



Fontys Paramedische Hogeschool te Eindhoven Medisch Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken

# Onderzoeksverslag

Geregistreerde dosis en dosisreductie gedurende een EVAR-procedure



**Onderzoeksverslag** Juni '14 Versie 1

Jetske de Graaf Student Medisch Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken Fontys Paramedische Hogeschool te Eindhoven

Afbeelding titelblad:

Erasmus MC: aneurysma en endoprothese. 2013 https://www.google.nl/search?q=EVAR+procedure&oe=utf-8&rls=org.mozilla:en-US:official&client=firefox-a&gws\_rd=cr&um=1&ie=UTF-8&hl=nl&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=JVw\_Uo41o63RBbD9gYAF#facrc=\_&imgrc=VcAwjl HxdEgYM%3A%3BQ\_veYTVYIh4\_3M%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.erasmusmc.nl%252Fheelkun decs%252Fvaatchirurgie%252F1172046%252Fstentnp%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.erasmusmc.nl %252Fheelkunde-cs%252Fvaatchirurgie%252F1172046%252F1172046%252FAAA8%3B824%3B1056

# Personalia

Student: Jetske de Graaf Student MBRT aan de Fontys Paramedische Hogeschool te Eindhoven Studentnummer: 2173180 Veemarktstraat 5 5038 CT Tilburg Tel. Nr.: +316 41189447 Email: jetske.degraaf@student.fontys.nl

Opleiding:

Fontys Paramedische Hogeschool te Eindhoven Ds. Th. Fliednerstraat 2 5631 BN Eindhoven Tel. Nr.: +318850 77011

Begeleider vanuit Fontys: Frank van Welie Docent Medisch Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken (MBRT), hoofdfase jaarcoördinator aan de Fontys Paramedische Hogeschool te Eindhoven Tel. Nr.: +318850 71929, +316 50242058 Email: <u>f.vanwelie@fontys.nl</u>

*Opdrachtgevers:* Ir. J. Schasfoort – van den Tillaart (1<sup>e</sup> opdrachtgever) Klinisch Fysicus aan het St. Elisabeth Ziekenhuis te Tilburg Tel. Nr.: 013-5392156 Email: j.schasfoort@elisabeth.nl

Dr. W. De Jong (2<sup>e</sup> opdrachtgever) Klinisch Fysicus aan het St. Elisabeth Ziekenhuis te Tilburg Tel. Nr.: 013-5392890 Email: <u>w.d.jong@elisabeth.nl</u>

# Voorwoord

In het kader van het afstuderen aan de opleiding Medisch Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken (MBRT) aan de Fontys Hogescholen te Eindhoven is een kwantitatief onderzoek uitgevoerd waarbij middels een fantoomstudie een EVAR-procedure werd gesimuleerd. Deze opdracht is aangeboden door de klinisch fysici van het St. Elisabeth Ziekenhuis te Tilburg.

Ik wil graag een aantal personen bedanken voor de totstandkoming van dit onderzoek:

- Frank van Welie, afstudeerbegeleider van de opleiding MBRT, bedankt voor de begeleiding en betrokkenheid;
- Jannie Schasfoort en Wim de Jong, klinisch fysici van het St. Elisabeth Ziekenhuis, bedankt voor jullie tijd, begeleiding en de betrokkenheid gedurende het onderzoek;
- Nadine Schepens, bedankt voor de fijne samenwerking tijdens het afstuderen;
- Familie en vrienden, bedankt voor de hulp en jullie steun;
- Collega's van de afdeling Radiologie in het St. Elisabeth Ziekenhuis, bedankt voor de positiviteit en steun die ik van jullie heb gekregen.

Tilburg, 31 mei 2014

Jetske de Graaf

### Samenvatting

#### **Toelichting**

De EVAR-procedure is een van de ingrepen op de operatiekamers in het St. Elisabeth Ziekenhuis te Tilburg waarbij fluoroscopie met behulp van een mobiele C-boog noodzakelijk is. Gebruik van fluoroscopische apparatuur zoals de mobiele C-boog, leidt tot blootstelling aan ioniserende straling. Het St. Elisabeth ziekenhuis verwacht dat in 2014, door de vier vaatchirurgen gezamenlijk 120 EVAR-procedures zullen worden uitgevoerd.

In dit kwantitatief onderzoek wordt door middel van een fantoomstudie de EVAR-procedure nagebootst. Hierbij wordt onderzocht wat de gemiddelde ontvangen dosis voor de vaatchirurg is tijdens een EVAR-procedure met de huidige werkwijze en hoeveel dit bedraagt op jaar basis. Vervolgens wordt onderzocht welke dosisreducerende maatregelen het meest effectief zijn om de blootstelling aan ioniserende straling voor de vaatchirurg te minimaliseren.

#### **Methode**

In deze fantoomstudie werden zeven verschillende meetopstellingen gebruikt, inclusief één referentiemeting. De referentiemeting is een replica van de huidige EVAR-procedure werkwijze gemeten op het fantoom. Om te bepalen welke dosisreducerende maatregelen het meest effectief zijn, werden in zes meetopstellingen telkens één variabele aangepast (veranderingen in C-boog instellingen, afstand van de meetapparatuur tot het fantoom of gebruik RADPAD® Shields). In de zeven meetopstellingen werd middels het RaySafe Xi meetinstrument de H\*(10) geregistreerd, vervolgens werd dit omgerekend door middel van conversiecoëfficiënten naar de H<sub>p,slab</sub>(10). De H<sub>p,slab</sub>(10) is een indicatie voor de persoonsdosisequivalent die de vaatchirurg gedurende een EVAR-procedure ontvangt.

#### Resultaten

Referentiemeting A toonde aan dat de  $H_{p,slab}(10)$ , gemeten op de positie van de vaatchirurg tijdens een EVAR-procedure gemiddeld 425,5 µSv bedroeg. Uitgaande dat één vaatchirurg gemiddeld 30 EVAR-procedures zal uitvoeren, volgt aan de hand van deze fantoomstudie een  $H_{p,slab}(10)$  van 12,8 mSv/jaar ontvangen op de positie van de vaatchirurg.

#### Conclusie

Dit kwantitatief onderzoek toont aan dat gebruik van halve- en kwart-dosis doorlichting en het gebruik van RADPAD® Shields de meest effectieve manieren zijn om dosisreductie te realiseren. Hiermee kan respectievelijk een dosisreductie van 43,50%, 70,90% en 69,65% gerealiseerd worden. Als alle maatregelen uit meetopstelling (B t/m F) worden geïmplementeerd, is een dosisreductie van 28,45% mogelijk. Hiermee bedraagt de H<sub>p,slab</sub>(10) op de positie van de vaatchirurg 9,1 mSv/jaar.

### Summary

#### Background

The EVAR-procedure is one of the interventions in the operating theaters at the St. Elisabeth Hospital Tilburg where fluoroscopy is necessary using a mobile C-arm. Using fluoroscopic equipment such as mobile C-arm, results in exposure to ionizing radiation. The St. Elisabeth Hospital Tilburg expects that the four vascular surgeons together will perform 120 EVAR-procedures in 2014.

This quantitative research study simulates the EVAR-procedure on a phantom. It examines what the average received dose for the vascular surgeon during an EVAR-procedure will be for the present method and what this will be on an annual basis. Subsequently it will be analyzed which of the dose reducing measures are most effective to minimize the ionizing radiation exposure for the vascular surgeon.

#### **Method**

In this phantom study, seven different measurement setups were used, including a reference measurement. The reference measurement was a replica of the current EVAR-procedure method measured on the phantom. To determine which of the dose-reducing measures were most effective six measurement setups, each with one modified variable, were used (changes in C-arc setting, distance measurement tool to the phantom, or use of RADPAD® Shields). The RaySafe Xi measurement tool was used to detected H\*(10) in seven measurement setups. H\*(10) was converted by means of conversion coefficients to  $H_{p,slab}(10)$ . This is a indicator of personal dose equivalent received by the vascular surgeon during an EVAR-procedure.

#### Results

Reference measurement A showed that  $H_{p,slab}(10)$  measured at the position of the vascular surgeon during an EVAR-procedure amounts to an average of 425,5 µSv. Assuming that each vascular surgeon performs annually 30 EVAR-procedures, this phantom study showed that at the position of the vascular surgeon a  $H_{p,slab}(10)$  of 12.8 mSv/year will be received.

#### Conclusion

This quantitative research shows that use of half-and quarter-dose screening and the use of RADPAD® Shields are the most effective ways to achieve dose reduction. These measurements could result in respective dose reduction of 43,50%, 70,90% and 69,65%. If all of the dose reduction measures would be implemented (setup B - F), a dose reduction of 28.45% is possible. Thus, the  $H_{p,slab}(10)$  on the position of the vascular surgeon could be reduced to 9.1 mSv/year.

