

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Данијеле Аранђић, мастер инж. електротехнике и рачунарства

Одлуком бр. 5041/08-3 од 11.07.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Данијеле Аранђић, мастер инж. електротехнике и рачунарства под насловом

Утицај параметара експозиције и технике снимања на пацијентну дозу и квалитет слике у компјутеризованој томографији

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Данијела Аранђић је школске 2008/2009. године уписала докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Нуклеарна, медицинска и еколошка техника. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке бр. 24-04/22-2008/5041 од 13.10.2015.године.

Тему докторске дисертације под називом "Утицај параметара експозиције и технике снимања на пацијентну дозу и квалитет слике у компјутеризованој томографији" пријавила је 28.05.2015. године. Дана 04.06.2015. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно–научном већу на усвајање. Наставно–научно веће именovalo је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5041/08-1 од 30.06.2015. године) у саставу:

1. Др Јован Цветић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду,
2. Др Ружица Максимовић, ванредни професор Медицинског факултета Универзитета у Београду и
3. Др Вујо Дрндаревић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Испит о подобности теме и кандидата (докторски испит) одржан је 01.07.2015. године при чему је добила оцену "задовољно". Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5041/08-2). Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број одлуке 61206-3782/2-15 од 15.09.2015. године).

Кандидаткиња је 23.06.2016. године предала докторску дисертацију на преглед и оцену. Дана 28.06.2016. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (број одлуке 5041/08-3 од 11.07.2016. године) у саставу:

1. Др Оливера Цирај-Бјелац, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду,
2. Др Предраг Маринковић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду,
3. Др Јован Цветић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду,
4. Др Ружица Максимовић, ванредни професор Медицинског факултета Универзитета у Београду и
5. Др Вујо Дрндаревић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области техничких наука – електротехника и рачунарство и ужој научној области нуклеарна техника за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

За израду докторске дисертације именована су два ментора:

1. Др Оливера Цирај-Бјелац, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду и
2. Др Предраг Маринковић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Др Оливера Цирај-Бјелац је ванредни професор на Електротехничком факултету Универзитета у Београду и научни саветник у Институту за нуклеарне науке Винча Универзитета у Београду. Бави се проблемима медицинске радијационе физике и заштите од јонизујућих зрачења. Аутор је 180 научних и стручних радова, објављених у часописима и саопштених на скуповима међународног и националног значаја. Објавила је 60 радова у међународним часописима. Њени радови су до сада, не рачунајући аутоцитате, цитирани 272 пута. Активан је учесник неколико међународних и националних научних пројеката из области радијационе физике и заштите од зрачења. Члан је радне групе број 12 водеће групације научно истраживачких организација у области дозиметрије јонизујућих зрачења ЕУРАДОС, била је члан радне групе 78 Међународне комисије за заштиту од зрачења (ICRP) за израду публикације ICRP 117 "Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures outside the Imaging Department" и учествовала у изради и рецензији више докумената Међународне Агенције за атомску енергију на тему заштите од зрачења у медицини. Руководилац је акредитоване лабораторије за радијациона мерења у Институту за нуклеарне науке Винча Универзитета у Београду.

Др Предраг Маринковић је редовни професор на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Бави се проблемима физике и технике нуклеарних реактора, методама

формирања медицинске слике у нуклеарној медицини и дијагностичкој радиологији и методама реконструкције томографске слике. Аутор је и коаутор седам књига, четири ауторизоване скрипте и већег броја научних и стручних радова објављених у часописима и саопштених на скуповима међународног и националног значаја. Добитник је Октобарске награде града Београда за дело "Хибридни брзо-термички систем HERBE" у оквиру групе научника са Електротехничког факултета и из Института за нуклеарне науке Винча Универзитета у Београду. Рецензент је радова на домаћој конференцији ЕТРАН и међународној конференцији YUNSC.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Данијела Аранђић је рођена 08.04.1980. године у Београду. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписала је 1999. године. Дипломирала је на смеру за Биомедицински и еколошки инжењеринг 2006. године када је и одбранила дипломски рад под називом "Пацијентне дозе и оптимизација праксе у дијагностичкој радиологији". На истом факултету и истом смеру 2007. године уписала је мастер академске студије које је завршила 2008. године одбраном мастер рада под називом "Мерење расејаног зрачења у околини дијагностичког рендген-апарата: теоријски и експериментални аспекти". Докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписала је 2008. године, модул Нуклеарна, медицинска и еколошка техника.

Истраживачки рад Данијеле Аранђић одвија се у области пацијентне дозиметрије у дијагностичкој и интервентној радиологији и заштите од зрачења професионално изложених лица. Аутор је и коаутор укупно 78 публикација од чега 20 у међународним часописима (3 из категорије M21, 5 из категорије M22 и 12 из категорије M23). У текућем пројектном циклусу, као истраживач из категорије A2, учествује на 2 пројекта Министарства за науку: "Нове технологије за мониторинг и заштиту животног окружења од штетних хемијских супстанци и радијационог оптерећења" (број: 43009) и "Нови приступ проблемима заснивања квантне механике са аспекта примене у квантним технологијама и интерпретацијама сигнала различитог порекла" (број: 171028). Знања из области којом се бави стекла је и додатним усавршавањем на међународним курсевима, семинарима и стручним састанцима. Учествовала је на 6 међународних и 10 домаћих конференција.

