



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ



ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ

**ПРОЦЕНА ПРОФЕСИОНАЛНОГ
ИЗЛАГАЊА ЈОНИЗУЈУЋЕМ
ЗРАЧЕЊУ У ИНТЕРВЕНТНИМ И
ОПЕРАЦИОНИМ ПРОЦЕДУРАМА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментори:

Проф. др Борислава Петровић
др Предраг Божовић

Кандидат:

Јелена Самац,
мастер физичар

Нови Сад, 2025. година

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Јелена Самац
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	Проф. др Борислава Петровић, редовни професор, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет др Предраг Божовић, научни сарадник, Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке «Винча»
Наслов рада:	Процена професионалног излагања јонизујућем зрачењу у интервентним и операционим процедурама
Језик публикације (писмо):	Српски (ћирилица)
Физички опис рада:	Унети број: Страница <u>103</u> Поглавља <u>8</u> Референци <u>197</u> Табела <u>22</u> Слика <u>18</u> Графикона <u>8</u> Прилога <u>3</u>
Научна област:	Физика
Ужа научна област (научна дисциплина):	Медицинска физика

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штапане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штапаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

Кључне речи / предметна одредница:	Заштита од јонизујућег зрачења, професионално излагање, флуороскопија, доза зрачења, дозни еквивалент, мониторинг зрачења
Резиме на језику рада:	<p>Флуороскопски вођене процедуре изводе се у многим областима медицине, јер представљају добру алтернативу традиционалној хирургији. У њима се, путем континуалног снопа рендгенских зрака, прати ендоскопска опрема и визуализују анатомске структуре у телу пацијента. Често је потребно да најмање један оператер борави поред пацијента и рендген апарата током трајања флуороскопије, чиме долази до излагања оператера јонизујућем зрачењу. Како број флуороскопски вођених процедура расте, потребно је испитати изложеност оператера у различитим областима примене флуороскопије као и проценити квалитет заштите од јонизујућег зрачења.</p> <p>Циљ ове докторске дисертације је процена изложености запослених током флуороскопски вођених процедура у различитим областима медицинске примене, са посебним акцентом на дозу за очно сочиво, испитивање потреба и могућности за даљи мониторинг, као и дати препоруке за оптимизацију заштите од зрачења.</p> <p>Рад се састоји из теоријског и експерименталног дела. У теоријском, објашњени су физички принципи употребе рендгенских зрака у медицини, у виду флуороскопије, и заштите од јонизујућег зрачења, а сагледана су и најновија сазнања, ставови и препоруке релевантних међународних стручних организација. Такође, дат је осврт на законску регулативу из области заштите од зрачења у области медицине у Србији, као и на доступне податке из ове области у нашој земљи. Експериментални део даје резултате мерења изложености оператера у различитим областима примене флуороскопије, у реалним клиничким условима. На основу ових мерења, процењена је доза за оператера на годишњем нивоу као и број процедура које појединац може обавити пре достизања годишње границе дозе, а испитане су различите могућности и потребе за мониторингом дозе за оператера. Испитани су ставови корисника о заштити од јонизујућег зрачења и дате препоруке за њену оптимизацију и унапређење.</p>
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	14.07.2022.
Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	

<p>Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)</p>	<p>Председник: Доц. др Јована Кнежевић Радић, доцент, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду</p> <p>Члан: Проф. др Софија Форкапић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду</p> <p>Члан: др Никола Кржановић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду</p> <p>Члан: Проф. др Наташа Првуловић Буновић, ванредни професор, Медицински факултет, Универзитет у Новом Саду</p> <p>Члан: Проф. др Борислава Петровић, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду</p> <p>Члан: др Предраг Божовић, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у Београду</p>
<p>Напомена:</p>	

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF SCIENCES

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Jelena Samac
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	prof. dr Borislava Petrović, full professor, University of Novi Sad, Faculty of Sciences dr Predrag Božović, research associate, University of Belgrade, Institute for nuclear sciences „Vinča”
Thesis title:	Assessment of professional exposure to ionizing radiation in interventional and operational procedures
Language of text (script):	Serbian language (Cyrillic script)
Physical description:	Number of: Pages <u>103</u> Chapters <u>8</u> References <u>197</u> Tables <u>22</u> Illustrations <u>18</u> Graphs <u>8</u> Appendices <u>3</u>
Scientific field:	Physics
Scientific subfield (scientific discipline):	Medical Physics
Subject, Key words:	radiation protection, occupational exposure, fluoroscopy, radiation dosage, Sv

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

5ċ – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	radiation dose equivalent, radiation monitoring
Abstract in English language:	<p>Fluoroscopically guided procedures are performed in many areas of medicine, as they represent a good alternative to traditional surgery. A continuous array of X-rays enables the monitoring of endoscopic equipment and visualization of anatomic structures within the patient's body. It is often necessary for at least one operator to be present next to the patient and the X-ray machine during fluoroscopy, thus being exposed to ionizing radiation. As the number of fluoroscopically guided procedures increases, it is necessary to examine the exposure of operators in different areas of fluoroscopy application, as well as to assess the quality of radiation protection.</p> <p>The aim of this doctoral dissertation is to assess the exposure of employees during fluoroscopically guided procedures in different areas of medical application, with a special emphasis on the eye lens dose, to examine the needs and possibilities for future monitoring, and to provide recommendations for optimization of radiation protection.</p> <p>The dissertation consists of a theoretical and experimental part. The theoretical part explains the physical principles of the use of X-rays in medicine, in the form of fluoroscopy, and radiation protection, and reviews the latest findings, attitudes and recommendations of relevant international expert organizations. It also reviews the legal regulations in the field of radiation protection in medicine in Serbia, as well as the available data in this field in our country. The experimental part provides the results of measuring operator exposure in various areas of fluoroscopy application, in real clinical conditions. Based on these measurements, the dose for the operator was estimated on an annual basis, as well as the number of procedures an individual can perform before reaching the annual dose limit. Various needs and possibilities for monitoring the dose for the operator were examined. User attitudes on radiation protection were examined and recommendations for optimization and improvement were given.</p>
Accepted on Scientific Board on:	14.07.2022.
Defended: (Filled by the faculty service)	

<p>Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)</p>	<p>President: Ph. D. Jovana Knežević Radić, assistant professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member: Ph.D. Sofija Forkapić, associate professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member: Ph.D. Nikola Kržanović, senior research associate, Institute of Nuclear Sciences “Vinča”, University of Belgrade</p> <p>Member: Ph.D. Nataša Prvulović Bunović, associate professor, Faculty of Medicine, University of Novi Sad</p> <p>Member: Ph.D. Borislava Petrović, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member: Ph.D. Predrag Božović, research associate, Institute of Nuclear Sciences “Vinča”, University of Belgrade</p>
<p>Note:</p>	

Резиме

Флуороскопски вођене процедуре изводе се у многим областима медицине, јер представљају добру алтернативу традиционалној хирургији. У њима се, путем континуалног снопа рендгенских зрака, прати ендоскопска опрема и визуализују анатомске структуре у телу пацијента. Често је потребно да најмање један оператер борави поред пацијента и рендген апарата током трајања флуороскопије, чиме долази до излагања оператера јонизујућем зрачењу. Како број флуороскопски вођених процедура расте, потребно је испитати изложеност оператера у различитим областима примене флуороскопије као и проценити квалитет заштите од јонизујућег зрачења.

Циљ ове докторске дисертације је процена изложености запослених током флуороскопски вођених процедура у различитим областима медицинске примене, са посебним акцентом на дозу за очно сочиво, испитивање потреба и могућности за даљи мониторинг, као и дати препоруке за оптимизацију заштите од зрачења.

Рад се састоји из теоријског и експерименталног дела. У теоријском, објашњени су физички принципи употребе рендгенских зрака у медицини, у виду флуороскопије, и заштите од јонизујућег зрачења, а сагледана су и најновија сазнања, ставови и препоруке релевантних међународних стручних организација. Такође, дат је осврт на законску регулативу из области заштите од зрачења у области медицине у Србији, као и на доступне податке из ове области у нашој земљи. Експериментални део даје резултате мерења изложености оператера у различитим областима примене флуороскопије, у реалним клиничким условима. На основу ових мерења, процењена је доза за оператера на годишњем нивоу као и број процедура које појединац може обавити пре достизања годишње границе дозе, а испитане су различите могућности и потребе за мониторингом дозе за оператера. Испитани су ставови корисника о заштити од јонизујућег зрачења и дате препоруке за њену оптимизацију и унапређење.

Кључне речи: заштита од јонизујућег зрачења, професионално излагање, флуороскопија, доза зрачења, дозни еквивалент, мониторинг зрачења

Садржај

1.	Увод	1
2.	Теоријски увод.....	5
2.1.	Флуороскопски вођене процедуре	5
2.1.1.	Рендген апарати за флуороскопију	5
2.1.2.	Врсте рендген апарата за флуороскопију.....	9
2.1.3.	Типови процедура	11
2.1.4.	Типови процедура у УКЦВ-у	12
2.2.	Изложеност пацијента и особља, заштита и здравствени ризици	14
2.2.1.	Изложеност пацијената и особља	14
2.2.2.	Заштита од зрачења	17
2.2.3.	Здравствени ризици.....	20
2.3.	Физичке и дозиметријске величине у контексту примене јонизујућег зрачења у медицини	22
2.3.1.	Физичке величине и јединице	22
2.3.2.	Заштитне – примарно ограничавајуће величине	23
2.3.3.	Оперативне дозиметријске величине.....	24
2.3.4.	Величине за процену излагања пацијента.....	26
2.4.	Мониторинг изложености.....	28
2.4.1.	Мониторинг радног места	28
2.4.2.	Индивидуални мониторинг	29
2.4.3.	Изазови у индивидуалном мониторингу.....	33
2.4.4.	Граница дозе и ниво испитивања.....	34
2.5.	Међународне препоруке и законска регулатива у Србији.....	35
2.5.1.	Међународне препоруке	36
2.5.2.	Законска регулатива у Србији.....	39
2.5.3.	Граница дозе за очно сочиво	40
2.5.4.	<i>Bonn call for action</i>	41
3.	Преглед литературе, актуелности у развијеним земљама и у Србији	42
3.1.	Флуороскопски вођене процедуре у међународној литератури	42
3.2.	Заштита од зрачења при флуороскопији у међународној литератури	43
3.3.	Заштита од зрачења при флуороскопији у Србији – преглед литературе.....	45
3.4.	Заштита од зрачења при флуороскопији у УКЦВ	46
4.	Методологија	50
4.1.	Мерење амбијенталног дозног еквивалента	50
4.2.	Мерење личних дозних еквивалената	51
4.3.	Испитивање новог заштитног средства.....	53
4.4.	Испитивање ставова и навика корисника извора зрачења	54
4.5.	Статистичка обрада	54
5.	Резултати.....	55
5.1.	Интервентна радиологија и васкуларна хирургија – процедура ЕВАР.....	55
5.2.	Ортопедска хирургија	58
5.3.	Анестезија – терапија бола	60
5.4.	Урологија.....	62
5.5.	Корелација измерених вредности са параметрима експозиције пацијента	64
5.6.	Употреба једнократне покривке за заштиту од зрачења	65
5.7.	Резултати упитника	67
6.	Дискусија.....	71
6.1.	Интервентна радиологија и васкуларна хирургија.....	72
6.1.1.	Ефективна доза за цело тело.....	73

6.1.2.	Доза за очно сочиво.....	74
6.1.3.	Број процедура на годишњем нивоу.....	75
6.1.4.	Параметри експозиције пацијента.....	76
6.1.5.	Повезаност параметара експозиције особља и пацијента.....	78
6.1.6.	Изазови и препоруке.....	79
6.2.	Ортопедска хирургија.....	80
6.2.1.	Ефективна доза за цело тело.....	80
6.2.2.	Број процедура на годишњем нивоу.....	81
6.2.3.	Доза за очно сочиво.....	81
6.2.4.	Повезаност параметара експозиције особља и пацијента.....	83
6.2.5.	Изазови и препоруке.....	83
6.3.	Анестезија – терапија бола.....	84
6.3.1.	Ефективна доза за цело тело.....	84
6.3.2.	Доза за очно сочиво.....	85
6.3.3.	Број процедура на годишњем нивоу.....	86
6.3.4.	Параметри експозиције пацијента.....	87
6.3.5.	Повезаност параметара експозиције особља и пацијента.....	87
6.3.6.	Изазови и препоруке.....	87
6.4.	Урологија.....	89
6.4.1.	Ефективна доза за цело тело.....	90
6.4.2.	Доза за очно сочиво.....	91
6.4.3.	Број процедура на годишњем нивоу.....	91
6.4.4.	Параметри експозиције пацијента.....	92
6.4.5.	Повезаност параметара експозиције особља и пацијента.....	92
6.4.6.	Изазови и препоруке.....	93
6.5.	Покривке за сечавање расејаног зрачења.....	94
6.6.	Ставови запослених о заштити од зрачења.....	96
6.7.	Оптимизација заштите од зрачења.....	99
7.	Закључак.....	103
8.	Литература.....	104

1. Увод

Од открића и прве примене рендгенских зрака у медицини прошло је скоро 120 година. Старе фотографије које приказују лекаре, претече радиолога и радијационих онколога, са оштећеном кожом и записима њиховим професионалним излагањима и ефектима на њихово здравље, па и смртним исходима, и данас служе као подсетник да ефекти које зрачење може да изазове захтевају пажљиву и одмерену употребу.

Интервентне, оперативне и дијагностичке процедуре вођење флуороскопијом су веома честе у многим областима медицине, У најновијем извештају Комитета Уједињених нација за процену ефеката јонизујућег зрачења (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionising Radiation - UNSCEAR*) [1], годишње се у свету обави око 4 милијарде радиолошких процедура, при чему интервентне процедуре чине око 0.6% укупног броја. И поред ниске учесталости, процењује се да ове процедуре доприносе колективној дози са 8%. Број флуороскопски вођених процедура се константно повећава, како у развијеним, тако и у земљама у развоју, па је тако њихов порастао са 3.6 милиона у 2008. години на 23.6 милиона у 2022.

Флуороскопски вођене процедуре су окосница интервентне радиологије и кардиологије, а велику заступљеност дугују чињеници да представљају одличну алтернативу класичним оперативним захватима. Иако је примена флуороскопије у овим областима најзаступљенија и свакако најпознатија, навођење хируршких инструмената, игала, катетера и праћење распрострањености убризганог контраста нашло је своју примену и у другим областима медицине, као што су ортопедска и васкуларна хирургија, урологија, гастроентерологија, неурохирургија, терапија бола и друге.

Много је фактора који утичу на изложеност особља приликом примене флуороскопије. Врста и број процедура, тип и начин коришћења рендген апарата, доступност заштитних средстава и њихова употреба, радно оптерећење, али и навике и понашање особља у близини извора зрачења неки су од њих. Изложеност у области интервентне радиологије и кардиологије сматра се највећом, јер лекари у овим областима, уколико се не придржавају свих расположивих мера заштите, могу достићи годишње границе излагања дефинисане за изложене раднике. О изложености особља у другим областима зна се мање, али се и њихова изложеност сматра нижом, па је тако процена да је изложеност ортопедских хирурга у опсегу 2-4 mSv годишње. Ипак, постоје докази да професионално излагање свих специјалности значајно варира за исту врсту процедуре у различитим земљама, па чак и различитим клиникама у једној држави, што указује да се заштитом зрачење може значајно смањити, тј. оптимизовати, без умањивања квалитета процедуре или снимка, а уз значајну заштиту и особља и пацијената. Искуство оператера такође може допринети његовој изложености, јер мале варијације у техници извођења саме процедуре могу значајно утицати на дозу код особља, нарочито за очно сочиво [2,3]. Еквивалентна доза за екстремитете такође значајно варира, у зависности од праксе, а забележене су и дозе од 110 mSv годишње [3].

Како је технологија која је коришћена у овим процедурама напредовала, напредовале су и методе и инструментација која се примењује у дозиметрији органа од ризика како пацијента, тако и особља које је у процедуре укључено. Истовремено, развијене су

препоруке о заштити од зрачења које су се временом и мењале, усклађујући се са новонасталим технолошким ситуацијама, и сазнањима о ризицима у процедурама.

О штетним ефектима високих доза јонизујућег зрачења зна се доста, али су ефекти малих доза, нарочито са дугорочном изложеношћу, и даље непознаница. На основу радиобиолошких сазнања о већој радиоосетљивости ткива очног сочива него што се раније сматрало, Међународни комитет за радиолошку заштиту (*International Commission on Radiological Protection - ICRP*), 2007. године препоручио је смањење годишње границе професионалног излагања очног сочива са постојећих 150 mSv на 20 mSv [4]. Природа интервентних и других флуороскопски вођених процедура је таква да особље без заштитне опреме за очи, са већим радним оптерећењем тј. бројем пацијената, може да достигне новопостављени лимит за годишњу дозу за очно сочиво. Вредности дозе преко постављеног лимита могле би временом довести до промена на очном сочиву, замућења вида и, скоро сигурно, катаракте. Појава ових ефеката може се спречити употребом одговарајуће заштитне опреме и оптимизацијом процедура.

RELID студија (*Retrospective Evaluation of Lens Injuries and Dose*), коју је водила Међународна агенција за атомску енергију (*International Atomic Energy Agency - IAEA*) у периоду 2008-2009. године, на узорку интервентних кардиолога и сестара који су добровољно учествовали, показала је да је скоро половина лекара и трећина техничара, имало неку врсту оштећења очног сочива које потиче од јонизујућег зрачења, односно инциденца настанка оштећења је била четири пута већа него у контролној групи [5]. Студија је такође показала да се повећана инциденца промена на очном сочиву узрокована интервентним процедурама, везује за неадекватну примену принципа и опреме која је доступна за заштиту од зрачења. *EURALOC* студија (*European Epidemiological Study on Radiation Induced Lens Opacities among Interventional Cardiologists*) изучавала је методе за ретроспективну процену кумулативне дозе за очно сочиво, у светлу процене ризика за настанак промена на сочиву изазваних јонизујућим зрачењем [6]. Ипак, оваквих студија је мало, нарочито оних које су добро координисане, са дефинисаним методологијама и начином извештавања. Међутим, мотивисаност особља за овакве студије, разноликост праксе и процедуре, као и хитност већине процедура и немогућност адекватне припреме интервентног особља практично спречава сваку координисану активност. У литератури се наводи врло мали број радова на ову тему, тако да се општи утисак о овој проблематици може извести са великим ограничењем и несигурношћу.

У Србији границе излагања изложених радника и њихово праћење дефинише “Правилник о границама излагања јонизујућим зрачењима и мерењима ради процене нивоа излагања јонизујућим зрачењима”, (Сл. гл. РС 86/2011-34 и 50/2018-123) [7]. Граница излагања, у виду ефективне дозе, износи 20 mSv годишње, израчуната као просечна вредност петогодишње дозе, с тим да ни у једној години ефективна доза не сме прећи вредност од 50 mSv. Правилник такође дефинише категорије изложености А и Б, при чему се у категорију Б сврставају лица која повремено раде у зони зрачења и која примају ефективну дозу испод 6 mSv годишње. У члану 29 овог правилника из 2018. године прописана граница еквиваленте дозе за очно сочиво износи 150 mSv годишње, и од тада се није мењала нити усклађивала са међународним препорукама.

Прегледом доступне литературе, установљено је да на националном нивоу такође не постоје никакви подаци о експозицији особља и пацијената у интервентним и оперативним процедурама, иако је донета нова међународна препорука, ни законска регулатива у пољу границе дозе за очно сочиво није усаглашена. Обзиром на непостојање других домаћих студија на ову тему, циљ истраживања ове докторске дисертације биће процена изложености код запослених који обављају интервентне, оперативне и друге флуороскопски вођене процедуре које су означене као процедуре високог и умереног ризика према “Правилнику о условима за категоризацију радијационих делатности у Републици Србији” (Табела 1, ставка 3 у поменутом Правилнику) [8], са главним циљем успостављања безбедног и сигурног радног окружења за изложене раднике у Универзитетском клиничком центру Војводине (УКЦВ) са становишта заштите од зрачења.

Циљеви тезе

- проценити изложеност запослених током више врста флуороскопски вођених процедура и то у различитим областима примене, целог тела, екстремитета и очног сочива;
- испитати потребу за рутинским мониторингом дозе за очно сочиво;
- испитати могућност употребе лако доступних параметара за процену дозе за запослене;
- дати препоруку за даљи мониторинг;
- дати препоруке за оптимизацију заштите.

На основу експериментално добијених података, циљ ће бити проналажење најоптималнијег решења за безбедну и сигурну употребу јонизујућег зрачења у интервентним и оперативним процедурама, а додатна вредност рада биће препорука за побољшање заштите од зрачења у Универзитетском клиничком центру Војводине, као и препорука за даљи мониторингу особља. Добијени резултати у оквиру ове дисертације ће бити искоришћени за побољшање примене заштитних средстава где је то потребно и праксе, где је могуће, дизање свести о значају заштите, и постављање препорука за сигурну и ефикасну примену јонизујућих зрачења у сврхе дијагностике и терапије у УКЦВ.

2. Теоријски увод

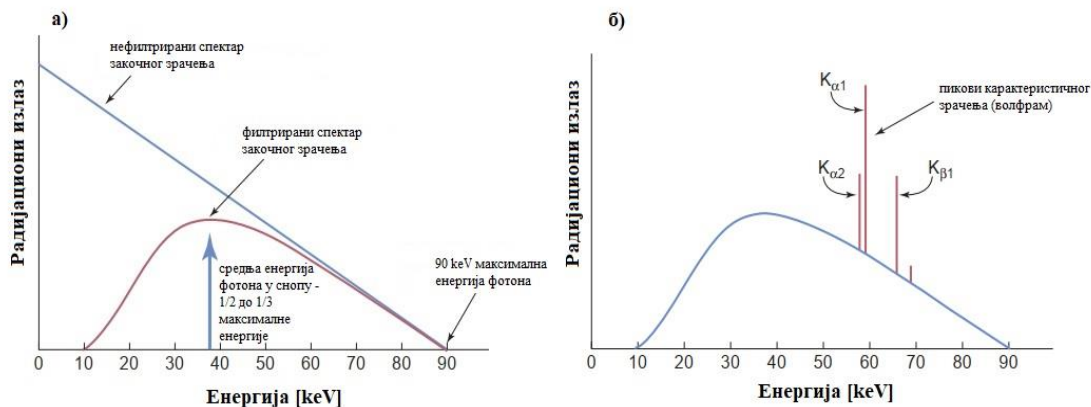
2.1. Флуороскопски вођене процедуре

Флуороскопија подразумева континуални сноп јонизујућег зрачења уз помоћ ког се, у реалном времену, могу посматрати, иначе невидљиве, промене у телу пацијента. Могу бити терапијске (интервентне или хируршке) и дијагностичке. Генерално у њима се користи хируршка, ендоскопска или друга специјализована (игле, катетери...) опрема која се уводи у тело пацијента (крвне судове, шупље органе, или друге органе налик цевима) а њено кретање или кретање контраста који се овом опремом пушта у тело пацијента, прати се употребом јонизујућег зрачења. Због манипулације коришћеном опремом, оператери – лекари различитих специјалности стоје у непосредној близини рендген апарата и пацијента током трајања експозиције, те на тај начин бивају изложени јонизујућем зрачењу у професионалне сврхе.

2.1.1. Рендген апарати за флуороскопију

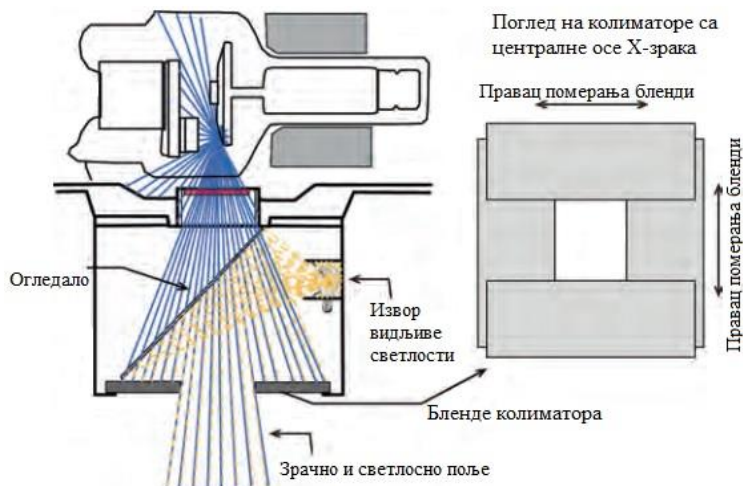
Јонизујуће зрачење помоћу кога се формира слика у флуороскопски вођеним процедурама пореклом је из рендген апарата. У питању су X-зраци произведени у рендгенској цеви. У њој се електрони, емитовани са катодe, убрзавају под дејством електричног поља, до позитивно наелектрисане аноде. Приликом интеракције са анодом као метом, долази до трансформације кинетичке енергије атома у друге облике енергије. На један део електрона деловаће Кулоновске силе електрона у омотачу атома аноде, услед чега ће исти бити скренути са упадног правца и успорени, а као последица, изгубљена кинетичка енергија емитоваће се у виду фотона закочног зрачења. Мањи део електрона може, доживети директан судар са електронима из омотача мете и избацити их из омотача. Након избацивања електрона, његово место у електронској љусци остаје упражњено, а исто попуњава електрон из виших енергетских љуски или стања са вишом енергијом, том приликом емитујући фотон енергије која одговара разлици између два енергетска нивоа. X-зраци емитовани као закочно зрачење чине континуални део енергетског спектра, док они настали као последица избацивања електрона из електронског омотача, чине карактеристични део спектра X-зрака. Како би се сноп прилагодио употреби у медицинским сликањима, дизајн рендгенске цеви је такав да сноп, пре излаза из цеви пролази кроз филтер, односно танак слој материјала, најчешће алуминијума или бакра, који ће из спектра уклонити фотоне са ниским енергијама, који би у супротном доприносили дози за пацијента али не и медицинској слици. У овако филтрираном снопу највећи број фотона имаће енергију која износи око једне трећине максималне енергије фотона у том спектру (Слика 1). Поред ових фиксних филтера, у флуороскопији се користе и динамички филтери, у облику сета плочица различитих дебљина, који током трајања експозиције имају за циљ да додатно обликују сноп према тренутним потребама слике.

Радни напон 90 kVp



Слика 1: а) филтрирани и нефилтрирани спектар закочног зрачења; б) карактеристично зрачење у спектру, оба при напону рендгенске цеви 90 kVp [9]

Параметри рендгенске цеви који ће диктирати карактеристике снопа јесу напон и струја. Код дијагностичких примена X-зрака напон рендгенске цеви креће се у опсегу од 40 до 150 kV и исти ће диктирати максималну енергију фотона у снопу, па тиме и његову продорност. Струја цеви, изражена у јединицама mA, пропорционална је броју електрона у секунди који бивају емитовани са катодe, што директно утиче на број фотона у спектру X-зрака. На број фотона у спектру утиче и време емисије, изражено у секундама, које је код рендгенске цеви врло кратко. Производ вредности струје и времена често се посматра као један показатељ квалитета снопа, а изражава се као mAs.



Слика 2: Илустрација рада колиматора [9]

Колиматори су део рендгенске цеви који се налази на њеном излазу и имају за циљ да обликују снап зрачења (Слика 2). Два пара оловних заклона (бленди), који се увлаче и извлаче из својих носача, формирају снап жељеног облика и величине. Рендгенска цев је тако дизајнирана да, у свом максимално отвореном положају, колиматори ограничавају излазни снап тако да одговара димензијама детектора, док додатно затварање колиматора,

једног или оба пара, смањује површину снопа са циљем да исти покрива само оно подручје тела пацијента са ког је слика заиста неопходна.

Аутоматска контрола експозиције (енг. *Automatic Exposure Control – AEC*) представља спрегу између детектора зрачења и извора напона на рендгенској цеви која има задатак да број и енергију фотона који долазе до детектора одржава на унапред задатом нивоу. Овај систем аутоматски прави подешавања параметара снопа (kV, mAs и други) како би компензовао дебљину пацијента и друге варијације у атенуацији снопа. Такође, *AEC* управља и динамичким филтерима. Задати ниво квалитета слике најчешће зависи од одабраног модалитета на управљачкој конзоли апарата, а који укључује врсту процедуре, регију на којој се процедура врши и избор између ниског, нормалног и високог квалитета флуороскопске слике (енг. *low, normal, high fluoroscopy*).

Флуороскопија је техника осликовања анатомских структура у реалном времену. Модерни флуороскопски системи омогућавају формирање 3 до 30 фрејмова, односно слика, у секунди. Што је број фрејмова већи, то се слике, односно кретање, приказују све више континуално, што је важно код анатомских структура које се брзо померају, као што је срце. Код других примена, овако велика временска резолуција није неопходна, па се могу користити технике са малим бројем фрејмова у секунди. Основа сваке флуороскопске технике је једна дводимензионална, пројекциона слика, а више таквих слика формирају видео, односно континуални приказ. Један минут флуороскопије са 3 фрејма у секунди резултује са 180 слика, а овако велик број слика захтева да свака од њих буде формирана са много мањим бројем фотона, до чак 1000 пута мањим, у односу на класичну радиографску слику, јер би у супротном доза зрачења за пацијента била изузетно велика. Зато флуороскопски системи захтевају детекторе врло велике осетљивости.

Појачивачи слике (енг. *Image Intensifier*) прва су технологија, аналогна, које је омогућила широку примену флуороскопије. Састоје се из улазног екрана, фотокатоде, фокусирајуће електроде, аноде и излазног екрана. У њима се X-зраци конвертују у фотоелектроне, који се затим убрзавају и умножавају под дејством високог напона, а тако умножени бивају сакупљени и пројектовани на излазни екран. На излазу се електрони поново конвертују у фотоне видљиве светлости и као такви приказују слику на екрану. Мала ефикасност појачивача слике, губитак контраста услед расејања, дисторзија слике и утицај локалних магнетних поља на њих, као мане ове технологије, утицале су на потребу проналажења нових технологија, а појачиваче слике данас остану у употреби само код једноставнијих уређаја. Данас су најчешће у употреби дигитални флуороскопски системи који користе *flat-panel* детекторе, по типу полупроводнички детектори, код којих се јонизујуће зрачење директно конвертује у електрични сигнал, а он се даље појачава, води и обрађује електронским путем. Овакви детектори, поред изузетне осетљивости, имају и добру временску резолуцију, што је важно за формирање великог броја слика у кратком времену.

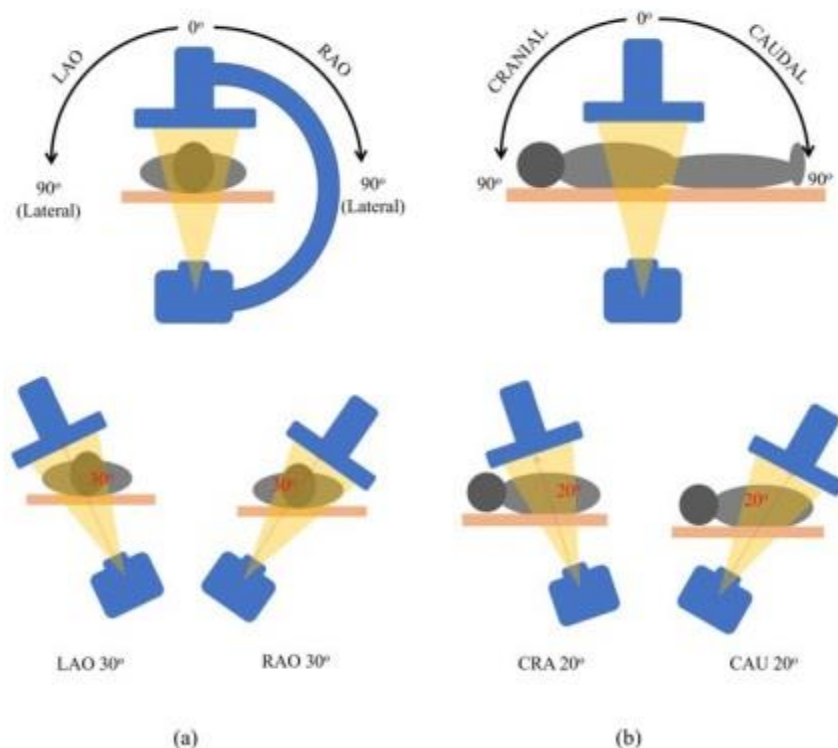
Пулсна флуороскопија подразумева производњу X-зрака од стране генератора у кратким, јасно дефинисаним пулсевима у неком временском интервалу, који омогућавају да се умање ефекти замућења слике током трајања једног фрејма, и присутна је код највећег броја модерних флуороскопских система. Пре пулсне флуороскопије, у широкој употреби

била је континуирана флуороскопија, код које се сноп X-зрака емитује континуално. Поједини једноставнији уређаји и данас имају опцију континуиране флуороскопије. Када је потребно визуализовати мале анатомске структуре или детаље, за одређени део видног поља може се користити увећање (енг. *zoom*) у вредностима које варирају од 1.5 до чак 4 пута увећане слике у односу на оригиналну. Том приликом се цео сноп X-зрака пројектује на мањи део видног поља, што омогућава бољу просторну резолуцију. Опција задржавања, односно приказивања, последњег фрејма на екрану (енг. *last image hold*) или изнова приказивања последње секвенце слика у виду видеа (енг. *last sequence display*), у флуороскопском кабинету након отпуштања папучице за флуороскопију, тј. након прекида експозиције, омогућава кориснику да детаљно анализира добијену слику без употребе додатног зрачења.

Квалитет, у смислу класичних показатеља квалитета слике као што су просторна резолуција, контраст и шум, сваке појединачне флуороскопске слике значајно је лошији од радиографских слика, али за примарни разлог осликавања, што је најчешће навигација опреме кроз шупљине у телу пацијента или кретање контраста кроз исте, тако лош квалитет слике је прихватљив, јер нема дијагностички карактер, већ само омогућује оријентацију у простору. Ипак, у појединим тренуцима дијагностичке или интервентне процедуре, потребно је направити једну или више слика високог дијагностичког квалитета.

Дигитална субтракциона ангиографија - ДСА (енг. *Digital subtraction angiography*) јесте техника која се најчешће користи за визуализацију контрастног средства кроз крвне судове. Током ње, слике се праве у два наврата, пре и након убризгавања контрастног средства у крвне судове, а потом се, пре приказивања, слика анатомских структура без контраста одузима од слике са контрастом, остављајући само приказ крвних судова са контрастом, без позадинских анатомских структура. Поред јасније визуализације структура од интереса, ова техника омогућава и употребу мањих количина контрастног средства. Ипак, дигитално одузимање слика нарушава однос сигнала и шума, а да би се овај ефекат елиминисао, потребно је користити већи број фотона за добијање слике, односно већу количину зрачења. Зато је ДСА у флуороскопији позната као техника са највећим вредностима брзине дозе за пацијента, па последично и за особље.

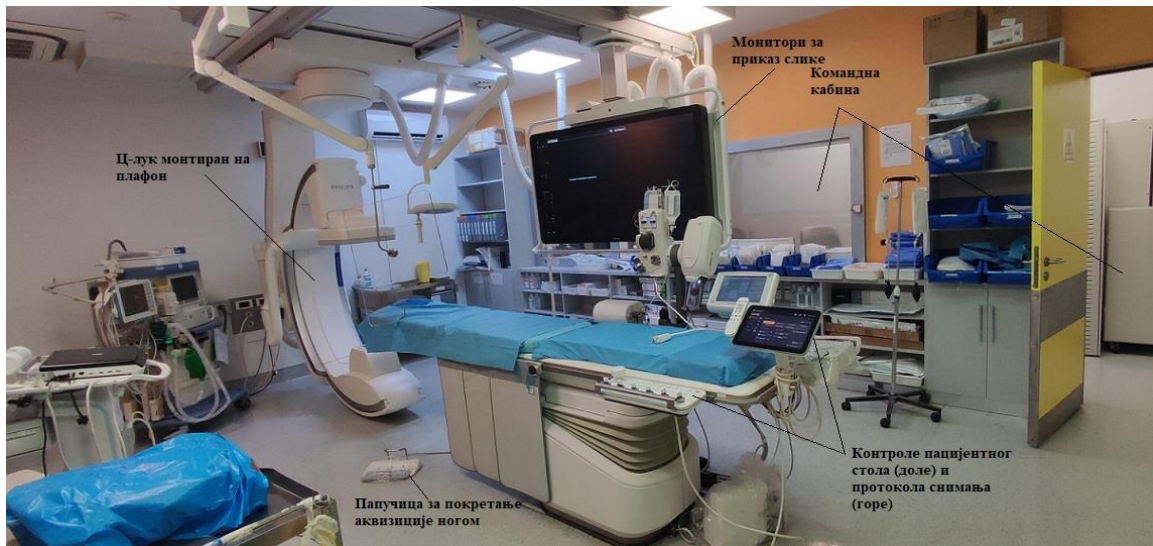
Гентри је носећи део рендген апарата који повезује рендгенску цев и пријемник слике, тј. детектор. Код наменских апарата за флуороскопију, он се често назива Ц-лук (енг. *C-arm*), јер има облик латиничног слова Ц. Ц-лукови имају могућност ротације система цев-детектор по три осе, тиме омогућавајући добијање анатомских слика из најразличитијих пројекција. Ротације у равни гентрија називају се примарне или орбиталне ротације и обележавају се скраћеницама ЛАО и РАО (енг. *left anterior oblique, right anterior oblique*), праћене углом ротације. Ротације у равни нормалној на гентри називају се секундарне или угаоне ротације и обележавају скраћеницама ЦРА и ЦАУ (енг. *cranial – CRA, caudal – CAU*), праћене углом ротације.



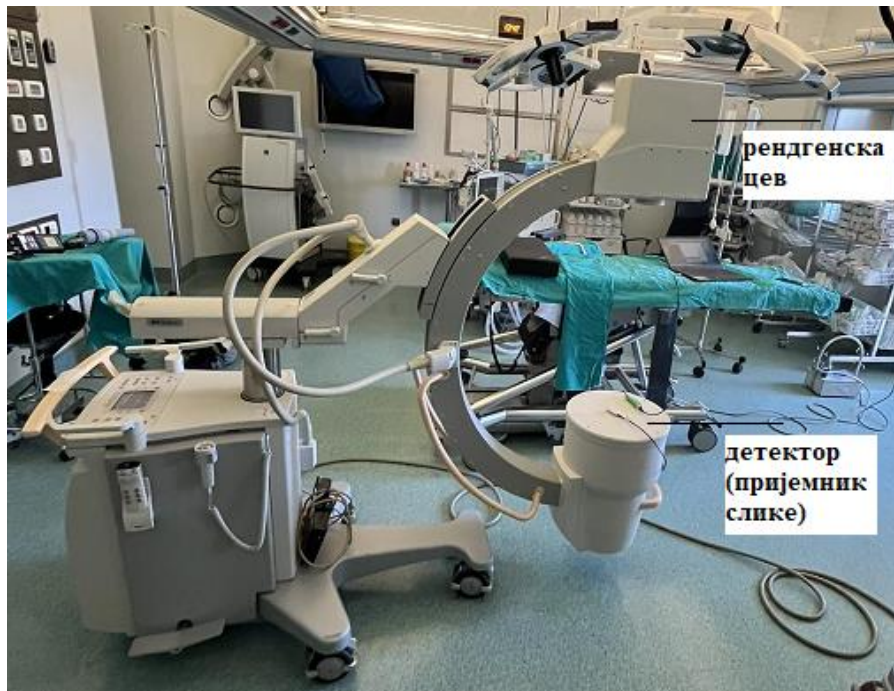
Слика 3: Равни ротације Ц-лука а) примарна, б) секундарна и номенклатура пројекција. [10]

2.1.2. Врсте рендген апарата за флуороскопију

Апарати за флуороскопију могу се поделити у две групе: фиксни и мобилни Ц-лукови и класични, стационарни рендген апарати који имају могућност скопирања. Фиксни Ц-лукови могу бити причвршћени за под или плафон ангиографског кабинета, који се често називају ангио-сале, док су мобилни Ц-лукови покретни, на точковима, и намењени су коришћењу у више просторија, најчешће у више операционих сала у оквиру једног операционог блока. Апарати у ангио салама често имају напредне карактеристике обраде слике, а слика се приказује на великим мониторима унутар сале, напредних карактеристика, позиционираним поред пацијентног стола, а иста, заједно са припадајућим подацима о изложености пацијента, се шаље и чува у оквиру болничког система за слање и чување медицинских слика ПАКС (енг. *Picture Archiving and Communication System – PACS*). Са друге стране, када се каже једноставнији флуороскопски системи мисли се најчешће на мобилне Ц-лукове. Код њих се слика приказује на, иако наменска, једном или два мања монитора, који се на конзоли са точковима, крећу од сале до сале заједно са апаратом. Како су ови апарати мобилни, нису физички спојени на болничку рачунарску мрежу, слање слика и припадајућих података би се могло извршити повременим ручним трансфером података на болничку мрежу или, евентуално, бежичним путем.



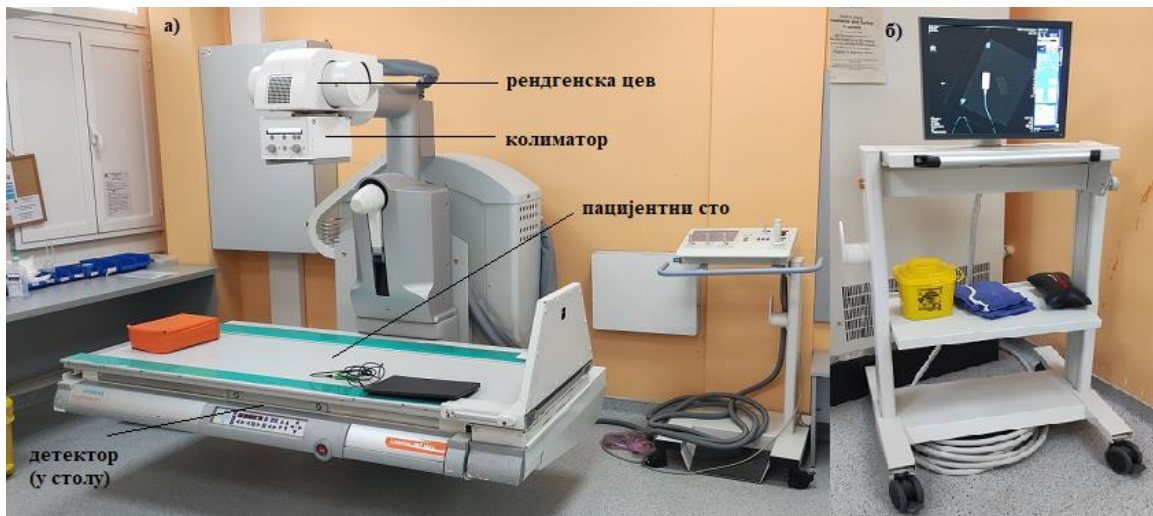
Слика 4: Стационарни апарат типа Ц-лук – ангио сала (произвођач: Philips, модел Azurion)



Слика 5: Покретни апарат типа Ц-лук у операционој сали (произвођач: Philips, модел: BV Pulsera)

Код Ц-лукова експозиција, односно емисија јонизујућег зрачења из рендгенске цеви, било да је у питању флуороскопија или дијагностичка слика високог квалитета, може се покренути путем папучице коју главни оператер притиска ногом. Папучица се састоји из два дела, сваки намењен једном режиму осликавања. Детаљи експозиције као што су протокол снимања, положај пацијентног кревета и Ц-лука, оријентација Ц-лука, колимација одабирају се на командној конзоли апарата која се налази уз пацијентни кревет.

Флуороскопија може бити доступна и код стационарних апарата који немају конфигурацију Ц-лука, већ је рендгенска цев везана за статив апарата, а детектор се налази у пацијентном столу. Код оваквих апарата цев се не може ротирати, па се могу добити само слике из антерио-постериорне пројекције АП. За сваку другу пројекцију, попут постерио-антериорне ПА или бочне, тј. латералне, потребно је да се пацијент ротира, легне на стомак или на бок. Ови апарати првенствено су намењени за управљање из контролне собе, али се извесне процедуре код којих је неопходно присуство оператера поред пацијента на њима такође могу изводити.



Слика 6: Стационарни рендген апарат (произвођач: Siemens, модел: Luminos DRF Max) са могућношћу флуороскопије; а) апарат и пацијентни сто, б) монитор за приказ слике у кабинету, на покретним колицима.

2.1.3. Типови процедура

Флуороскопски вођене процедуре изводе се у различитим областима медицинске праксе. Могу се поделити на интервентне, хируршке и дијагностичке. Као што је претходно описано, могу се изводити на различитим местима (ангио сала, операциона сала, рендген кабинет) и у њима се користе различити типови рендген апарата са могућношћу флуороскопије. У иностраној литератури, у употреби је термин „изван одељења за имиджинг“ (енг. *outside imaging department*), који употребу флуороскопије дели према медицинским специјалностима на ону у радиологији са једне стране, и оне у васкуларној хирургији, урологији, ортопедској хирургији, гастроентерологији, гинекологији, анестезиологији – терапији бола и другим [2]. Може се рећи да интервентни радиолози могу обављати процедуре на различитим органима, док други лекари обављају флуороскопске процедуре на једној групи органа из домена њихове специјалности. На пример, интервентни радиолози могу обављати интервентне процедуре на крвним судовима свих делова тела, као и на плућима, бубрезима и другим органима, док ортопеди флуороскопију примењују искључиво за визуализацију коштаних структура. Такође, у литератури је забележена промена у пракси у смислу да су, на пример, раније васкуларне процедуре на екстремитетима обављали искључиво интервентни радиолози, а данас их на неким местима обављају васкуларни хирурзи [11]. У зависности од доступности опреме,

процедуре у једној области може обављати особље једне медицинске гране (нпр. урологије) у простору и на апарату који припадају радиологији, самостално или у сарадњи са радиолошким особљем (лекарима, техничарима). Задужења, опрема и простор у коме се процедуре обављају карактеристика је локалне организације, не само у некој држави, већ и у самом медицинском центру – болници.

2.1.4. Типови процедура у УКЦВ-у

Радиологија

У УКЦВ-у се велика већина интервентних процедура које спадају у област рада ове здравствене установе (што искључује кардиологију), обављају у оквиру интервентне радиологије, што подразумева широк спектар васкуларних процедура као и перкутаних интервенција.

Васкуларне интервентне односно ендоваскуларне процедуре баве се интервенцијама на крвним судовима, а подразумевају увођење катетера, жица са различитим особинама, и друге специјализоване опреме овог типа кроз један крвни суд на месту где је приступ једноставан, а потом навођење и манипулацију овом опремом кроз друге крвне судове, удаљене у односу на место приступа, а визуализација кретања и радњи унутар тих крвних судова врши се употребом јонизујућег зрачења. Могу се вршити на крвним судовима екстремитета, главе, абдомена или грудног коша, могу подразумевати уклањање наслага на крвним судовима, уклањање угрушака, проширивање сужених крвних судова, третирање проширења крвних судова где постоји ризик од пуцања (анеуризми) и друге интервенције. Приступ крвним судовима најчешће се врши кроз врат, препоне или пазушну јаму, а у појединим ситуацијама приступ крвном суду може бити и директно на месту промене или у непосредној близини.

Перкутане интервенције подразумевају увођење опреме до органа који се третира преко коже, са местом приступа директно изнад самог органа који се третира. Најчешће заступљена процедура овог типа у УКЦВ је пласирање перкутане нефростоме, која представља отвор на кожи, а има за циљ дренажу бубрега путем катетера који спаја бубрег и кожни отвор. Перкутано могу се вршити и билијарне или плућне дренаже, као трансхепарична холангиографија.

Пласирање перкутане нефростоме је процедура која би се могла сврстати у област урологије и у страниј литератури није редак случај да је изводе уролози. Друге процедуре из области урологије које обављају интервентни радиолози у УКЦВ-у укључују антеградну пијелографију и пласирање JJ стента – катетера који се поставља у уретер са циљем несметаног протока урина од бубрега до бешике.

Васкуларна хирургија

Према локалној пракси, у УКЦВ-у, васкуларни хирурзи укључени су у обављање процедуре ендоскопски третман анеуризме абдоминалне аорте (енг. *Endovascular Aneurism Repair – EVAR*) и то као део тима, заједно са интервентним радиолозима.

ЕВАР је процедура коју могу обављати васкуларни хирурзи самостално, или у сарадњи са интервентним радиолозима. Циљ ове процедуре јесте да спречи руптуру дијагностиковане анеуризме абдоминалне аорте, које би угрозило живот пацијента. Процедура се састоји из неколико фаза и то визуализација крвних судова и планирање кретања, вођење жица и катетера до регије од интереса, вођење стент графта до регије од интереса, распоређивање опреме по регији од интереса, осигуравање локације опреме, ширење стент графта и потврда резултата. Свака фаза има другачије захтеве за врстом, дужином и квалитетом флуороскопије, а захтеви се, унутар једне фазе, могу значајно разликовати од комплексности саме анеуризме која се код пацијента третира. Током фаза у којима се манипулише ендоскопском опремом, особље мора стојати непосредно уз пацијента, док се током фаза у којима се оцењује постигнути ефекат, особље може удаљити неколико корака у назад, у циљу заштите од зрачења [12].

