

ALARA-principe bij gebruik van de mini C-boog



mcl

■ medisch centrum
leeuwarden



**Hanzehogeschool
Groningen**
University of Applied Sciences

noorderbreedte°
■ het beste van de zorg

Marijke Venema en Martha de Jong
Zorggroep Noorderbreedte
27-05-2019

Het ALARA-principe bij gebruik van de mini C-boog

Stralingshygiënisch werken met de mini C-boog bij hand-/polschirurgie

Auteurs: Marijke Venema

Martha de Jong

Datum: 27-05-2019

Instelling: Medisch Centrum Leeuwarden

Begeleiders: Dr. Janneke Hilderink

Eco Wagendorp

Tutoren: Marcel Voet

Peter Lesterhuis, MSc

Hanzehogeschool Groningen, Medisch Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Het ALARA-principe bij het gebruik van de mini C-boog'. Het onderzoek is uitgevoerd in het Medisch Centrum Leeuwarden (MCL). Dit praktijkgericht onderzoek is geschreven in het kader van ons afstuderen aan de opleiding Medische Beeldvormende en Radiotherapeutische Technieken (MBRT) aan de Hanzehogeschool te Groningen. De opdracht is aangeleverd door de klinisch fysicus van het MCL en het onderzoek is onderzocht en geschreven in de periode van december 2018 tot en met mei 2019.

Voor het uitvoeren van dit onderzoek en het verzamelen van de resultaten en gegevens zouden we van deze gelegenheid graag gebruik maken om de volgende personen te bedanken:

- **Janneke Hilderink (klinisch fysicus)** voor het vrijgeven van de opdracht en de begeleiding bij dit praktijkgericht onderzoek. Ook voor de meetapparatuur die we hebben mogen lenen. Werkzaam in het Medisch Centrum Leeuwarden als klinisch fysicus.
- **Eco Wagendorp (praktijkbegeleider)** voor het begeleiden van dit praktijkgericht onderzoek, het verstrekken van de benodigde gegevens en de administratie in het MCL. Werkzaam in het Medisch Centrum Leeuwarden als MBB'er en praktijkbegeleider op de afdeling nucleaire geneeskunde.
- **Juliaan van Rappard (plastisch chirurg)** voor de begeleiding en het meedenken bij het schrijven van de onderzoeksopzet voor metingen aan het personeel en voor het leren werken met de mini C-boog. Werkzaam in het Medisch Centrum Leeuwarden als plastisch chirurg.
- **Peter Lesterhuis en Marcel Voet (onderzoeksbegeleiders)** voor de begeleiding in de lessen omtrent het praktijkgericht onderzoek. Werkzaam op Hanzehogeschool Groningen, opleiding MBRT.
- **Plastisch chirurgen van het MCL** voor het toestaan van metingen tijdens hun ingrepen en het lenen van de sleutel van de mini C-boog.
- **Helena Hoekstra en Jenny Rinsma-van Veen van de planning van de plastische chirurgie** voor het contacteren bij ingeplande ingrepen met de mini C-boog.
- **Het personeel van de medische instrumentele dienst (MID)** voor het gebruiken van de BVT-ruimte en materiaal om metingen te verrichten.
- **Medestudenten van PO-groep 2** voor het geven van bruikbare feedback tijdens de lessen omtrent het praktijkgericht onderzoek.

Ook willen wij graag het gehele OK-personeel van het MCL bedanken voor de medewerking en behulpzaamheid.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Mei, 2019

J.A. Venema, M. de Jong

Samenvatting

DOELSTELLING: Het doel van dit praktijkgericht onderzoek was een advies geven aan het OK-personeel in het Medisch Centrum Leeuwarden, zodat zo stralingshygiënisch als praktisch mogelijk gewerkt kan worden bij werkzaamheden met de mini C-boog bij hand-/polschirurgie.

METHODE: Tijdens acht ingrepen met de mini C-boog is de opgelopen stralingsdosis voor het OK-personeel ten gevolge van strooistraling gemeten met RaySafe i2 badges en vergeleken met dosisrapporten van 2018. Daarnaast werd in drie buisgeometrieën de strooistraling op verschillende posities rondom de OrthoscanHD mini C-boog gemeten en een schatting van de handdosis voor het personeel gemaakt. Ten slotte werden dosis reducerende functies van de mini C-boog onderzocht.

RESULTATEN: De verzamelde data van de huidige situatie kwam niet overeen met de dosisrapporten van 2018. De gemiddelde opgelopen stralingsdosis voor de artsen en assistenten bedroegen respectievelijk 0,49 μSv en 0,027 μSv . Een worstcasescenario schatting resulteert in 1,4 mSv per jaar voor alle artsen tezamen. Op de meest ingenomen positie werd tevens ook de hoogste dosis gemeten. In de verticale buisgeometrie met de röntgenbuis aan de onderzijde is een lagere handdosis gemeten. De strooistraling is hierbij hoger dan in de geometrie met de buis aan de bovenzijde. In de horizontale geometrie is een lagere dosis gemeten bij zowel strooistraling als handdosis. De OrthoscanHD mini C-boog bevat geen dosis reducerende functies.

CONCLUSIE: De plastisch chirurgen en assistenten werken in de huidige situatie al stralingshygiënisch. De gemeten verschillen in stralingsdosis zijn niet klinisch relevant. Vanwege de lage stralingsdosis voor het personeel en eventuele meetvariëaties worden geen maatregelen geadviseerd.

Abstract

OBJECTIVE: The aim of this study was to advise how OR-staff at the Medical Centre Leeuwarden could work following the ALARA-principle as much as practically possible during procedures with the mini C-arm in hand-/wrist surgery.

METHODS: Eight procedures with the mini C-arm were measured with RaySafe i2 dose devices to address the staff radiation dose and compared with dose reports of 2018. Separate measurements were performed around the OrthoscanHD mini C-arm in three geometrical settings to address the scatter dose and hand dose. Lastly, the dose reducing functions of the mini C-arm were examined.

RESULTS: The acquired data did not match the 2018 dose reports. The average dose for the surgeon and assistant was respectively 0,49 μSv and 0,027 μSv . This resulted in a worst-case scenario estimated radiation dose of 1,4 mSv per year for all surgeons together. Position 1 was the most used position with the highest dose. In the vertical position with the tube below, a hand dose reduction was measured. The scattered dose was in this geometry higher than in the vertical position with the tube above. In the horizontal geometry, a scattered dose and hand dose reduction was measured. The OrthoscanHD mini C-arm includes no other dose reducing features.

CONCLUSION: The plastic surgeons and assistants already work well following the ALARA principle. The measured dose reductions are not clinically relevant. No measures are advised, due to the low dose for the surgeons and assistants and variation in measurements.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting.....	3
Abstract	3
Inleiding.....	5
Achtergrond	6
Mini C-boog	6
Kenmerken Orthoscan mini C-boog	6
Flat-panel detector vs. beeldversterker	6
Basisprincipes van stralingsbescherming	6
Stroostraling	7
Hieleffect	8
Methode	9
Onderzoeksopzet.....	9
Onderzoekspopulatie	9
Metingen aan personeel	9
Hieleffect	10
Metingen aan fantoom	10
Dosis reducerende functies.....	12
Statistische analyse	13
Resultaten	14
Metingen aan personeel	14
Hieleffect	16
Metingen aan fantoom	17
Dosis reducerende functies.....	18
Discussie	20
Bibliografie	24
Bijlagen	27
Bijlage A Toestemmingsformulier	27
Bijlage B Voorbeeld aantekeningen operatie 4.....	28

Inleiding

Naarmate chirurgische ingrepen steeds complexer en betrouwbaarder worden, is intra-operatieve beeldvorming met hoge resolutie vereist bij zowel eenvoudige als complexe ingrepen. Hoewel de beste beeldkwaliteit wordt geboden door vaste angiografiebeeldvormingssysteem neemt de beeldkwaliteit van mobiele C-bogen snel toe. Om contrastrijke afbeeldingen van de anatomie en eventuele functieopnamen te produceren is de flat-panel detector ontwikkeld [1]. Dit is een van de redenen dat het gebruik van de mini C-boog in populariteit gestegen is onder de plastisch chirurgen bij kleine ingrepen, zoals aan de hand en pols. De mini C-boog is eenvoudig in omgang, levert betere beeldkwaliteit, kan gebruikt worden voor verschillende kleine ingrepen en is kostenefficiënt in vergelijking met een conventionele C-boog [2].

Bij hand-/polschirurgie is meer gedetailleerde beeldvorming nodig dan bij bijvoorbeeld orthopedische ingrepen. De hoge kwaliteit van deze beeldvorming is cruciaal om deze kleine ingrepen succesvol uit te kunnen voeren. In het Medisch Centrum Leeuwarden (MCL) geven de handchirurgen de voorkeur aan het gebruik van de mini C-boog in plaats van de standaard C-boog. Uit een fantoomstudie van Van Rappard, plastisch chirurg in het MCL, blijkt dat de blootstelling aan strooistraling bij het gebruik van de mini C-boog een factor drie hoger is dan bij het gebruik van een conventionele C-boog. Tijdens een ingreep met de mini C-boog worden zowel de patiënt als het personeel op de operatiekamer (OK-personeel) blootgesteld aan deze strooistraling [3]. Strooistraling is schadelijk voor het personeel dat hier dagelijks in werkt. Vooral de handen van chirurgen komen dicht bij de directe stralingsbundel en hebben hierdoor een verhoogd risico op stochastische en deterministische effecten bij hoge blootstelling aan ioniserende straling [4]. Van Rappard heeft ook het klinische blootstellingsniveau voor het lichaam van de chirurg en assistent bepaald en de stralingsdosis op de handen van de chirurg voor een periode van vijf maanden. Deze lichaamsdosis blijkt respectievelijk 2.9% en 1.1% van de wettelijke limiet van 1 mSv per jaar te zijn. Voor de handen bedroeg dit 2,56% van de limiet van 50 mSv per jaar [5].

In deze studies van Van Rappard, et al. is echter de strooistraling in slechts één buisgeometrie onderzocht, namelijk met de röntgenbuis aan de bovenzijde en de detector onder de operatietafel. Onbekend is hoe het strooistralingsniveau in andere buisgeometrieën is en wat de dosis is op verschillende posities rondom de mini C-boog voor de chirurg en de assistent. Ook is onbekend wat de werkwijze van de verschillende chirurgen en assistenten is in de reguliere opstelling bij een OK-procedure met de mini C-boog met betrekking tot de opgelopen strooistraling. Verder is niet gekeken naar dosis reducerende functies van de mini C-boog.