# Inhoudsopgave

INLEIDING	8
DEFINITIES	10
METHODE MEETINSTRUMENTEN DATAVERZAMELING ETHISCHE PARAGRAAF DATA-ANALYSE	<b>11</b> 12 13 14 14
RESULTATEN	15
DISCUSSIE	17
CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	
BIJLAGEN BIJLAGE I: SPECIFICATIE DOORLICHTINGSMODUS BV PULSERA BIJLAGE II: C-BOOG SPECIFICATIES EN AFMETINGEN BIJLAGE III: TECHNISCHE SPECIFICATIE RAYSAFE XI SURVEY DETECTOR BIJLAGE IV: POSITIONERING RADPAD® SHIELD BIJLAGE V: POSITIONERING C-BOOG TEN OPZICHTE VAN HET FANTOOM BIJLAGE VI: MEETLIJST BIJLAGE VI: MEETLIJST BIJLAGE VII: REFERENTIEMETING A UITGEWERKT BIJLAGE VIII: MEETOPSTELLING B UITGEWERKT BIJLAGE IX: MEETOPSTELLING C UITGEWERKT BIJLAGE X: MEETOPSTELLING D UITGWERKT BIJLAGE XI: MEETOPSTELLING E UITGEWERKT BIJLAGE XI: MEETOPSTELLING E UITGEWERKT BIJLAGE XI: MEETOPSTELLING F UITGEWERKT BIJLAGE XII: MEETOPSTELLING F UITGEWERKT	I I I II II VI VI VI VI VI VI XI XI XI
LITERATUUR	XIII

### Inleiding

Gebruik van fluoroscopische apparatuur leidt tot blootstelling aan ioniserende straling (1,2). De mobiele C-boog is een voorbeeld van fluoroscopische apparatuur (3). Door middel van de mobiele C-boog kan behalve op de röntgenafdeling ook op andere afdelingen worden doorlicht, een voorbeeld hiervan is op de operatiekamer (OK) (3). Hierdoor kunnen medisch specialisten tijdens operaties gebruik maken van de mobiele C-boog als de ingreep dit vereist (4). Er is een toename van chirurgische en vasculaire operaties waarbij gebruik wordt gemaakt van mobiele C-bogen (1,4,5). Medisch specialisten en operatiekamermedewerkers die aanwezig zijn bij operaties met ondersteuning van een mobiele C-boog, staan bloot aan ioniserende straling (5,6). De aanwezige werknemers staan voornamelijk bloot aan ioniserende straling door de uit de patiënt verstrooide straling (5). Voor werknemers die blootgesteld worden aan röntgenstraling (blootgestelde werknemers) geldt dat de effectieve dosis van 20 mSv/jaar niet mag worden overschreden (7). Het ministerie van volksgezondheid heeft het Besluit Stralingsbescherming (BS) opgesteld (8). In het

BS staat onder andere beschreven dat medisch specialisten die in het dagelijks werk te maken kunnen krijgen met ioniserende straling, de cursus stralingsbescherming moeten volgen (3,9). Deze cursus is specifiek toegepast op het niveau waarin de medisch specialisten met straling te maken krijgen (10). Daarnaast is in het BS beschreven dat de werkgever beschermende maatregelen moet aanbieden aan werknemers die met ioniserende straling werken (8,11,12). Binnen het St. Elisabeth Ziekenhuis ziet de commissie stralingshygiëne er op toe dat de geldende wetten uit het BS worden nageleefd.

Om de blootstelling aan ioniserende straling te verkleinen wordt gewerkt met het zogenaamde "ALARA" principe: "As low As Reasonably Achievable" (13,14). Om blootstelling aan ioniserende straling te reduceren, wordt naast het ALARA principe gebruik gemaakt van afschermingsmaterialen zoals een loodschort en schildklierkraag (14). Een relatief nieuw afschermingsmateriaal is een steriele disposable doek gemaakt van barium-bismunth. Tijdens de procedure kan de disposable doek over een patiënt gelegd worden, buiten de directe röntgenstralingsbundel (15). Dit doek, RADPAD® Shield genaamd, absorbeert de strooistraling die uit de patiënt treedt (16).

Een voorbeeld van een operatie waar een mobiele C-boog bij gebruikt wordt, is de Endo Vasculaire Aorta Repair procedure, kortweg EVAR-procedure (3). Bij een EVAR-procedure wordt een aneurysma in de abdominale aorta hersteld met behulp van stents (17). De juiste plaatsbepaling van de stents gebeurt onder röntgendoorlichting met behulp van de mobiele C-boog (3). Hierbij worden werknemers van de OK zoals de vaatchirurg, blootgesteld aan ioniserende straling. Het St. Elisabeth Ziekenhuis te Tilburg verwacht in 2014 een verdubbeling van het aantal procedures ten opzichte van 2013. Hierdoor zullen dit jaar ongeveer 120 EVAR-procedures worden uitgevoerd.

De commissie stralingshygiëne wil graag de huidige ontvangen dosis voor de vaatchirurg tijdens een EVAR-procedure in kaart brengen. In dit kwantitatief onderzoek wordt door middel van een

fantoomstudie de EVAR-procedure nagebootst. Hierbij worden metingen verricht met behulp van het RaySafe Xi meetinstrument waarbij de H\*(10) geregistreerd wordt (18). De H\*(10) wordt middels conversiecoëfficiënten omgerekend naar de  $H_{p,slab}(10)$  (19). Deze geeft een indicatie voor de persoonsdosisequivalent op 10 mm diepte (20,21). Daarnaast wordt onderzocht welke dosisreducerende maatregelen het meest effectief zijn om de blootstelling aan ioniserende straling voor de vaatchirurg te minimaliseren.

In dit kwantitatief onderzoek zal de volgende onderzoeksvraag beantwoord worden: Wat is op basis van fantoommetingen de te verwachte dosis  $H_{p,slab}(10)$  op de positie van vaatchirurg tijdens een werkelijke EVAR-procedure en welke maatregelen (C-boog instellingen, afstand nemen tot fantoom en RADPAD® Shields) zijn het meest effectief om de  $H_{p,slab}(10)$  te reduceren?

De volgende deelvragen worden onderzocht:

- Hoeveel H<sub>p,slab</sub>(10) wordt er tijdens een fantoommeting geregistreerd op de positie waar de vaatchirurg zich tijdens een EVAR-procedure bevindt?
- 2. Hoeveel dosisreductie is hierbij procentueel te realiseren door andere C-boog instellingen te gebruiken tijdens doorlichting?
- 3. Hoeveel dosisreductie is hierbij procentueel te realiseren als er tijdens Digitale Subtractie Angiografie (DSA) twee meter afstand wordt genomen tot het fantoom?
- 4. Hoeveel dosisreductie is hierbij procentueel te realiseren door gebruik te maken van RADPAD® Shields?

### **Definities**

De limiterende grootheden effectieve dosis en equivalente dosis zijn in het menselijk lichaam gedefinieerde grootheden en daardoor niet bruikbaar voor metingen (22). Voor metingen op bijvoorbeeld een fantoom zijn door het International Commission on Radiological Units and Measurements, kortweg ICRU (*zie ICRU-47 en ICRU-51*), operationele grootheden ontwikkeld (22,23). Deze operationele grootheden zijn zo gedefinieerd dat ze meetbaar zijn en representatief zijn voor de limiterende grootheden zonder grote over- of onderschatting (24). Er zijn twee operationele grootheden: omgevingsdosimetrie en persoonsdosimetrie. Omgevingsdosimetrie heeft als doel stralingsniveaus in een ruimte te bewaken (24). Bij persoonsdosimetrie gaat het om bewaken en vaststellen van de stralingsdoses van individuen (20). Een fantoom is een model van het menselijk lichaam realistisch nabootsen zoals verzwakking, absorptie en verstrooide straling (23). In dit onderzoek zal een rechthoekig slab-fantoom gebruikt worden met afmetingen van 25x25x20 cm. Als een fantoom wordt gebruikt voor de berekening van persoonsdosisequivalent, wordt dit aangeduid naar het type fantoom dat gebruikt wordt: in deze studie H<sub>b.slab</sub>(10) (20).

ALARA-principe: As Low As Reasonably Achievable, zo laag als redelijkerwijs mogelijk is. Het ALARA-principe streeft ernaar om met een zo laag mogelijke dosis een kwalitatief goede opname te produceren (14).

H\*(10): De omgevingsdosisequivalent op 10 mm diepte in Sievert (Sv) (24).

- H<sub>p,slab</sub>(10): Berekening van het persoonsdosisequivalent op 10 mm diepte op basis van een rechthoekig fantoom. (23)
- Conversiecoëfficiënt: omrekenfactor die gebruikt wordt om de omgevingsdosisequivalent H\*(10) naar persoonsdosisequivalent H<sub>p,slab</sub>(10) om te rekenen. Dit wordt gedaan aan de hand van de uitgelezen waarden uit figuur 1 (19).