Урологија

Уролошке процедуре које користе флуороскопију баве се дијагностиком патолошких стања или интервенцијама на органима нефро-уринарног система, односно бубрега, уретера, бешике и мокраћне цеви – уретре. Органима овог система може се приступити перкутано, са циљем третирања сужења уретера или уретре, а могу се испитивати и антеградно, праћењем нормалног физиолошког тока контрастног средства апликованог интравенски. Као што је претходно поменуто, процедуре у којима се приступ врши перкутано, у УКЦВ-у обављају интервентни радиолози. Са друге стране, катетери, сонде и инструменти могу се у посматрани систем увести и ретроградно, кроз мокраћну цев, а испитивање се врши убризгавањем контраста на бази јода, а потом посматрањем дистрибуције контраста или његово кретање приликом мокрења у процедурама као што су уретростистографија - УЦГ, ретроградна уретеропијелографија, микциона цистоуретерографија и друге. Процедуре у којима се приступ виши ретроградно, у УКЦВ-у обавља уролошко особље.

У зависности од доступности опреме, ретроградне процедуре могу се изводити на различитим типовима рендген апарата који имају могућност флуороскопије. Код неких процедура неопходно је присуство особља, уролошког техничара и/или уролога, непосредно уз пацијента, док се код неких особља може склонити у командну кабину рендген кабинета током трајања експозиције.

Посебна врста уролошких процедура јесу оне које користе фокусиране ултразвучне таласе за разбијање камена у бубрегу, док се кретање камена прати рендгенским зрацима у процедури вантелесне литотрипсије шок таласима (енг. *Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy – ESWL*), за коју се користи наменски апарат који има могућност емисије и ултразвучних и рендгенских зрака [10]. У УКЦВ-у ове процедуре обавља уролошко особље, боравећи у командној кабинџ током трајања флуороскопије.

Ортопедска хирургија

Осликавање коштанџ структура једна је од најстаријџ примена јонизујућег зрачења на човека, али је употреба флуороскопије, као помоћног средства у постављању шрафова и

друге опреме за фиксирање коштаних структура, почела да се развија осамдесетих година прошлог века. Употреба флуороскопије, најчешће пореклом из мобилних Ц-лукова, због њихове доступности у операционим салама, нашла је примену при анатомским локализацијама, уклањања коштаних ткива, уградње имплантата, интра- и екстремедуларних фиксација кости као и других процедура у области ортопедске хирургије. Као и у другим гранама, и у ортопедији влада тренд минимално инвазивних процедура, које имају за циљ што мање оштећења меког ткива, али по цену повећане изложености пацијената и особља. Како се кости и зглобови налазе у целом људском организму, флуороскопски вођене ортопедске процедуре изводе се на свим деловима тела пацијента. Карактеристика процедура код којих се користе метални импланти јесте да њихово увођење у поље рендгенског зрачења повећава сам интензитет зрачења. Код неких процедура ортопедски хирург мора стајати непосредно уз пацијента током трајања флуороскопије, док се код неких може удаљити пар корака уназад током осликавања [10].

Анестезиологија – терапија бола

Једна од грана анестезиологије, терапија бола, бави се терапијом болних стања која настају услед повреда или притиска на нерве. Многи пацијенти који се подвргавају терапији бола исцрпели су друге ресурсе за смањење бола који осећају или из неког разлога не могу или не желе бити подвргнути операцији. У терапији бола, специјализоване игле уводе се преко коже (перкутано) до живца од интереса, потом се кроз њих убризгава контраст како би се осликао међукоштани простор који живац испуњава, док се након тога иглама убризгава и лек који служи као блокатор бола. Друга опција је увођење игала за радиофреквентну аблацију, па се на живац делује радиоталасима, уместо леком. У оба случаја, јонизујуће зрачење, тј. флуороскопија користи се за позиционирање и праћење положаја, односно врха, игле, као и кретања контраста, и то најчешће приликом третирања бола у леђима, односно кичми [13]. Третирање бола у мањим зглобовима може се пратити употребом ултразвука. Процедуре се могу вршити на различитим типовима апарата који имају могућност флуороскопије и различите оријентације Ц-лука, односно приказивање слика из различитих пројекција. Присуство анестезиолога непосредно уз пацијента је неопходно током трајања експозиције.

2.2. Изложеност пацијента и особља, заштита и здравствени ризици

2.2.1. Изложеност пацијената и особља

Што је слика квалитетнија, то је потребно више фотона за њено стварање, односно она резултује већом дозом зрачења за пацијента. Већа слика, настала ширим пољем, већи број слика у јединици времена услед већег броја емитованих пулсева у секунди, или укупно, услед дужег укупног времена флуороскопије свакако су фактори који ће резултовати већом дозом за пацијента. Сви ови фактори могу бити неопходни услед конкретне клиничке ситуације, а када нису неопходни треба водити рачуна о њиховом смањењу. Фактор који утиче на дозу за самог пацијента јесте и величина тела пацијента које се налази у снопу зрачења, односно дужина пута који кроз тело пацијента зрачење пролази на свом путу ка детектору. Већа количина зрачења потребна је за добијање једнако

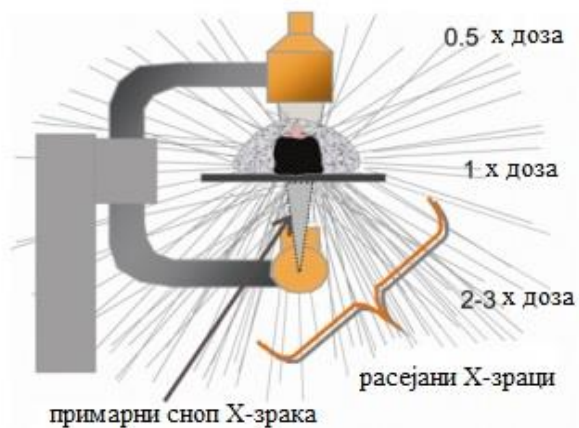
квалитетне слике крвних судова у абдомену него оних у руци. Постоје и разлике у величини истог дела тела код различитих пацијената узроковане различитим *body-mass* индексом. Коришћење косих пројекција (ЈАО, РАО) често повећава дозу за пацијента, нарочито при осликовању абдомена, јер је због елипсоидног облика овог дела тела, пут који зрачење пролази кроз тело пацијента дужи него при постерио-антериорној (ПА) пројекцији. Утицај различитих параметара снимања на квалитет слике и дозу за пацијента и оператера дат је у Табели 1. Међународна електротехничка комисија (енг. *International Electrotechnical Commission – IEC*) прописала је у својим стандардима неке карактеристике које рендген апарати морају имати као обавезне, како би се обезбедила могућност добијања медицинске слике, односно корисних дијагностичких информација, уз рационално ниску дозу зрачења за пацијента [14,15]. Неке од ових карактеристика су постојање колиматора, аутоматске контроле експозиције, опција задржавања последње направљене слике или видеа на екрану и слично. Нека од решења за смањење дозе за пацијента су софтверска, попут технике ДСА. И поред тога што постоје на апарату, да би се овим карактеристикама обезбедила оптимална доза за пацијента, потребно је да их корисник заиста и употребљава на адекватан начин.

Поред карактеристика апарата, ИЕС такође прописује и обавезно постојање упутстава за употребу која детаљно описују како се свака од наведених карактеристика исправно користи. Када корисник набавља нови рендген апарат, важно је да приликом испоруке особље буде упознато са свим доступним карактеристикама које могу довести до оптималне употребе апарата, као и на одговарајући начин обучено да исте користи. Како иницијалну обуку за рад из реалних разлога може проћи само један број корисника, важно је и да се информације међу колегама на адекватан начин преносе, односно да се нови корисници опреме која је већ инсталирана и користи се, такође буду на адекватан начин обучени за њено коришћење.

Професионално излагање оператера у области флуороскопски вођених интервентних процедура је међу највишим забележеним излагањем при медицинској примени извора зрачења [16]. Доза за пацијента има директан утицај на дозу за особље, односно смањењем дозе за пацијента неминовно опада и доза за особље, када оно стоји поред пацијента [3]. Стога је оптимизација дозе за пацијента први корак у оптимизацији дозе за особље. Приликом употребе рендген апарата, невезано за његову намену, највећи проценат расејаног зрачења из тела пацијента емитује се у правцу рендгенске цеви. Зато се, када год је могуће, саветује да се флуороскопски апарати користе у основној оријентацији тако да је рендгенска цев ближе поду, а наспрамни детектор ближе плафону. Други врло важан чинилац дозе за особље јесте доступност и употреба личних и колективних заштитних средстава.

Табела 1: Утицај параметара снимања на квалитет слике, дозу за пацијента и дозу за оператера [9,17]

	Ефекти			
	Квалитет слике	Узрок	Доза зрачења за пацијента	Доза зрачења за оператера
Повећан БМИ* пацијента	лошији	већа количина расејаног зрачења	већа	већа
Искључен АЕЦ (повећано mA, конст. kV)	бољи	мање шума на слици	већа	већа
Укључен АЕЦ (повећано kV, смањено mA)	за мека ткива бољи за кости и контрастно средство – лошији	мање шума смањен контраст објекта	мања	мања
додата филтрација (укључен АЕЦ)	без значајне промене		мања	мања
повећано растојање пацијента од цеви	незначајно бољи		мања	без значајне промене
повећано растојање пацијента од детектора	незначајно бољи	мање расејаног зрачења	већа	већа
увешање (zoom)	бољи	боља просторна резолуција	већа	већа
шире отворени колиматори	лошији	повећан удео расејаног зрачења	већа укупна доза	већа
повећан број фрејмова у секунди (fps)	бољи	боља временска резолуција	већа	већа
употреба специјалних техника нпр. ДСА	бољи	мање шума, боља просторна резолуција	већа	већа



Слика 7: Примарни сноп и расејано зрачење – дистрибуција и релативни интензитет расејаног зрачења око пацијента [2]

2.2.2. Заштита од зрачења

Заштита од зрачења изложених радника постиже се кроз структурну заштиту, кроз примену колективних и личних заштитних средстава, али и кроз примену радних техника које доприносе смањењу изложености. Структурна и колективна заштита различито се примењује у зависности од типа рендген апарата.

Структурна заштита

Стационарни Ц-лукови користе се за најкомплексније флуороскопске процедуре, те стога имају могућности креирања најквалитетнијих слика, али са последицом високих доза за пацијента и особље, те се заштити од зрачења посвећује посебна пажња. За ове апарате структурна заштита се посебно планира, јер се постављају у наменске просторије, ангио-сале, у којима зидови око просторије, који представљају заштитне баријере, морају задовољити унапред задате критеријуме у погледу заштите. Прорачун дебљине заштитних баријера врши се на основу положаја и карактеристика апарата и планираног броја и врсте процедура. Уколико се, на основу прорачуна, укаже потреба, зидови просторије се додатно облажу заштитним материјалима. Ове просторије имају суседну командну собу (кабину) из које је обезбеђена визуелна комуникација са простором флуороскопа, а између њих налазе се провидне баријере са адекватним заштитним карактеристикама, у виду оловног стакла.

Дизајн простора за флуороскопски кабинет одређене намене је још једна важна ставка, препозната од стране релевантних међународних организација које се баве заштитом од јонизујућег зрачења. Простор у коме се налази рендген апарат, нарочито онај намењен комплексним флуороскопским процедурама, мора бити довољно велик како би обезбедио особљу довољно места за кретање и маневрисање различитом опремом или деловима опреме. Постојање довољно велике командне собе (кабине) са адекватно великим оловним стаклом и интеркомом, обезбеђујући визуелну и аудио комуникацију, омогућава да сво оно особље које није апсолутно неопходно непосредно уз пацијента током читавог трајања процедуре, буде на адекватан начин заштићено, а опет да непрестано прати процедуру и буде доступно да реагује у року од свега неколико секунди.

Како су мобилни Ц-лукови намењени коришћењу у више операционих сала, за њих се структурна заштита не пројектује. Квалитет слике код ових апарата, као и видно поље, значајно су мањи него код стационарних Ц-лукова, па је последично мања и доза зрачења за пацијента и особље. Ипак, слика коју овакви апарати дају прилагођена је намени. Код класичних, стационарних рендген апарата који имају могућност флуороскопије, али и рендгенску цев изнад пацијентног стола, интензитет расејаног зрачења за горњи део тела оператера је виши него код апарата где се цев налази испод стола. Како се користе у наменским рендген кабинетима, дебљина заштитних баријера се посебно пројектује, а поседују и командну собу или кабину, са којом су визуелно повезани оловним стаклом.

Колективна заштитна средства

Како би се спречило допирање расејаног зрачења до места на коме борави један или више оператера током процедуре, у просторије са стационарним Ц-луковима, по правилу,

инсталирају се додатна заштитна средства (Слика 8). Она обухватају завесице испод пацијентног стола, плафонски екран и мобилни заштитни параван и називају се колективна заштитна средства. Завесице се монтирају на пацијентни сто, а имају за циљ да заштите доњи део тела оператера од расејаног зрачења које је најинтензивније у правцу рендгенске цеви. У комплекту са завесицама може се користити и наставак изнад стола, са циљем да парцијално заштити и горњи део тела оператера од расејаног зрачења. Главни комад опреме чија је намена да штити горњи део тела оператера, посебно лице и очи, јесте плафонски екран. Овај комад опреме, како му име каже, монтиран је на плафон и са њега, помоћу неколико спојених шипки, а причвршћен на плафонске шине, виси. Шипке које носе екран су спојене зглобовима, а у комбинацији са плафонским шинама по којима се екран може кретати, омогућен је широк опсег положаја у просторији које плафонски екран може достићи и у које се може поставити. Овај екран је провидан а у једном од углова може бити полукружно засечен како би могао пратити контуру тела пацијента приликом постављања. Намењен је коришћењу док се оператер налази непосредно уз пацијента и обавља манипулацију ендоскопском или хируршком опремом, а може смањити дозу за главу и врат оператера за фактор од 2 до 10, у зависности од тога како је позициониран [3].



Слика 8: Колективна заштитна средства у ангио-сали: Плафонски екран и завесице испод пацијентног стола

Заштитни мобилни параван јесте мобилна баријера која има за циљ да заштити готово цело тело два до три оператера, попут зида, унутар собе за флуороскопију, али нешто даље од самог апарата и пацијента. Најчешће се користи у ситуацијама када се оператери на кратко могу одмаћи од пацијента, док не врше манипулацију ендоскопском опремом, а док траје аквизиција слика, односно током високодозног режима рада апарата или дела процедуре. Могу бити израђени у потпуности од непровидног материјала, а у горњи део може бити уграђено оловно стакло, како би се обезбедила визуелна комуникација са пацијентом. Овде је још једном потребно напоменути важност дизајна простора, јер простор дизајниран тако да омогућава лак и несметан приступ мобилним и фиксним заштитним средствима повећава вероватноћу да ће та средства заиста бити и коришћена.

Сами апарати често имају напредне технике за смањење дозе за пацијента, такозване „*low dose*“ протоколе, чијом употребом се потенцијално смањује доза зрачења првенствено за пацијента, па последично и за особље. Операционе сале немају плафонске заштитне екране који би се користили заједно са мобилним Ц-луковима, као ни оловне завесице испод операционог стола. Рендген кабинети у којима се користе апарати са могућношћу флуороскопије, по правилу, нису опремљени плафонским екранима, а завесице за пацијентни сто овде нису применљиве.

Лична заштитна средства

Лична заштитна средства у области заштите од јонизујућег зрачења јесу средства која корисник облачи или ставља директно на своје тело и имају за циљ да заштите само појединца који их носи. Основна лична заштитна средства су једноделне или дводелне кецеље, затим штитници за врат као и заштита за очи, у виду наочари или визира. Дводелне кецеље, које чини комплет прслук и сукња, посебно су дизајниране за кориснике који дуго и често имају потребу за коришћењем личне заштите. Заштитне кецеље, у зависности од величине, могу бити тешке и преко 10 kg, што, поред nelaгоде, код дуге и честе употребе може изазвати проблеме код корисника као што су болови у раменима и леђима. Код комплета прслук и сукња, тежина заштитног средства се распоређује на рамена и кукове. Поред тога, оба елемента комплета дизајнирана су тако да се на предњем делу тела корисника средство преклапа (енг. *wrap-around design*), стварајући дупли заштитни слој са оне стране одакле расејано зрачење допире до корисника. Постоје и друга, додатна средства, попут рукавица, капа, гонадалне заштите и других, али њихова употреба није широко распрострањена јер постоје опречни ставови о њиховој оправданости и исплативости. У називу овакве опреме често се додаје придев „оловна“ или „оловни“ јер се она раније заиста јесте израђивала употребом олова, због његових одличних атенуационих карактеристика, у различитим хемијским мешавинама, али се, због тежине олова као материјала, данас прелази на друге, композитне материјале који имају једнако добре заштитне карактеристике као олово, али мању густину, па је опрема исте заштитне моћи израђена без олова (енг. *lead-free*) лакша и комфорнија за употребу.

Заштитна моћ заштитног средства изражава се као еквивалент олова у милиметрима (mm Pb), а најчешће вредности које се у пракси срећу су 0.25, 0.35 или 0.5 mm Pb за заштитне кецеље и штитнике за врат, 0.5 и 0.75 mm Pb за наочари, или 0.10 до 0.12 mm Pb за визире.

Поред заштитне моћи и дизајн опреме, превасходно покривна моћ, утиче на ефикасност сваког заштитног средства. Кецеље на преклоп обезбеђују степен трансмисије зрачења од 0.5 до 5% (за енергије X-зрака 70-100 keV) [3], а наочари могу, поред предње заштите, у стаклима, имати и бочну заштиту, како би се смањио интензитет зрачења које под великим углом долази до корисничког ока.

Као што је претходно поменуто, у операционим салама и рендген кабинетима који немају колективна заштитна средства, посебан акценат је на обезбеђивању и употреби свих расположивих личних заштитних средстава, јер се заштита оператера управо постиже личним заштитним средствима. Такође, посебну пажњу потребно је посветити методама којима оператер може утицати на смањење интензитета зрачења који до њега самог допире, јер оптимизацијом саме процедуре може се постићи и оптимизација заштите за оператера.

Велика предност горе описаних личних и колективних заштитних средстава јесте што се могу много пута изнова и изнова користити. Уз адекватно чување, ефикасно могу штитити своје кориснике годинама. Са друге стране, постоје и заштитна средства која су намењена коришћењу директно на пацијенту као извору расејаног зрачења, као што су покривке. Оне су меке и релативно лаке, па лако прате контуре тела пацијента. Како долазе у директан контакт са пацијентом у специфичним стерилним условима ангио или операционе сале, и саме морају бити стерилне, а како се стерилност након сваког пацијента губи, њихова употреба је једнократна.

Још један важан фактор у заштити од јонизујућег зрачења јесте континуирана едукација из области заштите од јонизујућег зрачења, не само она формална захтевана законском регулативом, већ и она на лицу места, у сарадњи са медицинским физичарима. Циљ овакве сарадње јесте да се кроз мерења нивоа зрачења у непосредној близини оператера током трајања конкретне процедуре, искомунуцирају измерене вредности, предложи промена у положају тела, главе или дела опреме или употреба техника или средстава којима би се измерене вредности могле смањити [10].

Оптимизација заштите од зрачења је континуирани процес планирања и унапређења заштите, који почиње у фази планирања употребе извора зрачења, а наставља се током читавог периода употребе конкретне извора зрачења [18]. Циљ оптимизације је да прати нивое излагања као и да обезбеди да су они на најнижем разумно достижном нивоу. Примарна одговорност за оптимизацију заштите од зрачења лежи у рукама управљачких структура корисника извора зрачења, коју треба показати кроз јасно дефинисан програм заштите од зрачења на нивоу установе, као и кроз пружање адекватне подршке и ресурса оним запосленима који су директно одговорни за заштиту од јонизујућег зрачења.

2.2.3. Здравствени ризици

Прва сазнања о штетним ефектима јонизујућег зрачења код изложених радника појавила су се већ у првим годинама рутинске клиничке употребе извора јонизујућег зрачења у медицини. Већ на почетку 21. века забележени су улцерозе, дерматитис, катаракта, карциноми коже, леукемија и апластична анемија. Прве велике студије које су укључивале

здравствене раднике показале су повећан ризик од настанка леукемије и неких врста карцинома код радиолога и радиолошких техничара који су почели да раде са изворима јонизујућег зрачења пре 1950. године [19,20]. Ефекти излагања дозама изнад 100 mGy углавном су познати, али о ефектима малих доза нема много поузданих података. Радијационе ризике повезане са излагањем ниским дозама, које одговара управо излагањима у медицинској примени зрачења, тешко је проценити, јер је тешко формирати контролне групе за које се може сматрати да нису изложене јонизујућем зрачењу, а подаци о детаљној историји излагања здравствених радника често нису конзистентни. Главна питања која се постављају су: да ли здравствени радници који су изложени јонизујућем зрачењу имају повећан ризик од настанка одређених здравствених проблема, да ли ризици варирају са дозом зрачења и да ли их је могуће умањити, како и на који ниво.

Највећа спроведена студија укључила је 146 000 радиолошких техничара у Сједињеним Америчким Државама који су праћени дуже од 30 година, а показала је да однос дозе и појаве ефеката (енг. *Radiation dose response relationship – ERR/Gy*) као што су базоцелуларни карцином коже, карцином дојке, штитасте жлезде и мозга, као и глаукома и дегенерације макуле, нису значајни [21–23]. Велика епидемиолошка студија која је изучавала смртност радиолога и интервентних радиолога у поређењу са психијатрима, као лекарима који нису професионално изложени зрачењу, није показала повећану учесталост смртности радиолога услед карцинома који могу бити изазвани дејством зрачења [24,25].

Прва студија која је довела у везу промене на очном сочиву и професионално излагање јонизујућем зрачењу објављена је 1998. године [26], а истраживања на ову тему наставила су се до данас. Објављени су резултати студија које су показале повећану инциденцу катаракте и других оштећења очног сочива код интервентних радиолога и кардиолога 2004. објављени су резултати студије која је обухватила 59 интервентних радиолога, од којих се код 37 % установило постојање промена на постериорном делу очног сочива. Иако ова студија није дала податке о дозама зрачења, аутори наводе да је учесталост појаве промена повезана са годинама бављења интервентном радиологијом, те су поставили основ за постојање зависности појаве промена од дозе зрачења [27]. Касније студије доказале су зависност појаве промена на очном сочиву од примљене дозе зрачења [28–31].

Такође, објављени су и докази о повећаној учесталости појаве, чак 2-7 пута у односу на друге здравствене раднике, ортопедских повреда изазваних ношењем заштитних кецеља [32] који, иако нису директно изазвани јонизујућим зрачењем, имају свакако везе са употребом извора јонизујућег зрачења у медицинском раду.

Доступна литература сагласна је у томе да су потребна додатна истраживања на ову тему у циљу добијања квалитетних информација о радиолошким здравственим ризицима код медицинских радника, уз конзистентан и прецизан мониторинг дозе, али се, због до сада доступних података, саветује редовна употреба свих расположивих заштитних средстава.

2.3. Физичке и дозиметријске величине у контексту примене јонизујућег зрачења у медицини

Дозиметријске величине неопходне су у циљу квантификације изложености људи јонизујућем зрачењу. Такође су неопходне како би се успоставио однос одговора људског организма на одређену дозу зрачења, кроз појаву различитих здравствених ефеката (енг. *dose-response*), што је основа за успостављање стандарда у области заштите од зрачења.

Релевантне међународне организације које се баве јонизујућим зрачењем и заштитом од јонизујућег зрачења, Међународна комисија за радијационе јединице и мерења (енг. *International Commission on Radiation Units and Measurements – ICRU*) и Међународна комисија за заштиту од зрачења (енг. *International Commission on Radiological Protection – ICRP*), развиле су физичке величине које се користе у заштити од јонизујућег зрачења. Поред физичких величина које квантификују јонизујуће зрачења, у заштити од зрачења користе се и а) примарно ограничавајуће дозиметријске величине, које се још називају и заштитне величине, и б) оперативне дозиметријске величине.

2.3.1. Физичке величине и јединице

Апсорбована доза D [33,34] је физичка величина која дефинише средњу вредност количине енергије $d\varepsilon$ коју зрачење преда неком елементу масе dm средине кроз коју пролази. Јединица за апсорбовану дозу је џул по килограму [J/kg], а њено специјално име је греј [Gy]. Изражава се једначином

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}. \quad (1)$$

Јачина апсорбоване дозе \dot{D} представља промену апсорбоване дозе dD у јединици времена dt . Јединица за брзину апсорбоване дозе је џул по килограму пута секунд [J/kg·s] или греј по секунд [Gy/s]. Изражава се једначином

$$\dot{D} = \frac{\partial D}{\partial t}. \quad (2)$$

Керма у ваздуху, или само керма (K) јесте сума кинетичких енергија наелектрисаних честица које су настале дејством јонизујућег зрачења, $d\varepsilon_{tr}$, у елементу масе материјала dm . Дефинише се само за X и γ зраке, односно ненаелектрисано јонизујуће зрачење и неутроне, а њена јединица је џул по килограму [J/kg] или греј [Gy]. Изражава се једначином

$$K = \frac{d\varepsilon_{tr}}{dm}. \quad (3)$$

Јачина керме, \dot{K} , јесте количник прираста керме dK у временском интервалу dt , а јединица је џул по килограму пута секунд [J/kg·s] или греј по секунд [Gy/s]. Изражава се једначином

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt} \quad (4)$$

2.3.2. Заштитне – примарно ограничавајуће величине

Основна идеја примарно ограничавајућих, или заштитних величина, јесте да повеже ризик од излагања јонизујућем зрачењу са једним дозиметријским кванфикатором који би узео у обзир људски организам као пријемника зрачења, уз различите осетљивости на зрачење различитих органа [4,35].

Апсорбована доза у органу или ткиву, D_T , представља апсорбовану дозу усредњену по запремини ткива или органа T , за разлику од класичне величине апсорбована доза која је дефинисана у тачки. У заштити од зрачења, овако дефинисана средња доза за орган или ткиво, представља основну заштитну величину која се може повезати са ризиком од излагања. Овакав концепт заснован је на линеарном односу дозе и ефекта у ткиву, као и принципу адитивности доза у сврху процене ризика, који је адекватан у опсегу ниских доза.

Еквивалентна доза у ткиву или органу, H_T , представља средњу апсорбовану дозу D_T у том ткиву или органу пореклом од одређене врсте зрачења R , помножене тежинским фактором за конкретан тип зрачења ω_R . Тежински фактори зрачења описују различиту биолошку ефикасност различитих типова зрачења. Радијациони тежински фактор за фотоне једнак је 1 [36]. Ова величина дефинише се за појединачни орган у људском организму. Јединица за еквивалентну дозу је џул по килограму [J/kg] или Сиверт [Sv], а она се изражава једначином

$$H_T = \sum \omega_R \cdot D_{T,R} \quad (5)$$

Ефективна доза представља збирни ефекат зрачења на људски организам, а узима у обзир различите радијационе сензитивности различитих органа. Уведена је са циљем процене дозе за цело тело, што одговара медицинским излагањима када више од једног органа бива изложено зрачењу. Осетљивост органа на зрачење изражена је ткивним тежинским факторима ω_T [4]. Јединица за ефективну дозу је џул по килограму [J/kg] или Сиверт [Sv], а она се изражава једначином

$$E = \sum \omega_T \cdot H_T \quad (6)$$

Ткивни тежински фактори представљају бездимензионе вредности које описују вероватноћу појаве канцера на неком ткиву или органу под условом да је цело тело униформно озрачено. Ове вредности су константне и примењују се на популацију, односно не узимају у обзир пол или старост. Сума свих ткивних тежинских фактора је 1. *ICRP* [36] је издвојио 12 ткива или органа са засебним вредностима ткивног тежинског фактора (Табела 2), док је свим осталим ткивима и органима заједно додељена вредност 0.12.

Табела 2: Ткивни тежински фактори [4]

Ткиво или орган	Ткивни тежински фактор w_T
Црвена косна срж, дебело црево, плућа, желудац, дојке	0.12
Гонаде	0.08
Бешика, једњак, јетра, штитаста жлезда	0.04
Површина кости, мозак, плувачне жлезде, кожа	0.01
Укупно за преостала ткива	0.12
Укупно за цело тело	1

Апсорбована доза у ткиву или органу представља физичку величину, док су еквивалентна и ефективна доза величине које узимају у обзир радиобиолошка и епидемиолошка сазнања кроз тежинске факторе. Главни циљ ефективне дозе је да обезбеди средство којим ће се утврдити да ли је изложеност појединца испод постављене границе дозе и као таква се користи у регулаторне сврхе широм света. Ефективна доза користи се за ограничавање појаве стохастичких ефеката као што су карцином или генетски ефекти и не може се користити за процену појаве реакције неког ткива или органа као детерминистичког ефекта. У ту сврху користи се еквивалентна доза.

2.3.3. Оперативне дозиметријске величине

Основна намена оперативних величина јесу мерења у области заштите од зрачења при спољашњем излагању. Њихов циљ је да дају процену вредности дозе која се може користити као ограничавајућа, односно за коју се може поставити горња граница и често се користе у регулисању изложености. Ове величине су неопходне при мониторингу спољашњег излагања зрачењу јер су примарно ограничавајуће величине практично немерљиве. Оперативне дозиметријске величине могу се поделити у две групе – амбијенталне и личне. За све врсте зрачења оперативне величине су дефинисане на основу једног фантома, такозване *ICRU* сфере [37], која се састоји од кисеоника, угљеника, водоника и азота, у односу који одговара односу ових елемената у људском организму и као таква представља еквивалент људском ткиву. Пречника је 30 cm, а густине 1 g/cm^3 и као таква адекватно репрезентује људско тело у погледу расејања и атенуације зрачења. Како би се одржале карактеристике тачкастост и адитивност оперативних величина, у њихове дефиниције додати су појмови проширено и поравнато радијационо поље. У таквом пољу, *ICRU* сфера је хомогено озрачена из једног правца, а флуks поља у одређеној тачки обухвата све честице који из свих правца пролазе кроз дату тачку. У овако дефинисаном пољу, вредност дозног еквивалента у било којој тачки *ICRU* сфере независна је од угаоне дистрибуције зрачења у реалном зрачном пољу.

За праћење дозе у простору користи се величина **амбијентални дозни еквивалент**, $H^*(d)$. Амбијентални дозни еквивалент у тачки од интереса у реалном пољу зрачења представља дозни еквивалент који би произвело проширено и поравнато радијационо поље у *ICRU* сфери на дубини d . За продорна зрачења, као што су фотони, $d=10 \text{ mm}$, а величина $H^*(d)$ пише се као $H^*(10)$. За овако дефинисану величину, читавање дозиметра или монитора

биће независно од угаоне расподеле зрачења, а величина даје процену ефективне дозе коју би појединац примио када би стајао у тачки мерења. Ова величина користи се за процену дозе у сврху заштите од зрачења, категоризацију зона зрачења, процену ефикасности заштитне опреме и слично.

За потребе индивидуалног мониторинга користи се величина **лични дозни еквивалент**, $H_p(d)$, који представља дозни еквивалент у *ICRU* ткиву на дубини d у људском телу испод тачке на којој је дозиметар ношен. За процену ефективне дозе, на дубини 10 mm, користи се величина $H_p(10)$, док се за процену еквивалентне дозе за кожу и очно сочиво користе величине $H_p(0.07)$ и $H_p(3)$, које представљају дозни еквивалент на дубинама 0.07 mm и 3 mm испод тачке на којој је дозиметар ношен.

Ове величине узимају у обзир чињеницу да су мерене дозиметром који се носи на телу и као такве узимају у обзир расејано зрачење из самог људског организма. Такође, оне су дефинисане за све врсте зрачења и адитивне су за зрачења која до дозиметра долазе из различитих праваца. Дефинисане су у људском организму, у реалном зрачном пољу и мере се директно на човековом телу. Оне, ипак, не узимају у обзир индивидуалне карактеристике људског организма које варирају од једног човека до другог. Вредности личног дозног еквивалента зависе од положаја на телу где је дозиметар ношен. Иако би требало да једна оперативна величина намењена личном мониторингу омогући процену ефективне дозе за готово све сценарије изложености, то ипак није увек могуће. Уколико особа носи дозиметар на предњој страни тела, а нађе се у ситуацији где је извор зрачења иза ње, односно бива озрачена од назад, са леђа, највећи део зрачења биће апсорбован у телу те особе пре него стигне до дозиметра. Чак и ако би дозиметар у овом случају тачно измерио вредност $H_p(10)$, она не би била адекватна процена укупне изложености организма. Стога се поставља још један захтев у личној дозиметрији у циљу што реалније процене дозе, а то је да се дозиметар носи на оном месту на телу које заиста реално репрезентује изложеност те особе зрачењу.

Овако дефинисане величине личних дозних еквивалената омогућавају калибрацију дозиметара под референтним условима, који заиста репрезентују сценарио озрачености тела или органа/тквива. Како се дозиметри не могу заиста калибрисати испред живог људског организма, за потребе калибрације развијена су три фантома, а дефиниције величине су проширене тако да дефинишу не само позиције и дозе на и у људском организму, него и у одговарајућим фантомима сачињеним од истог материјала као и *ICRU* сфера. Фантоми који се користе за потребе калибрације дозиметара, израђени су од материјала полиметил метакрилат – *PMMA*, и то фантом у облику квадра димензија $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$, са зидовима израђеним од *PMMA*, а унутрашњости испуњене водом, да репрезентује торзо, фантом у облику ваљка пречника 73 mm и висине 300 mm, са зидовима од *PMMA*, а средине испуњене водом, да репрезентује ручни зглоб, и фантом у облику мањег цилиндра пречника 19 mm и висине 300 mm, у потпуности израђен од *PMMA*, да репрезентује прст на руци, сви дефинисани од стране Међународне организације за стандарде (енг. *International Organization for Standardization – ISO*) [38]. Поред њих, за калибрацију дозиметара на величину $H_p(3)$, користи се цилиндрични фантом пречника 20 cm.



Слика 9: Међусобни однос основних физичких величина из области радијационе метрологије и дозиметрије са заштитним (ограничавајућим) и оперативним дозиметријским величинама

Све претходно дефинисане величине предмет су међународних публикација [4,33,35,39], које поред тога што су дефинисале основне физичке величине из области радијационе метрологије и дозиметрије, дефинишу и заштитне и оперативне величине, али и њихов међусобни однос. Заштитне и оперативне величине могу се повезати са основним величинама из области дозиметрије, у чијим дефиницијама специфични аспекти заштите од зрачења нису узети у обзир.

2.3.4. Величине за процену излагања пацијента

Керма на улазној површини, $K_{a,e}$, јесте керма на централној оси снопа X-зрака, у тачки где снап улази у тело пацијента или фантома. У овој величини урачунат је и допринос расејаног зрачења, а у литератури се она често назива ЕСАК, као акроним енглеских речи *Entrance Surface Air Kerma*. Њена јединица је такође цул по килограму [J/kg] или греј [Gy], а она се израчунава као производ упадне керме $K_{a,i}$ и фактора расејаног зрачења B . Фактор расејаног зрачења зависи од спектра X-зрака, величине поља, као и од дебљине и састава пацијента или фантома. Типичне вредности фактора расејаног зрачења у дијагностичкој радиологији крећу се у опсегу 1.2 до 1.6 [40]. У флуороскопским процедурама, ова величина користи се за процену максималне дозе за кожу пацијента. Изражава се једначином

$$K_{a,e} = K_{a,i} \cdot B \quad (7)$$

Јачина керме на улазној површини, $\dot{K}_{a,e}$, јесте количник прираста керме на улазној површини $dK_{a,e}$ у временском интервалу dt , а јединица је цул по килограму пута секунд [J/kg·s] или греј по секунд [Gy/s]. Изражава се једначином

$$\dot{K}_{a,e} = \frac{dK_{a,e}}{dt} \quad (8)$$

Керма у ваздуху у референтној тачки на улазу у пацијента, $K_{a,r}$, је величина која процењује укупну керму у ваздуху током флуороскопски вођене процедуре на површини коже пацијента. Референтна тачка у којој се ова величина одређује дефинисана је као тачка која лежи на централној оси снопа X-зрака, а удаљена је 15 cm од изоцентра у правцу фокалне тачке или фокуса. Положај овако дефинисане референтне тачке у односу на гентри се не мења са променом растојања цеви и детектора (енг. *Source to Image Distance – SID*), а она представља тачку у простору која се може, али не мора, налазити у телу конкретног пацијента. Називи величина су се мењали, па се неки стари, попут кумулативна доза или референтна керма у ваздуху, за ову величину могу пронаћи у нешто старијим публикацијама или прочитати са старијег апарата. Јединица за величину $K_{a,r}$ је [J/kg] или греј [Gy].

Иако у називу величине „керма на улазној површини“, $K_{a,e}$, стоји реч површина, она је, као и „керма у ваздуху у референтној тачки на улазу у пацијента“ $K_{a,r}$, ипак дефинисана само у једној тачки, и не говори ништа о распрострањености снопа зрачења по кожи пацијента. **Производ керме и површине**, R_{KA} , представља интеграл керме у ваздуху преко површине A у снопу X-зрака, а у равни која је нормална на осу снопа. Стара терминологија за ову величину је *KAP*, као акроним енглеских речи *Kerma Area Product*, или *DAP*, као акроним енглеских речи *Dose Area Product*. Јединица у којој се ова величина изражава је $Gy \cdot cm^2$, а често су у употреби и умношци $\mu Gy \cdot m^2$. Ова величина готово да је независна од растојања од фокуса снопа X-зрака, а може се мерити у било којој тачки између фокуса рендгенске цеви и површине пацијента. За њено мерење користе се специјално дизајнирани мерни уређаји, *KAP*-метри или *DAP*-метри, који су транспарентни и у основи представљају јонизациону комору која је постављена на излаз рендгенске цеви. Под називом *DAP* и данас се читавају вредности производа керме и површине са конзола рендген апарата, а ова величина користи се за постављање дијагностичких референтних нивоа. Како су R_{KA} и $K_{a,r}$ лако доступне величине са самог рендген апарата, оне се могу користити и за процену ефективне дозе за пацијента употребом различитих конверзионих фактора, специфичних за изведену процедуру. Препоруке за фактор за конкретну процедуру не морају бити јединствене, а сумиране су у табели А1 документа [2].

Употреба ефективне дозе за процену изложености пацијента има своја ограничења. Она може бити корисна за поређење доза пореклом од различитих дијагностичких процедура као и за поређење сличних технологија (апарата, техника) за исти дијагностички (или интервентни) задатак у различитим медицинским центрима или земљама, као и за поређење различитих технологија за исту медицинску процедуру. Ипак, за процену ризика од појаве стохастичких ефеката потребно је користити еквивалентну дозу.

Максимална доза за кожу (енг. *Peak Skin Dose – PSD*) је максимална апсорбована или улазна доза за једну регију на кожи, а изражава се у јединици греј. Ова величина може се одредити или директним мерењима, постављањем дозиметара или радиохромског филма

на кожу пацијента, или прорачунима на основу свих података о озрачивању током једне медицинске процедуре.

2.4. Мониторинг изложености

Мониторинг изложености представља континуирано праћење спољашњег излагања изворима јонизујућег зрачења запослених у једној установи. Он подразумева и праћење, анализу и чување резултата, а има за циљ да установи да ли имплементирани мере заштите обезбеђују да изложеност радника на одређеним радним местима, позицијама или пословима, или изложеност појединца, неће довести до прекорачења законски дефинисаних граница дозе. Може се вршити као мониторинг радног места и као индивидуални мониторинг.

2.4.1. Мониторинг радног места

Мониторинг радног места спроводи се као први корак у одређивању потенцијалне изложености запослених. Подразумева мерења вредности амбијенталног дозног еквивалента $H^*(10)$ или његове брзине, са циљем, као прво, категоризације зона зрачења. Код флуороскопски вођених процедура, када запослени борави поред пацијента, он се налази у контролисаној радијационој зони. Његов положај, односно растојање од пацијента диктираће и вредности амбијенталног дозног еквивалента, те овај параметар може послужити за иницијалну процену изложености на конкретном месту на коме запослени стоји током обављања конкретне процедуре. Брзина амбијенталног дозног еквивалента помножена временом боравка на месту забележене изложености и бројем процедура на годишњем нивоу даје прву процену ефективне дозе за запосленог на одређеној радној позицији. Ипак, познато је да ће оваква процена често бити већа од реалне [41]. Овакав вид мониторинга може се вршити фиксним или покретним амбијенталним дозиметрима који имају континуална или тренутна читавања. Јонизациона комора представља најједноставнији вид дозиметра, односно у овом случају гасног детектора код ког се принцип детекције заснива на мерењу наелектрисања насталог у активној запремини приликом проласка зрачења, а које је сакупљено на зидовима детектора, услед примењене разлике потенцијала између зидова. При адекватно примењеном напону, амплитуда излазног сигнала пропорционална је енергији коју је зрачење предало дозиметру. Уређаји који су намењени мерењима са тренутним читавањима и који се користе тако што се држе у руци (енг. *hand-held instruments*) мере дозе у опсегу од неколико до неколико стотина микросиверта на сат, што је и очекивани ниво зрачења при медицинским применама. Један такав уређај приказан је на Слици 10. Овакви уређаји са тренутним читавањем могу бити корисни у оптимизацији заштите да кориснику тренутно покажу ефикасност колективних заштитних средстава, ефекат повећавања растојања од извора зрачења или ефекат оријентације цеви на изложеност појединца [18].



Слика 10: Јонизациона комора (произвођач: Fluke Biomedical, модел: 451P) која се користи као амбијентални монитор зрачења.

2.4.2. Индивидуални мониторинг

Овакав вид мониторинга представља континуирано праћење изложености путем личних дозиметара. Подаци о професионалном излагању пореклом од индивидуалног мониторинга могу дати увид у рутинску праксу оператера, те као такви могу послужити и за оптимизацију праксе на индивидуалном нивоу. Лични дозиметри могу бити пасивни и активни.

Пасивни дозиметри

Постоји неколико широко распрострањених техника пасивне дозиметрије, као што су филм дозиметрија, термолуминесцентна (ТЛ) дозиметрија, оптички стимулирана луминесцентна (ОСЛ) дозиметрија и дозиметрија заснована на директном складиштењу јона (енг. *direct ion storage – DIS*). Оне се међусобно разликују по карактеристикама као што су могућност мерења зрачења различитих типова и енергија, величина и осетљивост детектора, технолошка комплексност и степен аутоматизације, као и стабилности у различитим климатским условима. Приликом одабира дозиметријског система за индивидуални мониторинг у једној установи или једној радијационој делатности, ове карактеристике требало би узети у обзир, под условом да је више различитих техника доступно на тржишту.

Термолуминесцентна дозиметрија заснива се на ексцитацији електрона под дејством јонизујућег зрачења, њиховом заробљавању у побуђеном стању, а потом на ослобађању, тј. враћању у основно стање под дејством топлоте. Резултат ослобађања електрона из побуђеног стања јесте емисија светлости чији је интензитет директно сразмеран дози зрачења коју је материјал дозиметра примио. Однос, тј. коефицијент сразмере, између интензитета емитоване светлости и дозе зрачења одређује се калибрацијом дозиметра, а

зависност је готово линеарна. Након читавања и поништавања, дозиметри се могу поново користити. Количина светлости емитована из загрејаног дозиметра мери се фотомултипликаторском цеви, а графикон амплитуде електричног сигнала са фотомултипликатора у функцији температуре назива се крива исијавања. Површина испод криве исијавања мера је дозе зрачења коју је дозиметар примио.

Најчешће коришћени материјали за израду ТЛ дозиметара су литијум-флуорид допиран различитим нечистоћама (LiF:Mg, Ti или LiF:Mg, Cu, P) и литијум-борат ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$). Циљ увођења нечистоћа је да се створе енергетски међунивои у којима би електрони бивали заробљени између озрачивања и читавања. Реакције међу нечистоћама доводе до ефекта који се зове бледење или енг. *fading*, који доводи до, са једне стране губитка осетљивости, а са друге стране, губитка сигнала. *Fading* пре озрачивања дозиметра резултује губитком осетљивости, док исти феномен након озрачивања доводи до губитка сигнала. Ефекат *fading* –а узима се у обзир приликом читавања дозиметара применом одговарајућих математичких корекција. Материјал LiF:Mg, Cu, P је најзаступљенији јер има већу осетљивост и мању склоност ка *fading*-у у поређењу са другим. Како су материјали од којих су ови дозиметри израђени материјали ниског ефективног атомског броја, различитог од ефективног атомског броја меких ткива у људском организму, код ТЛ дозиметара користе се различити компензациони филтери, у зависности од величине која се мери.

Предности употребе ТЛ дозиметара у рутинском индивидуалном мониторингу су ниска цена и широка доступност, али је њихова пасивност, односно доступност информација о читаној дози тек након извесног времена, а која је последица доступности и територијалне распрострањености овлашћених установа за читавање, једна од његових мана. Једном читан дозиметар може се користити поново, али је информација о дози изгубљена, те се, услед сумње, исто не може поновити. Мале димензије и тежина дозиметра могу се посматрати из два угла. Са једне стране, лаки су за употребу, док их је, због истих тих карактеристика, лако и изгубити. Потребно их је чувати на сувом и умерено топлом месту, јер влага и повишена температура, због принципа грађе и читавања дозиметра, утичу на резултате читавања.

Савремени ТЛ дозиметријски системи, које чини комбинација дозиметра и уређаја за читавање, могу, са задовољавајућом прецизношћу и тачношћу, мерити мале дозе зрачења, реда величине неколико микросиверта [18]. Они морају задовољавати стандарде прецизности, тачности и поновљивости за сваку појединачну оперативну величину која се мери, за опсег енергија од 20 до 150 keV и то за спектре зрачења који се користе приликом примене извора зрачења.

Пасивни дозиметри користе се најчешће за мерење величине $H_p(10)$, личног дозног еквивалента за на дубини од 10 mm у ткиву, односно за процену ефективне дозе за цело тело. Да би пасивни дозиметар био калибрисан за мерење одређене величине, у држачу испред материјала самог дозиметра поставља се одређени филтер у виду плочице покривене материјалом чије карактеристике (дебљина, састав) имају за циљ да симулирају реалну ситуацију у организму. Тако се дозиметри калибрисани на операциону величину

$H_p(0.07)$, употребом њему одговарајућег филтера, користе за мерење дозе на површини коже, односно на 0.07 милиметара у ткиву. Друга величина која се може мерити пасивним дозиметрима еквивалентна доза за очно сочиво, односно њен еквивалент $H_p(3)$. Овакви дозиметри испред себе имају плочицу која симулира 3 милиметра ткива ока испред очног сочива. Број овако доступних дозиметара на тржишту још увек није велик.

Методe за процену дозе помоћу дозиметара

Међународне организације из области заштите од зрачења слажу се да потребу за мерењем или проценом различитих дозиметријских величина треба одредити посебно, за сваки тип планираног излагања, а у зависности од различитих фактора [3,18,41].

За релативно униформна излагања целог тела, ефективна доза се процењује читавањем личног дозиметра калибрисаним на величину $H_p(10)$, а оваква процена је довољно тачна и прецизна за потребе заштите од зрачења, под условом да је дозиметар ношен на делу тела који репрезентује излагање целог тела, односно да је ношен на предњем делу тела између рамена и струка у случају излагања од напред.

Код нехомогених или променљивих поља, као и у ситуацијама где често није иста изложеност свих делова тела, што због близине извору зрачења, што због употребе заштитних средстава, као што је случај код флуороскопских процедура, ношење једног дозиметра испод кецеље често није довољно. Тако ношен дозиметар, не би могао дати податке о изложености делова тела који нису покривени кецељом. У случајевима када корисници ипак имају само један дозиметар, доза се процењује применом корекционих фактора, под условом да су доступни тачни подаци о начину ношења.

Месечна читавања дозиметара ношених испод кецеље могу бити испод нивоа детектабилности, па овако добијени резултати не могу бити поуздани за процену дозе. Један од метода да се овај проблем превазиђе, а који је још увек једноставан и јефтин, јесте ношење једног дозиметра изнад кецеље, на крагни, односно штитнику за врат. Применом корекционих фактора на овако очитане вредности може се добити информација о ефективној дози, а вредност очитана са овако ношеног дозиметра може се користити и за процену дозе за очно сочиво. Међутим, да би процењена ефективна доза била поуздана, морале би бити доступне информације о заштитним карактеристикама сваке кецеље коју или које корисник дозиметра употребљава, као и о томе да ли уопште или увек носи кецељу.

Публикација [4] препоручује употребу два дозиметра, једног испод и једног изнад кецеље, за прецизнију процену ефективне дозе у ситуацијама неуниформног излагања, а овакав метод користан је и за процену заштитне моћи коришћене заштитне опреме (кецеље). Вредности очитане са два дозиметра за величину $H_p(10)$ комбинују се за израчунавање ефективне дозе E употребом једначине

$$E = \alpha H_{\text{испод}} + \beta H_{\text{преко}} \quad (10)$$

где су $H_{\text{испод}}$ и $H_{\text{преко}}$ вредности очитане са дозиметара ношених испод (на грудима или струку) и преко кецеље (на крагни), респективно, а α и β представљају тежинске факторе.

Постоји више комбинација тежинских фактора, али ни за једну од комбинација се не може са сигурношћу рећи да поуздано репрезентује излагање за све врсте процедура, те у међународној литератури није постигнут јасан договор, нити стандард, о вредностима фактора које је препоручљиво користити [39].

Доза за очно сочиво за корисника који стоји у непосредној близини извора зрачења може се проценити преко дозе очитане са дозиметра преко кецеље, а када овако процењена доза пређе одређену границу, може се спровести детаљнија процена употребом прецизнијег метода. Најпрецизнија процена дозе за очно сочиво постиже се употребом дозиметара калибрисаних на величину $H_p(3)$. Под претпоставком да је тип и енергија зрачења којој су изложене очи оператера увек готово исти код флуороскопски вођених процедура, позиција дозиметра умногоме ће зависити од упадног правца зрачења и употребе заштитних средстава. Идеално место за ношење дозиметра за очи било би изнад обрве ока које је ближе извору зрачења или на средини чела, али и оно зависи од типа процедуре и положаја оператера у односу на извор зрачења. Уколико се користе заштитне наочари, дозиметар би било идеално поставити са унутрашње стране наочара, или ако то није могуће, носити га у непосредној близини ока, и то покривеног филтером који има за циљ да имитира заштитну моћ наочара [42].

У ситуацијама када се руке корисника могу наћи или у примарном снопу зрачења, или у непосредној близини пацијента као извора расејаног зрачења, треба размотрити процену дозе за екстремитете или прсте. Иако су дозиметри за мерење дозе за прсте, кожу или екстремитете доступнији од оних за очи, и даље није лако одредити на поуздан начин дозу за овај део тела. Дозимтере у флуороскопски вођеним процедурама требало би носити на оној позицији на кожи где је изложеност највећа, али се ова позиција често не зна унапред или је променљива. Они се могу носити на ручном зглобу, али када су руке близу извора зрачења, и мале варијације у растојању имају велики ефекат на интензитет зрачења. Уколико се поставе у адекватне држаче, дозиметри се кориснику могу испоручити у облику прстена, намењеног за ношење на бази прста, али употреба оваквих дозиметара није опште прихваћена у условима операционих и ангио сала где се захтева висок степен стерилности. Према позицији ношења, примењују се различити корекциони фактори за процену дозе на основу читавања.

Активни дозиметри

Електронски дозиметри раде на принципу Гајгер-Милеровог или полупроводничког детектора зрачења са тренутним читавањем. Доза зрачења читава се на екрану уређаја, а може се приказати у интегралном или диференцијалном режиму, односно као укупна доза током одређеног временског периода, најчешће периода трајања одређене радње или процедуре, или као тренутна вредност дозе. Данас доступни електронски дозиметри имају подједнако добре карактеристике у погледу осетљивости, енергетског одговора и одговора за различите правце упадног зрачења као и ТЛ дозиметри. Старији модели нису имали опцију чувања података о дози након гашења уређаја, те су се исти морали записивати. Данас доступни електронски дозиметри могу имати ограничену интерну меморију, а новији могу и комуницирати на различите начине са рачунаром, односно слати податке на

неко складиште са већим капацитетом меморије. Тренутно доступна вредност очитане дозе свакако им је предност, што и дефинише њихову главну намену као алармних дозиметара, док им је мана величина односно тежина, која је свакако већа него код ТЛ дозиметара, али и цена. Иако спадају у групу личних дозиметара, нису намењени појединцу, већ одређеној групи људи која их наизменично користи, спрам потребе, те се и о лицима, али и времену коришћења, мора водити евиденција, како би се очитана доза тачно повезала са лицем које ју је примило.

Електронски дозиметри у комбинацији са софтверским решењима која, не само што приказују и памте очитане вредности дозе, већ формирају и мапе нивоа зрачења у простору током одређене процедуре или дела процедуре. Иако многи електронски дозиметри испуњавају законске захтеве у погледу индивидуалног мониторинга, ефикасни су приликом обучавања младих или неискусних оператера, а могу се користити и у оптимизацији медицинских процедура и заштите од зрачења, јер у реалном времену показују ефекте које на брзину дозе има појединачна промена у рутинском обављању процедуре [3].

2.4.3. Изазови у индивидуалном мониторингу

Тип процедуре, потреба за боравком запосленог непосредно уз пацијента, његов положај, укупно трајање процедуре и време флуороскопије, као и број процедура који се обави у одређеном временском интервалу, месечно или годишње, као и доступност и употреба заштитних средстава, параметри су који одређују потребу за личним мониторингом. Уколико запослени обавља више различитих процедура, или се његов положај у односу на извор зрачења у току процедуре мења, такав рад се може окарактерисати као рад у променљивом пољу зрачења. У тако променљивим пољима, не постоји начин да се доза за појединца процени довољно тачно уколико није успостављен неки вид индивидуалног мониторинга увек током изложености. Зато је изузетно важно да запослени којима су дозиметри додељени ради индивидуалног мониторинга, те дозиметре заиста и носе, на исправан начин, и увек током употребе или рада са изворима зрачења. [3]

Додељивање два дозиметра запосленом, за испод и изнад кецеље, повећава тачност мерења и проширује спектар информација које се о изложености и заштити могу добити, али и уноси простор за грешку, најчешће у виду замене места два дозиметра. Зато је важно да намена дозиметра буде јасно обележена, а уколико корисник примети да је дозиметрима заменио места, идеално би било да о томе обавести лице или службу која се бави заштитом од зрачења на нивоу установе у којој ради. Уколико су доступни поуздани подаци о читавању оба дозиметра, вредности очитане испод кецеље могу се тумачити као потврда да је кецеља заиста коришћена, а могу служити и за процену њене заштитне моћи. Исто тако, изузетно високе, али и изузетно ниске вредности читавања могу указати на замену места дозиметрима или на неношење истих.

Да би се прецизно проценила ефективна доза, као и доза за екстремитете и очно сочиво, идеално би било корисника опремити са четири дозиметра, један намењен ношењу испод, један изнад кецеље, један намењен ношењу у непосредној близини ока, а четврти на прстима. Под претпоставком да су сви дозиметри доступни у довољном броју за све

кориснике, за прецизну процену било би потребно да корисник све дозиметре заиста користи сваки пут када приђе извору зрачења, постављајући их увек на исто место, да никада не замени места дозиметрима испод и изнад кецеље, да при свакој употреби користи сва расположива заштитна средства увек са истим заштитним карактеристикама и увек на исти, исправан начин. Поред тога, не би смео никада да izgуби један или оба дозиметра за тело, да заборави да скине дозиметар који је носио у близини ока са хируршке капе или унутрашње стране наочара, да дозиметар са прстију никада не скине заједно са једнократним рукавицама, или баш ове дозиметре за очи или прсте, на којима због величине не може писати пуно име и презиме корисника, баш никада не замени са колегом. Мониторинг дозе за очно сочиво употребом специјалног дозиметра представља посебан изазов због потешкоћа при дизајну и изради дозиметра који би се могао поставити довољно близу ока корисника, а да исти не улази у видно поље и на омета корисника при раду. Јасно је да се ови идеални услови тешко могу обезбедити у реалној клиничкој пракси, те да је потреба за проценом свих величина и њиховом прецизношћу ствар компромиса између цене, оправданости, доступности и конзистентности употребе дозиметара. Најчешћи је сценарио где се целокупан сет дозиметара додељује кориснику током кратког временског периода реда величине неколико месеци, а потом, на основу оваквог пробног мониторинга, одлучује се о потреби коришћења конкретних дозиметара [43].

Посвећеност радника заштити од зрачења једнако је важна као и посвећеност менаџмента установе, јер ако је менаџмент одобрио, а лице или служба која се бави заштитом од зрачења обезбедила индивидуални мониторинг који запослени не користе или у његовој употреби нису истрајни, не може се доћи до поузданих података о изложености. Добра навика ношења дозиметара може бити први корак у посвећености радника заштити од зрачења уопште, а њу могу исказати и кроз учествовања у програму заштите од зрачења и у развоју метода за одржавање дозе на што је могуће нижем нивоу, а важно је запосленима омогућити изношење личних ставова о ефикасности мера заштите од зрачења и предлозима за унапређење [44].

2.4.4. Граница дозе и ниво испитивања

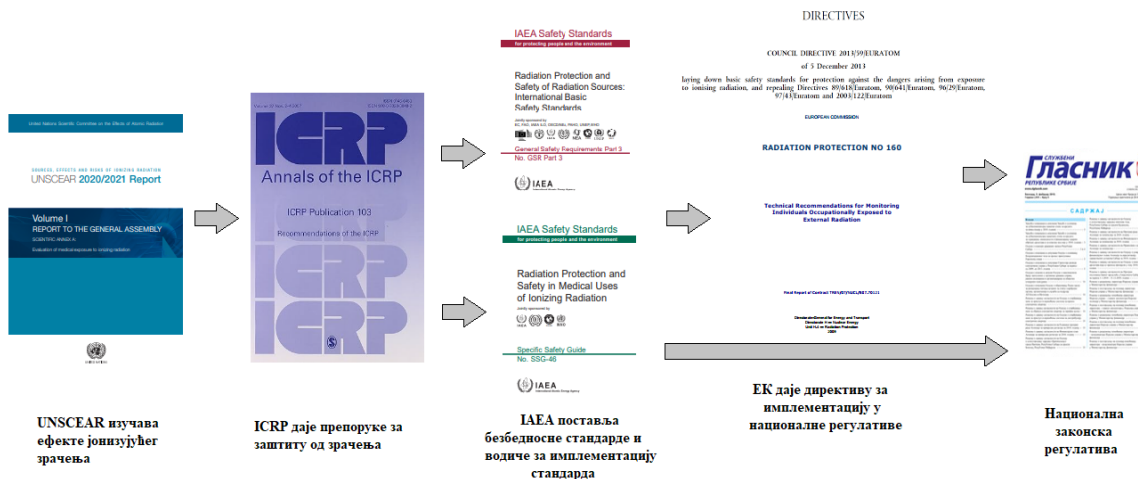
Ограничавање излагања има за циљ да спречи појаву детерминистичких, као и да ограничи појаву стохастичких ефеката изазваних јонизујућим зрачењем. У литератури [4] стоји да се за дозу од 1 Sv током читавог радног века појединца ризик од појаве стохастичких ефеката може сматрати прихватљивим, а подела ове вредности на радни век од 40 година довела је до данас прихваћене границе од 20 mSv годишње. Концепт границе дозе постављен је тако да се обезбеди адекватно планирање радњи, послова и излагања тако да ниједан запослени у рутинском раду не прими дозу која је већа од границе. Уколико дође до преласка дефинисане границе дозе, запосленог је потребно искључити из обављања послова са изворима зрачења, а привремено му одредити друге послове у оквиру занимања које може обављати, до истека периода за који је граница пређена. Такође, прелазак дефинисане границе дозе значи обавезу пријављивања догађаја регулаторном телу, те покретање процедура за испитивање разлога из којих је дошло до преласка границе, односно за покретање механизма за оптимизацију организације рада и заштите.

Међутим, да би се пракса и заштита континуирано оптимизовале, а и услед последица које прелажење дозе има за запосленог, није препоручљиво чекати да дође до преласка законске границе дозе, већ је пожељно интерно, у оквиру установе, дефинисати границу за ниво испитивања, који би значајно покретање интерних нивоа испитивања разлога за повишено читавање дозе за конкретног запосленог и предузимање корективних мера, доста пре него би граница дозе за тог запосленог била пређена. Ниво испитивања често, иако није дефинисано као правило, се поставља као половина месечне границе дозе, која би се добила дељењем годишње границе од 20 mSv на 12 месеци, и износила би 1.67 mSv, односно њена половина би била око 0.8 mSv. Са овако постављеном границом, уколико би месечно читавање дозиметра за тело запосленог показало вредност око 0.8 mSv, лице или служба одговорни за заштиту од зрачења у оквиру болнице покренули би неку врсту истраге, најчешће започете разговором са запосленим чији дозиметар је овакво читавање показао, кроз који се стиче увид у евентуалне промене у рутинском раду, повећаном обиму посла, променама у месту чувања дозиметара и слично. Разговор или интервју са корисником дозиметра користан је метод јер се најчешће у самом разговору нађу разлози за повећано читавање и, ако се истовремено отклоне, вредности читавања се у наредним месецима врате на претходни ниво, или уколико је у питању тренд повећаног броја процедура по запосленом, стопа се раст истог, у координацији са организаторима посла односно управом организационе јединице или болнице. Интервју такође запосленима пружа осећај сигурности, да неко води рачуна о њиховом излагању, те им да додатни подстицај да наставе да редовно носе додељени дозиметар.

2.5. Међународне препоруке и законска регулатива у Србији

Прва међународна организација из области заштите од јонизујућег зрачења, Међународна комисија за радиолошку заштиту (енг. *International Commission on Radiological protection – ICRP*) основана је 1928. године, на Другом конгресу радиолога, а на основу предлога датог на првом конгресу три године раније. Данас је *ICRP* независна међународна организација која има за циљ да научна сазнања из области заштите од зрачења користи у сврху јавног добра, и то кроз писање препорука и водича у свим аспектима примене јонизујућег зрачења. У писању својих препорука, *ICRP* разматра фундаменталне принципе на основу којих се могу успоставити адекватне мере заштите од зрачења, остављајући притом одговорност, али и слободу, националним организацијама из области заштите од зрачења да формулишу своје водиче или чак и законе који најбоље одговарају потребама конкретне државе.

Научни комитет Уједињених Нација о ефектима атомског зрачења (енг. *United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR*) има за циљ да процени и прати ефекте излагања јонизујућем зрачењу на људски организам. Прикупљањем података из најразличитијих области изложености јонизујућем зрачењу, ова организација на сваких 10 или нешто више година издаје публикације о просечним вредностима изложености јонизујућем зрачењу на годишњем нивоу пореклом од различитих извора, али и о трендовима изложености, који полажу основу за разматрање потреба за заштитом од зрачења.



Слика 11: Организације које су укључене у испитивање ефеката јонизујућег зрачења, доношење препорука и усвајање препорука у законску регулативу.

Међународна агенција за атомску енергију (енг. *International Atomic Energy Agency – IAEA*) организација је под окриљем Уједињених Нација (УН) која у сарадњи са својим земљама чланицама, промовише безбедну, сигурну и мирнодопску употребу нуклеарне технологије. Употреба извора јонизујућег зрачења у медицини свакако је једна од области које у свом раду покрива *IAEA*. Ова организација кроз публикације о фундаменталним сигурносним принципима (енг. *Fundamental Safety Principles – Safety Fundamentals*) поставља моралну обавезу свим земљама чланицама о посвећености безбедној употреби извора јонизујућег зрачења, док кроз међународне основне сигурносне стандарде за заштиту од јонизујућег зрачења (енг. *International Basic Safety Standards for Radiation Protection and Safety of Radiation Sources- BSS, General Safety Requirements GSR*) поставља основне захтеве, који се могу превести у законску регулативу земаља чланица о безбедној употреби извора зрачења. Поред основних сигурносних принципа, *IAEA* дефинише и уопштене и специфичне сигурносне водиче (енг. *General Safety Guide – GSG; Specific Safety Guide – SSG*) који се детаљније баве применом зрачења у одређеним областима. *IAEA* своје принципе и стандарде заснива на препорукама *ICRP*-а.

2.5.1. Међународне препоруке

На основу препорука *ICRP*-а из 2007. године [4,45] *IAEA* је 2014. објавила документ о основним сигурносним захтевима (енг. *General Safety Requirements Part 3 – GSR3*) [44]. У овом документу под називом “Заштита од зрачења и сигурност извора зрачења“ као основни принципи заштите од јонизујућег зрачења при планираним излагањима, дефинисани су оправданост, оптимизацију и ограничавање излагања. Принцип оправданости подразумева да свако планирано излагање буде претходно одобрено од стране надлежне особе или институције, односно оправдано, у смислу да је корист од излагања већа од потенцијалних штетних ефеката које то излагање може имати. Принцип оптимизације подразумева да се свако излагање спроводи применом АЛАРА принципа (енг. *As Low As Reasonably Achievable – ALARA*), односно да је доза зрачења, као последица

излагања, сведена на најмању могућу меру уз очување квалитета пружене услуге, а узимајући у обзир социјалне и економске факторе. Ограничавање излагања подразумева дефинисање граница дозе за планирана излагања које не смеју бити пређене. Код професионалних излагања, границе се дефинишу првенствено као оперативна алатка за оптимизацију заштите од зрачења и то као ефективна или еквивалентна доза за одређени временски период.

У случајевима медицинских излагања, оправданост се постиже корисним дијагностичким информацијама или терапијским ефектима за пацијента, док се код професионалног излагања она постиже пружањем медицинских услуга пацијентима у циљу продужавања или повећања квалитета живота. У медицинским излагањима овај принцип примењује се кроз осигурање и контролу квалитета рада медицинске опреме, али и кроз планирање излагања тако да се избегне свако непотребно или непотребно велико излагање пацијента. За изложене раднике, овај принцип примењује се кроз употребу и примену свих расположивих средстава за заштиту од јонизујућег зрачења, почев од структурне заштите, па преко личних и колективних заштитних средстава, док год она не ремете рад медицинског радника који пружа услугу пацијенту. При медицинским излагањима, границе се не дефинишу, односно пацијент се може излагати јонизујућем зрачењу док год је излагање медицински оправдано.

Безбедносни захтеви (*GSR 3*) дефинишу потребу за проценом и мониторингом професионалног излагања као и о вођењу евиденција о излагању, на нивоу регулаторног тела и корисника извора зрачења.

Узимајући у обзир, поред претходно објављених, и нове публикације и препоруке [2,46], *IAEA* је основне сигурносне захтеве надоградила 2018. године [18] и тиме покрила је све важне аспекте заштите од зрачења при професионалним излагањима, не ограничавајући се том приликом само на медицину. Исте године, објављен је и *SSG 46* [47], који је обрадило тему заштите од зрачења при медицинским применама извора зрачења, за све сценарије излагања – излагање пацијената, особља и становништва. Карактеристика документа *GSG 7* [18], као општег сигурносног водича, је да оставља много простора националним регулаторним телима, али и самим носиоцима одобрења за употребу јонизујућег зрачења да процене сопствене ситуације излагања и спрам тога имплементирају адекватне системе мониторинга и заштите, као што је избор дозиметара и величина које се мере, периода читавања, уз навођење примера, док је посебан аспект стављен на оптимизацију заштите. *SSG 46* у одељку који се односи на заштиту при професионалном излагању, препознате су гране медицине у којима се примена извора зрачења врши, па тиме и различите специјалности лекара и другог медицинског особља које бива изложено зрачењу, конкретно у флуороскопски вођеним процедурама, које нису ограничене на интервентне радиологе и кардиологе, већ обухватају и хирурге, гастроентерологе, урологе, анестезиологе и друге специјалности. Овај документ даје и прве конкретне смернице, готово па правила, за понашање у одређеним ситуацијама, попут оне да сво особље чије присуство није апсолутно неопходно поред пацијента у току експозиције, треба да напусти просторију док је снап зрачења активан, или оне да особље које мора боравити поред пацијента током експозиције треба да користи сва расположива заштитна средства и то

кецеље, штитнике за врат, заштитне наочари и мобилне баријере, тамо где су доступне и применљиве. У њему се могу наћи и одељци са практичним саветима о оријентацији рендгенске цеви и одабиру параметара снимања на самом апарату.

Директива Европске Уније (ЕУ) 2013/59/EURATOM [48], са последњим изменама из 2014. године, Поставила је сигурносне стандарде за заштиту здравља појединаца који су изложени јонизујућем зрачењу у свом професионалном раду, као пацијенти или као припадници становништва, што су уједно и три категорије изложених појединаца на које се мере заштите од зрачења примењују. Овај документ је водич за успостављање националних законских регулатива земаља чланица ЕУ, али и земаља кандидата за чланство, али исти није правно обавезујући. Она је заснована на сазнањима и препорукама релевантних организација из области заштите од јонизујућег зрачења, као што су *ICRP* и *IAEA*.

Према 2013/59 EURATOM, границу за професионална излагања треба поставити као

- ефективну дозу од 20 mSv током једне календарске године. У изузетним ситуацијама, дефинисаним у националним регулативама, може се дозволити доза до 50 mSv за календарску годину, с тим да просечна годишња доза за период од 5 година, укључујући и годину у којој је достигнута ова већа граница, не прелази 20 mSv.
- еквиваленту дозу за очно сочиво од 20 mSv у једној години или као 100 mSv за узастопних 5 година, с тим да у појединачној години она не сме бити већа од 50 mSv, и то у изузетним ситуацијама, дефинисаним од стране националне законске регулативе
- еквивалентну дозу за екстремитете од 500 mSv годишње.

Под мерама заштите од зрачења при професионалном излагању, Директива [48] подразумева претходну процену излагања, класификацију изложених радника у различите категорије, индивидуални мониторинг када је потребно, оптимизацију заштите, здравствени надзор и едукацију и тренинг из области заштите од зрачења. Овај документ такође даје поделу радника у две категорије, А и Б и то тако да у категорију А спадају радници који на годишњем нивоу могу примити ефективну дозу већу од 6 mSv или еквивалентну дозу већу од 15 mSv за очно сочиво и већу од 15 mSv за екстремитете. У категорију Б сврставају се они изложени радници који нису сврстани у категорију А. Директива такође предвиђа разлике у индивидуалном мониторингу за две дефинисане категорије изложености, али не наводи конкретно периоде замене и читавања личних дозиметара.

Директива је дефинисала физичке величине које се користе за квантификацију јонизујућег зрачења, физичке и оперативне, као и њихову примену при процени ефеката на људски организам. Описана је и методологија процене ефективне и еквивалентне дозе у различитим сценаријима озрачивања, употребом различитих дозиметара и величина, као и при различитој употреби заштитних средстава.

2.5.2. Законска регулатива у Србији

Србија, као земља кандидат за чланство у ЕУ, али и као чланица *IAEA*, заснива своје законе из области заштите од јонизујућих зрачења на правним актима ЕУ и препорукама и стандардима *IAEA*. Закон о радијационој и нуклеарној сигурности и безбедности, донет 2018. године [49], са последњим изменама из 2019. године је закон у овој области у Србији и дефинише основна начела заштите од зрачења, оправданост, оптимизацију и ограничавање излагања, као и сврставање изложених радника у категорије А и Б. Поред њега, примену извора зрачења уређују и пратећи правилници.

Тако *Правилник о границама излагања јонизујућим зрачењима и мерењима ради процене нивоа излагања јонизујућим зрачењима* [7] детаљније одређују категорије изложености и то као категорију А у коју спадају лица која професионално раде у контролисаној зони и која могу да приме ефективне дозе веће од 6 mSv или еквивалентне дозе веће од 3/10 прописаних граница за поједине органе и као категорију Б у коју спадају лица која повремено раде у надгледаној или контролисаној зони и за које је ефективна доза коју примају мања од 6 mSv.

У члановима 28 и 29 овог правилника дефинисане су границе излагања професионално изложених лица и то као:

- ефективна доза од 100 mSv за пет узастопних година, уз додатно ограничење да ни у једној од година ефективна доза не пређе 50 mSv, односно као просечна вредност на годишњем нивоу од 20 mSv.
- еквивалентна доза 150 mSv годишње за очно сочиво,
- еквивалентна доза 500 mSv годишње за делове екстремитета (шаке, подлактице, стопала и глежњеве).

Члан 8 Правилника [7] препознаје два метода за процену нивоа спољашњег излагања зрачењу изложених радника и то путем 1) личних еквивалентних доза добијених пасивним личним дозиметрима и 2) амбијенталног мониторинга радне средине. Препознати периоди читавања личних дозиметара за тело и прсте јесу 1 месец за изложене раднике категорије А и 3 месеца за раднике категорије Б.

Прилог 2 Правилника [7] дефинише методологију одређивања ефективне дозе. У њему су као оперативне величине за спољашње излагање препознате лични еквивалент дозе $H_p(d)$, амбијентални еквивалент дозе $H^*(d)$ и усмерени амбијентални еквивалент дозе $H'(d, \Omega)$, уз дефиницију ознака d и Ω , као дубина у милиметрима испод површине *ICRU* сфере (10 mm за продорно зрачење, 0.07 mm за мање продорно зрачење и кожу, а 3 mm за очно сочиво), односно упадни угао на површину *ICRU* сфере, респективно. За ситуације неуниформног излагања, прописана је употреба најмање два лична дозиметра за одређивање ефективне дозе и то један који се носи испод заштитне кецеље и други који се носи изнад кецеље, где се ефективна доза израчунава из овако измерених вредности, узимајући у обзир карактеристике заштитних кецеља, уз примену конзервативног метода како ефективна доза не би била потцењена.

Поменути Прилог посебан одељак посвећује одређивању индивидуалних доза у рендген дијагностици. Наводи се да се Праћење индивидуалних доза изложених радника у овој области обавља у зависности од нивоа изложености и то помоћу пасивних личних дозиметара или мерењем амбијенталног еквивалента дозе у значајним тачкама за услове снимања и просветљавања. Пасивни лични дозиметри, према овом правилнику, су дозиметри за одређивање $H_p(10)$ и $H_p(0.07)$ за цело тело и екстремитете, и $H_p(3)$ за очно сочиво.

Употреба извора зрачења у медицини у Србији регулисана је још и *Правилником о примени извора зрачења у медицини* [50], који у свом члану 29 наводи обавезу свих особа које се налазе у контролисаној зони за употребом заштитне опреме, где је такође дефинисана и потреба да заштитна опрема мора бити означена податком о заштитној моћи (наведен еквивалент заштите олову). Кориснику извора зрачења оставља се обавеза описивања врсте, заштитне моћи и начина употребе заштитне опреме у упутствима за сваку врсту излагања. Члан 31 истог правилника наводи да лица која спроводе рендген-дијагностички поступак не смеју бити изложена снопу рендгенског зрачења.

2.5.3. Граница дозе за очно сочиво

Граница за ефективну дозу у актуелном облику (20 mSv годишње, тј. 100 mSv за 5 узастопних година, у једној години максимално 50 mSv) препоручена је још 1991. године од стране *ICRP*-а [36] и од тада се није мењала. Међутим, Важан тренутак у области заштите од зрачења при професионалним излагањима био је 2012. године када је *ICRP* издао публикацију [46] о раним и касним ефектима на ткива и органе, којом је дефинисана гранична доза за појаву реакција на ткивима, примењено на контекст заштите од зрачења. Тада је установљено да, за хронична вишегодишња излагања, граница дозе за појаву промена на очном сочиву, при чему нису све промене катаракта, износи 0.5 Gy, што је 10 пута мање од претходно дефинисане границе. Спрам овог новог научног сазнања, *ICRP* је препоручио драстично смањење границе дозе за очно сочиво са претходно препоручених 150 mSv годишње на 20 mSv годишње. *IAEA* је, већ наредне године, реаговала техничким документом [42] чији је циљ био да буде уопштени водич на основу ког би земље чланице могле да се припреме за увођење нове границе дозе за очно сочиво, али и да отвори простор за дискусију пре доношења конкретних сигурносних водича и стандарда.

У публикацији [42] препознато је и да су здравствени радници највећа група на коју би ова препорука могла да утиче и то на првом месту запослени који током свог рада бораве у непосредној близини пацијента током флуороскопски вођених процедура и описао је начине на које би се доза за очно сочиво могла проценити пре увођења рутинског мониторинга.

Европска Унија уврстила је ову препоруку у 2013/59/EURATOM директиву.

Правилник о границама излагања у Србији оригинално је донет 2011. године, а његова последња, односно једина измена, донета је 2018. године. Ипак, иако је у тренутку измене правилника међународна научна и стручна јавност била већ добро упозната са променом границе за очно сочиво, а она усвојена у међународним препорукама, водичима и

директивама, овај правилник је није препознао, те је граница дозе за очно сочиво у Србији данас иста као и раније, односно 7.5 пута виша од међународно препоручене.

2.5.4. *Bonn call for action*

Међународна иницијатива “Бонски позив на акцију“ (енг. *Bonn call for action*) донета је на међународној конференцији о заштити од зрачења у медицини, одржаној 2012. године у немачком граду Бону [51], са циљем да буде платформа за координисани рад на унапређењу заштите од зрачења у медицини у наредној деценији, а подржана је од стране светске здравствене организације (енг. *World Health Organization – WHO*). Идентификоване су области у којима постоји простор за унапређење и дефинисано је 10 акција, од којих су само неке: подршка имплементацији принципа оптимизације, дизајн и промоција истраживања у области заштите од зрачења у медицини са циљем веће доступности глобалних података о медицинским излагањима и професионалним излагањима у медицини, као и јачање радијационе сигурносне културе у области здравства.

3. Преглед литературе, актуелности у међународној заједници и у Србији

3.1. Флуороскопски вођене процедуре у међународној литератури

Лекари у многим областима медицине и хирургије изводе процедуре вођење флуороскопијом, јер исте представљају добру алтернативу традиционалној хирургији зато што резултују мањом инвазивношћу, краћим периодима опоравка, а код неких је чак смањењем учесталости појаве компликација. Ове процедуре унеле су револуцију у медицину у последње две-три деценије у пољу дијагностике, терапије и палијације. Са напретком технологије, расте и комплексност ових процедура. Сматра се добро познатом чињеницом да је изложеност оператера највећа при кардиолошким процедурама, као и онима у области интервентне радиологије, али је данас приметна и све шира употреба флуороскопије у извођењу процедура и у другим областима медицине, ван радиологије, као што су ортопедија, васкуларна хирургија, урологија, терапија бола и друге. У обављању ових послова помажу им радиолошки техничари или медицинске сестре [3,10,52].

Неки лекари, као што су интервентни радиолози, обављају интервенције на различитим системима органа и/или деловима тела, док их други обављају на само једном систему органа, спрам своје специјалности – кардиолози, уролози, ортопеди. Приметна је промена у расподели посла која се десила временом, а задужења једне групе професионалаца, тј. врсте процедура које обављају, нису јединствена широм света. Третман крвних судова, сужења, зачепљења, тромбова и сл. доњих и горњих екстремитета, некада је било задужење искључиво интервентних радиолога, док у литератури постоје подаци [11] да ову врсту процедура данас у неким земљама обављају примарно васкуларни хирурзи и кардиолози. Извештај америчког националног већа за заштиту од зрачења чак каже да интервентни радиолози у Сједињеним америчким државама обављају мање од 35% свих флуороскопски вођених интервентних процедура. У УКЦВ ситуација ипак више подсећа на ону раније описану, јер интервентни радиолози ипак и даље самостално обављају највећи број флуороскопски вођених интервентних процедура, укључујући васкуларне, уролошке, билијарне, или оне општег типа као што су дренаже различитих врста апсцеса или пласирање Хикмановог катетера ради отварања централног венског пута. Од горе набројаних врста, код једне од васкуларних процедура, ендоваскуларни третман анеуризме абдоминалне аорте (ЕВАР), током читаве процедуре у ангио сали интервентним радиолозима асистирају васкуларни хирурзи. Под кардиолошким процедурама у овом смислу, сматрају се оне које се врше искључиво на срцу, а због расподеле надлежности за различите гране медицине на територији Војводине, исте се не обављају у УКЦВ.

Због предности које носе, број флуороскопски вођених процедура, али и њихова распрострањеност и комплексност расте. Према извештају Европске комисије из 2015. године, који је обухватио 36 земаља Европе, учесталост флуороскопски вођених процедура варира од 0.03% до 2.74%, са просеком од 0.6 %, док је према извештају *UNSCEAR*-а из 2022. њихова учесталост 0.8% у односу на све медицинске процедуре које користе

јонизујуће зрачење [1,3,44]. У 7 од 11 земаља у развоју, које су учествовале у пројекту *IAEA*, број интервентних процедура од 2004. до 2007. порастао је за најмање 50 % [53], док је број процедура у интервентној радиологији на светском нивоу порастао са 3.6 милиона у 2008. на 23.6 милиона у 2022. години, према извештају *UNSCEAR*-а [1]. Број, врста, учесталост, као ни тренд, флуороскопски вођених процедура за Србију нису јавно доступни.

Повећање броја флуороскопски вођених процедура, поред неоспорне користи за пацијенте, резултује и повећаним нивоима изложености јонизујућем зрачењу особља које их обавља. Професионална изложеност јонизујућем зрачењу у интервентним радиолошким процедурама највећа је у односу на изложеност запослених у свим другим областима примене извора зрачења у медицини [16]. Милер и сар. [54] у свом раду наводе да је свакако могуће да оператери у интервентним процедурама задрже ниво изложености на годишњем нивоу испод 10 mSv, са просеком од око 2-4 mSv, али ипак показано је и да појединачна излагања могу значајно прећи ове вредности [16]. Број свеобухватних студија које су се бавиле професионалном изложеношћу јонизујућем зрачењу није велик [39,52], док је број радова који се баве изложеношћу у појединачним областима примене флуороскопије значајно већи, међу којима предњаче подаци доступни за интервентну кардиологију, а потом следе они који се баве интервентном радиологијом и применом флуороскопије у васкуларним процедурама [55–60]. У литератури се могу пронаћи и релевантни подаци о изложености ортопеда током хируршких процедура [61–64], док је број радова који се баве изложеношћу уролога значајно мањи [65]. Малобројни су радови који посматрају изложеност анестезиолога као чланова тима који обавља флуороскопски вођене процедуре [66], док су подаци о изложености анестезиолога при извођењу процедура у области терапије бола врло ретки [67–69]. Годишња изложеност оператера и чланова њихових тимова зависиће од улоге појединца у тиму, врсте процедуре коју обавља, броја процедура, комплексности појединачних процедура, фактора везаних за пацијента као што је гојазност, али и од других фактора као што су вештина оператера, имидинг опрема коју користи, али и доступност и употреба расположивих заштитних средстава.

3.2. Заштита од зрачења при флуороскопији у међународној литератури

Након објављивања препоруке за смањење годишње границе дозе за очно сочиво, а на основу нових сазнања да је граница дозе за појаву реакција на ткиву значајно нижа него што се раније сматрало, број научних публикација које су се бавиле изложеношћу очног сочива у медицинским процедурама, са или без доказа о појави промена на очном сочиву, је порастао. И овде су се процедуре интервентне кардиологије издвојиле као оне са највећим ризиком за достизање новопостављене границе дозе за оператера, па је и број радова који се баве изложеношћу очног сочива код кардиолога највећи, а следе они који се баве изложеношћу сочива у интервентној радиологији и васкуларној хирургији [70–75]. Доступни радови сведоче да је ризик од изложености очног сочива при ортопедским хируршким интервенцијама препознат [76–80], док је доступних података о изложености очног сочива при процедурама из области урологије или терапије бола врло мало [65].

Уколико се заштитна средства за очи не користе, Торнтон и сар. [82] тврде да управо нова граница дозе за очно сочиво може ограничити рад оператера јер у ситуацијама уобичајеног радног оптерећења, ова граница дозе може бити прекорачена. Доступне су и студије које тврде да годишња еквивалентна доза код интервентних радиолога и кардиолога може бити у рангу 50-100 mSv [28,81–85], што је значајно изнад препоручених 20 mSv, па је изложеност ока у овим применама потребно пратити, а такође и водити рачуна о постављању адекватних мера заштите од зрачења. Највише података о изложености очног сочива пореклом је или од експеримената са фантомима, од процена односно симулација употребом Монте Карло кодова, од мерења са ТЛ дозиметрима ношеним преко кецеље, док је најмање података пореклом од дозиметара који су заиста ношени непосредно у близини ока.

У многим здравственим установама, адекватан систем индивидуалног мониторинга није успостављен, па стога нема ни довољно поузданих података о изложености особља [16,86]. Запослени често не носе своје дозиметре редовно, на адекватан начин, или им замене места, што доводи до неконзистентности у добијеним подацима. У неким земљама у развоју, индивидуални мониторинг чак уопште није обезбеђен [53], а чак и тамо где јесте, тешко је поредити објављене податке о изложености услед значајних разлика у методима на које су ови подаци прикупљени. У УКЦВ свим запосленима који обављају послове у области интервентне радиологије, интервентним радиолозима и радиолошким техничарима, обезбеђен је индивидуални мониторинг и то у виду 2 дозиметра намењена ношењу испод и изнад кецеље, као и прстен дозиметра намењеног процени дозе за екстремитете и кожу. У другим областима примене флуороскопије у УКЦВ запосленима је рутински обезбеђен индивидуални мониторинг путем једног ТЛ дозиметра који је намењен ношењу испод заштитне кецеље. Индивидуални мониторинг дозе за очно сочиво се не врши.

Доза за екстремитете, посебно за руке, главног оператера и асистента који су најближе извору зрачења, могу бити много веће од доза регистрованих у нивоу груди. Резултати студије *ORAMED (Optimization of Radiation Protection for Medical Staff)*, показали су да средња еквивалентна доза по процедури за леву руку може бити у рангу од 60 до 320 μ Sv код различитих врста васкуларних интервентних процедура [87].

Студије засноване на упитницима указују на проблематике у ношењу ТЛ дозиметара. *IAEA ISEMIR* [86] студија каже да свега 76% кардиолога тврди да редовно користи дозиметре, док 46% тврди да користи оба додељена дозиметра. Санчез и сар. [88] пријавили су да свега 50% лекара или не носи редовно дозиметре, не носи уопште или их носи на погрешном месту, док иста група аутора тврди да се само 33% месечних читавања дозиметара може сматрати поуздано. *IAEA RELID* [5] студија такође је потврдила нередовну употребу личних дозиметара, као и непоштовање *ICRP* препоруке о ношењу два дозиметра. [3]

Обученост лекара који обављају флуороскопски вођене интервентне процедуре у области заштите од јонизујућег зрачења варира у односу на примарну област медицине којом се баве. Интервентни радиолози најчешће, у оквиру специјализације из области радиологије, или субспецијализације из области интервентне радиологије, пролазе обуке и предавања из

физике јонизујућег зрачења, радиобиологије и заштите од зрачења, док је обученост лекара других специјалности на поменуте теме изузетно разнолика [3]. Постоје међународне публикације [89] које дају препоруке за обучавање запослених који раде са изворима јонизујућег зрачења наводећи који су то запослени којима је неопходно обавезно додатно обучавање, области у којима се морају обучити, као и време тј. број часова које је потребно посветити оваквом обучавању. У Србији је додатна обученост радиолога у области физике, и заштите од зрачења дефинисана *Правилником о специјализацијама и ужим специјализацијама* и то као теоријска знања о физици X зрака и заштити од X зрака на првој години специјализације, док додатна, теоријска ни практична знања из ових области у оквиру субспецијализације из интервентне радиологије нису предвиђена ни дефинисана правилником. У оквиру специјализација из других области медицине које би могле употребљавати флуороскопију у свом раду Правилник о специјализацијама овакву обученост не препознаје. Са друге стране, додатна обученост за рад и оспособљеност за спровођење мера заштите од зрачења дефинисана је Правилником о утврђивању програма за допунско обучавање и оспособљавање професионално изложених лица и лица одговорних за спровођење мера заштите од јонизујућих зрачења (Сл. гл. РС 31/2011) [90]. Овај правилник прави разлику између допунског обучавања за рад са изворима јонизујућег зрачења и оспособљавања за спровођење мера заштите, са једне стране, и оспособљавања за спровођење мера заштите, са друге, при чему је први тип обуке (допунско обучавање) намењено оним запосленима који ће у свом раду самостално користити изворе јонизујућег зрачења – рендген апарате у медицини, са изузетком радиолога и радиолошких техничара, а други тип (оспособљавање) намењен је запосленима који ће током свог рада боравити у простору у коме се користи рендген апарат, али неће њиме непосредно руковати. Овим правилником дефинисане су области из којих је потребно додатно обучити кориснике извора зрачења, као и укупан број часова обучавања. За допунско обучавање за рад са рендген апаратима у медицини предвиђена је теоријска и практична обука, са укупним трајањем од 20 часова, од чега 15 часова теорије и 5 часова практичне обуке. За све изложене раднике јонизујућем зрачењу, без обзира на тип иницијалне обуке, предвиђена је периодична обнова знања најмање једном у 5 година у виду теоријске наставе. Сви запослени у УКЦВ који су професионално изложени јонизујућем зрачењу обучени су за обављање ових послова у складу са актуелном законском регулативом.

Међународна стручна удружења из различитих области медицине објавила су своје водиче са циљем унапређења професионалне изложености и заштите од јонизујућег зрачења, и то првобитно у оквиру Европског друштва за кардиоваскуларну и интервентну радиологију (енг. *Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe – CIRSE*) 2010. године [54], друштава из области интервентне кардиологије широм света [91], а потом и у оквиру Европског удружења за васкуларну хирургију (енг. *European Society for Vascular Surgery – ESVS*) 2023. године [92].

3.3. Заштита од зрачења при флуороскопији у Србији – преглед литературе

Прва помињања професионалне изложености јонизујућем зрачењу у медицини, као и прве процене дозе за лекаре и техничаре при употреби рендген апарата који користе

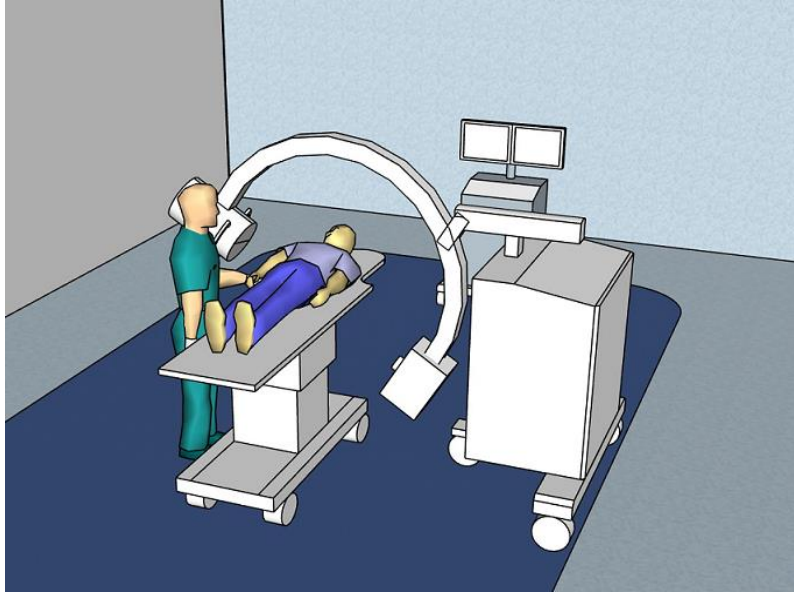
флуороскопију у СР Југославији јављају се већ на првој конференцији-симпозијуму (С. Игњатовић, стр. 21 Кулчар стр. 33) [93] Југословенског друштва за радиолошку заштиту (ЈДРЗ) 1963. године. Прва сведочења о употреби рендген апарата од стране лекара који нису радиолози (хирурга), као и о изложености осталих чланова медицинског тима (техничара, болничара) могу се наћи у зборнику радова са ове конференције 1969. године [94], који такође дискутује и о проблемима у заштити од зрачења. ЈДРЗ променили је свој назив у Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне горе (ДЗЗ) 2005. године, а ово име и данас носи.

Повезивање изложености јонизујућем зрачењу са катарактом у домаћој литератури, у виду конференцијских публикација, јавља се почетком 2000-тих [95], а обухвата најчешће процену дозе за особље у разним областима примене јонизујућег зрачења. Дискутовање на тему изложености професионалаца јонизујућем зрачењу на нашим просторима кроз конференцијске публикације наставља се и у 21. веку, а врхунац достиже у његовој другој декади, сада са акцентом на процени изложености медицинског особља, и то у области интервентне радиологије и кардиологије [96–99]. Поред мерења која процењују изложеност особља, презентовани су и резултати утицаја различитих заштитних средстава на изложеност медицинског особља [100], као и могућностима процене дозе за особље са и без индивидуалног мониторинга [99,101]. Препознато је да је очно сочиво орган чију је изложеност посебно потребно пратити, што је и документовано [102–104]. Поред конференцијских, до сада су објављена три рада у научним часописима која су испитивала изложености особља у интервентној кардиологији [105], са акцентом на очно сочиво, као и везу ове изложености са параметрима изложености пацијента [106,107]. Једино испитивање у последњих 25 година које се бавило изложеношћу особља изван интервентне радиологије и кардиологије, а односило се на изложеност уролога током хируршких интервенција, презентовано је на конференцији у Нишу 2019. године [108]. Након овога, публикације су се фокусирале на Монте Карло симулације [109], односно на процену дозе за особље и утицаја заштитних средстава и положаја и врсте дозиметара на процењену дозу за особље, и то од стране аутора из Србије као чланова радних група у међународним телима [110–112]. Овакав тип публикација не садржи податке о измереним вредностима дозе за професионално изложене медицинске раднике у Србији у реалним клиничким условима, односно у свакодневној медицинској пракси. Резултати процене дозе у установама примарног и секундарног нивоа здравствене заштите, које изворе зрачења користе искључиво у дијагностичке сврхе, презентовани су у два конференцијска рада [113,114].

3.4. Заштита од зрачења при флуороскопији у УКЦВ

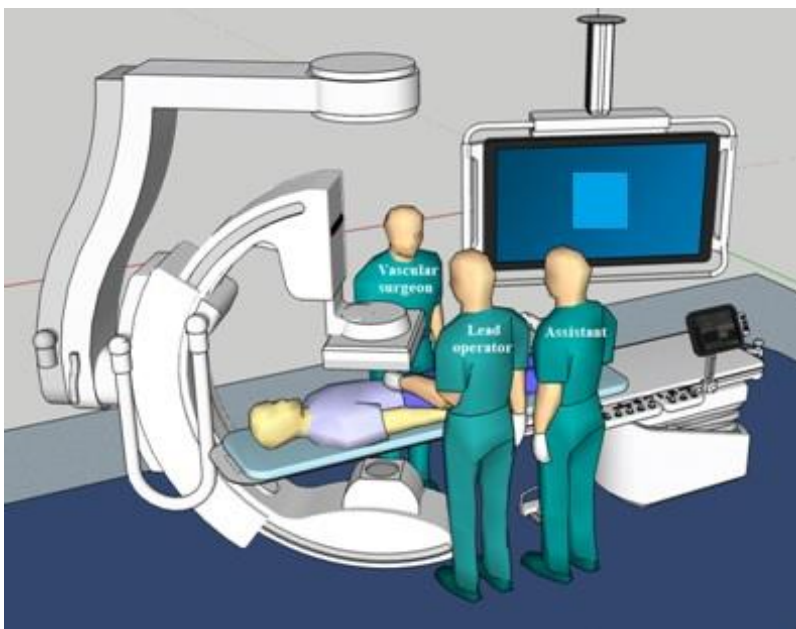
Ортопедски хирурзи користе мобилне Ц-лукове у операционим салама у Ургентном центру. Постоје 2 идентична апарата која се, према потреби, користе у једној од 5 операционих сала у низу, које чине операциони блок Ургентног центра. Ови апарати састоје се из три дела: а) Ц-лука (ртг цев и пријемник слике), б) монитора за приказ слике и в) командне конзоле. Сви делови имају своје постоље са точковима, а повезани су кабловима. Приликом употребе Ц-лука у операционој сали, радиолошки техничари стоје за командном конзолом апарата, која се може удаљити и неколико метара од извора зрачења

(диктирано дужином кабла), и са ове позиције активирају сноп зрачења. Хирург ортопед може стојати непосредно поред извора зрачења и пацијента током експозиције, када то природа процедуре од њега захтева. Том приликом хирург ће усмено захтевати од техничара употребу флуороскопије у одређеном трајању. Један од могућих положаја ортопедског хирурга током употребе Ц-лука у операционој сали приказан је на Слици 11.



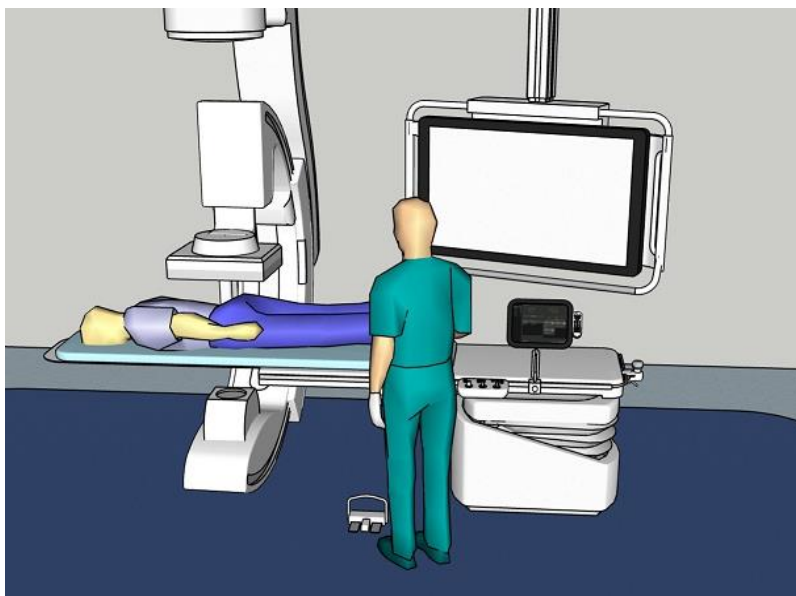
Слика 11: Један од положаја ортопедског хирурга у односу на пацијента и рендгенску цев током употребе флуороскопије у операционој сали.

У операционим салама у којима се користе рендген апарати са флуороскопијом – Ц-лук, доступна су заштитна средства кецеља, штитник за врат и заштитне наочари. Иако број заштитних наочари није једнак броју кецеља, наочаре су доступне уз сваки апарат и намењене су оним корисницима који су током експозиције најближе зрачном снопу. УКЦВ поседује 3 ангио сале, при чему се све три налазе у различитим објектима, две у кругу УКЦВ-а, док је трећа ангио сала у објекту Болнице на Мишелуку. Све ангио сале опремљене су завесицама испод пацијентног стола и плафонским заштитним екраном. У једној сали доступан је мањи број заштитних визира, док је у једној сали доступан мобилни параван. Само мали број запослених УКЦВ-а ради искључиво на једном апарату или у једном кабинету и сали, док највећи број њих послове обавља на више места. Сви апарати у операционим и ангио салама имају могућност ротације гентрија, односно осликавања пацијента из различитих угаоних пројекција. Типичан положај чланова тима који учествују у обављању процедуре у области интервентне радиологије и васкуларне хирургије, у односу на пацијента и рендгенску цев, приказан је на Слици 12.



Слика 12: Типичан положај чланова тима који учествују у обављању процедуре ЕВАР у ангио-сали, у односу на пацијента и рендгенску цев (Водећи оператер, оператер асистент и васкуларни хирург)

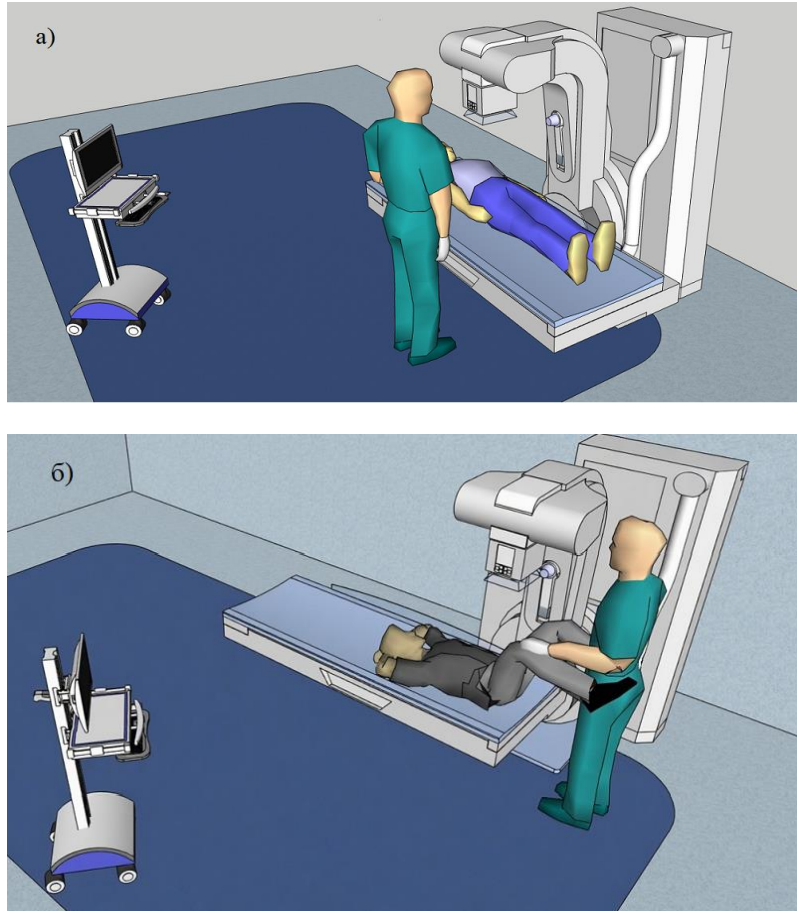
Положај анестезиолога који обавља интервенције у области терапије бола у ангио сали, у односу на пацијента и рендгенску цев, приказан је на Слици 13.



Слика13: Положај анестезиолога који обавља интервенције у области терапије бола у ангио сали, у односу на пацијента и рендгенску цев

Дијагностичке уролошке процедуре са ретроградним приступом обављају се у рендген кабинету, на стационарном апарату, који има могућност флуороскопије, али не и ротирања рендгенске цеви, те се све процедуре овог типа обављају при оријентацији рендгенске цеви изнад пацијентног стола (енг. *Over couch orientation*). За потребе осликавања косих пројекција елемената урогениталног система, од пацијената се тражи да се карлицом у

одређеној мери ротирају на леву, односно десну страну. Снимањем се прати кретање контраста у реалном времену кроз органе уринарног тракта, а убризгавање контраста врши медицински техничар. Током прегледа и експозиције, медицински техничар стоји поред пацијента, (а) са његове десне стране или (б) поред чеља стола, код ногу пацијента (Слика 14 а) и б)).



Слика 14: Положај медицинског техничара у односу на пацијента и рендгенску цев током дијагностичких уролошких процедура

Подаци о изложености пацијента не уносе се у извештаје и отпусне листе пацијента. Ови подаци увек су доступни на командној конзоли апарата, као и на монитору за посматрање слике током интервенције. Подаци се чувају на самом апарату, током одређеног временског периода, услед ограничених меморијских капацитета, а код већине стационарних апарата они се преносе и дугорочно чувају заједно са сликовним подацима на ПАКС систему (енг. *Picture Archiving and Communication System – PACS*). Код мобилних апарата, као што су они коришћени у операционим салама, ни сликовни ни дозиметријски подаци не преносе се на ПАКС. Болница на Мишелуку, иако саставни део УКЦВ-а, физички је одвојена и удаљена око 6 километара од главне локације УКЦВ-а, те њено повезивање на ПАКС има своје изазове.

4. Методологија

За процену изложености запослених јонизујућем зрачењу током флуороскопски вођених процедура, најпре су идентификоване области примене, конкретне процедуре, апарати и запослени који су укључени у ову врсту процедура.

4.1. Мерење амбијенталног дозног еквивалента

Извршена су иницијална мерења амбијенталним монитором Fluke Biomedical 451P, калибрисаним у складу са актуелном законском регулативом, у нивоу груди, главе и руку, тј. прстију, где је било могуће, у оном режиму (снимање или просветљавање-флуороскопија) и при кондицијама које највише одговарају оним коришћеним у рутинском раду. Сва мерења извршена су у присуству воденог фантома, дебљине 20 cm. Услови мерења при амбијенталном мониторингу по областима примене дати су у табели М1. У просторијама где постоје плафонски екрани, сва мерења вршена су без овог средства, са циљем процене интензитета зрачења за оператера у најгорем могућем случају (енг. *worst case scenario*), сходно (7).

Табела М1: Области примене флуороскопије и услови и позиције мерења амбијенталног дозног еквивалента $H^*(10)$.

Област примене	Апарат	Напон	Струја	Растојање фокус-пријемник	Брзина приказа слике	Оператер и позиција мерења	
		[kV]	[mA]	[cm]	[fps]		
Интервентна радиологија/ васкуларна хирургија	Philips Azurion	80	3.5 mAs	120	7.5	Водећи оператер - радиолог	Глава
							Груди
							Руке
						Оператер асистент-радиолог	Глава
							Груди
							Руке
	Васкуларни хирург	Глава					
		Груди					
		Руке					
	80	25 mAs	120	3		Главни оператер - радиолог	Глава
							Груди
							Руке
Асистент-радиолог						Глава	
						Груди	
						Руке	
Васкуларни хирург	Глава						
	Груди						
	Руке						
Ортопедија	Philips BV Endura	60	1.3	60	/	Ортопедски хирург	Глава
							Груди
Анестезија/ терапија бола	Siemens Artis One	70	157	120	15	Лекар - анестезиолог	Глава
							Груди
Урологија	Siemens Luminos DRF Max	70	9.2	100	15	Техничар	Глава
							Груди

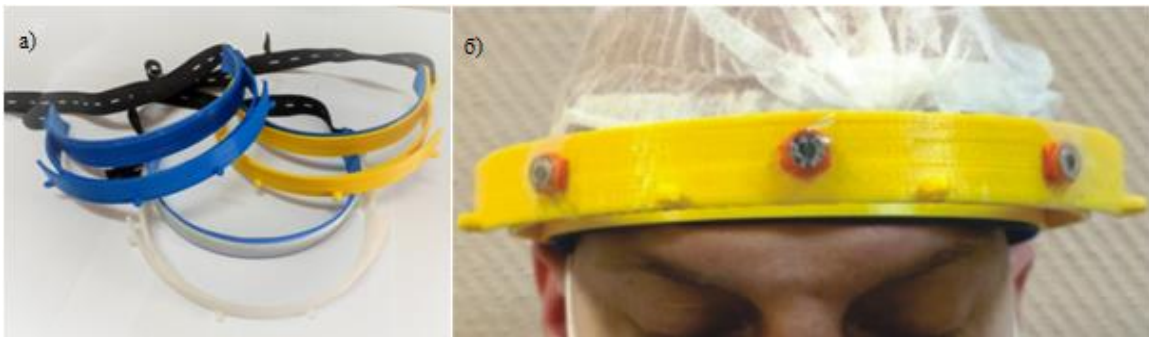
Поред тога интервјуисани су корисници о оквирном броју процедура на годишњем нивоу и броју запослених исте струке који су укључени у обављање конкретне процедуре. На основу ових резултата донесена је одлука о периоду током ког ће се вршити мониторинг, односно да ли ће то бити на месечном нивоу или за сваку појединачну процедуру.

Код операционих процедура из области ортопедије, мерења су вршена на месечном нивоу, док је код интервенција из области анестезије-терапије бола, интервентне радиологије/васкуларне хирургије (ЕВАР) и дијагностичких уролошких процедура мерења вршена по појединачној процедури.

4.2. Мерење личних дозних еквивалената

За потребе истраживања обезбеђено је 18 дозиметара калибрисаних у величини $H_p(3)$, на одговарајућим носачима који омогућавају мерење дозе за очно сочиво, 12 дозиметара за тело, као и 6 дозиметара на носачима који омогућавају мерење дозе за прсте.

За процену излагања особља сваком кориснику био је додељен сет од 5 дозиметара и то: по два ТЛ дозиметра калибрисана у величину $H_p(10)$, један намењен ношењу испод заштитне кецеље, а други преко ње [115], и по 3 ТЛ дозиметра калибрисана у величини $H_p(3)$, намењена мерењу дозе за очно сочиво. За потребе овог истраживања конструисани су и израђени на 3Д штампачу држачи у облику рајфа, намењени ношењу на челу, који су са задње стране на глави причвршћени еластичном траком. Дозиметри намењени мерењу дозе за очно сочиво постављени су на ове држаче-рајфове на три места, на средини чела, изнад носа, и еквидистантно лево и десно, на удаљености од око 5 cm од средишњег. Дозиметри су на рајф причвршћивани лепљивом траком, а иницијално су заштићени тканином или папиром. На сваком рајфу постојала је ознака за леву и десну страну, а приликом стављања рајфа на чело посебно се обраћала пажња његовој исправној оријентацији. Рајфови су ношени изнад обрва, односно што је ближе могуће обрвама, а у зависности од физиономије лица сваког појединачног корисника (Слика М1). Овако дизајнирани и ношени дозиметри, иако јесу делимично улазили у горњи део видног поља корисника, нису их ометали у рутинском раду. Поред поменутих 5 дозиметара, свим корисницима је на самом почетку истраживања понуђено да носе и прстен дозиметре, али су сви, осим интервентних радиолога, одбили ношење и овог дозиметра, јер су сматрали да на тај начин може доћи до нарушавања стерилности руку и услова у радном окружењу.



Слика М1: а) Рајфови-држачи за дозиметре за очно сочиво, б) положај дозиметара на држачу и положај држача на глави корисника

По завршетку сваке процедуре, забележени су следећи подаци:

1. датум и време ношења
2. област примене
3. корисник

За сваки дозиметар коришћен током једне процедуре, забележени су следећи подаци:

4. идентификациони број дозиметра
5. позиција дозиметра (испод/преко кецеље, чело – лево, средина, десно)

Дозиметри за очи скинути су са рајфа, а потом, заједно са папирном/платненом заштитом залепљени на папир уз преношење информације о позицији дозиметра на рајфу. На основу ових података, су касније очитане вредности могле бити повезане са параметрима експозиције пацијента. Дозиметри су очитавани у Лабораторији „Заштита“ Института за нуклеарне наука „Винча“. у року од највише 7 дана почев од дана излагања.

Приликом очитавња ТЛ дозиметара, из кућишта дозиметра се вади носач са ТЛ детекторима (LiF:Mg,Ti за $H_p(10)$ и 7LiF:Mg,Cu,P, за $H_p(3)$) који се постављају у шаржер ТЛ читача. Дозиметри за тело имају два детектора на носачу (два детектора у ТЛ дозиметру) те резултат очитавња овог дозиметра представља средњу вредност сигнала са оба детектора. Код дозиметара за очи примењује се један детектор те његова очитана вредност уједно представља и дозу за очно сочиво. За очитавње дозиметара коришћен је читач *Harshaw 6600 PLUS* произвођача *Thermo Fisher Scientific*, са програмом *WinREMS* (*Windows based Radiation Evaluation and Management System*) који контролише мерење ТЛД картица и израчунава дозу коју је примио сваки детектор на картици. За правилно очитавње сигнала, ТЛ читач се претходно калибрише за величину коју ношени дозиметар треба да репрезентује (цело тело - $H_p(10)$ или очно сочиво - $H_p(3)$).



Слика М2: Носач са два ТЛ детектора. Приликом очитавња овај носач се вади из кућишта дозиметра и поставља у читач.

У случајевима када, из организационих разлога, дозиметри нису излагани зрачењу дуже од 10 дана од последњег очитавња, а због накупљања позадинског зрачења, дозиметри су поново очитавани/поништавани пре наредне употребе.

Вредност ефективне дозе за цело тело израчуната је употребом вредности очитаних са дозиметра испод и изнад кецеље и једначине

$$E = H_p(10)_{\text{испод}} + 0.05 H_p(10)_{\text{преко}} \quad (11)$$

према *Правилнику о границама излагања јонизујућим зрачењима и мерењима ради процене нивоа излагања* [7], док је јединствена вредност дозе за очно сочиво израчуната као средња вредност оних очитаних на челу лево, на средини и десно.

Све процедуре из области интервентне радиологије/васкуларне хирургије, урологије и терапије бола, надгледао је и методолошки водио, у смислу мерења професионалне изложености, медицински физичар. Са конзоле рендген апарата, по завршетку процедуре, забележени су параметри експозиције пацијента – укупна керма, *DAP* и укупно време флуороскопирања, у јединицама у којима се приказују на коришћеном апарату. Поред тога, бележени су подаци о положају и оријентацији рендгенске цеви током процедуре, као и о положају у просторији, оријентацији и понашању оператера.

Процедуре извршене у операционим салама медицински физичар није рутински надгледао. Ове процедуре обављају се у различитим деловима дана и недеље, а услови у операционој сали захтевају стерилност. Пре почетка студије, хирурзима је објашњено на који начин се правилно постављају дозиметри и рајфови, а њихова одговорност је била да пре сваке процедуре у којој су знали да ће користити рендген апарат дозиметре и ставе на тело и главу. За потребе прикупљања података о експозицији пацијента током ортопедских хируршких процедура, корисници – ортопедски хирурзи су, по завршетку сваке операције током које су користили рендген апарат и додељени сет дозиметара, бележили и слали податке са конзоле рендген апарата, а све изазвано чињеницом да мобилни Ц-лукови немају могућност архивирања података на ПАКС-у.

4.3. Испитивање новог заштитног средства

У циљу евалуације новог заштитног средства, једнократне покривке за спречавање расејаног зрачења, које би се могло увести у клиничку употребу, процењена је ефикасност овог средства у смањењу нивоа расејаног зрачења на позицији корисника, и то у неколико сценарија који се реално могу десити у клиничкој пракси. Коришћен је водени фантом димензија 16x16x30 cm³, који је имао за циљ да симулира зрачење које се расејава у телу пацијента. Мерене су вредности амбијенталног дозног еквивалента на растојању од 40 cm од фантома, што може одговарати месту на коме се налази торзо оператера, без употребе додатних заштитних средстава попут наставка за завесице који се монтира изнад стола, или плафонског екрана, док су вредности параметара експозиције (напон, производ струје и времена, јачина керме) забележени са монитора апарата. Прво мерење извршено је тако да покривка покрива једну страну фантома, али да иста не улази у видно поље апарата, а потом је покривка постепено увођена у видно поље, тако да је заузимала 10, 20, 30, 40 и 50% видног поља. Растојање извора од пацијентног стола било је 48 cm, није коришћено увећање слике. Одабрани протокол означен је као нискодозни (*low*), са 7.5 пулсева у секунди.

4.4. Испитивање ставова и навика корисника извора зрачења

Упитник (Прилог 1) креиран је за ову намену. Састојао се од 12 питања, најчешће по типу „питања са више понуђених одговора“ (енг. *multiple choice questions*), отвореног типа – постојање опције „друго“, где је корисницима остављена могућност да, сами допишу свој одговор. Сваки корисник замољен је да попуни упитник приликом доласка на редован годишњи лекарски преглед, јер је процењено да је ово ситуација која ће, у неколико различитих термина окупити велики број корисника зрачења на једном месту, а током чекања на вршење одређеног дела прегледа, запослени би могли имати довољно времена да одговоре на постављена питања. У циљу прикупљања што искренијих одговора, упитник је био анониман, како би се корисници, без страха од осуде, могли изјаснити о својим ставовима и навикама везаних за рад са изворима јонизујућег зрачења. Током попуњавања упитника, корисници нису били под надзором. Упитник је дистрибуиран у папирној форми, а опет у циљу очувања анонимности, корисници су попуњене упитнике пресавијали и стављали у за то намењену кутију. Из ових разлога, није се могло обезбедити да сви испитаници заиста и одговоре на сва постављена питања, односно није постојао начин да се одређена питања учине обавезним.

4.5. Статистичка обрада

Прикупљени подаци су анализирани употребом *Microsoft Excel* софтвера. Примењени су дескриптивни статистички параметри за категоријску (процент, %) и нумеричку анализу података, у форми средња(максимална, минимална) медијана вредност, као и $X \pm$ стандардна девијација. Обзиром на мали број података у свакој појединачној групи (10-16) и дистрибуцију вредности која одступа од нормалне дистрибуције, статистичке разлике одређених сетова података испитиване су употребом *Mann-Whitney U* теста. Граница статистичке значајности постављена је на вредност $p=0.05$. Повезаност различитих сетова података испитивана је помоћу линеарне регресионе анализе, посматрањем коефицијента R^2 , при чему је вредност овог коефицијента већа од 0.70 сматрана јаком корелацијом, вредност између 0.69 и 0.40 сматрана је умереном, а вредност мања од 0.39 сматрана је слабом корелацијом. [116]. За графички приказ резултата такође је коришћен *Microsoft Excel*.

5. Резултати

Укупно је прочитано 398 дозиметара, од тога 136 дозиметара за тело, 246 дозиметара за очи и 16 дозиметара за прсте.

5.1. Интервентна радиологија и васкуларна хирургија – процедура ЕВАР

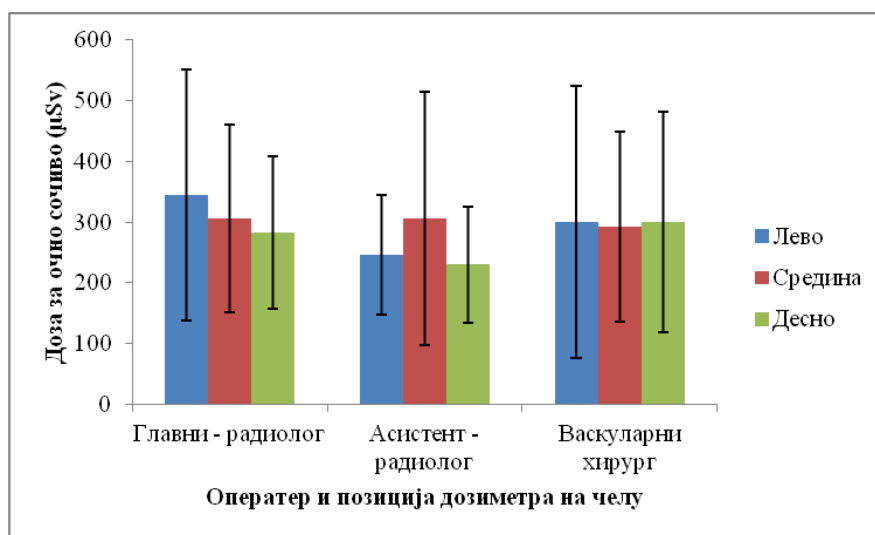
Вредности забележене током амбијенталног мониторинга приказане су у Табели Р1. Све вредности забележене су без употребе плафонског заштитног екрана. Мерења индивидуалног излагања вршена су по појединачној процедури.

Табела Р1: Резултати мерења јачине амбијенталног еквивалента дозе у висини главе, груди и руку, приликом два модалитета снимања, на позицијама три оператера која тимски изводе процедуру ЕВАР.

Оператер и позиција мерења		$H^*(10)$ [$\mu\text{Sv/h}$]	$H^*(10)$ [$\mu\text{Sv/h}$]
Режим		Снимање	Флуороскопија
Водећи оператер - радиолог	Глава	8400	750
	Груди	18200	1560
	Руке	/	3200
Оператер асистент- радиолог	Глава	1400	170
	Груди	1500	200
	Руке	/	120
Васкуларни хирург	Глава	8300	720
	Груди	17900	1530
	Руке	/	1650

Табела Р2: Резултати мерења дозе (број мерења, средња, максимална, минимална вредност, медијана) дозиметрима испод и изнад кецеље, на прстима и на три места (лево, средина, десно) на челу, за три оператера која тимски изводе процедуру ЕВАР.

		Испод кецеље $H_p(10)$	Преко кецеље $H_p(10)$	Лево $H_p(3)$	Средина $H_p(3)$	Десно $H_p(3)$	Прсти $H_p(0.07)$
		[μSv]					
Водећи оператер - радиолог	број мерења	n=10	n=10	n=14	n=14	n=14	n=8
	средња	150	391	345	306	283	360
	макс	302	850	949	773	628	1010
	мин	70	114	142	179	174	130
	медијана	143	337	284	261	231	210
Оператер асистент - радиолог	број мерења	n=11	n=11	n=15	n=15	n=15	n=8
	средња	114	181	246	309	230	211
	макс	301	360	424	874	390	850
	мин	60	90	130	152	115	80
	медијана	80	150	198	204	203	130
Васкуларни хирург	број мерења	n=9	n=9	n=15	n=15	n=15	/
	средња	127	222	301	293	300	/
	макс	162	321	810	674	788	/
	мин	98	137	96	124	115	/
	медијана	130	236	216	258	223	/



Графикон Р1: Вредности дозе за очно сочиво очитане на дозиметрима ношеним на челу лево, на средини и десно, за чланове тима који изводе процедуру ЕВАР, са припадајућим стандардним девијацијама

Табела Р3: Резултати израчунатих вредности ефективне дозе за тело и дозе за очи (средња, максимална, минимална вредност и медијана) за чланове тима који изводе процедуру ЕВАР

		Е $H_p(10)$	Очи $H_p(3)$
		[μSv]	
Водећи оператер - радиолог	средња	170	311
	макс	328	783
	мин	77.5	176
	медијана	153	252
Оператер асистент - радиолог	средња	123	261
	макс	375	551
	мин	67.5	132
	медијана	84	228
Васкуларни хирург	средња	138	298
	макс	172	664
	мин	106	111
	медијана	142	247

Табела Р4: Вредности (средња, максимална, минимална вредност, медијана) параметара експозиције пацијента ($K_{a,r}$, DAP , FT – *Fluoroscopy Time*) током процедуре ЕВАР

	$K_{a,r}$	DAP	FT
	[mGy]	[Gy·cm ²]	[min]
средња	307	95.1	20.4
макс	657	281.0	44.9
мин	101	23.5	5.2
медијана	267	79.9	13.6

Табела Р5: Вредности (средња вредност ± стандардна девијација, опсег измерених вредности – максимална и минимална, медијана и вредност 3. квартила) измерених и израчунатих вредности дозе нормиране на *DAP*, за сва три оператера која у тиму врше процедуру ЕВАР.

Оператер		Средња вр. ± ст. дев.	опсег	медијана	3. квартил
		[$\mu\text{Sv}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$]			
Водећи оператер - радиолог	Лево $H_p(3)/DAP$	4.59 ± 2.20	1.91-10.19	4.18	5.48
	Средина $H_p(3)/DAP$	4.28 ± 2.14	1.82 – 9.21	3.37	5.71
	Десно $H_p(3)/DAP$	4.07 ± 2.12	1.61 – 8.32	3.22	5.64
	Очи $H_p(3)/DAP$	4.31 ± 2.10	1.78-9.24	3.74	5.53
	Испод кецеље $H_p(10)/DAP$	2.69 ± 1.84	0.45-6.58	2.68	3.15
	Преко кецеље $H_p(10)/DAP$	5.44±1.84	3.02-8.37	5.44	6.36
	Е $H_p(10)/DAP$	2.96 ± 1.90	0.62-6.99	3.00	3.45
	Прсти $H_p(0.07)/DAP$	4.74 ± 2.52	1.88-9.82	4.07	5.86
Оператер асистент - радиолог	Лево $H_p(3)/ DAP$	3.68±1.87	1.00-7.33	3.36	4.86
	Средина $H_p(3)/ DAP$	4.57±3.40	1.16-14.87	4.14	5.76
	Десно $H_p(3)/ DAP$	3.49±1.96	1.11-7.06	3.17	4.85
	Очи $H_p(3)/ DAP$	3.92±2.04	1.09-7.16	4.09	5.77
	Испод кецеље $H_p(10)/ DAP$	2.19±1.45	0.21-5.07	2.12	3.08
	Преко кецеље $H_p(10)/ DAP$	2.95±1.45	0.53-5.12	2.64	4.05
	Е $H_p(10)/ DAP$	2.34±1.51	0.24-5.32	2.25	3.27
	Прсти $H_p(0.07)/ DAP$	2.88±1.74	0.50-5.55	2.56	4.11
Васкуларни хирург	Лево $H_p(3)/ DAP$	4.76±4.75	1.05-19.80	3.42	5.15
	Средина $H_p(3)/ DAP$	4.34±2.35	1.37-8.91	4.67	5.93
	Десно $H_p(3)/ DAP$	4.13±2.02	1.27-8.89	3.81	5.07
	Очи $H_p(3) DAP$	4.41±2.75	1.23-10.92	4.59	5.38
	Испод кецеље $H_p(10)/ DAP$	2.63±1.81	0.37-5.64	2.45	3.93
	Преко кецеље $H_p(10)/ DAP$	5.03±3.93	0.49-11.86	3.44	7.87
	Е $H_p(10)/ DAP$	2.88±2.00	0.39-6.23	2.62	4.29

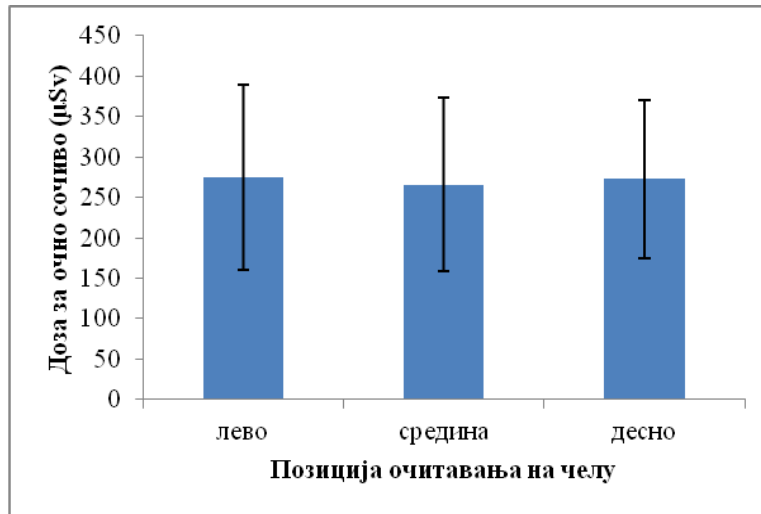
5.2. Ортопедска хирургија

Током амбијенталног мониторинга забележене су вредности 40 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ у нивоу главе, односно 160 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ у нивоу груди ортопедског хирурга.

Мерења индивидуалног излагања вршена су на месечном нивоу.

Табела Р6: Резултати мерења дозе (број мерења, средња, максимална, минимална вредност, медијана) дозиметрима испод и изнад кецеље и на три места (лево, средина, десно) на челу, за ортопедског хирурга који изводи различите врсте ортопедских процедура.

	Испод кецеље $H_p(10)$	Преко кецеље $H_p(10)$	Лево $H_p(3)$	Средина $H_p(3)$	Десно $H_p(3)$	
			[μSv]			
	број мерења		n=10			
Хирург ортопед	средња	169	248	275	266	273
	макс	255	552	446	468	407
	мин	101	129	163	147	167
	медијана	159	253	231	215	234



Графикон P2: Вредности дозе за очно сочиво очитане на дозиметрима ношеним на челу лево, на средини и десно, за ортопедске хирурге, са припадајућим стандардним девијацијама

Табела P7: Резултати израчунатих вредности ефективне дозе за тело и дозе за очи (средња, максимална, минимална вредност и медијана) за ортопедског хирурга који изводи различите врсте ортопедских процедура.

		Е	Очи
		$H_p(10)$	$H_p(3)$
		[µSv]	
Хирург ортопед	средња	181	271
	макс	268	441
	мин	108	160
	медијана	171	215

Табела P8: Вредности (средња, максимална, минимална вредност, медијана) параметара експозиције пацијента ($K_{a,r}$, DAP , FT – *Fluoroscopy Time*) током различитих врсте ортопедских процедура.

	$K_{a,r}$	DAP	FT
	[mGy]	[Gy·cm ²]	[min]
средња	67.5	7.1	3.53
макс	434.1	18.1	6.93
мин	2.9	0.8	1.45
медијана	23.2	5.97	2.63

Табела Р9: Вредности (средња вредност ± стандардна девијација, опсег измерених вредности – максимална и минимална, медијана и вредност 3. квантила) измерених и израчунатих вредности дозе нормиране на DAP, за ортопедског хирурга који изводи различите врсте ортопедских процедура.

	Средња вр. ± ст. дев.	опсег	медијана	3. квантил
	[$\mu\text{Sv}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$]			
Лево $H_p(3)/DAP$	89.65 ± 112.96	15.47 - 362.18	36.38	97.70
Средина $H_p(3)/DAP$	83.13 ± 96.63	16.89 - 290.23	32.24	100.53
Десно $H_p(3)/DAP$	91.28 ± 113.53	17.54 - 319.93	33.65	89.73
Очи $H_p(3)/DAP$	88.02 ± 107.03	16.63 - 324.11	35.13	95.40
Испод кецеље $H_p(10)/DAP$	56.82 ± 69.84	10.54 - 190.72	22.73	55.95
Преко кецеље $H_p(10)/DAP$	67.49 ± 69.98	14.42 - 214.71	38.01	63.28
Е $H_p(10)/DAP$	60.20 ± 73.30	12.33 - 201.45	24.18	59.12

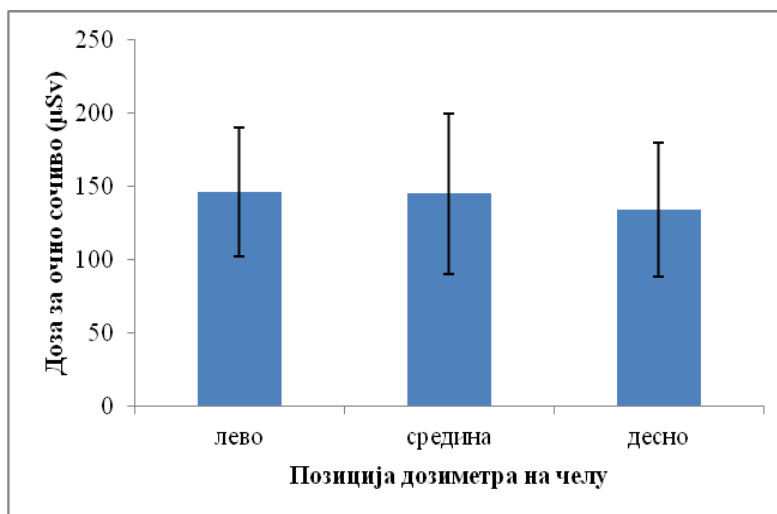
5.3. Анестезија – терапија бола

Током амбијенталног мониторинга забележене су вредности од 130 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ у нивоу главе, односно 210 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ у нивоу груди, без употребе заштитног плафонског екрана.

Мерења индивидуалног излагања вршена су по појединачној процедури.

Табела Р10: Резултати мерења дозе (број мерења, средња, максимална, минимална вредност, медијана) дозиметрима испод и изнад кецеље и на три места (лево, средина, десно) на челу, за анестезиолога који изводи различите врсте процедура у области терапије бола.

		Испод кецеље $H_p(10)$	Преко кецеље $H_p(10)$	Лево $H_p(3)$	Средина $H_p(3)$	Десно $H_p(3)$
		[μSv]				
Анестезиолог	број мерења			n=16		
	средња	58	77	146	145	134
	макс	80	186	272	308	265
	мин	40	46	99	96	104
	медијана	57	64	141	122	119



Графикон P3: Вредности дозе за очно сочиво очитане на дозиметрима ношеним на челу лево, на средини и десно, за анестезиологе који обављају интервенције терапије бола, са припадајућим стандардним девијацијама

Табела P11: Резултати израчунатих вредности ефективне дозе за тело и дозе за очи (средња, максимална, минимална вредност и медијана) за анестезиолога који изводи различите врсте процедура у области терапије бола.

		Е	Очи
		$H_p(10)$	$H_p(3)$
		[μSv]	
Анестезиолог	средња	62	142
	макс	84	246
	мин	43	102
	медијана	60	123

Табела P12: Вредности (средња, максимална, минимална вредност, медијана) параметара експозиције пацијента ($K_{a,r}$, DAP , FT – *Fluoroscopy Time*) током различитих процедура у области терапије бола.

	$K_{a,r}$	DAP	FT
	[mGy]	[μGy·m ²]	[min]
средња	24.7	405	0.44
макс	135	2447	1.1
мин	2	29.7	0.1
медијана	11	184	0.3

Табела Р13: Вредности (средња вредност ± стандардна девијација, опсег измерених вредности – максимална и минимална, медијана и вредност 3. квантила) измерених и израчунатих вредности дозе нормиране на DAP, за анестезиолога који изводи различите врсте процедура у области терапије бола.

	Средња вр. ± ст. дев.	опсег	медијана	3. квантил
	[$\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$]			
Лево $H_p(3)/DAP$	1.17±1.19	0.06-4.90	1.15	1.35
Средина $H_p(3)/DAP$	1.13±1.11	0.07-4.39	0.85	1.75
Десно $H_p(3)/DAP$	1.14±1.38	0.05-5.81	0.92	1.33
Очи $H_p(3)/DAP$	1.15±1.21	0.06-5.03	0.99	1.43
Испод кецеље $H_p(10)/DAP$	0.48±0.50	0.02-2.02	0.32	0.65
Преко кецеље $H_p(10)/DAP$	0.58±0.66	0.05-2.85	0.53	0.68
Е $H_p(10)/DAP$	1.13±1.11	0.07-4.39	0.85	1.75

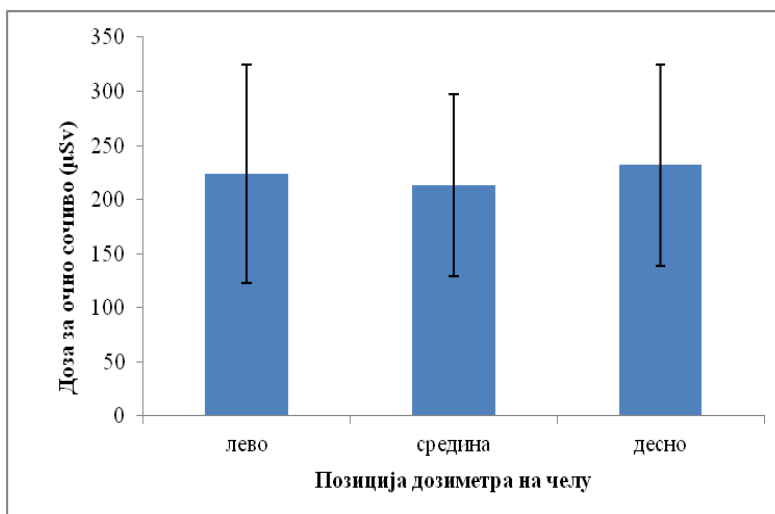
5.4. Урологија

Током амбијенталног мониторинга забележене су вредности од 240 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ у нивоу груди техничара, односно 210 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ у нивоу главе техничара, без употребе додатних заштитних средстава.

Мерења индивидуалног излагања вршена су по појединачној процедури.

Табела Р14: Резултати мерења дозе (број мерења, средња, максимална, минимална вредност, медијана) дозиметрима испод и изнад кецеље и на три места (лево, средина, десно) на челу, за уролошког техничара који изводи уролошке дијагностичке процедуре.

		Испод кецеље	Преко кецеље	Лево	Средина	Десно
		$H_p(10)$	$H_p(10)$	$H_p(3)$	$H_p(3)$	$H_p(3)$
[μSv]						
	број мерења			12		
Техничар	средња	57	120	224	213	232
	макс	97	208	454	376	415
	мин	26	50	125	122	131
	медијана	49	110	174	178	216



Графикон P4: Вредности дозе за очно сочиво очитане на дозиметрима ношеним на челу лево, на средини и десно, за медицинског техничара који обавља дијагностичке уролошке процедуре, са припадајућим стандардним девијацијама

Табела P15: Резултати израчунатих вредности ефективне дозе за тело и дозе за очи (средња, максимална, минимална вредност и медијана) за уролошког техничара који изводи уролошке дијагностичке процедуре.

		Е $H_p(10)$	Очи $H_p(3)$
		[µSv]	
Техничар	средња	63	223
	макс	104	385
	мин	29	126
	медијана	57	190

Табела P16: Вредности (средња, максимална, минимална вредност, медијана) параметара експозиције пацијента ($K_{a,r}$, DAP , FT – *Fluoroscopy Time*) током различитих уролошких дијагностичких процедура.

	$K_{a,r}$	DAP	FT
	[mGy]	[µGy·m ²]	[min]
средња	9.36	707	0.53
макс	31.8	2401	3.51
мин	2.3	155	0.20
медијана	6.05	443	0.32

Табела P17: Вредности (средња вредност ± стандардна девијација, опсег измерених вредности – максимална и минимална, медијана и вредност 3. квартила) измерених и израчунатих вредности дозе нормиране на DAP, за уролошког техничара који изводи уролошке дијагностичке процедуре; све вредности приказане у јединици.

	Средња вр. ± ст. дев.	опсег	медијана	3. квартил
	[μSv/μGy·m ²]			
Лево $H_p(3)/DAP$	0.44 ± 0.23	0.14 - 0.97	0.40	0.55
Средина $H_p(3)/DAP$	0.44 ± 0.27	0.16 - 1.15	0.40	0.52
Десно $H_p(3)/DAP$	0.47 ± 0.29	0.17 - 1.22	0.39	0.54
Очи $H_p(3)/DAP$	0.45 ± 0.26	0.16 - 1.11	0.43	0.52
Испод кецеље $H_p(10)/DAP$	0.13 ± 0.10	0.02 - 0.31	0.10	0.22
Преко кецеље $H_p(10)/DAP$	0.22 ± 0.07	0.08 - 0.32	0.21	0.25
Е $H_p(10)/DAP$	0.35 ± 0.17	0.10 - 0.64	0.31	0.46

5.5. Корелација измерених вредности са параметрима експозиције пацијента

Табела P18: Вредности коефицијента корелације и припадајућих p вредности за корелације свих мерених и израчунатих вредности за све посматране оператере и области примене. Тамнијом бојом обележене су корелације које су статистички значајне. ИР ВО – Интервентна радиологија водећи оператер; ИР АО – Интервентна радиологија оператер асистент; ИР ВХ – Интервентна радиологија васкуларни хирург; Х ОРТ – Ортопедски хирург; АН ТБ – анестезиолог, терапија бола; УТ – Уролошки техничар; ИК – Испод кецеље; ПК – Преко кецеље.

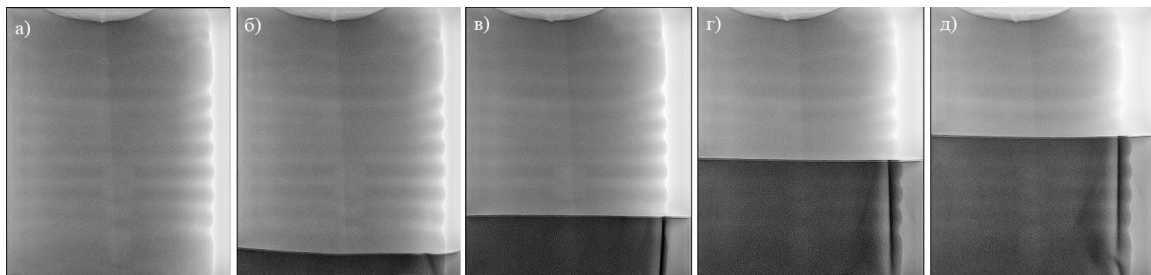
	ИР ВО		ИР АО		ИР ВХ		Х ОРТ		АН ТБ		УТ	
	коэф иције нт корел ације	р	коэф иције нт корел ације	р	коэф иције нт корел ације	р	коэф иције нт корел ације	р	коэф иције нт корел ације	р	коэф иције нт корел ације	р
Лево - $K_{a,r}$	0.427	0.01	0.235	0.08	0.037	0.51	0.005	0.85	0.000	0.97	0.462	0.02
Лево - DAP	0.735	<0.01	0.421	0.01	0.166	0.15	0.013	0.75	0.002	0.88	0.477	0.01
Лево - FT	0.080	0.33	0.377	0.02	0.267	0.06	0.105	0.36	0.086	0.27	0.078	0.38
Средина - $K_{a,r}$	0.550	<0.01	0.207	0.10	0.189	0.12	0.020	0.70	0.043	0.44	0.702	<0.01
Средина - DAP	0.829	<0.01	0.271	0.06	0.269	0.06	0.061	0.49	0.035	0.49	0.697	<0.01
Средина - FT	0.043	0.48	0.475	0.01	0.227	0.08	0.086	0.41	0.006	0.78	0.279	0.08
Десно - $K_{a,r}$	0.398	0.02	0.297	0.04	0.441	0.01	0.080	0.43	0.020	0.60	0.641	<0.01
Десно - DAP	0.845	<0.01	0.450	0.01	0.787	<0.01	0.059	0.50	0.004	0.82	0.660	<0.01
Десно - FT	0.096	0.28	0.216	0.09	0.171	0.14	0.183	0.22	0.166	0.12	0.247	0.10
Очи - $K_{a,r}$	0.508	0.01	0.305	0.04	0.224	0.09	0.026	0.65	0.001	0.90	0.643	<0.01

Очи - <i>DAP</i>	0.843	<0.01	0.414	0.01	0.465	0.01	0.041	0.57	0.005	0.80	0.655	<0.01
Очи - <i>FT</i>	0.047	0.47	0.501	<0.01	0.294	0.05	0.125	0.32	0.442	0.43	0.199	0.15
ИК - $K_{a,r}$	0.318	0.11	0.136	0.26	0.003	0.91	0.149	0.27	0.000	0.93	0.004	0.85
ИК - <i>DAP</i>	0.082	0.46	0.002	0.89	0.068	0.53	0.026	0.66	0.000	0.97	0.003	0.87
ИК - <i>FT</i>	0.157	0.29	0.022	0.66	0.001	0.93	0.040	0.58	0.063	0.35	0.000	0.99
ПК - $K_{a,r}$	0.793	<0.01	0.241	0.12	0.048	0.60	0.007	0.81	0.348	0.02	0.653	<0.01
ПК - <i>DAP</i>	0.891	<0.01	0.162	0.22	0.231	0.23	0.332	0.08	0.419	0.01	0.676	<0.01
ПК - <i>FT</i>	0.094	0.42	0.511	0.03	0.014	0.78	0.000	0.99	0.003	0.84	0.166	0.19
Е - $K_{a,r}$	0.427	0.06	0.145	0.25	0.000	0.97	0.132	0.30	0.014	0.66	0.440	0.02
Е - <i>DAP</i>	0.162	0.28	0.000	0.94	0.088	0.48	0.048	0.54	0.011	0.69	0.459	0.01
Е - <i>FT</i>	0.105	0.39	0.037	0.59	0.000	0.97	0.038	0.59	0.017	0.63	0.119	0.27
Прсти - $K_{a,r}$	0.394	0.13	0.027	0.70	/	/	/	/	/	/	/	/
Прсти - <i>DAP</i>	0.602	0.04	0.125	0.39	/	/	/	/	/	/	/	/
Прсти - <i>FT</i>	0.741	0.01	0.972	<0.01	/	/	/	/	/	/	/	/

5.6. Употреба једнократне покривке за заштиту од зрачења

Приликом нултог мерења, без употребе заштитне покривке, измерена је вредност од 380 $\mu\text{Sv/h}$. Поред вредности амбијенталног дозног еквивалента, у овој поставци забележени су параметри експозиције од 69 kV, 1.6 mAs и 1.2 mGy/min.

Са покривком постављеном на бочну страну фантома, ка мерном уређају, али тако да она не улази у зрачно поље, забележене су вредности амбијенталног дозног еквивалента од 187 $\mu\text{Sv/h}$, док се вредности параметара експозиције пацијента нису мењале. Рендгенска слика фантома, као и различити положаји покривке у видном пољу, приказани су на Слици Р1.

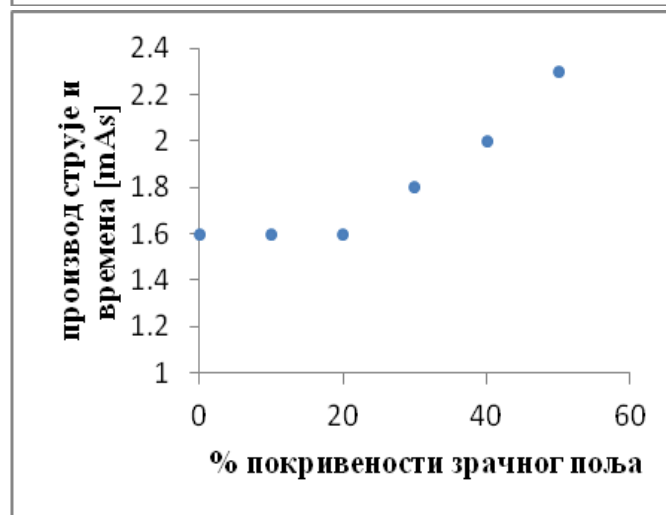
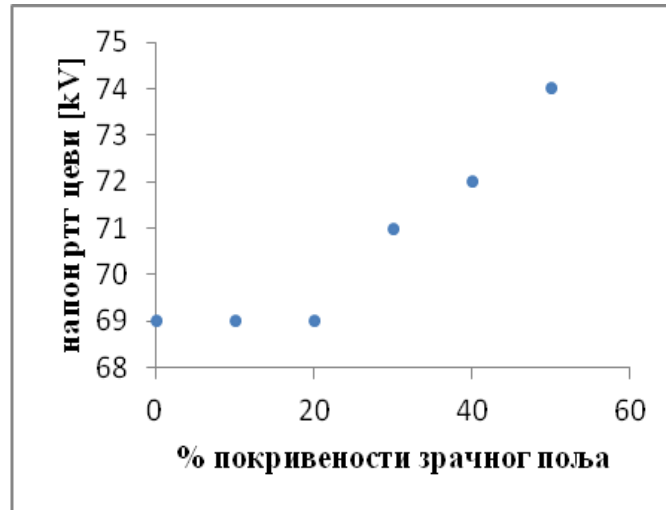


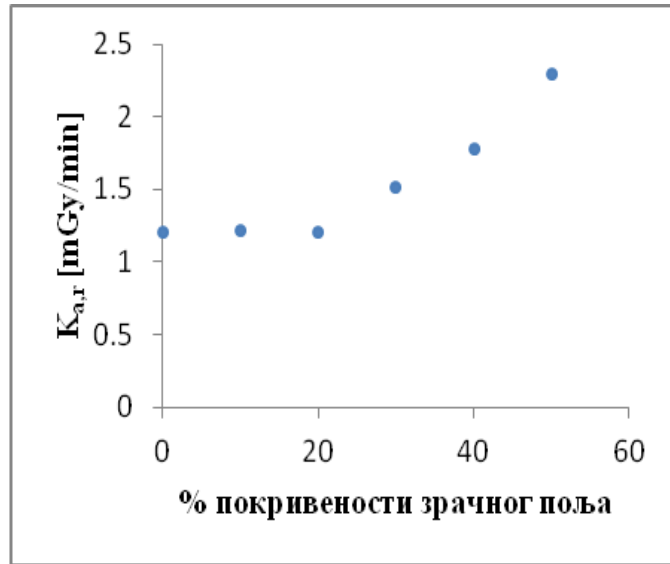
Слика Р1: Рендгенска слика фантома без покривке у видном пољу (а), покривка 10% у видном пољу (б), а потом 20% (в), 40% (г) и 50%(д).

Резултати амбијенталног дозног еквивалента, керме, напона рендгенске цеви и производа струје и времена за различите проценте покривености зрачног и видног поља заштитном покривком дати су у табели Р19.

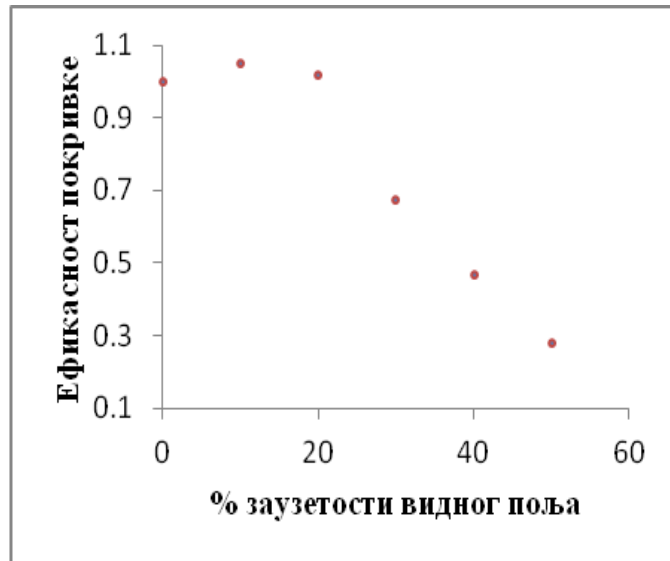
Табела Р19: Параметри експозиције и вредност брзине амбијенталног дозног еквивалента за различите проценте покривености зрачног/видног поља

% покривености зрачног/видног поља	Напон ртг цеви [kV]	Производ струје и напона [mAs]	$H^*(10)$ [$\mu\text{Sv/h}$]	$K_{a,r}$ [mGy/min]
0	69	1.6	187	1.20
10	69	1.6	175	1.22
20	69	1.6	182	1.21
30	71	1.8	220	1.51
40	72	2.0	270	1.78
50	74	2.3	350	2.30
Без употребе покривке	69	1.6	380	1.20





Графикон P5: Промена параметара експозиције (напон, производ струје и времена, $K_{a,r}$) са уношењем покривке за спречавање расејаног зрачења у видно поље.



Графикон P6: Ефикасност покривке за спречавање расејаног зрачења за различите покривености видног поља.

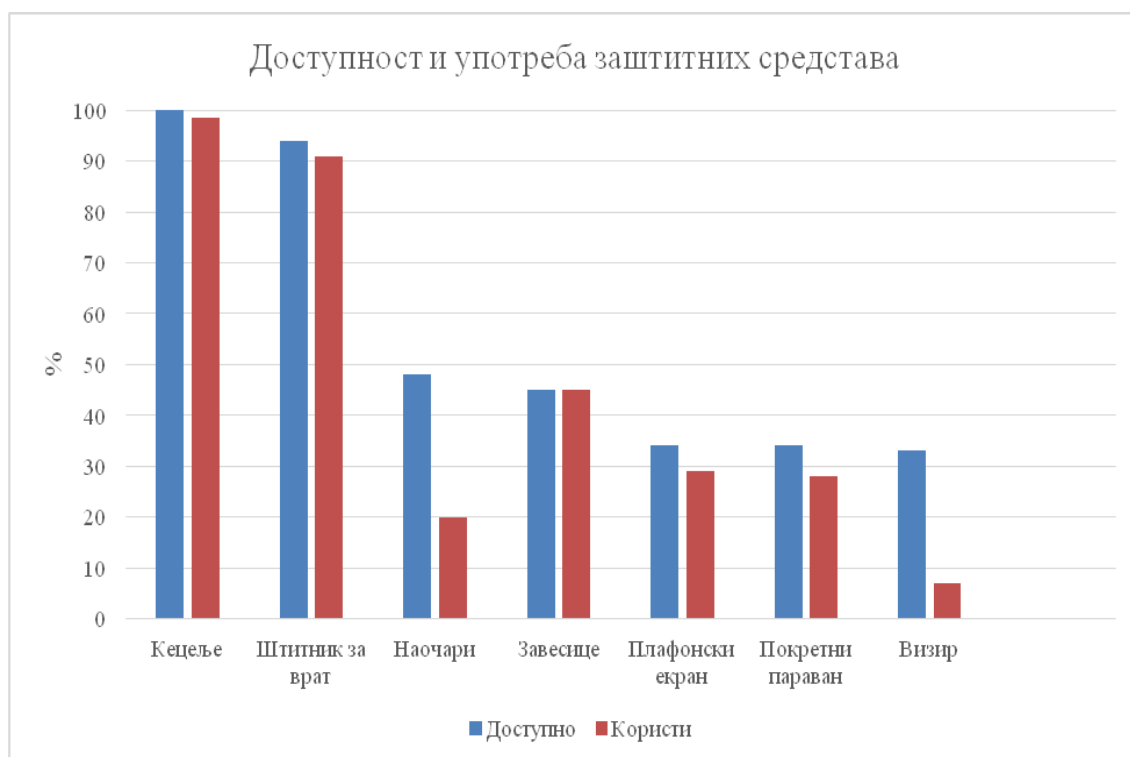
5.7. Резултати упитника

Прикупљено је укупно 168 упитника. Од овог броја, 127 корисника се изјаснило да у свом раду користи флуороскопију, док је 68 рекло да борави поред пацијента током употребе овог модалитета снимања. Управо су ови корисници издвојени као предмет анализе у овом раду. Од овог броја, 10 испитаника је навело да одређују која им је количина зрачења, тј. флуороскопије потребна, али да сами не управљају апаратом, што одговара хирурзима који у операционој сали користе изворе зрачења.

Сви корисници изјаснили су се да им је доступна заштитна кецеља, а 64 њих (94%) рекло да им је доступан и штитник за врат. 33 корисника (48%) навело је доступност заштитних наочара.

При анализи одговора о доступности допунских заштитних средстава, као што су завесице испод пацијентног стола, плафонски екран, мобилни параван и визир, искључено је оних 10 корисника који апарате користе у операционој сали, јер остала заштитна средства заиста нису доступна у операционим салама. 26 корисника (45%) навело су им доступне завесице испод пацијентног стола, 20 (34%) наводи доступност плафонског екрана, колико наводи и доступност покретног паравана, док 19 корисника (33%) наводи доступност визири.

Један испитаник (1.5 %) навео је да не користи ни једно доступно заштитно средство, док је 67 (98.5 %) испитаника рекло да користи заштитну кецељу. 62 испитаника навело је да користи штитнике за врат, што чини 97% оних који су навели ово средство као доступно, односно 91% свих испитаника. 14 испитаника навело је да заиста користи доступне заштитне наочари, што чини 42% оних испитаника који су навели да су им наочари доступне, односно 20% од свих корисника флуороскопије. 17, односно 16, испитаника навело је да користи плафонски екран, односно покретни параван, респективно, у свом раду, што чини 85%, односно 80%, корисника који су навели доступност ових средстава. 4 корисника навела су да користе визир, што чини 20% оних испитаника који су навели доступност овог заштитног средства. Од издвојених 10 корисника флуороскопских апарата у операционим салама, сви су навели да користе кецеље, док њих 9 (90%) користи и штитник за врат. 3 испитаника (30%) навела су да су им доступне заштитне наочари, док је двоје (20% посматраних, 67% оних који су навели да им је ово средство доступно) навело да наочари и користе.



Графикон Р7: Резултати упитника о доступности и употреби заштитних средстава

11 испитаника изразило је став о коришћењу заштитних средстава. Као разлоге за некоришћење свих доступних заштитних средстава, корисници су навели да им није пријатно да раде са њима, да их ометају у раду, да заштитна средства на одређени начин онемогућавају праћење свих битних параметара везаних за пацијента, што се такође може тумачити као ометање у раду, или да због коришћења диоптријских наочари за вид, не могу да користе заштитне оловне наочари.

На питање о употреби дозиметара, 26 (38%) запослених рекло је да дозиметар редовно носи, 31 (46%) запослени наводи повремено ношење, док 10 (15%) не носи дозиметар уопште. О разлозима за нередовно коришћење или не коришћење уопште дозиметара изјаснио се 31 корисник, што чини 74% оних испитаника на које се питање односило. Њих 6 (19%) као разлог је навело да нема поверења у читавање дозиметара, 4 (13%) сматра да му дозиметар није потребан, 15 испитаника (48%) навело је да се плаши да ће дозиметар изгубити, 5 (16%) да га заборави, 2 корисника (7%) су навела да им је незгодно да дозиметар користе у операционој сали, док је један корисник (3%) као разлог навео да му проблем представља рад у више објеката УКЦВ-а, што чини преношење дозиметара са једног места на друго непрактичним.



Графикон P8: Резултати упитника о ношењу дозиметара (лево), разлози за нередовно ношење или неношење дозиметара (десно).

22 испитаника (32%) изјаснила су се да знају да је граница дозе за очно сочиво, према међународним препорукама промењена, односно смањена. Посматрајући одговоре само испитаника, њих 8 одговорило је тачно колико ова граница износи, док је њих троје рекло да она износи 150 mSv. Посматрајући све одговоре на питање колико износи међународно препоручена нова граница дозе за очно сочиво, 5 испитаника (8%) навело је да она износи 150 mSv, њих 37 (54%) навело је да она износи 50 mSv, док је њих 22 (32%) рекло да нова граница износи 20 mSv. 4 испитаника (6%) није одговорило на ово питање, при чему су сви они претходно одговорили да ни не знају да је граница промењена.

Последње питање у упитнику који су запослени попуњавали било је отвореног типа и од испитаника је тражило да наведу препоруке или сугестије везано за унапређење заштите од зрачења у УКЦВ, уколико их имају. На ово питање одговорило је 10 испитаника, од чега се 1 односио искључиво на заштиту пацијената. Преосталих 9 одговора укључило је: „Да се мере заштите спроводе по прописима, а не про форме. Да се ТЛ дозиметар лично задужује и носи. Да се растерете радници који стално раде у зони зрачења“, „Да су раду у зони зрачења сви подједнако изложени“, „строжија контрола приликом уласка у ангио салу“, „обновити опрему“, „набавити мобилни параван за ангио салу у Ургентном центру“, „Едукација, редовна набавка заштитних средстава, улагање у нову опрему са мањим дозама зрачења“, „мобилни параван за неке процедуре“, „Ограничење времена у зони јонизујућег зрачења. Боља опрема за заштиту“ и „Коришћење наочара“.

6. Дискусија

Увидом у врсте процедура које се врше уз употребу флуороскопије у УКЦВ, познавањем доступне опреме и услова у којима се опрема користи, као и расположивости заштитних средстава, што личних што колективних, одабране су процедуре, односно области примене у којима ће се испитивање вршити. На основу измерених вредности амбијенталног еквивалента дозе одређени су периоди читавања дозиметара у студији, односно идентификоване су оне области у којима је могуће високо потенцијално излагање појединих радника, те је у овим случајевима изложеност праћена за сваку појединачну процедуру, сходно препорукама [18]. Иако у области примене у терапији бола измерене вредности по појединачној процедури нису биле високе, у овој области истраживање је вршено при самом увођењу нове процедуре у клиничку праксу, те је и овде кратак период мерења оправдан. У области примене урологија, мерење је иницијално вршено на месечном нивоу, али како су измерене вредности указивале на потенцијално високо излагање, приступило се мерењу по појединачним процедурама, у циљу идентификовања високодозних процедура и оптимизацији заштите за особље.

Национална и међународна стручна удружења лекара који су чести корисници јонизујућег зрачења, као што су кардиолози, интервентни радиолози, васкуларни хирурзи и други, публиковало је водиче добре праксе са циљем да унапреде заштиту од зрачења, као и да избегну појаву професионалних радијационих ефеката, као што су промене на очном сочиву [54,92,117]. На територији Србије не постоје слични водичи, а законска регулатива занемарује међународне препоруке, што може говорити о забрињавајућем недостатку безбедносне културе и прилог томе да у нашој земљи а) не постоји забринутост у погледу ефеката зрачења и адекватности заштите или б) се теми заштите не посвећује потребна пажња, нарочито на нивоу самих корисника.

У раду Псараса и сар. [74] показано је да вредности дозе за очно сочиво мерене на раму заштитних наочара и оних мерених на челу снажно корелирају, са факторима корелације од чак 0.998 односно 0.829 са леве и десне стране чела, респективно, што оправдава одабрану позицију дозиметара намењених мерењу дозе за очно сочиво у овој студији, у нивоу чела. Резултати доступних студија нису једногласни по питању оптималне позиције на челу на којој би дозиметар требало носити, већ се, у зависности од позиције дозиметра, измерене вредности дозе могу разликовати чак 3 до 5 пута уколико је дозиметар постављен са леве или десне стране чела, у темпоралном подручју, на средини чела или изнад средине обрва [118,119]. У документу ICRP 139 [3] наводи се да у ситуацијама у којима просторна расподела дозе варира онолико колико варира у флуороскопији, процена изложености на основу дозиметра ношеног у погрешно изабраном положају може довести до неколико пута лажно високих или ниских вредности. Стога се може закључити да оптимална позиција ношења дозиметра за очи варира са типом процедуре и потребама и навикама оператера, те су у овој студији дозиметри распоређени на три позиције на челу, са циљем одређивања оптималне позиције за евентуални будући мониторинг, уколико се за истим укаже потреба, за сваку појединачну област примене.

Ношење заштитних наочара различитог дизајна и заштитне моћи нуди различите вредности фактора редукције дозе, који се крећу од 3 до 6 [120], али да би се вредности овог фактора могле применити на измерене вредности дозе потребно је наочари носити правилно и конзистентно [70]. Како у тренутку дизајнирања студије нису били доступни подаци о навикама запослених, односно о учесталости ношења заштитних наочара, вредности дозе за очно сочиво мерене су без узимања у обзир заштитног ефекта наочара, док су у студији такође и прикупљени подаци о учесталости употребе заштитних средстава.

Контрола инфекција у болничком окружењу представља посебну бригу, нарочито у ситуацијама где се извори јонизујућег зрачења користе у операционим салама, па се тако и коришћење дозиметара мора посматрати и кроз призму стерилности, јер дозиметри не могу поднети процес стерилизације [3]. Стога је донекле разумљива иницијална одлука хирурга и анестезиолога да током ове студије не носе прстен дозиметре, јер би исти могли поцепати један или оба пара хируршких рукавица и на тај начин нарушити стерилност руку и окружења.

Управо због свих наведених изазова при процени дозе изложене раднике у флуороскопски вођеним процедурама, и даље се истражују методи за оквирну процену дозе на основу лако доступних параметара, као што су индикатори изложености пацијента или вредности параметара амбијенталног мониторинга. Уколико се користе индикатори изложености пацијента, Антић и сар.[106] и Цирај и сар. [43] истичу важност постојања локалних конверзионих фактора, који важе за конкретну здравствену установу, а формирану су на основу актуелне локалне праксе и области примене. У супротном, коришћење конверзионих фактора добијених у другим студијама из других болница у свету, врло вероватно може довести до појаве велике несигурности, јер чак и мале варијације у локалној пракси, или чак пракси појединца, могу у мањој или већој мери утицати на његову изложеност, нарочито изложеност очног сочива.

6.1. Интервентна радиологија и васкуларна хирургија

Измерене вредности амбијенталног дозног еквивалента при кондицијама које одговарају примени у интервентној процедури ЕВАР, дате у табели Р1, највеће су забележене вредности у оквиру ове дисертације. У разговору са интервентним радиолозима који ову процедуру обављају, као и увидом у доступне податке из интерне базе рендген апарата на коме се оне обављају, закључено је да су ово процедуре код којих је време скопирања релативно дуго, а да се поред флуороскопије користе и напредни модалитети снимања, као што је ДСА, који резултују високим вредностима дозних параметара за пацијента. Вредности јачине амбијенталног дозног еквивалента при напредним техникама снимања веће су и по 10 пута у односу на вредности током флуороскопије, као што је и очекивано. Обзиром на ово, идеја је била испратити изложеност чланова тима по појединачној процедури, и без обзира на мали број укупно доступних дозиметара за очно сочиво, а велик потребан број по једној процедури, чак 9, мала учесталост процедуре омогућила је овакву поставку.

6.1.1. Ефективна доза за цело тело

Средње вредности забележене дозиметрима испод кецеље износе 150, 114 и 127 μSv за водећег оператера, оператера асистента и васкуларног хирурга, респективно. Забележене вредности кретале су се у опсегу 70 – 302 μSv , 60 – 301 μSv и 98 - 162 μSv за сва три оператера, респективно. Средње вредности дозе забележене изнад кецеље за сва три оператера износе 391, 180 и 222 μSv , респективно, док су се забележене вредности кретале у опсегу 114 – 850 μSv , 90 - 360 μSv и 137 – 321 μSv , респективно (Табела Р2). Разлика у забележеним вредностима статистички је значајна за све парове вредности, потврђујући заштитни ефекат оловних кецеља које су сви чланови тима носили, без изузетка, током сваке појединачне процедуре. Средња вредност ефективне дозе по процедури за водећег оператера, његовог асистента и васкуларног хирурга износи 170, 123 и 138 μSv , респективно (Табела Р3). Овако добијене средње вредности ефективне дозе за сва три оператера могу се сматрати упоредивим. Ове вредности веће су или упоредиве са онима објављеним у литератури, у зависности од поставке студије, односно највише од употребе заштитних средстава. Тзанис и сар. [60] наводе вредности ефективне дозе од $4.7 \pm 1.4 \mu\text{Sv}$ по процедури, рачунате употребом Никласоновог алгоритма, који је нешто другачији од алгоритма употребљеног у тренутној студији. У истом раду, наведене су и вредности дозиметра изнад кецеље, ношеног на грудима, $72.6 \pm 62.3 \mu\text{Sv}$ по процедури, што иде у прилог чињеници да су у поменутом раду коришћена додатна заштитна средства у виду плафонског екрана. Са друге стране, у раду Харброна и сар. [121] дата је процењена вредност ефективне дозе за главног оператера у случају „потпуне незаштићености“, како су то сами аутори назвали, а која износи 112.6 μSv по једном ЕВАР-у. У сличном сценарију, у студији Саилера и сар. [122] средња вредност ефективне дозе за главног оператера износи $0.11 \pm 0.21 \text{ mSv}$.

Већина објављених студија износила је податке о излагању главног оператера који изводи ЕВАР, док је мали број испитивао излагање другог особља. У свега неколико радова могу се пронаћи подаци о изложености оператера асистента [57,72,75], при чему у неким од ових радова позиција асистента у односу на извор зрачења и пацијента није јасно дефинисана, као ни његова улога. У раду Вилсон-Стјуарт и сар. [75] она се помиње, и то као позиција на којој је изложеност висока, али је аутори не анализирају детаљније, јер особље на њој ретко борави. Баћим Нето и сар. [56] у свом раду који се бавио васкуларним интервентним процедурама, али не и ЕВАР-ом, наводе да оператери стоје са обе стране пацијентног стола, и да су нивои изложености са обе стране стола без значајне разлике.

Највише забележене вредности ефективне дозе по процедури износе 344, 319 и 148 μSv , односно највиша забележена вредност ефективне дозе за васкуларног хирурга два пута је мања од највиших забележених вредности за друга два члана тима. Разлог овоме може лежати у позицији оператера, али и њиховој динамици. Наиме, оператери током извођења процедуре проводе највећи део времена у позицијама приказаним на Слици 12, али их ипак понекад, сходно захтевима конкретного пацијента, и промене. Забележено је да су, у ситуацијама када је водећи оператер имао потешкоћа у извршењу специфичног задатка у току процедуре, он и оператер асистент заменили своја места, како би асистент покушао да изведе проблематични задатак. У неколико наврата, водећи оператер или асистент су чак

неко време боравили и радили на позицији васкуларног хирурга, дакле са супротне стране пацијентног стола, док је у овим тренуцима, васкуларни хирург стајао је даље од извора зрачења у односу на своју почетну позицију, са грудима делимично заклоњеним телом својих сарадника, или на упражњеној позицији некога од сарадника, са супротне стране стола. Такође, када су му руке биле слободне, васкуларни хирург би стао са супротне стране стола, иза интервентних радиолога и одатле посматрао ток процедуре на мониторима, повећавајући тиме своје растојање од извора зрачења, али и заклањајући своје груди телом водећег оператера. Управо ове промене позиције у односу на извор зрачења и у међусобном односу могле би објаснити нижу максималну забележену вредност ефективне дозе по процедури за васкуларног хирурга у односу на друга два оператера.

6.1.2. Доза за очно сочиво

Вредности дозе за очно сочиво за водећег оператера измерена је као 311 (783, 173) 252 μSv , за асистента 261(551, 132) 228 μSv и за васкуларног хирурга 298 (664, 111) 247 μSv , као просек вредности сва три дозиметра ношена на челу (Табела Р3). Овако добијене вредности у сагласности су са претходно публикованим од стране Атигаха и сар. [123] који су навели дозу за очно сочиво за главног оператера при ЕВАР-у, без употребе заштитних средстава, од $470 \pm 340 \mu\text{Sv}$, док Баћим Нето и сар. [56] наводе медијану дозе за очно сочиво, без употребе заштитних средстава, од 364 μSv (опсег 143 – 473 μSv) за главног оператера и 293 μSv (опсег 88 – 459 μSv) за асистента, који изводе ендоваскуларне процедуре, али не и ЕВАР. Са друге стране, неки аутори наводе доста ниже дозе за очно сочиво по процедури, реда величине неколико μSv [55,60,75], уз употребу додатних заштитних средстава, као што су плафонски екран или друга средства која се постављају преко или на пацијенти сто. У овој студији, оператери нису користили додатна средства којима би заштитили горњи део тела, укључујући очно сочиво, од расејаног зрачења.

Већ је поменуто да је мали број студија које су испитивале изложеност целог тела оператера асистента током ЕВАРА, а број студија које су изнеле податке о изложености очног сочива на овој позицији је изузетно ограничен. Кирквуд и сар. [58] наводе да је, при општим васкуларним интервентним процедурама, доза коју прими асистент, који стоји са исте стране пацијентног стола као и главни оператер, али нешто даље од рендгенске цеви, једнака оквирно половини дозе за главног оператера. Вилсон-Стјуарт и сар. [75] забележили су вредности дозе за очно сочиво за инструментара, који стоји са исте стране пацијентног стола као главни оператер, али код команди рендген апарата, дакле удаљенији од извора зрачења, од 3 μSv по једној процедури ЕВАР-а. Резултати ове дисертације показују да је доза за очно сочиво оператера асистента упоредива са оном за водећег оператера, а разлике у резултатима у односу на [75] могу се објаснити већом удаљеношћу посматраног члана тима, његовом улогом и употребом плафонског екрана. И поред великог труда, аутор ове дисертације није пронашао податке о испитивању дозе за очно сочиво оператера који стоји са супротне стране пацијентног стола у односу на главног, иако је ова позиција, како је претходно поменуто, у две објављене студије [56,75] препозната као позиција која резултује високом дозом за оператера. Резултати ове дисертације показују да је изложеност очног сочива за оператере (водећег радиолога и васкуларног хирурга) који стоје један наспрам другог у односу на пацијентни сто

упоредива, што је и очекивано, узимајући у обзир подједнаку удаљеност главе и очију оба оператера у односу на извор зрачења, као и чињеницу да ни са једне стране није коришћена додатна заштита у виду плафонског екрана.

На основу резултата претходних студија које су се бавиле дистрибуцијом дозе за очно сочиво у интервентној радиологији, могло би се очекивати да ће вредности дозе опадати почев од оне за лево око, преко вредности на средини чела, те да ће доза забележена на десној страни чела бити најмања, за водећег оператера, јер је њему рендгенска цев и извор зрачења са леве стране тела [71,124,125]. Примењујући ове закључке на остале чланове тима, посматране у оквиру ове дисертације, могао би се очекивати исти тренд за оператера асистента, а обрнут тренд, односно опадање вредности дозе идући од десне ка левој страни чела, за васкуларног хирурга. Ипак, резултати ове дисертације показују очекивани тренд само за водећег оператера, док је код остала два оператера ситуација другачија (Табела Р2, Графикон Р1). Дозиметар на средини чела оператера асистента у просеку је забележио највише вредности дозе. Код васкуларног хирурга сва три дозиметра у просеку су забележила подједнаке вредности дозе. Разлика читавања сва три дозиметра, за сва три оператера, није статистички значајна. Ови резултати могу се објаснити уобичајеним понашањем оператера у ангио-сали. Наиме, изнета очекивања важила би у идеалном случају где је позиција сваког оператера и његове главе константна током читаве процедуре. Ипак, као што је претходно поменуто, оператери нису статични током обављања процедуре, односно, у зависности од захтева и комплексности конкретног захтева у току процедуре, оператери могу променити своје позиције. Различите оријентације и удаљености оператера, па тиме и дозиметара на њиховим главама, сигурно су утицале на описану дистрибуцију дозе међу дозиметрима на различитим позицијама.

6.1.3. Број процедура на годишњем нивоу

Како је ЕВАР комплексна и скупа интервенција, просечан број процедура које се у једном центру обаве годишње није велик и креће се од 25 до 30 [121]. У УКЦВ-у је он мањи и креће се од 10 до 15 годишње, са трендом раста. На основу овог броја процедура и средње вредности ефективне дозе по процедури, оператери укључени у њихово обављање примили би ефективну дозу у опсегу од 1.2 до 2.5 mSv годишње. Резултати студије нам показују да изузетно комплексне процедуре могу резултовати и значајно вишим вредностима ефективне дозе, те би она, на годишњем нивоу могла достићи и 5.2 mSv у случају велике учесталости комплексних процедура. На исти начин процењена доза за очно сочиво у рангу је од 2.6 до 4.7 mSv годишње, узимајући у обзир просечне вредности по процедури. Ипак, у случају веће учесталости комплекснијих и дужих процедура, ове вредности могле би достићи и готово 12 mSv у једној години. Резултати показују да су вредности дозе за очно сочиво веће од ефективне дозе, те је јасно да би управо доза за очно сочиво могла бити ограничавајућа за годишње радно оптерећење. У овој процени, неопходно је узети у обзир да је ЕВАР једина процедура која укључује јонизујуће зрачење у коју су укључени васкуларни хирурзи. Притом, током трајања студије, више васкуларних хирурга смењивало се у обављању процедуре, тако да ниједан појединац није урадио више од 6. Да би достигли годишњу границу дозе за очно сочиво, сваки васкуларни хирург требало би да обави преко 60 процедура уобичајене комплексности, те са тренутним

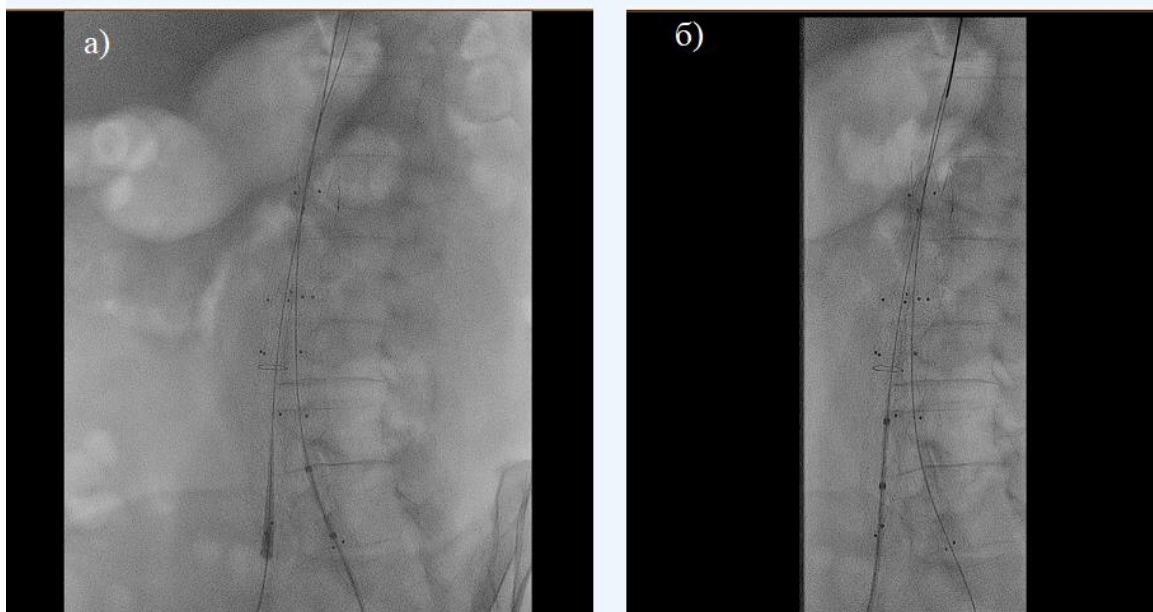
бројем процедура и поделом посла, васкуларни хирурзи нису у ризику од достигања међународно препоручене годишње границе од 20 mSv. Са друге стране, водећи оператер и оператер асистент, као појединци, били су укључени у сваку посматрану процедуру, а, обзиром да су обојица интервентни радиолози, током године обављају и друге интервентне процедуре, осим ЕВАР-а. Иако изложеност у другим процедурама није испитивана, може се претпоставити да би ова два лекара могла бити у ризику да достигну препоручену годишњу границу дозе за очно сочиво.

Измерене вредности дозе за очно сочиво у овом раду не узимају у обзир ефекат заштитних средстава, наочара, плафонског екрана нити било ког другог средства. У литератури постоје наводи да заштитне наочари смањују интензитет зрачења које допире до ока корисника за 60% [54,82], док сам плафонски екран, уколико је правилно постављен, може умањити интензитет зрачења чак 10 пута [121]. У пракси посматраној током постојећег експеримента, само је један оператер редовно користио заштитне наочари, док преостала два оператера нису користила средства која би могла заштити њихово очно сочиво, као што су наочари или визир, и поред њихове доступности. Такође, све посматране процедуре изведене су без употребе плафонског екрана, иако је исти доступан у конкретној ангио-сали. Претходно поменута публикација Харброна и сар. [121] такође наводи да у клиничким условима често долази до неадекватног постављања плафонског екрана, што свакако прецењује његов процењени заштитни ефекат, док Диас и Андерсон [126] истичу колико репозиционирање плафонског екрана, који се током процедуре неизбежно мора померити једном или више пута, може бити изазовно. Диас и Андерсон [126] такође истичу, са становишта васкуларних хирурга који флуороскопију користе у рутинском раду, колико је важно адекватно и благовремено планирање простора ангио сале, које ће спречити колизије плафонског екрана са другом опремом као што су плафонске лампе, односно које омогућава оператерима да се довољно одмакну од пацијента док се формирају слике напредним техникама. У ангио сали у којој су изведене све процедуре посматране у овој студији присутан је један плафонски екран који не би имао могућност да истовремено заштити најближе оператере са обе стране пацијентног стола. Ипак, употребу овог екрана бар са једне стране пацијентног стола свакако би требало подстаћи. Други аутори [56] такође описују клиничке сценарије у којима није коришћен плафонски екран. У раду де Руитера и сар. [127] може се видети пример како употреба два плафонска екрана, уз додатна средства за заштиту од зрачења која се постављају на пацијента, могу резултовати изузетно ниским вредностима ефективне дозе за оператере, реда величине 26-68 μSv , са обе стране пацијентног стола, док су Хо и сар. [55] у свом раду приказали заштитни ефекат још једне врсте мобилне заштитне баријере, која има сличан ефекат као плафонски екран, а резултује средњом ефективном дозом за главног хирурга од 7.7 μSv , дозом за очно сочиво од 9.7 μSv , односно дозом за прсте од 34.3 μSv .

6.1.4. Параметри експозиције пацијента

Средња вредност укупног времена флуороскопирања у овој студији износи 20.4 минута, а забележене вредности су се кретале у опсегу од 5.2 до чак 44.9 минута, са медијаном од 13.6 минута. Средње вредности дозних параметара за пацијента, $K_{a,r}$ и DAP , износе 307 mGy и 95.1 Gy $\cdot\text{cm}^2$, респективно. Забележене вредности кретале су се у опсегу од 101 до

657 mGy, са медијаном од 267 mGy, односно од 23.5 до 281 Gy·cm², са медијаном од 79.9 Gy·cm² (Табела Р4). Вредности просечног времена флуороскопирања код ЕВАРА доступне у литератури крећу се од 13 до 27 минута [59,60,72,75,128–130], док се вредности *DAP*-а крећу од 36.6 до 362 Gy·cm² [57,59,72,75,129,131]. Тзанис и сар. [132] наводе да је комплексност процедуре један од главних разлога за велике разлике између забележених вредности *DAP*-а и укупног времена флуороскопирања код различитих аутора. Бројни параметри експозиције, као што су употреба увећања, колимација снопа, ангулација рендгенске цеви, али и уношење хируршког инструмента у видно поље, утичу на вредности параметара изложености пацијента $K_{a,r}$ и *DAP*, па тиме и на изложеност особља. Код највећег броја пацијената у овој студији сноп је био колимисан (Слика Д1), што свакако представља приступачан и лак начин за смањење дозе за пацијента и особље. Различите ангулације рендгенске цеви резултују различитом изложеношћу особља [83,121], нарочито када се оно налази са обе стране пацијентног стола, као што је случај у посматраној студији. Током ове студије коришћене су оријентације рендгенске цеви у опсегу углова од 3 до 58° ЛАО, од 3 до 70° РАО, од 9 до 22 ° ЦРА и 17° ЦАУ. У овом раду, посебан утицај ротације система цев-детектор на дозу за особље није детаљно испитивана, али је код једног пацијента извршено мерење брзине амбијенталног дозног еквивалента са обе стране пацијентног стола, при нултом положају рендгенске цеви испод стола, а том приликом забележене су вредности од 380 μ Sv/h. Потом је цев постављена у оријентацију 27° ЛАО, 4° ЦРА (цев заротирана ка главном оператеру и благо од главе пацијента), што је резултовало вредностима од 550 μ Sv/h на страни главног оператера и 35 μ Sv/h на страни васкуларног хирурга. Забележене вредности у сагласности су са наводима Харброна и сар. [121] да је изложеност главног оператера највећа за ЛАО 90° пројекцију, а у конкретном случају имало је за циљ да потврди да приликом различитих оријентација цеви изложеност особља са обе стране стола није иста.



Слика Д1: Слика пре (а) и након примене колимације (б).

6.1.5. Повезаност параметара експозиције особља и пацијента

Резултати корелације између измерених вредности дозе за особље и параметара изложености пацијента (Табела Р18) показују да постоји статистички значајна корелација између одређених параметара изложености особља и пацијента. Конкретно, за водећег оператера значајна корелација постоји између свих вредности дозе за очно сочиво и $K_{a,r}$ и DAP -а (вредности коефицијента корелације 0.427 и 0.735 за дозиметре ношене лево – умерена тј. јака корелација, 0.550 и 0.829 за дозиметре ношене на средини – умерена тј. јака корелација, за дозиметре ношене десно 0.398 и 0.845 – умерена, односно јака корелација) као и између вредности измерених преко кецеље и оних за прсте са $K_{a,r}$ и DAP -а (преко кецеље 0.793 и 0.891 – јака корелација, прсти 0.602 и 0.741 – умерена тј. јака корелација). За оператера асистента значајна корелација постоји између дозе за очно сочиво очитане на челу лево и DAP -а и укупног времена флуороскопирања (0.421 и 0.377 – умерена корелација), вредности дозе за очно сочиво очитане на средини чела и укупног времена флуороскопирања (0.475 – умерена корелација) и вредности очитаних на челу десно са $K_{a,r}$ и DAP (0.297 и 0.450 – слаба тј. умерена корелација). За овог оператера вредност очитана преко кецеље и доза за прсте значајно корелирају са укупним временом флуороскопирања (0.511 и 0.972 – умерена, односно јака корелација). За васкуларног хирурга, значајна корелација постоји између доза за очно сочиво очитаних на челу десно и $K_{a,r}$ и DAP (0.441 и 0.787 – умерена, односно јака корелација). Саилер и сар. [122] забележили су снажну корелацију ефективне дозе за главног оператера и DAP -а, односно слабу корелацију исте величине са укупним временом флуороскопирања, у студији у којој нису коришћена додатна заштитна средства осим кецеље и штитника за врат. Тзанис и сар. [60] испитивали су корелацију доза за особље мерених изнад кецеље и укупног времена флуороскопирања, а наводе да су се вредности коефицијента корелације кретале између 0.70 и 0.82. Забележене вредности коефицијента корелације дозе за очно сочиво са параметрима експозиције пацијента у овој студији упоредиве су са оним објављеним у раду Вилсон-Стјуарт и сар. [75] који су забележили $r = 0.475$ лево око и $K_{a,r}$ и $r = 0.588$ за лево око и DAP , за водећег оператера, као и вредностима објављеним од стране Атигах и сар. [123] који су дали вредност коефицијента корелације дозе за очно сочиво измерене на челу и DAP -а као $r = 0.5545$. Прва група аутора наводи да је током студије редовно коришћен плафонски екран, док друга група аутора наводи да ова врста заштитног средства није коришћена током њихове студије. Као што је претходно поменуто, у студији описаној у овој дисертацији нису коришћена додатна заштитна средства за заштиту горњег дела тела оператера. На основу овога могло би се закључити да употреба заштитног екрана нема утицаја на корелацију између изложености ока корисника и параметара експозиције пацијента, што није очекивано.

Оно што свакако утиче на вредности дозе за очно сочиво, а посебно на њен однос са експозицијом пацијента јесте претходно описана промена места оператера у односу на пацијента током извођења процедуре, али се они могу потражити и у позицији монитора за приказ слике у просторији ангио-сале. Наиме, како се може видети на Слици 12, положај монитора је такав да захтева делимичну или потпуну ротацију главе оператера, у односу на почетни положај када гледа у тело пацијента и своје руке, зависно од његове позиције, како би видео слику која се приказује на монитору. Када водећи оператер ротира главу ка

мониторима, оквирно за угао од 0 до 60°, његова десна страна лица и дозиметри ношени десно и на средини чела удаљавају се од извора зрачења, а десни чак бива и делимично заклоњен самом главом оператера. Са друге стране, за одређене мале углове, дозиметар ношен на левој страни чела могао би чак бити и ближе извору зрачења. Код оператера асистента, када стоји на својој уобичајеној позицији, углови ротације главе су најмањи, док су за васкуларног хирурга они највећи. Наиме, како су, током његовог уобичајеног положаја, монитори васкуларном хирургу иза левог рамена, он главу мора потпуно окренути од извора зрачења, како би посматрао слику на мониторима. У овом случају, његов десни и средишњи дозиметар бивају потпуно заклоњени од извора зрачења самом главом оператера. Чињеница да сви оператери неко време током процедуре проведу посматрајући мониторе, јер је то једини начин да испрате кретање ендоскопске опреме у телу пацијента, као и описане промене, могу бити разлог за ниже вредности коефицијента корелације између дозе за очно сочиво и параметара експозиције пацијента код васкуларног хирурга у односу на водећег оператера, иако обојица стоје на подједнакој удаљености од извора зрачења. Мао и сар. [133] су у свом раду, путем МК симулација, показали да промене у постури главе оператера, као и промене угаоног положаја у односу на пацијентни сто могу имати значајан утицај на изложеност очног сочива. Принципи и сар. [124] такође путем МК симулација, показали су да озраченост ока оператера у интервентној радиологији, при ротацијама главе од 45 до 60°, изложеност ока опада за фактор од 2.

У овој студији опсег вредности дозе за оператера нормиране на *DAP* зависи од позиције оператера и позиције дозиметра (Табела P5), док се средње вредности крећу у опсегу од 3.92 до 4.41 $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$, не узимајући у обзир стандардну девијацију. Харброн и сар. [121] навели су вредности дозе за очно сочиво нормиране на *DAP* код ЕВАР-а, уз употребу плафонског екрана, добијене путем МЦ симулација, у опсегу од 0.43 до 3.03 $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$. Веће вредности добијене у овој студији свакако се могу приписати некоришћењу додатне заштите у виду плафонског екрана. Харброн и сар. [121] такође наводе да више вредности конверзионих фактора одговарају ситуацијама када се снимање врши под одређеним углом. Обзиром на претходно показану јаку корелацију вредности дозе за очно сочиво на све три позиције на челу са *DAP* -ом, овај параметар, са вредностима од 4.07 до 4.59 $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$, може се користити за процену доза за очно сочиво за оператера који већи део времена током процедуре проводи поред пацијента, са његове десне стране, у условима који су у овој студији описани.

6.1.6. Изазови и препоруке

Ипак, у конкретној пракси, потребно је подстаћи употребу свих расположивих заштитних средстава, посебно плафонског екрана и заштитних наочари. Уношење додатних заштитних баријера, попут мобилног паравана иза ког би се особље могло склонити током трајања експозиције при напредним техникама осликавања, као што је ДСА, показало се непрактично у постојећим условима, услед стандардних димензија мобилних паравана које су велике у поређењу са релативно малом површином просторије конкретне ангио-сале. Оператере би ипак требало подстаћи да се удаље неколико корака од пацијента током овог модалитета снимања, чак и ако нису у могућности да се додатно заштите мобилним

параваном. Са друге стране, у оквиру дисертације, испитана је могућност и ефикасност употребе додатних заштитних средстава, као што су покривке за спречавање расејаног зрачења за једнократну употребу, које се постављају на тело пацијента, које имају могућност да смање интензитет расејаног зрачења за главног оператера за 50% (табела Р19), уколико се правилно користе. Мања количина ових покривки набављена је и стављена на располагање особљу у ангио-сали током 2025. године, а како доступна количина није довољна за све пацијенте, надлежним лекарима остављено је да процене код којих пацијената ће их користити. Циљ ове набавке јесте да се оцени практичност употребе и донесе одлука о увођењу овог заштитног средства у рутинску употребу. Такође, број заштитних наочара је повећан, а набављен је и додатни заштитни визир, посебно намењен оним оператерима који користе диоптријске наочари, па услед тога нису у могућности да користе наочари за заштиту од јонизујућег зрачења. Колимацију снопа, када код је могуће, такође је потребно подстаћи, као лако доступан и ефикасан начин смањења дозе, који ремети рад интервентног радиолога.

И поред предложених мера, дозу за очно сочиво за интервентне радиологе, због великог броја различитих процедура које обављају током године, потребно је пратити. Идеална позиција за постављање дозиметра за очно сочиво била би са леве стране чела, али би и позиције на средини чела или десно биле прихватљиве, јер је показано да је дистрибуција дозе преко чела готово униформна.

6.2. Ортопедска хирургија

Први научни радови који препознају, а потом и квантификују, изложеност јонизујућем зрачењу ортопеда током хируршких интервенција употребом филм и ТЛ дозиметара јављају се 80-тих и 90-тих година прошлог века. Бареј у свом раду из 1983. Године [134] први даје вредности ефективне дозе за цело тело од 0.05 mSv за период од 12 месеци, односно дозу за регију главе и врата од 2.27 mSv за исти период. Милер у свом раду констатује да оловне кецеље пружају довољну заштиту ортопедским хирурзима, али да глава и врат нису довољно заштићени приликом примене извора јонизујућег зрачења у операционој сали. Ло и сар.[135] измерили су вредности од 0.86 mSv преко, односно 0.48 mSv испод кецеље током 6 месеци и кумулативну дозу за очи 0.83 mSv током истог периода. Ови и други радови [136,137] публиковани у овом периоду слажу се да је изложеност ортопедских хирурга испод међународно прописаних граница.

На основу иницијалног мерења амбијенталног еквивалента дозе од 160 $\mu\text{Sv/h}$ у нивоу груди и 40 $\mu\text{Sv/h}$ у нивоу главе као и усменог сведочења ортопедских хирурга да флуороскопија углавном траје неколико секунди, процењено је да би ефективна доза и доза за очно сочиво по појединачној процедури била испод границе детекције ТЛ дозиметара, те је одлучено да се мерење за потребе овог истраживања обави на месечном нивоу.

6.2.1. Ефективна доза за цело тело

Као што је приказано у Табели Р6, измерена доза на месечном нивоу у тренутном истраживању испод кецеље просечно износи 169 μSv , уз максималну читану вредност 255 μSv , минималну 101 μSv , и медијану 159 μSv , односно изнад кецеље 248 μSv , уз

максималну очитану вредност 552 μSv , минималну 129 μSv , и медијану 253 μSv . Разлика између вредности испод и изнад кецеље је статистички значајна, што одговара апсорпционом ефекту заштитне кецеље. Употребом релације (11) ове вредности резултују просечном ефективном дозом од 181 μSv месечно (Табела Р7). Простим множењем ове вредности са 11, узимајући у обзир бар 1 месец годишњег одмора, процењена ефективна доза на годишњем нивоу износи 2 mSv . Иако се изложеност ортопедских хирурга често помиње у научним радовима, заправо је мало оних који приказују резултате добијене на методолошки сличан начин као у овој студији, те поједини аутори [138] изложеност ортопеда зрачењу, на основу систематичног прегледа литературе, називају „Великом непознаницом“ (енг. *The Great Unknown*). Тасбас и сар. [139] наводе да је просечна месечна ефективна доза оператера (хирурга) који стоји у непосредној близини пацијента током експозиције око 0.2 mSv , док [140] процењује годишњу ефективну дозу, на основу мерења електронским дозиметрима, на око 1.6 mSv . Други аутори [141–143], различитим методологијама, процењују годишњу ефективну дозу ове групе професионалаца у опсегу од 0.7 до 5.3 mSv , при чему се сви слажу да су ове вредности, иако процењене као најгори могући сценарио, испод прописане границе од 20 mSv .

6.2.2. Број процедура на годишњем нивоу

Током трајања ове студије, 3 ортопедска хирурга извршила су укупно 81 процедуру уз употребу флуороскопије. Број процедура које су обављали на месечном нивоу варирао је између 4 и 14, са просеком (и медијаном) од око 8 процедура месечно. На овај начин могуће је проценити ефективну дозу по процедури као 22 μSv . Да би достигли годишњу границу дозе од 20 mSv , било би потребно да сваки ортопедски хирург изврши 900 процедура током једне године. Вредност ефективне дозе израчуната употребом читавања оба дозиметра, испод и изнад кецеље, представља дозу коју би оператер примио ако би носио заштитну кецељу. Уз овај податак, процењени број процедура можемо упоредити са оним који у свом раду дају Цалафоутас и сар. [144] од 2500 процедура годишње уз ношење кецеље. Иако је разлика у процењеном броју процедура готово 3 пута већа у корист публиковане, свакако су и једна и друга вредност далеко од реално достижне за једног хирурга. У најгорем сценарију, процену годишње ефективне дозе могли бисмо извршити на основу највећег забележеног броја процедура у једном месецу, 14, за достизање вредности од 20 mSv било би потребно преко 60 месеци.

6.2.3. Доза за очно сочиво

Просечне вредности дозе за очно сочиво забележене у овој студији износе 275 μSv за дозиметар ношен на челу лево, 266 μSv за дозиметар ношен на средини чела и 273 μSv за дозиметар ношен на челу десно (Табела Р6, графикон Р2). За измерене вредности лево, на средини и десно, не постоји статистички значајна разлика, што указује на униформну изложеност чела и очне регије јонизујућем зрачењу током примене флуороскопије у ортопедској хирургији. Могући разлог може бити чињеница да ортопедски хирурзи операције врше подједнако на левој и десној страни пацијентовог тела, мењајући свој положај у односу на пацијента и извор зрачења. Средња вредност дозе за очно сочиво може се изразити као 271 μSv месечно (Табела Р7). Цуенца и сар. [77] су у свом

истраживању такође утврдили да не постоји статистички значајна разлика у озрачености средине чела у односу на слепоочнице у овој области примене зрачења. Процењена годишња доза за очно сочиво износи 2.98 mSv, уз минималну вредност од 1.76 mSv, односно максималну од 4.85 mSv. Цуенца и сарадници, применом сличне методологије, проценили су годишњу дозу за очно сочиво на максимално 1.425 mSv. Са друге стране, Романова и сар. [79] наводе да средња годишња доза за очно сочиво може да достигне 16.2 или чак 35.5 mSv, уз претпоставку да хирурзи изврше врло велики број операција, и то само једног типа, доводећи их у ризик да прекораче међународно постављену границу дозе за очно сочиво. Ипак, и сами аутори овог рада свој сценарио оцењују као врло конзервативан и практично нереалан. Сузуки и сар. [145] проценили су максималну еквивалентну дозу за очно сочиво од 9.6 mSv код хирурга који већину операција изводе у регији стопала, док је у раду Апелмана и сар. [80] показано да не постоји значајна разлика у читавању дозиметра ношеног на глави током операција уз употребу флуороскопије и оног чуваног у гардероби за време трајања студије, односно да је процењена доза за очно сочиво на годишњем нивоу у рангу од 1 до 1.3 mSv.

Средња вредност доза за очно сочиво у овој студији износи 33.5 μ Sv по процедури, што је у доброј сагласности са вредностима објављеним у другим студијама од 0.09 mSv [78], односно 50 μ Sv [43]. Да би достигли међународно препоручену границу дозе за очно сочиво, један хирург требало би да изведе око 600 операција годишње. У раду Цалафоутаса и сар. [144], овај број процењен је на 3680 процедура. Чак и у случају највећег забележеног радног оптерећења, уз извршених 14 процедура месечно, током једне године (155 процедура) хирурзи не би достигли међународно препоручену границу дозе. Претходно је показано да тип процедуре, као и њена комплексност, могу значајно да утичу на дозу за очно сочиво оператера [79]. Сузуки и сар. [145] забележили су просечну месечну дозу за очно сочиво од 0.41 ± 0.21 mSv и 0.22 ± 0.16 mSv, за више и мање искусног хирурга, респективно. Како сами наводе, виша вредност доза код искуснијег хирурга може бити изненађење, али разлог за њу може лежати у чињеници да искуснији хирург обавља комплексније процедуре. Имајући у виду све наведено, јасно је да вредности дозе забележене у различитим студијама могу бити велике, зависно од дизајна студије и посматране врсте процедура. Када се операције врше на кичми или карлици, сноп X-зрака пролази кроз већи попречни пресек тела пацијента, користећи том приликом више вредности параметара експозиције и стварајући већу количину расејаног зрачења, него у случајевима када се операције врше на екстремитетима, те се може очекивати већа изложеност како пацијента, тако и особља [80]. Већина процедура посматрана у овој студији обављена је на екстремитетима, док комплексност није бележена и анализирана. Сва три хирурга која су учествовала у студији имају између 5 и 10 година искуства као специјалисти ортопедске хирургије са трауматологијом.

Вредности дозе за очно сочиво приказане у овој студији нису узеле у обзир заштитни ефекат оловних наочара. Ипак, на основу доказа о ниској учесталости ношења заштитних наочара, како у УКЦВ тако и оних из литературе, који презентују стање у различитим болницама у свету, јасно је да овако измерена и процењена доза не представља прецењивање.

6.2.4. Повезаност параметара експозиције особља и пацијента

Подаци из ове студије показују да не постоји статистички значајна корелација између очитаних вредности ефективне дозе за цело тело, као ни вредности еквивалентне дозе за очно сочиво, са забележеним параметрима експозиције пацијента (Табела Р18). Овакви резултати не изненађују, узимајући у обзир дизајн студије, као и све различите сценарије који се могу десити у клиничком раду. Много је фактора који утичу на количину зрачења која може допрети до хирурга, као што је његов положај у односу на тело пацијента и извор зрачења током експозиције, обим, односно попречни пресек тела пацијента који је у снопу зрачења, као и оријентације рендгенске цеви. Тамаки и сар. [146] показали су да интензитет расејаног зрачења при операцијама кука може бити и 20 пута већи при латералним пројекцијама у односу на АП пројекцију. У неким ситуацијама, хирург, да би осигурао одговарајућу позицију дела тела или дела хируршке опреме током снимања, мора боравити непосредно уз пацијента и цев и придржавати објекат од интереса, док се у другим ситуацијама може удаљити неколико корака, па чак и неколико метара, од извора зрачења током трајања експозиције. Без обзира на положај хирурга, вредности параметара експозиције пацијента ће расти, а јасно је да у првом случају хирург може примити извесну дозу за цело тело или очи, док се у другом случају то неће десити. Харисон Фарбер и сар. [147] установили су коефицијент корелације од 0.77 између дозе мерене изнад кецеље оператера и параметра изложености пацијента, приликом извођења минимално инвазивних процедура на кичми. Иако аутори не наводе који је параметар експозиције пацијента посматран, изражавају га у јединицама Rad, па се може претпоставити да је у питању укупна керма. У сличним радним условима као у тренутној студији, посматрајући рад хирурга са различитим радним искуством, Сузуки и сар. [145] забележили су постојање слабе, односно не постојање корелације ($R^2=0.509$, $R^2=0.021$) између дозе за очно сочиво и укупног трајања флуороскопије, за више и мање искусног оператера, респективно, док су Романова и сар. [79] забележили добру корелацију између поменута два параметра за једну врсту операције (*Fractura cruris*), односно нису забележили корелацију за други тип процедуре (*Fractura femoris*), наводећи већу комплексност другог типа посматране процедуре као могући разлог. Черишан и сар. [78] употребом Спирмановог ро коефицијента, описали су корелацију дозе за сочиво и времена флуороскопирања као слабо позитивну (0.29), ону између дозе за очно сочиво и DAP-а као позитивну (0.34).

6.2.5. Изазови и препоруке

Како је показано да не постоји статистички значајна корелација између параметара експозиције особља и пацијента, параметри експозиције пацијента (Табела Р9) не могу се препоручити за мониторинг дозе за ортопедске хирурге. Чак и да је корелација показана, праћење параметара експозиције пацијента била би изазов, јер се подаци о експозицији пацијента током хируршких интервенција чувају једино на самом апарату, и то током ограниченог времена јер је меморијски капацитет базе ограничен, а на самом апарату се не бележе подаци о хирургу који је операцију вршио. Како су процењене вредности дозе за очно сочиво, чак и са максималним забележеним радним оптерећењем, испод граница међународно препоручене дозе, мониторинг дозе за очно сочиво код ортопедских хирурга са тренутним радним оптерећењем није неопходан. Ипак у случајевима значајног повећања

радног оптерећења, једног или више хирурга, или значајној промени радних услова, попут употребе другачијег рендген апарата, увођење мониторинга требало би поново размотрити. Како је дистрибуција дозе за очно сочиво показана као униформна, не постоји одређено место или страна на лицу које би се издвојили као препоручљиво за ношење дозиметра. Место би свакако требало да буде у близини очију, а оптимална позиција била би она која је хирургу најкомотнија.

6.3. Анестезија – терапија бола

Прва истраживања у светској литератури о изложености лекара специјалиста терапије бола (енг. *pain physician*) јављају се почетком две хиљадитих. Једну од првих публикација са темом заштите од зрачења у области медицине бола објавили су Фишман и сар. 2002. године [148], дајући том приликом преглед непотребних знања о јонизујућем зрачењу, дозиметријским величинама, деловима рендген апарата и принципима формирања слике, радиобиологији, границама дозе и начинима праћења, као и практичне смернице за заштиту од јонизујућег зрачења. Две групе аутора, предвођене са једне стране Ботвином [149–151], а са друге Манчикантијем [152–154] у својим публикацијама из периода 2001–2003. прве дају резултате изложености специјалиста медицине бола током извођења различитих процедура из области терапије бола. Никол и сар. [68] 2015. године објављују прегледни чланак на тему изложености јонизујућем зрачењу у терапији бола, у чијем наслову стоје речи „Имамо још много тога да научимо“, док Парк и сар. [155] 2022. сумирају најновије препоруке везане за заштиту од зрачења.

Никол и сар. [68] 2015. године скрећу пажњу на мали број доступних података и велику разноликост спроведених студија у погледу методологије, док Житни и сар. [69] у свом чланку који даје системски преглед литературе на тему изложености лекара у области терапије бола из 2024. године, наводе да су пронашли свега 12 радова у којима су дати резултати мерења изложености оператера у овој области примене јонизујућег зрачења.

Примена флуороскопије у области терапије бола у УКЦВ-у уведена је баш у време када је ова студија вршена. Како је пракса нова, мониторинг дозе за особље вршен је по појединачној процедури. Посебан фокус био је на одређивању максималног броја процедура које особље може извести, како не би прешли међународно препоручене границе дозе, као и на успостављању добре праксе заштите од зрачења од самог почетка.

6.3.1. Ефективна доза за цело тело

Као што је приказано у Табели P10, измерена доза по процедури у тренутном истраживању испод кецеље просечно износи 58 μSv , кретала се у опсегу 40 – 80 μSv , са медијаном од 57 μSv , односно 77 μSv , у опсегу 46 – 186 μSv , са медијаном од 64 μSv изнад кецеље. Разлика између вредности прочитаних испод и изнад кецеље статистички је значајна. Употребом релације (11) ове вредности резултују просечном ефективном дозом од 62 μSv по процедури, опсег 43 – 84 μSv (Табела P11). У литератури готово да нема радова који су мерили изложеност особља по процедури употребом ТЛ дозиметара, те је овако добијене резултате тешко поредити. Вредности по процедури, добијене из кумулативних мерења током више месеци и за велик број процедура, добијене простим дељењем укупно

измерене дозе са бројем процедура, које су доступне у литератури, крећу се у рангу од неколико микросиверта [149,154,156,157], што је свакако мање од вредности добијених у овом раду. Такође, у највећем броју радова, аутори наводе да се процедуре изводе употребом мобилног Ц-лука. Методологија мерења, али и употреба различите врсте и типа апарата, могући су разлози за овакву разлику у резултатима.

Подаци доступни у објављеној литератури дати су као вредности најчешће једнократног мерења употребом неколико различитих дозиметара, током дужег временског интервала од, најчешће 3 месеца. Такође, у доступним радовима, аутори не изражавају ефективну дозу као комбинацију вредности очитаних са дозиметара испод и изнад кецеље, већ само наводе вредности једнократног мерења пројектоване на годину. У радовима Манчикантија [152,153], на овај начин добијена просечна изложеност оператера за период од три месеца креће се у опсегу од 3 до 7 mSv у нивоу груди изнад кецеље, док тромесечна вредност дозе изнад кецеље износи 0.3 mSv и 2.51 mSv у радовима групе аутора предвођене Ботвином, за две различите врсте процедура терапије бола. Чоји и сар. [158] пријављују вредности од 0.47 mSv и 0.42 mSv испод кецеље и 0.71 mSv и 0.64 mSv изнад кецеље измерене током 2 месеца ношења дозиметра, и то за мање и више искусног оператера, респективно. Резултати тромесечног мерења доступни код Нгујена и сар. [159] показују вредности дозе изнад кецеље у опсегу од 0.71 до 2.29 mSv. На основу овако добијених података, аутори процењују дозу на годишњем нивоу и то као 1.08 mSv испод кецеље, односно 20.32 mSv изнад кецеље, у нивоу врата за главног оператера [160], 2.5 и 2.8 mSv годишње испод, односно 3.8 и 4.3 mSv годишње изнад кецеље, за више и мање искусног оператера [158] и у опсегу од 28.3 mSv до 46.9 mSv изнад кецеље у нивоу груди [159]. (2023)).

6.3.2. Доза за очно сочиво

Просечна доза за очно сочиво по процедури износи 142 μ Sv, израчуната као средња вредност свих мерења дозе за очно сочиво (Табела P11). Разлика у дистрибуцији средње вредности дозе дуж чела је минимална, при чему је она са леве стране (146 μ Sv) и на средини чела (145 μ Sv) готово иста, док је десно (134 μ Sv) доза нешто мања (Табела P10). За измерене вредности лево, на средини и десно, не постоји статистички значајна разлика. Готово униформна дистрибуција дозе за очно сочиво у сагласности је са резултатима објављеним од стране Келија и сар. [161], у чијој су студији ношена два ТЛ дозиметра, са леве и десне стране, фиксирана на заштитне наочаре при споју оквира и покретне дршке. Иако аутор даје податак о вредностима дозе за очно сочиво са леве и десне стране лица само на основу два мерења и то код једног оператера, што свакако наводи као ограничење своје студије, ту су једини до сада објављени резултати о дистрибуцији дозе за очно сочиво при флуороскопски вођеним процедурама у области терапије бола.

Као и код вредности ефективне дозе, и вредности дозе за очно сочиво у литератури су пријављиване на основу мерења у дугим временским интервалима. Штавише, Кели и сар. [161] у свом раду наводе измерену вредност дозе за очно сочиво током периода од 4 недеље од 0.9 mSv. Иако аутори наводе да је ова доза за очно сочиво измерена дозиметрима калибрисаним у величину $H_p(0.07)$, ово је ипак једини у литератури доступан податак о дози за очно сочиво на основу релативно кратког интервала мерења за поменуто

област примене флуороскопије. Иста група аутора даје средњу вредност дозе за очно сочиво мерене на крагни, уз примену конверзионог фактора, након тромесечног интервала као 0.68 ± 0.38 mSv, док се у раду Нгујена и сар [159] може пронаћи податак о вредности дозе за очи у опсегу 0.57 до 0.91 mSv за период од 3 месеца такође за дозиметре ношене на крагни, односно 0.81 mSv за једног од испитаника који је дозиметар носио прикачен за хируршку капу, непосредно у близни очију, такође за период од 3 месеца. Чоји и сар [158] објавили су вредности од 0.62 односно 0.74 mSv за више и мање искусног оператера, респективно, на основу дозиметара ношених на хируршкој капи, непосредно у близини ока током 2 месеца. Пројектоване вредности на једногодишњи период у анализираним публикацијама износе 2.73 ± 1.51 mSv [161], 3.7 односно 4.4 mSv [158] и вредности у опсегу од 16 до 24 mSv [159].

6.3.3. Број процедура на годишњем нивоу

Обзиром на природу резултата, у овом раду доза на годишњем нивоу може бити пројектована само на основу типичног броја процедура. У УКЦВ-у тренутна пракса је таква да се процедуре изводе једном недељно, а максималан број процедура дневно је 5, што пројектовано на годину дана резултује укупним бројем од 500 процедура и ефективном дозом од 31 mSv, уколико би све процедуре вршио један оператер, без годишњег одмора, што свакако представља најгори могући сценарио. У извођење процедура терапије бола тренутно је укључено троје лекара, а број од 5 пацијената уз употребу флуороскопије дневно често се не достиже, што је диктирано радним временом тј. трајањем смене, припремом пацијента и простора за наредног пацијента, као и доступност једне просторије у којој се изводе процедуре терапије бола вођене не само флуороскопијом, већ и ултразвуком, који не користи јонизујуће зрачење. Типичан број изведених процедура на месечном и годишњем нивоу у медицинским центрима аутора доступних публикација значајно је већи [150,152,158–160]. Узимајући у обзир све наведене факторе, запослени по тренутној пракси нису у ризику да прекораче годишњу границу ефективне дозе од 20 mSv. Ипак, уколико би било потребно, граница у броју обављених процедура по оператеру на годишњем нивоу у УКЦВ-у, на основу измерених вредности, могла би се поставити на 320 пацијената.

Како су дозиметри у овом истраживању ношени на челу, односно нису узели у обзир ефекат заштитних наочара, овако добијена вредност дозе за очно сочиво свакако је прецењена. Подаци доступни у литератури воде до закључка лекари у области терапије бола заштитне наочари користе у свега 30 – 65 % случајева, при чему Ким и сар. [160] наводе да само 14% лекара увек користи наочари, 35 не користи уопште, а остали повремено, те поменути подаци о нередовној и неконзистентној употреби заштитних наочара оправдавају мерење и исказивање дозе за очно сочиво без урачунатог ефекта заштитних наочара. Сва три лекара која су учествовала у овој студији, носили су заштитне наочаре. Ипак, и без употребе заштитних наочара број од 140 процедура годишње може се поставити као граница за једног оператера, док се уз употребу заштитних наочара, може рећи да је пројектовани максималан број процедура на годишњем нивоу најмање дупло већи.

6.3.4. Параметри експозиције пацијента

Иако је раније поменуто да се лекари који су учествовали у овој студији могу сматрати неискусним, просечно време трајања флуороскопије забележено у овој студији од око 26 секунди, уз максималну забележену вредност од 66 секунди (Табела P12), у рангу је вредности које су публиковали Чои и сар. (22.9 ± 8.8 , 17.7 ± 2.4 s) [158], док је ниже од вредности које се могу наћи у другим радовима од 77.41 s [159] или вредности у опсегу 46.6 до 146.8 s [162], што може говорити у прилог њихове обазривости. Средња вредност *DAP* -а, као параметра изложености пацијента у овој студији је $405 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$, док је једини доступан податак о вредности овог параметра онај у раду Чоија и сар. [158] са вредностима $95.4 \pm 66.1 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$, односно $89.9 \pm 13.3 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2$, што је значајно мање од вредности ове студије.

6.3.5. Повезаност параметара експозиције особља и пацијента

Резултати корелације између измерених вредности дозе за особље и параметара изложености пацијента (Табела P18) показују да за већину параметара не постоји статистички значајна корелација, осим за повезаност дозе забележене дозиметром изнад кецеље са вредностима керме и *DAP* -а са вредностима коефицијента корелације од 0.348 и 0.419, респективно, што указује на умерену корелацију. На основу овога, вредност измерене дозе преко кецеље нормиране на *DAP* из табеле P13 од $0.58 \pm 0.66 \mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ може се користити као оквирни параметар за праћење изложености лекара који обављају процедуре у области терапије бола у тренутној клиничкој пракси. У раду Келија и сар. [161] дата је вредност дозе за очно сочиво нормирана на *DAP* у опсегу $1.44 - 5.16 \cdot 10^{-3} \text{ mSv}/\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$, док ова вредност у тренутном испитивању износи $1.15 \mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$, што је 2-8 пута више у односу на претходно објављени резултат.

Као што је претходно поменуто, сви анализирани подаци доступни у литератури односе се на праксу у којој је коришћени апарат типа мобилног Ц-лука, са мањим видним пољем у односу на апарат намењен интервентним процедурама у ангио сали, на коме се изводе процедуре терапије бола анализирани у овој студији. Како *DAP* представља производ дозе и озрачене површине, са порастом површине која се озрачује, диктирано површином детектора, расте и вредност *DAP*-а. Са друге стране, стационарни апарати који се користе у ангио-салама, имају детекторе и математичке моделе за обраду дизајниране тако да формирају слике високог квалитета, за које им је потребна велика количина зрачења, па последично и већа доза. Прегледом литературе, Деруитер и сар. [127] нашли су да је, за исту врсту и комплексност једне врсте процедура, вредност *DAP*-а значајно већа у студијама у којима је коришћен стационарни апарат у поређењу са оним у којима је коришћен мобилни Ц-лук, независно од укупног времена флуороскопирања.

6.3.6. Изазови и препоруке

Слегерс и сар. [163] у својој публикацији анализирали су утицај доступних информација о брзини дозе и тренинга на изложеност лекара који обављају процедуре терапије бола. Показали су да сама доступност информација о тренутним вредностима дозе не утиче на оператера да промени своју позицију, односно не доприноси смањењу дозе за оператера,

док са друге стране дискусија доступних вредности дозе са особом задуженом за заштиту од зрачења или медицинским физичарем у реалном времену, као и познавање дозних профила у различитим оријентацијама рендгенске цеви, доводи до смањења дозе за оператора изнад кецеље од чак 50%. Истраживање у овом раду изведено је одмах након увођења процедура у области терапије бола у клиничку праксу у нашој установи, те се оператори укључени у студију могу сматрати неискусним. Са друге стране, све процедуре пратио је медицински физичар и особа задужена за заштиту од зрачења, а о темама заштите од зрачења дискутовано је са корисницима. Сви су упознати са препорукама *IAEA* датим на постерима „10 Бисера: Заштита особља у флуороскопији“ (Прилог 2), који су и постављени у просторију у којој се апарат користи. Оно што је изазвало нејасноће и неверицу код оператора јесте правилна оријентација рендгенске цеви при латералним пројекцијама, а изазвана је самосталним тумачењем поглавља у књизи „*Atlas of image-guided spinal procedures*“ [13], коју ја је коришћена као референтна литература. У овој књизи посебно поглавље посвећено је заштити од зрачења. У њему, слика 6.10 јасно приказује оптималан положај оператора у односу на рендгенску цев а у тексту испод слике дато је тумачење овог положаја. Ипак, слике као што су 6.7ц и 6.9 збуниле су неискусне оператере, јер је на њима приказан оператор који стоји на страни цеви, а оне су означене као оптималне, иако је на сликама фокус на другим детаљима, што је у тексту испод слике и објашњено. У раду Чоија и сар [158], на сликама 1 и 3, такође је приказано како оператор стоји на страни рендгенске цеви током манипулације игле. Резултати мерења број 13 и 14 (Прилог 1), код којих су забележене највише вредности дозе за очно сочиво као и највише вредности дозиметара ношених преко кецеље, иако су параметри експозиције пацијента били у рангу просечних вредности, одговарају управо случајевима када је рендгенска цев била неправилно позиционирана у односу на оператора. Ким и сар. [160] у свом раду наводе да свега 14% зна како правилно треба окренути систем цев-детектор. Ове недоумице разрешене су приказивањем бројних вредности мерења интензитета зрачења са стране пријемника слике и са стране рендгенске цеви амбијенталним монитором у реалним клиничким условима од стране медицинског физичара. Такође, операторима је скренута пажња од самог почетка праксе о важности правилне употребе све расположиве заштитне опреме, нарочито заштитних наочара, као и о правилној употреби плафонског екрана, када год је могуће. Такође је напоменуто колико је важно онемогућити, практично искључити, активацију рендгенских зрака (“*X-ray disable*“) одмах по окончању дела процедуре који захтева употребу флуороскопије, што је посао рендген техничара који управља апаратом, али уколико се не уради, лекар би могао врло лако случајно и непотребно активирати сноп рендгенских зрака притискањем папучице за флуороскопију ногом и тиме додатно и непотребно изложити зрачењу себе и пацијента. Простор за даљу оптимизацију праксе постоји у погледу смањења видног поља, односно колимације слике, јер је у посматраним процедурама слика заузимала цело видно поље. Баек и сар. [156] тврде да употреба колимације слике у процедурама терапије бола резултује нижим нивоима изложености како пацијената тако и особља, уз очување квалитета слике, те да њену употребу треба увести у рутинску клиничку праксу.

Као и сви остали анестезиолози који током свог рада повремено бораве у операционим салама у којима се користе извори јонизујућег зрачења у УКЦВ-у, и анестезиолози

укључени у ову студију категоризовани су као категорија изложености Б. Ипак, на основу њихове укључености у обављање процедура терапије бола, као и на основу резултата овог истраживања, предлог је да се њихова изложеност у будуће третира као категорија А, а да им се, поред постојећих дозиметара испод кецеље додели још један дозиметар, који ће бити намењен ношењу изнад кецеље. Ким и сар. [160] дошли су до податка да свега око 40 % лекара у терапији бола користи дозиметре. Оно што представља проблем са дозиметрима у УКЦВ јесте чињеница да троје лекара који обављају процедуре терапије бола имају потребу за ношењем дозиметара током свог рутинског рада као анестезиолози у операционим салама у просторијама УКЦВ-а, на локацији у Новом Саду, док процедуре терапије бола обављају у објекту Болнице на Мишелуку, која је око 6 километара удаљена, и данима када изводе ове процедуре не одлазе до главне локације УКЦВ-а. Дозиметре намењене ношењу изнад кецеље могли би чувати у просторијама Болнице на Мишелуку, јер би их једино тамо користили. Ипак, дозиметре намењене ношењу испод кецеље, морали би понети са собом, кући, када напуштају просторије главне локације УКЦВ-а претходног радног дана и понети их са собом када крећу ка Болници на Мишелуку данима одређеним за процедуре терапије бола. Свако изношење дозиметара из просторија болнице, поред тога што ствара додатну обавезу запосленима, представља и ризик од губитка дозиметра као и неадекватних услова чувања, првенствено у погледу температуре, који значајно могу утицати на тачност очитаних резултата. Ово је проблем логистичке природе узрокован тренутном просторном организацијом УКЦВ-а. У случају промена у организацији рада и простора, свакако треба поново размотрити услове за увођење додатног дозиметра за запослене који обављају интервенције терапије бола. Како је ово истраживање показало статистички значајну корелацију вредности *DAP*-а са вредностима дозиметра ношеног преко кецеље, овај параметар може се у будуће користити као оквирни показатељ изложености лекара који врше процедуре терапије бола. У случају измењене праксе, у смислу промене апарата којим се флуороскопија врши, значајно повећаног обима пацијената или смањења броја лекара који се овом врстом процедура баве, потребно је ревидирати изложеност и дате препоруке. Чак и без значајније промене праксе, процену изложености на сличан начин било би интересантно поновити након 2-3 године, када оператери стекну одређено искуство у вршењу ових процедура и када буду у прилици да можда нешто више пажње посвете ситним корацима који могу довести до оптималније заштите од зрачења.

6.4. Урологија

Први објављени радови који су препознали и испитивали изложеност уролога јонизујућем зрачењу објављена су током 80-тих година прошлог века, а анализирала су изложеност током процедуре која се зове перкутана нефролитотомија – (*percutaneous nephrolithotomy* – *PCNL*) [164,165], док су 90-тих публиковани радови који су препознали изложеност и другог медицинског особља током уролошких процедура, као што су асистенти, техничари и анестезиолошко особље [166,167], које су, поред *PCNL*, укључивале и друге интервентне, али и дијагностичке процедуре, као што су екстракорпорална метода разбијања камена у бубрегу ударним таласима (енг. *Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy* – *ESWL*), различити начини уклањања калкулоза или постављање и/или замену различитих врста стентова. У првој четвртини 21. века истраживања на ову тему су настављена, иако нису многобројна,

а фокус у публикованим студијама остао је на хируршким процедурама. Вано и сар. [168] забележили су чак да је изложеност уролошких хирурга који обављају *PCNL* интервенцију 18 пута већа од изложености интервентних радиолога, кардиолога и васкуларних хирурга у истој болници. Број студија које су испитивале изложеност уролошког особља приликом употребе рендген апарата у “*over couch*” оријентацији изузетно је ограничен [169]. У УКЦВ-у уролошки хирурзи не обављају хируршке процедуре уз употребу флуороскопије, већ ту врсту процедура обављају интервентни радиолози. Уролошко особље укључено је у извођење дијагностичких процедура уз употребу флуороскопије и то уретероцистографија – УЦГ (у страном литератури *Ascending urethrogram - ASU*) као и ретроградна пијелографија по Шевесију. Током друге процедуре у кабинету су присутни техничар и лекар – уролог, али лекар напушта кабинет током трајања експозиције, док техничар борави поред пацијента. У кабинету за разбијање камена у бубрегу обавља се процедура *ESWL*, али у том случају особље не борави у кабинету са пацијентом током трајања експозиције.

Вредности амбијенталног дозног еквивалента за ову област примене флуороскопије од 240 $\mu\text{Sv/h}$ у нивоу груди и 210 $\mu\text{Sv/h}$ у нивоу главе уролошког медицинског техничара, када борави поред пацијента (позиција приказана на слици 14), највише су од свих анализираних области примене, изузев интервентне радиологије, што и не изненађује, обзиром да је у питању “*over couch*” оријентација стола. Поред тога, техничар је у малом броју случајева у могућности да изађе из просторије током трајања експозиције, најчешће на самом почетку снимања, односно највећи део времена проводи непосредно поред пацијента, убризгавајући контрастно средство током трајања експозиције. У кабинету у коме се обављају уролошке дијагностичке процедуре нису доступна додатна заштитна средства која би могла заштити горњи део тела оператера, а једини техничар који обавља све процедуре користи диоптријске наочари, те није у могућности да користи наочари за заштиту од зрачења. Услед свих ових чињеница, мониторинг изложености вршен је по појединачној процедури. Гиблин и сар. [166] су још 1996. године забележили вредности од 11 mSv/h за уролога, позиционираног између ногу пацијента, приликом постављања цистоскопа, без употребе додатних заштитних средстава и при рендгенској цеви изнад пацијентног стола. Христова-Попова и сар. [170] мерили су брзину доза за очно сочиво електронским дозиметрима на позицијама поред пацијента (а) и чеоно, на дну стола, између ногу пацијента (б) и, за подједнаке удаљености од централног снопа, приказали вредности од 1.57 mSv/h у позицији (а) и 0.91 mSv/h на позицији (б).

6.4.1. Ефективна доза за цело тело

Средње вредности забележене дозиметрима испод и изнад кецеље, као што је приказано у Табели Р14 износе 57 и 120 μSv , респективно, а кретале су се у опсегу 26-97 μSv , односно 50-208 μSv , респективно. Вредности измерене испод и изнад кецеље статистички су се значајно разликовале. Применом релације (11), ово даје просечну вредности ефективне дозе од 63 μSv по процедури, односно вредности у опсегу 29-104 μSv по процедури (Табела Р15). Измерене вредности у доброј су сагласности са једином публикацијом, према најбољем сазнању аутора ове дисертације, која је анализирао изложеност особља током уролошких дијагностичких процедура, и то применом “*over couch*” оријентација стола,

радом Алкорајефа и сар. [171] који наводи да, у две од три посматране болнице, средње вредности дозе за особље мерене у нивоу груди изнад кецеље износе 60 и 80 μSv по процедури, а крећу се у рангу 4 - 390 μSv у једној, односно 18 - 90 μSv у другој посматраној болници. Аутор такође наводи да су у трећој посматраној болници измерене дозе неколико пута више, са просечном вредности од 790 μSv (опсег 50 – 1750 μSv), што подиже просечне вредности за све три посматране болнице у оквиру студије, али не анализира могуће разлоге за овакве разлике у забележеним вредностима. Ефективна доза на месечном нивоу у раду Озакија и сар. [172], при истој оријентацији цеви, забележена је као 0.1 mSv за неоптимизоване процедуре (скопија од 15 fps, неколимисана слика), односно 0 mSv за оптимизоване (скопија од 7.5 fps, колимисана слика). Сва снимања у УКЦВ извршена су по истом протоколу који подразумева 15 fps, а слика није колимисана, те би се вредности из ове студије могле поредити са оним што Озаки и сар. [172] називају неоптимизовани сценарио. Ипак, ови аутори наводе да је током њихове студије плафонски заштитни екран редовно коришћен, те је, поред различитог периода мерења, ово врло вероватно разлог за доста мању забележену дозу него у овој дисертацији.

6.4.2. Доза за очно сочиво

Просечне вредности дозе за очно сочиво забележене у овај студији износе 224 μSv за дозиметар ношен на челу лево, 213 μSv за дозиметар ношен на средини чела и 232 μSv за дозиметар ношен на челу десно (табела P14), односно средња вредност дозе за очно сочиво може се изразити као 223 μSv по процедури. Овако добијене вредности веће су од оних објављених од стране Медичија и сар. [169] при мерењу под сличним условима, али и од вредности које су објавили Ритер и сар. [173] које се крећу у рангу 0.03 – 0.18 mSv за различите процедуре у области уролошке хирургије. Код Христове-Попове и сар. [170] просечне дозе за очно сочиво по процедури износе 42.7 μSv и 214.1 μSv , али је ова каснија, већа вредност забележена приликом најкомплексније врсте хируршке уролошке процедуре – PCNL. Ипак, у раду Христове-Попове и сар. [170] коришћена је оријентација рендгенске цеви испод пацијентног стола. За измерене вредности лево, на средини и десно, не постоји статистички значајна разлика. Дистрибуција средње вредности дозе готово је униформна по целом челу. Медичи и сар. [169] су, у готово истим условима мерења, забележили да је изложеност леве стране и средине чела већа него изложеност десне стране. Такву дистрибуцију објаснили су положајем монитора на којима лекар прати напредак процедуре са десне стране пацијентног стола и оператера, па оператер окретањем главе на десно у већој мери излаже лево око и средину лица зрачењу, док десна страна остаје заклоњена остатком лобање. У тренутној студији посматране су две врсте процедура, са различитом учесталашћу, током којих техничар борави на различитом месту у односу на пацијента и мониторе. Иако су монитори техничару најчешће са леве стране, он велики део времена проводи гледајући у своје руке и пацијента, односно са главом окренутом ка извору зрачења.

6.4.3. Број процедура на годишњем нивоу

На основу средње вредности ефективне дозе, у тренутној пракси медицински техничар могао би да уради преко 300 процедура годишње, што је око 6 пацијената недељно, за

годину која броји 50 радних недеља, пре него би достигао прописану годишњу границу ефективне дозе. Ипак, ако бисмо процену урадили на основу максималне забележене вредности ефективне дозе, дошли бисмо до граничног броја од 190 пацијената годишње, или максимално 4 пацијента недељно. Током трајања студије максималан забележен број пацијента у једној недељи био је 4, а минималан 1, док према сведочењима колега, некада се обави и по 5 пацијената у једном дану, али такође буде и недеља током којих се ова врста процедуре не изводи. Тренутно се процедуре врше једном недељно, али је на почетку студије то било 2 пута недељно. Уназад неколико година, пракса је да један техничар обавља све процедуре из ове области, са изузетком годишњих одмора, када га колега мења. Стога израчунати максимални број процедура није могуће делити на више оператера.

На основу средње вредности дозе за очно сочиво, у тренутној пракси медицински техничар могао би да уради тек нешто преко 90 процедура годишње, што је мање од 2 пацијената недељно, пре него би достигао међународно препоручену границу дозе за очно сочиво. Ритер и сар. проценили су да особље може извести значајно већи број процедура пре него достигне границу дозе за очно сочиво. Овај број кретао се у рангу од 833 процедуре за *PCNL* па све до 3750 захвата постављања уретералних стентова. Ипак, важно је посматрати временски оквир ове публикације, јер је иста објављена 2012. године, када је граница дозе за очно сочиво у међународним круговима износила 150 mSv. Са друге стране, Христова-Попова и сар. [170] процењују да би, у условима рада без заштитног екрана, оператер за обављених 200 *PCNL* процедура примио дозу за очно сочиво од 29 mSv. Поређењем граничног броја пацијената спрам ефективне дозе и дозе за очно сочиво, јасно је да управо озраченост очног сочива представља ограничавајући фактор при актуелној употреби извора зрачења, у овој као и у другим испитиваним областима примене.

6.4.4. Параметри експозиције пацијента

Просечно време трајања флуороскопије забележено у овој студији од око 53 секунде (Табела P16), у рангу је вредности које су публиковали Алкорајеф и сар. [171] у једином раду који је анализирао дијагностичке процедуре у области урологије, а које износе просечно 1.1 минут, а крећу се у рангу 0.1 до 2.7 минута. Средње вредности $K_{a,r}$ и *DAP*-а, као параметра изложености пацијента, у овој студији износе 9.36 mGy и 707 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$, респективно, док су подаци о вредностима параметара експозиције пацијента при уролошким дијагностичким процедурама доступни у раду Алкорајефа и сар. [171] дати као вредност ЕСАК-а и то средња 12.3 mGy, (опсег 0.2 до 32 mGy).

6.4.5. Повезаност параметара експозиције особља и пацијента

Резултати корелације између измерених вредности дозе за особље и параметара изложености пацијента (Табела P18) показују да мерене вредности дозе на челу лево, на средини и десно, као и вредности дозе измерене изнад кецеље статистички значајно корелирају са параметрима експозиције пацијента $K_{a,r}$ и *DAP*, и то углавном умереном корелацијом, изузев дозе измерене на средини чела са вредностима $K_{a,r}$ и *DAP*-а, која је на самој граници између јаке и умерене корелације. Вредности измерених доза не корелирају статистички значајно са укупним временом флуороскопирања, а доза мерена испод кецеље не показује статистички значајну корелацију ни са једним параметром експозиције

пацијента. Вредности коефицијента корелације које су статистички значајне крећу се у од 0.702 до 0.462, док је вредност коефицијента корелације за израчунату вредност ефективне дозе са $K_{a,r}$ и DAP -ом, респективно, 0.440 и 0.459. Овако добијене вредности углавном су нешто ниже од вредности које су други аутори публиковали. Озаки и сар.[172] навели су вредност коефицијента корелације дозе за очно сочиво измерене на крагни и DAP -а од 0.833, за оператера који стоји поред пацијента, не наводећи притом положај монитора. Ближа позиција дозиметра извору зрачења, у поређењу са позицијом на челу, може бити узрок нешто бољој корелацији забележених вредности. Христова-Попова и сар. [170] наводе вредности коефицијента корелације дозе за очно сочиво са DAP -ом које су врло високе, 0.978 и 0.971 за две врсте хируршких уролошких процедура, за оператера-хирурга који током интервенције борави уз пацијента, али чеоно у односу на пацијентни сто, између ногу пацијента. Пошто су у поменутом раду испитиване и изложености осталих чланова медицинског тима који, заједно са хирургом, учествује у обављању ове врсте процедура, аутори су закључили да изложеност особља изузетно зависи од позиције на којој бораве у односу на пацијента, а која је диктирана типом процедуре која се обавља. Положај монитора није наведен и дискутован у поменутом раду [170], али су вредности дозе мерене електронским дозиметром, са тренутним читавањем, које је вероватно могло дати боље и прецизније податке о вредности дозе, па самим тим и поузданију корелацију. Ипак, Хартман и сар. [174] наводе коефицијент корелације вредности очитане на крагни и DAP -а као 0.59, без употребе плафонског екрана, што је упоредиво са вредностима добијеним у овој студији.

Обзиром на статистички значајну умерену корелацију, вредност измерене дозе за очно сочиво и преко кецеље нормиране на DAP из табеле P17 од $0.45 \pm 0.26 \mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ за очи и $0.22 \pm 0.07 \mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ преко кецеље, може се користити као оквирни параметар за праћење изложености медицинског техничара који обавља дијагностичке уролошке процедуре тренутној клиничкој пракси. У раду Медичија и сар. [169] дата је вредност дозе за очно сочиво нормирана на DAP од $8.4 \mu\text{Sv}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$, што претворено у јединице $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ износи $0.084 \mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$, односно 5 пута је мања него у тренутној студији. Сличне вредности наводе и Хартман и сар. [174] $0.07 \mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$. Наведена вредност дозе за очно сочиво нормиране на DAP одговара потпуно незаштићеним очима, односно сценарију у коме ни једно додатно заштитно средство није употребљено, што одговара тренутној пракси.

6.4.6. Изазови и препоруке

Поменута оријентација рендгенске цеви изнад пацијентног стола, према доступним студијама [166,169–174], није неуобичајена код уролошке примене флуороскопије, док поједини аутори [169] констатују да у многим случајевима ови кабинети нису опремљени додатним заштитним средствима попут плафонских екрана. Такође, литература показује да уролошко особље ретко употребљава заштитне наочари [169,171,174].

Ипак, особљу је потребно истаћи важност употребе заштитних средстава која могу умањити дозу за очно сочиво. У ту сврху у кабинет у коме се обављају уролошке дијагностичке процедуре постављен је заштитни визир, који ће медицинском техничару

који користи диоптријске наочари омогућити одређени вид заштите за очно сочиво. Поред тога, менаџерима уролошке праксе предочено је да би било пожељно радно оптерећење у области уролошких дијагностичких процедура које се обаљају уз употребу флуороскопије распоредити између барем два оператера, а посебно у случају ако би се вратила претходна пракса да се процедуре обављају два пута недељно.

Посматрањем праксе примећено је да, у појединим случајевима техничар, нарочито на почетку процедуре, када се формирају слике без контрастног средства, може напустити рендген кабинет током трајања експозиције, што он и ради, и на тај начин штити себе од непотребне изложености и смањује дозу коју прима. Ово је у конкретној студији забележено код 4 од 12 пацијената. У забележеним случајевима, пацијенти су током експозиције без присутног техничара примили од 4 до чак 30% укупне вредности $K_{a,r}$ и DAP -ом. Иако је оваква пракса добра и пожељна, јасно је да у оваквим случајевима вредности параметара експозиције пацијента расту, иако техничар није изложен зрачењу, што сигурно доводи до смањења вредности коефицијента корелације изложености техничара и параметара експозиције пацијента.

Такође, како су показали Озаки и сар. [172] смањење брзине пулсева током флуороскопије са 15 на 7.5 fps као и увођење колимације слике, може у великој мери смањити дозу за пацијента, па тиме и за особље, без угрожавања квалитета слике. Оптимизација праксе на овај начин свакако је нешто о чему би требало у будућности разговарати са надлежним радиолозима који су задужени за описивање уролошких дијагностичких слика.

6.5. Покривке за спречавање расејаног зрачења

Заштита од зрачења почиње у фази планирања [18]. Како је постојећа, главна ангио сала у УКЦВ постављена у простору који иницијално није био планиран, првенствено у погледу величине просторије, за ову намену, површина просторије је релативно мала, те се стиче утисак скучености, нарочито када се узме у обзир сва остала опрема која је потребна једној сали која се бави комплексним процедурама, како она која стоји и креће се по поду тако и она монтирана на плафонске шине (монитори, лампе, плафонски екран и слично). Често долази до колизије, па се корисници у тој гужви често одлучују да прво склоне оно што сматрају да им није неопходно, а то је плафонски екран. У овој ситуацији, практично остају без колективне заштите за горњи део тела, те се јавила потреба да се истраже друге опције односно друга заштитна средства која би могла обезбедити одређени степен заштите за горњи део тела, посебно очи.

Једнократне стерилне хируршке покривке способне да атенуирају јонизујуће зрачење, иако на светском тржишту постоје готово 25 година [175], на српском тржишту први пут су регистроване као медицинско средство током 2024. године. Иако није уобичајено да се средство намењено заштити од зрачења оператера третира као медицинско средство, поменуте покривке намењене су постављању директно на пацијента током интервентне процедуре, односно преко регуларне стерилне хируршке покривке, те, у циљу очувања стерилности, а тиме и безбедности пацијента, и ове покривке морају бити стерилне. Како се стерилност нарушава првим постављањем на пацијента, њихова употреба је

једнократна, односно намењене су једном пацијенту. Из свих ових разлога, исте су у Србији морале бити регистроване као медицинско средство за једнократну употребу. Неколико је произвођача на светском тржишту који нуде овај вид опреме, док су покривке доступне са различитим атенуационим карактеристикама, од 0.125 до 0.35 милиметара еквивалента олова. Њихова ефикасност у различитим типовима интервентних процедура потврђена је у литератури [176–178] кроз различите експерименталне поставке. На упутствима за употребу покривки назначено је да приликом коришћења покривка треба да остане изван примарног снопа, док у литератури постоје тврдње да, и поред посебне пажње која је посвећена правилном позиционирању покривке, иста се нашла у примарном снопу, односно видном пољу у готово трећини случајева [179]. Потенцијална опасност по пацијента у овом случају настаје због чињенице да аутоматска контрола експозиције *AEC*, чије је постојање али и употреба стандард на свим модерним флуороскопима, има за циљ да одржи константан квалитет слике, односно константну количину зрачења која долази до детектора током промена атенуације у видном пољу. Уношењем атенуирајућег материјала покривке у видно поље, могло би доћи до аутоматског повећавања параметара експозиције (*kV*, *mAs*, додата филтрација), што би могло резултовати повећаном дозом зрачења за пацијента. Први рад који је испитивао ефикасност једнократних покривки [175], изнео је, између редова, и овакве тврдње, наводећи да доза за пацијента расте уколико се активира *AEC*.

Ефикасност покривке, када је правилно позиционирана изван примарног снопа, је потврђена чињеницом да је брзина амбијенталног дозног еквивалента мерена на месту корисника у висини груди опала са 380 $\mu\text{Sv/h}$ измерених без покривке, на 187 $\mu\text{Sv/h}$ измерених са покривком (Табела P19). Уношењем покривке у поље, у корацима од оквирно 10% заузетости видног поља, показано је да за заузетост до 20% параметри експозиције, доза за пацијента, као и брзина амбијенталног дозног еквивалента на месту корисника остају исти. Овакав резултат у сагласности је са тврдњама објављеним од стране Тзаниса и сар.[180], у чијој студији долази до тек благе, готово незнатне, промене посматраних параметара када је покривка малим делом постављена у поље. Даљим уношењем покривке у поље, сви посматрани параметри почињу да расту, како они за пацијента, тако и амбијентални дозни еквивалент, да би у последњем испитаном кораку, када је покривка заузимала 50% видног, односно зрачног поља, доза за пацијента, изазвана повишеним параметрима експозиције, порасла готово 90%, са првобитних 1.2 mGy/min на 2.3 mGy/min , док је брзина амбијенталног дозног еквивалента достигла вредност 350 $\mu\text{Sv/h}$. (Табела P19). Тзанис и сар. у свом раду [180], који је, како сами тврде у моменту објављивања 2018. године, али и до данас, једини испитивао утицај позиционирања покривки на *AEC*, тврдили су да уношење половине покривке у поље доводи до повећања максималне дозе за кожу пацијента од око 25%. Иако је коришћена покривка једнако декларисане заштитне моћи (0.25 mm Pb), у поменутом раду коришћена покривка била је другог произвођача, други је тип апарата такође другог произвођача, као и нешто другачији фантом, што су све параметри који би могли утицати на дате резултате. Такође, врло је важно при којим вредностима напона је декларисана заштитна моћ неког заштитног средства. У случају покривке коришћене у овом раду, то је вредност од 90 *kV*, док се у литератури могу наћи и вредности од 70 *kV* [175]. У раду Тзаниса и сар. [180] ова

информација није наведена, а иста није јасна ни из упутства тј. каталога покривке коју наводе да су користили, доступном на интернету. У свом раду Пауер и сар. [179] навели су да је у око 50% случајева погрешно позиционирање покривке могуће решити додатном колимацијом, док је у других 50% репозиционирање захтевало додатну употребу флуороскопије, што такође резултује додатном дозом за пацијента.

Постављањем покривке у видно поље тако да она заузима његову половину, доза за пацијента порасла је готово дупло, док је изложеност особља била иста као да простирка није ни коришћена. Ефикасност покривке, изражена као однос њене заштитне моћи за особље и дозе за пацијента, приказана на Графикону Р6, драстично опада уношењем простирке више од 20% у видно/зрачно поље апарата. На овај начин оператер, не само што повећава дозу зрачења којој је сам изложен, он и пацијента излаже непотребно великој дози зрачења. Иако је на упутству за употребу наведено да она треба да буде ван видног поља, ову чињеницу је потребно довољно јасно ставити до знања корисницима. Може се претпоставити да ће пре почетка процедуре оператер бити довољно концентрисан да позиционира покривку правилно, користећи се том приликом можда и светлосним индикатором поља уместо флуороскопијом, али свако померање, односно репозиционирање покривке током процедуре, што због различитог дела тела који се осликава, што због промене угаоне оријентације апарата, доводи до повећаног ризика да се покривка у већој или мањој мери нађе у видном пољу [179]. Управо због ове чињенице, као и због неискуства корисника у нашој установи али и других њихових колега у Србији са којима би се могли консултовати, или делити искуства као пионири у употреби овог средства у Србији, сматрам да је посебно важно истаћи на који се начин покривка правилно користи, као и које су могуће последице неправилног позиционирања.

Оно у чему се већина аутора слаже јесте да се приликом употребе ових покривки мора водити рачуна о такозваном односу штете и користи (енг. *cost-to benefit*) или у овом случају прецизније односу цене и користи, јер свака покривка кошта око 75 евра [181] у иностранству, док је цена без ПДВ-а и у Србији слична. Зато је увек потребно прво испитати могућност употребе других, виšekратних заштитних средстава, која, иако иницијално имају већу цену, вишеструка употреба при сваком пацијенту током неколико година чини их исплативим. Ипак, у случајевима када друга средства нису доступна, или корисници имају потешкоћа са њиховим коришћењем, употреба једнократних покривки може се препоручити. Због ограничених финансијских средстава у текућој години, у УКЦВ набављена је мања количина ових покривки, намењена употреби при најкомплекснијим процедурама, односно при процедурама које резултују највећим дозама за пацијента, па потенцијално и за особље. Уколико се исте покажу погодним за рутинску употребу, размотриће се могућност набавке већих количина.

6.6. Ставови запослених о заштити од зрачења

У циљу очувања анонимности испитаника, а услед малог броја испитаника по појединачним областима примене, као и услова прикупљања резултата упитника, питања о области примене нису била саставни део упитника, те одговоре није могуће распоредити према области примене.

Од 168 прикупљених упитника, 127 корисника је навело да користи флуороскопију у свом раду, док је 68 рекло да борави поред пацијента током флуороскопије. Разлика од 59 одговора одговара корисницима, најчешће радиолошким техничарима који користе флуороскопију помоћу даљинских команди, односно из командне кабине рендген апарата. 10 испитаника је навело да одређују која им је количина зрачења, тј. флуороскопије потребна, али да сами не управљају апаратом, што одговара хирурзима који у операционој сали користе изворе зрачења, док самим апаратом управљају радиолошки техничари.

Резултати упитника о доступности и употреби заштитних средстава дати су на графикону Р7. Велики проценат испитаника који наводи коришћење заштитне кецеље (98.5%) као и штитника за врат (91%) сведочи да је запослени који користе јонизујуће зрачење и том приликом стоје поред пацијента током његове употребе у УКЦВ-у имају развијену свест о потреби заштите од јонизујућег зрачења. Кецеља и штитник за врат су најстарија и основна средства за заштиту од зрачења, најзаступљенија, те се може рећи и најпознатија и запослени у УКЦВ-у их редовно користе. Подаци доступни у литератури су у сагласности са овим резултатима, јер објављене студије сведоче такође о високом проценту употребе кецеља и штитника за врат, најчешће преко 90% [182,183]. Са друге стране, релативно мали број корисника навео је прво доступност, а потом и коришћење додатних заштитних средстава чији је основни циљ да додатно смање изложеност горњег дела тела корисника. Иако су наочари доступне свим корисницима чији су одговори анализирани у овом раду, свега 48% препознало је доступност овог заштитног средства. Још мањи број испитаника, 20% свих корисника флуороскопије, навео је да заштитне наочари и користи. Доступност визиера навело је 33% корисника, док је свега 4 корисника навело да визир и користи. Подаци о употреби заштитних наочара у литератури су разнолики. Аинсбури и сар. [184] у својој студији спроведеној у 3 болнице у Великој Британији нашао је да 21% корисника из области интервентне радиологије користи заштитне наочари, Росе и Реа [182] наводе да 61% њихових испитаника никада не користи заштитне наочари, док Антунес-Рапосо и сар. [185] наводе да свега 8% испитаника носи наочари. Са друге стране, Гасиеа и сар. [183] у скорашњој студији, спроведеној као национални упитник у Великој Британији међу интервентним радиолозима наводи висок проценат употребе свих расположивих заштитних средстава, при чему 71% корисника употребљава заштитне наочари. Посматрајући само хирурге ортопедике, који изворе зрачења користе у операционој сали, такође само 20% њих навело је да користи заштитне наочари, док је 3 од 10 испитаника ове групе препознало доступност овог заштитног средства. Оваква пракса у сагласности је са подацима објављеним у литератури. Раза и сар. [186], у објављеним резултатима националног упитника у Великој Британији, наводи да 99% ортопедских хирурга носи заштитну кецељу, 50% штитнике за врат, док свега 15% испитаника понекад или редовно користи заштитне наочари. Резултати из других студија су слични, јер 52-84 % испитаника, како у развијеним, тако и у земљама у развоју, редовно користе кецеље, док је проценат употребе наочара међу поменутом групом здравствених радника од 2.8 до 24% [63,187–189].

Посебно се истиче чињеница да 55% процената испитаника није препознао доступност завесица испод пацијентног стола, иако су оне присутне у све три ангио сале, и монтиране су на пацијентни сто, односно са њега се готово никада не скидају. Иако овај податак не

утиче нужно на ниво заштите посматраних запослених, може довести у питање фокусираност приликом попуњавања упитника.

Посебно забрињава чињеница да свега 34% испитаника препознаје доступност плафонског екрана, иако је исти заиста присутан у све три ангио-сале, адекватно монтиран на плафон. Поред претходно поменуте упитне фокусираности приликом попуњавања упитника, остаје могућност и лоше употребљене, иако формално тачне, терминологије. Постоји могућност да корисницима термин „плафонски екран“ није био познат, или је чак био збуњујућ, јер се термин екран у српском језику користи углавном за уређаје на којима се нешто посматра, па је вероватно требало употребити израз „заштитно стакло“. Процент запослених који је навео да користи плафонски екран је свега 30% свих испитаника. Ипак, ово чини 85% оних који су препознали његову доступност. Докази о употреби овог средства у литератури су разнолики, а сви говоре у прилог да се екрани не користе редовно. Росе и Рае наводе да 70% њихових испитаника користи екран у преко 70% случајева, док код Санчеца и сар. [190] проценат употребе варира од 0 до 100%, при чему највећи проценат корисника екран користи у свега 20-40 % случајева. Такође, чести су аргументи да овај заштитни екран омета оператере у њиховом раду [126,191], што је свакако један од могућих разлога за нередовно коришћење. Разлози за нередовну употребу конкретно овог средства нису анализирани у овој студији, већ се питање у упитнику односило уопштено на разлоге за нередовно коришћење свих доступних заштитних средстава. Мали проценат испитаника одговорио је на ово питање, свега 16%. Из прикупљених 11 одговора може се закључити да запослени у УКЦВ у некој мери деле мишљење са оним истакнутим у литератури да заштитна средства ометају кориснике у редовном раду, било зато што отежавају праћење битних параметара везаних за пацијента, или зато што изазивају физичку нелагоду, јер кецеље могу бити тешке, а њихова дугорочна употреба може изазвати последице по мускулоскелетни систем [192–194]. Такође, корисници су навели и да их коришћење диоптријских наочара онемогућава у коришћењу заштитних оловних наочара. У оваквим ситуацијама потребно је употребити алтернативно средство за заштиту очног сочива, као што је визир или плафонски екран.

Још један од разлога за нередовну употребу заштитних средстава намењених заштити очног сочива може бити и недовољна свест односно знање о осетљивости овог органа. Свега 32% испитаника навело је да зна да је граница дозе за очно сочиво, према међународним препорукама промењена, односно смањена. Даљом анализом одговора уочава се одређена недоследност, јер је само 8, од горња 22 испитаника који су навели да знају за смањење границе, односно 36%, заиста тачно и одговорило на питање колико она износи. Укупно је 32% испитаника дало тачан одговор на питање колико износи актуелна препоручена граница дозе за очно сочиво. Чињеница да су одређени испитаници прво рекли да не знају да је граница промењена, односно смањена, а потом тачно одговорили на питање колико она износи могла би бити објашњена чињеницом да испитаници нису били под надзором док су попуњавали упитник, односно да им употреба мобилних телефона и интернета није била забрањена током одговарања на питања. О свим актуелним темама везаним за заштиту од зрачења, па и о границама излагања, запослени имају прилике да се информишу, између осталог, и током периодичних обнова знања везаних за рад у зони јонизујућег зрачења, које су актуелном законском регулативом обавезне најмање једном у

пет година, и сви запослени УКЦВ-а поседују важеће сертификате са ове едукације. Ипак, резултати овог упитника упућују на потребу евалуације квалитета едукације, односно мотивације запослених за активно присуство истим.

На питање о употреби дозиметара, 26 (38%) запослених рекло је да дозиметар редовно носи, 31 (46%) запослени наводи повремено ношење, док 10 (15%) не носи дозиметар уопште (графикон P8). Овако разнолика ситуација у сагласности је са подацима доступним у литератури. Санчез и сар. [88] истичу да чак 50% лекара у области интервентне радиологије или не носи дозиметар, или га носи нередовно или на погрешном месту на телу. Исти аутор у каснијој студији [190] нашао је да 30% интервентних радиолога не носи дозиметар за тело уопште. Антунес-Рапосо и сар. [185] наводе да 78% свих корисника у једној Португалској болници редовно носи дозиметар, а нередовну употребу дозиметара потврђује и један од закључака *RELID* студије [5]. Студија Вана и сар. [195] потврђује да свега око 50% интервентних радиолога наводи употребу дозиметара, док је проценат оних који га носе редовно 30%. Резултати употребе дозиметара од стране ортопедских хирурга наводе да 77-93% никада не користи дозиметар [186,188,196], односно да свега 5% ортопедских хирурга редовно носи дозиметар. У анализи података о ношењу дозиметара, ортопедски хирурзи нису посебно анализирани у овој студији.

На питање о разлозима за нередовно или потпуно некоришћење дозиметара одговорило је 74% испитаника на које се питање односило, тј. оних који су претходно изнели да дозиметар не користе редовно или уопште. При анализи разлога за нередовну употребу дозиметара као најчешћи разлог наводи се страх да би дозиметар могли изгубити, док су остали разлози неповерење у читавање, мишљење да нема потребе за ношењем дозиметра, а 16% испитаника навело је да га једноставно заборави. Један корисник је ово назвао немарношћу. Један корисник је такође навео да му рад у више објеката представља проблем у смислу да сматра непрактичним да дозиметар константно преноси из једног у други или трећи објекат. Ово се посебно може односити на кориснике којима су, поред редовног дозиметра за тело, обезбеђени и додатни дозиметри изнад кецеље и прстен дозиметри, мада посебна питања о овим додатним дозиметрима нису постављана у оквиру упитника. Све ово наводи на закључак да корисници флуороскопије у УКЦВ-у или нису посебно забринути за своју изложеност или, из личних разлога, нису заинтересовани за њено праћење. Са друге стране, публикација [3] као могуће разлоге за нередовно ношење дозиметара препознаје страх појединца да би читавање дозиметра могло да покаже дозе изнад прописаних граница, што би их спречило у даљем редовном обављању посла у потребном обиму и лечења пацијената, или да би у случају читавања која су блиска прописаним границама могла бити покренута исцрпљујућа истрага о разлозима за такво читавање, која би запосленима само одузела време.

6.7. Оптимизација заштите од зрачења

Водич *IAEA* [18] препознаје да је посвећеност самих радника заштити од зрачења важна једнако колико и рад одговорних лица за заштиту од зрачења, а да се она, између осталог, спроводи кроз омогућавање запосленима да учествују у програму заштите од зрачења и у развоју метода за одржавање дозе на што је могуће нижем нивоу, као и кроз могућност

изношења личних ставова о ефикасности мера заштите од зрачења. Управо је последње питање у упитнику који су запослени попуњавали имало за циљ да им омогући овакав вид учествовања у креирању програма заштите од зрачења. Прикупљени одговори могли би се сумирати као а) набавка нове заштитне опреме, са посебним акцентом на мобилни параван, б) увођење инстанце у оквиру послодавца која би контролисала запослене појединачно у смислу коришћења дозиметара и заштитних средстава као и временаведеног непосредно поред извора зрачења тј. зрачног оптерећења и в) едукација. Свакако је потребно похвалити вољу запослених да својим коментарима допринесу унапређењу заштите од зрачења, као и жељу да раде у што безбеднијем и сигурнијем окружењу на ефикасан начин.

УКЦВ поседује један мобилни параван који је, услед усмених захтева корисника, био постављен иницијално у најчешће коришћену ангио-салу, ону у Ургентном центру, али корисници нису били задовољни његовом величином, односно ширином од око 1 метар, јер је исти наводно превелик и непрактичан за коришћење у датом простору. Чињеница да се ова ангио-сала налази у простору који није иницијално био планиран за ове потребе, већ је накнадно преуређиван, а величина просторије у којој је рендген апарат није мењана, свакако иде у прилог томе да је простор премали за оптимално функционисање једне модерне ангио-сале обзиром на сву пропратну медицинску опрему која се у њој користи (Слика 4), што представља пропуст у фази планирања, када оптимизација заштите треба да почне [4]. Лоше испланирана заштита, поготово када је простора недовољно, чини каснију оптимизацију у виду увођења додатних заштитних средстава само тежом. Параван је премештен у другу, пространију ангио-салу, у којој се најмање за једну врсту процедура, два пута недељно, редовно користи. Свакако је могуће, у сарадњи са заинтересованим особљем, одредити димензије паравана који би могао бити адекватан за употребу у датом простору, проверити могућност израде паравана према потребама корисника, а потом и финансијски планирати и реализовати набавку овог заштитног средства. У УКЦВ доступна заштитна опрема редовно се проверава, од стране овлашћених установа приликом дозиметријске контроле извора зрачења, најмање једном годишње, а поред тога и од стране лица задужених за заштиту од зрачења. Сходно потребама, а према ограниченим финансијским средствима, редовно се набавља нова заштитна опрема. Резултати представљеног испитивања указали су на потребу набавке заштитних наочара и визира, те је набављено 7 нових пари наочара и 5 нових визира, који су распоређени поред свих извора зрачења који се користе у режиму флуороскопије, а поред којих особље борави приликом експозиције, а запослени су писаним путем или истицањем обавештења на месту чувања заштитних средстава обавештени о доступности нове заштитне опреме.

Предлози анализирани у спроведеном упитнику, говоре у прилог томе да би успостављање извесне инстанце у оквиру послодавца, као што је служба за заштиту од зрачења, која би имала адекватне, првенствено људске, ресурсе да се бави контролом дистрибуције и замене дозиметара, контролом употребе личних заштитних средстава као и, формалном или мање формалном, едукацијом запослених о јонизујућем зрачењу, одговорило на потребе корисника. Закон о радијационој и нуклеарној сигурности и безбедности [49] из 2018. године прописао је постојање Службе за заштиту од зрачења, а Правилник о пријављивању намере и издавању одобрења за обављање радијационе делатности [197] из

2022. године прописао је и услове за формирање службе. Према поменутиим законским актима, УКЦВ, према броју изложених радника и броју делатности високог ризика које обавља, мора успоставити Службу заштите од зрачења која броји најмање 5 чланова. Служба је и формирана 2022. године, али не као организациона јединица у којој се запослени баве искључиво питањима заштите од јонизујућег зрачења, већ као радно тело сачињено од постојећих запослених здравствених радника и сарадника УКЦВ-а, којима су, поред постојећих радних задужења лекара специјалиста радиологије, нуклеарне медицине, вишег радиолошког техничара и специјалиста медицинске физике, додељени и послови службе за заштиту од зрачења, што чини капацитете Службе врло ограниченим. Постоје одређене формално-правне препреке за формирање Службе за заштиту од зрачења на начин како је прописано поменутиим Законом и Правилником и која би могла одговорити на потребе корисника, а за даље решавање овог питања потребна је реакција Министарства здравља, јер је се поменути Закон [49] и Правилник [197] не односе само на УКЦВ, већ и на остале здравствене установе у Србији.

Већ је поменуто да се за све запослене редовно, у петогодишњим интервалима, организује законски обавезна периодична обнова знања из области заштите од јонизујућег зрачења, коју одржава правно лице овлашћено за послове едукације у области заштите од зрачења. Као први корак у додатној едукацији, организовано је предавање за лекаре на специјализацији радиологије из области заштите од зрачења од стране одговорних лица за заштиту од зрачења у УКЦВ-у, на коме млади лекари, као будући носиоци радиолошке делатности, имају прилику не само да чују најновије смернице у области заштите од зрачења, већ и да са својим колегама дискутују на ову тему, кроз примере из сопствене установе.

Према [3,44] оптимизацију заштите од зрачења чине дизајн радиолошке опреме и софтвера, адекватно постављање и калибрација опреме, редовно сервисно одржавање, контрола квалитета рада опреме, редовна калибрација мерне опреме, праћење индекса изложености пацијената, успостављање дијагностичких референтних нивоа, оптимизација протокола снимања, коришћење оптимизованих протокола, едукација и тренинг, као и спољашње провере квалитета. Јасно је да неке од наведених радњи, као што је дизајн опреме и софтвера, нису у рукама запослених у једној медицинској установи, али би корисници требало да активно учествују у одабиру радиолошке опреме коју ће користити. Предуслов за ово активно учешће у одабиру је претходно упознавања са најновијим достигнућима, кроз стручну литературу и учешће на међународним научним и стручним скуповима на којима се ова достигнућа и техничка решења презентују. Није довољно упознати се са новом опремом само кроз презентацију локалног представника продаје једног произвођача, јер је истом циљ да опрему свог произвођача прода, па неће истицати недостатке своје опреме или аспекте у којима је опрема другог произвођача боља. У Србији је контрола квалитета рада опреме регулисана законом и врши се од стране овлашћених правних лица, дакле медицински физичари запослени у установи нису овлашћени да самостално врше ову врсту контроле. Са једне стране, ово је одговарајуће решење, јер велики број здравствених установа у Србији нема капацитете, ни у погледу кадра (медицинских физичара у дијагностичкој радиологији) ни у погледу опреме (мерна опрема, фантоми), да самостално изводи све потребне радње у области контроле квалитета

рада радиолошке опреме. Ипак, оваква контрола своди се на посету спољњих контролора једном годишње, често мимо радног времена здравствене установе, због заузетости/доступности апарата, коју уговара и са којима комуницира готово искључиво само одговорно лице у тој установи, те корисници (лекари и техничари) са контролорима не долазе у контакт. Иако ову контролу обавезно прати извештај са наведеним вредностима контролираних параметара и понекад препорукама, само постојање извештаја, уколико се нико не упусти у његово тумачење, не доприноси унапређењу квалитета рада. УКЦВ је једна од ретких здравствених установа у Србији која запошљава медицинског физичара у дијагностичкој радиологији, који активно учествује на међународним едукацијама из области контроле и унапређења квалитета рада дијагностичке опреме, али УКЦВ не поседује адекватну опрему за дозиметријска мерења. Медицински физичар УКЦВ-а активно учествује, не само у организацији дозиметријских контрола од стране спољњих контролора, већ и у тумачењу дозиметријских извештаја, и, колико је у његовој моћи, дискусији са корисницима радиолошке опреме о резултатима контроле у датим препорукама, што свакако представља корак у добром правцу ка евентуалној оптимизацији и унапређењу праксе. Такође, УКЦВ је током 2025. године упутио тим од 3 члана, медицинског физичара, радиолога и радиолошког техничара, на међународну радионицу у области спољашњих провера квалитета рада по *QUAADRIL (Quality Improvement Quality Assurance Audit for Diagnostic Radiology Improvement and Learning)* методологији, у организацији *IAEA*, те се, по повратку тима, очекује да се испитају могућности примене ове методологије или бар неких њених аспеката у УКЦВ-у. Заинтересованост запослених да учествују у оваквој едукацији свакако представља корак у добром правцу, чак и ако не доведе до посете спољашњих оцењивача квалитета, јер радиолошко особље наводи на један нови начин размишљања о квалитету обављања радиолошке делатности.

7. Закључак

Измерена ефективна доза за особље у флуороскопски вођеним процедурама у Универзитетском клиничком центру Војводине креће се у опсегу од 62 до 170 μSv по процедури, док је максимална забележена вредност 375 μSv у једној процедури. Измерена доза за очно сочиво креће се у опсегу од 142 до 311 μSv по процедури, док је највиша измерена вредност 783 μSv у интервентној радиологији, односно 385 μSv у једној процедури изван интервентне радиологије. Тип коришћене опреме, али и врсте и захтеви како одређеног типа процедуре, тако и појединачног пацијента, у великој мери утичу на изложеност пацијента и особља. Поред тога, врло значајан фактор у изложености особља јесте доступност и употреба заштитних средстава, али и понашање оператера у околини извора зрачења, услед захтева процедуре, али и услед личних навика.

Изложеност особља варира у односу на област примене флуороскопије. У Универзитетском клиничком центру Војводине највиша је у области интервентне радиологије и васкуларне хирургије, док је најнижа у области ортопедске хирургије. Доза за очно сочиво већа је него ефективна доза за цело тело и најчешће представља ограничавајући фактор за годишње радно оптерећење. Дозу за очно сочиво потребно је пратити у области интервентне радиологије и уролошких дијагностичких процедура, док у областима терапије бола и ортопедске хирургије, под актуелним условима и радним оптерећењем, рутинско праћење дозе за очно сочиво није неопходно. У случају било какве битне промене праксе, процену је потребно извршити поново.

Параметри експозиције пацијента различито корелирају са изложеношћу особља, све у зависности од области примене, положаја оператера у односу на пацијента и мониторе за приказ слике и коришћења заштитних средстава. Ови параметри могу се, у одређеним областима примене, користити као параметар за оквирно праћење изложености особља, али је корелацију потребно успоставити уз добро познавање локалних услова и навика корисника, и то за сваку појединачну област примене.

Параметри експозиције пацијента, и то најчешће *DAP*, могу се, у областима интервентне радиологије и уролошких дијагностичких процедура, користити као параметар за оквирно праћење изложености особља, посебно дозе за очно сочиво, јер значајно корелира са измереним вредностима дозе за особље. Са друге стране, укупно време флуороскопирања може послужити као индикатор комплексности процедуре, али се не може користити за процену изложености особља.

Простор за оптимизацију заштите пронађен је у набавци додатне заштитне опреме за горњи део тела, а посебно очно сочиво у виду заштитних наочара, визиера и једнократних покривки за спречавање расејаног зрачења. Поред тога, запослене је потребно подстаћи на редовнију употребу како нових, тако и већ доступних додатних заштитних средстава, посебно плафонског екрана на местима где је доступан. Запослене је такође потребно подстаћи на редовнију употребу личних дозиметара, посебно оног особља коме, услед честе употребе флуороскопије, додељен сет додатних дозиметара, намењен праћењу дозе за очно сочиво и екстремитете.

8. Литература

1. Sources, effects and risks of ionizing radiation: UNSCEAR 2020/2021 report to the General Assembly, with scientific annexes. New York: United Nations; 2021.
2. ICRP Publication 117: Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures Performed Outside the Imaging Department. *Ann ICRP*. 2010 Dec;40(6):1–102.
3. ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. *Ann ICRP*. 2018 Mar;47(2):1–118.
4. ICRP publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*. 2007 Apr;37(2–4):9–34.
5. Papp C, Romano-Miller M, Descalzo A, Michelin S, Molinari A, Rossini A, Plotkin C, Bodino G, Esperanza G, Di Giorgio M, Touzet R. Results of RELID Study 2014—Buenos Aires, Argentina, Retrospective Evaluation of Lens Injuries and Dose. *Radiat Prot Dosimetry*. 2017 Apr;173(1–3):212–7.
6. Struelens L, Covens P, Benadjaoud M, Auvinen A, Gianicolo E, Wegener A, Domienik J, Carinou E, Dragusin O, Teles P, Widmark A, Ciraj-Bjelac O, Andreassi MG, Padovani R. 69. The European epidemiological study (EURALOC) on radiation-induced lens opacities among interventional cardiologists. *Phys Med*. 2018 Dec;56:106.
7. Pravilnik o granicama izlaganja jonizujućim zračenjima (Sl. gl. RS br 86/11 i Sl. gl. RS br 50/18).
8. Pravilnik o uslovima za kategorizaciju radijacionih delatnosti (Sl. gl. RS br. 94/2019, 133/2021, 30/2022, 113/2022, 81/2023, 28/2025).
9. Bushberg JT, editor. *The essential physics of medical imaging*. 3rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2012. 1030 p.
10. International Atomic Energy Agency. *Quality Assurance and Optimization for Fluoroscopically Guided Interventional Procedures*. IAEA; 2025. (IAEA Human Health Series No. 48).
11. Goodney PP, Beck AW, Nagle J, Welch HG, Zwolak RM. National trends in lower extremity bypass surgery, endovascular interventions, and major amputations. *J Vasc Surg*. 2009 July;50(1):54–60.
12. Lundh C, Ivarsson J, Falkenberg M, Båth M, Almén A. A Model for Evaluating the Use of Imaging in Image-Guided Interventional Procedures - Possible Implication on Optimisation of Radiation Protection. *Radiat Prot Dosimetry*. 2021 Oct 12;195(3–4):139–44.
13. Berkwits L, Furman MB, editors. *Atlas of image-guided spinal procedures*. Second edition. Philadelphia, PA: Elsevier, Inc; 2018. 1 p. (ClinicalKey).

14. IEC 60601-2-54:2022 Medical electrical equipment - Part 2-54: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for radiography and radioscopy.
15. IEC 60601-2-43:2010 Medical electrical equipment - Part 2-43: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for interventional procedures.
16. Padovani R, Le Heron J, Cruz-Suarez R, Duran A, Lefaure C, Miller DL, Sim HK, Vano E, Rehani M, Czarwinski R. International project on individual monitoring and radiation exposure levels in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2011 Mar 1;144(1-4):437-41.
17. Dance DR, Christofides S, Maidment ADA, McLean ID, Ng KH. *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna: IAEA; 2014.
18. IAEA Safety Standards. *Occupational Radiation Protection*. Vienna: IAEA; 2018. (General Safety Guide GSG-7).
19. Berrington A, Darby SC, Weiss HA, Doll R. 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997. *Br J Radiol*. 2001 June;74(882):507-19.
20. Yoshinaga S, Mabuchi K, Sigurdson AJ, Doody MM, Ron E. Cancer Risks among Radiologists and Radiologic Technologists: Review of Epidemiologic Studies. *Radiology*. 2004 Nov;233(2):313-21.
21. Lee T, Sigurdson AJ, Preston DL, Cahoon EK, Freedman DM, Simon SL, Nelson K, Matanoski G, Kitahara CM, Liu JJ, Wang T, Alexander BH, Doody MM, Linet MS, Little MP. Occupational ionising radiation and risk of basal cell carcinoma in US radiologic technologists (1983-2005). *Occup Environ Med*. 2015 Dec;72(12):862-9.
22. Preston DL, Kitahara CM, Freedman DM, Sigurdson AJ, Simon SL, Little MP, Cahoon EK, Rajaraman P, Miller JS, Alexander BH, Doody MM, Linet MS. Breast cancer risk and protracted low-to-moderate dose occupational radiation exposure in the US Radiologic Technologists Cohort, 1983-2008. *Br J Cancer*. 2016 Oct;115(9):1105-12.
23. Kitahara CM, Preston DL, Neta G, Little MP, Doody MM, Simon SL, Sigurdson AJ, Alexander BH, Linet MS. Occupational radiation exposure and thyroid cancer incidence in a cohort of U.S. radiologic technologists, 1983-2013. *Int J Cancer*. 2018 Nov;143(9):2145-9.
24. Berrington De González A, Ntowe E, Kitahara CM, Gilbert E, Miller DL, Kleinerman RA, Linet MS. Long-term Mortality in 43 763 U.S. Radiologists Compared with 64 990 U.S. Psychiatrists. *Radiology*. 2016 Dec;281(3):847-57.
25. Linet MS, Kitahara CM, Ntowe E, Kleinerman RA, Gilbert ES, Naito N, Lipner RS, Miller DL, Berrington De Gonzalez A, For the Multi-Specialty Occupational Health Group. Mortality in U.S. Physicians Likely to Perform Fluoroscopy-guided Interventional Procedures Compared with Psychiatrists, 1979 to 2008. *Radiology*. 2017 Aug;284(2):482-94.

26. Vañó E, González L, Guibelalde E, Fernández JM, Ten JI. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. *Br J Radiol.* 1998 Sept 1;71(849):954–60.
27. Haskal ZJ. Interventional Radiology Carries Occupational Risks for Cataracts. *RSNA News.* Vol 14. 2004;56.
28. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, Liew HB, Vano E, Kleiman NJ. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: Is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv.* 2010 Nov 15;76(6):826–34.
29. Vañó E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation Cataract Risk in Interventional Cardiology Personnel. *Radiat Res.* 2010 Oct;174(4):490–5.
30. Elmaraezy A, Ebraheem Morra M, Tarek Mohammed A, Al-Habbaa A, Elgebaly A, Abdelmotaleb Ghazy A, Khalil AM, Tien Huy N, Hirayama K. Risk of cataract among interventional cardiologists and catheterization lab staff: A systematic review and meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2017 July;90(1):1–9.
31. Little MP, Kitahara CM, Cahoon EK, Bernier MO, Velazquez-Kronen R, Doody MM, Borrego D, Miller JS, Alexander BH, Simon SL, Preston DL, Hamada N, Linet MS, Meyer C. Occupational radiation exposure and risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. *Eur J Epidemiol.* 2018 Dec;33(12):1179–91.
32. Klein LW, Dehmer GJ, Anderson HV, Rao SV. Overcoming Obstacles in Designing and Sustaining a High-Quality Cardiovascular Procedure Environment. *JACC Cardiovasc Interv.* 2020 Dec;13(23):2806–10.
33. Allisy A, Jennings WA, Kellerer AM, Müller JW, Rossi HH, Seltzer SM. ICRU Report 60: Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation. *Rep Int Comm Radiat Units Meas.* 1998 Dec;os-31(1):20–3.
34. Thomas DJ. ICRU report 85: Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation. *Radiat Prot Dosimetry.* 2012 July 1;150(4):550–2.
35. Allisy A, Jennings WA, Kellerer AM, Müller JW. ICRU Report 51: Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. *Rep Int Comm Radiat Units Meas.* 1993 Sept;os-26(2):15–8.
36. ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP.* 1991;21(1–3):1–201.
37. McNair A. ICRU Report 33: Radiation Quantities and Units. *J Label Compd Radiopharm.* 1981 Sept;18(9):1398–1398.
38. ISO 24023:2020 Plastics — Poly(methyl methacrylate) (PMMA) moulding and extrusion materials.
39. ICRP Publication 116: Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. *Ann ICRP.* 2010 Apr;40(2–5):1–257.

40. Zoetelief J. ICRU Report 74: Patient Dosimetry for X Rays Used in Medical Imaging. J ICRU. 2005 Dec;5(2):iv–vi.
41. European Commission. Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiation. LU: Publications Office; 2009.
42. IAEA TecDoc 1731: Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. Vienna: IAEA; 2014. (TECDOC Series).
43. Ciraj-Bjelac O, Carinou E, Ferrari P, Gingaume M, Merce MS, O'Connor U. Occupational Exposure of the Eye Lens in Interventional Procedures: How to Assess and Manage Radiation Dose. J Am Coll Radiol. 2016 Nov;13(11):1347–53.
44. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA; 2014. (General Safety Requirements GSR Part 3).
45. ICRP Publication 105: Radiation Protection in Medicine. Ann ICRP. 2007 Dec;37(6):3–5.
46. ICRP Publication 118: ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs — Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. Ann ICRP. 2012 Feb;41(1–2):1–322.
47. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation (SSG-46). Vienna: IAEA; 2018. (Specific Safety Guide).
48. Karaboue M. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation: medico-legal and legal-comparative study. Clin Ter. 2024 Oct 7;175(5):259–61.
49. Zakon o radijacionoj i inuklearnoj sigurnosti i bezbednosti (Sl. gl. RS br 95/18 i Sl. gl RS br 10/19).
50. Pravilnik o primeni izvora zračenja u medicini (Sl. gl RS br 1/12).
51. IAEA. Radiation Protection in Medicine: Proceedings of an International Conference Held in Bonn, Germany, 3-7 December 2012. Vienna: IAEA; 2015. 1 p. (Proceedings Series).
52. NCRP Report 168: Radiation dose management for fluoroscopically guided interventional medical procedures. Bethesda, Md: National Council on Radiation Protection and Measurements; 2011. 324 p. (NCRP report).
53. Tsapaki V, Ahmed NA, AlSuwaidi JS, Beganovic A, Benider A, BenOmrane L, Borisova R, Economides S, El-Nachef L, Faj D, Hovhannesian A, Kharita MH, Khelassi-Toutaoui N, Manatrakul N, Mirsaidov I, Shaaban M, Ursulean I, Wambani JS, Zaman A, Ziliukas J, Zontar D, Rehani MM. Radiation Exposure to Patients During Interventional Procedures in 20 Countries: Initial IAEA Project Results. Am J Roentgenol. 2009 Aug;193(2):559–69.
54. Miller DL, Vañó E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, Schueler B, Cardella JF, De Baère T. Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint

Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *J Vasc Interv Radiol*. 2010 May;21(5):607–15.

55. Ho P, Cheng SWK, Wu PM, Ting ACW, Poon JTC, Cheng CKM, Mok JHM, Tsang MS. Ionizing radiation absorption of vascular surgeons during endovascular procedures. *J Vasc Surg*. 2007 Sept;46(3):455–9.
56. Bacchim Neto FA, Alves AFF, Mascarenhas YM, Nicolucci P, Pina DRD. Occupational radiation exposure in vascular interventional radiology: A complete evaluation of different body regions. *Phys Med*. 2016 Aug;32(8):1019–24.
57. Hertault A, Bianchini A, Amiot S, Chenorhokian H, Laurent-Daniel F, Chakfé N, Lejay A. Editor's Choice – Comprehensive Literature Review of Radiation Levels During Endovascular Aortic Repair in Cathlabs and Operating Theatres. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2020 Sept;60(3):374–85.
58. Kirkwood ML, Guild JB, Arbique GM, Anderson JA, Valentine RJ, Timaran C. Surgeon radiation dose during complex endovascular procedures. *J Vasc Surg*. 2015 Aug;62(2):457–63.
59. Tuthill E, O'Hora L, O'Donohoe M, Panci S, Gilligan P, Campion D, Trenti R, Fox E, Catania D, Rainford L. Investigation of reference levels and radiation dose associated with abdominal EVAR (endovascular aneurysm repair) procedures across several European Centres. *Eur Radiol*. 2017 Nov;27(11):4846–56.
60. Tzanis E, Tsetis D, Kehagias E, Ioannou CV, Damilakis J. Occupational exposure during endovascular aneurysm repair (EVAR) and aortoiliac percutaneous transluminal angioplasty (PTA) procedures. *Radiol Med (Torino)*. 2019 June;124(6):539–45.
61. Harstall R, Heini PF, Mini RL, Orler R. Radiation Exposure to the Surgeon During Fluoroscopically Assisted Percutaneous Vertebroplasty: A Prospective Study. *Spine*. 2005 Aug;30(16):1893–8.
62. Hayda RA, Hsu RY, DePasse JM, Gil JA. Radiation Exposure and Health Risks for Orthopaedic Surgeons. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018 Apr 15;26(8):268–77.
63. Kang S, Cha ES, Bang YJ, Na TW, Lee D, Song SY, Lee WJ. Radiation exposure and fluoroscopically-guided interventional procedures among orthopedic surgeons in South Korea. *J Occup Med Toxicol*. 2020 Dec;15(1):24.
64. Ono K, Kumasawa T, Shimatani K, Kanou M, Yamaguchi I, Kunugita N. Radiation Dose Distribution of a Surgeon and Medical Staff during Orthopedic Balloon Kyphoplasty in Japan. *J Radiat Prot Res*. 2022 June 30;47(2):86–92.
65. De Coninck V, Hendrickx L, Mortiers X, Somani B, Emiliani E, Sener ET, Pietropaolo A, Jones P, Skolarikos A, Taily T, De Wachter S, Traxer O, Keller EX. Radiation exposure of urologists during endourological procedures: a systematic review. *World J Urol*. 2024 May 9;42(1):310.
66. Vassileva J, Zagorska A, Karagiannis A, Petkova K, Sabuncu K, Saltirov I, Sarica K, Skolarikos A, Stavridis S, Trinchieri A, Tzelves L, Ulus I, Yuruk E. Radiation Exposure

of Surgical Team During Endourological Procedures: International Atomic Energy Agency–South-Eastern European Group for Urolithiasis Research Study. *J Endourol.* 2021 May 1;35(5):574–82.

67. Manchikanti L, Cash KA, Moss TL, Rivera J, Pampati V. Risk of whole body radiation exposure and protective measures in fluoroscopically guided interventional techniques: a prospective evaluation. *BMC Anesthesiol.* 2003 Aug 6;3(1):2.
68. Nicol AL, Benzon HT, Liu BP. Radiation Exposure in Interventional Pain Management: We Still Have Much to Learn. *Pain Pract.* 2015 June;15(5):389–92.
69. Zhitny VP, Do K, Kawana E, Do J, Wajda MC, Gaultier RT, Goodman AJ, Zou S. Radiation Exposure in Interventional Pain Management Physicians: A Systematic Review of the Current Literature. *Pain Physician.* 2024 Jan;27(1):E17–35.
70. Martin CJ. Eye Lens Dosimetry for Fluoroscopically Guided Clinical Procedures: Practical Approaches to Radiation Protection and Dose Monitoring. *Radiat Prot Dosimetry.* 2016 June;169(1–4):286–91.
71. Domienik J, Brodecki M, Rusicka D. A study of the dose distribution in the region of the eye lens and extremities for staff working in interventional cardiology. *Radiat Meas.* 2012 Feb;47(2):130–8.
72. Jungi S, Ante M, Geisbüsch P, Hoedlmoser H, Kleinau P, Böckler D. Protected and Unprotected Radiation Exposure to the Eye Lens During Endovascular Procedures in Hybrid Operating Rooms. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2022 Nov;64(5):567–72.
73. Morcillo AB, Alejo L, Huerga C, Bayón J, Marín A, Corredoira E, Novo JR, Hernández T, Ponce MD, Garzón G, Vañó E, Guibelalde E. Occupational doses to the eye lens in pediatric and adult noncardiac interventional radiology procedures. *Med Phys.* 2021 Apr;48(4):1956–66.
74. Psarras M, Ploussi A, Carinou E, Brountzos E, Spiliopoulos SC, Palialexis K, Kelekis A, Filippiadis D, Seimenis I, Efstathopoulos EP. Radiation Doses to the Eye Lens and Forehead of Interventional Radiologists: How High and on What Grounds? *Radiat Prot Dosimetry.* 2020 Aug 28;190(2):150–7.
75. Wilson-Stewart KS, Fontanarosa D, Malacova E, Trapp JV. A comparison of patient dose and occupational eye dose to the operator and nursing staff during transcatheter cardiac and endovascular procedures. *Sci Rep.* 2023 Feb 10;13(1):2391.
76. Kesavachandran CN, Haamann F, Nienhaus A. Radiation exposure of eyes, thyroid gland and hands in orthopaedic staff: a systematic review. *Eur J Med Res.* 2012 Dec;17(1):28.
77. Cuenca C, Mention PJ, Vergnenegre G, Matthieu PA, Charissoux JL, Marcheix PS. Are orthopedic surgeons exposed to excessive eye irradiation? A prospective study of lens irradiation in orthopedics and traumatology. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2019 May;105(3):569–72.

78. Cheriachan D, Hughes AM, Du Moulin WSM, Williams C, Molnar R. Ionizing Radiation Doses Detected at the Eye Level of the Primary Surgeon During Orthopaedic Procedures. *J Orthop Trauma*. 2016 July;30(7):e230–5.
79. Romanova K, Vassileva J, Alyakov M. Radiation exposure to the eye lens of orthopaedic surgeons during various orthopaedic procedures. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015 July;165(1–4):310–3.
80. Apelmann C, Kowald B, Weinrich N, Dischinger J, Nienhaus A, Seide K, Martens H, Jürgens C. Radiation Dose to the Eye Lens through Radiological Imaging Procedures at the Surgical Workplace during Trauma Surgery. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Oct 11;16(20):3850.
81. Vañó E, Gonzalez L, Fernández JM, Haskal ZJ. Eye Lens Exposure to Radiation in Interventional Suites: Caution Is Warranted. *Radiology*. 2008 Sept;248(3):945–53.
82. Thornton RH, Dauer LT, Altamirano JP, Alvarado KJ, St. Germain J, Solomon SB. Comparing Strategies for Operator Eye Protection in the Interventional Radiology Suite. *J Vasc Interv Radiol*. 2010 Nov;21(11):1703–7.
83. Koukorava C, Carinou E, Simantirakis G, Vrachliotis TG, Archontakis E, Tierris C, Dimitriou P. Doses to operators during interventional radiology procedures: focus on eye lens and extremity dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry*. 2011 Mar 1;144(1–4):482–6.
84. Jacob S, Boveda S, Bar O, Brézin A, Maccia C, Laurier D, Bernier MO. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: Results of a French multicenter observational study. *Int J Cardiol*. 2013 Sept;167(5):1843–7.
85. Martin CJ, Magee JS. Assessment of eye and body dose for interventional radiologists, cardiologists, and other interventional staff. *J Radiol Prot*. 2013 June;33(2):445–60.
86. The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry, and Research (ISEMIR): interventional cardiology. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014.
87. Vanhavere F, Carinou E, Gualdrini G, Clairand I, Merce MS, Ginjaume M. The ORAMED Project: Optimisation of Radiation Protection for Medical Staff. In: *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7 - 12, 2009, Munich, Germany*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2009. p. 470–3.
88. Sánchez RM, Vañó E, Fernández JM, Rosales F, Sotil J, Carrera F, García MA, Soler MM, Hernández-Armas J, Martínez LC, Verdú JF. Staff Doses in Interventional Radiology: A National Survey. *J Vasc Interv Radiol*. 2012 Nov;23(11):1496–501.
89. Clement CH, Vañó E, International Commission on Radiological Protection, editors. *Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures*. Amsterdam: Elsevier; 2011. 68 p. (Annals of the ICRP).
90. Pravilnik o utvrđivanju programa za dopunsko obučavanje i osposobljavanje profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mera zaštite od jonizujućeg zračenja (Sl. gl. RS br 31/2011).

91. Hirshfeld JW, Ferrari VA, Bengel FM, Bergersen L, Chambers CE, Einstein AJ, Eisenberg MJ, Fogel MA, Gerber TC, Haines DE, Laskey WK, Limacher MC, Nichols KJ, Pryma DA, Raff GL, Rubin GD, Smith D, Stillman AE, Thomas SA, Tsai TT, Wagner LK, Samuel Wann L, ACC Task Force On Expert Consensus Decision Pathways, Januzzi JL, Afonso LC, Everett B, Hernandez AF, Hucker W, Jneid H, Kumbhani D, Edward Marine J, Morris PB, Piana RN, Watson KE, Wiggins BS. 2018 ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT Expert Consensus Document on Optimal Use of Ionizing Radiation in Cardiovascular Imaging: Best Practices for Safety and Effectiveness. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2018 Aug;92(2).
92. Modarai B, Haulon S, Ainsbury E, Böckler D, Vano-Carruana E, Dawson J, Farber M, Van Herzele I, Hertault A, Van Herwaarden J, Patel A, Wanhainen A, Weiss S, Esvs Guidelines Committee, Bastos Gonçalves F, Björck M, Chakfé N, De Borst GJ, Coscas R, Dias NV, Dick F, Hinchliffe RJ, Kakkos SK, Koncar IB, Kolh P, Lindholt JS, Trimarchi S, Tulamo R, Twine CP, Vermassen F, Document Reviewers, Bacher K, Bruntzos E, Fanelli F, Fidalgo Domingos LA, Gargiulo M, Mani K, Mastracci TM, Maurel B, Morgan RA, Schneider P. Editor's Choice – European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2023 Clinical Practice Guidelines on Radiation Safety. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2023 Feb;65(2):171–222.
93. Kratki sadržaji saopćenja - I jugoslovenski simpozijum o radiološkoj zaštiti. 1963.
94. Zbornik radova IV Jugoslovenskog simpozijuma o radiološkoj zaštiti. 1969.
95. Đurović B, Đurović B, Spasic-Jokic V. Profesionalna ekspozicija jonizujućem zračenju i katarakta. *Vojnosanit Pregl.* 61(4):387–90.
96. Arandjic D, Ciraj-Bjelac O, Božović P, Lazarević Đ, Ivković B. Doze za medicinsko osoblje u interventnim procedurama u Srbiji. In: Zbornik abstrakata i program. Zlatibor, Srbija: Društvo za ETRAN, Beograd; 2012.
97. Antic V, Ciraj-Bjelac O, Aleksandrić S, Ostojić M. Results of eye lens dose measurements for interventional cardiology staff. In: IFMBE Proceedings. Beijing, China: Springer, Berlin, Heidelberg; 2012. p. 1139–41.
98. Kaljevic J, Ciraj-Bjelac O, Stanković S. J, Arandjic D, Božović P, Antic V. Occupational doses in interventional cardiology. In: Proceedings of Abstracts and Program. Vrnjačka banja, Srbija: Elektrotehnički fakultet, Beograd; 2014.
99. Božović P, Ciraj-Bjelac O, Arandjic D, Karadžić K, Stanković Petrović J, Čeklić S. Procena doze za očno sočivo kardiologa u interventnim procedurama na osnovu doze za celo telo. In: Zbornik radova. Vršac, Srbija: INN Vinča, Beograd; 2015. p. 307–10.
100. Arandjic D, Ciraj-Bjelac O, Božović P, Antic V, Stanković Petrović J. Uticaj stepena uvećanja slike na nivo rasejanog zračenja u okolini pacijenta u interventnoj radiologiji. In: Zbornik radova. Vrnjačka banja, Srbija: INN Vinča, Beograd; 2013. p. 189–92.
101. Ciraj-Bjelac O, Arandjic D, Božović P, Čeklić S, Stanković S. J, Lazarević Đ. Assessment of Occupational Dose in Fluoroscopy Procedures When Individual Monitoring Is Not Utilized. In: RAD Conference Proceedings. Budva, Montenegro; 2015. p. 195–8.

102. Ciraj-Bjelac O, Arandjic D, Božović P, Čeklić S, Stanković Petrović J, Kaljevic J. Monitoring doze za očno sočivo u interventnoj radiologiji i kardiologiji. In: Zbornik radova. Srebrno jezero, Srbija: INN Vinča, Beograd; 2017. p. 241–8.
103. Ciraj-Bjelac O, Arandjic D, Božović P, Stanković S. J, Antic V, Čeklić S, Lazarević Đ. Towards Eye Lens Dose Assessment in Electrophysiology Procedures. In: 7th AAMP Meeting Proceedings. Zagreb, Croatia; 2016. p. 231–3.
104. Antic V, Ciraj-Bjelac O, Selaković J, Božović P, Arandjic D, Pavlovic S. Procena doze za očno sočivo za profesionalno izložena lica tokom CRT Procedura. In: Zbornik radova. Srebrno jezero, Srbija: INN Vinča, Beograd; 2017. p. 249–53.
105. Kaljevic J, Ciraj-Bjelac O, Stankovic J, Arandjic D, Bozovic P, Antic V. Occupational Dose Assessment in Interventional Cardiology in Serbia. Radiat Prot Dosimetry. 2016 Sept;170(1–4):279–83.
106. Antic V, Ciraj-Bjelac O, Rehani M, Aleksandric S, Arandjic D, Ostojic M. Eye lens dosimetry in interventional cardiology: results of staff dose measurements and link to patient dose levels. Radiat Prot Dosimetry. 2013 May 1;154(3):276–84.
107. Ciraj-Bjelac O, Antic V, Selakovic J, Bozovic P, Arandjic D, Pavlovic S. Eye Lens Exposure to Medical Staff Performing Electrophysiology Procedures: Dose Assessment and Correlation to Patient Dose. Radiat Prot Dosimetry. 2016 Dec;172(4):475–82.
108. Antic V, Ciraj-Bjelac O, Božović P, Durutović O. Assessment of the occupational exposure of urologists during percutaneous nephrolithotomy surgical interventions. In: Book of Abstracts. Herceg Novi, Montenegro: RAD Centre, Niš, Serbia; 2019. p. 284.
109. Božović P, Ciraj-Bjelac O, Petrović JS. Occupational Eye Lens Dose Estimated Using Whole-Body Dosimeter in Interventional Cardiology and Radiology: A Monte Carlo Study. Radiat Prot Dosimetry. 2019 Dec 23;185(2):135–42.
110. Ferrari P, Venturi G, Campani L, Mariotti F, Becker F, Jansen J, Jovanović Z, Krstić D, Teles P. Medical staff monitoring in interventional cardiology: over apron dosimeter placement based on measurements and simulations. Radiat Prot Dosimetry. 2024 June 3;200(8):802–7.
111. Ferrari P, Becker F, Jovanovic Z, Khan S, Bakhanova E, Principi S, Krstic D, Pierotti L, Mariotti F, Faj D, Turk T, Nikezic D, Bertolini M. Simulation of $H_p(10)$ and effective dose received by the medical staff in interventional radiology procedures. J Radiol Prot. 2019 Sept;39(3):809–24.
112. Ginjaume M, Carinou E, Brodecki M, Clairand I, Domienik-Andrzejewska J, Exner L, Ferrari P, Jovanović Z, Krstic D, Principi S, Van Hoey O, Vanhavere F. Effect of the radiation protective apron on the response of active and passive personal dosimeters used in interventional radiology and cardiology. J Radiol Prot. 2019 Jan;39(1):97.
113. Kuzmanović P, Savić K, Bogdanović Vasić S, Mrđa D, Forkapić S, Bikit K, Knežević Radić J. Radiation exposures of staff in diagnostic radiology in Serbian general hospitals. In: Book of Abstracts. Herceg Novi, Montenegro: RAD Centre, Niš, Serbia; 2023. p. 221.

114. Kaljevic J, Božović P, Stanković Petrović J. Procena izlaganja radiološkog osoblja u domovima zdravlja. In: Zbornik radova. Vršac, Srbija: INN Vinča, Beograd; 2015. p. 277–82.
115. ICRP Publication 85: Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP*. 2000 June;30(2):7–7.
116. Akoglu H. User's guide to correlation coefficients. *Turk J Emerg Med*. 2018 Sept;18(3):91–3.
117. Durán A, Hian SK, Miller DL, Le Heron J, Padovani R, Vano E. Recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013 July;82(1):29–42.
118. Martin CJ. Personal dosimetry for interventional operators: when and how should monitoring be done? *Br J Radiol*. 2011 July;84(1003):639–48.
119. Efsthopoulos EP, Pantos I, Andreou M, Gkatzis A, Carinou E, Koukorava C, Kelekis NL, Brountzos E. Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures. *Br J Radiol*. 2011 Jan;84(997):70–7.
120. Magee JS, Martin CJ, Sandblom V, Carter MJ, Almén A, Cederblad Å, Jonasson P, Lundh C. Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology. *J Radiol Prot*. 2014 Dec;34(4):811–23.
121. Harbron RW, Abdelhalim MA, Ainsbury EA, Eakins JS, Modarai B. Editor's Choice – Estimated Radiation Dose to the Operator During Endovascular Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2023 Aug;66(2):178–85.
122. Sailer AM, Schurink GWH, Bol ME, De Haan MW, Van Zwam WH, Wildberger JE, Jeukens CRLPN. Occupational Radiation Exposure During Endovascular Aortic Repair. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2015 Aug;38(4):827–32.
123. Attigah N, Oikonomou K, Hinz U, Knoch T, Demirel S, Verhoeven E, Böckler D. Radiation exposure to eye lens and operator hands during endovascular procedures in hybrid operating rooms. *J Vasc Surg*. 2016 Jan;63(1):198–203.
124. Principi S, Farah J, Ferrari P, Carinou E, Clairand I, Ginjaume M. The influence of operator position, height and body orientation on eye lens dose in interventional radiology and cardiology: Monte Carlo simulations versus realistic clinical measurements. *Phys Med*. 2016 Sept;32(9):1111–7.
125. Nowak M, Sans-Merce M, Lemesre C, Elmiger R, Damet J. Eye lens monitoring programme for medical staff involved in fluoroscopy guided interventional procedures in Switzerland. *Phys Med*. 2019 Jan;57:33–40.
126. Dias NV, Andersson M. Complete Radiation Protection? The Operator's Nirvana During Endovascular Aneurysm Repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2023 Aug;66(2):186–7.
127. De Ruyter QMB, Jansen MM, Moll FL, Hazenberg CEVB, Kahya NN, Van Herwaarden JA. Procedure and step-based analysis of the occupational radiation dose during

- endovascular aneurysm repair in the hybrid operating room. *J Vasc Surg.* 2018 June;67(6):1881–90.
128. Efthymiou FO, Kakkos SK, Metaxas VI, Dimitroukas CP, Moulakakis KG, Papadoulas SI, Kouri NK, Tsimpoukis AL, Nikolakopoulos KM, Papageorgopoulou CP, Panayiotakis GS. Factors influencing Fluoroscopy time in Endovascular Treatment of Abdominal Aneurism: A Retrospective Study. *Radiat Prot Dosimetry.* 2023 Apr 5;199(5):443–52.
 129. Efthymiou FO, Metaxas VI, Dimitroukas CP, Kakkos SK, Panayiotakis GS. Kerma-Area Product, Entrance Surface Dose and Effective Dose in Abdominal Endovascular Aneurism Repair. *Radiat Prot Dosimetry.* 2021 July 14;194(2–3):121–34.
 130. Van Den Haak RFF, Hamans BC, Zuurmond K, Verhoeven BAN, Koning OHJ. Significant Radiation Dose Reduction in the Hybrid Operating Room Using a Novel X-ray Imaging Technology. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2015 Oct;50(4):480–6.
 131. Harbron RW, Abdelhalim M, Ainsbury EA, Eakins JS, Alam A, Lee C, Modarai B. Patient radiation dose from x-ray guided endovascular aneurysm repair: a Monte Carlo approach using voxel phantoms and detailed exposure information. *J Radiol Prot.* 2020 Sept;40(3):704–26.
 132. Tzanis E, Ioannou CV, Tsetis D, Lioudaki S, Matthaiou N, Damilakis J. Complexity-based local diagnostic reference levels (DRLs) for standard endovascular aneurysm repair (EVAR) procedures. *Phys Med.* 2020 May;73:89–94.
 133. Mao L, Liu T, Caracappa PF, Lin H, Gao Y, Dauer LT, Xu XG. Influences of operator head posture and protective eyewear on eye lens doses in interventional radiology: A Monte Carlo Study. *Med Phys.* 2019 June;46(6):2744–51.
 134. Barry TP. Radiation exposure to an orthopedic surgeon. *Clin Orthop.* 1984;(182):160–4.
 135. Lo NN, Goh PS, Khong KS. Radiation dosage from use of the image intensifier in orthopaedic surgery. *Singapore Med J.* 1996 Feb;37(1):69–71.
 136. O'Rourke PJ, Crerand S, Harrington P, Casey M, Quinlan W. Risks of radiation exposure to orthopaedic surgeons. *J R Coll Surg Edinb.* 1996 Feb;41(1):40–3.
 137. Sanders R, Koval K, DiPasquale T, Schmelling G, Stenzler S, Ross E. Exposure of the orthopaedic surgeon to radiation. *J Bone Jt Surg.* 1993 Mar 1;75(3):326–30.
 138. Matityahu A, Duffy RK, Goldhahn S, Joeris A, Richter PH, Gebhard F. The Great Unknown—A systematic literature review about risk associated with intraoperative imaging during orthopaedic surgeries. *Injury.* 2017 Aug;48(8):1727–34.
 139. Tasbas BA, Yagmurlu MF, Bayrakci K, Ucaner A, Heybeli M. Which one is at risk in intraoperative fluoroscopy? Assistant surgeon or orthopaedic surgeon? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2003 June;123(5):242–4.
 140. Roccatagliata L, Presilla S, Pravata E, Cianfoni A. Radiation dose to the operator during fluoroscopically guided spine procedures. *Neuroradiology.* 2017 Sept;59(9):885–92.

141. Mahajan A. Occupational Radiation Exposure from C Arm Fluoroscopy During Common Orthopaedic Surgical Procedures and its Prevention. *J Clin Diagn Res.* 2015;
142. Hurley RJ, McCabe FJ, Turley L, Maguire D, Lucey J, Hurson CJ. Whole-body radiation exposure in Trauma and Orthopaedic surgery. *Bone Jt Open.* 2022 Nov 1;3(11):907–12.
143. Liyanage LRS, Wickramarathne HT, Kalpana PRU, Hewavithana PB. Assessment of Radiation Protection Measures to Minimize Occupational Radiation Exposure from C-arm Fluoroscopy During Common Orthopaedic Surgical Procedures. *Sri Lankan J Health Sci.* 2022 Dec 31;1(2):9–15.
144. Tsalafoutas IA, Tsapaki V, Kaliakmanis A, Pneumaticos S, Tsoronis F, Koulentianos ED, Papachristou G. Estimation of radiation doses to patients and surgeons from various fluoroscopically guided orthopaedic surgeries. *Radiat Prot Dosimetry.* 2007 June 11;128(1):112–9.
145. Suzuki A, Matsubara K, Sasa Y. Measurement of Radiation Doses to the Eye Lens During Orthopedic Surgery Using an C-arm X-ray System. *Radiat Prot Dosimetry.* 2018 Apr 1;179(2):189–95.
146. Tamaki Y, Yamashita K, Nakajima D, Omichi Y, Takahashi Y, Takai M, Tamaki S, Goto T, Hayashi H, Higashino K, Tsuruo Y, Sairyō K. Radiation exposure doses to the surgical team during hip surgery is significantly higher during lateral imaging than posteroanterior imaging: a cadaveric simulation study. *J Occup Med Toxicol.* 2023 Nov 30;18(1).
147. Harrison Farber S, Nayar G, Desai R, Reiser EW, Byrd SA, Chi D, Idler C, Isaacs RE. Radiation exposure to the surgeon during minimally invasive spine procedures is directly estimated by patient dose. *Eur Spine J.* 2018 Aug;27(8):1911–7.
148. Fishman S, Smith H, Meleger A, Seibert J. Radiation safety in pain medicine. *Reg Anesth Pain Med.* 2002 May;27(3):296–305.
149. Botwin KP, Freeman ED, Gruber RD, Torres-Rames FM, Bouchtas CG, Sanelli JT, Hanna AF. Radiation exposure to the physician performing fluoroscopically guided caudal epidural steroid injections. *Pain Physician.* 2001 Oct;4(4):343–8.
150. Botwin KP, Thomas S, Gruber RD, Torres FM, Bouchlas CC, Rittenberg JJ, Rao S. Radiation exposure of the spinal interventionalist performing fluoroscopically guided lumbar transforaminal epidural steroid injections. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002 May;83(5):697–701.
151. Botwin KP, Fuoco GS, Torres FM, Gruber RD, Bouchlas CC, Castellanos R, Rao S. Radiation exposure to the spinal interventionalist performing lumbar discography. *Pain Physician.* 2003 July;6(3):295–300.
152. Manchikanti L, Cash KA, Moss TL, Pampati V. Radiation exposure to the physician in interventional pain management. *Pain Physician.* 2002 Oct;5(4):385–93.
153. Manchikanti L, Cash KA, Moss TL, Pampati V. Effectiveness of protective measures in reducing risk of radiation exposure in interventional pain management: a prospective evaluation. *Pain Physician.* 2003 July;6(3):301–5.

154. Manchikanti L, Cash KA, Moss TL, Rivera J, Pampati V. Risk of whole body radiation exposure and protective measures in fluoroscopically guided interventional techniques: a prospective evaluation. *BMC Anesthesiol.* 2003 Aug 6;3(1):2.
155. Park S, Kim M, Kim JH. Radiation safety for pain physicians: principles and recommendations. *Korean J Pain.* 2022 Apr 1;35(2):129–39.
156. Baek SW, Ryu JS, Jung CH, Lee JH, Kwon WK, Woo NS, Kim HK, Kim JH. A Randomized Controlled Trial about the Levels of Radiation Exposure Depends on the Use of Collimation C-arm Fluoroscopic-guided Medial Branch Block. *Korean J Pain.* 2013 Apr 3;26(2):148–53.
157. Dietrich TJ, Peterson CK, Zeimpekis KG, Bensler S, Sutter R, Pfirrmann CWA. Fluoroscopy-guided versus CT-guided Lumbar Steroid Injections: Comparison of Radiation Exposure and Outcomes. *Radiology.* 2019 Mar;290(3):752–9.
158. Choi EJ, Go G, Han WK, Lee PB. Radiation exposure to the eyes and thyroid during C-arm fluoroscopy-guided cervical epidural injections is far below the safety limit. *Korean J Pain.* 2020 Jan 1;33(1):73–80.
159. Nguyen D, Piché F, Mares C, Denis I. Radiation exposure in fluoroscopy guided spinal interventions: A prospective observational study of standard practice in a physiatry academic center. *Interv Pain Med.* 2023 Sept;2(3):100273.
160. Kim TW, Jung JH, Jeon HJ, Yoon KB, Yoon DM. Radiation Exposure to Physicians During Interventional Pain Procedures. *Korean J Pain.* 2010 Mar 31;23(1):24–7.
161. Kelly R, McMahon A, Hegarty D. Ionizing Radiation Dose Exposure to the Ocular Region of Pain Physicians During C-arm Guided Pain Interventions. *Pain Physician.* 2018 Sept;21(5):E523–32.
162. Zhou Y, Singh N, Abdi S, Wu J, Crawford J, Furgang FA. Fluoroscopy radiation safety for spine interventional pain procedures in university teaching hospitals. *Pain Physician.* 2005 Jan;8(1):49–53.
163. Slegers AS, Gültuna I, Aukes JA, Van Gorp EJJAA, Blommers FMN, Niehof SP, Bosman J. Coaching Reduced the Radiation Dose of Pain Physicians by Half during Interventional Procedures. *Pain Pract.* 2015 June;15(5):400–6.
164. Lowe FC, Auster M, Beck TJ, Chang R, Marshall FF. Monitoring radiation exposure to medical personnel during percutaneous nephrolithotomy. *Urology.* 1986 Sept;28(3):221–6.
165. Rao PN, Faulkner K, Sweeney JK, Asbury DL, Sambrook P, Blacklock NJ. Radiation Dose to Patient and Staff during Percutaneous Nephrostolithotomy. *Br J Urol.* 1987 June;59(6):508–12.
166. Giblin JG, Rubenstein J, Taylor A, Pahira J. Radiation risk to the urologist during endourologic procedures, and a new shield that reduces exposure. *Urology.* 1996 Oct;48(4):624–7.

167. Tse V, Lising J, Khadra M, Chiam Q, Nugent R, Yeaman L, Mulcahy M. Radiation Exposure During Fluoroscopy: Should We Be Protecting Our Thyroids? *Aust N Z J Surg.* 1999 Dec;69(12):847–8.
168. Vañó E, Fernandez JM, Resel LE, Moreno J, Sanchez RM. Staff lens doses in interventional urology. A comparison with interventional radiology, cardiology and vascular surgery values. *J Radiol Prot.* 2016 Mar;36(1):37–48.
169. Medici S, Pitzschke A, Cherbuin N, Boldini M, Sans-Merce M, Damet J. Eye lens radiation exposure of the medical staff performing interventional urology procedures with an over-couch X-ray tube. *Phys Med.* 2017 Nov;43:140–7.
170. Hristova-Popova J, Zagorska A, Saltirov I, Petkova K, Vassileva J. Risk of radiation exposure to medical staff involved in interventional endourology. *Radiat Prot Dosimetry.* 2015 July;165(1–4):268–71.
171. Alkhorayef M, Sulieman A, Barakat H, Al-Mohammed HI, Theodorou K, Kappas C, Bradley D. Urethrographic examinations: Patient and staff exposures and associated radiobiological risks. *Saudi J Biol Sci.* 2021 Jan;28(1):35–9.
172. Ozaki K, Fukawa T, Kawanaka T, Daizumoto K, Sasaki Y, Ueno Y, Tsuda M, Kusuhara Y, Yamamoto Y, Yamaguchi K, Takahashi M, Kanayama H. Appropriate management reduces radiation exposure in daily urological practice. *Int J Urol.* 2022 Oct;29(10):1207–12.
173. Ritter M, Krombach P, Martinschek A, Siegel FP, Schmitt M, Weiss C, Häcker A, Pelzer AE. Radiation Exposure During Endourologic Procedures Using Over-the-Table Fluoroscopy Sources. *J Endourol.* 2012 Jan;26(1):47–51.
174. Hartmann J, Distler F, Baumüller M, Guni E, Pahernik S, Wucherer M. Risk of Radiation-Induced Cataracts: Investigation of Radiation Exposure to the Eye Lens During Endourologic Procedures. *J Endourol.* 2018 Oct;32(10):897–903.
175. King JN, Champlin AM, Kelsey CA, Tripp DA. Using a Sterile Disposable Protective Surgical Drape for Reduction of Radiation Exposure to Interventionalists. *Am J Roentgenol.* 2002 Jan;178(1):153–7.
176. Miller TR, Zhuo J, Jindal G, Shivashankar R, Beaty N, Gandhi D. The Efficacy of Shielding Systems for Reducing Operator Exposure during Neurointerventional Procedures: A Real-World Prospective Study. *Am J Neuroradiol.* 2017 Mar;38(3):450–4.
177. Saha S, Kapoor A, Raut K, Katheria A, Khare H, Sahu A, Khanna R, Kumar S, Garg N, Tewari S. RADIATION Dose Attenuation using RADPAD in CATH lab for primary and secondary operators – RADAR-CATH STUDY. *AsiaIntervention.* 2024 July;10(2):135–43.
178. Bahar AR, Khanal R, Hamza M, Goru RK, Shafiq A, Haider MZ, Basit SA, Bahar Y, Umer AM, Sattar Y, Alraies MC. Assessing the Efficacy of RADPAD Protection Drape in Reducing Radiation Exposure to Operators in the Cardiac Catheterization Laboratory: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus.* 2024 Apr 28;

179. Power S, Mirza M, Thakorlal A, Ganai B, Gavagan LD, Given MF, Lee MJ. Efficacy of a Radiation Absorbing Shield in Reducing Dose to the Interventionalist During Peripheral Endovascular Procedures: A Single Centre Pilot Study. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2015 June;38(3):573–8.
180. Tzanis E, Tsetis D, Kehagias E, Ioannou CV, Damilakis J. Occupational exposure during endovascular aneurysm repair (EVAR) and aortoiliac percutaneous transluminal angioplasty (PTA) procedures. *Radiol Med (Torino)*. 2019 June;124(6):539–45.
181. Kloeze C, Klompenhouwer EG, Brands PJM, Van Sambeek MRHM, Cuypers PWM, Teijink JAW. Editor's Choice - Use of Disposable Radiation-absorbing Surgical Drapes Results in Significant Dose Reduction During EVAR Procedures. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2014 Mar;47(3):268–72.
182. Rose A, Rae WID. Personal Protective Equipment Availability and Utilization Among Interventionalists. *Saf Health Work*. 2019 June;10(2):166–71.
183. Gasiea RY, Rogers A, Lakshminarayan R, Hamady M, Huasen B. Radiation protection: safety measures and knowledge among interventional radiologists- a UK-based analysis of current practices and recommendations for improvement. *CVIR Endovasc*. 2025 Apr 22;8(1).
184. Ainsbury EA, Bouffler S, Cocker M, Gilvin P, Holt E, Peters S, Slack K, Williamson A. Public Health England survey of eye lens doses in the UK medical sector. *J Radiol Prot*. 2014 Mar;34(1):15–29.
185. Antunes-Raposo JA, França D, Lima A, Mendonça-Galaio L, Sacadura-Leite EM. Evaluation of personal protective equipment use in healthcare workers exposed to ionizing radiation in a Portuguese university hospital. *Rev Bras Med Trab*. 2022;20(02):240–8.
186. Raza M, Geleit R, Houston J, Williams R, Trompeter A. Radiation in orthopaedics (RIO) study: a national survey of UK orthopaedic surgeons. *Br J Radiol*. 2021 Sept 1;94(1125):20210736.
187. Al Mohammad B, Gharaibeh M, Al Alakhras M. Knowledge and practice of radiation protection in the operating theater among orthopedic surgeons. *J Med Imaging*. 2022 Nov 11;9(06).
188. Umanes MM, Clayton EO, Iglesias B, Whicker EA, Olgun ZD, Donaldson W, Hogan M. Protecting the Orthopaedic Surgeon: An Institutional Review of Radiation Safety Practices, Knowledge, and Risks. *JBJS Open Access*. 2025 Apr;10(2).
189. Henderickx MMEL, Baard J, Beerlage HP, Kamphuis GM. Fluoroscopy-use during ureterorenoscopy: are urologists concerned about radiation exposure? A nationwide survey in Belgium and The Netherlands. *Acta Chir Belg*. 2021 May 4;121(3):170–7.
190. Sánchez RM, Vañó E, Fernández JM, Pifarré X, Ordiales JM, Rovira JJ, Carrera F, Goicolea J, Fernández-Ortiz A. Occupational eye lens doses in interventional cardiology. A multicentric study. *J Radiol Prot*. 2016 Mar;36(1):133–43.

191. Meisinger QC, Stahl CM, Andre MP, Kinney TB, Newton IG. Radiation Protection for the Fluoroscopy Operator and Staff. *Am J Roentgenol.* 2016 Oct;207(4):745–54.
192. Bhattacharya S. Back Pain and Radioprotective Gowns in Orthopedics: The Gender Gap. *Orthop Proc.* 2023 Apr 17;105-B(SUPP_9):26–26.
193. Jaiman A, Prakash J, Chopra RK, Neogi DS. Time to Look for Ergonomically Viable Designs of Radiation Protection Aprons and Thyroid Shields in Orthopedic Surgery: A Survey of 416 Orthopedic Surgeons. *Cureus.* 2023 Nov 7;
194. Andrew S, Abdelmonem MR, Kohli S, Dabke H. Evaluation of Back Pain and Lead Apron Use Among Staff at a District General Hospital. *Cureus.* 2021 Oct;13(10):e18859.
195. Vañó E, Fernández JM, Sánchez RM, Dauer LT. Realistic Approach to Estimate Lens Doses and Cataract Radiation Risk in Cardiology When Personal Dosimeters Have not Been Regularly Used. *Health Phys.* 2013 Oct;105(4):330–9.
196. Nugent M, Carmody O, Dudeney S. Radiation safety knowledge and practices among Irish orthopaedic trainees. *Ir J Med Sci* 1971 -. 2015 June;184(2):369–73.
197. Pravilnik o prijavljanju namere i izdavanju odobrenja za obavljanje radijacione delatnosti (Sl. gl. RS br 30/2022, 81/2023, 16/2024).

Прилог 1 – Резултати мерења и забележени подаци

Интервентна радиологија и васкуларна хирургија

Р бр пац				Водећи оператер						Оператер асистент						Васкуларни хирург				
	К	DAP	FT	Лево	Сред.	Десно	Испод	Преко	Прс	Лево	Сред.	Десно	Испод	Преко	Прс	Лево	Сред.	Десно	Испод	Преко
	[mGy]	[Gy·cm ²]	[min]	[μSv]																
1	108	50.8	5.2	/	/	/	/	/	/	315.1	298.4	308.0	80	90	/	262.1	307.6	279.0	/	/
2	267	97.1	44.9	540.3	347.2	320.3	/	/	/	424.0	454.8	389.8	/	/	/	668.2	673.9	350.1	/	/
3	593	257.9	40.5	492.9	469.0	415.2	/	/	/	403.3	874.3	375.1	/	/	/	810.4	394.4	788.1	/	/
4	541	90.5	26.4	267.3	262.7	205.1	/	/	/	166.2	152.3	142.2	/	/	/	96.2	123.8	114.5	/	/
5	297	44.4	30.9	208.9	193.9	174.2	/	/	/	145.1	660.0	117.6	/	/	/	151.7	257.6	223.4	/	/
6	185	79.9	12.1	308.2	235.7	232.6	80	400	150	268.4	202.1	213.8	70	150	120	160.7	275.4	304.2	/	/
7	323	163	38.5	389.3	335.7	426.9	73.09	556.4	1010	314.0	276.5	237.4	66.795	339.72	850	244.4	270.6	320.1	161.8	175.74
8	657	281	15.3	948.8	773.4	627.9	210	850	670	282.5	327.6	313.0	60	150	140	296.6	480.2	607.2	103.2	137.16
9	287	81.6	11.2	300.8	258.6	255.5	174.4	509.8	330	152.3	153.4	151.0	153.25	211.24	140	113.6	136.0	158.0	98.01	169.74
10	206	45.389	13.6	236.9	267.4	227.3	145.3	266.3	170	197.8	188.0	170.9	103.01	163.36	80	173.2	233.8	217.9	111.4	156.09
11	183	33.079	13.8	187.0	189.5	193.9	90	260	190	177.3	186.7	187.9	70	90	100	169.7	177.1	169.2	130.2	236
12	152	31.623	12.7	142.4	179.3	208.1	140.7	114.2	130	129.6	151.8	115.0	111.86	142.50	130	147.8	147.7	155.4	145.3	269.88
13	152	23.419	13.4	238.6	215.8	194.8	70	150	230	171.5	166.3	165.4	70	120	130	215.9	208.6	208.1	132.0	277.75
14	101	32.782	13.5	244.0	231.8	230.2	215.5	274.4	/	182.5	203.8	202.5	166.35	163.45	/	649.2	209.9	215.0	102.2	257.89
15	560	113.8	13.6	318.0	317.8	251.1	301.7	527.7	/	352.3	333.3	361.2	300.75	360.38	/	349.0	502.5	382.1	156.6	321.2

Ортопедска хирургија

Редни број мерења	Број операција/ пацијената	К	DAP	FT	Лево	Средина	Десно	Испод	Преко
		[mGy]	[Gy·cm ²]	[sec]	[μSv]				
1	11	67.918	18.1105	416	280.14	305.96	317.68	232.75	261.2
2	14	24.691	6.567	315	196.85	210.37	167.26	157	278
3	10	434.093	6.098	407	246.61	210.88	182.23	105.195	245.57
4	10	21.821	5.8453	206	214.6	183.11	227.83	134.96	173.34
5	9	16.92	4.52456	167	163.09	146.76	169.32	101.215	128.675
6	8	29.992	8.1878	149	190.43	219.42	239.5	161.86	175.74
7	6	2.933	0.7912	125	165.47	173.33	222.8	143.295	140.49
8	4	4.645	1.2144	101	439.83	352.46	388.52	231.605	260.75
9	5	14.045	3.8232	87	446.48	468.39	407.73	254.765	268.62
10	4	57.964	15.4372	145	408.42	391.94	403.07	162.745	551.865

Анестезија – терапија бола

Редни број пацијента	К	DAP	FT	Лево	Средина	Десно	Испод	Преко
	[mGy]	[$\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$]	[min]	[μSv]				
1	23	424,6	0,1	137,93	104,44	126,75	79,64	82,82
2	135	2447,9	1	148,69	169,02	118,14	59,49	185,56
3	4	79,86	0,3	99,47	111,49	96,23	51,71	57,28
4	5	89,08	0,2	124,43	102,37	115,58	57,41	50,6
5	8	142,3	0,3	151,07	104,88	114,58	49,39	73,09
6	2	29,71	0,1	145,72	130,3	172,71	59,9	84,62
7	74	724	1,1	103,84	166,12	65,53	54,7	61,9
8	3	63,16	0,1	129	110,13	129,8	56,85	50,6
9	59	1063,7	1	180,02	193,12	180,27	49,32	49,01
10	13	230	0,3	145,06	113,43	121,56	69,32	66,44
11	23	411,88	0,6	110,08	96,44	141,11	39,89	54,15
12	5	85,6	0,6	114,46	152,07	88,08	40,94	46
13	14	212,35	0,1	271,66	203,26	234,27	68	135,36
14	9	156,38	0,1	208,58	308,45	221,7	49,5	104
15	4	72,01	0,5	147,23	149,85	112,73	64,11	62,09
16	14	246,36	0,6	112,85	105,59	106,69	79,42	66,81

Урологија

Редни број пацијента	К	DAP	FT	Лево	Средина	Десно	Испод	Преко
	[mGy]	[$\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$]	[min]	[μSv]				
1	6,6	445,53	00:36	166,4	224,24	232,21	96,99	143,9
2	5,5	440	00:20	274,54	175,62	265,69	48,1	91,81
3	16,7	1262,6	00:41	454,27	351,57	348,48	57,46	207,92
4	3,3	263,5	00:30	158,62	152,68	199,89	74,4	83,65
5	2,3	154,58	00:22	150,31	177,14	188,17	48,06	50,125
6	10	818,22	00:25	280,09	220,29	309,44	88,15	174,84
7	11,7	934	00:41	274,49	293,44	276,14	43,86	151,16
8	31,8	2401,7	03:51	337,48	375,83	414,71	49,16	200,5
9	5,1	345,6	00:20	182,09	154,94	133,59	30,64	70,625
10	4,7	312,46	00:29	146,43	179,33	151,45	25,98	70,275
11	4,9	330	01:48	140,57	133,82	132,18	72,635	72,06
12	9,7	772	00:35	124,51	121,98	131,49	47,95	127,22

Прилог 2 – Постери „10 Бисера: Заштита особља у флуоросопији“


10 Бисера: Заштита *osoblja* u fluoroskopiji

Smanjenjem doze koju primi pacijent uvek smanjujemo i dozu koju prima osoblje

1. Koristiti zaštitna sredstva!

Poželjno je koristiti dvodelnu olovnu kecelju jer bolje raspoređuje masu.

0.25 mm ekvivalent olova s preklapanjem napred, formira 0.5 mm ekvivalent olova napred i 0.25 mm pozadi. (Obezbeđuje zaštitu za više od 90% zračenja)




2. Dobro iskoristiti princip "Vreme-Rastojanje-Paravan"

Skratiti vreme zračenja


Povećati udaljenost od izvora koliko je moguće

Koristiti olovnu zaštitu i paravane




Poželjno je koristiti dvodelnu olovnu kecelju jer bolje raspoređuje masu.

0.25 mm ekvivalent olova s preklapanjem napred, formira 0.5 mm ekvivalent olova napred i 0.25 mm pozadi. (Obezbeđuje zaštitu za više od 90% zračenja)



Olovne naočare s bočnom zaštitom

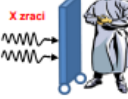


Zaštita za štitastu žlezdu

3. Koristiti olovne paravane i ekrane.



Smanjuju dozu od rasejanog zračenja za više od 90% u fluoroskopiji.

Pokretni olovni paravan koristiti u "cine" režimu.




4. Ruke držati van primarnog snopa, osim u izuzetnim slučajevima kada to nije moguće.

Ruke u centralnom delu primarnog snopa povećavaju faktore ekspozicije (kV, mA) a samim tim i doze za pacijenta i osoblje.





5. Samo 1-5% zračenja koje ulazi u pacijenta izlazi na suprotnoj strani tela.

Locirati se na stranu propuštenog snopa (strana detektora), gde dopire samo 1-5% ulaznog snopa i rasejanog zračenja.




Ispravno! Pogrešno!!!



Ispravno! Pogrešno!!!

6. Rendgensku cev držati ispod, a ne iznad stola.

Ovim sistemom se postiže bolja zaštita od rasejanog zračenja.




Ispravno! Pogrešno!!!

7. Koristiti lične dozimetre.


Koristiti najmanje dva dozimetra:

- Jedan ispod kecelje na levoj strani grudi
- Jedan sa spoljne strane kecelje na visini vrata ili oka
- Dodatne prsten-dozimetre za procedure koje zahtevaju položaj ruku uz primarni snop

Koristi su elektronski dozimetri (EPD) s trenutnim očitavanjem doze.



8. Potrebno je unapređivati znanja o zaštiti od zračenja.






9. Za sva pitanja i nedoumice u vezi zaštite od zračenja potrebno je obratiti se specijalisti za zaštitu od zračenja (medicinskom fizičaru).

10. ZAPAMITI!!!




- Kontrola kvalitete opreme za fluoroskopiju osigurava sigurno i stabilno korišćenje
- Upoznajte svoju opremu! Pravilno korišćenje svih mogućnosti opreme smanjuje dozu za pacijente i osoblje
- Koristite automatske injektore

10. ZAPAMITI!!!

- Kontrola kvalitete opreme za fluoroskopiju osigurava sigurno i stabilno korišćenje
- Upoznajte svoju opremu! Pravilno korišćenje svih mogućnosti opreme smanjuje dozu za pacijente i osoblje
- Koristite automatske injektore

Stranica 1 od 2
Fluoroskopija
Zaštita osoblja od zračenja

Stranica 2 od 2
Fluoroskopija
Zaštita osoblja od zračenja


10 Бисера: Заштита *osoblja* u fluoroskopiji

Smanjenjem doze koju primi pacijent uvek smanjujemo i dozu koju prima osoblje

1. Koristiti zaštitna sredstva!

Poželjno je koristiti dvodelnu olovnu kecelju jer bolje raspoređuje masu.

0.25 mm ekvivalent olova s preklapanjem napred, formira 0.5 mm ekvivalent olova napred i 0.25 mm pozadi. (Obezbeđuje zaštitu za više od 90% zračenja)




2. Dobro iskoristiti princip "Vreme-Rastojanje-Paravan"

Skratiti vreme zračenja


Povećati udaljenost od izvora koliko je moguće

Koristiti olovnu zaštitu i paravane




Poželjno je koristiti dvodelnu olovnu kecelju jer bolje raspoređuje masu.

0.25 mm ekvivalent olova s preklapanjem napred, formira 0.5 mm ekvivalent olova napred i 0.25 mm pozadi. (Obezbeđuje zaštitu za više od 90% zračenja)



Olovne naočare s bočnom zaštitom




Zaštita za štitastu žlezdu

3. Koristiti olovne paravane i ekrane.



Smanjuju dozu od rasejanog zračenja za više od 90% u fluoroskopiji.

Pokretni olovni paravan koristiti u "cine" režimu.




4. Ruke držati van primarnog snopa, osim u izuzetnim slučajevima kada to nije moguće.

Ruke u centralnom delu primarnog snopa povećavaju faktore ekspozicije (kV, mA) a samim tim i doze za pacijenta i osoblje.





5. Samo 1-5% zračenja koje ulazi u pacijenta izlazi na suprotnoj strani tela.

Locirati se na stranu propuštenog snopa (strana detektora), gde dopire samo 1-5% ulaznog snopa i rasejanog zračenja.




Ispravno! Pogrešno!!!



Ispravno! Pogrešno!!!

6. Rendgensku cev držati ispod, a ne iznad stola.

Ovim sistemom se postiže bolja zaštita od rasejanog zračenja.




Ispravno! Pogrešno!!!

7. Koristiti lične dozimetre.


Koristiti najmanje dva dozimetra:

- Jedan ispod kecelje na levoj strani grudi
- Jedan sa spoljne strane kecelje na visini vrata ili oka
- Dodatne prsten-dozimetre za procedure koje zahtevaju položaj ruku uz primarni snop

Koristi su elektronski dozimetri (EPD) s trenutnim očitavanjem doze.



8. Potrebno je unapređivati znanja o zaštiti od zračenja.






9. Za sva pitanja i nedoumice u vezi zaštite od zračenja potrebno je obratiti se specijalisti za zaštitu od zračenja (medicinskom fizičaru).

10. ZAPAMITI!!!




- Kontrola kvalitete opreme za fluoroskopiju osigurava sigurno i stabilno korišćenje
- Upoznajte svoju opremu! Pravilno korišćenje svih mogućnosti opreme smanjuje dozu za pacijente i osoblje
- Koristite automatske injektore

10. ZAPAMITI!!!

- Kontrola kvalitete opreme za fluoroskopiju osigurava sigurno i stabilno korišćenje
- Upoznajte svoju opremu! Pravilno korišćenje svih mogućnosti opreme smanjuje dozu za pacijente i osoblje
- Koristite automatske injektore

Stranica 1 od 2
Fluoroskopija
Zaštita osoblja od zračenja

Stranica 2 od 2
Fluoroskopija
Zaštita osoblja od zračenja

Прилог 3 – Упитник

Пред Вама је анониман упитник о уобичајеној пракси и ставовима из области заштите од јонизујућег зрачења. Подаци из упитника биће коришћени у сврху оптимизације заштите у УКЦВ-у. Молим Вас за искрене одговоре.

1. Да ли у току свог рада (бар некада) користите флуороскопију (скопија, просветљавање)?

ДА НЕ

Уколико сте на питање 1 одговорили са НЕ, молим Вас да наставите попуњавање упитника од питања број 4. Уколико сте одговорили са ДА, редовно наставите упитник.

2. Да ли боравите поред пацијента током скопирања?

ДА НЕ

3. Да ли Ви лично одређујете, било непосредним управљањем апаратом (притискањем папучице) или давањем инструкција некоме другом, количину употребљене скопије (дужину скопирања)?

- ДА, ја притискам папучицу
- ДА, ја дајем инструкције колико ми је скопије потребно
- НЕ, ја не одређујем колико се скопије користи

4. Која од наведених заштитних средстава су Вам доступна ? (заокружите све што Вам је доступно)

- | | |
|-------------------|---|
| • Кецеља | • Оловне завесице испод пацијентног стола |
| • Штитник за врат | • Плафонски заштитни екран |
| • Наочари | • Покретни параван |
| • Визир | |
| • Друго _____ | |

5. Која од доступних средстава користите? (заокружите све што користите)

- | | |
|-------------------|---|
| • Кецеља | • Оловне завесице испод пацијентног стола |
| • Штитник за врат | • Плафонски заштитни екран |
| • Наочари | • Покретни параван |
| • Визир | |
| • Друго _____ | |

ДОДАТАК – Препоруке за кориснике

Заштита од зрачења при извођењу флуороскопских процедура на апарату *Philips Azurion* у ангио-сали Ургентног центра – препоруке за корисника

- Уколико Ваше присуство поред пацијента није неопходно током експозиције, боравите у командној кабини
- Уколико је неопходно да боравите поред пацијента, следећа упутства намењена су Вама:
 - Користите сва расположива заштитна средства: Кецељу, штитник за врат, заштитне наочари
 - Уколико носите диоптријске наочари, користите заштитни визир
 - Приликом експозиције, заштитите свој горњи део тела заштитним стаклом (плафонски заштитни екран)
 - За очекивано дуге и комплексне процедуре, користите заштитну покривку за пацијента. Водите рачуна, приликом репозиционирања, да покривка не улази у видно поље апарата
 - Уколико и када Вам пракса дозвољава, одмакните папучицу за активирање експозиције на 1-2 метра од пацијента и рендгенске цеви и са овог места експонирајте пацијента
 - Приликом осликовања косих пројекција, рендгенску цев окрените даље од себе, а детектор ка себи
 - Удаљите главу што више можете од пацијента и рендгенске цеви, манипулацију опремом обављајте испруженим рукама када год можете. Окрените главу од извора зрачења када год можете. Ове мале промене у пракси доприносе смањењу дозе коју примају Ваше очи, тј. очно сочиво
 - Редовно носите додељени дозиметар, јер је једино помоћу њега могуће прецизно пратити дозу којој сте изложени. Уколико Вам је додељен дозиметар за изнад кецеље, користите и њега редовно, и водите рачуна о правилном постављању. Уколико Вам је додељен прстен дозиметар, користите га.
 - На крају процедуре, забележите вредности дозе за пацијента (подаци доступни на аквизиционом рачунару у командној кабини) у медицинску документацију. Из ових података могуће је, са ограниченом прецизношћу, проценити дозу за Ваше очно сочиво.
 - Са радиолошким техничарем размотрите опцију оптимизације излагања пацијента, односно смањења броја пулсева и фрејмова током флуороскопије. Када год је могуће, користите колиматоре, односно бленде, за смањење видног поља на неопходну величину. Ово ће допринети мањој дози за пацијента, па самим тим и за Вас.
 - Приликом коришћења ДСА, уколико можете, одмакните се од пацијента и рендгенске цеви. Идеално би било 1-2 метра, али и сваки корак у назад доприноси смањењу дозе коју примате
 - За све нејасноће или додатна питања око оптимизације заштите обратите се медицинским физичарима.
 - Уколико дође до значајних промена у пракси или повећања броја (учесталости) процедура које обављате, обратите се медицинским физичарима

Заштита од зрачења при извођењу флуороскопских процедура на апарату *Siemens Luminos DRF Max* – препоруке за корисника

- Уколико Ваше присуство поред пацијента није неопходно током експозиције, боравите у командној кабини
- Уколико је неопходно да боравите поред пацијента, следећа упутства намењена су Вама:
 - Користите сва расположива заштитна средства: Кецељу, штитник за врат, заштитне наочари
 - Уколико носите диоптријске наочари, користите заштитни визир
 - Удаљите главу што више можете од пацијента и рендгенске цеви, манипулацију опремом обављајте испруженим рукама када год можете. Окрените главу од извора зрачења када год можете. Ове мале промене у пракси доприносе смањењу дозе коју примају Ваше очи, тј. очно сочиво
 - Редовно носите додељени дозиметар, јер је једино помоћу њега могуће прецизно пратити дозу којој сте изложени. Уколико Вам је додељен дозиметар за изнад кецеље, користите и њега редовно, и водите рачуна о правилном постављању
 - На крају процедуре, забележите вредности дозе за пацијента (подаци доступни на аквизиционом рачунару у командној кабини) у медицинску документацију. Из ових података могуће је, са ограниченом прецизношћу, проценити дозу за Ваше очно сочиво.
 - Са надлежним радиологом и радиолошким техничарем, размотрите опцију оптимизације излагања пацијента, односно смањења броја пулсева и фрејмова током флуороскопије. Уколико је могуће, користите колиматоре, односно бленде, за смањење видног поља на неопходну величину. Ово ће допринети мањој дози за пацијента, па самим тим и за Вас.
 - За све нејасноће или додатна питања око оптимизације заштите обратите се медицинским физичарима.
 - Уколико дође до значајних промена у пракси или повећања броја (учесталости) процедура које обављате, обратите се медицинским физичарима

Заштита од зрачења при извођењу флуороскопских процедура на апаратима *Philips BV Endura* у операционом блоку – препоруке за корисника

- Уколико Ваше присуство поред пацијента није неопходно током експозиције, удаљите се најмање 2 метра од рендгенске цеви и пацијента
- Уколико је неопходно да боравите поред пацијента током експозиције, следећа упутства намењена су Вама:
 - Користите сва расположива заштитна средства: Кецељу, штитник за врат, заштитне наочари
 - Уколико носите диоптријске наочари, користите заштитни визир
 - Удаљите главу што више можете од пацијента и рендгенске цеви, манипулацију опремом обављајте испруженим рукама када год можете. Окрените главу од извора зрачења када год можете. Ове мале промене у пракси доприносе смањењу дозе коју примају Ваше очи, тј. очно сочиво
 - Када год можете, боравите са стране детектора (округли део) Ц-лука, а не са стране рендгенске цеви (правоугаони део)
 - Редовно носите додељени дозиметар, јер је једино помоћу њега могуће прецизно пратити дозу којој сте изложени.
 - На крају процедуре, забележите вредности дозе за пацијента (подаци доступни на аквизиционом рачунару) у медицинску документацију. Из ових података могуће је, са ограниченом прецизношћу, проценити дозу за Ваше очно сочиво.
 - Са радиолошким техничарем размотрите опцију оптимизације излагања пацијента, односно смањења броја пулсева и фрејмова током флуороскопије. Ово ће допринети мањој дози за пацијента, па самим тим и за Вас.
 - За све нејасноће или додатна питања око оптимизације заштите обратите се медицинским физичарима.
 - Уколико дође до значајних промена у пракси или повећања броја (учесталости) процедура које обављате, обратите се медицинским физичарима

Заштита од зрачења при извођењу флуороскопских процедура на апарату *Siemens Artis One* у ангио-сали болнице на Мишелуку – препоруке за корисника

- Уколико Ваше присуство поред пацијента није неопходно током експозиције, боравите у командној кабини
- Уколико је неопходно да боравите поред пацијента, следећа упутства намењена су Вама:
 - Користите сва расположива заштитна средства: Кецељу, штитник за врат, заштитне наочари
 - Уколико носите диоптријске наочари, користите заштитни визир
 - Приликом експозиције, заштитите свој горњи део тела заштитним стаклом (плафонски заштитни екран)
 - Уколико Вам пракса дозвољава, одмакните папучицу за активирање експозиције на 1-2 метра од пацијента и рендгенске цеви и са овог места експонирајте пацијента
 - Приликом осликавања косих пројекција, рендгенску цев окрените ка командној кабини (прозору), а детектор ка себи
 - Редовно носите додељени дозиметар, јер је једино помоћу њега могуће прецизно пратити дозу којој сте изложени. Уколико Вам је додељен дозиметар за изнад кецеље, користите и њега редовно, и водите рачуна о правилном постављању
 - На крају процедуре, забележите вредности дозе за пацијента (подаци доступни на аквизиционом рачунару у командној кабини) у медицинску документацију. Из ових података могуће је, са ограниченом прецизношћу, проценити дозу за Ваше очно сочиво.
 - Са радиолошким техничарем размотрите опцију оптимизације излагања пацијента, односно смањења броја пулсева и фрејмова током флуороскопије. Уколико је могуће, користите колиматоре, односно бленде, за смањење видног поља на неопходну величину. Ово ће допринети мањој дози за пацијента, па самим тим и за Вас.
 - За све нејасноће или додатна питања око оптимизације заштите обратите се медицинским физичарима.
 - Уколико дође до значајних промена у пракси или повећања броја (учесталости) процедура које обављате, обратите се медицинским физичарима

Биографија

Јелена Самац је рођена 16.11.1988. у Кикинди. Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду уписала је 2007. године. Током основних студија, једну школску годину провела је на студентској размени на Универзитету у Мисисипију у Сједињеним америчким државама. Дипломирала је 2012. на смеру медицинске физике, када је одбранила дипломски рад на тему „Улога значај и задаци физичара у нуклеарној медицини“. На истом факултету и истом смеру уписала је мастер студије 2012. године, које је и завршила годину дана касније одбраном мастер рада „Одређивање дозе за пацијенте у нуклеарној медицини“. Докторске академске студије на Природно-математичком факултету Универзитета у Новом Саду уписала је 2014. године, са усмерењем Нуклеарна физика.

Од 2013. године запослена је у Универзитетском клиничком центру Војводине, као медицински физичар на одељењу за нуклеарну медицину, а од самог почетка каријере обавља и послове одговорног лица за заштиту од јонизујућег зрачења у свим областима примене извора зрачења у својој установи. 2018. године завршила је специјализацију из области медицинске физике на Медицинском факултету Универзитета у Новом Саду и стекла звање специјалисте медицинске физике. Од септембра 2023. године запослена је као асистент на катедри за нуклеарну медицину Медицинског факултета Универзитета у Новом Саду.

Научно-истраживачки рад Јелене Самац одвија се у областима физике у нуклеарној медицини, као и у области заштите од јонизујућег зрачења у области радиологије и нуклеарне медицине. Аутор је и коаутор више публикација у националним и међународним часописима. Члан је научног комитета међународне конференције у области медицинске физике „*Alpe-Adria Medical Physics Meetings*“. У периоду 2022. до 2024. године била је члан радне групе Европске федерације удружења медицинских физичара (*EFOMP*) која је израдила нови план и програм наставе за медицинске физичаре који се специјализују у нуклеарној медицини. Активни је члан Удружења медицинских физичара Србије и Удружења нуклеарне медицине Србије, а у актуелном пројектном циклусу Међународне агенције за атомску енергију (*IAEA*), Јелена је национални координатор пројекта „Јачање капацитета медицинских физичара у дијагностичкој радиологији и подршка успостављању система менаџмента квалитета“. Знања из области којима се бави константно унапређује учешћем на међународним конференцијама као и тренинг курсевима и радионицама у организацији *IAEA* и Међународног центра за теоријску физику (*ICTP*). До сада је учествовала на више међународних конгреса, курсева и радионица, од којих као најзначајнији, у области теме дисертације, издваја тренинг курс „Оптимизација заштите од зрачења при флуороскопски вођеним процедурама“, одржан у болници „*MD Anderson Cancer Centre*“ у Хјустону, САД.

Библиографија

Публикације у међународним часописима категорије M21

Živanović, M. Z., Vukanac, I., **Samac, J.**, Antić, V., Jeremić, M., Janković, D., Kandić, A., Vargas, C. S., Struelens, L., & Ciraj-Bjelac, O. (2022). Intercomparison and performance assessment of radionuclide calibrators used in nuclear medicine departments in Serbia. *Applied Radiation and Isotopes*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.110013>

Публикације у међународним часописима категорије M22

Petrović, B., Vicko, F., Radovanović, D., **Samac, J.**, Tot, A., Radovanović, Z., Ivković-Kapicl, T., Lukić, D., Marjanović, M., & Ivanov, O. (2021). Occupational radiation dose of personnel involved in sentinel node biopsy procedure. *Physica Medica*, 91, 117–120. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.10.019>

Samac, J., Božović, P., Stanković-Petrović, J., Petrović, B., Vranješ, M., Rašović, P., & Obradović, M. (2023). Assessment of occupational eye lens exposure during image-guided orthopedic procedures. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 38(3), 202–207. <https://doi.org/10.2298/NTRP2303202S>

Публикације у међународним часописима категорије M23

Žeravica, R., Ilinčić, B., Čabarkapa, V., Radosavkić, I., **Samac, J.**, Nikoletić, K., & Stošić, Z. (2018). Fractional excretion of magnesium and kidney function parameters in nondiabetic chronic kidney disease. *MAGNESIUM RESEARCH*, 31(2), 49–57. <https://doi.org/10.1684/mrh.2018.0437>

Žeravica, R., **Samac, J.**, Vukmirović Papuga, M., Jakovljević, A., Burić, D., Crnobrnja, V., Šašić Ostojić, T. (2025). Assessment of referring physicians' radiation protection awareness and knowledge on patient exposure in diagnostics. *Nuclear Technology and Radiation protection*, 40 (3), <https://doi.org/10.2298/NTRP2503000Z>

Публикације у домаћим часописима категорије M51

Buric, D., Ilinicic, B., Zeravica, R., Vukmirovic-Papuga, M., Crnobrnja, V., & **Samac, J.** (2020). The role of lymphoscintigraphy in the diagnosis of lymphedema. *Medicinski Pregled*, 73(7-8), 205–211. <https://doi.org/10.2298/MPNS2008205B>

Samac, J., Zeravica, R., Ilinicic, B., Vukmirovic-Papuga, M., Buric, D., & Ostojic, T. (2020). Image-derived index - as a parameter for the semi-quantitative assessment of global tubular renal function. *Medicinski Pregled*, 73(5-6), 139–144. <https://doi.org/10.2298/MPNS2006139S>

Прилог 2. План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Процена професионалног излагања јонизујућем зрачењу у интервентним и операционим процедурама
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Универзитетски клинички центар Војводине б) в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Докторске студије (доктор наука - физика), докторска дисертација
1. Опис података
1.1 Врста студије
<i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i> Ова докторска дисертација бави се проблематиком изложености јонизујућем зрачењу оператера (лекара, _____ техничара) приликом медицинских интервенција које користе флуороскопију. Мерење изложености вршено је _____ употребом ТЛ дозиметара, а испитана је и корелација изложености особља са дозом коју прима пацијент. _____
1.2 Врсте података
а) <u>квантитативни</u> б) <u>квалитативни</u>
1.3. Начин прикупљања података
а) анкете, <u>упитници</u> , тестови б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: навести врсту _____ г) административни подаци: навести врсту _____ д) узорци ткива: навести врсту _____ ђ) <u>снимци, фотографије</u> : навести врсту <u>- фотографије медицинске опреме и простора за рад</u> е) текст, навести врсту _____ ж) мапа, навести врсту _____ з) <u>остало</u> : описати <u>бројчане вредности читавања ТЛ дозиметара, бројчане вредности дозе очитане са конзоле рендген апарата, бројчане вредности дозе очитане са амбијенталног монитора</u>
1.3 Формат података, употребљене скале, количина података
1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:
а) Excel фајл, датотека <u>- ДА, .xlsx формат</u> б) SPSS фајл, датотека _____ в) PDF фајл, датотека <u>- ДА, .pdf формат</u> д) Текст фајл, датотека <u>- ДА, .docx формат</u> е) JPG фајл, датотека <u>- ДА, .jpg и .png формат</u> ф) Остало, датотека _____
1.3.2. Број записа (код квантитативних података)
а) број варијабли <u>5 рендген апарата, 4 области примене</u> б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) <u>398 читавања дозиметара, 52 процедуре, 168 испитаника - одговора на упитник</u>
1.3.3. Поновљена мерења
а) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак између поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

- а) Да
- б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- а) експеримент, навести тип лабораторијски експеримент
- б) корелационо истраживање, навести тип основно (експлораторно) истраживање
- ц) анализа текста, навести тип научни радови, међународне стручне публикације, књиге
- д) остало, навести шта _____

2.1.2 *Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).*

јонизационе коморе, термолуминесцентни дозиметри

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

- а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? _____
- б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да **Не**
- в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Евалуацијом од стране ментора докторске дисертације, као и статистичким прорачунима

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Визуелном опсервацијом праћеном когнитивним процесима, статистичком обрадом података и поређењем

са стручном литературом

3. Третман података и пратећа документација

3.1 Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у докторске дисертације Универзитета у Новом Саду репозиторијум.

3.1.2. URL адреса https://cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен?

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? трајно

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да Не

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности

(https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и Кодекса о академском интегритету Универзитета у Новом Саду (<https://www.uns.ac.rs/index.php/univerzitet/dokumenti/send/35-pravilnici-2/102-kodeks-o-akademskom-integritetu-univerziteta-u-novom-sadu-2>).

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
 - б) Подаци су анонимизирани
 - ц) Остало, навести шта
-
-

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

- а) јавно доступни
- б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области
- ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

ауторство

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Јелена Самац, jelena.samac@mf.uns.ac.rs

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Јелена Самац, jelena.samac@mf.uns.ac.rs

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Јелена Самац, jelena.samac@mf.uns.ac.rs
