“ др Сање Мирковић представља оригиналан научни допринос у процени стабилности зглобова доњих екстремитета, како са методолошког аспекта тако и у смислу утицаја замора на различите елементе перформансе теста наизменичних бочних скокова, што може наћи даљу примену у истраживањима у областима као што су спортска медицина, физикална медицина и рехабилитација, ортопедија. Резултати овог рада могу бити од значајне практичне и теоријске помоћи стручним лицима укљученим у превенцију и лечење повреда доњих екстремитета, нарочито повреда колена и скочног зглоба.

Ова докторска дисертација урађена је према свим принципима научног истраживања. Циљеви су били прецизно дефинисани, научни приступ је био оригиналан и пажљиво изабран, а методологија рада била је савремена. Резултати су прегледно и систематично приказани и дискутовани, а из њих су изведени одговарајући закључци.

На основу свега наведеног и имајући у виду досадашњи научни рад кандидата, комисија предлаже Научном већу Медицинског факултета Универзитета у Београду да прихвати докторску дисертацију др Сање Мирковић и одобри њену јавну одбрану ради стицања академске титуле доктора медицинских наука.

У Београду, 15. јул 2024. године.

Чланови Комисије:

Ред. проф. др Марија Ђурић

---

Ред. проф. др Владимир Илић

---

Ред. проф. др Драган Мирков

---

Ванр. проф. др Мирко Грајић

---

Ред. проф. др Владимир Јаковљевић

---

Ментори:

Проф. др Петар Миловановић

---

Доц. др Оливера Кнежевић

---

**TO THE TEACHING AND SCIENTIFIC COUNCIL  
OF THE FACULTY OF MEDICINE OF THE UNIVERSITY OF BELGRADE**

At the meeting of the Teaching and Scientific Council of the Faculty of Medicine in Belgrade, held on July 12<sup>th</sup>, 2024, number....., a committee was appointed to evaluate the completed doctoral dissertation under the title:

„EVALUATION OF STABILITY AND SYMMETRY OF THE LOWER LIMBS USING  
THE SIDE HOP TEST“

Of the candidate Sanja Mirković, MD, employed at the Faculty of Sports and Physical Education of the University of Belgrade. The mentors are Associate Professor Petar Milovanović, Ph.D., and Assistant Professor Olivera Knežević, Ph.D.. The committee for the evaluation of the completed doctoral dissertation was appointed in the following composition:

1. Full Professor Marija Đurić, MD, PhD, University of Belgrade - Faculty of Medicine
2. Full Professor Vladimir Ilić, MD, PhD, University of Belgrade - Faculty of Sport and Physical Education
3. Full Professor Dragan Mirkov, PhD, University of Belgrade - Faculty of Sport and Physical Education
4. Associate Professor Mirko Grajić, MD, PhD, University of Belgrade - Faculty of Medicine
5. Full Professor Vladimir Jakovljević, MD, PhD, University of Kragujevac - Faculty of Medical Sciences

Based on the analysis of the attached doctoral dissertation, the Committee for Evaluation of the Completed Doctoral Dissertation unanimously submits to the Scientific Council of the Faculty of Medicine the following:

R E P O R T



## A) Presentation of the contents of the doctoral dissertation

The doctoral dissertation of Sanja Mirković, MD is written on a total of 85 pages and is divided into the following chapters: introduction, objectives, material and methods, results, discussion, conclusions and literature. The dissertation contains a total of 10 schematic diagrams, 5 tables, 16 photos and 124 charts. The doctoral dissertation also contains a summary in Serbian and English, the candidate's biography and information about the Committee.

In the **introduction**, the basic research concepts related to movements in the human body, the kinetic chain, and the anatomical and biomechanical characteristics of the lower limb are explained. The presentation of the connection between the psycho-physical consequences of injury of athletes and the type and method of performing "joint movements", especially jumps, clearly indicates their importance in sports - in prevention as well as and rehabilitation, and athlete's return to sport in general; and a more detailed view and analysis of the movements, ie. of jumps when performing alternate lateral jumps on one leg (eng. Side Hop Test–SHT), gives a completely new perspective and opens up a number of further possibilities, both in scientific and professional work. It is described that the performance of the SHT can be divided into four typical phases: lateral flight, lateral contact, medial flight, and medial contact. In this context, the application of more-advanced measurement systems beside stopwatches, such as video systems for kinematic analysis of movement (3D systems), platforms that measure the force of the surface reaction (the so-called force platforms), and optoelectric systems that measure the time between two contacts with the surface, may enable a more detailed analysis of the motor task. An additional presentation of previous researches that talk about the influence of fatigue on the quality of movement execution, ie. jumps round off the introduction of this dissertation.

The **objectives** of the work are precisely defined. The main objectives of the present study were to evaluate inter-rater reliability and concurrent validity of the stopwatch vs. force-plate SHT total time (TT) measurements, and to determine the number of sessions and trials required to minimize the effects of learning on the SHT TT and limb symmetry index (LSI). Another aim was to investigate the effects of fatigue of individual muscle groups of the lower extremities on the SHT spatiotemporal and kinetic characteristics.

In the **materials and methods** it is stated that: fifteen healthy male physical education students (age,  $23 \pm 3$  years; height,  $181 \pm 9$  cm; weight,  $72 \pm 6$  kg) were included in the study. In the testing procedure, the main task was to perform the SHT, where the subject stood on the test leg and then jumped from side to side as quickly as possible between two parallel lines 30 cm apart, for a total of 28 times or 14 cycles within each trial. Each participant completed seven these sessions separated by a rest period of at least 5–7 days. The SHT TT was recorded by a stopwatch. For more detailed assessment, the SHT was divided into four typical phases: lateral flight phase, lateral contact, medial flight phase, and medial contact, and a 3D system, force plate, and optoelectric system were applied.

In the **results** chapter, all obtained results are described in detail. The obtained results are stated very clearly and transparently, and are shown graphically.

The **discussion** is written clearly and comprehensively, with an adequate comparison of the results of this doctoral dissertation with the results of other researches.

The **conclusions** summarize the most important findings that came up from the results of the work. The used literature contains a list of 89 references.

## **B) Checking the originality of the doctoral dissertation**

Based on the Rulebook on the procedure for checking the originality of doctoral dissertations defended at the University of Belgrade and on the findings in the report from the iThenticate program, which checked the originality of the doctoral dissertation under the title: **„Evaluation of stability and symmetry of the lower limbs using the side hop jumps“**, authored by Sanja Mirković, we note that the determined index of text matching (Similarity Index) is 26%.

The most significant source of the mentioned degree of overlap (12% in total) is the overlap of parts of sentences in the text of the dissertation with the content of scientific publications that are the result of the work on this doctoral thesis, that is, with scientific publications where the candidate is the first author *Mirković, S. V., Đurić, S., Sember, V., Knežević, O. M., Pajek, M., Mirković, M. M., & Mirkov, D. M. (2022). Evaluation of the Limb Symmetry Index: The Side Hop Test. Frontiers in Physiology, 13, 874632.* and *Mirković S. V., Milovanović P., Knežević O. M. (2024). Primena testa naizmeničnih bočnih skokova na jednoj nozi u proceni funkcionalne stabilnosti donjih ekstremiteta. Medicinski podmladak, Vol. 77 Br. 3 (2026) DOI 10.5937/mp77-50923.* This is in accordance with Article 9 of the Rulebook on the procedure for checking the originality of doctoral dissertations defended at the University of Belgrade, especially if it is considered that both the dissertation and the published results are written in English. In the dissertation itself, all scientific works of the candidate with published parts of this dissertation are clearly listed, i.e. the paperworks derived from the dissertation are clearly cited in the doctoral dissertation itself, which is in accordance with the Rulebook on obtaining the title of Doctor of Medical Sciences at the Faculty of Medicine in Belgrade and in accordance with the rules of the publishers of the journals in which these paperworks were published.

The remaining 14% of matches are mainly due to the software recognizing certain common words and expressions used in this scientific field (e.g. „sports-related injuries”, “functional asymmetries in the lower limbs”, „effect of muscle fatigue”, “the ability of a muscle/joint to...”, „open and closed kinematic chain”, “associated with increased risk of injury”, „force plate“, “successful return to sport”); words related to testing the functional abilities of different types of athletes in laboratory conditions (e.g. „assessment of neuromuscular function“, „clinical and research conditions“, “between the lower limb and the ground”); words referring to the description of the examinee's testing procedure itself (,testing procedure“, „evaluate inter-rater reliability“, „concurrent validity“, „side hop test“, „limb symmetry index“, „return to sport“); anatomical terms (e.g. “the ankle joint complex”,

„anterior cruciate ligament“, „posterior cruciate ligament“, “hip abductors and knee extensors”, “articular surfaces of the femur and tibia”); the names of the planes (e.g. “movement in... sagittal, frontal, and transverse planes“); general phrases in the description of the research (e.g. “aim was to investigate effects”, “was divided into four phases”, “in the second part of the study”, „lower extremity injuries“, „objectives of the present study“) and the names of the indicators. Also, words and phrases that are common in processing of statistical data, especially when two-factor ANOVA is applied, and which were as well used in this dissertation when presenting the research results, were recognized истраживања (e.g. “Interaction between time and ... was not significant”, “did not show significant effect of...“, „partial  $\eta^2$ ...“, “significant effect of ... Pillai’s trace =.”, “effect (Pillai’s trace =.”, “condition (Pillai’s trace =.”, „significant interaction effect“). Bearing in mind that the results of this dissertation are presented on almost 40 pages, with an extensive statistical analysis based on the implementation of the same statistical method for different muscle groups and measurements, a large number of repetitions of these phrases are necessary, which the software recognized as matching parts of different works, although these results are not in any way related to those works.

In addition, there is an overlap of certain quotes, personal names and names of institutions and administrative phrases (e.g. "University of Belgrade Faculty of Medicine", "Institute of Anatomy", "Skeletal Biology", "Faculty of sport and physical education", "Ministry of Education, Science and Technological Development", "date of public defense", "scientific field", "According to Surveillance data from the National Collegiate Athletic Association...", "...in the Union of European Football Associations (UEFA )"), standard subheadings (Materials and methods), certain expressions in the thank you note, as well as accidental overlaps, all of which is in accordance with Article 9 of the Rulebook on the Procedure for Checking the Originality of Doctoral Dissertations Defended at the University of Belgrade.

Based on all of the above, and in accordance with Article 8, paragraph 2 of the Rulebook on the procedure for verifying the originality of doctoral dissertations defended at the University of Belgrade, we conclude that the report indicates the originality of the doctoral dissertation, and the ordered preparation procedure for its defense can be proceeded.

### **C) Brief description of the obtained results**

The TT of the SHT (stopwatch and force plate) of the left and right leg, and LSI (force plate) were obtained over seven sessions conducted 5–7 days apart. Time recordings of two raters were similar ( $t = -0.56$ ,  $p > 0.05$ ) with high reliability (all ICC  $> 0.99$  and CV%  $< 0.1$ ) and no systematic bias when compared with the force plate data ( $p > 0.05$ ; for raters 1 and 2). The TT improved across the sessions ( $F = 25.87$ ,  $p < 0.01$ ,  $\omega^2 = 0.18$ ) and trials ( $F = 68.15$ ,  $p < 0.01$ ,  $\omega^2 = 0.10$ ), with no significant interaction between the factors. No between-leg differences were detected ( $F = 0.52$ ,  $p > 0.05$ ,  $\omega^2 = 0.001$ ). LSI ranged from 0.999 to 1.055 across all sessions and trials (all  $p > 0.05$  and  $\omega^2 < 0.001$ ). In the second part of the study,

we showed that muscle fatigue significantly reduced the SHT spatiotemporal performance across various measures, including lateral flight time, medial flight time, lateral contact time, medial contact time, and TT. The cross-over effects to the non-fatigued leg were also present, particularly following the fatiguing procedures involving hip abductors and knee extensors. Lateral flight time was the most affected by muscle fatigue, especially of hip abductors and knee extensors. Diminished strength of knee extensors significantly reduced lateral flight time, lateral contact time, and TT. In addition, muscle fatigue altered movement patterns depending on the SHT phase. Based on these results, one can conclude that participants adopted more upright body positions following the fatigue, particularly when knee and hip extensors were fatigued. Increased impulse values post-fatigue reflect reduced efficiency and performance across muscle groups. Muscle fatigue significantly reduces performance in the SHT, with the hip abductors and knee extensors showing the most vulnerability. Based on the changes observed in the non-fatigued leg, the protocol conveyed in this study was strong enough to induce significant cross-over effect that was observed in multiple variables. These findings emphasize the importance of muscle endurance and the potential for compensatory mechanisms to affect overall stability and coordination in athletic performance. Nevertheless, further research is needed to elucidate if the evaluation of muscle onset timing may be of interest for the return to sports decision after knee and ankle injuries.

#### **D) Comparative analysis of the doctoral dissertation with results from the literature**

Published papers that investigated SHT kinematic are generally scarce, with methodological differences across the studies, mostly related to duration of the SHT and distance between the marks (30 cm or 40 cm), making it difficult to make comparisons across the studies (Itoh et al., 2016; Markström et al., 2018; Ono et al., 2023; Ortiz et al., 2011; Urhausen et al., 2022; Yoshida et al., 2011). Nonetheless, in line with the previously described purpose of the SHT as part of functional performance test battery, most of cited studies investigated the application of the side hop in the assessment of ACL injured or reconstructed participants, while Yoshida et al., (2011) and Ono et al., (2023) included individuals with chronic ankle instability. To the best of the author's knowledge, this research is only the second study to compare the SHT outcomes following the fatiguing protocol.

The only published study so far is by Verijken et al. (2022) who investigated the pre- and post-soccer match effects on SHT performance. In addition, they assessed differences in SHT outcomes between soccer players returning to sport after lower extremity injury and their healthy teammates. Interestingly, although other hop test that they used besides the SHT revealed negligible to small effect size differences pre- and post-match within both groups, the SHT test revealed large effect size difference for the injured leg of the players returning to competition. However, an important methodological difference should be outlined, and it concerns the SHT protocol. In the current study, participants were instructed to perform 28 jumps over a 30 cm distance as fast and as accurate as possible, while in the discussed study the SHT was performed over a 30 s period and the hops were counted (Verijken et al., 2022). Since the differences between both groups were negligible to small ( $d=0.00-0.36$ ), the

authors recommended use of additional, more demanding and sport-specific functional performance test for safe return to sport decision-making.

Since the current study is the first and the only one to investigate the effects of local muscular fatigue on neoSHT kinetic and kinematic performance variables, it is hard to discuss the obtained findings with respect to published studies. However, the obtained findings may be partly explained with help of research conducted by Gette et al., (2014) who observed changes in muscular activity over the course of a 30 s SHT in a group of healthy participants. The authors combined the electromyography with force platform recordings to study the onset of muscle activation with respect to SHT landings. It is important to note that the effects of fatigue were investigated within the 30 s SHT window: to discriminate between the first five successful hops were considered as non-fatigued condition, while the last five hops were considered as fatigued condition. Their findings revealed earlier activation onset times of knee extensor muscles prior to landing, but not for the knee flexor. They speculated that earlier activation of the knee extensors is likely associated with stiffening of the knee joint that may help anticipate impact loads under fatigue. The reason why this was not observed in knee flexor muscles is unclear.

Considering this study went above and beyond measuring kinetics and kinematic and providing comprehensive data on joint positioning during neoSHT phases, the findings will be also discussed in regards to published studies investigating biomechanics of the SHT performance. Applying biomechanical analysis may help clinicians and researchers bring educated decisions regarding potentially harmful loading strategies during the SHT and help identify individuals at higher risk of injury. Existing research on the Side-Hop test supports the findings that muscle fatigue impacts performance, particularly in dynamic movements requiring stability and coordination. The cross-over effects observed in hip abductors and knee extensors align with previous studies highlighting the interconnectedness of muscle groups and the systemic nature of fatigue. Additionally, the consistent impact on both legs for hip extensors and knee flexors corroborates the understanding of bilateral muscle activation and uniform load distribution during such tests.

#### **E) The list of candidate's published papers from the thesis:**

1. Mirković, S. V., Đurić, S., Sember, V., Knezevic, O. M., Pajek, M., Mirković, M. M., & Mirkov, D. M. (2022). Evaluation of the Limb Symmetry Index: The Side Hop Test. *Frontiers in Physiology*, 13, 874632.  
<https://doi.org/10.3389/FPHYS.2022.874632/BIBTEX>
2. Mirković S. V., Milovanović P., Knežević O. M. (2024). Primena testa naizmeničnih bočnih skokova na jednoj nozi u proceni funkcionalne stabilnosti donjih ekstremiteta. *Medicinski podmladak*, Vol. 77 Br. 3 (2026) DOI 10.5937/mp77-50923

## **F.) Conclusion (explanation of scientific contribution)**

Doctoral dissertation "EVALUATION OF STABILITY AND SYMMETRY OF THE LOWER LIMBS USING THE SIDE HOP TEST" by Sanja Mirković, MD, represents an original scientific contribution to the assessment of the stability of the joints of the lower extremities, both from the methodological aspect and in terms of the impact of fatigue on various performance elements of the test of alternating lateral jumps (the Side Hop Test, SHT), which can find further application in research in areas such as sports medicine, physical medicine and rehabilitation, orthopedics. The results of this work can be of significant practical and theoretical help to professionals involved in the prevention and rehabilitation treatment of injuries of lower extremity, especially knee and ankle injuries.

This doctoral dissertation was done according to all the principles of scientific research. The aims were precisely defined, the scientific approach was original and carefully chosen, and the work methodology was modern. The results were comprehensively and systematically presented and discussed, and appropriate conclusions were drawn from them.

Based on all of the above and bearing in mind the candidate's scientific work so far, the committee proposes to the Scientific Council of the Faculty of Medicine of the University of Belgrade to accept the doctoral dissertation of Dr. Sanja Mirković and approve her public defense in order to obtain the academic title of Doctor of Medical Sciences.

In Belgrade, July 15<sup>th</sup>, 2024.

Committee members:

Full Professor Marija Đurić, MD, PhD

---

Full Professor Vladimir Ilić, MD, PhD

---

Full Professor Dragan Mirkov, PhD

---

Associate Professor Mirko Grajić, MD, PhD

---

Full Professor Vladimir Jakovljević, MD, PhD

---

Mentors:

Professor Petar Milovanović, MD, PhD

---

Ass. Professor Olivera Knežević, PhD

---