In het kader van het As Low As Reasonably Achievable principe (ALARA-principe) is het belangrijk om te weten welke maatregelen genomen kunnen worden om de blootstelling van het OK-personeel te verlagen. Het doel van dit praktijkgericht onderzoek is advies geven over hoe het OK-personeel zo stralingshygiënisch als praktisch wijs mogelijk kan gaan werken bij werkzaamheden met de mini C-boog bij hand-/polschirurgie. Het advies wordt gegeven aan de plastisch chirurgen en assistenten in het Medisch Centrum Leeuwarden over welke maatregelen genomen kunnen worden om stralingshygiënischer te gaan werken bij hand-/polschirurgie met de mini C-boog.

Achtergrond

Mini C-boog

Op de markt van de C-bogen zijn een aantal fabrikanten actief, zoals GE, Philips, Siemens, Hologic, Orthoscan en Ziehm Imaging. Orthoscan is een van de fabrikanten die ook mini C-bogen op de markt heeft [6]. De eerste C-boog van Orthoscan die op de markt kwam, betrof de OrthoscanHD mini C-boog. In het MCL wordt de OrthoscanHD met flat-panel detector gebruikt door de plastisch chirurgen tijdens ingrepen aan de vinger, hand of pols [7]. De mini C-boog biedt röntgenopnamen met hoge resolutie in real-time, waardoor de chirurg de voortgang van de ingreep kan controleren en onmiddellijk eventuele correcties kan aanbrengen [8].

Kenmerken Orthoscan mini C-boog

Een kenmerk van de OrthoscanHD mini C-boog is dat de dosis door de Automatic Exposure Control (AEC) wordt aangepast wanneer metaal in het lichtveld komt, functie opnamen worden gemaakt of de dikte van de anatomie varieert om optimale beeldkwaliteit te bereiken. Daarnaast bevat de mini C-boog een beeldscherm waarop de röntgenbeelden real-time beoordeeld kunnen worden. Ook wordt gebruik gemaakt van een flat-panel detector (FP-detector) en is een orbitale rotatie van 120° mogelijk. Verder bevindt zich op de buiskop een steriele veldbediening, waarmee het lichtveld tijdens de ingreep bediend kan worden. Als laatste is de OrthoscanHD kleiner en lichter dan conventionele C-bogen, doordat het scherm en het apparaat aan elkaar zitten. Op deze manier kan de buis eenvoudig verplaatst worden [9][10].

Flat-panel detector vs. beeldversterker

De OrthoscanHD maakt gebruik van een flat-panel detectorsysteem (FP). FP-detectoren vervangen in toenemende mate beeldversterkers van C-bogen [6].

Uit vele studies is gebleken dat een FP-detector bij een lagere dosis een betere beeldkwaliteit geeft dan een beeldversterker. Als gevolg van interne verstrooiingsmechanismen is het contrastverlies bij gebruik van een FP-detector verwaarloosbaar. Ook zorgt de FP-detector voor minder geometrische vervorming en betere uniforme helderheid van het beeld dan een beeldversterker. Daarnaast heeft de FP-detector een breder dynamisch bereik en blijft de spatiële resolutie behouden bij een groter field of view (FOV) [11][12]–[14]. Als laatste wordt het gehele FOV gebruikt bij een FP-detector, zoals weergegeven in figuur 1A. Vanwege de ronde vorm van een beeldversterker is dit niet mogelijk, zoals te zien in figuur 1B [6].



Figuur 1 A) Röntgenfoto van een hand op een FP-detector. B) Röntgenfoto gemaakt van een hand op een beeldversterker [15][16].

Basisprincipes van stralingsbescherming

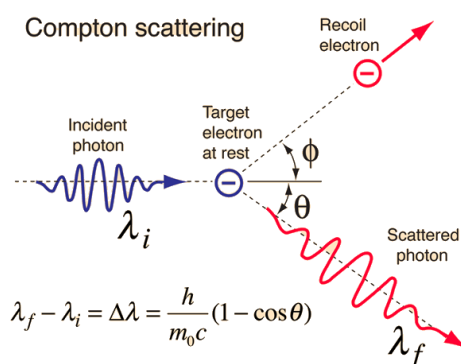
De stralingsbescherming heeft drie basisprincipes. Het eerste principe is rechtvaardiging, het tweede principe is *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA) en het derde principe is dosislimieten. Bij het

rechtvaardigingsprincipe wordt bepaald of de toepassing van straling nodig is of niet. Het ALARA-principe geeft aan dat de blootstelling aan ioniserende straling zo laag mogelijk als redelijkerwijs moet blijven. Hierbij wordt ook rekening gehouden met sociale en economische factoren. Het derde principe geeft dosislimieten aan van deze stralingsdoses. Sinds 1977 worden de drie basisprincipes gehanteerd door de International Commission on Radiological Protection (ICRP). Aangezien het ALARA-principe geen maximum heeft voor de stralingsdosis voor medische radiologie, implementeerde de ICRP in 1996 het gebruik van Diagnostic Reference Levels (DRL's) [17]. Voor een patiënt geldt geen dosislimiet, maar wel een diagnostische referentiewaarde [18].

Personeel dat met straling werkt, dient onder bepaalde dosislimieten te blijven. Blootgestelde medewerkers zijn onderverdeeld in twee categorieën. Blootgestelde medewerkers in categorie A mogen 6 tot maximaal 20 mSv per jaar ontvangen met een jaarlijkse medische keuring en blootgestelde medewerkers in categorie B mogen 1 tot maximaal 6 mSv per jaar ontvangen en ondergaan geen medische keuring. De plastisch chirurgen en assistenten die werken met de mini C-boog vallen niet onder blootgestelde medewerkers en hanteren dezelfde dosislimiet als leden van de bevolking. Deze limiet bedraagt 1 mSv per jaar. Daarnaast geldt voor de handen van blootgestelde medewerkers een equivalente dosislimiet, namelijk 500 mSv per jaar. Deze limiet van 500 mSv per jaar geldt ook voor de equivalente huid dosis, gemiddeld over 1 cm². Voor niet-blootgestelde medewerkers geldt dat deze limiet tien keer zo laag is, namelijk 50 mSv per jaar [19][20][21].

Stroostraling

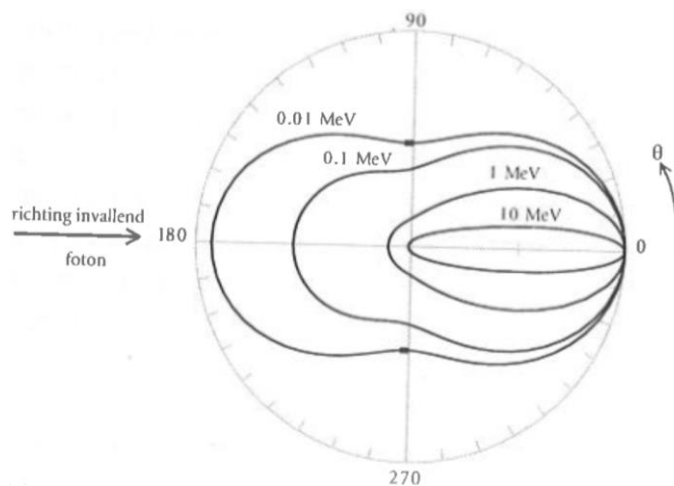
De stralingsdosis voor het OK-personeel dat met de mini C-boog werkt, wordt deels bepaald door de directe röntgenstraling. Dit wordt opgelopen wanneer de handen van het OK-personeel tijdens doorlichting in het stralingsveld komen. Daarnaast wordt de volledige lichaamsdosis voornamelijk bepaald door ontstane stroostraling vanuit de patiënt. De grootste bijdrage is afkomstig van het comptoneffect. Het comptoneffect is één van de mogelijke wisselwerkingen die kunnen optreden bij de interactie van röntgenstraling met materie. Deze wisselwerking treedt op tussen een foton en een vrij of zwak gebonden elektron. De benodigde energie om het elektron uit het atoom te verwijderen is te verwaarlozen en mag daarom als een vrij elektron worden beschouwd. De energie van het invallende foton wordt verdeeld over het ontstane compton-elektron en compton-foton. De energie van deze twee deeltjes wordt bepaald door de hoek tussen de richting van het originele foton en de richting van het compton-foton, zoals te zien in figuur 2 [22].



Figuur 2 Comptoneffect [23].

De energie van het originele foton is van invloed op de ruimtelijke verdeling van de compton-fotonen. Bij een hogere energie is de verstrooiing hoger in de voorwaartse richting. Bij een hoek groter dan 90° wordt gesproken van terugstrooiing, ook wel backscatter genoemd [22]. De OrthoscanHD bevat een kV range van 40 tot en met 75 kV [24]. De verdeling van de stroostraling van de mini C-boog in verschillende hoeken komt het dichtst in de buurt van de 0,01 Mev en 0,1 MeV lijnen in figuur 3. Vanaf

1 MeV is de strooistraling in voorwaartse richting dominanter. Bij een kV range van 40 tot 75 kV is meer sprake van terugverstrooiing [25].



Figuur 3 Verdeling strooistraling in verschillende hoeken bij diverse fotonenergieën [25].

Hieleffect

In de praktijk kan bij beeldvorming gebruik gemaakt worden van het hieleffect door de dikste kant van een object aan de kathodezijde te plaatsen en de dunste kant aan de anodezijde. De intensiteit van de straling zal nooit homogeen verdeeld zijn over het gehele lichtveld. De röntgenbundel moet een grotere afstand afleggen van het focus naar de randen van het lichtveld dan van het focus naar het centrum van het lichtveld. Daarnaast absorbeert de anodeschijf een gedeelte van de vrijgekomen röntgenstraling. Het effect dat ontstaat is dat de intensiteit van de bundel hoger is aan de kathodezijde dan aan de anodezijde en wordt het hieleffect genoemd [26][27][28].

Methode

Onderzoeksopzet

Om een advies te kunnen geven aan het OK-personeel over hoe zo stralingshygiënisch als praktisch mogelijk gewerkt kan worden met de mini C-boog, is een prospectief, kwantitatief onderzoek uitgevoerd met als methodologisch domein diagnostiek.

