

Toepassing van verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve

Toegepast bij pediatrische thoraxfantomen

M.J.E. Albers

01-06-2012

Toepassing van verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve

Toegepast bij pediatrische thoraxfantomen

Auteur: Merel Albers
Studentennummer: 2125522

In opdracht van: Fontys Paramedische Hogeschool, Eindhoven
Op verzoek van: Erasmus MC, Rotterdam

Afstudeerbegeleider vanuit de Fontys:
Begeleider vanuit het Erasmus MC:

J.W. Hensen, Docent MBRT
R. Booij, Coördinator Research & Innovatie unit CT

Eindhoven
Uitgave: 01-06-2012

Voorwoord

Het voor u liggende artikel vormt het resultaat van mijn afstudeerproject en is uitgevoerd ter afsluiting van mijn studie medisch beeldvormende en radiotherapeutische technieken aan de Fontys Paramedische Hogeschool te Eindhoven. Het afstudeeronderwerp betreft de toepassing van verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve bij pediatrische thoraxfantomen.

Voor de totstandkoming van dit artikel wil ik graag mijn begeleider van het Erasmus MC Ronald Booi bedanken voor de goede informatie en uitstekende hulp die hij heeft gegeven tijdens de uitvoering van het praktijkonderzoek. Ook wil ik graag Wim Vermeule bedanken voor de tijd die hij heeft vrijgemaakt om te helpen bij de praktijkuitvoering.

Daarnaast wil ik mijn afstudeerbegeleider vanuit de Fontys, Jacques Hensen, bedanken. Vooral in het begin van de afstudeerperiode heeft hij er ontzettend veel aan gedaan om mij op tijd te kunnen laten afstuderen.

Ook wil ik mijn afstudeermaatje Barbara bedanken voor de samenwerking dit half jaar. Het was fijn om iemand te hebben die in hetzelfde schuitje zat als ik.

Als laatste wil ik mijn ouders, zussen en mijn vriend bedanken, voor hun steun en hulp gedurende de gehele studie en tijdens het afstuderen. Hierbij wil ik Carlo en Lise nog extra vernoemen, omdat zij zich als leek toch door dit artikel hebben weten te ploeteren en goede tips hebben gegeven.

Eindhoven, 1 juni 2012

Merel Albers

Samenvatting

Inleiding: Door de toename van CT-onderzoeken is het zeer belangrijk om met een zo laag mogelijke dosis en een hierbij zo optimaal mogelijke beeldkwaliteit te scannen. De dosis bij CT-onderzoeken wordt door middel van dosismodulatie aangepast aan iedere individuele patiënt. Op de Siemens SOMATOM Definition Flash wordt de dosismodulatie CARE Dose4D genoemd. Bij deze methode is er de keuze om door middel van verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve de dosis aan te passen. Na een update in de software zijn in plaats van drie verschillende sterkten van de curve (weak, average en strong) nu vijf verschillende sterkten (very weak, weak, average, strong en very strong).

Doelstelling & vraagstelling: Het doel van dit onderzoek is te onderzoeken wat de invloed van de sterkten is op de signaal-ruisverhouding, de dosis en de detailwaarneembaarheid. De vraagstelling hierbij is: wat is de procentuele verandering van de signaal-ruisverhouding en de effectieve dosis ten opzichte van de average curve bij een CT-thoraxonderzoek van een 'new born' thoraxfantoom en een '5-year old' thoraxfantoom. Hierbij wordt ook gekeken wat de invloed hiervan is op de detailwaarneembaarheid.

Setting: Het onderzoek is experimenteel van opzet en is uitgevoerd in het Erasmus MC te Rotterdam.

Methode: De thoraxfantomen zijn in drievoud gescand volgens het standaard CT-thorax protocol van het Erasmus MC. Er werd een insert van wolfram geplaatst om de detailwaarneembaarheid te meten. Uit de scans zijn de gegevens gekomen om de effectieve dosis en de signaal-ruisverhouding te berekenen.

Resultaten & conclusie: Bij het 'new born' thoraxfantoom nam de dosis ten opzichte van de average bij de weak curve en very weak curve toe met 84% resp. 322%. Bij de strong en very strong curve was dit een afname van 27% resp. 59%. De signaal-ruisverhouding nam toe bij keuze van de weak curve met 55% en met 123% bij de very weak curve. Deze nam toe met 16% bij de strong curve en nam af met 23% bij de very strong curve. Bij het '5-year old' thoraxfantoom nam de dosis ten opzichte van de average curve bij de weak en very weak curve toe met 64% resp. 237%. De dosis nam bij de strong en very strong curve af met 39% resp. 59%. De signaal-ruisverhouding nam toe met 30% bij de weak curve en 74% bij de very weak curve. De signaal-ruisverhouding nam af met 20% bij de strong curve en 37% bij de very strong curve.

Omdat het wolfram insert op alle scans met de verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve te zien was, is de detailwaarneembaarheid niet gemeten in dit onderzoek.

Sleutelwoorden: CARE Dose4D, mAs-aanpassingscurve, CT-thorax, pediatrische patiënt, fantomen

Summary

Background: Since the use of the CT-scanner is constantly increasing, it is important to scan with a dose as low as possible with an optimal image quality. The dose will be adapted to every patient by the use of dose modulation. The Siemens SOMATOM Definition Flash CT-scanner uses CARE Dose4D. This method gives the opportunity to adapt the dose to each patient individually. This is possible by using different strengths of the mAs-adaption curve. This method has changed after an update of the software. As a result of this update the different strengths changed from three (weak, average, strong) to five (very weak, weak, average, strong and very strong).

Aim & main question: The aim of this study is to analyze the influence of each strength on the signal-to-noise ratio, the detail perceptibility and the dose. The main question is: what is the percentage change of the signal-to-noise ratio and the dose in comparison with the average curve on a CT-thorax examination with a 'new born' thorax phantom and a '5-year old' thorax phantom and what is the influence on the detail perceptibility.

Setting: This study has an experimental design and is performed at the Erasmus MC in Rotterdam.

Method: The phantoms were scanned three times with the standard protocol of the Erasmus MC. The phantoms got a tungsten insert for measuring the detail perceptibility. The data for calculating the dose and the signal-to-noise ratio were perceived from these scans.

Results & conclusion: In comparison with the average curve, the dose of the 'new born' thorax phantom increased 84% by using the weak curve and 322% by using the very weak curve. Using the strong and very strong curve, the dose decreased by 27% and 59%. The signal-to-noise ratio increased by using the weak curve by 55%, by using the very weak curve by 123% and by using the strong curve by 16%. By using the very strong curve it decreased by 23%. With the '5-year old' thorax phantom the increase by using the weak curve was 64% and the very weak curve 237%. By using the strong curve the dose decreased by 39% and by 59% with the very strong curve. The signal-to-noise ratio increased by 30% by using the weak curve and by 74% by using the very weak curve. By using the strong and very strong curve, the signal-to-noise ratio decreased by 20% and 37%.

The tungsten insert was visible on all the CT-scans with all different strengths, so the image perceptibility was not measured in this study.

Key words: CARE Dose4D, mAs-adaption curve, CT-thorax, pediatric patient, phantoms

Inhoudsopgave

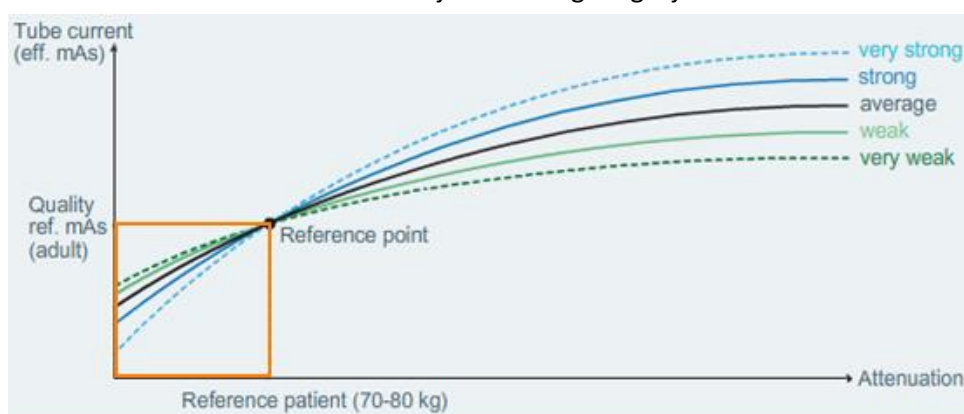
§ 1. Inleiding	7
§ 2. Materiaal en methoden	9
§ 2.1 Onderzoeksdesign	9
§ 2.2 Fantomen	9
§ 2.2.1 'New born' thoraxfantom	9
§ 2.2.2 '5-year old' thoraxfantom	9
§ 2.2.3 Insert	10
§ 2.3 Onderzoeksprotocol & onderzoeksopzet	10
§ 2.4 Onderzoeksvariabelen	11
§ 3. Resultaten	12
§ 3.1 De effectieve dosis	12
§ 3.1.1 'New born' thoraxfantom	12
§ 3.1.2 '5-year old' thoraxfantom	12
§ 3.2 De signaal-ruisverhouding	13
§ 3.2.1 'New born' thoraxfantom	13
§ 3.2.2 '5-year old' thoraxfantom	13
§ 3.3 Detailwaarneembaarheid	13
§ 3.4 Procentuele verandering effectieve dosis en signaal-ruisverhouding ten opzichte van de average curve	14
§ 3.4.1 'New born' thoraxfantom	14
§ 3.4.2 '5-year old' thoraxfantom	14
§ 4. Discussie	15
§ 4.1 Interpretatie onderzoeksresultaten	15
§ 4.2 Relatie met de literatuur	16
§ 4.3 Beperkingen van het onderzoek	16
§ 4.4 Aanbevelingen	17
§ 5. Conclusie	17
Referenties	18
Bijlagen	20
Bijlage A – Fantomen	20
‘New born’ thoraxfantom	20
‘5-year old’ thoraxfantom	20
Insert: wolfram draadje	21
Bijlage B – Overige tabellen	22
Bijlage C – Beoordelingsformulier detailwaarneembaarheid	23