Од 2007. године запослена је у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине Института за нуклеарне науке Винча Универзитета у Београду. У звање истраживач-сарадник изабрана је 2009. године. Од 2013. године обавља посао техничког руководиоца у Сектору за дозиметрију акредитоване Лабораторије за испитивање. Члан је радне групе број 12 водеће групације научно истраживачких организација у области дозиметрије јонизујућих зрачења ЕУРАДОС и редовни је предавач у Центру за перманентно образовање ИНН Винча из области дозиметрије и заштите од зрачења. На 53. конференцији ЕТРАН 2009 презентovala је рад који је у оквиру секције Нуклеарна техника проглашен за најбољи у категорији "Рад младог истраживача". Члан је Друштва истраживача Винча (ДИВ) и члан организационог одбора Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе (ДЗЗСЦГ). Редовни је предавач на манифестацијама "Отворена врата Института Винча" и на тај начин доприноси промоцији науке у Србији.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација обликована је према Упутству за обликовање докторске дисертације и Упутству за формирање репозиторијума докторских дисертација Универзитета у Београду. Састоји се од насловне стране на српском и енглеском језику, стране са подацима о

менторима и члановима комисије, резимеа на српском и енглеском језику, садржаја, текста рада по поглављима, списка коришћене литературе, прилога и стране са биографијом аутора. Дисертација обухвата 140 страна са 31 сликом, 43 табеле и 250 библиографских референци. Текст дисертације се састоји од укупно осам поглавља. Резултати истраживања спроведених у оквиру докторске дисертације приказани су у поглављима три до седам. Свако од ових поглавља садржи увод, материјале и методе, резултате и дискусију а на крају сваког поглавља дат је закључак као и списак објављених радова који се односе на резултате у датом поглављу. Додатна теоријска разматрања, опис мерне и испитне опреме као и споредне методе које су коришћене у оквиру истраживања а нису директно везане за приказане резултате дате су у прилозима дисертације. Текст дисертације обликован је кроз следећа поглавља:

1. Увод
2. Медицинска излагања у компјутеризованој томографији
3. Изложеност пацијената у компјутеризованој томографији
4. Изложеност пацијената током процедуре КТ перфузија мозга
5. Изложеност пацијената у педијатријској компјутеризованој томографији
6. Оптимизација праксе у педијатријској компјутеризованој томографији
7. Оправданост прегледа у педијатријској компјутеризованој томографији
8. Закључак

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу дат је кратак преглед постојећег стања у области докторске дисертације и идентификовани су актуелни проблеми који представљају мотивацију за истраживање спроведено у оквиру докторске дисертације. Међу мотивационим факторима посебно је наглашена актуелност истраживања о излагањима пацијената у компјутеризованој томографији са фокусом на високосензитивним групама пацијената и високодозним прегледима. Дефинисани су циљеви истраживања, дат је кратак преглед садржаја дисертације и подаци о научним радовима који су објављени у оквиру докторске дисертације.

У другом поглављу дати су теоријски основи медицинских излагања у компјутеризованој томографији. Описани су основни принципи компјутеризоване томографије и принцип рада рендген-апарата за компјутеризовану томографију (КТ уређаја). С обзиром на специфичности излагања код оваквих процедура дате су и дефиниције дозиметријских величина и јединица у компјутеризованој томографији. Затим је дат детаљан преглед постојећих података о нивоима пацијентних доза и ризика услед излагања јонизујућим зрачењима у компјутеризованој томографији. Основни принципи заштите од зрачења који се примењују на медицинска излагања, оправданост прегледа и оптимизација протокола, такође су описани у овом поглављу. Посебан значај у оквиру поменутих тема дат је излагањима у педијатријској компјутеризованој томографији.

У трећем поглављу приказани су први резултати одређивања нивоа пацијентних излагања у компјутеризованој томографији. Иницијално, прикупљање података вршено је на узорку од 5% од укупног броја КТ уређаја у Србији а у овом случају обухваћени су били само одрасли пацијенти. На основу података о вредностима дозиметријских величина, физичко-техничких параметара, параметара експозиције и врсте КТ уређаја извршена је анализа у смислу поређења са до сада публикованим подацима, утврђивања односа између врсте КТ уређаја и пацијентне дозе и могућности за оптимизацију постојећих протокола.

У четвртном поглављу приказани су резултати испитивања нивоа пацијентних излагања у процедури перфузиони имицинг мозга компјутеризованом томографијом (КТ перфузија мозга). Описане су специфичности ове високодозне процедуре и примењеног дозиметријског протокола као и детерминистички ефекти који могу да се јаве на кожи пацијената

подвргнутих овој врсти прегледа. С обзиром да је у питању високодозна процедура у овом поглављу дискусија добијених резултата у основи се односи на испитивање могућности за настанак детерминистичких ефеката у датим условима рада. Поред тога, извршено је и поређење доступних режима рада КТ уређаја. У зависности од модела КТ уређаја, могућа су 2 режима рада у погледу укупне дужине скенирања: фиксни и "šatl" режим. У фиксном режиму колимација снопа и укупна дужина озрачене регије на глави пацијента су једнаки и износе 4 cm. Оваква геометрија позната је као "cine" режим снимања јер током аквизиције слика не долази до померања пацијентног стола. "šatl" режим рада уведен је у клиничку праксу у циљу смањења пацијентних излагања јер током аквизиције долази до наизменичног померања носача пацијента те укупна дужина озрачивање регије у овом случају износи 8 cm док колимација снопа остаје 4 cm. У првом случају запремина главе пацијента изложена је у дужем временском интервалу док се у другом излаже већа запремина, али наизменично, што локално даје краће време излагања. С обзиром да дозиметријски подаци о поређењу фиксног и "šatl" режима рада нису доступни у постојећој литератури посебна пажња посвећена је и дискусији резултата добијених мерењем у поменутиим режимима рада.