Conversiecoëfficiënten van luchtkerma K<sub>a</sub> naar omgevingsdosisequivalent H\*(10), effectieve dosis E(AP) in een fantoom van een volwassene in de anterior-posteriorgeometrie, en persoonsdosisequivalent H<sub>p,slab</sub>(10) in een ICRU-slab.

Figuur 1: conversie coëfficiënt met betrekking tot  $H^*(10)$  en  $H_{p,slab}(10)$ . Bron: (19)

### Methode

Deze fantoomstudie was een toegepast onderzoek dat op basis van 27 EVAR-procedures is gereproduceerd. Voorafgaand aan deze fantoomstudie waren in de maanden november 2013 tot en met maart 2014, in het St. Elisabeth ziekenhuis te Tilburg 27 EVAR-procedures geobserveerd. Hierbij zijn de meest voorkomende posities van de vaatchirurg ten opzichte van de patiënt en de gebruikte C-boog instellingen geregistreerd. Bij dit toegepast onderzoek werden met behulp van RaySafe Xi een gekalibreerd meetinstrument voor röntgenapparatuur, metingen op een fantoom verricht (18,25). Met de RaySafe Xi Survey Detector, een flatpanel detector met solid-state technologie werd de strooistraling, H\*(10) oftewel de omgevingsdosisequivalent, gemeten in microSievert ( $\mu$ Sv) (*bijlage III*) (18,24,26). Metingen werden verricht op 50 cm en 200 cm van het fantoom. Deze afstanden zijn representatief voor de afstand van de vaatchirurg tot aan het midden van de patiënt tijdens een EVAR-procedure. De gemeten H\*(10) werd middels de gebruikte conversiecoëfficiënten omgerekend naar H<sub>p,slab</sub>(10) (19). Welke representatief is voor de persoonsdosisequivalent, die de vaatchirurg heeft ontvangen gedurende de EVAR-procedure (20).

Er werden zeven verschillende meetopstellingen gebruikt in deze fantoomstudie. In meetopstelling A werd de huidige werkwijze van de EVAR-procedure gereproduceerd op het fantoom. In de meetopstellingen B t/m F werd telkens slechts één variabele aangepast om zo het effect van de verschillende variabelen goed te kunnen onderscheiden. Alle metingen in opstelling A t/m F werden drie keer herhaald en gemiddeld om zo de kans op toevalsbevindingen te minimaliseren:

1. Meetopstelling A:

Dit is de referentiemeting van de huidige EVAR-procedure werkwijze. Tijdens deze meetopstelling werd gemeten op 50 cm afstand vanaf het midden van het fantoom, stond de beeldversterker op 15 cm hoogte ten opzichte van het fantoom en werd er continu doorlicht. Er werd geen gebruik gemaakt van diafragmering of RADPAD® Shields.

2. Meetopstelling B.1:

Het effect van gebruik van halve doorlichtingsmodus werd onderzocht.

3. <u>Meetopstelling B.2:</u>

Het effect van gebruik van kwart doorlichtingsmodus werd onderzocht.

4. Meetopstelling C:

Het effect van verkleinen van de afstand van de beeldversterker tot aan het fantoom werd onderzocht. De standaard gebruikte 15 cm afstand van de beeldversterker tot het fantoom werd verkleind tot 1 cm. Omdat de C-boog gedurende de meting op de minimale hoogte stond, kon de afstand tussen beeldversterker en het fantoom alleen verkleind worden door de tafelhoogte te verhogen.

#### 5. Meetopstelling D:

Het effect van 25% diafragmeren werd onderzocht. Hierbij werd 12.5% aan de linker- en 12.5% aan de rechterzijde van het beeld gediafragmeerd.

#### 6. Meetopstelling E:

Het effect van twee meter afstand nemen tot het midden van het fantoom werd onderzocht. Hierbij werd de RaySafe Xi Survey Detector tijdens de meting twee meter ten opzichte van het midden van het fantoom naar achteren verplaatst.

#### 7. Meetopstelling F:

Tot slot werd onderzocht hoeveel dosisreductie te behalen valt door gebruik te maken van RADPAD® Shields. De RADPAD® Shield werd gepositioneerd aan de rechterkant van het fantoom. Doordat er een inham in de RADPAD® Shield is, kan de RADPAD® Shield in een hoek worden gepositioneerd (*bijlage IV*).

#### **Meetinstrumenten**

Tijdens de 27 EVAR-procedures werd de romp van de patiënt doorlicht, vanaf het sacrum tot halverwege de thoracale wervels. Om de romp van een gemiddelde patiënt te reproduceren, werd gebruik gemaakt van vier losse Polymethylmethacrylaat-platen (PMMA-platen), elk met een afmeting van 25 cm x 25 cm x 5 cm. Door vier PMMA-platen op elkaar te leggen, had het fantoom een afmeting van 25 cm x 25 cm x 20 cm. Tijdens de fantoommetingen werd gebruik gemaakt van de C-boog BV Pulsera 12 inch van Philips (kortweg BV Pulsera) met een standaard filter van 3 mm Al + 0,1 mm Cu (27,28). Het betrof een model uit 2008 met softwareversie R.2.3.3, gedateerd uit 28 januari 2011 (9). Op de BV Pulsera kon de doorlichtingsmodus worden gevarieerd. Door het variëren van de doorlichtingsmodus paste het toestel bij hantering van automatische belichting zelf de andere variabelen aan (buisspanning (kV), buisstroom (mA), Pulse Width en Pulse Rate)(*bijlage I*).

De metingen op het fantoom zijn in dit onderzoek verricht met handmatige belichting. Dit maakte het mogelijk om zelf de buisspanning te variëren. Op de C-boog was standaard de mA gekoppeld aan het kV. De mA varieerde, naarmate de ingestelde kV-waarde veranderde.

De BV Pulsera heeft verschillende instelmogelijkheden voor hoogte, rotatie en angulatie. Hierdoor is het mogelijk de C-boog precies in de juiste posities boven het fantoom te plaatsen. (*bijlage II*)(28).

Voor het meten van de strooistraling ( $\mu$ Sv) werd gebruik gemaakt van het RaySafe Xi systeem. Dit meetinstrument had een dose range van 0  $\mu$ Sv – 9999 Sv waarbij een onnauwkeurigheid hoorde van 10% bij 0,3 mSv/h (>1 mSv/h, bij 25 – 120 keV), zie *bijlage III*. De tempratuurgevoeligheid van dit systeem lag tussen de 15 – 35°C (25). De omgevingstemperatuur op het OK complex van het St. Elisabeth Ziekenhuis viel binnen deze marge.

Om de effecten van de C-boog instellingen op dosisreductie te meten, werden verschillende variabelen gehanteerd. Er werd gemeten met verschillende doorlichtingsmodi, verkleining van de

afstand van de beeldversterker tot aan het fantoom en diafragmering. Eveneens werd gemeten wat de effecten zijn van het gebruik van RADPAD® Shields. De afmeting van de RADPAD® Shields zijn 43 x 37 cm met aan de rechterzijde een inham van 16 cm. Deze inham bevindt zich op de helft van de RADPAD® Shields (op 21,5 cm). Ze hebben een lood equivalente dikte van 0,25 mm en zijn zeer flexibel, waardoor ze eenvoudig over het fantoom heen gelegd konden worden (*bijlage IV*)(29).

De metingen werden genoteerd op een meetlijst. (bijlage VI).

#### **Dataverzameling**

Het fantoom werd tijdens de metingen op dezelfde positie als de romp van de patiënt gepositioneerd, te weten in het midden van de OK-tafel. De vaatchirurg en de C-boog hebben een vaste positie gedurende de EVAR-procedure ten opzichte van de patiënt. Bij dit fantoomonderzoek werd daarom aan de rechterzijde van het fantoom met de RaySafe Xi Survey Detector gemeten (positie van de vaatchirurg), terwijl de C-boog aan de overzijde opgesteld stond en dus aan de linkerkant van het fantoom.

Na observatie tijdens de EVAR-procedure werden de drie meest frequente posities van de C-boog geregistreerd (*bijlage V*), te weten:

- a) Posterior-Anterior positie (PA). Hierbij stond de röntgenbuis recht onder het fantoom.
- b) Rechts Posterior Oblique positie (RPO). Hierbij werd de röntgenbuis 20° naar rechts om de longitudinale as geroteerd.
- c) Caudo-Craniale positie (Cau/Cr). Hierbij werd de röntgenbuis 20° om de transversale as geroteerd.

Tijdens deze fantoomstudie werd op de C-boog dezelfde buisspanning (kV) ingesteld als tijdens de 27 EVAR-procedures. Bij de PA-positie werd gebruik gemaakt van een buisspanning van 80 kV. In de RPO-positie en Cau/Cr-positie neemt het doorstraald volume van het fantoom toe wat resulteerde in een toename van de buisspanning tot 90 kV. In de positie a, b en c van de C-boog werd ook gebruik gemaakt van Digitale Subtractie Angiografie (DSA). Tijdens DSA werd onder röntgendoorlichting een video-opname gemaakt, waarbij de bloedvaten zichtbaar werden gemaakt door middel van het injecteren van jodiumhoudend contrastvloeistof in het bloedvat (30). Contrastvloeistof werd niet gebruikt tijdens deze fantoomstudie.