§ 1. Inleiding

Sinds het ontstaan van de Computer Tomografie (CT) scanner in de jaren zeventig, is het gebruik van de CT binnen de medische beeldvorming aanzienlijk toegenomen. Ook bij kinderen komen CT-scans steeds vaker voor, dit vooral door de korte tijd die een CT-onderzoek in beslag neemt. Hierdoor is er geen anesthesie nodig om kinderen goed te laten stilliggen¹.

CT-onderzoeken leveren de grootste bijdrage aan de totale collectieve dosis met betrekking tot medische toepassingen van ioniserende stralingen². Daarom is dosismodulatie van groot belang bij CT-onderzoeken. Het is belangrijk om een goede balans te vinden tussen de beeldkwaliteit en de hierbij behorende toegediende dosis. Hierdoor wordt getracht om met een zo laag mogelijke dosis een voldoende beoordeelbare afbeelding te krijgen. Ook vanuit het ALARA-principe gezien (as low as reasonably achievable) wordt er getracht te scannen met een zo laag mogelijke dosis³⁻⁴. Vooral bij kinderen is een zo laag mogelijke dosis erg belangrijk. Zij zijn gevoeliger voor straling dan volwassenen en hebben een groter aantal te verwachten levensjaren dan volwassenen. Hierdoor is de kans groter op latere stralingsschade⁵. De effectieve dosis kan worden berekend met behulp van het dose-length product (DLP) en de conversiefactoren van DEAK 2010⁶. Met deze conversiefactoren kan bij verschillende buisspanningen (uitgedrukt in kilovolt (kV)) voor elk doelgebied de dosis worden berekend. Het DLP (in milli-Gray (mGy) · cm) is een maat voor de totale geabsorbeerde dosis die een patiënt krijgt⁷. Dit DLP wordt na iedere scan door het CT-systeem weergegeven. De effectieve dosis (E) is het totaal gewogen biologische risico ten gevolge van de bestraling⁸.

Bij de Siemens CT-scanners wordt de dosis gemoduleerd met behulp van CARE (Combined Applications to Reduce Exposure) Dose4D^{7, 9}. Dit is een gecombineerde xy- en z-modulatie, waarbij zowel binnen de coupe, als in de longitudinale (z)-richting wordt gekeken hoeveel dosis moet worden gegeven⁷. Er wordt door de gebruiker een referentie-buisslading (mAs) ingevoerd, behorend bij een standaard patiënt van 70-80 kg³. Door middel van het topogram wordt de attenuatie in de z-richting gemeten. Vanuit hier wordt de attenuatie in de x- en y-richting (transversaal en sagittaal) berekend. Aan de hand van dit topogram wordt de mAs automatisch aangepast aan elke individuele patiënt en het bijbehorend onderzoek. Hierbij kunnen er door de gebruiker nog individuele keuzes worden gemaakt in hoeverre de mAs wordt aangepast. Dit is mogelijk met behulp van verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve (zie figuur 1). Deze gecombineerde Automatic Exposure Control (AEC) zorgt voor een constante CT-beeldkwaliteit bij een zo laag mogelijke dosis^{3-4, 7, 10}.



Figuur 1. De mAs-aanpassingscurve

Bron: Siemens AG. Syngo CT 2011A FAST CARE Update Training. [CD-ROM]. Duitsland; 2011

Op de radiologie afdeling in het Erasmus MC te Rotterdam is een vernieuwde software beschikbaar met betrekking tot het moduleren van de dosis op de CT-scanner. Deze nieuwe software, de Syngo 2012B, is geïnstalleerd op de Siemens SOMATOM Definition Flash 128 slice CT. Door deze aanpassing in de software is de opzet van dosismodulatie veranderd. Vóór de installatie

van de software werd er CARE Dose4D gebruikt met twee mAs-aanpassingscurves, één voor een pediatrische patiënt en één voor de volwassen patiënt. Hierbij lag bij de oude software het referentiegewicht voor een pediatrische patiënt op 20-25 kg. Door keuzes tussen verschillende sterkten van deze mAs-aanpassingscurve (weak – average – strong), kon er voor elke patiënt een aangepaste effectieve mAs worden gegeven³. Wanneer er geen ruis getolereerd werd in een afbeelding, kon er gekozen worden voor de weak curve. Hierbij werd de dosis ten opzichte van de average curve verhoogd om een zo optimaal mogelijk ruisniveau te bereiken. Wanneer ruis wel acceptabel werd gevonden in een afbeelding, werd er gekozen voor de strong curve waarmee ten opzichte van de average curve de dosis verlaagd werd en er meer ruis in een afbeelding werd verkregen. De keuze van curve kon individueel aangepast worden, zodat er, ondanks de beperkingen van de oude software, een zo optimaal mogelijke beeldkwaliteit verkregen werd³.

Omdat het referentiegewicht voor kinderen op 20-25 kg lag, had een beetje extra gewicht en hierbij behorende attenuatie een grote invloed op de toename van de dosis. Daarom is er gekozen voor een nieuwe software.

Bij de nieuwe software, de Syngo 2012B, wordt CARE Dose4D gebruikt met maar één mAs-aanpassingscurve voor alle patiënten, namelijk die van de referentiepatiënt van 70-80 kg^{3-4, 11}. Er kan bij deze nieuwe software geen referentie-mAs voor kinderen meer ingesteld worden, maar op basis van het topogram en de hierbij gemeten attenuatie, zal het CT-systeem een pediatrische patiënt gaan herkennen en de dosis gaan reduceren. Hierbij is er tevens de keuze voor de functie CARE kV, ook nieuw bij deze software. Met deze functie wordt een optimale kV voor elk individu door het CT-systeem bepaald. Het kV en de mAs worden voor de patiënt ingesteld op het referentie-kV en referentie-mAs voor de standaard patiënt van 70-80 kg. Aan de hand van het topogram zal het CT-systeem de soort patiënt herkennen en hierbij de optimale kV kiezen en de mAs gaan aanpassen. Ook kan er gekozen worden voor de functie “semi”. Deze functie wordt gebruikt wanneer het kV niet door het CT-systeem aangepast mag worden. Ook hierbij worden het referentie-kV en referentie-mAs ingevoerd, maar het kV wordt volgens het protocol vooraf de scan vastgelegd. Hierdoor zal alleen de mAs gaan moduleren op basis van het topogram en de opgegeven referentiewaarden, waarbij het kV onaangepast blijft¹²⁻¹³.

Bij de mAs-aanpassingscurve met de nieuwe software bestaat nog steeds de mogelijkheid om de curves naar eigen gebruik aan te passen. In vergelijking met de oude software kan dit nu op nog meer manieren. Er is niet alleen de keuze tussen een weak, average en strong curve, maar er is een “very weak” en een “very strong” curve bijgekomen. De ideale balans tussen de signaal- ruisverhouding (SNR) en de dosis kan nog beter per patiënt bereikt worden.

De SNR is de hoeveelheid signaal gedeeld door de hoeveelheid ruis in een afbeelding. Het geeft aan hoeveel sterker het signaal is ten opzichte van de ruis¹⁴. Voor het scannen van een homogeen object volgens een bepaald protocol en het vervolgens verrichten van een region-of-interest (ROI) meting, wordt een gemiddelde Hounsfield waarde (HU) met de afwijking (standaard deviatie (SD)) daarin weergegeven⁷. Met behulp van de HU en de SD wordt de SNR berekend. De HU is de absorptie van een bepaald gebiedje in de coupe. Het geeft de relatieve afwijking weer van de gemeten lineaire verzwakkingscoëfficiënt vergeleken met de verzwakkingswaarde van water. Water heeft een HU waarde van 0⁷. Er zijn weefsels die een lagere verzwakking hebben dan water, waardoor HU waarden negatief kunnen zijn. De SD wordt gebruikt om de hoeveelheid ruis in het beeld te meten. Een grotere SD waarde betekent dat de afbeelding minder homogeen is en meer ruis bevat⁷. Dit heeft ook invloed op de detailwaarneembaarheid. De detailwaarneembaarheid is de mate waarin een detail waargenomen kan worden¹⁵. Wanneer een afbeelding meer ruis bevat, wordt de detailwaarneembaarheid minder¹⁶.