Пето поглавље односи се на педијатријску компјутеризовану томографију. У овом поглављу су приказани резултати који се састоје од пацијентних доза, особина протокола прегледа и фреквенције појединачних врста прегледа у три специјализоване педијатријске болнице. Подаци о пацијентним дозама приказани су кроз специфичне дозиметријске величине, волуметријски КТ дозни индекс ($CTDI_{vol}$) и производ дозе и дужине (DLP), за четири старосне групе пацијената (< 1 године, 1 – 5 година, 5 – 10 година и 10 – 15 година). Подаци о протоколима прегледа укључују примењену вредност високог напона (kV), производ јачине струје и времена експозиције (mAs), време ротације рендгенске цеви (s), пројекцију топограма, примењени режим снимања (аксијални/хелични), угао гентрија ($^{\circ}$), колимацију снопа (mm), pitch фактор и број примењених фаза по прегледу. Извршена је анализа добијених резултата у смислу поређења примењених вредности параметара експозиције и технике снимања са препорученим вредностима, утицаја старосне групе пацијента на одабир параметара експозиције и дужине скенирања и поређења вредности дозних индикатора по старосним групама. С обзиром да су уочене неправилности у промени вредности дозних индикатора са порастом старосне групе дискутована је и адекватност примењеног метода анализирања података груписаних у четири старосне групе. Добијене вредности су поређене у оквиру болница обухваћених истраживањем и са до сада публикованим подацима. Дискутоване су и могућности за оптимизацију постојећих протокола.

Шесто поглавље бави се оптимизацијом протокола у педијатријској компјутеризованој томографији. Један од најзначајнијих алата у оптимизацији праксе представља концепт дијагностичких референтних нивоа. На основу података о пацијентним дозама који су приказани у петом поглављу одређени су дијагностички референтни нивои у педијатријској компјутеризованој томографији. Референтне вредности одређене су користећи 2 метода, на основу вредности трећег квантила дистрибуције доза и на основу средње вредности. У оквиру овог поглавља приказани су и резултати оптимизације протокола за преглед главе. Оптимизација протокола снимања представља компромис између пацијентне дозе и квалитета дијагностичке слике те су током оптимизације поред дозних вредности праћени су и параметри квалитета слике: однос контраста и шума у слици (CNR), детектабилност детаља ниског контраста (при контрасту од 1%) и резолуција високог контраста изражена преко модулационе функције трансфера (MTF). Поступак оптимизације протокола спроведен је кроз модификацију параметара експозиције и увођење аутоматске контроле експозиције. Дискутоване су вредности доза и квалитет слике пре и после оптимизације те приказани метод и резултати могу да се употребе као водич за оптимизацију протокола и на другим КТ уређајима.

У седмом поглављу приказани су резултати који се односе на оправданост прегледа у компјутеризованој томографији. Многа истраживања на ову тему показала су да је основни

узрок великог броја неоправданих прегледа који се базирају на примени јонизујућих зрачења недостатак знања о ризицима повезаним са излагањем јонизујућем зрачењу. Лекарима који упућују на преглед обично недостаје едукација из области заштите од зрачења што доводи до претеране и неселективне употребе ових дијагностичких метода. Стога су у овом поглављу приказани резултати испитивања нивоа свести медицинског особља о нивоима излагања и ризицима у компјутеризованој томографији. Испитивање је спроведено попуњавањем упитника од стране медицинског особља које у мањој или већој мери учествује у спровођењу дијагностичких прегледа. Поред тога, користећи упитник за радиологе и упитник за радиолошке техничаре извршен је детаљнији увид у постојећу праксу у оквиру педијатријских болница. Одговори на одређена питања упоређени су са важећим препорукама као и подацима из педијатријских установа у другим земљама света.

У последњем поглављу изнети су општи закључци који се односе на целокупне резултате приказане у дисертацији. На крају је дат списак коришћене литературе. Додатна теоријска разматрања, опис мерне и испитне опреме као и споредне методе које су коришћене у оквиру истраживања а нису директно везане за приказане резултате дате су у прилозима.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема докторске дисертације недвосмислено припада савременим областима истраживања имајући у виду да дозиметрија и оцена ризика у компјутеризованој томографији представља једну од најактуелнијих истраживачких тема у области примене извора зрачења у медицини. Велики број објављених резултата у овој области потврђује интерес за ову истраживачку тему али је са друге стране евидентан недостатак конзистентних и кохерентних научних резултата који би допринели повећању тачности и поузданости дозиметрије у компјутеризованој томографији и недвосмислено потврдили смањење радијационог ризика као резултат оптимизације праксе код високодозних процедура и радиосензитивних група пацијената. Значај ове истраживачке теме и њена актуелност потврђени су и у стратешкој истраживачкој агенди организације ЕУРАДОС (European Radiation Dosimetry Group), водеће групације научно истраживачких организација у области дозиметрије јонизујућих зрачења.