Allereerst zijn observationele metingen verricht tijdens werkzaamheden met de mini C-boog om de huidige situatie vast te stellen en het opgelopen strooistralingsniveau te bepalen. Tijdens hand-/pols ingrepen werd longitudinaal geobserveerd, gemeten en genoteerd, zodat een vergelijking gemaakt kon worden tussen verschillende chirurgen en assistenten. De verzamelde resultaten van de huidige situatie werden vergeleken met dosisrapporten van het jaar 2018 om te kijken of de resultaten representatief waren voor een volledig jaar aan ingrepen.

Daarnaast werd een fantoomstudie gedaan aan de mini C-boog voor het bepalen van het strooistralingsniveau op diverse posities rondom de mini C-boog in verschillende buisgeometrieën. De metingen werden transversaal verzameld. Verder zijn de dosis reducerende functies van de mini C-boog beschreven en gemeten. Het doorlichten bij de fantoomstudie werd gedurende het gehele onderzoek door één persoon uitgevoerd door gebruik van het voetpedaal en met behulp van een stopwatch. Elke meting werd telkens drie keer herhaald.

Onderzoekspopulatie

In deze studie werd het strooistralingsniveau voor het OK-personeel bij hand-/polschirurgie in de huidige operatieopstelling gemeten bij werkzaamheden met de mini C-boog. De resultaten zijn over een periode van twee maanden bij verschillende soorten ingrepen aan de hand/pols verzameld. In totaal is bij vijf artsen en twaalf assistenten de opgelopen dosis gemeten.

De acht ingrepen waarbij gemeten is, varieerden van een eenvoudige fractuur in een distale phalanx tot complexe chirurgie van het plaatsen van polsprothesen. Tijdens een ingreep droegen de plastisch chirurg en één à twee assistenten, die het dichtst bij de patiënt zaten, een RaySafe i2 badge (dosimeter).

In dit onderzoek zijn geen patiëntengegevens gebruikt. De verzamelde data op de RaySafe i2 badges werd gecodeerd en geanonimiseerd. De verzamelde resultaten waren opgeslagen op een beveiligde data-schijf en alleen toegankelijk voor de onderzoekers. De Wet Bescherming Persoonsgegevens (WBP) en de Wet Medisch-Wetenschappelijk Onderzoek met Mensen (WMO)-toetsing waren niet nodig. De patiënten en het personeel werden niet blootgesteld aan extra straling en het personeel werd niet onderworpen aan extra handelingen, waardoor ethische toetsing niet nodig was. Voor het verwerken van de verkregen gegevens werd toestemming aan het personeel gevraagd middels het toestemmingsformulier in bijlage A.

Metingen aan personeel

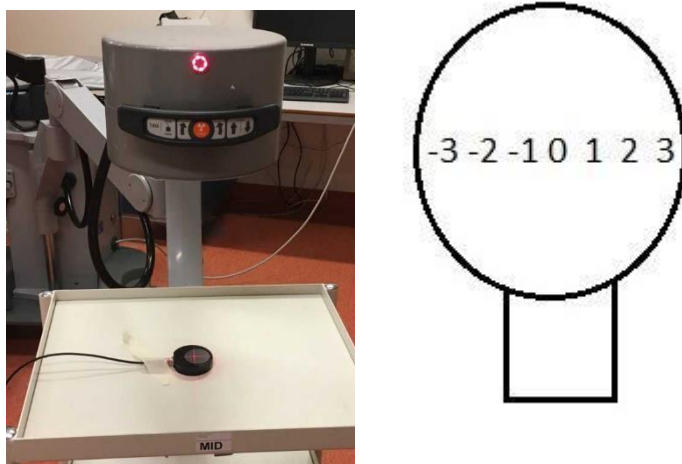
Voor observationele metingen aan het OK-personeel tijdens reguliere werkzaamheden bij hand-/polschirurgie werd het opgelopen strooistralingsniveau gemeten met behulp van RaySafe i2 badges. De gevoeligheid voor het detecteren van dosistampi varieert van 40 $\mu\text{Sv/h}$ tot 300 mSv/h. Voorafgaand aan elke ingreep werden de dosimeters geactiveerd, gereset en werd de tijd via de computer gesynchroniseerd. De dosimeters werden bevestigd op borsthoogte bovenop het loodschort, voordat de steriele jas werd aangetrokken. Het real-time beeldscherm werd aangesloten via een stopcontact en gebruikt voor observatie van het dosistempo voor de arts en assistenten tijdens doorlichting. Per ingreep werd het type operatie, de datum, het dosisrapport en de positie van het personeel ten opzichte van de mini C-boog genoteerd. Daarnaast werden bijzonderheden met betrekking tot de

werkwijze van het OK-personeel genoteerd. Een voorbeeld van een observatie is weergegeven in bijlage B. Na elke ingreep werd de dosismeter direct uitgelezen en gereset. De uitgelezen, geabsorbeerde stralingsdosis werd opgeslagen ten behoeve van dataverwerking.

Van alle ingrepen met de mini C-boog aan de hand en/of pols die in 2018 plaats hebben gevonden in het Medisch Centrum Leeuwarden, werden de dosisrapporten verzameld. De resultaten op deze dosisrapporten werden overgenomen vanuit het Sectra IDS 7 PACS. Ook hierbij zijn geen patiëntengegevens gebruikt. De waarden van deze dosisrapporten zijn gebruikt om te vergelijken met de verzamelde dosisrapporten en metingen in de praktijk. Dit werd gedaan om te bepalen of de verzamelde gegevens van dit praktijkgericht onderzoek representatief waren voor alle ingrepen op jaarbasis.

Hieleffect

De metingen van het hieleffect zijn uitgevoerd met de 15 cc Keithley ionisatiekamer in de verticale buisgeometrie met de röntgenbuis aan de bovenzijde, zoals weergegeven in figuur 4. De tafelhoogte bedroeg 78 cm en de detectorhoogte bedroeg 77 cm. De ionisatiekamer werd in het centrum van het lichtveld gepositioneerd. In drie stappen van 2 cm naar zowel de linker- als de rechterzijde van het lichtveld werd de dosis gemeten voor 10 seconden met de maximale veldgrootte van 6x5 inch. Op deze manier kon worden gemeten aan welke zijde van de röntgenbuis de stralingsdosis het hoogste was en waar de kathode zich bevond.



Figuur 4 A) Opstelling hieleffect. B) Meetpunten hieleffect.

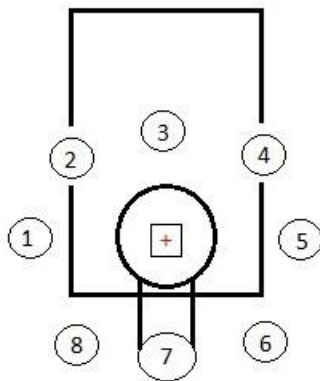
Metingen aan fantoom

Een perspex handfantom werd gebruikt voor het bepalen van de strooistralingsdosis op diverse plaatsen rondom de mini C-boog in verschillende buisgeometrieën. De afmetingen van het fantoom bedroegen 10,3 bij 10,0 bij 3,6 cm. Dit betrof een volume van 371 cm³. Dit handfantom is gebaseerd op de gemiddelde dimensies van 6 mannelijke handen. Een perspex fantoom werd gebruikt, omdat perspex equivalent is aan humaan weefsel en een perspex fantoom het meest gebruikt wordt voor onderzoek aan medische apparatuur met radiologische toepassingen [5]. Het perspex fantoom is onder andere zichtbaar in figuur 5A.

Het perspex handfantom werd doorlicht onder de OrthoscanHD mini C-boog met flatpanel detector. De AEC werd gebruikt om de uittredende dosis op de detector gelijk te houden en de buisspanning en buisstroom automatisch te bepalen. Hierbij werd tijdens het meten gecontroleerd of de uittreedosis ongeveer constant bleef. De afstand tussen de röntgenbuis en detector is een vaste afstand van 36 cm en kon niet gevarieerd worden.

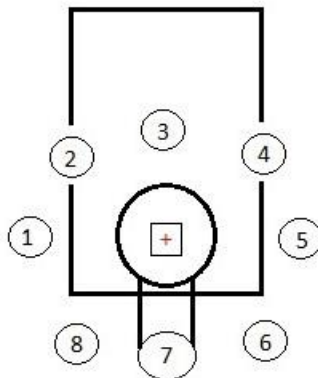
Daarnaast werd de Keithley 500 cc ionisatiekamer voor elke meting gereset en werd per meting 30 seconden doorlicht. Om de huidige operatieopstelling na te bootsen, werd de maximale veldgrootte van 6x5 inch gebruikt.

Buisgeometrie 1 is de opstelling in verticale stand met de röntgenbuis aan de bovenzijde en de detector aan de onderzijde van de tafel. De detector werd zo dicht mogelijk tegen de 78 cm hoge tafel met daarop het fantoom gepositioneerd, zodat vergroting zoveel mogelijk werd voorkomen. Op de tafel werd het handfantoom in het centrum van lichtveld geplaatst. De Keithley 500 cc ionisatiekamer werd op een straal van 30 cm ten opzichte van het centrum van het fantoom geplaatst op een hoogte van 105 cm vanaf de grond. Deze hoogte is gekozen om een betrouwbare operatieopstelling na te bootsen. Dit is namelijk op borsthoogte van de chirurg en assistent. De opstelling is weergegeven in figuur 5A. In buisgeometrie 1 werd op acht verschillende posities rondom de röntgenbuis gemeten, zoals weergegeven in figuur 5B.



Figuur 5 A) Buisgeometrie 1 verticaal met röntgenbuis aan de bovenzijde. B) Meetpunten.