Niet alleen de sterkte van de mAs-aanpassingscurve kan aangepast worden, ook kan er per scangebied, zoals thorax, abdomen, brain et cetera, aangegeven worden welke sterkte van curve de voorkeur heeft. Hierdoor kan er een optimaal protocol met bijbehorend onderzoek per individuele patiënt gemaakt worden⁴.

Na de installatie van de nieuwe software op de Siemens SOMATOM Definition Flash 128 slice CT is het niet duidelijk welke invloed de verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve hebben op de SNR, dosis en de detailwaarneembaarheid bij verschillende thoraxfantomen. Het doel van dit onderzoek is om te onderzoeken wat de procentuele verandering van de signaal-ruisverhouding en de effectieve dosis is bij de verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve (very weak, weak, strong en very strong) ten opzichte van de average curve. Hierbij wordt ook gekeken naar de invloed op de detailwaarneembaarheid. Dit wordt onderzocht bij een 'new born' thoraxfantom en een '5-year old' thoraxfantom.

§ 2. Materiaal en methoden

§ 2.1 Onderzoeksdesign

Het fantoomonderzoek werd uitgevoerd op een dual-source CT scanner van Siemens SOMATOM Definition Flash 128 slice CT in het Erasmus MC Rotterdam (SOMATOM Definition Flash, Siemens Healthcare, Forchheim, Duitsland)¹⁷.

De experimentele methode werd gebruikt voor dit onderzoek en werd uitgevoerd door middel van het scannen van fantomen. De scans werden in drievoud uitgevoerd om eventuele onvolkomenheden van het apparaat uit te sluiten en de betrouwbaarheid van het onderzoek te verhogen.

§ 2.2 Fantomen

Tijdens dit onderzoek werd gebruik gemaakt van twee antropomorfische thoraxfantomen. Deze fantomen zijn op maat gemaakt door QRM, Moehrendorf¹⁸. De fantomen simuleren een 'new born'-patiënt en '5-year old'-patiënt. De kunststoffen die deze fantomen bevatten, bootsen menselijke weefsels in de thorax na. De kunststoffen hebben dezelfde dichtheid en verzwakking van ioniserende straling zoals in de pediatrie thorax¹⁸.



Figuur 2. 'New born' thoraxfantom



Figuur 3. '5-year old' thoraxfantom met wolfram-insert

§ 2.2.1 'New born' thoraxfantom

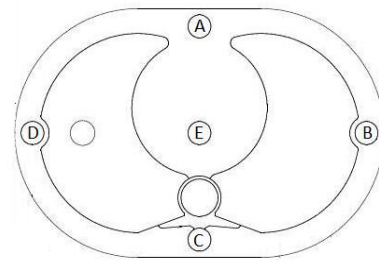
De afmetingen van het 'new born' thoraxfantom zijn 150x100 mm. De lengte van het thoraxfantom is 150 mm. Het thoraxfantom is gemaakt van botequivalent, longequivalent en weke delen equivalent materiaal¹⁸ (figuur 2). Voor een schematisch overzicht en de specificaties van het 'new born' thoraxfantom, zie bijlage A, figuur A1 en tabel A1.

§ 2.2.2 '5-year old' thoraxfantom

Het '5-year old' thoraxfantom heeft afmetingen van 210x140 mm. De lengte van dit thoraxfantom is 150 mm. Het bevat tevens botequivalent, longequivalent en weke delen equivalent materiaal¹⁸ (figuur 3). Voor een schematisch overzicht en de specificaties van het '5-year old' thoraxfantom, zie bijlage A, figuur A2 en tabel A2.

§ 2.2.3 Insert

De fantomen hebben vijf gaten met een diameter van 13 mm, zie figuur 4. Deze zijn geplaatst op ventraal (A), de linker thoraxwand (B), dorsaal (C), de rechter thoraxwand (D) en in het centrum van het fantoom (E). Deze gaten werden gebruikt voor het plaatsen van een insert om de detailwaarneembaarheid te meten. Dit insert was een draadje van wolfram (W) met een diameter van 0,05 mm en een lengte van 100 mm¹⁸. De dichtheid van wolfram is 19,3 g/cm³¹⁹. Voor een schematische voorstelling en specificaties, zie bijlage A, figuur A3 en tabel A3. Het insert werd bij het 'new born' thoraxfantoom op plek A geplaatst. Bij het '5-year old' thoraxfantoom werd deze op plek B geplaatst. Het insert werd voor de twee verschillende thoraxfantomen op een andere plek geplaatst, waardoor er een betrouwbaardere beoordeling van de beelden kon worden gegeven.



Figuur 4. Gaten waar inserts geplaatst kunnen worden

Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

§ 2.3 Onderzoeksprotocol & onderzoekopzet

Er werd gescand volgens het standaard protocol van een CT-thoraxonderzoek voor thorax zonder contrastmiddel van het Erasmus MC Rotterdam. Voor een overzicht van de scan en reconstructie parameters zie tabel 1 en 2.

Er werd voor dit onderzoek gebruik gemaakt van CARE kV. Omdat een constante kV wenselijk was, werd deze modus op "semi" gezet. Hierbij waren het referentie-kV en de referentie-mAs 120, de referentiewaarden voor de standaard patiënt van 70-80 kg. Dit onderzoek betrof pediatrische fantomen, de mAs volgens het protocol was hierbij 80 mAs en het kV was 80. Met de CARE kV op "semi", werd aan de hand van het topogram de mAs aangepast en bleef de buisspanning 80 kV. De pitch was tijdens dit onderzoek 0,6, de collimatie was 128x0,6. De rotatietijd van de CT-scanner was 0,5 seconden. Er werd gebruik gemaakt van het additional shaped bowtie filter van 20 mm. Hiermee werd de bundel aan de randen meer verzwakt dan in het centrum, waardoor er een betere verdeling van de intensiteit van de bundel ten opzichte van het te doorstralen volume werd verkregen⁷. Ook werd er een kernel gebruikt, de B31F, een medium-smooth+ filter (B= body, F= fast mode en 31= smoothness)²⁰. Met dit medium-smooth+ kernel worden de signaalintensiteiten verzwakt, waardoor ook de aanwezige ruis wordt verzwakt⁷.

Het fantoom werd gepositioneerd in de supine positie en cranio-caudaal gescand. De transversale laserlijn en longitudinale laserlijn werden in het midden van het fantoom geplaatst. De sagittale laserlijn werd iets voor het fantoom geplaatst, zodat het hele fantoom op het topogram zou staan.

Een topogram werd gemaakt met een mAs van 35 en een kV van 80. Hierop werd het scangebied aangegeven, dit betrof een scanlengte van 80 mm. Het scangebied werd in het craniale deel van het fantoom geplaatst, waar het wolframdraadje aanwezig was. Zowel de gereconstrueerde slicedikte als het slice-increment waren 3 mm. Er werden 27 slices gereconstrueerd. Het field of view (FOV) bij de 'new born' thoraxfantoom scans was 200 mm, bij de '5-year old' thoraxfantoom scans 250 mm.

Er werd een "abdomen zonder contrast" window gebruikt met een window level (WL) van 30 en een window width (WW) van 300. Dit is een wekedelensetting waarmee de gemiddelde absorptie van de verschillende organen in het mediastinum goed wordt weergegeven⁷. Met dit window konden de ROI's makkelijker geplaatst worden, dan dat er voor een longsetting (WW: 1400, WL: -700)⁷ werd gekozen. Ook bevatten de thoraxfantomen geen longparenchym, waardoor een longsetting geen meerwaarde opleverde.

Tabel 1. Scan parameters 'new born' thoraxfantoom en '5-year old' thoraxfantoom

	Topogram (kV/mAs)	kV	Ref. mAs	Pitch	Collimatie	Rotatietijd	Scanlengte	Aantal slices
'New born'	80/35	80	80	0,6	128 x 0,6 mm	0,5 sec	80 mm	27
'5-year old'	80/35	80	80	0,6	128 x 0,6 mm	0,5 sec	80 mm	27

kV = buisspanning, mAs= buislading

Tabel 2. Reconstructie parameters 'new born' thoraxfantom en '5-year old' thoraxfantom

	FOV	WW/WL	Slicedikte	Slice increment	Kernel	Reconstructie matrix
'New born'	200 mm	300/30	3 mm	3 mm	B31F	512x512
'5-year old'	250 mm	300/30	3 mm	3 mm	B31F	512x512

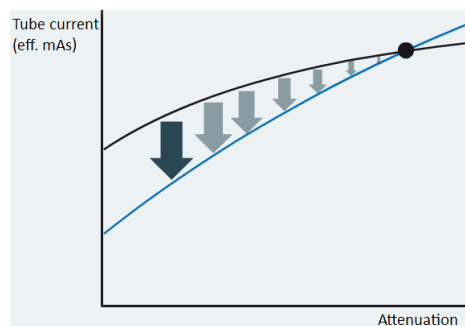
FOV= field of view, WW= window width, WL= window level

§ 2.4 Onderzoeksvariabelen

Elk fantoom werd met dezelfde scanparameters gescand. De discrete onafhankelijke variabele hierbij waren de verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve. Dit betrof de very weak, weak, average, strong en very strong curve (zie figuur 1).

