

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА УНИВЕРЗИТЕТУ КРАГУЈЕВЦУ			
11.05.2018			
Одлука	Број	Датум	Место
	01/11570		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Предмет: Извештај Комисије за оцену писменог дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата мр Радуна Вуловића, дипл. маш. инж.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1/1305-19 од 23. 04. 2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Радуна Вуловића, дипл. маш. инж., под насловом:

Компјутерско моделирање и симулација биомеханичких карактеристика код спортиста

Одлуком Наставно научног већа Машинског факултета у Крагујевцу, бр. 01-1/321-17 од 17. 02. 2011. године, одобрена му је израда докторске дисертације под насловом: **"Компјутерско моделирање и симулација биомеханичких карактеристика код спортиста"**.

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја о подобности кандидата и теме за докторску дисертацију, која је одобрена за израду одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу (сада Факултета инжењерских наука у Крагујевцу), бр. 01-1/321-17 од 17. 02. 2011. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата мр Радуна Вуловића, дипл. маш. инж., под насловом **"Компјутерско моделирање и симулација биомеханичких карактеристика код спортиста"**, представља резултат мултидисциплинарног научно-истраживачког рада кандидата у следећим научним областима: биомеханика у спорту, прорачунска механика, дигитална обрада слике и информатика. На основу представљених теоријских основа, резултата експерименталних истраживања и изведених закључака, ова дисертација се може сматрати оригиналним научним радом.

Имајући у виду тематску ширину наслова дисертације, кандидат мр Радун Вуловић, дипл. маш. инж., је своје ангажовање на њеној изради усмерио ка три научно-техничке области: биомеханичка анализа скокова из места, компјутерско праћење кретања играча на фудбалским

утакмицама и развој нове методе за дијагностификовање спортске повреде предњег укрштеног лигамента колена.

За истраживање у области биомеханичке анализе скокова, кандидат се определио у време када је у Клиничко-болничком центру у Крагујевцу зачета идеја о формирању центра за анализу биомеханичке локомоторног система. Тада је одлучено да се биомеханичке анализе кретања пацијената, прошире и на биомеханичке анализе кретања спортиста. У том смислу, кандидат је проучио постојеће литературне биомеханичке моделе кретања, прилагодио их, и имплементирао кроз софтвер за анализу експерименталних података динамике скокова. Резултати његовог стручног и научног ангажовања у овој области су представњени у другом и трећем поглављу дисертације.

Резултати представљени у петом поглављу се односе на компјутерско праћење кретања играча на фудбалским утакмицама. Акцент је на примени алгоритама из области дигиталне обраде сигнала (слике), за детекцију и бележење трајекторије кретања играча (објекта) током фудбалске утакмице. Бележење трајекторије је неопходан предуслов за сваку даљу оцену способности играча. Кандидат је значајну пажњу поклатио одабиру адекватног литературног алгорита за ову намену, математички га детаљно описао, описао и неке његове модификације и на крају га успешно применио за развој новог софтвера. Посебан допринос кандидата се огледа у томе што његово софтверско решење има очигледну техно-економску вредност, будући да у нашој земљи нема сличних софтверских решења, а да су инострани комерцијални софтвери веома скупи.

Кандидат мр Радун Вуловић, дипл. маш. инж., је у шестом поглављу посебну пажњу посветио компјутерским симулацијама примењеним на анализу стања напона и деформација у анатомским структурама колена пре и после реконструкције предњег укрштеног лигамента. Будући да је повреда предњег укрштеног лигамента веома честа код спортиста, може се сматрати и спортском повредом, па је у том смислу била предмет интересовања кандидата и његовог учешћа у развоју нове методе за прецизну дијагностику степена повреде и анализу стања у хрскавичастим структурама зглоба колена. Предложена метода се показала као успешна, омогућивши лекарима да у квантификованом облику оцене степен повреде и стекну увид у то које анатомске структуре трпе највећа напрезања и деформације. На основу тих података, омогућено им је да самоувереније донесу одлуку о методи реконструкције лигамента и медицинском третману, уопште.

Комисија сматра да поједини резултати изнети у овој дисертацији имају значајну научну вредност јер представљају новину у том смислу. То се пре свега односи на резултате биомеханичке анализе скокова. Остали резултати такође заслужују да буду истакнути и то из два разлога: 1) плод су примене најновијих достигнућа из области науке и 2) представљају потпуно нова решења у информатичком и/или методолошком смислу и која до сада нису била плод домаћих аутора.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр Радун Вуловића, дипл. маш. инж., под насловом **"Компјутерско моделирање и симулација биомеханичких карактеристика код спортиста"**, представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој примењених наука у областима: биомеханике, моторне контроле, примењене информатике и рачунарског инжењерства. Кандидат је школовањем стекао добре теоријске основе из фундаменталних научних дисциплина релевантних за ова истраживања. Поред тога, поседује и завидно информатичко искуство, које му је омогућило да самостално развије нова софтверска решења, неопходна у истраживањима која је спроводио. Критички је анализирао и усвајао знања из бројних литературних извора који су се односили на истраживачке проблеме обрађене у дисертацији. На тај начин, био је у могућности да у свом раду примени најновија знања и достигнућа из предметних области.

Претходно споменуто, омогућило је кандидату да предложи три области у којима је видео највећи потенцијал за лично ангажовање: динамика локомоторног система, праћење кретања фудбалера на фудбалским утакмицама (област дигиталне обраде слике) и спортска медицина (област прорачунске механике). За сваку од области је у потребној мери изложио теоријске основе, тренутно стање научно-техничких достигнућа и правце развоја, а затим је до детаља описао предмет свог рада: мотив, поставку и извођење експеримента, анализу резултата, дискусију и закључак. Кандидат је поставио теоријске основе и дао смернице за потоња испитивања и могућа побољшања. У целини гледано, дисертација садржи солидну теоријску подлогу, неколико експеримента, самостално развијена софтверска решења за обраду података, оцену добијених резултата, коментаре неких феномена уочених у току анализа, као и одговарајуће закључке. Због свега тога, сматрамо да ова дисертација у целини представља оригиналан и самосталан научни рад.

Посебно истичемо да је кандидат захваљујући свом значајном информатичком искуству, самостално и веома успешно реализовао софтверска решења за веома разнородне проблеме у својој дисертацији. У том смислу посебно истичемо: софтвер за динамичку анализу скокова и софтвер за аутоматско бележење трајекторије играча на фудбалским утакмицама. Будући да таква софтверска решења до сада код нас нису постојала, сматрамо да је кандидат својом иницијативом у овим областима, покренуо процес који ће имати позитивног одјека како у академској заједници, тако и код спортских друштава.

3. Биографски подаци и преглед остварених резултата рада кандидата

Радун Вуловић је рођен 07. 09. 1972. године у Крагујевцу. Ожењен је и има једно дете. Основну школу „Иво Лола Рибар“ је завршио 1987. године, са одличним успехом. Носилац је дипломе *Вук Караџић*. Такође са одличним успехом је 1991. године завршио Прву крагујевачку гимназију на смеру *Математичко-програмерски сарадник*.

Машински факултет у Крагујевцу завршио је 1997. године на смеру за *Машинске конструкције и механизацију*, са просечном оценом 7,74. Дипломски рад под насловом *Примена КХЗ дијаграма за оцену заварљивости челика*, одбранио је са оценом 10 (десет). Последипломске студије на Машинском факултету у Крагујевцу уписао је школске 1997/98. године на смеру *Производно машинство*. Положио је све предвиђене испите са просечном оценом 9.66 и стекао услов за израду магистарске тезе под насловом *Теоријско-експериментална оцена заварљивости челика повишене јачине*, коју је успешно одбранио 2006. године.

Одмах по завршетку редовних студија, запослио се у фабрици „Застава аутомобили“ а.д. Био је ангажован у области контроле квалитета, најпре у *Контроли квалитета фабрике Каросерија*, а од 2001. год. у *Дирекцији квалитета*. Прошао је све развојне фазе, од приправничког места *Пројектант I*, па до стицања највишег степена стручног звања *Водећег пројектанта технологије контроле квалитета*. Учествовао је на *Градском такмичењу металаца* 1998. год., као члан жирија за оцену практично изведених радова РЕЛ поступком заваривања. Следеће године, на *Републичком такмичењу металаца*, изабран је за члана главног жирија и главног оцењивача свих практично изведених заваривачких радова. Од марта 2007. до априла 2008. год., привремено је прекинуо радни однос у фабрици аутомобила, ради стручног усавршавања на Машинском факултету у Крагујевцу код др Ненада Филиповића, у то време ванредног професора. На факултету је био ангажован у својству сарадника на пројекту. После тога, наставио је активни радни однос у фабрици „Застава аутомобили“ а.д., на свом пређашњем радном месту. Од почетка 2011. године, запослен је као истраживач-сарадник у Истраживачко развојном центру за биоинжењеринг – БиоИРЦ у Крагујевцу.

Учествовао је у реализацији већег броја научно-истраживачких пројеката и до сада је објавио 28 радова у научним часописима са рецензијом и у зборницима радова са домаћих и међународних научно-стручних скупова. Четири рада су објављена на SCI листи у категорији М23.

Рад у међународном часопису (M23)

1. Mrdaković, V., Ilić, D., **Vulović, R.**, Matić, M., Janković, N., Filipović, N.: Leg stiffness adjustment during hopping at different intensities and frequencies, *Acta of bioengineering and biomechanics*, ISSN: 1509-409X, Vol. 16, No. 3, pp. 69-76, 2014.
2. Filipović, N., Isailovic, V., Nikolic, D., Peulic, A., Mijailovic, N., Petrovic, S., Cukovic, S., **Vulovic, R.**, Matic, A., Zdravkovic, N., Devedzic, G., Ristic, B.: Biomechanical Modeling of Knee for Specific Patients with Chronic Anterior Cruciate Ligament Injury, *Computer Science and Information Systems, ComSIS*, ISSN: 1820-0214, Vol. 10, No. 1, pp. 525-545, DOI:10.2298/CSIS120531014F, 2013.
3. N., Filipović, **R.**, **Vulović, A.**, Peulić, R., Radaković, Dj., Kosanić, B., Ristić: Noninvasive determination of knee cartilage deformation during jumping, *Journal of Sports Science and Medicine (JSSM)*, ISSN: 1303-2968, Vol. 8, No. 4, pp. 584-590, 2009.

Учешће на научно-истраживачким пројектима

1. Оквирни пројекат: FP7 –EMBALANCE: *A Decision Support System incorporating a validated patient-specific, multiscale Balance Hypermodel towards early diagnostic Evaluation and efficient Management plan formulation of Balance Disorders* (2013-2016).
2. Оквирни пројекат: ICT-FP7 – 224297. *Multi-level patient-specific artery and atherogenesis model for outcome prediction, decision support treatment, and virtual hand-on training* (2012-2013).
3. Национални пројекат TR12007, финансиран од стране Министарства за науку и технолошки развој: *Развој софтвера и хардвера из области биоинжењеринга са применом у клиничкој пракси* (2008-2010). Руководилац пројекта: проф. др Ненад Филиповић. Носилац истраживања: Машински факултет у Крагујевцу.
4. BSEC project: *New cardiovascular planning and diagnostic tool for coronary arteries in BSEC countries using computational simulation* (2009-2010). Руководилац пројекта: др Ненад Филиповић, ванр. проф.
5. Национални пројекат TR-6209A, финансиран од стране Министарства за науку и заштиту животне средине: *Развој компјутерских метода и софтвера за моделирање и симулације у области општег и биомедицинског инжењеринга* (2005-2007). Rukovodilac projekta je prof. dr Miloš Kojić. Nosilac istraživanja Mašinski fakultet Kragujevcu.
6. Пројекат истраживања и развоја у области технологија: Eureka E!3595: *Welcon – European welding consultant tool*, (2006-2007). Пројекат је финансиран од стране Eureka network.

4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата мр Радуна Вуловића, дипл. маш. инж., под насловом "**Компјутерско моделирање и симулација биомеханичких карактеристика код спортиста**", усклађена је по обиму и садржају теми одобреној од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторске дисертације.

Докторска дисертација је изложена на укупно 121 страници текста формата А4, уз 9 уводних страница на којима су дати: предговор, резиме на српском и енглеском језику, садржај и преглед коришћених ознака и скраћеница. Текст дисертације је илустрован са 47 слика (цртежа, дијаграма, алгоритама и фотографија) и 29 таблица. На последњих осам страница, наведен је списак од 141 библиографске јединице, које су директно везане за област истраживања или су њој блиске. Дакле, дисертација се састоји из: уводних напомена, 6 поглавља, једног додатка и списка коришћене литературе.

Циљ дисертације је да се из више аспеката покрије област биомеханике у спорту. Отуда и три практично различите области које су у њој обрађиване: динамика локомоторног система, праћење кретања фудбалера на фудбалским утакмицама и дијагностика спортских повреда. Сва истраживања, у првом реду у смислу аквизиције и обраде података, уско су везана са електронско-сензорским и информатичким системима. Аутор био у прилици да самостално развије нова софтвере за моделирање понашања и карактеристика система, било да је реч о динамици локомоторног система или о праћењу кретања играча на видео снимцима фудбалских утакмица. Будући да домаћих наменских софтвера таквих могућности код нас нема, као и да је од стране одређених институција и спортских друштава исказана потреба за њиховим развојем, истичемо да је кандидат са успехом моделирао, направио и тестирао, односно применио своја софтверска решења и приказао их у дисертацији.

Обимна теоријска и експериментална истраживања спроведена у овом раду, указују на то да за успешно решавање проблема из области биомеханике у спорту, није довољно располагати само спортским реквизитима, савременом мерном опремом и одговарајућим софтверима, већ да су поред спортиста (испитаника) и пацијената неопходни и специјализовани тимови стручњака различитих професија: машински и електро инжењери, информатичари, лекари, професори физичке културе и др. Из делова дисертације у којима се описују експерименталне поставке и извођења експеримената, може се закључити да је кандидат са колегама поменутих струка, активно учествовао у њиховој реализацији. Будући да је више од деценије радио у индустријској контроли квалитета, своја организациона и практична искуства у раду са мерном опремом, искористио је да осмисли и/или помогне у дизајну експеримената који су описани у дисертацији. Један од циљева дизајна експеримената био је и да у економском смислу буду што прихватљивији, па је кандидат то очигледно имао у виду при дизајну сваког од њих. У том смислу, посебно се истиче решење проблема праћења кретања играча на фудбалским утакмицама, у ком су од мерне опреме коришћене само две full-HD камере, док је софтвер за обраду снимака, кандидат потпуно самостално развио. Тестови су показали да резултати примене тог софтвера одговарају реалним вредностима, па поред тог резултата, не може а да се не примети и његова економска исплативост, посебно ако се има у виду да комерцијални системи тог типа коштају неколико десетина пута више.

Кандидат у својој дисертацији препоручује нову и савремену методу за дијагностику спортске повреде предњег укрштеног лигамента колена. Метода је осмишљена тако да се неинвазивним путем, снимањем хода пацијента и снимањем унутрашњих структура колена помоћу магнетне резонантне томографије, прикупи довољно података за примену методе коначних елемената за прорачун напона и деформација у хрскавичастим структурама колена (картлицима и менискусима), пре и после реконструкције предњег укрштеног лигамента. У оквиру дискусије ове методе, кандидат посебно разматра везу између различитих фаза циклуса хода пацијента и напонско-деформационог стања у хрскавичастим структурама зглоба колена. Налази које су то зоне најоптерећеније, у којим фазама хода и колико износи побољшање после изведене реконструкције.

Као што је напоменуто, излагање је сврстано у шест поглавља и једном додатку. Прва три поглавља се односе на функционалну анатомију и динамику локомоторног система током извођења скокова, следећа два су посвећена праћењу кретања играча на фудбалским утакмицама, док су последње поглавље и додаток, посвећени новој методи за дијагностику повреде предњег укрштеног лигамента и анализу резултата његове реконструкције. Следи списак поглавља:

1. Функционална анатомија доњих екстремитета и биомеханички принципи скокова из места
2. Биомеханички принципи извођења поскока – утицај фреквенције и интензитета извођења на крутост ногу
3. Биомеханички принципи извођења вертикалних суножних скокова
4. Детекција и праћење кретања објеката на видео снимцима

5. Примењени алгоритми и софтвер за праћење кретања објеката на видео снимцима
 6. Компјутерске симулације у биомеханици – биомеханичка анализа стања анатомских структура колена после реконструкције предњег укрштеног лигамента
- A. Модел коначних елемената којим се описује кретање флуида кроз порозне средине

На почетку другог, трећег, петог и шестог поглавља, дати су кратки уводи у проблематику која се обрађује, а на крају сваког од њих су приложени резултати и одговарајућа дискусија. Прво и четврто поглавље, надопуњују и додатно разјашњавају тематику која се обрађује у поглављима која следе после њих. Додатком А се до детаља појашњава математички аспект методе изложене у шестом поглављу.

Прво поглавље, практично представља увод у динамику локомоторног система. Најпре је у анатомско-функционалном смислу дат опис локомоторног система доњих екстремитета са нагласком на функцију најважнијих зглобова (скочни, колена, кук), и мишићно-тетивног комплекса, који имају доминантну улогу у кретању. У другој половини поглавља, изложене су неке од стандардних експерименталних и прорачунских метода за анализу кретања.

Друго поглавље садржи анализу утицаја неколико фактора који утичу на карактеристике поскока испитаника, а који су до сада веома мало или нимало обрађивани у литератури. Поред анализе утицаја фреквенције извођења поскока на биомеханичке варијабле испитаника, анализиран је и утицај висине одраза претходно изведеног поскока на биомеханичке варијабле поскока који следи а што представља новину у истраживачком смислу.

Треће поглавље је посвећено анализи утицаја висине одраза на биомеханичке параметре субмаксималних вертикалних суножних скокова са амортизационом припремом (CMJ), као и анализи истовременог утицаја висине платформе и висине одраза на биомеханичке параметре субмаксималних доскок-одскок скокова (DJ). У поглављу је дат и кратак осврт на биомеханику вертикалних суножних скокова без амортизационе припреме (SJ), али они нису били део експерименталних истраживања, јер они представљају упрошћенију верзију вертикалних суножних скокова са амортизационом припремом. На почетку поглавља је дат детаљан опис свих скокова, уз одговарајуће дијаграме којима се описује њихова биомеханика. Даље је описан експеримент за биомеханичку анализу CMJ и DJ скокова. Експериментална поставка је конципирана тако да омогући анализу утицаја висина платформе и одраза на биомеханичке параметре CMJ и DJ скокова, респективно. У циљу обраде огромног броја експерименталних података, кандидат је самостално развио потпуно нови софтвер за израчунавање свих кинематичко-динамичких варијабли поменутих скокова. Експеримент је садржао и електромиографска (EMG) мерења, тако да је последња трећина поглавља посвећена анализи и дискусији статистичких резултата кинематичко-динамичких и електромиографских варијабли.

Четврто поглавље садржи нека општа разматрања из области дигиталне обраде слике и техника праћења кретања објеката на видео снимцима. У том смислу, у неопходној мери су објашњене метеоде сегментације слике уз приложене псеудо-кодове алгоритама који су коришћени за израду апликације приказане у петом поглављу.

Пето поглавље је посвећено практичној примени mean-shift алгорита и неких његових побољшања за праћење кретања играча на фудбалским утакмицама. Најпре су укратко описане постојеће варијанте овог алгорита, а затим је и сам алгоритам описан до детаља. Будући да примена овог алгорита није дала задовољавајуће резултате на тест примеру реалне фудбалске утакмице из домаћег првенства, кандидат је применио две надоградње које се могу наћи у литератури, са којима је постигао жељени резултат. Све је детаљно описао и критички анализирао, уз напомену да је потпуно самостално развио софтвер за примену и анализу mean-shift алгорита и његових надоградњи. На крају поглавља, такође детаљно, описује математичку технику мапирања простора дигиталне слике у простор реалног фудбалског терена, што је било неопходно за софтверску визуелизацију резултата праћења кретања играча.

Шесто поглавље описује нову клиничку методу за неинвазивно и прецизно одређивање степена повреде и реконструкције предњег укрштеног лигамента колена (ACL), будући да повреда ACL-а представља честу спортску повреду. И ово поглавље садржи опис експеримента

којим су одређиване транслације тибиге у односу на фемур током нормалног хода, пре и после реконструкције ACL-а. Померања забележена системом камера и геометрија добијена анализом скупа снимака магнетне резонантне томографије зглоба колена, представљали су улазне податке за примену методе коначних елемената за анализу напонско-деформационог стања у анатомским целинама зглоба, а пре свега у хрскавичастим структурама: тибигални и феморални картлици и менискуси. Кандидат наглашава да је методом омогућено да се у мерљивом облику донесе закључак било о степену повреде ACL-а, било о степену успешности реконструкције, што у ранијој клиничкој пракси није било могуће.

Додатак А представља детаљан модел коначних елемената којим се описује кретање флуида кроз порозне средине. Њиме се у математичком смислу појашњава прорачун напонско-деформационог стања у хрскавичастим структурама колена и део је методе представљене у шестом поглављу.

Литература - приказ библиографских јединица коришћених у овом раду.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат мр Радун Вуловић, дипл. маш. инж., је у оквиру докторске дисертације извршио систематизацију постојећих знања и искустава у делу теоријских и експерименталних истраживања биомеханике извођења скокова, дигиталне обраде слике у области праћења кретања објеката на видео снимцима и метода дијагностике повреде предњег укрштеног лигамента колена. Током израде дисертације, кандидат је дошао до резултата и закључака који имају своје место и значај у научно-теоријском, а посебно у практичном смислу. Најважнији научни резултати докторске дисертације јесу:

- Висина претходно изведеног поскока утиче на максималну висину наредног поскока. То се највише огледа кроз повећано ангажовање скочног зглоба на вишим фреквенцијама (2.2 Hz), односно кроз повећано ангажовање зглоба колена на оптималној (природној) фреквенцији (~1.43 и ~1.81 Hz за кретне задатке MX и P₃MX, респективно).
- Није запажен статистички значајан утицај висине претходног поскока на вертикалну крутост система.
- При извођењу DJ скокова, висина платформе има, али висина одраза нема, значајанији утицај на преактивацију мишићно-тетивног комплекса доњих екстремитета; преактивација расте са повећањем висине платформе.
- Са повећањем висине платформе код DJ скокова, повећава се и ниво мишићне активације у раној фази контакта са подлогом.
- Висина одраза код DJ скокова веома утиче на ниво мишићне активације у раним фазама контакта, али само онда када се скокови изводе са висине платформе од 20 cm.
- Висина одраза DJ скокова, утиче на мишићну активацију у каснијим фазама контакта.
- Вертикална крутост DJ скокова се повећава са повећањем висине платформе а смањује са повећањем висине одраза.
- И код DJ, и код CMJ скокова, висина одраза утиче на активност зглобова колена и кука, али не и на скочни зглоб.
- И код DJ, и код CMJ скокова, утицај на зглобове кука и колена се огледа у повећању флексије ових зглобова са повећањем висине одраза, као и у значајном повећању екстензионог момента у зглобу кука.
- Развијен је нови софтвер за праћење кретања играча на фудбалским утакмицама. Примењени алгоритам је Corrected Mean Shift са извесним модификацијама.

- Трајекторије играча на тест примеру једног сегмента реалне фудбалске утакмице су исправно забележене без икаквих додатних корекција.
- Представљена је нова клиничка метода за неинвазивно и прецизно одређивање степена повреде предњег укрштеног лигамента (ACL). Применом методе коначних елемената, омогућен је преглед расподеле напона и деформација у хрскавичастим структурама колена пре и после реконструкције ACL-а.
- Приказани су резултати анализе квалитета реконструкције ACL-а реалног пацијента. Резултати показују очигледно и мерљиво: а) смањење транслације тибије у односу на фемур у току једног циклуса хода и б) смањење напона и деформација у хрскавичастим структурама зглоба колена.

6. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Може се закључити, да је кандидат дошао до значајних оригиналних резултата и информатичко-техничких решења, која имају веома велики потенцијал када је реч о њиховој примени у пракси.

Теоријски део рада садржи општа, а где је то било неопходно и детаљна објашњења, која су од значаја за проблематику сваке од обрађиваних области. Општа објашњења представљају увод у проблематику и дата су ради лакшег разумевања основних појмова и појава. Могу се посматрати и као повод због кога је кандидат спровео истраживања описана у дисертацији, односно приступио развоју наменских софтвера. Детаљна објашњења су дата због разјашњења специфичности неког од проблема и лакше разумевање експерименталних резултата. Значај теоријског дела овог рада, састоји се у следећем:

- Код плиометричке методе тренинга, узајамна зависност између временског ограничења задатог фреквенцијом извођења поскока и магнитуде ексцентричног оптерећења (висина одраза) у мишићном циклусу издужење-скраћење, захтева ангажовање различитих група мишића доњих екстремитета, па то треба узети у обзир при давању упутстава спортистима.
- Ако се спортистима да упутство везано само за интензитет поскока на слободно изабарној фреквенцији, нпр. да остваре одређену висину одраза, онда ће зглоб колена имати главну улогу у испуњењу тог задатка, тако да ће његови мишићи екстензори бити под највећим оптерећењем. Узастопни поскоци са максималним интензитетом ће са своје стране само увећати тај напор. Изводећи поскоке на слободно изабарној фреквенцији, испитаници ће остварити готово 25% веће висине одраза ако припремне поскоке изведу са максималним интензитетом, а не са неком висином одраза која њима највише одговара.
- Повећање фреквенције поскока на нпр. 2.2 Hz у односу на оптималну (слободно изабарну) фреквенцију (PFH), посебно се одражава на повећано ангажовање скочног зглоба, повећавајући његову крутост и оптерећење одговарајуће мишићне групе.
- Запажено је да на фреквенцији поскока од 2.2 Hz, испитаник остварује ~18% веће висине поскока када су припремни поскоци субмаксимални, него када су сви максимални.
- Скочни зглоб се лако адаптира на промену интензитета механичких услова скокова, али то битно не утиче на дозирање испољене перформансе у виду одскока на различите субмаксималне висине. Другим речима, скочни зглоб мало доприноси висини одскока, па то треба имати у виду када се дефинише програм тренинга.
- За разлику од мишића скочног зглоба, да би се постигла максимална висина одраза, потребно је максимално вољно ангажовати мишиће опружаче колена и кука. У том смислу, посебно се истичу двозглобни мишићи натколенице: бицепс феморис и ректус

феморис, који услед своје специфичне локомоторне функције повезивања активности у два суседна зглоба, и те како утичу на повећање висине одраза.

- Запажено је да доскоци са висине од 60 cm производе вишак акумулиране енергије у мишићно-тетивном систему доњих екстремитета, што може да омете координационе способности испитаника (постоји опасност од повреда), тако да не буду у могућности да остваре задату висину одскока. То значи да доскоци са висина већих од 40 cm, негативно утичу на механизам контроле мишићног циклуса издужење-скраћење, те се контрола у том случају изводи неким другим механизмима интер- и интрамускуларне координације. Ово је веома корисна информација за спортске тренере који спроводе плиометријске тренинге.
- Развијен је потпуно нов софтвер за кинематичко-динамичку анализу поскока и суножних вертикалних скокова (DJ, CMJ, SJ). Може се препоручити за коришћење свима који се баве проучавањем динамике скокова, или пак спортским радницима – тренерима, који су заинтересовани за мерење и праћење физичких способности спортиста.
- Развијен је нов софтвер за аутоматизовано праћење кретања играча на фудбалским утакмицама. Резултати његове примене су показали изузетно слагање са експерименталним мерењима. Његова примена није ограничена само на фудбалске утакмице, већ се може применити и за друге сличне потребе, нпр. праћење кретања играча на другим спортским такмичењима, за праћење саобраћаја и тд.
- Предложеном методом за дијагностику повреде предњег укрштеног лигамента, може се утврдити тачан степен повреде.
- Истом методом је могуће тачно одредити напонско-деформационо стање у анатомским структурама колена, пре и после реконструкције лигамента у различитим фазама циклуса хода. Од посебног значаја је утврђивање поменутог стања у хрскавичастим структурама колена: картлици и менискуси. Лекарима је омогућено да поред визуелног увида у места која трпе највећа оптерећења, оцене успешност реконструкције и у квантификованом облику. Увид у напонско-деформационо стање анатомских структура колена пре реконструкције предњег укрштеног лигамента, омогућава им да са већом сигурношћу донесу одлуку о третману повреде.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Највећи део научних резултата, произашлих из ове дисертације, делимично је већ верификован објављивањем већег броја научно-стручних радова у међународним научним часописима, као и на међународним и националним научним скуповима.

Комисија сматра да истраживања и још необјављени резултати ове докторске дисертације, пружају обиман и користан материјал за даље објављивање у међународним и водећим националним часописима и скуповима, који се односе на биомеханику скокова и дигиталну обраду слике у домену праћења кретања објеката на видео снимцима.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата мр Радуна Вуловића, дипл. маш. инж., у потпуности, како по обиму, тако и по квалитету, одговара теми пријављене дисертације, одобрене одлуком бр. 01-1/321-17 од 17. 02. 2011. године, од стране Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу (сада Факултета инжењерских наука у Крагујевцу).

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију. Структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

За време израде докторске дисертације, кандидат мр Радун Вуловић, дипл. маш. инж., је дошао до неколико оригиналних резултата приказаних у дисертацији, који представљају значајан допринос области која се односи на биомеханику и моторну контролу скокова. Поред тога, кандидат је самостално развио софтвере за биомеханичку анализу скокова и аутоматско праћење кретања играча на фудбалским утакмицама и тако у практичном смислу допринео унапређењу примене компјутерских метода у науци о спорту. У области спортске медицине, дао је значајан допринос развоју неинвазивне методе за дијагностику повреде предњег укрштеног лигамента колена и оцену степена његове реконструкције.

Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада, да поседује способност системског приступа решавању задатака и проблема и да обилато користи домаћу и страну стручну литературу. При томе је, користећи своје професионално образовање и значајно радно искуство, показао способност да овој сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу дефинисања закључака и добијања конкретних и у пракси применљивих резултата.

Значајан део резултата до којих је кандидат дошао у току израде ове дисертације, публикован је у више коауторских радова који су објављени у међународним и националним часописима и конференцијама.

На основу свега изнетог, Комисија за преглед и оцену писменог дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата мр Радуна Вуловића, дипл. маш. инж., једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

„Компјутерско моделирање и симулација биомеханичких карактеристика код спортиста“

по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности испуњава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, да овај Извештај у потпуности прихвати и закаже јавну усмену одбрану наведене дисертације.

У Крагујевцу и Београду, маја 2015. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

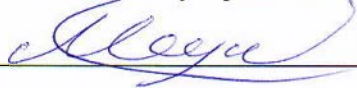
1. Др Радован Славковић, ред. проф.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



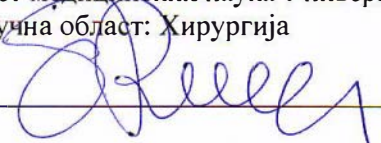
2. Др Александар Пеулић, ванр. проф.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Рачунарска техника



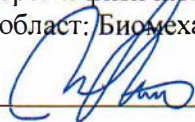
3. Др Бранко Ристић, ванр. проф.

Факултет медицинских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Хирургија



4. Др Душко Илић, ред. проф.

Факултет спорта и физичког образовања Универзитета у Београду
Ужа научна област: Биомеханика, Моторна контрола



5. Др Ненад Филиповић, ред. проф. (ментор)

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство