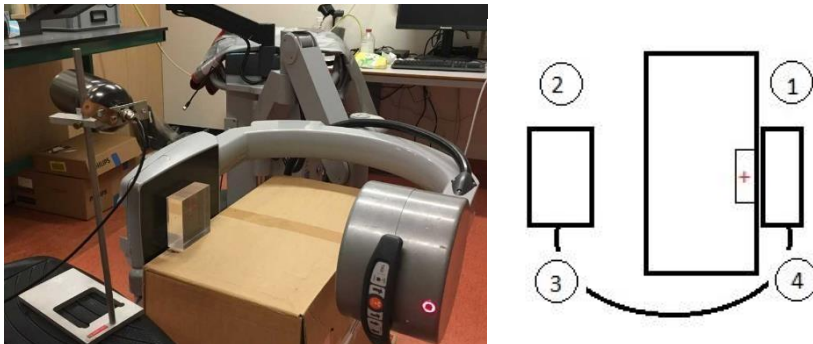
Buisgeometrie 2 betrof een verticale stand met de röntgenbuis aan de onderzijde, zoals weergegeven in figuur 6A. De tafel werd tussen de röntgenbuis en de detector geplaatst met daarop het handfantoom in het centrum van het lichtveld. Hierbij bevond het detectorvlak zich op een hoogte van 93 cm vanaf de grond. Dezelfde acht punten rondom de röntgenbuis zijn gebruikt als in de opstelling met de röntgenbuis aan de bovenzijde, weergegeven in figuur 6B. De ionisatiekamer werd weer voor alle acht punten op een straal van 30 cm van het centrum van het centrum van het fantoom geplaatst op een hoogte van 105 cm vanaf de grond.



Figuur 6 A) Buisgeometrie 2 verticaal met röntgenbuis aan de onderzijde. B) Meetpunten.

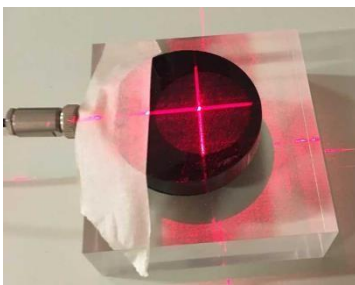
Buisgeometrie 3 betrof een stand met de röntgenbuis en detector horizontaal op een hoogte van 75 cm, zoals te zien in figuur 7A. Hierbij is het handfantoom verticaal geplaatst, om een dorsoventrale (DV) opname van de hand na te bootsen. In buisgeometrie 3 is op vier verschillende plaatsen gemeten, zoals weergegeven in figuur 7B. Voor de punten 1 en 4 is gemeten op 30 cm van het centrum op een

hoogte van 105 cm. De punten 2 en 3 zijn gemeten op 50 cm van het centrum, op een hoogte van 105 cm. Hierbij was een kleinere afstand praktisch niet mogelijk om te meten. In deze geometrie is een lege kartonnen doos gebruikt, in plaats van de tafel die in de andere geometrieën werd gebruikt. De tafel bevat namelijk aan de randen metaal, wat de beeldvorming belemmert en de output van de röntgen-buis zou verhogen.



Figuur 7 A) Buisgeometrie 3 horizontaal. B) Meetpunten.

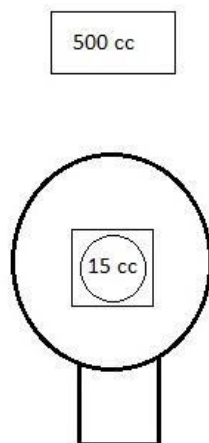
Vervolgens is de eventuele handdosis gemeten in deze drie verschillende buisgeometrieën, mochten de handen in de directe bundel komen tijdens het doorlichten. Het handfantom werd op tafel in het centrum van het lichtveld gepositioneerd. De Keithley 15 cc ionisatiekamer werd hierbij op het midden van het fantoom geplaatst, zoals weergegeven in figuur 8. Bij deze proef werd het voetpedaal ook 30 seconden ingedrukt en de maximale veldgrootte gebruikt.



Figuur 8 Opstelling handdosis chirurg in directe bundel.

Dosis reducerende functies

Om dosis reducerende functies van de mini C-boog in kaart te brengen, zijn metingen verricht aan de variatie in veldgrootte. De mini C-boog heeft twee mogelijke veldgroottes van 6x5 inch en 4x3 inch, welke zijn onderzocht in buisgeometrie 1. Hierbij werd het handfantom in het centrum van het lichtveld op tafel gelegd. De Keithley 15 cc ionisatiekamer werd bovenop het fantoom gelegd voor het meten van de intreedosis. De Keithley 500 cc ionisatiekamer werd geplaatst op een afstand van 30 cm op een hoogte van 105 cm vanaf de grond voor het meten van de strooistraling, zoals weergegeven in figuur 9. Hierbij is weer gebruikt gemaakt van de AEC en werd het voetpedaal 10 seconden ingedrukt.



Figuur 9 Opstelling veldgroottes.

Statistische analyse

In dit praktijkgericht onderzoek is beschrijvende statistiek gebruikt. Alle verkregen data werd verzameld in Microsoft Excel 2016.

De afhankelijke variabele in dit praktijkgericht onderzoek was de opgelopen stralingsdosis voor het personeel en de gemeten hoeveelheid straling in de fantoomstudie. De onafhankelijke variabelen waren de doorlichtingstijd, belichtingswaarden, afstand en gebruikte buisgeometrieën. Al deze variabelen behoren tot het ratio meetniveau.

Bij de metingen aan het personeel werden per ingreep de volgende waarden van het dosisrapport genoteerd: DAP-waarde, totaal geabsorbeerd dosis, doorlichtingstijd, het aantal frames, buisspanning en de buisstroom. Hierbij werd het gemiddelde, de mediaan en de spreiding van deze parameters weergegeven in een boxplot. De gemiddelden en spreiding hiervan werden vergeleken met de gemiddelden en spreiding van de dosisrapporten van het gehele jaar 2018. Hierbij is een worstcase-scenario schatting op basis van de DAP-waarden gemaakt om te kijken of dit in de buurt komt van de gestelde dosislimieten in de wetgeving.

Daarnaast zijn de opgelopen doses van de artsen en assistenten genoteerd. Hiervan werd het gemiddelde, de mediaan en de spreiding weergegeven in een tabel. Ook werd aangegeven op welke positie de arts en assistent zich rondom de mini C-boog bevonden. Hierbij werden de bijzonderheden van de ingrepen beschreven, zoals afwijkingen in de werkwijze en of de handen van de chirurg of assistent veel in beeld kwamen tijdens het doorlichten.

Voor de metingen aan het fantoom werd gecorrigeerd voor buisgeometrie 3 bij de afstand van 50 cm van het fantoom. Dit werd gecorrigeerd naar een afstand van 30 cm middels de kwadratenwet, weergegeven in formule 1. Op deze manier konden de waarden op een gelijke afstand met elkaar vergeleken worden.

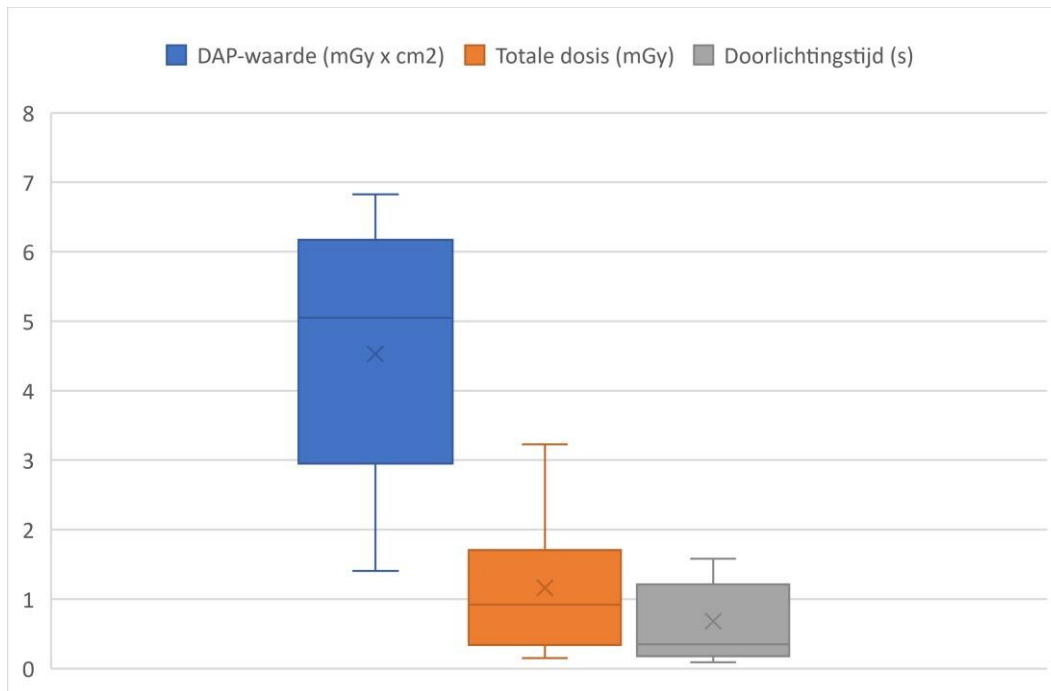
$$I_{\text{nieuwe afstand}} = \left(\frac{(\text{oude afstand})^2}{\text{nieuwe afstand}} \right)^2 \times I_{\text{oude afstand}} \quad (1)$$

Het gemiddelde van de verzamelde data van de verschillende buisgeometrieën, de handdosis, het hieleffect en de veldgroottes werd berekend. De posities bij de verschillende buisgeometrieën en de handdosis werden weergegeven in een staafdiagram. Het hieleffect en verschillende veldgroottes werden weergegeven in een tabel.

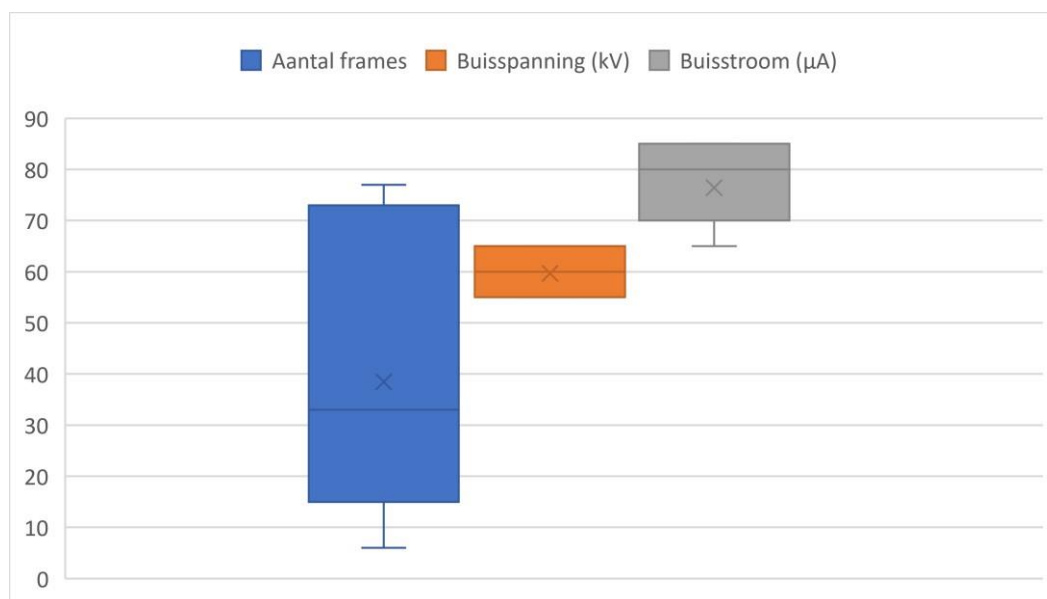
Resultaten

Metingen aan personeel

Gedurende twee maanden zijn metingen verricht tijdens 8 ingrepen aan de hand en pols. Van de waarden op het dosisrapport: de DAP-waarde, totale dosis, doorlichtingstijd, aantal frames, buisspanning en buisstroom zijn het gemiddelde, de spreiding en de mediaan weergegeven in figuur 10 en 11. De DAP-waarde en het aantal frames laten een behoorlijke spreiding zien door het verschil in complexiteit van de ingrepen. Het aantal frames per seconde bleef altijd gelijk en bij een langere doorlichtingstijd was een hoger aantal frames te zien. De buisspanning en buisstroom lagen bij alle ingrepen relatief dicht bij elkaar.



Figuur 10 Boxplot van de DAP-waarde, totale dosis en doorlichtingstijd.



Figuur 11 Boxplot van het aantal frames, buisspanning en de buisstroom.

Dosisrapporten in 2018

Ter vergelijking zijn de dosisrapporten van het jaar 2018 opgevraagd. Van de 151 ingrepen in 2018 met de mini C-boog, zijn 23 dosisrapporten opgeslagen. Mogelijk werden dosisrapporten van korte ingrepen met een relatief lage dosis niet opgeslagen. In totaal ontbraken 128 dosisrapporten, waardoor de waarden kunnen afwijken van de werkelijkheid.

Het gemiddelde, de mediaan en de spreiding van de DAP-waarde, totale dosis, aantal frames en doorlichtingstijd zijn weergegeven in tabel 1. Zo is het gemiddelde, de mediaan en de spreiding van de DAP-waarde aanzienlijk hoger dan bij de praktijkmetingen. Ook is de spreiding en de mediaan van het aantal frames van de praktijkmetingen afwijkend ten opzichte van de dosisrapporten in 2018. Op basis van deze afwijkende waarden kan geen betrouwbare de dosis op jaarbasis worden berekend. Echter kan wel een worstcasescenario schatting gemaakt worden. De gemiddelde DAP-waarde bedroeg in 2018 per procedure $88 \text{ mGy} \times \text{cm}^2$. Voor 151 procedures is dit ongeveer $13.000 \text{ mGy} \times \text{cm}^2$. Bij de 8 geobserveerde procedures bedroeg de gemiddelde DAP-waarde $4,5 \text{ mGy} \times \text{cm}^2$. De gemiddelde dosis voor de artsen bedroeg $0,49 \text{ } \mu\text{Sv}$, wat te zien is in tabel 2. Op basis hiervan kan met een worstcasescenario het volgende worden geschat: $(13.000/4,5) \times 0,49 \text{ } \mu\text{Sv} = 1.415 \text{ } \mu\text{Sv/jaar} = 1,4 \text{ mSv/jaar}$. Dit zou de worstcasescenario dosis zijn in een situatie waarbij alle ingrepen door één chirurg werden uitgevoerd.

Tabel 1 Dosisrapporten van het jaar 2018.

	<i>DAP-waarde</i> (mGy x cm ²)	<i>Totale dosis</i> (mGy)	<i>Frames</i>	<i>Doorlichtingstijd</i> (s)
<i>Gemiddelde</i>	87,76	0,808	12	0,61
<i>Mediaan</i>	37,07	0,477	4	0,26
<i>Spreiding</i>	2,73 – 549,60	0,095 – 3,435	1 – 100	0,06 – 3,1

Dosis voor het personeel

De gemiddelde opgelopen dosis voor de artsen en assistenten en de spreiding en mediaan hiervan zijn weergegeven in tabel 2. Bij de acht ingrepen bevonden de arts en assistent zich zes keer op positie 1, vier keer op positie 5 en 3 en één keer op positie 2 en 8. De gemeten dosis was telkens het hoogst op positie 1 ten opzichte van positie 2, 3, 5 en 8, zoals te zien is in tabel 3. De posities komen overeen met de nummers uit figuur 6B.

Tabel 2 Opgelopen dosis arts en assistent.

	<i>Gemiddelde</i> <i>dosis (μSv)</i>	<i>Spreiding</i>	<i>Mediaan</i>
<i>Arts</i>	0,49	0,00 – 2,88	0,05
<i>Assistent</i>	0,027	0,00 – 1,30	0,06

Tabel 3 Posities van arts en assistent (dichtbij) tijdens ingrepen ten opzichte van de mini C-boog.

Ingreep		Type ingreep assistent-arts		Positie (μSv)	Dosis arts assistent (μSv)
1	#dig 4 li	5	0,00	1	0,00
2	Prothese radius + ulna li	3	0,20	1	1,30
3	#dig. 5 re kind 3	3	0,00	1	0,00
4	Uitgebreide #dig. 4 li	1	2,88	3	0,39
5	#dig. 5 re	3	0,00	5	0,00
6	#basis dig. 5 li	1	0,30	5	0,12
7	#basis dig. 4 re	2	0,00	5/6	0,06
8	#basis dig 5 re	1	0,05	8	0,00

Bijzonderheden tijdens de ingrepen

Bij acht ingrepen bevonden de arts en assistent zich gedurende de volledige ingreep op dezelfde positie rondom de mini C-boog. De mini C-boog was altijd verticaal met de röntgenbuis aan de bovenzijde gepositioneerd. Tijdens het observeren en meten bij de acht ingrepen zijn een aantal bijzonderheden in de werkwijze van de artsen en assistenten opgevallen. Tijdens ingrepen werd de mini C-boog naar de tafel toe- en afgeschoven om een opname te maken. Bij meer dan de helft van de ingrepen was de uitslag van de dosismeter (nagenoeg) 0 μSv , maar viel op dat de handen van zowel de chirurg als assistent vaak in beeld kwamen tijdens het doorlichten. Bij ingreep 3 viel op dat de vinger werd vastgezet met tape tijdens het doorlichten. Echter bleef de tape niet zitten en kwamen handen van de chirurg alsnog in het lichtveld. Bij ingreep 2 en 4 kwamen veel metalen hulpmiddelen in beeld, zoals een klem, boor en k-draden. Bij ingreep 4 en 6 werd handmatig doorlicht door de assistent, maar in alle andere gevallen door de arts met het voetpedaal. Daarnaast was bij ingreep 4 op het live scherm te zien dat het dosistempo voor de arts even in het oranje gebied zat. Het dosistempo van de dosismeter zat op dat moment boven de 0,2 mSv/h. Als laatste droeg het personeel altijd een loodschort, werd een maximale veldgrootte van 6 bij 5 inch gebruikt en werden verder geen dosis reducerende middelen gebruikt.

Hieleffect

De dosis in punt -3 was hoger dan in punt 3 en de gemiddelde dosis per meetpunt aan het hieleffect is weergegeven in tabel 3. De meetpunten komen overeen met figuur 3A en 3B. De kathode bevindt zich aan de linkerzijden en de anode bevindt zich aan de rechterzijde van de mini C-boog.

Tabel 3 Gemiddelde dosis per meetpunt aan het hieleffect.

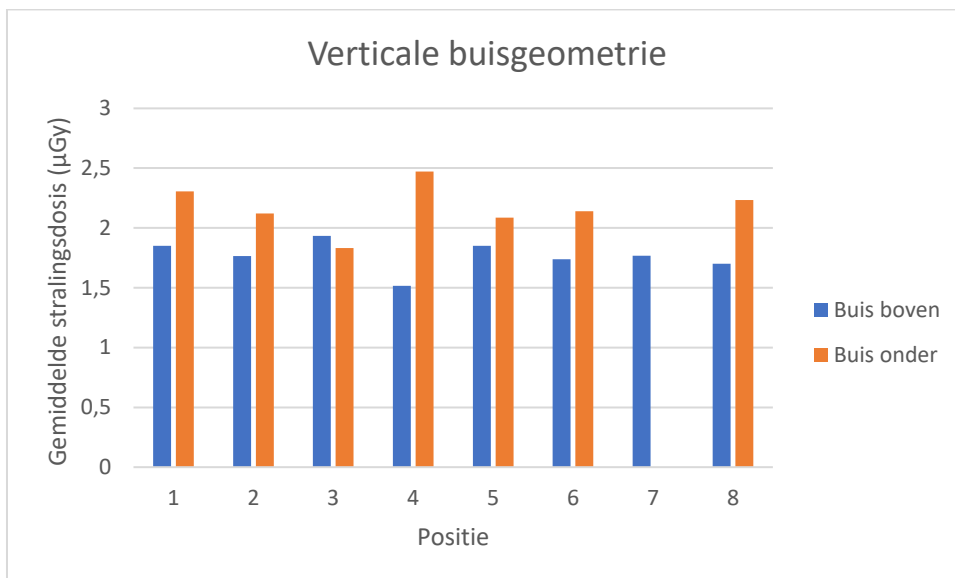
Positie	-3	-2	-1	0	1	2	3
Gemiddelde waarde en standaarddeviatie (μGy)	0,735 $\pm 0,008$	2,672 $\pm 0,009$	3,072 $\pm 0,048$	3,292 $\pm 0,122$	3,045 $\pm 0,080$	2,374 $\pm 0,096$	0,613 $\pm 0,028$

Metingen aan fantoom

Uit de praktijkmetingen bleek dat in de gebruikte buisgeometrie met de röntgenbuis aan de bovenzijde de hoogste dosis in posities 1, 3 en 5 zijn gemeten met de hoogste dosis in positie 1. Uit de fantoommeting bleek in buisgeometrie 1 de laagste gemeten dosis te zijn op positie 4. Het verschil tussen deze positie 1 en 4 bedraagt 0,483 μGy . De gemiddelde waarden van de verschillende posities liggen niet ver uit elkaar.

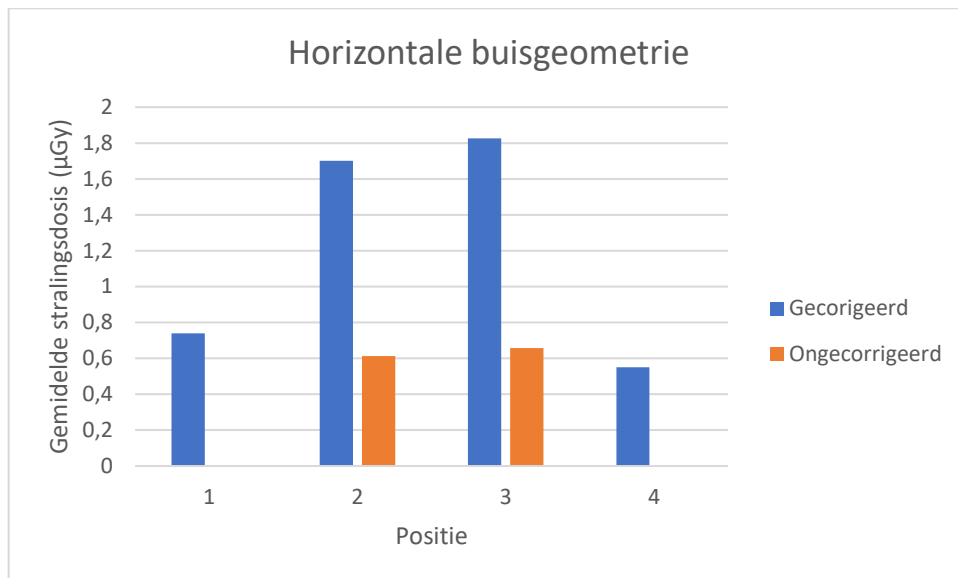
Bij de metingen aan buisgeometrie 2 was de hoogste dosis in positie 6 en de laagste dosis in positie 3 gemeten. Het verschil tussen deze twee posities is 1,192 μGy . In bijna alle meetpunten is de gemiddelde dosis hoger dan bij buisgeometrie 1. Op positie 7 was het praktisch niet mogelijk om met buisgeometrie 2 op een hoogte van 105 cm te meten.

De metingen aan het fantoom in deze twee buisgeometrieën zijn weergegeven in figuur 12. De posities komen overeen met de posities van figuur 5B en 6B. Positie 1 representeert de anodezijde en positie 5 representeert de kathodezijde. De gemeten waarden in deze twee punten verschillen niet wanneer een fantoom in de meetopstelling is geplaatst.



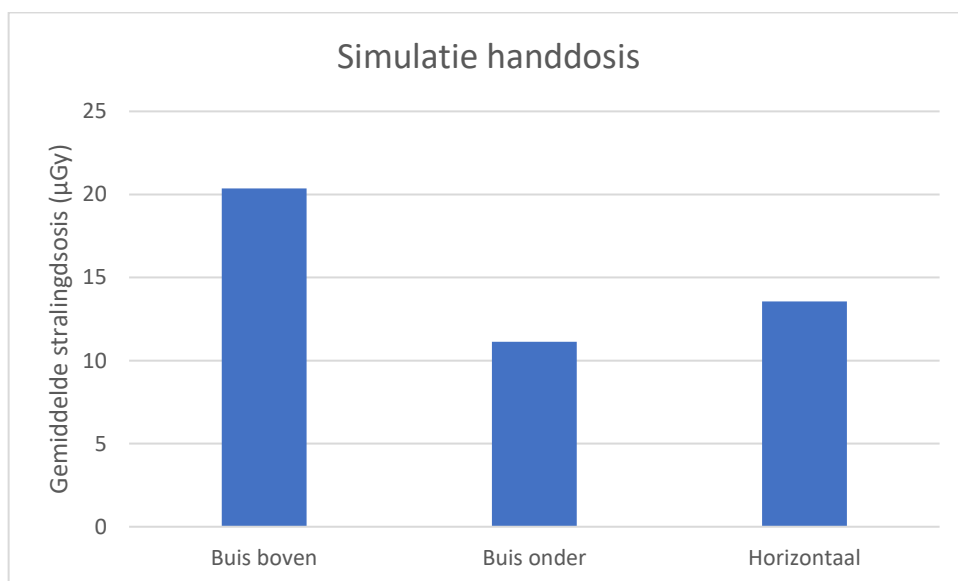
Figuur 12 Dosis per meetpunt in verticale buisgeometrie 1 en 2.

De metingen in buisgeometrie 3 zijn lager dan in de buisgeometrieën 1 en 2. In buisgeometrie 3 zijn de laagste metingen in positie 1 en 4 na correctie volgens de kwadratenwet. Ongecorrigeerd zijn de laagste metingen in positie 2 en 4. Dit is te zien in figuur 13. De gemeten doses op deze posities zijn erg laag en verschillen minimaal van elkaar.



Figuur 13 Dosis per meetpunt in buisgeometrie 3.

De gemeten waarden in de handdosis in de verschillende buisgeometrieën zijn weergegeven in figuur 14. De hoogste dosis is gemeten in buisgeometrie 1 en de laagste in de buisgeometrie 2. Dit bedroeg respectievelijk 20,37 µGy en 11,13 µGy.



Figuur 14 Dosis in centrum van de directe bundel per buisgeometrie.

Dosis reducerende functies

De OrthoscanHD is zo ontwikkeld dat het apparaat eenvoudig te bedienen is en bevat dan ook weinig functies die aangepast kunnen worden. De buis maakt gebruik van een AEC en heeft geen handmatige belichting. Daarnaast is de afstand tussen de detector en de röntgenbuis een vaste afstand en kan niet gevarieerd worden. Daarentegen kan de mini C-boog wel de veldgrootte variëren, maar zijn echter twee variabele veldgroottes mogelijk. Een groot veld van 6x5 inch en een kleiner veld van 4x3 inch. Tussen de twee veldgroottes is een klein verschil te zien in intreedosis en gemeten strooistraling. Dit is weergegeven in tabel 8.

Tabel 8 Intreedosis en stroostraling bij verschillende veldgroottes.

	Gemiddelde en standaarddeviatie (μGy)
<i>Intreedosis 6x5 inch</i>	6,607 $\pm 0,133$
<i>Intreedosis 4x3 inch</i>	7,820 $\pm 0,317$
<i>Stroostraling 6x5 inch</i>	1,782 $\pm 0,078$
<i>Stroostraling 4x3 inch</i>	1,451 $\pm 0,035$

Discussie

In dit praktijkgericht onderzoek is onderzocht welke maatregelen kunnen worden genomen ten behoeve van dosisreductie voor OK-personeel bij werkzaamheden met de mini C-boog bij hand/polschirurgie. Het doel bedroeg hierbij dat het OK-personeel zo stralingshygiënisch als praktisch mogelijk kan gaan werken bij deze werkzaamheden. In de praktijk wordt altijd de verticale buisgeometrie met de röntgenbuis aan de bovenzijde gebruikt. Dit is erg praktisch. In de praktijkmetingen werd positie 1, 3 en 5 het vaakst ingenomen. Uit de fantoommetingen blijkt de gemeten dosis in een buisgeometrie op verschillende posities weinig van elkaar te verschillen. Ook de handdosis in de verschillende buisgeometrieën verschillen onderling niet veel van elkaar. Daarnaast blijkt het hieffect geen invloed te hebben op het strooistralingsniveau. Ook het veranderen van de veldgrootte resulteert niet in een lagere strooistralingsdosis en levert geen dosisreductie op. Verder had de mini C-boog geen dosis reducerende functies.

In de buisgeometrie 2 wordt meer strooistraling gedetecteerd dan in buisgeometrie 1 wat mogelijk verklaard kan worden door een kortere focus-object afstand. Dichterbij het focus is de intensiteit van de straling hoger, dus ontvangt het object meer straling en kan meer van deze straling verstrooid worden. Door afwezigheid van de tafel in buisgeometrie 3 wordt minder straling geabsorbeerd en geeft de röntgenbuis een lagere output met gebruik van de AEC, dus is in de verschillende posities rondom de mini C-boog de laagste dosis gemeten. Door een lagere output vangt het fantoom minder straling, dus wordt minder straling verstrooid en is verstrooiing van de tafel ook afwezig. De kleine verschillen tussen de gemeten dosis per positie in een buisgeometrie kunnen verklaard worden door de gevoeligheid van de dosismeters bij metingen van lage doses.

De handdosis was het laagst in buisgeometrie 2, omdat absorptie plaatsvindt in de tafel en het fantoom. Buisgeometrie 3 resulteert daarna in de laagste handdosis. Dit kan worden verklaard door het ontbreken van de tafel tussen de buis en de detector. De handdosis in de verschillende buisgeometrieën waren allemaal erg laag en verschillen niet veel onderling. Daarnaast kan verschil op zijn getreden door variatie in de gevoeligheid van de meetinstrumenten.

Tussen de twee veldgroottes is geen relevant verschil te zien in intreedosis en gemeten strooistraling. Uit de metingen aan de twee verschillende veldgroottes is bij een klein veld een lagere strooistralingsdosis gemeten dan bij een groot veld door het bestralen van een iets kleiner volume. Echter is dit verschil verwaarloosbaar. De gemeten dosis bij de twee veldgroottes was laag en de minimale verschillen kunnen worden verklaard door onnauwkeurigheden in de meetinstrumenten. Bij het meten van lage doses kan sneller variatie optreden. Kleine verschillen ontstaan door deze gevoeligheid voor het meten van lage doses. Geconcludeerd kan worden dat het variëren in veldgrootte geen dosis reducerende functie is. De OrthoscanHD bevat dus geen dosis reducerende functies.

In Chapman, et al. (2017) is de handdosis voor de artsen gemeten in dezelfde drie buisgeometrieën als in dit praktijkgericht onderzoek. De handdosis was volgens Chapman, et al. het hoogst in de horizontale buisgeometrie en het laagst in de verticale buisgeometrie met de röntgenbuis aan de onderzijde. Het verschil in uitkomsten is te verklaren, doordat in de studie van Chapman, et al. in de horizontale buisgeometrie de hand niet tegen de detector aan was gepositioneerd. In de praktijk is het van belang dat het object zo dicht mogelijk tegen de detector wordt geplaatst om vergroting te voorkomen en de dosis zo laag mogelijk te houden. Bij de manier waarop het fantoom gepositioneerd was in de studie van Chapman, et al. is het niet mogelijk om een volledige hand of pols af te beelden en dus ook niet praktisch uitvoerbaar tijdens chirurgie. Daarnaast geeft deze opstelling ook een hogere dosis voor zowel de patiënt als het personeel en is dus minder stralingshygiënisch. In dit praktijkgericht onderzoek is het wel mogelijk een hand of pols af te beelden [29].

In het onderzoek van Tremains, et al. (2001) zijn metingen verricht aan een conventionele C-boog in de twee verticale buisgeometrieën zonder het gebruik van de AEC. Hieruit bleek dat zowel de intreedosis voor de patiënt als de dosis voor de chirurg het laagst was bij de röntgenbuis aan de bovenzijde. Bij de metingen met de röntgenbuis aan de onderzijde werd wel een tafel gebruikt en bij de röntgenbuis aan de bovenzijde werd de hand direct op de detector gelegd. Door geen gebruik te maken van een tafel, is de focus-object afstand groter, ontvangt de hand een lagere hoeveelheid straling en wordt dan ook minder verstrooid. Ook kan de aanwezigheid van de tafel voor meer comptoneffect zorgen. De metingen van dit praktijkgericht onderzoek resulteerden ook in een lagere stroostralingsdosis bij buisgeometrie 1. Echter is hierbij het fantoom telkens zo dicht mogelijk bij de detector gepositioneerd ten behoeve van de beeldvorming en werd telkens de AEC gebruikt voor waarborging van de beeldkwaliteit. Het niet gebruiken van een tafel resulteert in minder compton-effect, maar is niet werkbaar in de praktijk [30].

In de studie van Van Rappard, et al. (2018) zijn metingen verricht aan de mini C-boog alleen in de verticale buisgeometrie met de röntgenbuis aan de bovenzijde en vergeleken met een reguliere C-boog. Bij de operatieopstelling zijn metingen verricht aan de epigastrische regio en de schildklier bij de artsen en assistenten. De metingen van de epigastrische regio en de schildklier werden gedaan op een hoogte van respectievelijk 13 cm en 20 cm boven de detector. In dit praktijkonderzoek is op een hoogte van 105 cm vanaf de grond gemeten. Dit representeerde de borsthoogte van de chirurg en assistent, maar op deze manier kunnen geen vergelijkingen worden gedaan voor de backscatter in verschillende hoeken. Uit het onderzoek van Van Rappard, et al. bleek dat de intree- en stroostralingsdosis hoger was bij de mini C-boog ten opzichte van de reguliere C-boog. Bij beide toestellen werd gebruik gemaakt van de AEC. Echter kan hierbij de vraag worden gesteld of geabsorbeerde dosis op de detector bij beide toestellen gelijk was en of andere parameters, zoals de focus-detector afstand gelijk waren. Door dit onderzoek is bewezen dat in de praktijkopstelling de mini C-boog meer stroostraling genereert, maar kunnen kanttekeningen worden geplaatst over de hoeveelheid stroostraling in een gelijke opstelling [5].

Bij de metingen aan het personeel zijn de operatieopstellingen, parameters en bijzonderheden na elke ingreep systematisch genoteerd. Door deze uniforme werkwijze konden de dosisrapporten van het gehele jaar 2018 eenvoudig worden vergeleken met de metingen van dit praktijkgericht onderzoek, voordat een schatting gemaakt werd van de dosis op jaarbasis. Echter bleek de verzamelde data niet representatief en kon geen betrouwbare berekening van de dosis op jaarbasis worden gemaakt.

De opgeslagen dosisrapporten van 2018 bestonden namelijk vooral uit complexere procedures en bij de eenvoudige vinger ingrepen ontbraken in veel gevallen de dosisrapporten. In dit praktijkgericht onderzoek zijn vooral metingen verricht bij vinger ingrepen. Het kan zijn dat de DAP-waarde in het jaar 2018 uiteindelijk veel lager was, maar door het ontbreken van deze dosisrapporten kan dit niet bewezen worden. Verder waren de complexere procedures vaak spoed ingrepen en kon vanwege reistijd hier niet bij worden gemeten.

Wel is een worstcasescenario schatting gemaakt. Dit resulteerde in een totaaldosis van 1,4 mSv per jaar voor 151 ingrepen, waarbij alle ingrepen door één chirurg zouden zijn uitgevoerd. In de praktijk worden de ingrepen verdeeld onder meerdere plastisch chirurgen. De opgelopen dosis zal niet in de buurt van de limiet van 20 mSv/jaar voor een categorie A medewerker komen en eveneens niet bij de limiet van 1 mSv/jaar voor niet-blootgesteld medewerkers.

Bij de metingen aan het personeel werd gebruik gemaakt van de RaySafe I2 badges. Deze dosimeters konden gelijk na de ingreep uitgelezen en vergeleken worden met de opgeschreven tijden van doorlichting. Dit zorgde voor meer inzicht in de werkwijze van de arts en assistent. Bij gebruik van TLD-badges bestond een grote kans dat geen of een negatieve waarde verkregen werd vanwege de lage hoeveelheid straling bij deze ingrepen en correctie voor achtergrondstraling. Een ander nadeel van

TLD-badges is dat deze niet direct uitgelezen kunnen worden. Echter bleek dat de RaySafe i2 badges zeer gevoelig zijn voor verschillende factoren. Volgens de handleiding van RaySafe kunnen dosistempomaten tussen de 40 $\mu\text{Sv/h}$ en 300 mSv/h goed gedetecteerd worden. Wellicht is het dosistempo te laag geweest tijdens ingrepen, waardoor bij een aantal ingrepen geen waarden werden verkregen en de gemeten dosis 0 μSv bedroeg. Daarnaast zijn de RaySafe i2 badges richtingsgevoelig en kan dit de verschillen in dosis tussen de arts en assistent verklaren. Volgens de handleiding van RaySafe kan wanneer gemeten wordt in een hoek groter dan 90° , de gemeten waarde $+200\%/-100\%$ afwijken. Daarnaast waren de dosimeters zeer stootgevoelig. Een stoot resulteerde in een hoge piek in het dosistempo. Wanneer dit opviel, werd deze piek verwijderd. Echter kan dit in een enkel geval gemist zijn. Tijdens de ingrepen werd ook gebruik gemaakt van het bijgeleverde live scherm om de artsen en assistenten te observeren en eventuele pieken weg te filteren, zodat geen vertekend beeld werd verkregen. Echter zat een vertraging in het live scherm. Volgens de RaySafe handleiding bedraagt bij dosistempomaten hoger dan 100 $\mu\text{Sv/h}$ de vertraging minder dan 1 seconde. Bij dosistempomaten van minder dan 100 $\mu\text{Sv/h}$ bedraagt de vertraging maximaal 5 seconden volgens de handleiding. RaySafe i2 badges werden gedragen bovenop het loodschort ter hoogte van de borst. De plaats kon variëren vanwege het soms ontbreken van een borstvakje op het loodschort. Daarnaast zal de daadwerkelijk opgelopen lichaamsdosis lager zijn dan de gemeten stralingsdosis, omdat een deel van de straling geabsorbeerd wordt door het loodschort [31].

In zeven van de acht geobserveerde ingrepen werd een vinger geopereerd. Het volume van een vinger is veel kleiner dan het gebruikte handfantom. Een vinger genereert waarschijnlijk minder strooi-straling. Bij de fantoomstudie is gebruik gemaakt van de 15 cc en 500 cc ionisatiekamers. Dit is relatief oude meetapparatuur en wellicht toe aan onderhoud en kalibratie. Dit kan voor variatie in de metingen hebben gezorgd. Ook kan eventuele variatie in het 30 seconden indrukken van het voetpedaal voor meetvariatie gezorgd hebben. Daarnaast is bij de metingen aan het fantoom een tafel van kunststof gebruikt. In de praktijk wordt tijdens ingrepen te allen tijde een tafel van carbon gebruikt. De gebruikte tafel bij de metingen aan het fantoom is dus niet volledig representatief met de werkelijkheid.

In de literatuur is nog weinig bekend over het gebruik van verschillende buisgeometrieën bij de mini C-boog. Deze studie is voortgebouwd op de studie Van Rappard, et al. (2018). Een sterk punt van dit praktijkgericht onderzoek is dat de drie onderzochte buisgeometrieën zijn zo opgesteld dat deze ook daadwerkelijk praktisch uitvoerbaar zijn. Ook buisgeometrie 3 is werkbaar in de praktijk. De mini C-boog wordt in de praktijk naar de operatietafel toe- en afgeschoven voor het maken van een opname. In de horizontale geometrie zullen de plastisch chirurg en assistent dus niet worden gehinderd door de C-boog. De hoogte waarop de strooi-straling is gemeten, is vergeleken met de borsthoogte van de artsen in de praktijk. Op deze manier konden de posities met elkaar worden vergeleken. Een ander sterk punt van dit praktijkgericht onderzoek is dat de metingen aan de handdosis niet de intreedosis voor de patiënt representeren, maar de handdosis voor de chirurg of assistent wanneer deze met de handen in het lichtveld komt. In deze opstelling is nagedacht over waar de handen van de chirurg of assistent zich mogelijk zouden kunnen bevinden tijdens werkzaamheden in de drie verschillende buisgeometrieën. Op deze manier kon een betrouwbare schatting worden gemaakt van de situatie.

Uit dit praktijkgericht onderzoek kan geconcludeerd worden dat in de huidige situatie al stralingshygiënisch wordt gewerkt door plastisch chirurgen en operatieassistenten in het MCL bij hand-/polschirurgie. Daarnaast zit weinig verschil tussen de posities rondom de mini C-boog en kunnen de arts en assistent op elke positie plaatsnemen tijdens de procedure. Hierbij kan altijd gedacht worden aan de kwadrantenwet en dus het nemen van afstand. De in de resultaten beschreven verschillen in dosis bij de verschillende buisgeometrieën kunnen niet letterlijk worden overgenomen vanwege de variatie in meetapparatuur en het lage meetniveau. Hetzelfde geldt voor het hieffect en de dosis reducerende functies van de mini C-boog. Aangezien de gemeten dosis voor de arts en assistent in de

huidige situatie al erg laag is, is het niet klinisch relevant de hierboven beschreven dosisreducties toe te passen. Aan de hand van de worstcasescenario schatting is aangetoond dat de limiet van 20 mSv/jaar voor blootgesteld medewerkers en de limiet van 1 mSv/jaar voor niet-blootgesteld medewerkers beide niet worden overschreden. De aanbeveling en het advies op basis van de resultaten van dit praktijkgericht onderzoek is te blijven werken in de huidige operatieopstelling en geen verdere maatregelen te nemen ten behoeve van dosisreductie.

Bibliografie

- [1] D. Fornell, "Advances in Mobile C-Arms | Imaging Technology News," 2012. [Online]. Available: <https://www.itnonline.com/article/advances-mobile-c-arms>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [2] M. G. Swindells, C. M. O'Brien, D. J. Armstrong, M. K. Arundell, D. N. Quinton, and F. D. Burke, "The use of the mini C-arm in the outpatient setting: Evolving practice," *J. Plast. Reconstr. Aesthetic Surg.*, vol. 64, no. 5, pp. 688–689, May 2011.
- [3] J. R. M. van Rappard, W. A. Hummel, T. de Jong, and C. M. Mouës, "A Comparison of Image Quality and Radiation Exposure Between the Mini C-Arm and the Standard C-Arm," *HAND*, Apr. 2018.
- [4] J. A. Chambers and J. N. Long, "Radiation Injury and the Hand Surgeon," *J. Hand Surg. Am.*, vol. 33, no. 4, pp. 601–611, 2008.
- [5] J. R. M. van Rappard, T. de Jong, W. A. Hummel, M. J. P. F. Ritt, and C. M. Mouës, "Radiation Exposure to Surgeon and Assistant During Flat Panel Mini C-Arm Fluoroscopy in Hand and Wrist Surgical Procedures," *J. Hand Surg. Am.*, vol. 44, no. 1, pp. 68.e1-68.e5, 2019.
- [6] D. Fornell, "Introduction to Mobile C-Arms X-Ray Systems | ITN," 2011. [Online]. Available: <https://www.itnonline.com/article/introduction-mobile-c-arm-x-ray-systems>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [7] "OrthoScan | Company." [Online]. Available: <https://www.orthoscan.com/about/company/>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [8] "C-arm x-ray machines: all you needed to know," *PeekMed Blog: Orthopedics for orthopedic surgeons*. [Online]. Available: <http://blog.peekmed.com/c-arms-all-you-needed-know/>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [9] "THE FIRST MINI C-ARM WITH A FLAT DETECTOR ORTHOSCAN HD WITH FLAT DETECTOR SURGEON DRIVEN DESIGN Enabling optimal image quality with minimal effort," *Orthoscan*, 2012. [Online]. Available: <https://questimagingolutions.com/wp-content/uploads/2012/07/orthoscan-fd-2-page-orthopaedic.pdf>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [10] "THE FIRST MINI C-ARM WITH A FLAT DETECTOR ORTHOSCAN HD WITH FLAT DETECTOR SURGEON DRIVEN DESIGN Enabling optimal image quality with minimal effort," 2012. [Online]. Available: <https://questimagingolutions.com/wp-content/uploads/2012/07/orthoscan-fd-2-page-radiology.pdf>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [11] A. R. Cowen, A. G. Davies, and M. U. Sivananthan, "The design and imaging characteristics of dynamic, solid-state, flat-panel x-ray image detectors for digital fluoroscopy and fluorography," *Clin. Radiol.*, vol. 63, no. 10, pp. 1073–1085, 2008.
- [12] M. Spahn, V. Heer, and R. Freytag, "Flat-panel detectors in X-ray systems," *Radiologe*, vol. 43, no. 5, pp. 340–350, May 2003.
- [13] M. Weis, C. Hagelstein, T. Diehm, S. O. Schoenberg, and K. W. Neff, "Comparison of image quality and radiation dose between an image-intensifier system and a newer-generation flat-panel detector system — technical phantom measurements and evaluation of clinical imaging in children," *Pediatr. Radiol.*, vol. 46, no. 2, pp. 286–292, 2016.

- [14] J. A. Seibert, "Flat-panel detectors: How much better are they?," *Pediatr. Radiol.*, vol. 36, no. S2, pp. 173–181, 2006.
- [15] "OrthoScan | FD-OR Mini C-Arm." [Online]. Available: <https://www.orthoscan.com/products/surgical/fd-or-mini-c-arm/>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [16] "Philips - BV Endura Mobile C-arm." [Online]. Available: <https://www.philips.nl/healthcare/product/HC718075/bv-endura-mobile-c-arm>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [17] D. Miller and D. Schauer, "The ALARA Principle in Medical Imaging," *AAPM Newsl.*, 2015.
- [18] "Ioniserende straling: controle | Straling | Autoriteit NVS." [Online]. Available: <https://www.autoriteitnvs.nl/onderwerpen/straling/ioniserende-straling-controle>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [19] "Veilig werken met ioniserende straling - Arbo Support." [Online]. Available: https://www.arbosupport.nl/nieuws/veilig_werken_met_ioniserende_straling/. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [20] "wetten.nl - Regeling - Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming - BWBR0040179." [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040179/2018-07-01>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [21] "Dose limits - ICRPaedia." [Online]. Available: http://icrpaedia.org/Dose_limits. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [22] J. Scheurleer, G. de Vries, and H. Welleweerd, *Fysica voor beeldvorming en radiotherapie*. Maarssen: Elsevier, 2006.
- [23] "Compton Scattering." [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/compton.html>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [24] "OrthoScan-HD Flat Detector Mini C-arm Imaging System Service Manual 8212 East Evans Road," Scottsdale.
- [25] O. W. J. C. Bos A.J.J, Draaisma F.S, *Inleiding tot de stralingshygiëne*. Den Haag: Sdu uitgevers bv, 2007.
- [26] G. Behiels, F. Maes, D. Vandermeulen, and P. Suetens, "Retrospective correction of the heel effect in hand radiographs," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 6, no. 3, pp. 183–190, 2001.
- [27] Y. Weerakkody and A. Shetty, "Anode heel effect." [Online]. Available: <https://radiopaedia.org/articles/anode-heel-effect>. [Accessed: 18-Apr-2019].
- [28] K. K. L. Fung and W. B. Gilboy, "'Anode heel effect' on patient dose in lumbar spine radiography," *Br. J. Radiol.*, vol. 73, no. 869, pp. 531–536, 2000.
- [29] T. Chapman, D. P. Martin, C. Williamson, B. Tinsley, M. L. Wang, and A. M. Ilyas, "Mini C-Arm Fluoroscopy: Does Its Configuration Matter for Radiation Exposure to the Surgeon?," *HAND*, vol. 13, no. 5, pp. 552–557, Sep. 2018.
- [30] M. R. Tremains, G. M. Georgiadis, and M. J. Dennis, "Radiation Exposure With Use Of the Inverted-C-Arm Technique in Upper-Extremity Surgery," 2001.

[31] "RaySafe i2 System," 2014.

Bijlagen

Bijlage A Toestemmingsformulier

Proefpersoneninformatie:

Naast patiënten, wordt het personeel dat met de mini C-boog op de operatiekamer werkt ook blootgesteld aan ioniserende straling en de eventuele schadelijke gevolgen hiervan. Deze mini C-boog wordt expliciet gebruikt bij hand-/polschirurgie. Plastisch chirurg, Van Rappard, heeft onderzoek gedaan naar het strooistralingsniveau van deze mini C-boog. Hier kwam naar voren dat gebruik van de mini C-boog drie keer zoveel strooistraling geeft in vergelijking met de conventionele C-boog. In dit praktijkgericht onderzoek wordt onderzocht welke factoren de blootstelling van het personeel beïnvloedt en hoe zo goed mogelijk volgens het ALARA-principe (As low as reasonably achievable) gewerkt kan worden, zodat deze strooistraling kan worden gereduceerd. Hierbij worden diverse buis-geometrieën onderzocht, waarbij de beeldkwaliteit zoveel mogelijk gewaarborgd wordt. Om het strooistralingsniveau te kunnen meten, worden de proefpersonen (chirurg en assistent) gevraagd een dosimeter te dragen bij de ingrepen, zodat de uitkomsten gekwantificeerd kunnen worden. Verder worden aan de patiënten die de procedure ondergaan geen metingen verricht.

Toestemming:

Hierbij ga ik,, akkoord met het dragen van een dosimeter tijdens mijn werkzaamheden met betrekking tot de mini C-boog en de verwerking van deze gegevens voor praktijkgericht onderzoek.

Functie:

Datum:

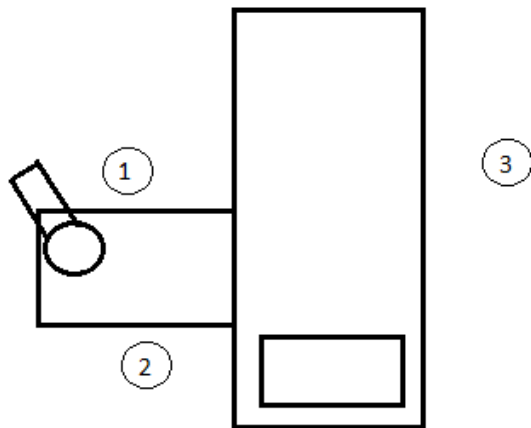
Handtekening:

Bijlage B Voorbeeld aantekeningen operatie 4

Operatie 4:

- Type operatie: fractuur li wijsvinger, repositioneren, boren, pinnen vastzetten
- DAP-waarde: 6,8284 mGy x cm²
- Totale geabsorbeerde dosis: 3,228mGy
- Aantal frames: 77
- Doorlichttijd: 1,58 s
- Buisspanning: 65 kV
- Buisstroom: 85 μ A

Functie	Dosis (μ Sv)
Arts 4	2,88
Assistent 7	0,39
Assistent 8/ Achtergrond	0,00



1. Positie arts 4
2. Positie assistent 7
3. Positie achtergrond meting/ assistent 8 (omloop)

Bijzonderheden:

Veel met de vingers in beeld. Veel metalen hulpmiddelen in beeld (klem, boor, staafjes). Doorlichten werd handmatig gedaan door de assistent. Geen gebruik voetpedaal. Mobiliteitstesten onder doorlichting. Ook de rest van de hand van de patiënt in beeld -> oranje deel dosistempo op live scherm.