Voor pediatrische patiënten wordt gekeken naar de curves links van het referentiepunt van 70-80 kg. Wanneer een patiënt verder van het referentiepunt af ligt, wordt de invloed van de curve op de mAs-verandering sterker (zie figuur 5)³.

Er werden drie verschillende metingen uitgevoerd op de fantomen. Via deze metingen werden de continue afhankelijke variabelen, de effectieve dosis, de SNR en de discrete afhankelijke variabele, de detailwaarneembaarheid, verkregen. De eerste meting die werd verricht, was voor het DLP. De verwachte DLP werd gegeven na elk topogram, het uiteindelijk gebruikte DLP werd exact gemeten door het CT-systeem en weergegeven. De gemiddelde waarden van het uiteindelijk verkregen DLP werden ingevuld in een tabel. Met het DLP kon door middel van de conversiefactoren van DEAK 2010⁶ de effectieve dosis worden berekend. De berekende waarden voor de effectieve dosis werden ingevuld in een tabel. De procentuele verandering ten opzichte van de average curve werd berekend en verwerkt in een tabel en grafisch weergegeven in de vorm van een staafdiagram.



Figuur 5. Invloed van de mAs-aanpassingscurve
Bron: Siemens AG. Syngo CT 2011A FAST CARE
Update Training. [CD-ROM]. Duitsland; 2011

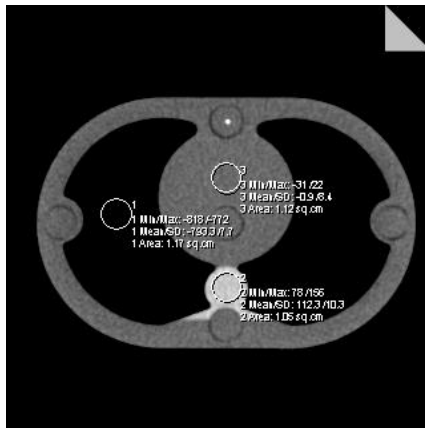
Om de SNR te berekenen, werden drie metingen uitgevoerd binnen de fantomen. Deze kwantitatieve metingen werden verricht in weefsels met verschillende weefseleigenschappen. Dit betrof het longweefsel in de rechter long, de wervelkolom (botweefsel) en het mediastinum (weke delen). Deze drie weefseltypen hebben een verschil in attenuatie en daardoor ook een verschillende HU waarde⁷. In deze drie weefsels werd in een homogeen gebied binnen dat weefsel een ROI geplaatst, zie figuur 6. De scan die hiervoor werd gekozen, behoorde tot één van de minimaal twee scans waarbij de DLP waarden constant waren. De ROI's werden geplaatst in de middelste slice van de verkregen series. Dit betrof bij het 'new born' thoraxfantom de 14^e slice van de 27 en bij het '5-year old' thoraxfantom de 13^e slice van de 27. De oppervlakten en weefsels behorend bij deze ROI's staan in tabel 3.

Uit deze ROI's werden door het CT-systeem twee continue afhankelijke variabelen, de HU en de hierbij behorende SD, berekend. Deze staan vermeld in tabel B1 en tabel B2 in bijlage B.

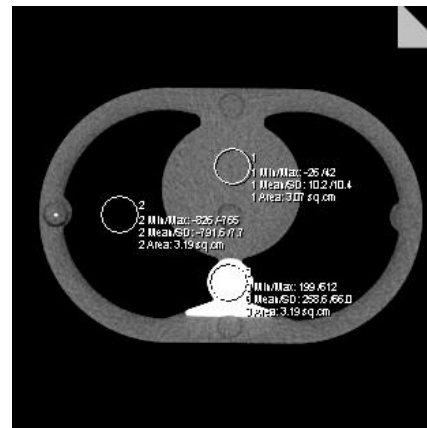
Tabel 3. Groottes en benaming van ROI's

	'New born'	Grootte in cm ²	'5-year old'	Grootte in cm ²
ROI 1	Longweefsel	1,17	Mediastinum	3,07
ROI 2	Wervelkolom	1,05	Longweefsel	3,19
ROI 3	Mediastinum	1,12	Wervelkolom	3,19

ROI= region of interest



ROI intekening bij 'new born' thoraxfantom
(average curve)



ROI intekening bij '5-year old' thoraxfantom
(average curve)

Figuur 6. Intekening ROI's bij het 'new born' thoraxfantom en het '5-year old' thoraxfantom

Met behulp van de HU en de SD kon de SNR worden berekend door middel van de formule $SNR = HU / SD^{21-22}$. Omdat de HU waarden negatief kunnen zijn, kan de SNR negatief zijn. Dit betekent niet dat het signaal negatief is. Omdat het bij dit onderzoek om de procentuele verandering gaat van de SNR, worden de negatieve waarden toch meegenomen in de resultaten. De berekende waarden van de SNR werden ingevuld in tabel B1 en B2, zie bijlage B. Hieruit werd een gemiddelde SNR berekend, waarmee de procentuele verandering ten opzichte van de average curve berekend kon worden.

De discrete afhankelijke variabele, de detailwaarneembaarheid, werd kwalitatief bepaald door middel van de visuele beoordeling van vijf medisch beeldvormende en bestralingsdeskundigen (MBB'ers). De vijftien verkregen series CT-beelden per fantoom werden onafhankelijk van elkaar beoordeeld op dezelfde monitor, de EIZO GS320²³. De CT-beelden werden beoordeeld met een abdomen zonder contrast window-setting (WW: van 300, WL: 30)⁷. Het beeld met de laagste SNR waar de detailwaarneembaarheid het laagst is¹⁶, werd allereerst beoordeeld. Vervolgens werden de beelden getoond met een steeds hogere SNR. Hiermee werd uitgesloten dat de plek waar het insert aanwezig was al duidelijk werd bij het eerste beeld. Aan de hand van de uitkomsten op het invulformulier (zie bijlage C) werd bepaald bij welke sterkte van de mAs-aanpassingscurve kleine details nog waarneembaar waren.

§ 3. Resultaten

De resultaten zijn gebaseerd op de scans met de thoraxfantomen, gescand met het standaard protocol voor een pediatrisch CT-thoraxonderzoek van het Erasmus MC.

§ 3.1 De effectieve dosis

§ 3.1.1 'New born' thoraxfantom

De conversiefactor voor het 'new born' thoraxfantom gescand met 80 kV is 0,0823⁶. De waarden van de effectieve dosis zijn te vinden in tabel 4. Bij keuze van de very weak curve was de effectieve dosis 2,14 mSv. De weak curve gaf een dosis van 0,93 mSv. Werd er gekozen voor de average curve, dan veranderde de dosis naar 0,51 mSv. Bij keuze van de strong curve werd de dosis 0,37 mSv en bij keuze van de very strong curve werd deze 0,21 mSv.

§ 3.1.2 '5-year old' thoraxfantom

De conversiefactor voor het '5-year old' thoraxfantom is bij 80 kV 0,0344⁶. De effectieve dosis voor het '5-year old' thoraxfantom staat vermeld in tabel 5. De effectieve dosis werd bij keuze van de very weak curve 1,02 mSv, dit veranderde naar 0,50 mSv bij keuze van de weak curve. De effectieve dosis bij de average curve was 0,30 mSv. Werd er gekozen voor de strong curve of de very

strong curve, dan werd de dosis 0,19 mSv bij keuze van de strong curve en 0,12 mSv bij keuze van de very strong curve.

§ 3.2 De signaal-ruisverhouding

§ 3.2.1 'New born' thoraxfantom

De gemiddelde SNR voor het 'new born' thoraxfantom staat vermeld in tabel 4. De SNR bij de very weak curve was gemiddeld -68,54. Werde er gekozen voor de weak curve, dan werd de SNR -47,74. De SNR veranderde naar -30,75 bij keuze van de average curve. Werde er gekozen voor de strong curve, dan veranderde de SNR naar -35,53 en bij keuze van de very strong curve werd de SNR -23,74.

§ 3.2.2 '5-year old' thoraxfantom

De gemiddelde SNR voor het '5-year old' thoraxfantom staat vermeld in tabel 5. De gemiddelde SNR bij de very weak curve was -56,86. Deze veranderde bij de weak curve naar -42,13. Werde gekozen voor de average curve, dan werd de SNR -33,06. Bij keuze van de strong curve of de very strong curve, veranderde de SNR naar -26,28 bij de strong curve en naar -20,41 bij de very strong curve.

Tabel 4. Effectieve dosis en SNR 'new born' thoraxfantom

'New born'	Verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve				
	Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong
Effectieve dosis, mSv	2,14	0,93	0,51	0,37	0,21
Gemiddelde SNR	-68,54	-47,74	-30,75	-35,53	-23,74

SNR= signaal-ruisverhouding

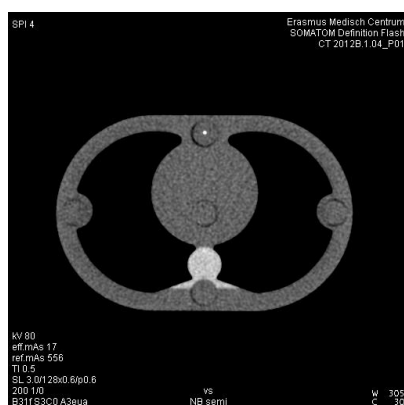
Tabel 5. Effectieve dosis en SNR '5-year old' thoraxfantom

'5-year old'	Verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve				
	Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong
Effectieve dosis, mSv	1,02	0,50	0,30	0,19	0,12
Gemiddelde SNR	-56,86	-42,13	-33,06	-26,28	-20,41

SNR= signaal-ruisverhouding

§ 3.3 Detailwaarneembaarheid

Het wolframdraadje was te zien in elke serie met elke sterkte van de curve, zelfs bij de serie met de laagste SNR (zie figuur 7 en 8). De afbeeldingen werden daarom niet door MBB'ers beoordeeld met behulp van het invulformulier.



Figuur 7. Afbeelding van 'new born' thoraxfantom met laagste signaal-ruisverhouding (very strong curve)



Figuur 8. Afbeelding van '5-year old' thoraxfantom met laagste signaal-ruisverhouding (very strong curve)

§ 3.4 Procentuele verandering effectieve dosis en signaal-ruisverhouding ten opzichte van de average curve

§3.4.1 'New born' thoraxfantoom

De procentuele toename van de effectieve dosis tussen de average curve en de weak curve was bij het 'new born' thoraxfantoom +84%. De procentuele toename tussen de average en very weak curve was +322%. Tussen de average en de strong curve was een afname van de effectieve dosis van 27%. Tussen de average en very strong curve was deze afname 59% (zie tabel 6). Dit is grafisch weergegeven in figuur 9.

Er was een toename van de SNR van +55% tussen de average en weak curve. Tussen de average en very weak nam de SNR toe met +123%. De SNR tussen de average en strong curve had een toename van +16%. Tussen de average en very strong curve nam deze af met 23%. Deze waarden zijn vermeld in tabel 6 en grafisch weergegeven in figuur 9.

§3.4.2 '5-year old' thoraxfantoom

De effectieve dosis van het '5-year old' thoraxfantoom had een toename van +64% tussen de average en weak curve. Tussen de average en very weak curve nam de dosis toe met +237%. De procentuele afname tussen de average en de strong curve was 39%. De afname tussen de average en very strong curve was 59%. Deze waarden staan vermeld in tabel 7. De procentuele verandering ten opzichte van de average curve is grafisch weergegeven in figuur 10.

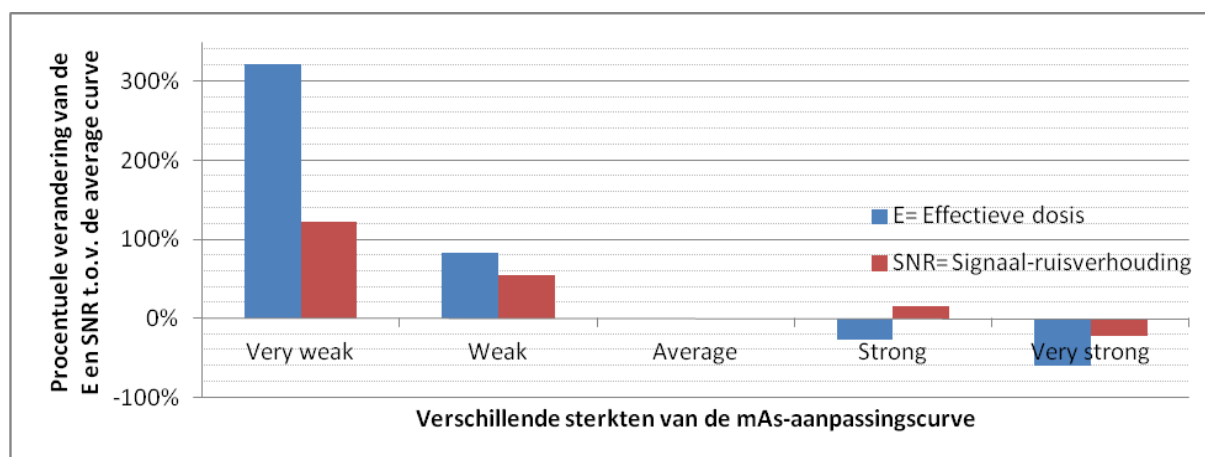
De SNR liet bij de weak curve een toename van +30% zien ten opzichte van de average curve. De very weak curve vergeleken met de average curve, gaf een toename van +74%. Bij de aanpassing naar een strong curve verlaagde de SNR met 20% tussen de strong en average curve en verlaagde de SNR met 37% tussen de average en very strong curve. Deze waarden staan vermeld in tabel 7 en zijn grafisch weergegeven in figuur 10.

Tabel 6. Procentuele verandering ten opzichte van de average curve bij 'new born' thoraxfantoom

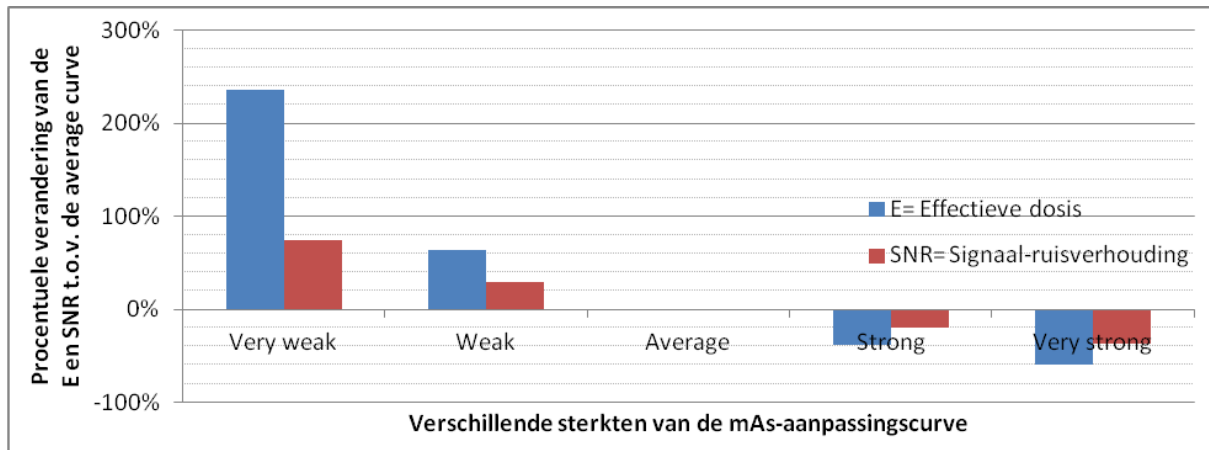
% Verandering t.o.v. average	Verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve				
	Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong
Effectieve dosis	+322%	+84%	0%	-27%	-59%
Signaal-ruisverhouding	+123%	+55%	0%	+16%	-23%

Tabel 7. Procentuele verandering ten opzichte van de average curve bij '5-year' old thoraxfantoom

% Verandering t.o.v. average	Verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve				
	Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong
Effectieve dosis	+237%	+64%	0%	-39%	-59%
Signaal-ruisverhouding	+74%	+30%	0%	-20%	-37%



Figuur 9. Procentuele verandering ten opzichte van de average curve bij 'new born' thoraxfantoom



Figuur 10. Procentuele verandering ten opzichte van de average curve bij '5-year old' thoraxfantoom