Резултати истраживања које је спроведено у оквиру ове докторске дисертације објављени су у укупно 18 публикација. У научним часописима међународног значаја објављено је 7 радова, 1 рад објављен је у научном часопису националног значаја док су остали резултати презентовани на скуповима међународног и националног значаја што недвосмислено потврђује оригиналност докторске дисертације. Поред тога, оно што ову дисертацију и истраживање издваја од осталих јесте допринос светској литератури у виду података о пацијентним излагањима у компјутеризованој томографији у Србији с обзиром да до сада оваква истраживања нису спроведена на националном нивоу. Успостављање националних дијагностичких референтних нивоа у педијатријској компјутеризованој томографији такође је по први пут спроведено у оквиру ове дисертације као и поређење фиксног и "šatl" режима рада у процедури перфузиони имицинг мозга компјутеризованом томографијом.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

За израду докторске дисертације коришћена је релевантна литература из области нуклеарне технике, дозиметрије и заштите од зрачења. Цитирани су актуелни научни радови из угледних међународних часописа, саопштења са конференција, прегледни радови и докторске дисертације. Наведени списак литературе указује да је кандидат прегледао и цитирао све референтне изворе из области теме докторске дисертације. У дисертацији су такође цитирани и радови кандидата.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације коришћене су следеће научне методе:

- За испитивање нивоа излагања пацијената коришћене су дозиметријске величине које су дефинисане за потребе излагања у компјутеризованој томографији. Пацијентна дозиметрија у компјутеризованој томографији заснована је на 2 специфичне дозиметријске величине: КТ дозни индекс (CTDI) и производ дозе и дужине (DLP). КТ дозни индекс може бити тежински (CTDI_w) и волуметријски (CTDI_{vol}) при чему је величина волуметријски КТ дозни индекс примењива на савремене моделе КТ уређаја јер укључује и промене у вредности pitch фактора. Стога су подаци о нивоима пацијентних излагања у оквиру ове дисертације приказани кроз величине CTDI_{vol} и DLP.
- Аквизиција података о пацијентним дозама вршена је на основу доступних података са командне конзоле КТ уређаја по протоколу припремљеном у оквиру регионалног пројекта Међународне агенције за атомску енергију (IAEA RER 9093) који је публикован у 2 одвојене публикације (*Тачка 4.1 Верификација научних доприноса*, публикације M21-1 и M21-2). Овај метод сматра се валидним уколико се измерена и очитана вредност КТ дозног индекса не разликују за више од 20 %. Пре аквизиције података о пацијентним дозама на свим КТ уређајима обухваћеним овим истраживањем вршена је верификација приказаних вредности мерењем КТ дозног индекса.
- Мерење КТ дозног индекса вршено је у складу са стандардом SRPS EN 61223-2-6:2009 користећи јонизациону комору DCT10 и КТ фантом главе.
- За успостављење националних дијагностичких референтних нивоа у педијатријској компјутеризованој томографији коришћена су 2 метода. Један од метода заснива се на британским препорукама где су као референтне вредности усвојени трећи квартили дистрибуције пацијентних доза (Shrimpton P.C.: *Doses from Computed Tomography (CT) Examinations in the UK – 2011 Review*, - Public Health England, 2014). Овај метод коришћен је за успостављање националних референтних вредности у многим земљама света. Други метод заснива се на коришћењу средње вредности уместо трећих квартила што се препоручује у случају мањег броја установа јер дистрибуције доза добијене на већим узорцима обично су померене у десно односно дају већу вредност трећег квартила у односу на оне добијене на мањим узорцима. Утврђено је да се однос трећег квартила и средње вредности дистрибуције дозе добијене на мањим узорцима у већини случајева налази у интервалу 1.2 - 1.3 и да може да достигне и вредност од 1.5 те је препорука да се у оваквим случајевима референтна вредност одреди множењем средње вредности са фактором 1.5.
- Оцена квалитета слике вршена је на комерцијално доступном фантому за контролу квалитета КТ уређаја Catphan®phantom 600 (The Phantom Laboratory, Salem, USA) као и софтвер за аутоматску обраду резултата Image Owl (online приступ, www.imageowl.com). Фантом се састоји од 5 различитих модула (СТР 404, СТР 591, СТР 528, СТР 515 и СТР 486) и користи се за спровођење различитих врста тестова у процесу евалуације квалитета слике у компјутеризованој томографији. Поред тога, овај фантом коришћен је и у процесу оптимизације протокола што је као метод верификовано објављивањем радова у научним часописима међународног значаја. Користећи овај фантом могуће је одредити резолуцију ниског контраста (модул СТР 515), модулатиону функцију трансфера (MTF) (модул СТР 528), "bead" геометрију (модул СТР 591) и униформност слике (модул СТР 486).
- Апсорбована доза на кожи током процедуре КТ перфузија мозга мерена је користећи комерцијално доступне радиохромне филмове (Gafchromic XR2 type, ISP Technologies

Inc, Wayne, NJ, USA) чија је употреба за потребе процене доза у интервентној радиологији и кардиологији, мамографији и компјутеризованој томографији документована у постојећој литератури. Радиохромни филмови који су у оквиру овог истраживања коришћени на пацијентима претходно су били калибрисани на конвенционалном рендген-апарату користећи напон од 80 kV и различите вредности јачине струје и времена експозиције. Филмови су калибрисани у величини апсорбована доза а опсег вредности налазио се у интервалу 0 – 765 mGy што одговара датој примени. Оптичка густина коришћених филмова очитавана је помоћу калибрисаног рефлективног дензитометра X Rite модел 500 (X Rite Inc, Grand Rapids, Michigan, USA).

- Процена дозе за очно сочиво и одређивање дистрибуције дозе у глави пацијента вршено је на основу мерења у глави фантома Alderson Rando (The Phantom Laboratory, Salem, USA), помоћу термолуминисцентних дозиметара. Alderson Rando је један од најпознатијих антропоморфних фантома који представља главу и труп просечног одраслог пацијента. Састоји се од 25 трансферзалних слојева са мрежом за постављање дозиметара унутар фантома. Направљен је од материјала добијеног од људских костију и синтетичке пластике а густина електрона, ефективни атомски број и специфична тежина одговарају саставу људског мишића што га чини погодним за примену у пацијентној дозиметрији.
- Мерење доза у фантому вршено је користећи термолуминисцентне дозиметре на бази литијум флуорида TLD 100 (Harshaw, Cleveland, Ohio, USA). За мерења у циљу процене дозе за очно сочиво коришћени су тракасти дозиметри MTS 100 (Poland) а за одређивање дистрибуције доза дозиметри у облику штапића TLD 100. Због малих физичких димензија термолуминисцентни дозиметри се веома често користе у пацијентној дозиметрији јер својим присуством не ремете квалитет дијагностичке слике.

Приказане научне методе у потпуности одговарају тематици докторске дисертације те је њихова примена у оквиру ових истраживања била у потпуности оправдана. Поред тога, примењене методе су у складу са стандардима савременог научно-истраживачког рада о чему сведоче бројне публикације објављене у часописима међународног значаја а чији резултати су добијени применом метода које су коришћене и у овој дисертацији.

3.4. Применљивост остварених резултата

Успостављањем националних дијагностичких референтних нивоа за стандардне процедуре код снимања педијатријских пацијената у компјутеризованој томографији отвара се могућност за стално праћење тренда пацијентних доза и идентификацију места са потенцијално већим дозама што је посебно значајно код увођења педијатријских прегледа у постојећу радиолошку праксу. Оптималан протокол који је развијен за снимање главе у педијатријској компјутеризованој томографији је јасан показатељ да је могућа уштеда у пацијентној дози без значајне деградације квалитета дијагностичке слике. Утврђена корелација између параметара експозиције и технике снимања, са једне стране, и квалитета слике, са друге стране, може се користити за креирање протокола снимања од стране произвођача КТ уређаја и у развоју метода за побољшање квалитета слике у компјутеризованој томографији. Такође, развијени протокол може да се имплементира на КТ уређајима истог типа у било којој болници чиме се може постићи уштеда у дози код много већег броја педијатријских пацијената.

С обзиром да је у оквиру овог истраживања показано да код примењеног протокола код процедуре КТ перфузије мозга ткивне реакције нису могуће, поређењем датог протокола са протоколима који се користе на другим уређајима корисници ће имати увид у могућност за настајање радијационих повреда код пацијената подвргнутих овој врсти прегледа. Уколико

се утврди да су вредности веће од испитиваних, биће неопходно додатно испитати протокол који се примењује.

Резултати поређења доступних протокола за стандардну процедуру снимања главе у компјутеризованој томографији и процедуру перфузиони имиџинг мозга компјутеризованом томографијом допринеће аргументацији да се, када постоји могућност, у клиничким условима бира протокол који резултује мањом пацијентном дозом.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу садржаја докторске дисертације, приказаних резултата истраживања и коришћене литературе током израде дисертације може се закључити да је кандидат показао способност сагледавања проблема везаних за дату тему и примене доступних метода за остваривање оригиналних резултата истраживања. Резултати истраживања који су добијени у оквиру ове докторске дисертације објављени су у међународним часописима и презентовани од стране кандидата на неколико домаћих и међународних конференција што показује да је кандидат овладао и вештинама писменог и усменог презентовања својих резултата. Такође, докторска дисертација је припремљена и обликована у складу са стандардима савременог научно-истраживачког рада. На основу свега наведеног може се закључити да је кандидат способан за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварени су следећи оригинални научни доприноси:

1. На основу дозиметријских мерења КТ дозног индекса и доступних клиничких података утврђени су нивои излагања пацијената за процедуре снимања главе, плућа и абдомена у компјутеризованој томографији а за случај снимања одраслих пацијената стандардне величине и 4 старосне групе педијатријских пацијената (< 1 године, 1 – 5 година, 5 – 10 година и 10 – 15 година).
2. Извршена је анализа утицаја броја детекторских канала у систему за пријем и формирање слике КТ уређаја на дозу за пацијента. Иако су вишедетекторски КТ уређаји уведени у клиничку праксу да би се ниво пацијентних излагања смањио резултати добијени у оквиру ове дисертације показују да није могуће успоставити јасну везу између броја детекторских канала и пацијентне дозе.
3. Успостављени су дијагностички референтни нивои за снимање главе, плућа и абдомена у педијатријској компјутеризованој томографији.
4. Развијен је оптималан протокол за снимање главе у педијатријској компјутеризованој томографији при чему је евидентирано смањење пацијентне дозе за 50% без значајне деградације квалитета дијагностичке слике.
5. Анализа података о нивоима излагања у педијатријској компјутеризованој томографији указала је на недостатке метода који подразумева груписање пацијената у 4 старосне групе. Анализом вредности дозних параметара за различите узрасте педијатријских пацијената утврђено је да се неправилности у очекиваном тренду ових параметара најчешће јављају на преласку из старосне групе 5-10 година у групу 10-15 година те би код анализе података требало обратити пажњу и на средњу вредност година пацијената унутар одређене старосне групе.
6. Показано је да појава детерминистичких ефеката у процедури КТ перфузија мозга није могућа уколико се примењује испитивани протокол снимања при чему је за испитивање коришћен јединствени скуп мерних метода: мерење дозе за очно сочиво

помоћу тракастих термолуминисцентних дозиметара, мапирање дозе на површини коже пацијента користећи радиохромне филмове и одређивање дозе за органе мерењем доза унутар фантома главе користећи термолуминисцентне дозиметре у облику штапића.