Tijdens eerder geobserveerde EVAR-procedures werd een gemiddelde röntgendoorlichtingstijd van 20 minuten gemeten, hierbij werden verschillende C-boog posities gebruikt *(tabel 1)*. Tijdens deze fantoomstudie werd gedurende 30 seconden gemeten in de verschillende C-boog posities, bij DSA werd gedurende 10 seconden gemeten. Omdat de dosis evenredig is met de doorlichtingstijd, kan op basis van deze metingen de totale dosis bij een EVAR-procedure worden doorberekend.

Tabel 1. Gemiddelde doorlichtingstijd van de EVAR-procedure uitgelicht. Tijdens de EVAR-procedure wordt gemiddeld 20 minuten doorlicht, dit is onderverdeeld in de volgende C-boog posities. Tijdens de metingen werd gebruik gemaakt van een handmatige belichting. Hierbij is gekozen om tijdens doorlichtingen in PA-positie een buisspanning van 80 kV te gebruiken, terwijl voor RPO en Cau/Cr een buisspanning van 90 kV gebruikt werd.

Positie van de C-boog	Aantal minuten	Buisspanning
PA	9:30 min	80 kV
PA + DSA	0:30 min	80 kV
20° RPO	4:30 min	90 kV
20° RPO + DSA	1:00 min	90 kV
20° Cau/Cr	4:00 min	90 kV
20° Cau/Cr + DSA	0:30 min	90 kV

De RaySafe Xi Survey Detector werd gedurende de metingen gemonteerd op een statief op een hoogte van 140 cm. Dit was de gemiddelde borsthoogte van de vaatchirurgen in het St. Elisabeth Ziekenhuis.

#### **Ethische Paragraaf**

Dit kwantitatieve onderzoek betrof een fantoomstudie, waarbij geen röntgendoorlichting plaatsvond op patiënten. Daarnaast zijn tijdens de 27 gevolgde EVAR-procedures voorafgaand aan de fantoomstudie geen gegevens van patiënten gebruikt. Het onderzoek vond daarom niet plaats onder toezicht van de Medisch Ethische Toets Commissie (METC).

#### **Data-Analyse**

Aan de hand van deze meetlijst zijn de kwantitatieve gegevens geanalyseerd met behulp van een beschrijvende statistiek. De gemeten H\*(10) gegevens werden doorgerekend met de totale doorlichtingstijd van de EVAR-procedure, waarna de dosis door middel van de conversiecoëfficiënten werd omgerekend naar de H<sub>p,slab</sub>(10). De conversiecoëfficiënten werden afgelezen uit *figuur 1*. In deze figuur valt bij 80 kV een conversiecoëfficiënt van 1,68 af te lezen voor de H\*(10) en een conversie coëfficiënt van 1,90 voor H<sub>p,slab</sub>(10). Bij 90 kV geldt voor H\*(10) een conversiecoëfficiënt van 1,65 en voor de H<sub>p,slab</sub>(10) een conversiecoëfficiënt van 1,83. Aan de hand van de formule:

 ${}^{"}H_{p,slab}(10) = H^{*}(10) x$  (conversiecoëfficiënt  $H_{p,slab}(10)$  / conversiecoëfficiënt  $H^{*}(10)$ )", is de gemiddelde  $H_{p,slab}(10)$  voor de gehele EVAR-procedure per meetopstelling berekend. De conversiecoëfficiënten zijn afhankelijk van de ingestelde C-boog positie in AP-, RPO- en Cau/Cr-positie met de bijbehorende kV-waarde. Aan de hand van de  $H_{p,slab}(10)$  kan een schatting gegeven worden over de persoonsdosisequivalent die op de positie van de vaatchirurg wordt ontvangen gedurende een EVAR-procedure.

### Resultaten

In deze fantoomstudie waarbij een PMMA-fantoom werd gebruikt, zijn zeven verschillende meetopstellingen (A t/m F) gebruikt.

In meetopstelling A werd een gemiddelde H\*(10) van 381,8  $\mu$ Sv gemeten (*bijlage VII*). Op basis van de gebruikte conversiecoëfficiënten werd de H\*(10) omgerekend naar de H<sub>p,slab</sub>(10) om hiermee een indicatie van de persoonsdosisequivalent te kunnen geven. De gemiddelde H<sub>p,slab</sub>(10) op de plaats waar de vaatchirurg zich bevond, bedroeg bij één EVAR-procedure gemiddeld 425,5  $\mu$ Sv. Op jaarbasis verwacht men in 2014 in het St. Elisabeth Ziekenhuis 120 EVAR-procedures uit te voeren. Aan de hand van de gemeten waarden kan geconcludeerd worden dat op de positie van de vaatchirurg hierbij tussen de 50 en 55 mSv per jaar wordt ontvangen. Deze 120 EVAR-procedures worden door vier vaatchirurgen uitgevoerd. Per vaatchirurg wordt 12765  $\mu$ Sv op jaarbasis ontvangen. Dit komt overeen met een persoonsdosisequivalent van ± 12,8 mSv/jaar op de positie van de vaatchirurg gedurende een EVAR-procedure. Deze effectieve dosis geld voor de huidige werkwijze tijdens een EVAR-procedure.

Tabel 2 geeft een overzicht van de effecten op dosis reductie tijdens een EVAR-procedure waarbij per meetopstelling één variabele werd aangepast.

Tabel 2: procentuele dosisreductie ten opzichte van referentiemeting A. In de tabel zijn de gegevens bekend van meetopstelling A t/m F. De gemiddelde  $H_{p,slab}(10)$  zijn weergegeven in  $\mu$ Sv met de bijbehorende procentuele dosisreductie of dosistoename in vergelijking met meetopstelling A.



Uit *tabel 2* valt af te leiden dat de maximale dosisreductie werd verkregen met halve dosis doorlichting (B.1), een kwart dosis doorlichting (B.2) of door gebruik te maken van RADPAD® Shields (F). Respectievelijk is met deze aanpassingen een H<sub>p,slab</sub>(10) van 240,4  $\mu$ Sv, 123,8  $\mu$ Sv en 129,1  $\mu$ Sv (*bijlage VIII, XII*) te realiseren. Daarmee kan ten opzichte van referentiemeting (A) een dosisreductie

van 43,50%, 70,90% en 69,65% behaald worden. Door te diafragmeren (D) wordt een gemiddelde  $H_{p,slab}(10)$  van 342,9 µSv geregistreerd, hetgeen tijdens een EVAR-procedure een dosisreductie zou kunnen opleveren van 19,41% *(bijlage X)*.

In deze fantoomstudie is gebleken dat meetopstelling bij C een toename van de  $H_{p,slab}(10)$  werd gemeten van 665,6 µSv, wat een procentuele dosisverhoging geeft van 54,08% *(tabel 2, bijlage IX)*. Een verklaring hiervoor zal besproken worden in de Discussie. Als alle variabelen, exclusief de variabele uit meetopstelling C, zouden worden geïmplementeerd tijdens een EVAR-procedure kan op de positie van de vaatchirurg een significante dosisreductie van 44,95% behaald worden.

Aan de hand van *tabel 3* blijkt dat als er afstand werd genomen gedurende een DSA-opname, een dosisreductie van 85,26% was te realiseren *(bijlage XI)*. Tijdens de EVAR-procedure werd relatief kort gebruik gemaakt van DSA (twee minuten), waardoor de totale dosisreductie beperkt bleef tot 21,31% *(tabel 3)*.

Tabel 3: de gemeten DSA-metingen op standaard 50 cm en 200 cm afstand van het fantoom. In de tabel zijn de gegevens bekend van meetopstelling A en E met betrekking tot de DSA-metingen. De gemiddelde  $Hp_{slab}(10)$  in  $\mu$ Sv is weergegeven met de daarbij horende procentuele dosisreductie in vergelijking met meetopstelling A.



### Discussie

In deze fantoomstudie is onderzocht wat de persoonsequivalentedosis is op de plek van de vaatchirurg gedurende een EVAR-procedure. Daarnaast werd onderzocht welke maatregelen het meest effectief zijn om de H<sub>p,slab</sub>(10) te reduceren.

Op de positie van de vaatchirurg werd gemiddeld 12,8 mSv/jaar ontvangen gedurende de

EVAR-procedures. In de werkelijke situatie wordt echter loodafschermende maatregelen gebruikt zoals loodschorten en loodkragen. De dosis die een vaatchirurg tijdens een werkelijke

EVAR-procedure zal ontvangen zal hierdoor waarschijnlijk lager liggen dan de gemeten resultaten. De ontvangen H<sub>p,slab</sub>(10) van 12,8 mSv/jaar is echter zonder implementatie van de dosisreducerende maatregelen zoals die gebruikt werden in de verschillende meetopstellingen tijdens deze fantoomstudie. Tijdens deze fantoomstudie werd geen rekening gehouden met andere ingrepen, waarbij de vaatchirurg röntgendoorlichting gebruikt. Als alle maatregelen geïmplementeerd werden, is een dosisreductie van 28,44% mogelijk.

Meetopstellingen B.1, B.2, D, E en F leverden respectievelijk een dosisreductie op van 43,50%, 70,90%, 19,41%, 21,31% en 69,65%. Meetopstelling E leverde een dosisreductie van 85,26% met betrekking tot de DSA-opname. In de werkelijke EVAR-procedure zal dit beperkt blijven tot 21,31%, aangezien het gebruik van DSA over de totale onderzoekstijd beperkt is tot twee minuten. In meetopstelling C is een dosistoename is van 54,08%.

Wanneer alle meetopstellingen (B t/m F) geïmplementeerd werden, lijkt een kleinere dosisreductie haalbaar dan wanneer de meetopstellingen afzonderlijk werden uitgevoerd. Tijdens een werkelijke EVAR-procedure is dit niet reëel en kan niet van één enkele meetopstelling worden uitgegaan. Er zal een combinatie van meerdere meetopstellingen worden gehanteerd.

Ondanks dat in meetopstelling C een dosistoename gemeten is, wordt in de literatuur beschreven dat het verkleinen van de afstand van beeldversterker tot een object zou moeten resulteren in een dosisreductie (31). Doordat de focus-objectafstand vergroot wordt, is er echter wel een afname van de intreedosis op het fantoom (31). Deze dosisreductie beperkt zich echter tot de patiënt en geldt niet voor de aanwezige werknemers in de ruimte.



Figuur 2: meetopstelling C uitgelicht: De linker afbeelding staat voor meetopstelling A, terwijl de rechter afbeelding voor meetopstelling C staat. Hierbij staat BV voor de beeldversterker, P voor het fantoom en X voor de röntgenbuis. Het gearceerde volume stelt de vergroting van het doorstraald gebied voor. De blauwe pijl staat voor de bundelafstand die dichter bij het fantoom komt te liggen door de tafelverhoging. De gele pijl staat voor de afstand die de strooistraling door het fantoom aflegt.

Mogelijke verklaringen voor de dosistoename zijn:

- In meetopstelling C is de OK-tafel in een hogere positie verplaatst om daarmee de afstand van de beeldversterker en het fantoom te verkleinen tot één cm (kleinere afstand tussen beeldversterker en het fantoom was niet op een andere manier te realiseren). Door deze hogere tafelpositie werd de afstand tussen het fantoom en de RaySafe Xi Survey detector verkleind (*figuur 2*).
- Een andere mogelijke oorzaak is dat door verplaatsing van het fantoom dichter naar de beeldversterker toe een groter doorstraald volume ontstaat. Bij een groter doorstraald volume werd de afstand die de verstrooide straling door het fantoom af moest leggen kleiner, hierdoor vond minder absorptie plaats door het fantoom zelf waardoor de strooistraling minder werd verzwakt (*figuur 2*).
- De laatst mogelijke oorzaak is dat doordat er een groter doorstraald volume is, de bundelrand vergroot werd, waardoor deze dichter bij de RaySafe Xi Survey detector kwam. Bovendien is de grootste bron van strooistraling het fantoom zelf. De bron van de verstrooide straling kwam dus dichter bij de RaySafe Xi Survey detector (*figuur 2*).

De fabrikant van de RADPAD® Shields (Worldwide Innovations & Technologie, Inc.) garandeert een strooistralingreductie van 95% (32). In een eerder onderzoek in het Catharina Ziekenhuis te Eindhoven is gedurende juli 2012 – november 2012 een onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van RADPAD® Shields bij de EVAR-procedure (33). Tijdens dit onderzoek is gekeken naar de dosisreductie bij de ooglens, borst en handdosis. Tijdens deze studie in het Catharina Ziekenhuis te Eindhoven is een dosisreductie verkregen van 52% van de jaardosis op borsthoogte (33). Een andere studie liet zien dat een dosisreductie tussen de 55% en 90% haalbaar was (15). De gemeten waarden uit de eerdere onderzoeken (15,33) komen redelijk overeen met de resultaten in deze fantoomstudie in het St. Elisabeth ziekenhuis te Tilburg. In deze fantoomstudie is namelijk gebleken dat door gebruik te maken van RADPAD® Shields een dosisreductie van 69,65% haalbaar is.

Sterke punten van dit onderzoek waren dat de commissie stralingshygiëne in het St. Elisabeth Ziekenhuis tot nu toe niet in kaart had hoeveel dosis een vaatchirurg ontving gedurende een EVAR-procedure. Tijdens deze fantoomstudie is in kaart gebracht hoeveel dosis een vaatchirurg ontvangt. Daarnaast zijn de vaatchirurgen onvoldoende opgeleid met betrekking tot het ALARA-principe. Door middel van de meetresultaten uit dit kwantitatief onderzoek, kunnen de vaatchirurgen bewuster worden van de straling. Ook blijkt uit dit onderzoek dat er 28,44% dosisreductie te realiseren valt met dosisreducerende maatregelen zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit van het onderzoek. Een ander sterk punt van deze fantoomstudie is dat dit onderzoek gebaseerd is op 27 EVAR-procedures, geobserveerd bij patiënten. Hierdoor kon de EVAR-procedure zo nauwkeurig mogelijk worden nagebootst op een fantoom waarbij dezelfde posities en doorlichtingsparameters werden gebruikt. Tot slot werd om toevalsbevindingen te minimaliseren elke meetopstelling drie keer gemeten en vervolgens gemiddeld.

Minder sterke punt van dit onderzoek is dat in meetopstelling C de afstand tussen beeldversterker en fantoom alleen verkleind kon worden door de OK-tafel in een hogere positie te brengen. Deze tafelpositie is echter wel de posities zoals deze in de praktijk worden gebruikt. Een ander minder sterk punt is dat er een onnauwkeurigheid is in het gemeten effect op dosisreductie bij gebruik van DSA-opnamen omdat hier geen contrastmiddel is gebruikt. In de werkelijke EVAR-procedure wordt tijdens de DSA-opname een contrastmiddel in slagader van de patiënt gespoten. Omdat hier gebruik werd gemaakt van een fantoom, was het simuleren van een reële DSA niet mogelijk.

# Conclusie en aanbevelingen

Op basis van deze fantoomstudie kan berekend worden dat gedurende 120 EVAR-procedures (aanname aantal procedures in 2014) verdeeld over vier vaatchirurgen, één vaatchirurg gemiddeld op de positie van de vaatchirurg een persoonsdosisequivalent van ± 12,8 mSv/jaar zal ontvangen. Deze gegevens zijn gebaseerd op bij de huidige werkwijze tijdens een EVAR-procedure. Het lijkt zeer zinvol om de in dit onderzoek gemeten dosisreducerende maatregelen in de praktijk te implementeren. Hiermee kan een aanzienlijke dosisreductie van 28,44% bereikt worden. Daarmee zou de persoonsdosisequivalent op de positie van de vaatchirurg op 9,1 mSv/jaar kunnen komen. Wel moet gevalideerd worden of gebruik van halve en/of kwart dosis tijdens de werkelijke EVAR-procedure niet zal leiden tot onacceptabele diagnostische beeldkwaliteit.

De hier gepresenteerde gegevens zijn een schatting omdat de vaatchirurgen tot nu toe geen persoonsdosismeter dragen. Deze gegevens zouden gebruikt kunnen worden door de commissie stralingshygiëne van het St. Elisabeth Ziekenhuis te Tilburg, om te heroverwegen of de vaatchirurgen een persoonsdosimeter moeten gaan dragen.

# Bijlagen

### Bijlage I: Specificatie doorlichtingsmodus BV Pulsera

Tabel 4: BV Pulsera doorlichtingmodus variatie. Technische specificatie van de BV Pulsera 12 inch bij verandering aan de doorlichtingmodi. Bron: (28)

Doorlichting	Buisspanning	Buisstroom	Pulse	Pulse Rate
modus			Width	
Continue dosis	Range: 40 – 120 kV	Low Dose Fluoroscopy	n.v.t.	n.v.t.
doorlichten		mode: 0,10 – 8,3 mA		
(High dose)		High Definition Fluoroscopy		
		mode: 0,24 – 20,0 mA		
Halve dosis	Range: 40 – 120 kV	Peak range: 0,4 – 12 mA	10, 16.6,	12.5 pps
doorlichten			24, 40 ms	
(Medium dose)				
Kwart dosis	Range: 40 – 120 kV	Peak range: 0,4 – 12 mA	10, 16.6,	6.25 pps
doorlichten			24, 40 ms	
(Low dose)				

kV = buisspanning mA = buisstroom. ms = miliseconde. pps = pulses per seconds.

# Bijlage II: C-boog specificaties en afmetingen



Figuur 3. C-boog specificaties. Bron: (28)

### Bijlag III: Technische specificatie RaySafe Xi Survey Detector

Technische specificatie RaySafe Xi Survey Detector:

- Gemiddelde foton energie: "13 keV 1.25 MeV
- Minimale response tijd: "0.5 s"
- International standard: voldoet aan IE 60601-1-3
- Max. Resolutie: "0.001 µSv"
- Dose range: "0 μSv 9999 Sv; 0 μGy 9999 Gy; 0 nR 9999 R."
- Onnauwkeurigheid\*: 10% (bij 25 120 keV)
- Dose rate range: "0 mSv/h 0.15 mSv/h; 0 μGy/h 0,1 μGy/h; 0 nR/h 11 R/h."
- Onnauwkeurigheid\*: "10% bij 0,3 mSv/h (>1 mSv/h, bij 25 120 keV)."

\* " RaySafe onnauwkeurigheid definitie:

De vermelde onnauwkeurigheid is de gecombineerde onzekerheid van: meting vermenigvuldigd met de dekkingsfactor k = 2, waarbij uitgegaan wordt van een normale distributie met een dekking waarschijnlijkheid van 95% (voldoet aan GUM door ISO (1995, IS BN 92-67-10188-9))." Bron: (26)

# Bijlage IV: Positionering RADPAD® Shield



Figuur 4. RADPAD® Shield



Figuur 5. Positionering RADPAD® Shield

# Bijlage V: Positionering C-boog ten opzichte van het fantoom



Figuur 6: Instellingen C-boog in PA-positie



Figuur 7: Instelling C-boog in RPO



Figuur 8: Instelling C-boog in Cr/Cau

### **Bijlage VI: Meetlijst**

Tabel 5. Meetlijst die gebruikt is tijdens de metingen in deze fantoomstudie.

Meetlij	st													
	Meetop	Meetopstelling A Meetopstelling B.1		Meeto	Meetopstelling B.2 Me		Meetopstelling C		Meetopstelling D		Meetopstelling E		Meetopstelling F	
	μSv	mSv/s	μSv	mSv/s	μSv	mSv/s	μSv	mSv/s	μSv	mSv/s	μSv	mSv/s	μSv	mSv/s
РА														
PA + DSA														
RPO														
RPO + DSA														
Cr/Cau														
Cr/Cau + DSA														

Meetopstelling A: Continue dosis doorlichten, 50 cm tot de vaatchirurg, 15 cm beeldversterker tot patiënt, niet diafragmeren, geen RADPAD Shield Meetopstelling B.1: <u>1/2 dosis doorlichten</u>, 50 cm tot de vaatchirurg, 15 cm beeldversterker tot patiënt, niet diafragmeren, geen RADPAD Shield Meetopstelling B.2: <u>1/4 dosis doorlichten</u>, 50 cm tot de vaatchirurg, 15 cm beeldversterker tot patiënt, niet diafragmeren, geen RADPAD Shield Meetopstelling C: Continue dosis doorlichten, 50 cm tot de vaatchirurg, <u>200 cm beeldversterker tot patiënt</u>, niet diafragmeren, geen RADPAD Shield Meetopstelling D: Continue dosis doorlichten, 50 cm tot de vaatchirurg, 15 cm beeldversterker tot patiënt, <u>wel diafragmeren</u>, geen RADPAD Shield Meetopstelling D: Continue dosis doorlichten, 50 cm tot de vaatchirurg, 15 cm beeldversterker tot patiënt, <u>wel diafragmeren</u>, geen RADPAD Shield Meetopstelling E: Continue dosis doorlichten, <u>200 cm tot de vaatchirurg</u>, 15 cm beeldversterker tot patiënt, niet diafragmeren, geen RADPAD Shield Meetopstelling E: Continue dosis doorlichten, <u>200 cm tot de vaatchirurg</u>, 15 cm beeldversterker tot patiënt, niet diafragmeren, geen RADPAD Shield Meetopstelling F: Continue dosis doorlichten, <u>50 cm tot de vaatchirurg</u>, 15 cm beeldversterker tot patiënt, niet diafragmeren, geen RADPAD Shield Meetopstelling F: Continue dosis doorlichten, <u>50 cm tot de vaatchirurg</u>, 15 cm beeldversterker tot patiënt, niet diafragmeren, <u>wel RADPAD Shield</u>

### **Bijlage VII: Referentiemeting A uitgewerkt**

R	<mark>eferentie metir</mark>	ng								
			Meetopstelling	g A		Meetopstelling	Α		Meetopstelling	Α
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd
PA		3,642			4,748			4,747		
t=30s	09:30	x 19 =	69,2	78,26	x 19 =	90,21	102,02	x 19 =	90,19	102,00
PA + DSA		4,269			3,526			3,591		
t=10s	00:30	x 3 =	12,81	14,49		10,58	11,97	x 3 =	10,77	12,18
RPO		11,63			13,16			13,19		
t=30s	04:30	x 9 =	104,7	116,12	x 9 =	118,4	131,32	x 9 =	118,7	131,65
RPO + DSA		7,778			9,632			12,31		
t=10s	01:00	x 6 =	46,69	51,78	x 6 =	57,79	64,09	x 6 =	73,86	81,92
Cau/Cr		12,73			10,42			10,22		
t=30s	04:00	x 8 =	101,8	112,91	x 8 =	83,36	92,45	x 8 =	81,76	90,68
Cau/Cr + DSA		9,646			7,478			7,714		
t=10s	00:30	x 3 =	28,94	32,10	x 3 =	22,43	24,88	x 3 =	23,13	25,65
		Totaal (µSv)	364,14	405,66		382,77	426,73		398,41	444,08

Tabel 6 : Meting A uitgewerkt. Hierbij zijn de verschillende C-boog posities verwerkt zijn met de tijd. Waarna de  $H^*(10)$  is omgerekend naar de  $H_{p,slab}(10)$  met behulp van de conversiecoëfficiënten.

	-
Referentie meting	
Gemiddeld Hp*(10) (µSv)  =	381,77
Gemiddeld Hpslab(10) (µSv)	425,49

### Bijlage VIII: Meetopstelling B uitgewerkt

Tialve		Inting									
		Meetopstelling B.1				Meetopstelling B.1			Meetopstelling B.1		
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	H <b>pslab(10)</b> in μSv gecorrigeerd	
PA		2,164			2,704			2,611			
t=30s	09:30	x 19 =	41,12	46,50	x 19 =	51,38	58,11	x 19 =	49,61	56,11	
PA + DSA		2,118			1,967			1,917			
t=10s	00:30	x 3 =	6,354	7,19	x 3 =	5,901	6,67	x 3 =	5,751	6,50	
RPO		7,145			7,749			7,57			
t=30s	04:30	x 9 =	64,31	71,33	x 9 =	69,74	77,35	x 9 =	68,13	75,56	
RPO + DSA		5,365			4,796			5,1			
t=10s	01:00	x 6 =	32,19	35,70	x 6 =	28,78	31,92	x 6 =	30,6	33,94	
Cau/Cr		7,332			6,005			5,784			
t=30s	04:00	x 8 =	58,66	65,06	x 8 =	48,04	53,28	x 8 =	46,27	51,32	
Cau/Cr + DSA		5,158			4,11			4,144			
t=10s	00:30	x 3 =	15,47	17,16	x 3 =	12,33	13,68	x 3 =	12,43	13,79	
		Totaal (µSv)	218,104	242,94		216,171	241,01		212,791	237,21	

Tabel 7 : Meting B1 uitgewerkt. Hierbij zijn de verschillende C-boog posities verwerkt zijn met de tijd. Waarna de  $H^*(10)$  is omgerekend naar de  $H_{p,slab}(10)$  met behulp van de conversiecoëfficiënten.

Halve dosis doorlichting	
Gemiddeld Hp*(10) (µSv)  =	215,7
Gemiddeld Hpslab(10) (μSv)	240,4

Tabel 8 : Meting B2 uitgewerkt. Hierbij zijn de verschillende C-boog posities verwerkt zijn met de tijd. Waarna de  $H^*(10)$  is omgerekend naar de  $H_{p,slab}(10)$  met behulp van de conversiecoëfficiënten.

Kwart	dosis doorlic	hting									
			Meetopstelling	B.2		Meetopstelling B.2			Meetopstelling B.2		
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	<b>Hpslab(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	<b>Hpslab(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 µSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	<b>Hpslab(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	
PA		1,1			1,352 µSv			1,365 µSv			
t=30s	09:30	x 19 =	20,9	23,64	x 19 =	25,69	29,05	x 19 =	25,94	29,34	
PA + DSA		1,043 µSv			1,006 µSv			0,967 µSv			
t=10s	00:30	x 3 =	3,129	3,54	x 3 =	3,018	3,41	x 3 =	2,901	3,28	
RPO		3,741 µSv			3,873 µSv			3,807 µSv			
t=30s	04:30	x 9 =	33,67	37,34	x 9 =	34,86	38,66	x 9 =	34,26	38,00	
RPO + DSA		2,898 µSv			2,842 µSv			2,589 µSv			
t=10s	01:00	x 6 =	18,39	20,40	x 6 =	17,05	18,91	x 6 =	15,53	17,22	
Cau/Cr		3,664 µSv			3,032 µSv			2,990 µSv			
t=30s	04:00	x 8 =	29,31	32,51	x 8 =	24,26	26,91	x 8 =	23,92	26,53	
Cau/Cr + DSA		2,592 µSv			2,092 µSv			2,134 µSv			
t=10s	00:30	x 3 =	7,776	8,63	x 3 =	6,276	6,96	x 3 =	6,402	7,10	
		Totaal (µSv)	113,175	126,05		111,154	123,91		108,953	121,47	

Kwart dosis doorlichting	
Gemiddeld Hp*(10) (µSv)  =	111,1
Gemiddeld Hpslab(10) (μSv)	123,8

### Bijlage IX: Meetopstelling C uitgewerkt

D	v alstallu I ti	11									
		Meetopstelling C				Meetopstelling	С	Meetopstelling C			
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 µSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	<b>Hpslab(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	
PA		9,011			7,059			7,07			
t=30s	09:30	x 19 =	171,2	193,62	x 19 =	134,1	151,66	x 19 =	134,3	151,89	
PA + DSA		6,68			5,317			5,436			
t=10s	00:30	x 3 =	20,04	23,07	x 3 =	15,95	18,04	x 3 =	16,31	18,45	
RPO		19,68			18,4			18,51			
t=30s	04:30	x 9 =	177,1	196,42	x 9 =	165,6	183,67	x 9 =	166,6	184,77	
RPO + DSA		18,78			15,05			14,26			
t=10s	01:00	x 6 =	112,7	124,99	x 6 =	90,3	100,15	x 6 =	85,56	94,89	
Cau/Cr		18,35			13,84			13,68			
t=30s	04:00	x 8 =	146,8	162,81	x 8 =	110,7	122,78	x 8 =	109,4	121,33	
Cau/Cr + DSA		14,58			10,31			10,65			
t=10s	00:30	x 3 =	43,74	48,51	x 3 =	30,93	34,30	x 3 =	31,95	35,44	
	-	Totaal (µSv)	671,58	749,43		547,58	610,60		544,12	606,77	

Tabel 9: Meting C uitgewerkt. Hierbij zijn de verschillende C-boog posities verwerkt zijn met de tijd. Waarna de  $H^*(10)$  is omgerekend naar de  $H_{p,slab}(10)$  met behulp van de conversiecoëfficiënten.

BV afstand 1 cm	1
Gemiddeld Hp*(10) (µSv) =	587,8
	-
Gemiddeld Hpslab(10) (µSv) =	655,6

### **Bijlage X: Meetopstelling D uitgwerkt.**

Tabel 10: Meetopstelling D uitgewerkt. Hierbij zijn de verschillende C-boog posities verwerkt zijn met de tijd. Waarna de H\*(10) is omgerekend naar de  $H_{p,slab}(10)$  met behulp van de conversiecoëfficiënten.

	Dialitaginerei										
			Meetopstelling	g D		Meetopstelling D			Meetopstelling D		
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	H <b>p⁺(10)</b> in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	<b>Hpslab(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	H <b>p*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	
PA		3,648			3,778			4,721			
t=30s	09:30	x 19 =	69,31	78,39	x 19 =	71,78	81,18	x 19 =	89,7	101,45	
PA + DSA		2,897			2,793			2,801			
t=10s	00:30	x 3 =	8,637	9,77	x 3 =	8,379	9,48	x 3 =	8,403	9,50	
RPO		8,985			10,79			10,75			
t=30s	04:30	x 9 =	80,87	89,69	x 9 =	97,11	107,70	x 9 =	96,75	107,30	
RPO + DSA		5,418			8,258			8,819			
t=10s	01:00	x 6 =	32,51	36,06	x 6 =	49,55	54,96	x 6 =	52,91	58,68	
Cau/Cr		8,881			8,099			7,96			
t=30s	04:00	x 8 =	71,05	78,80	x 8 =	64,79	71,86	x 8 =	63,68	70,63	
Cau/Cr + DS/	4	6,603			6,087			6,339			
t=10s	00:30	x 3 =	19,81	21,97	x 3 =	18,26	20,25	x 3 =	19,02	21,09	
		Totaal (µSv)	282,187	314,68		309,869	345,43		330,463	368,66	

Diafragmeren	
Gemiddeld/Hp*(10)/(µSv)//=	307,5
Gemiddeld,Hpslab(10),(µSv),⊨	342,9

### Bijlage XI: Meetopstelling E uitgewerkt

Tabel 11: In deze tabel is te zien wat de gemeten  $H^*(10)$  zijn, die via conversiecoëfficiënten omgerekend zijn naar de  $H_{p,slab}(10)$ . Hierbij is allen gekeken naar de DSA-metingen in meetopstelling E en de DSA-metingen in referentiemeting A.

Afsta	nd tot fantoom	i 2 m								
			Meetopstelling E			Meetopstelling	E	Meetopstelling E		
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd
PA + DSA		0,882			1,061			1,005		
t=10s	00:30	x 3 =	2,646	2,99	x 3 =	3,183	3,60	x 3 =	3,015	3,41
RPO + DSA		1,557			0,838			0,912		
t=10s	01:00	x 6 =	9,342	10,36	x 6 =	5,028	5,58	x 6 =	5,472	6,07
Cau/Cr + DSA		2,503			1,014			1,001		
t=10s	00:30	x 3 =	7,509	8,33	x 3 =	3,042	3,37	x 3 =	3,003	3,33
-	_	Totaal (µSv)	19,497	21,68		11,253	12,55		11,49	12,81

Afstand tot fantoom 2 m	I
Gemiddeld Hp*(10) (μSv) =	14,1
Gemiddeld Hpslab(10) (µSv) =	15,7

Re	eferentie metin	g	Ĩ								
			Meetopstelling A			Meetopstelling A			Meetopstelling A		
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	
PA + DSA		4,269			3,526			3,591			
t=10s	00:30	x 3 =	12,81	14,49		10,58	11,97	x 3 =	10,77	12,18	
RPO + DSA		7,778			9,632			12,31			
t=10s	01:00	x 6 =	46,69	51,78	x 6 =	57,79	64,09	x 6 =	73,86	81,92	
Cau/Cr + DSA		9,646			7,478			7,714			
t=10s	00:30	x 3 =	28,94	32,10	x 3 =	22,43	24,88	x 3 =	23,13	25,65	
	-	Totaal (µSv)	88,44	98,37		90,8	100,94		107,76	119,75	

Referentie meting A	1
Gemiddeld Hp*(10) (µSv)  =	95,67

Gemiddeld Hpslab(10) (µSv) 106,35

Tabel 12 : Meetopstelling E. Hierbij zijn de verschillende C-boog posities verwerkt zijn met de tijd. Waarna de H\*(10) is omgerekend naar de H<sub>p,slab</sub>(10) met behulp van de conversiecoëfficiënten

			Meetopstelling	Meetopstelling E		Meetopstelling E			Meetopstelling E		
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 µSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	
PA		3,642			4,748			4,747			
t=30s	09:30	x 19 =	69,2	78,26	x 19 =	90,21	102,02	x 19 =	90,19	102,00	
PA + DSA		0,882			1,061			1,005			
t=10s	00:30	x 3 =	2,646	2,99	x 3 =	3,183	3,60	x 3 =	3,015	3,41	
RPO		11,63			13,16			13,19			
t=30s	04:30	x 9 =	104,7	116,12	x 9 =	118,4	131,32	x 9 =	118,7	131,65	
RPO + DSA		1,557			0,838			0,912			
t=10s	01:00	x 6 =	9,342	10,36	x 6 =	5,028	5,58	x 6 =	5,472	6,07	
Cau/Cr		12,73			10,42			10,22			
t=30s	04:00	x 8 =	101,8	112,91	x 8 =	83,36	92,45	x 8 =	81,76	90,68	
Cau/Cr + DSA		2,503			1,014			1,001			
t=10s	00:30	x 3 =	7,509	8,33	x 3 =	3,042	3,37	x 3 =	3,003	3,33	
		Totaal (µSv)	295,197	328,97		303,223	338,34		302,14	337,14	

Afstand tot fantoom 2 m	Ţ
Gemiddeld Hp*(10) (µSv) =	300,2
Gemiddeld Hpslab(10) (μSv) =	334,8

### Bijlage XII: Meetopstelling F uitgewerkt

Tabel 13 Meetopstelling F. Hierbij zijn de verschillende C-boog posities verwerkt zijn met de tijd. Waarna de H\*(10) is omgerekend naar de H<sub>p,slab</sub>(10) met behulp van de conversiecoëfficiënten

	GIBITIE SHIER	a										
			Meetopstelling	F		Meetopstelling F			Meetopstelling F			
	Tijd EVAR	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	Hp*(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in µSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hp*(10 μSv	<b>Hp*(10)</b> in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd	Hpslab(10) in μSv gecorrigeerd voor EVAR tijd		
PA		1,717			1,706			1,329				
t=30s	09:30	x 19 =	32,62	36,89	x 19 =	32,41	36,65	x 19 =	25,25	28,56		
PA + DSA		1,082			1,272			1,334				
t=10s	00:30	x 3 =	3,246	3,67	x 3 =	3,816	4,32	x 3 =	4,002	4,53		
RPO		3,984			3,971			3,922				
t=30s	04:30	x 9 =	35,86	39,77	x 9 =	35,74	39,64	x 9 =	35,3	39,15		
RPO + DSA		2,863			3,518			3,426				
t=10s	01:00	x 6 =	17,18	19,05	x 6 =	21,11	23,41	x 6 =	20,56	22,80		
Cau/Cr		2,738			3,102			2,393				
t=30s	04:00	x 8 =	21,9	24,29	x 8 =	24,82	27,53	x 8 =	19,14	21,23		
Cau/Cr + DSA		2,124			2,501			0,16				
t=10s	00:30	x 3 =	6,372	7,07	x 3 =	7,503	8,32	x 3 =	0,48	0,53		
		Totaal (µSv)	117,178	130,75		125,399	139,87		104,732	116,80		

RADPAD <sup>®</sup> Shield	
Gemiddeld Hp*(10) (µSv)  =	115,8
Gemiddeld Hpslab(10) (μSv) =	129,1

# Literatuur

- 1. Vano E, Fernandez JM, Sanchez R. Occupational dosimetry in real time. Benefits for interventional radiology. Radiat Meas [Internet]. Elsevier Ltd; 2011 Nov [cited 2013 Nov 6];46(11):1262–5.
- 2. Walsh C, O'Callaghan a, Moore D, O'Neill S, Madhavan P, Colgan MP, et al. Measurement and optimization of patient radiation doses in endovascular aneurysm repair. Eur J Vasc Endovasc Surg [Internet]. Elsevier Ltd; 2012 May [cited 2013 Nov 6];43(5):534–9.
- Fossaceca R, Brambilla M, Guzzardi G, Cerini P, Renghi A, Valzano S, et al. The impact of radiological equipment on patient radiation exposure during endovascular aortic aneurysm repair. Eur Radiol [Internet]. 2012 Nov [cited 2013 Nov 6];22(11):2424–31.
- Sanchez R, Vano E, Fernandez JM, Gallego JJ. Staff radiation doses in a real-time display inside the angiography room. Cardiovasc Intervent Radiol [Internet]. 2010 Dec [cited 2013 Nov 14];33(6):1210–4.
- Miller DL, Vañó E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, et al. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. Cardiovasc Intervent Radiol [Internet]. 2010 Apr [cited 2013 Nov 6];33(2):230–9.
- 6. Chiriotti S, Ginjaume M, Vano E, Sanchez R, Fernandez JM, Duch M a., et al. Performance of several active personal dosemeters in interventional radiology and cardiology. Radiat Meas [Internet]. Elsevier Ltd; 2011 Nov [cited 2013 Nov 6];46(11):1266–70.
- Sociale.Zaken.en.Werkgelegenheid, Nederlandse.Overheid. Besluit Stralingsbescherming; Beroepsmatige blootstelling, dosislimieten en classificatie van werknemers [Internet]. 2013. p. Hoofdstuk 7.1, artikel 77. Available from: http://wetten.overheid.nl/BWBR0012702/volledig/geldigheidsdatum\_30-09-2013#Hoofdstuk7
- Sociale.Zaken.en.Werkgelegenheid.Nederlandse.Overheid. Besluit Stralingsbescherming [Internet].
  2014. p. Hoofdstuk 1–12. Available from: http://wetten.overheid.nl/BWBR0012702/geldigheidsdatum\_03-01-2014
- 9. Sociale.Zaken.en.Werkgelegenheid. Besluit Stralingsbescherming; algemene voorschriften [Internet]. 2014 [cited 2014 May 20]. p. Hoofdstuk 3.1 artikel 9. Available from: http://wetten.overheid.nl/BWBR0012702/Hoofdstuk3/31/Artikel9/geldigheidsdatum\_13-04-2014
- 10. Ministerie van Volksgezondheid welzijn en sport. Ontwikkelingen opleiding stralingsbescherming medische beroepsoefenaren. Den haag; 2005.
- 11. Sociale.Zaken.en.Werkgelegenheid. Besluit Stralingsbescherming; algemene voorschriften [Internet]. 2014. p. Hoofdstuk 1, artikel 12. Available from: http://wetten.overheid.nl/BWBR0012702/Hoofdstuk3/31/Artikel12/geldigheidsdatum\_13-04-2014
- 12. Sociale.Zaken.en.Werkgelegenheid.Nederlandse.Overheid. Besluit Bestralingsbescherming; Medische stralingstoepassingen en bescherming. Voorschriften voor apparatuur [Internet]. 2014 [cited 2014 May 20]. p. Hoofdstuk 6.3 Artikel 67. Available from: http://wetten.overheid.nl/BWBR0012702/Hoofdstuk6/63/Artikel67/geldigheidsdatum\_13-04-2014
- 13. Mai T. The use of a Real-Time Displayed Measuring System for X-rays an evaluation of personnel doses in an angiography room with a. 2011;1 35.
- 14. De Ru VJ, Scheurleer JS, Welleweerd J. Radiobiologie en stralingsbescherming. 4e editie. ELSEVIER gezondheidszorg; 2003.
- 15. Gutteling J, Hoeben R, Kloeze C, Janssen M. Disposable strooistralingsbeschermend afdekmateriaal tijdens interventies Toepassingen en limitaties. :2–4.

- 16. Murphy JC, Darragh K, Walsh SJ, Hanratty CG. Efficacy of the RADPAD protective drape during real world complex percutaneous coronary intervention procedures. Am J Cardiol [Internet]. Elsevier Inc.; 2011 Nov 15 [cited 2013 Nov 13];108(10):1408–10.
- 17. Phade S V, Garcia-Toca M, Kibbe MR. Techniques in endovascular aneurysm repair. Int J Vasc Med [Internet]. 2011 Jan [cited 2013 Nov 14];2011:964250.
- 18. Unfors.RaySafe. RaySafe Xi, brochure [Internet]. 2014. Available from: http://www.raysafe.com/Products/Equipment/RaySafe Xi#Downloads
- 19. Conversiecoefficientenvoorfantomen. Dosimetrie II (stralingsbeschermingsgrootheden).
- 20. Persoonsdosisequivalent. Dosimetrie II (stralingsbeschermingsgrootheden).
- 21. Mattson S, Soderberg M. Dose Quantities and Units for Radiation Protection. Mattsson S, Hoeschen C, editors. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013 [cited 2014 May 13]; Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-31167-3
- 22. Operationelegrootheden. Dosimetrie II (stralingsbeschermingsgrootheden).
- 23. Fantomen. Dosimetrie II (stralingsbeschermingsgrootheden).
- 24. Omgevings-enrichtingsequivalent. Dosimetrie II (stralingsbeschermingsgrootheden).
- 25. Unfors.RaySafe. RaySafe Xi MeetSysteem [Internet]. 2014 [cited 2014 Apr 16]. Available from: http://www.raysafe.com/Products/Equipment/RaySafe Xi#Detectors
- 26. Unfors.RaySafe. RaySafe Xi Specifications [Internet]. 2014 p. 1,8. Available from: http://www.raysafe.com/Products/Equipment/RaySafe Xi#Downloads
- 27. Philips. BV Pulsera c-boog [Internet]. 2013 [cited 2013 Nov 13]. Available from: http://www.healthcare.philips.com/nl\_nl/products/xray/products/c\_arms/bvpulsera/
- 28. Philips.Medical.System.Nederland.B.V. Mobile C-arms systeem BV Pulsera [Internet]. 2005 p. 1–20. Available from: www.medisindustries.com/files/17843.pdf
- 29. Finnerty M, Brennan PC. Protective aprons in imaging departments: manufacturer stated lead equivalence values require validation. Eur Radiol [Internet]. 2005 Jul [cited 2014 May 11];15(7):1477–84.
- 30. De Ru VJ, Scheurleer JS, Welleweerd J. Radiobiologie en stralingsbescherming. 4e editie. ELSEVIER gezondheidszorg; 2003.
- 31. De Ru VJ, Scheurleer JS, Welleweerd J. Radiobiologie en stralingsbescherming. 4e editie. ELSEVIER gezondheidszorg; 2003.
- 32. Worldwide Innovations & Technologies Inc. RADPAD Shield [Internet]. [cited 2014 May 11]. Available from: http://www.radpad.com
- 33. Kloeze C, Klompenhouwer EG, Brands PJ., van Sombeek MRH., Cuypers PW., Teijink JAW. radpad EVAR studie.pdf. 2012;