§ 4. Discussie

§ 4.1 Interpretatie onderzoeksresultaten

Uit dit onderzoek blijkt dat de dosis bij pediatrische thoraxfantomen toeneemt bij de keuze van de weak of very weak curve en dat de dosis afneemt bij de keuze van een strong of very strong curve. Dit is ook in de literatuur geschreven³. De dosis neemt sterker toe bij het 'new born' thoraxfantoom dan bij het '5-year old' thoraxfantoom. Dit wordt ook bewezen vanuit de literatuur. Wanneer een patiënt verder van het referentiegewicht af ligt, wordt de invloed van de curve sterker³. Wat hier bij op te merken is, is dat de dosis afname groter of gelijk is bij het '5-year old' thoraxfantoom vergeleken met het 'new born' thoraxfantoom. Dit spreekt de literatuur tegen. De verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat het CT-systeem de drempelwaarde van minimale dosis heeft bereikt. Wanneer er met een hogere mAs gescand wordt, is te zien dat de procentuele afname van de dosis bij de keuze van very strong groter hoort te zijn. Dit is extra onderzocht met het 'new born' thoraxfantoom en een referentie mAs-waarde van 480. Hierbij kwamen er logischerwijs hogere dosiswaarden uit en werd de drempelwaarde niet bereikt. De procentuele verandering tussen de average en very strong is hierbij -74%. Dit is in vergelijking met de normale referentie-mAs een grotere afname (afname bij normale referentie-mAs is 59%) en is tevens een grotere afname dan bij het '5-year old' thoraxfantoom. Voor een overzicht van deze dosiswaarden met bijbehorende procentuele verandering zie tabel B3 in bijlage B. Met deze percentages is berekend hoeveel de dosis nog had kunnen afnemen wanneer er geen drempelwaarde zou zijn. De dosis zou bij de very strong curve bij het 'new born' thoraxfantoom 0,13 mSv zijn, in plaats van 0,21 mSv. Er is ook te zien dat de procentuele verandering waarmee de dosis toe- of afneemt bij de weak, very weak en strong curve ten opzichte van de average curve anders is dan met de normale referentie-mAs. Hieruit is te concluderen dat wanneer er een hogere referentie-mAs wordt gegeven, de helling van de curves gaat afwijken. Dit is in strijd met de literatuur, waarin wordt vermeld dat wanneer de referentie-mAs wordt verhoogd, de helling van de curves hetzelfde blijft³. De verklaring hiervoor kan zijn dat door de drempelwaarde de verhouding tussen de verschillende curven niet geheel juist is. Dit zou nog onderzocht kunnen worden door met een nog hogere mAs te scannen en deze te vergelijken met de 480 mAs. De drempelwaarden zijn bij deze mAs waarden niet aanwezig en er kan dan onderzocht worden of de helling van de curves hetzelfde blijft.

Tussen de average curve en de weak curve neemt de dosis minder sterk toe dan tussen de very weak en de weak curve. Ook is de afname van de dosis tussen de average en de strong curve minder sterk dan de afname tussen de strong en very strong curve. De keuze van een "very" curve heeft dus een nog grotere invloed op de dosis, dan de weak of strong curve. Hierdoor kan er voor kleine patiënten een nog lagere dosis worden gegeven.

De dosis tussen de average en strong curves en de average en weak curves neemt niet gelijk toe of af. Bij het 'new born' thoraxfantom neemt de dosis vergeleken met de average en de very weak curve toe met +322%. De dosis neemt af met 59% tussen de average en very strong curve. Ook is dit te zien bij het '5-year old' thoraxfantom. Bij deze neemt de dosis toe met +237% bij verandering naar de very weak curve ten opzichte van de average en neemt de dosis af met 59% bij verandering naar de very strong curve ten opzichte van de average. De keuze van een strong of very strong curve heeft dus een grotere invloed dan een weak of very weak curve.

De SNR tussen de average curve en de strong curve bij het 'new born' thoraxfantom komt niet logisch overeen met de andere gegevens. Deze neemt toe met +16% terwijl deze logischerwijs zou moeten afnemen, aangezien de dosis afneemt. Het SD getal neemt bij elk weefsel bij de strong curve af ten opzichte van de average curve, terwijl deze zou moeten afnemen. Omdat het bij alle drie de weefsels afneemt zou de verklaring hiervoor kunnen zijn, dat er altijd een variatie is in de hoeveelheid ruis die in een afbeelding ontstaat¹⁴. Hierdoor kan het zijn dat net in deze slice een hoger ruisgehalte aanwezig was dan een slice ervoor of erna.

In dit onderzoek werd de HU als signaal genomen. Door de HU te delen door de SD kwam er een verhoudingsgetal uit, waarmee de procentuele verandering berekend kon worden. De HU waarde is een verzwakkingswaarde en geen echt signaal. Omdat er niet is gekeken naar de verhouding van het signaal tussen de verschillende weefsels, maar de verhouding van het signaal van één weefsel met verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve, konden deze waarden worden vergeleken met elkaar. De verhouding werd immers voor elk weefsel op dezelfde manier berekend. Ook omdat er in verscheidene artikelen is gevonden dat de SNR berekend kan worden door de HU te delen door de SD^{21-22} , is toch gekozen voor deze formule.

§ 4.2 Relatie met de literatuur

Omdat de dosis afneemt, neemt ook de SNR af, omdat er meer ruis in de afbeeldingen komt²⁴. Dit is te zien bij dit onderzoek. Naarmate de dosis bij het 'new born' thoraxfantom lager wordt, wordt de SNR ook kleiner. Dit gaat met minder grote stappen dan de dosis. De hoogste dosis die wordt gegeven bij het 'new born' thoraxfantom is 2,14 mSv, dit gebeurt bij de very weak curve. De laagste dosis, die wordt verkregen bij de very strong curve is 0,21 mSv. De procentuele afname van de dosis tussen de very weak en de very strong curve is 90,38%. De SNR neemt tussen de very weak en very strong curve af met 65,36%. De dosis neemt dus harder af dan de SNR. Dit is ook te zien bij het '5-year old' thoraxfantom. De afname van de SNR tussen de very weak curve en very strong curve is 63,96%, bij de effectieve dosis is deze afname 87,85%.

In de literatuur is te vinden dat wanneer de mAs (en de hierbij behorende dosis) 4x zo hoog wordt, de SNR 2x zo groot wordt⁷. De dosis neemt bij het 'new born' thoraxfantom tussen de average en de very weak curve toe van 0,51 mSv naar 2,14 mSv. Dit is 4,2x zo hoog. De gemiddelde SNR verandert tussen de average en de very weak curve van -30,75 naar -68,54, dit is een verandering van 2,2. Dit verklaart waarom de verandering van de SNR minder groot is, dan die van de effectieve dosis.

De effectieve dosis die het 'new born' thoraxfantom heeft ontvangen, is hoger dan bij het '5-year old' thoraxfantom. De scanparameters waren gelijk bij deze scans. De orgaansensitiviteit van een patiënt neemt toe naarmate deze jonger is. Ook al is de energie van de straling die wordt toegediend lager voor jonge patiënten dan voor volwassen patiënten; de organen die worden bestraald zijn aanzienlijk kleiner en daardoor wordt de orgaandosis hoger²⁴. Daarom is het belangrijk om de dosis laag te houden, naarmate een patiënt jonger is.

§ 4.3 Beperkingen van het onderzoek

Het is in dit onderzoek niet gelukt om de detailwaarneembaarheid te meten. Het insert dat gebruikt zou worden voor de detailwaarneembaarheid, het wolframdraadje, was met alle

verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve duidelijk te zien. De diameter van het draadje was 0,05 millimeter. De beeldkwaliteit van alle scans was te goed om het draadje te kunnen missen.

Met deze fantomen is het erg lastig om de beelden te beoordelen. De longen bevatten geen longparenchym en alle randen van de “organen” zijn scherp afgegrensd.

Wanneer de dosis hoger wordt, neemt de ruis af in een afbeelding²⁴. Hierdoor is het insert beter te zien, maar dit zegt niets over de kwaliteit van deze afbeelding. Want ook al zou de afbeelding meer ruis bevatten, het beeld blijft beoordeelbaar. Het hangt ook van de vraagstelling af hoeveel ruis acceptabel is. Bij de ene vraagstelling kan een beeld met meer ruis voldoende beoordeelbaar zijn, dan bij een andere vraagstelling.

De ROI's die zijn ingetekend hebben niet voor elk weefsel exact dezelfde grootte. Het was niet mogelijk om de ROI's tegelijk te kopiëren naar alle scans. Wanneer een ROI werd getekend, kwam deze wel in alle scans te staan, maar wanneer de ROI aangepast moest worden, werd dit maar voor één ROI aangepast en niet in alle scans tegelijk. Hierdoor moest de plaatsing van het ROI in één keer goed worden gedaan. Er zijn minieme oppervlakte verschillen van de ROI's van ongeveer 0,1 cm. De ROI's hebben dezelfde grootte voor een weefsel bij de verschillende sterkten van de curves, waardoor er wel een conclusie kon worden getrokken met betrekking tot de SNR in deze weefsels tussen de verschillende curves.

§ 4.4 Aanbevelingen

Er zijn meerdere manieren om de dosis bij kinderen zo laag mogelijk te krijgen. Dit kan door het moduleren van de mAs, zoals onderzocht tijdens deze studie, maar dit kan ook door verlaging van het kV. Met de nieuwe software is er ook de mogelijkheid om 'new born' en zeer kleine kinderen te scannen met 70kV. Hierdoor kan er een extra dosisafname tot 60% worden bereikt¹⁷.

Omdat er na uitvoering van dit onderzoek geen duidelijkheid is over de detailwaarneembaarheid, zou dit door middel van een vervolgonderzoek verder onderzocht kunnen worden. Hierbij kunnen de data die met dit onderzoek zijn verkregen, vergeleken worden met patiëntendata. Op deze scans zijn kwalitatieve metingen mogelijk, door middel van visuele beoordeling door gediplomeerden. Ook zou dit onderzoek toegepast kunnen worden op echte patiënten, waardoor er meer waarheidsgetrouwe resultaten worden verkregen. Ook zouden er andere of kleinere inserts gebruikt kunnen worden, waarmee de detailwaarneembaarheid beoordeeld zou kunnen worden.

§ 5. Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek was: wat is de procentuele verandering van de dosis en de SNR bij de verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve (very weak, weak, strong en very strong) ten opzichte van de average curve. Hierbij werd er ook naar de detailwaarneembaarheid gekeken. Uit dit onderzoek blijkt dat bij de keuze van een weak of very weak curve de dosis ten opzichte van de average toeneemt. Bij het 'new born' thoraxfantoom met een groter percentage (weak +84%, very weak +322%) dan bij het '5-year old' thoraxfantoom (weak +64%, very weak +237%). Bij de keuze van de strong en very strong curve neemt de dosis ten opzichte van de average curve af, deze neemt harder af bij het '5-year old' thoraxfantoom (afname strong 39%, afname very strong 59%) dan bij het 'new born' thoraxfantoom (afname strong 27%, afname very strong 59%).

Ook de SNR neemt toe ten opzichte van de average curve bij keuze van de weak of very weak curve. Bij het 'new born' thoraxfantoom bij de weak curve met +84% en bij de very weak curve met +123%. Bij het '5-year old' thoraxfantoom is dit bij de weak curve +30% en bij de very weak curve +74%. Er is een afname te zien van de SNR ten opzichte van de average bij het '5-year old' thoraxfantoom, dit is bij de strong 20% en bij de very strong 37%. Bij het 'new born' thoraxfantoom is de procentuele verandering van de SNR bij de strong +16% en bij de very strong -23%.

De detailwaarneembaarheid die bij de verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve hoort, is met dit onderzoek niet duidelijk geworden.

Referenties

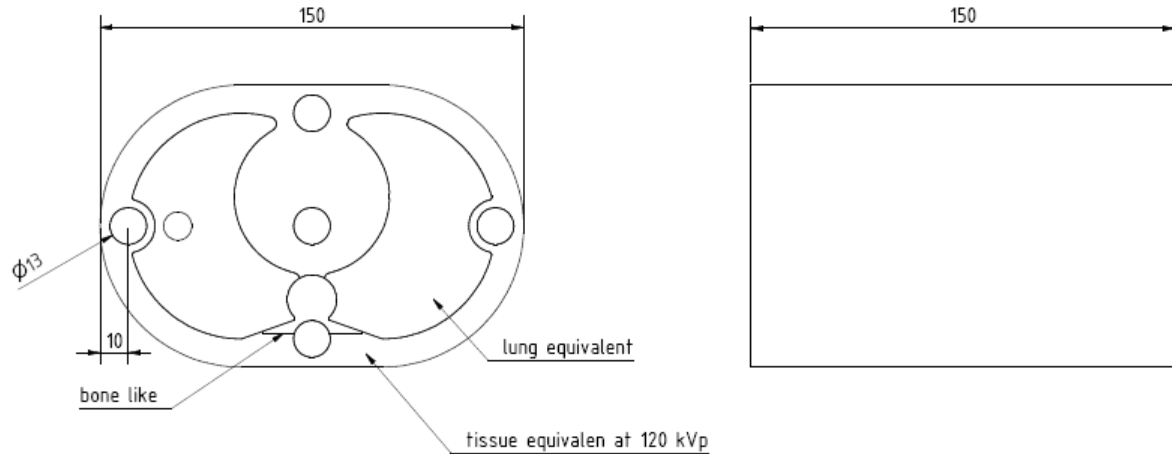
1. Brenner D.J., Hall E.J., Phil D. Computed Tomography - An Increasing Source of Radiation Exposure. *The New England Journal of Medicine* 2007, 357(22): 2277-2284
2. Foley W.D. CT Scanning and Radiation Dose. *Department of Surgery* 2010, 2(1): 4
3. Siemens AG. Syngo CT 2011A FAST CARE Update Training. [CD-ROM]. Duitsland; 2011
4. Allmendinger T., Raupach R., Flohr T. How to scan with CARE Dose4D. Siemens Healthcare. November 2011. Beschikbaar via: URL: www.siemens.com/healthcare
5. National Cancer Institute. Radiation Risks and Pediatric Computed Tomography (CT): A Guide for Health Care Providers. USA: National Cancer Institute; [update 22-12-2008; geplaatst 20/08/2008]. Beschikbaar via: URL: <http://www.cancer.gov/cancertopics/causes/radiation/radiation-risks-pediatric-CT>
6. Deak P.D., Smal Y., Kalender W.A. Multisection CT Protocols: Sex- and Age-specific Conversion Factors Used to Determine Effective Dose from Dose-Length Product. *Radiology* 2010, 257(1): 158-166
7. Hakkert M., Tempelman G., Dam T., Dol-Jansen J., Geers- van Gemeren S. Computertomografie Techniek, onderzoek en stralingshygiëne. 1e ed. Amsterdam: Elsevier Gezondheidszorg; 2010
8. De Ru V.J., Scheurleer J.S., Welleweerd J. Radiobiologie en stralingsbescherming. 4e ed. Maarssen: Elsevier; 2006
9. Siemens AG Medical Solution. FAST CARE for all Patients. Answers for life. November 2010. Beschikbaar via: URL: www.siemens.com/healthcare
10. Baert A.L., Knauth M., Sartor K. Radiation Dose from Adult and Pediatric Multidetector Computed Tomography. 1e ed. Berlijn: Springer; 2007
11. Leidecker C., Flohr T. How to scan children with FAST CARE. Siemens Healthcare. November 2011. Beschikbaar via URL: www.siemens.com/healthcare
12. Grant K, Schmidt B. CARE kV Automated Dose-Optimized Selection of X-ray Tube Voltage. Siemens Healthcare. Januari 2011. Beschikbaar via URL: www.siemens.com/healthcare
13. Schmidt B, Raupach R, Flohr T. How to scan with CARE kV For all SOMATOM Scanners equipped with FAST CARE syngo CT 2011. Siemens Healthcare. November 2011. Beschikbaar via: URL: www.siemens.com/healthcare
14. Hensen J., Jaarsveld-Bolman K., Dam T., Dol-Jansen J., Geers-van Gemeren S. Radiologie Techniek en onderzoek. 1e ed. Amsterdam: Reed Business; 2011
15. Radiology - Technology Information Portal. (2008) *Detail detectability*. Bekeken op: 12 mei 2012. Beschikbaar via: URL: <http://www.radiology-tip.com/serv1.php?type=db1&dbs=Detail+Detectability>
16. Tandra R., Sahai A. Fundamental limits on detection in low SNR [dissertation]. Berkeley: University of California; 2005
17. Siemens AG Medical Solution. Flash Speed. Lowest Dose. SOMATOM Definition Flash. November 2010. Beschikbaar via: URL: www.siemens.com/healthcare
18. QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de
19. Verkerk G., Broens J.B., Bouwens R.E.A., de Groot, P.A.M., Kranendonk W., Vogelezang M.J., Westra J.J., Wevers-Prijs I.M. BINAS havo/vwo. 5e ed. Groningen: Wolters-Noordhoff; 2004

20. Siemens medical. SOMATOM Definition Application Guide Software Version syngo CT 2007A. Augustus 2006. Beschikbaar via: URL: www.siemens.com/healthcare
21. Pflederer T, Rudofsky L, Ropers D, Bachmann S, Marwan M, Daniel WG, Achenbach S. Image Quality in Low Radiation Exposure Protocol for ECG-Gated Coronary CTA: Subject and Methods. American Journal of Roentgenology. 2009; 192 (4): 1045-1050
22. Hähnel S., Ertl-Wagner B., Tasman A., Forstning M., Jansen O. Relative Value of MR Imaging as Compared with CT in the Diagnosis of Inflammatory Paranasal Sinus Disease. Radiology. 1999; 210: 171-176
23. EIZO Nanao Corporation. High-end-monitors. USA, 2006. Beschikbaar via: URL: <http://www.radiforce.nl/producten/grijswaarden-monitoren/GS320.html>
24. Frush D.P., Donnelly L.F., Rosen N.S. Computed Tomography and Radiation Risks: What Pediatric Health Care Providers Should Know. Pediatrics 2003, 112 (4): 951-957

Bijlagen

Bijlage A – Fantomen

'New born' thoraxfantoom



Figuur A1. 'New born' thoraxfantoom

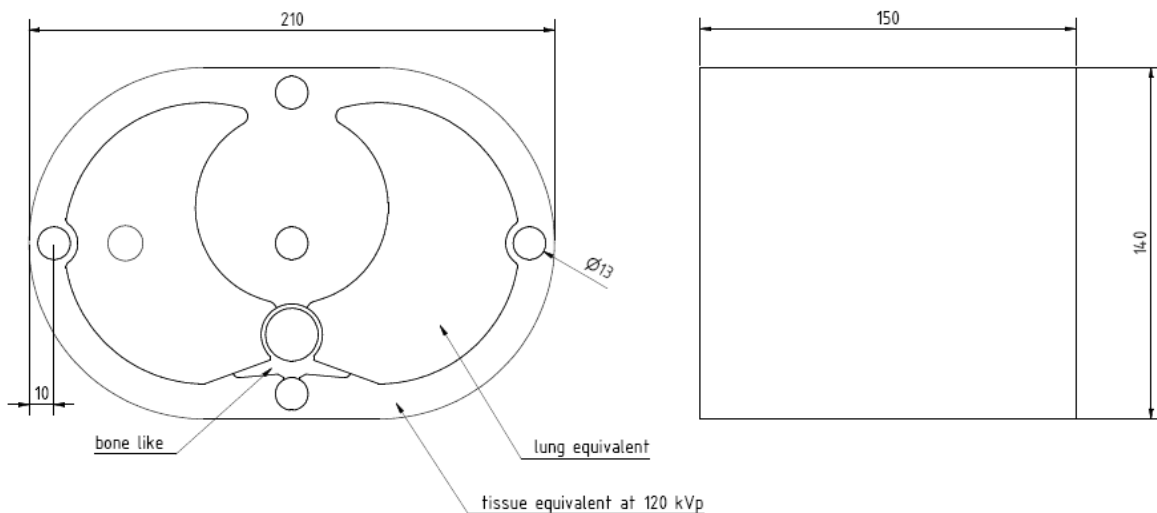
Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

Tabel A1. Specificaties 'new born' thoraxfantoom

Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

Breedte	150 mm
Hoogte	100 mm
Lengte	150 mm

'5-year old' thoraxfantoom



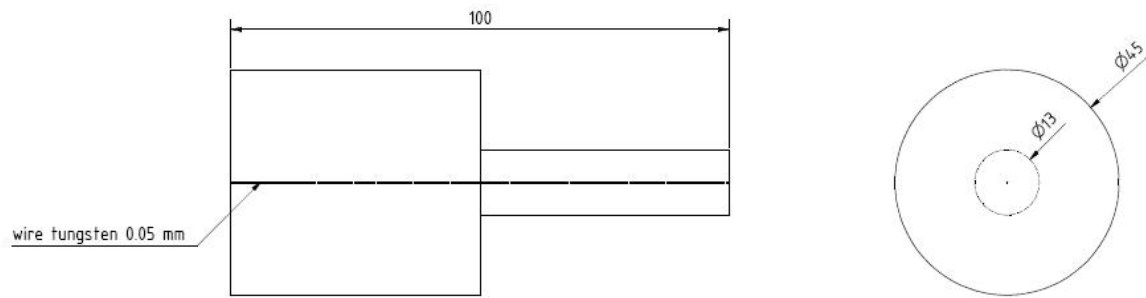
Figuur A2. '5-year old' thoraxfantoom

Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

Tabel A2. Specificaties '5-year old' thoraxfantoom

Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

Breedte	210 mm
Hoogte	140 mm
Lengte	150 mm

Insert: wolfraamdraadje**Figuur A3. Insert met wolfraamdraadje**

Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

Tabel A3. Specificaties insert met wolfraamdraadje

Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

Diameter voorste deel insert	13 mm
Diameter achterste deel insert	45 mm
Lengte insert	100 mm
Diameter wolfraam draad	0,05 mm
Lengte wolfraamdraad	100 mm

Bijlage B – Overige tabellen

Tabel B1. Meetgegevens uit de ROI bij het 'new born' thoraxfantoom

'New born'		Verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve				
		Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong
	DLP, mGy.cm	26,0	11,3	6,2	4,5	2,5
Longweefsel	ROI (cm2)	1,17				
	HU mean ($\pm$ SD)	-786,1 ($\pm$ 3,4)	-785,4 ($\pm$ 4,9)	-793,3 ($\pm$ 7,7)	-790,9 ($\pm$ 6,7)	-790,0 ($\pm$ 9,9)
	SNR	-231,21	-160,29	-103,04	-118,04	-79,80
Wervelkolom	ROI (cm2)	1,05				
	HU mean ($\pm$ SD)	118,2 ($\pm$ 4,9)	117,0 ($\pm$ 7,3)	112,3 ($\pm$ 10,3)	113,2 ($\pm$ 9,9)	110,8 ($\pm$ 12,9)
	SNR	24,12	16,03	10,90	11,43	8,59
Mediastinum	ROI (cm2)	1,12				
	HU mean ($\pm$ SD)	6,0 ($\pm$ 4,1)	6,2 ($\pm$ 6,0)	-0,9 ($\pm$ 8,4)	0,2 ($\pm$ 8,9)	-0,3 ($\pm$ 12,4)
	SNR	1,46	1,03	-0,11	0,02	-0,02

DLP= dose-length product, ROI= region of interest, HU= Hounsfield waarde, SD= standaard deviatie, SNR= signaal-ruisverhouding

Tabel B2. Meetgegevens uit de ROI bij het '5-year old' thoraxfantoom

'5-year old'		Verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve				
		Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong
	DLP, mGy.cm	29,6	14,5	8,8	5,4	3,6
Longweefsel	ROI (cm2)	3,19				
	HU mean ($\pm$ SD)	-791,7 ($\pm$ 4,5)	-791,7 ($\pm$ 6,0)	-791,6 ($\pm$ 7,7)	-793,4 ($\pm$ 9,5)	-796,1 ($\pm$ 12,1)
	SNR	-175,93	-131,85	-102,81	-83,52	-65,79
Wervelkolom	ROI (cm2)	3,19				
	HU mean ($\pm$ SD)	262,2 ($\pm$ 72,1)	262,1 ($\pm$ 70,6)	258,6 ($\pm$ 66,0)	248,9 ($\pm$ 56,6)	246,9 ($\pm$ 60,6)
	SNR	3,64	3,71	3,92	4,40	4,07
Mediastinum	ROI (cm2)	3,07				
	HU mean ($\pm$ SD)	10,3 ($\pm$ 6,0)	10,5 ($\pm$ 7,8)	10,2 ($\pm$ 10,4)	4,0 ($\pm$ 12,1)	3,8 ($\pm$ 15,2)
	SNR	1,72	0,79	-0,09	0,02	-0,02

DLP= dose-length product, ROI= region of interest, HU= Hounsfield waarde, SD= standaard deviatie, SNR= signaal-ruisverhouding

Tabel B3. DLP, effectieve dosis en procentuele verandering van de effectieve dosis ten opzichte van de average curve gescand met een referentie-mAs van 480 bij het 'new born' thoraxfantoom

'New born'	Verschillende sterkten van de mAs-aanpassingscurve				
	Very weak	Weak	Average	Strong	Very strong
DLP, mGy.cm	94,0	42,7	19,0	10,0	5,0
Effectieve dosis, mSv	7,74	3,51	1,56	0,82	0,41
Procentuele verandering E t.o.v. average curve	+395%	+125%	0%	-47%	-74%

DLP= dose-length product, E= effectieve dosis

Bijlage C – Beoordelingsformulier detailwaarneembaarheid

In de gescande fantomen zitten één of meerdere inserts. Deze insert(s) is/zijn van wolfram en heeft/hebben een diameter van 0,05 mm.

Fantoom X, serie X

Zijn er één of meerdere inserts voor u zichtbaar?* (zie figuur C1)

Beeld 1: ja nee

Zo ja, hoeveel en waar?

Aantal:

Plaats(en):* A – B – C – D – E

Beeld 2: ja nee

Zo ja, hoeveel en waar?

Aantal:

Plaats(en):* A – B – C – D – E

Beeld 3: ja nee

Zo ja, hoeveel en waar?

Aantal:

Plaats(en):* A – B – C – D – E

Beeld 4: ja nee

Zo ja, hoeveel en waar?

Aantal:

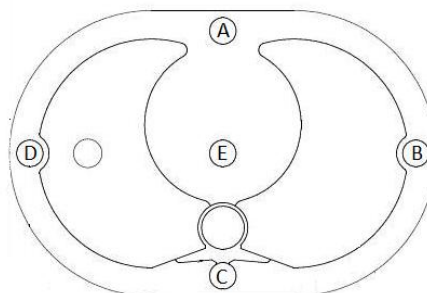
Plaats(en):* A – B – C – D – E

Beeld 5: ja nee

Zo ja, hoeveel en waar?

Aantal:

Plaats(en):* A – B – C – D – E



Figuur C1: Plaats(en) waar insert(s) aanwezig kan/kunnen zijn

Bron: QRM. Quality Assurance in Radiology and Medicine. QRM GmbH. Augustus 2011. Beschikbaar via: URL: www.QRM.de

* Omcirkelen wat van toepassing is