7. Извршено је поређење 2 доступна протокола за стандардни преглед главе на КТ уређају марке General Electric BrightSpeed при чему се показало да је снимање главе у аксијалном режиму рада КТ уређаја оптималније са аспекта излагања пацијената у поређењу са хеличним режимом рада. Извршено је такође и поређење фиксног и "шатл" режима рада КТ уређаја код процедуре КТ перфузија мозга и утврђено да су нивои пацијентних излагања мањи у "шатл" режиму.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Код одређивања нивоа излагања одраслих пацијената у компјутеризованој томографији истраживањем су били обухваћени КТ уређаји три различита произвођача медицинске опреме, пет различитих модела КТ уређаја и три врсте детекторских система што је омогућило анализу утицаја броја детекторских канала и модела КТ уређаја на вредности дозних параметара. Вишедетекторски системи уведени су у клиничку праксу како би се смањио ниво излагања пацијената. Међутим, постојећи подаци у литератури о корелацији између броја детектора и пацијентне дозе су опречни при чему су поређења вршена на знатно мањем броју различитих система. Резултати добијени у оквиру ове дисертације показују да није могуће успоставити јасну везу између броја детекторских канала и пацијентне дозе услед неуниформности примењених протокола снимања као и других утицајних фактора који су везани за дизајн система за аквизицију података на КТ уређају.

Заштита од зрачења у компјутеризованој томографији спроводи се кроз успостављање дијагностичких референтних нивоа и оптимизацију протокола снимања. Успостављањем дијагностичких референтних нивоа у педијатријској компјутеризованој томографији на националном нивоу створени су услови за стално праћење и поређење добијених вредности што је посебно значајно за одређивање нивоа излагања пацијената у установама које нису биле обухваћене овим истраживањем а у будућности би могле да уведу компјутеризовану томографију као модалитет у постојећу радиолошку праксу. Такође, резултати који су везани за педијатријску компјутеризовану томографију а настали су у оквиру ове дисертације омогућили су и успостављање међународних дијагностичких референтних нивоа заједно са резултатима из 39 других земаља света. Национални дијагностички референтни нивои у Србији као и међународни дијагностички референтни нивои за стандардне процедуре у педијатријској компјутеризованој томографији нису били успостављени пре резултата насталих у оквиру ове дисертације.

Процењени ризик за настанак стохастичких ефеката током прегледа педијатријских пацијената није занемарљив, те је важно и свако смањење дозе и превенција непотребног излагања пацијената. Оптимизовани протокол, као резултат овог истраживања, представља значајан допринос светској литератури у овој области и пружа значајан и документован доказ да је смањење ризика у процесу оптимизације праксе могуће. Значајан допринос огледа се и у побољшањима методологије за оптимизацију односа квалитет слике-доза у компјутеризованој томографији применом фантома а у контексту технологије развоја КТ уређаја и варијабилности телесне масе пацијента која утиче на природу интеракције рендгенског зрачења са материјом. Примена оптимизованих протокола снимања значајна је за индивидуализацију дозиметрије јер утиче на укупну предату енергију јонизујућег зрачења у објекту снимања у зависности од телесне масе пацијента. Имајући у виду веома брзе еволуције КТ уређаја, ови параметри су значајни са становишта дозиметријске методе али и са становишта тачности добијених резултата.

Метод који се примењује код анализе података о излагањима пацијената у педијатријској компјутеризованој томографији подразумева груписање пацијената у 4 старосне групе (< 1 године, 1 – 5 година, 5 – 10 година и 10 – 15 година). Током истраживања у оквиру ове дисертације уочене су неправилности у очекиваном тренду дозних параметара а најчешће на преласку из старосне групе 5-10 година у групу 10-15 година. Закључак који је изведен у оквиру овог истраживања је да би код анализе података требало обратити пажњу и на средњу вредност година пацијената унутар одређене старосне групе јер утицај величине пацијента значајно долази до изражаја уколико се у анализу података укључе пацијенти у узрасту који је близак маргинама старосне групе.

Резултати истраживања који су везани за процедуру перфузиони имиџинг мозга компјутеризованом томографијом доприносе повећаној тачности и поузданости дозиметрије за високодозне процедуре. Приказани резултати о нивоима пацијентних излагања у компјутеризованој томографији представљају значајан допринос постојећим подацима у светској литератури у контексту процене колективне дозе за становништво с обзиром да је за овакву процену неопходно узети у обзир велики број података као и њихову географску расподелу.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултати истраживања која су спроведена у оквиру ове доктроске дисертације објављени су као следеће публикације:

Категорија M21:

1. Vassileva, J., Rehani, M.M., Applegate, K., Ahmed, N.A., Al-Dhuhli, H., Al-Naemi, H.M., Al Suwaidi, J.S., **Arandjic, D.**, Beganovic, A., Benavente, T., Bieganski, T., Dias, S., El-Nachef, L., Faj, D., Gamarra-Sánchez, M., Aguilar, J.G., Gershan, V., Gershkevitch, E., Gruppette, E., Hustuc, A., Ivanovic, S., Jauhari, A., Kharita, M.H., Kharuzhyk, S., Khelassi-Toutaoui, N., Khosravi, H.R., Kostova-Lefterova, D., Kralik, I., Liu, L., Mazuoliene, J., Mora, P., Muhogora, W., Muthuvelu, P., Nikodemova, D., Novak, L., Pallewatte, A.S., Shaaban, M., Shelly, E., Stepanyan, K., Teo, E.H., Thelsy, N., Visrutaratna, P., Zaman, A., Zontar, D.: IAEA survey of paediatric computed tomography practice in 40 countries in Asia, Europe, Latin America and Africa: procedures and protocols, - *European Radiology*, Vol 23, No 3, pp. 623-631, 2013 (**IF= 4.338**) (ISSN: 0938-7994 print version, ISSN: 1432-1084 electronic version) (doi: 10.1007/s00330-012-2639-3)
2. Vassileva, J., Rehani, M.M., Al-Dhuhli, H., Al-Naemi, H.M., Al-Suwaidi, J.S., Appelgate, K., **Arandjic, D.**, Beganovic, A., Benavente, T., Bieganski, T., Dias, S., El-Nachef, L., Faj, D., Gamarra-Sánchez, M., Aguilar, J.G., Gershan, V., Gershkevitch, E., Gruppette, E., Hustuc, A., Ivanovic, S., Jauhari, A., Kharita, M.H., Kharuzhyk, S., Khelassi-Toutaoui, N., Khosravi, H.R., Kostova-Lefterova, D., Kralik, I., Liu, L., Mazuoliene, J., Mora, P., Muhogora, W., Muthuvelu, P., Nikodemova, D., Novak, L., Pallewatte, A.S., Shaaban, M., Shelly, E., Stepanyan, K., Teo, E.H., Thelsy, N., Visrutaratna, P., Zaman, A., Zontar, D.: IAEA survey of pediatric CT practice in 40 countries in Asia, Europe, Latin America, and Africa: Part 1, frequency and appropriateness, - *American Journal of Roentgenology*, Vol 198, pp. 1021-1031, 2012 (**IF= 2.897**) (ISSN: 1546-3141 print version, ISSN: 0361-803X electronic version) (doi: 10.2214/AJR.11.7273.)

Категорија M22:

1. Hadnadjev, D., **Arandjic, D.**, Stojanović, S., Ciraj-Bjelac, O., Božović, P., Stanković, J.: Patient doses in computed tomography: An assessment of local diagnostic reference levels in a large teaching hospital, - *Nuclear Technology and Radiation Protection*, Vol 27, No 3, pp. 305-310, 2012 (**IF= 1.000**) (ISSN: 1451-3994 print version, ISSN: 1452-8185 electronic version) (doi:10.2298/NTRP1203305H)

Категорија M23:

1. **Arandjic, D.**, Bonutti, F., Biasizzo, E., Ciraj-Bjelac, O., Floreani, M., Giustizieri, M., Iaiza, F., Inkoom, S., Tommasini, G., Padovani, R.: Radiation doses in cerebral perfusion computed tomography: patient and phantom study, - *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 154, No 4, pp. 459-464, 2013 (**IF=0.861**) (ISSN: 1742-3406 print version, ISSN: 0144-8420 electronic version) (doi: 10.1093/rpd/ncs260)
2. **Arandjic, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Hadnadjev, D., Stojanovic, S., Bozovic, P., Ceklic, S., Lazarevic, Dj.: Radiation doses in adult Computed Tomography in Serbia: initial results, - *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 162, No 1-2, pp. 135-138, 2014, (**IF= 0.913**) (ISSN: 1742-3406 print version, ISSN: 0144-8420 electronic version) (doi: 10.1093/rpd/ncu245) (ISKORIŠĆEN UMESTO ISPITA NA PRVOJ GODINI!)
3. Vassileva, J., Rehani, M., Kostova-Lefterova, D., Al-Naemi, H.M., Al Suwaidi, J.S., **Arandjic, D.**, Bashier, E.H.O., Kodlulovich Renha, S., El-Nachef, L., Aguilar, J.G., Gershan, V., Gershkevitsh, E., Gruppetta, E., Hustuc, A., Jauhari, A., Kharita, M.H., Khelassi-Toutaoui, N., Khosravi, H.R., Khoury, H., Kralik, I., Mahere, S., Mazuoliene, J., Mora, P., Muhogora, W., Muthuvelu, P., Nikodemova, D., Novak, L., Pallewatte, A., Pekarovic, D., Shaaban, M., Shelly, E., Stepanyan, K., Thelsy, N., Visrutaratna, P., Zaman, A.: A study to establish international diagnostic reference levels for paediatric computed tomography, - *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 165, No 1-4, pp. 70-80, 2015 (**IF=0.894**) (ISSN: 1742-3406 print version, ISSN: 0144-8420 electronic version) (doi:10.1093/rpd/ncv116)
4. Ciraj-Bjelac, O., Gavrilovic, M., **Arandjic, D.**, Vujovic, M., Božovic, P.: Radiation exposure during x-ray examinations in a large paediatric hospital in Serbia, - *Radiation Protection Dosimetry*, Vol 165, No 1-4, pp. 220-225, 2015 (**IF=0.894**) (ISSN: 1742-3406 print version, ISSN: 0144-8420 electronic version) (doi: 10.1093/rpd/ncv084)

Категорија M33:

1. **Arandjic, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Hadnadjev, D., Stojanovic, S., Bozovic, P., Stankovic, J.: Radiation doses in CT head examination in Serbia: comparison among different units, - *Proceedings of European medical physics and engineering conference*, Sofia, Bulgaria, 2012, pp. 219-224 (ISBN: 978-954-91589-3-9)
2. **Arandjic, D.**, Ciraj Bjelac, O., Lazarevic, D.: Radiation dose in CT in Serbia, - *Proceedings of II conference on medical Physics and biomedical engineering*, Skopje, Macedonia, 2010, pp. 15-18 (ISBN: 978-608-65213-0-1)
3. **Arandjic, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Gazikalovic, S., Bozovic, P., Lazarevic, Dj.: Computed Tomography in pediatrics: be careful when optimizing protocols!, - *International Conference on*

Категорија M34:

1. **Arandjic, D.**, Ceklic, S., Ciraj-Bjelac O., Bozovic, P., Stankovic, J., Lazarevic, Dj.: Paediatric computed tomography: assessment of radiation dose and risk awareness among staff involved in diagnostic process, - *Book of abstracts/Third International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research RAD 2015*, Budva, Montenegro, 2015, pp. 214 (ISBN: 978-86-80300-00-9)
2. **Arandjic, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Lazarevic, Dj.: Patient doses in paediatric CT in Serbia, - *Book of abstracts of International Conference on radiation Protection in Medicine*, Varna, Bulgaria, 2010, Radiologija, Suppl 10, pp. 53 (ISBN: 0486-400X)

Категорија M51:

1. Bozovic, P., Ciraj-Bjelac, O., **Arandjic, D.**, Hadnadjev, D., Stojanovic, S.: Patient doses in chest CT examination: comparison of various CT scanners, - *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol 10, No 1, pp. 31-36, 2013 (ISSN: 1451-4869)

Категорија M63:

1. **Arandić, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Božović, P., Lazarević, Đ.: Optimizacija protokola kod snimanja glave u CT dijagnostici, - *Zbornik radova 27. Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, Vrnjačka Banja, 2013, pp. 185-188 (ISBN: 978-86-7306-115-3)
2. Božović, P., Ciraj-Bjelac, O., **Arandić, D.**: Pacijentne doze kod CT snimanja pluća: poređenje različitih modela CT uređaja, - *Zbornik radova 56. Konferencije ETRAN*, Zlatibor, 2012, NT1.3.1-4 (ISBN: 978-86-80509-67-9)
3. **Arandić, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Lazarevic, Đ.: Snimanje dece u CT dijagnostici: pacijentne doze u dečjim klinikama u Srbiji, - *Zbornik radova 26. Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, Tara, 2011, pp. 211-215 (ISBN: 978-86-7306-105-4)
4. **Arandić, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Košutić, D., Lazarević, Đ.: Snimanje dece u CT dijagnostici: nivo svesti medicinskog osoblja o potencijalnom riziku za pacijente, - *Zbornik radova 25. Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, Kopaonik, 2009, pp. 142-147 (ISBN: 978-86-7306-112-2)

Категорија M64:

1. **Arandjic, D.**, Ciraj-Bjelac, O., Kosutic, D., Lazarevic Đ.: Zaštita pedijatrijskih pacijenata u dijagnostičkoj radiologiji, - *Zbornik sazetaka II Kongresa radiologa Srbije*, Novi Sad, 2009, pp. 24-25.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

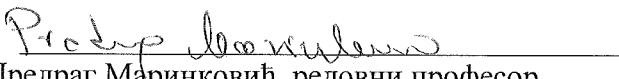
Током истраживања и припреме докторске дисертације кандидат је показао висок степен способности за научноистраживачки рад. Докторска дисертација садржи бројне оригиналне научне доприносе у виду нових резултата и закључака који представљају суштинско унапређење научног знања у области дозиметрије и заштите од зрачења код медицинских излагања у компјутеризованој томографији. Резултати истраживања објављени су у међународним часописима и презентовани на домаћим и међународним конференцијама. Приказани резултати истраживања могу и практично да се употребе у клиничкој примени компјутеризоване томографије као дијагностичког модалитета.

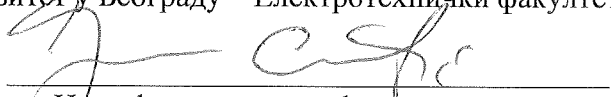
На основу изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом **"Утицај параметара експозиције и технике снимања на пацијентну дозу и квалитет слике у компјутеризованој томографији"** кандидата **Данијеле Аранђић, мастер инж. електротехнике и рачунарства** прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

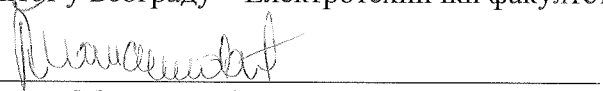
У Београду, 12.07.2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Оливера Цирај-Бјелац, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Предраг Маринковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Јован Цветић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Ружица Максимовић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Медицински факултет


др Вујо Дрндаревић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет