

Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2

NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire Geneeskunde

NEDERLANDSE COMMISSIE VOOR STRALINGSDOSIMETRIE

Auteurs:

Wouter Veldkamp (LUMC, voorzitter)
Ad den Boer (Erasmus MC)
Koos Geleijns (LUMC)
Herma Holscher (HagaZiekenhuis)
Willy Hummel (MCL/KCL)
Rutger-Jan Nievelstein (UMCU)
Arnold Schilham (UMCU)
Paul Stoop (RIVM)
Enno van der Velde (LUMC)
Dirk Zweers (LUMC)

Projectmanager:

Wendy Krispijn (LUMC)



Preface

The Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS, Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, <http://ncs-dos.org>) was officially established on 3 September 1982 with the aim of promoting the appropriate use of dosimetry of ionizing radiation both for scientific research and practical applications. The NCS is chaired by a board of scientists, installed upon the suggestion of the supporting societies, including the Nederlandse Vereniging voor Radiotherapie en Oncologie (Netherlands Society for Radiotherapy and Oncology), the Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde (Dutch Society for Nuclear Medicine), the Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica (Dutch Society for Medical Physics), the Nederlandse Vereniging voor Radiobiologie (Netherlands Radiobiological Society), the Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne (Netherlands Society for Radiological Protection), the Nederlandse Vereniging voor Medische Beeldvorming en Radiotherapie (Dutch Society for Medical Imaging and Radiotherapy), the Nederlandse Vereniging voor Radiologie (Radiological Society of the Netherlands) and the Belgische Vereniging voor Ziekenhuisfysici/Société Belge des Physiciens des Hôpitaux (Belgian Hospital Physicists Association).

To pursue its aims, the NCS accomplishes the following tasks: participation in dosimetry standardisation and promotion of dosimetry intercomparisons, drafting of dosimetry protocols, collection and evaluation of physical data related to dosimetry. Furthermore the commission shall maintain or establish links with national and international organizations concerned with ionizing radiation and promulgate information on new developments in the field of radiation dosimetry.

Current members of the board of the NCS:

S. Vynckier, chairman
T.W.M. Grimbergen, vice-chairman
E. van Dijk, secretary
J. Zoetelief, treasurer
J.M.J. Hermans
A.A. Lammertsma
A. Spilt
F.W. Wittkämper
D. Zweers

NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire geneeskunde

In 1999 werden onder de auspiciën van de NCS twee Platforms opgericht: het NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire Geneeskunde en het Platform voor Radiotherapie. In het NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire Geneeskunde zijn vertegenwoordigers van de Nederlandse Vereniging voor Radiologie (NVvR), Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica (NVKF), Nederlandse Vereniging Medische Beeldvorming en Radiotherapie (NVMBR), Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde (NVNG) en Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne (NVS) opgenomen.

Het Platform is opgericht met als doel om in ondersteuning en advies te voorzien bij projecten op het gebied van de dosimetrie binnen de radiologie en nucleaire geneeskunde. Het Platform was betrokken bij de ontwikkeling van het Informatiesysteem voor Medische Stralingstoepassingen (project van het RIVM en het ministerie van VWS) en bij het demonstratieproject patiëntendosimetrie (project van ZONmw en de afdeling Radiologie van het Leids Universitair Medisch Centrum). Het Platform begeleidde eerder het QC Light project ten behoeve van routinematige kwaliteitscontrole binnen de Radiologie en gaf eveneens advies aan het NCS subcomité opgericht voor het ontwikkelen van correctiefactoren voor persoonsdosimetrie bij gebruik van loodschorten (NCS rapport 19). In 2008 publiceerde het NCS Platform een protocol "Diagnostische Referentieniveaus in Nederland". Door middel van de voorliggende publicatie beoogt het NCS Platform bij te dragen aan de uitbreiding van de Diagnostische Referentieniveaus in Nederland. Het Platform kan tevens voor continuïteit zorgen bij de implementatie van diagnostische referentieniveaus in Nederland en het kan signaleren of een verdere ontwikkeling van referentieniveaus wenselijk is.

Leden van het NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire Geneeskunde:

J.G. van Unnik (voorzitter)

J. Geleijns (secretaris)

J.A.K. Blokland

S. van Dullemen

P.J. Kicken

A.H.J. Renders

L.J. Schultze Kool

M. Wienia

D. Zweers

Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2

Deze NCS publicatie over “Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2” werd opgesteld door auteurs die een goede vertegenwoordiging vormden van Nederlandse beroepsbeoefenaren binnen het werkgebied van medische stralingstoepassingen.

De auteurs verrichtten hun werk als leden van een werkgroep van het NCS Platform “Dosimetrie voor Radiologie en Nucleaire Geneeskunde”. De werkzaamheden werden op verzoek van het Ministerie van VWS uitgevoerd. Het NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire Geneeskunde zal, in samenwerking met het Ministerie van VWS, het RIVM en de betrokken beroepsverenigingen, de implementatie van diagnostische referentieniveaus in Nederland actief blijven volgen en begeleiden. Aan hen zal het Protocol “Diagnostische referentieniveaus in Nederland Fase 2” in PDF formaat ter beschikking worden gesteld. De NCS stelt het protocol op haar website beschikbaar, de beroepsverenigingen wordt tevens verzocht het protocol in PDF formaat op hun websites aan hun leden aan te bieden.

De volgende personen droegen bij aan deze publicatie:

Ad den Boer (Erasmus MC)
Koos Geleijns (LUMC)
Herma Holscher (HagaZiekenhuis)
Willy Hummel (MCL/KCL)
Rutger-Jan Nievelstein (UMCU)
Arnold Schilham (UMCU)
Paul Stoop (RIVM)
Enno van der Velde (LUMC)
Wouter Veldkamp (LUMC, voorzitter)
Dirk Zweers (LUMC)
Projectmanager: Wendy Krispijn (LUMC)

NCS, Delft, The Netherlands

Diagnostische Referentieniveaus in Nederland, juli 2009

ISBN 978-90-78522-05-8

Voor meer informatie over de NCS zie: <http://www.ncs-dos.org>

Inhoudsopgave

Preface	i
NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire geneeskunde	ii
Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2	iii
Inhoudsopgave	iv
Samenvatting	1
Afkortingen	3
1. Inleiding	5
2. Diagnostische referentieniveaus: algemene overwegingen	7
2.1 <i>Diagnostische procedures</i>	7
2.2 <i>Grootheden</i>	7
2.3 <i>Referentieniveaus</i>	8
3. Diagnostische referentieniveaus voor de verrichtingen	11
3.1 <i>Kinderradiologie: röntgenopnamen(X-thorax, X-abdomen)</i>	11
3.2 <i>Kinderradiologie: CT–hoofd; trauma</i>	13
3.3 <i>Kinderradiologie: Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG)</i>	15
3.4 <i>CT coronaire angiografie, diagnostisch</i>	16
3.5 <i>Conventionele coronaire angiografie: diagnostisch</i>	18
3.6 <i>Overzicht</i>	20
Referenties	23

Samenvatting

De aanleiding voor het vaststellen van referentieniveaus voor diagnostische verrichtingen is een artikel in het Besluit stralingsbescherming van de Kernenergiewet {2001 30 /id}. Diagnostische referentieniveaus zijn dosiswaarden die voor karakteristieke radiodiagnostische verrichtingen worden vastgesteld. Ze hebben betrekking op de stralingsbelasting van patiënten met een normaal postuur of op standaardfantomen. Diagnostische referentieniveaus worden tijdens standaardprocedures geacht niet te worden overschreden. Hierbij geldt als uitgangspunt dat de diagnostische referentieniveaus betrekking hebben op gangbare klinische vraagstellingen en dat goede diagnostische en technische prestaties in acht worden genomen. Het diagnostisch referentieniveau betreft met nadruk een bovengrens voor de dosis waarbij er nog sprake is van 'good medical practice'. Bij inspanningen van de gebruiker op het gebied van optimalisatie van de techniek en het acquisitieprotocol wordt een lager dosisniveau haalbaar verondersteld.

Het project "Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2" (1 juli 2008 tot en met 30 april 2009) geeft vervolg aan het project "Diagnostische Referentieniveaus in Nederland" dat werd uitgevoerd in een periode van vier maanden (1 oktober 2007 tot en met 31 januari 2008) en dat heeft geleid tot een systematiek voor vaststelling van, en toetsing aan diagnostische referentieniveaus (DRN's) voor vijf diagnostische verrichtingen (mammografie, CTA-thorax, CT-abdomen, X-thorax en X-abdomen).

Het hier beschreven project "Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2" had als hoofddoel uitbreiding van het aantal verrichtingen waarvoor DRN's zijn vastgesteld. Een neven doelstelling betrof begeleiding van de implementatie van DRN's in Nederland door middel van een enquête en een symposium. Dit protocol biedt de beoogde 'uitbreiding' van het aantal DRN's¹.

¹ Informatie over implementatie van DRN's is beschikbaar op de website www.referentieniveau.blogspot.com.

Voor de volgende verrichtingen werden tijdens Fase 2 DRN's vastgesteld:

Kinderradiologie

1. Röntgenopnamen (X-thorax, X-abdomen; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar)
2. CT–hoofd; trauma (leeftijd 0 (neonaat), 1, 5 en 10 jaar)
3. Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar)

Coronaire angiografie; diagnostisch

4. CT coronaire angiografie
5. Conventionele coronaire angiografie

Met de uitbreiding naar kinderradiologie en diagnostische coronaire angiografie wordt bereikt dat het toepassingsgebied van de DRN's breder wordt. Stralenbescherming bij kinderradiologie is van bijzonder belang vanwege de grotere gevoeligheid van kinderen voor ioniserende straling. Diagnostische coronaire angiografie is van bijzonder belang vanwege de substantiële bijdrage aan de collectieve dosis in Nederland en vanwege de relatief hoge effectieve dosis per verrichting

In hoofdlijnen beschrijft dit protocol de volgende punten:

1. Een methodiek voor het meten van dosiswaarden die representatief zijn voor de lokale klinische praktijk.
2. Getalswaarden voor diagnostische referentieniveaus.

Het uitgangspunt was dat de beschreven procedures, methodieken, en getalswaarden eenvoudig en praktisch toepasbaar moesten zijn.

Wanneer wordt voldaan aan de in dit protocol vermelde DRN's voor respectievelijk kinderradiologie en coronaire angiografie, is het aannemelijk dat er in bredere zin voldoende aandacht is geweest voor optimalisatie van de kinderradiologie in het algemeen en de coronaire angiografie (inclusief therapeutische toepassingen).

Afkortingen

AAPM	American Association of Physicists in Medicine
AEC	automatic exposure control (automatische belichtingsregeling)
AP	anterior posterior (voorachterwaartse stralingsrichting)
BMI	body mass index
CAG	Conventionele Coronaire Angiografie
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CR	computed radiography (röntgenopnamen met behulp van fosforplaten)
CT	computer tomografie
CTA	CT angiografie
CT-Abdomen	CT onderzoek van de buik en het bekken
CTDI	computer tomografie dosisindex
CT-Thorax	CT onderzoek (angiografie) van de thorax
DIN	Deutsches Institut Für Normung
DLP	dosis-lengte product
DOP	dosis-oppervlakte product
DR	digital radiography (direct digitale röntgenopnamen, flat panel detector)
DRN	diagnostisch referentieniveau
ECG	Electrocardiogram
Erasmus MC	Erasmus Medisch Centrum
EU	Europese Unie
IEC	International Electrotechnical Commission
IGZ	Inspectie voor de Gezondheidszorg
IPEM	Institute of Physics and Engineering in Medicine
KCL	Klinisch Chemisch Laboratorium
LUMC	Leids Universitair Medisch Centrum
MCL	Medisch Centrum Leeuwarden
MCUG	Mictie Cysto-Urethrogram.
Ministerie van VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
NCS	Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie
NVKF	Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica
NVMBR	Nederlandse Vereniging Medische Beeldvorming en Radiotherapie
NVNG	Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde
NVS	Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne

NVvR	Nederlandse Vereniging voor Radiologie
NVZ	Nederlandse Vereniging van Ziekenhuizen
PA	posterior anterior (achtervoorwaartse richting)
QA	Quality Assurance (kwaliteitsborging)
QC	quality control (kwaliteitscontrole)
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
UMCU	Universitair Medisch Centrum Utrecht
X-abdomen	röntgenfoto van de buik
X-thorax	röntgenfoto van de thorax

1. Inleiding

De aanleiding voor het vaststellen van referentieniveaus voor diagnostische verrichtingen is een artikel in het Besluit stralingsbescherming {2001 30 /id}. Het hier beschreven protocol “Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2” is een aanvulling op het protocol “Diagnostische Referentieniveaus in Nederland (Fase 1)” dat werd opgesteld in een periode van vier maanden (1 oktober 2007 tot en met 31 januari 2008) (2). De eerste fase heeft geleid tot een systematiek voor vaststelling van, en toetsing aan diagnostische referentieniveaus (DRN’s) voor vijf typen diagnostische verrichtingen: X-thorax, X-abdomen, CTA-thorax, CT-abdomen en mammografie. Het project leidde voor deze vijf verrichtingen tot een totaal van zeven DRN’s (waarvan drie DRN’s voor mammografie).

Het project “Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2” had als hoofddoelstelling uitbreiding van het aantal verrichtingen waarvoor DRN’s zijn vastgesteld en als neven-doelstelling het begeleiden van de implementatie van DRN’s in Nederland. Het onderdeel ‘begeleiding van de implementatie van DRN’s in Nederland’ maakt verder geen deel uit van dit protocol, dat betrekking heeft op DRN’s van een aantal nieuwe verrichtingen en de toetsing hiervan.

Dit protocol “Diagnostische Referentieniveaus in Nederland Fase 2” heeft betrekking op de uitbreiding van het aantal DRN’s met kinderradiologie (4 verrichtingen), traditionele diagnostische coronaire angiografie en computer tomografie (CT) coronaire angiografie. De keuze voor verrichtingen binnen de kinderradiologie is terug te voeren op de grotere gevoeligheid van kinderen voor straling. Bij coronaire angiografie, gebruikmakend van de hartcatheterisatie of CT, gelden als criteria de substantiële bijdrage die deze verrichtingen leveren aan de collectieve dosis in Nederland en de relatief hoge dosis per verrichting. In overeenstemming met Fase 1, heeft de gerealiseerde “uitbreiding” in Fase 2 geleid tot drie resultaten:

1. Meetmethoden voor het bepalen van dosiswaarden die representatief zijn voor de lokale klinische praktijk voor de geselecteerde verrichtingen.
2. Getalswaarden voor DRN’s voor de geselecteerde verrichtingen.
3. Inbedding van de DRN’s binnen de bestaande systemen van kwaliteitsborging. In dit kader omvat kwaliteitsborging alle geplande en systematische verrichtingen die noodzakelijk zijn om voldoende zekerheid te geven dat een structuur, systeem,

onderdeel of procedure naar behoren en in overeenstemming met algemeen aanvaarde normen functioneert.

Startpunt voor het protocol waren relevante publicaties op het gebied van DRN's (3-12). Zoveel mogelijk is gebruik gemaakt van Nederlandse veldstudies. Aan de basis van het protocol lagen tevens ten grondslag de aanbevelingen van de Gezondheidsraad met betrekking tot DRN's in haar rapport "Risico's van blootstelling aan ioniserende straling" (3;4;13).

Door bijzondere inspanningen van de gebruiker op het gebied van de techniek (moderne apparatuur) en het acquisitieprotocol moet een substantieel lager niveau dan het DRN haalbaar kunnen zijn. Om de optimalisatie van verrichtingen te stimuleren zijn derhalve per verrichting twee dosisniveaus geïntroduceerd. Naast het DRN, een bovengrens voor de dosis, is een haalbaar niveau gedefinieerd dat beschouwd kan worden als een streefwaarde.

2. Diagnostische referentieniveaus: algemene overwegingen

2.1 Diagnostische procedures

Voor de volgende verrichtingen zijn tijdens Fase 2 DRN's vastgelegd:

Kinderradiologie

1. Röntgenopnamen (X-thorax, X-abdomen; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar)
2. CT–hoofd; trauma (leeftijd 0 (neonaat), 1, 5 en 10 jaar)
3. Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar)

Coronaire angiografie; diagnostisch

4. CT coronaire angiografie (volwassen)
5. Conventionele coronaire angiografie (volwassen)

2.2 Grootheden

Om de praktische toepassing van de diagnostische referentieniveaus te vereenvoudigen is, indien van toepassing, gekozen voor grootheden die ook worden weergegeven op het bedieningspaneel van de betreffende modaliteit. De volgende grootheden worden gebruikt voor het vaststellen van diagnostische referentieniveaus (14):

Kinderradiologie²

1. Röntgenopnamen (X-thorax, X-abdomen; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar): DOP (dosis-oppervlakte product), eenheid Gy·cm².
2. CT–hoofd; trauma (leeftijd 0 (neonaat), 1, 5 en 10 jaar): CTDI (computer tomografie dosisindex), eenheid mGy; en DLP (dosis-lengte product), eenheid Gy·cm.
3. Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar): DOP (dosis-oppervlakte product), eenheid Gy·cm².

Coronaire angiografie; diagnostisch

4. CT coronaire angiografie: CTDI (computer tomografie dosisindex), eenheid mGy; en DLP (dosis-lengte product), eenheid mGy·cm
5. Conventionele coronaire angiografie (CAG): DOP (dosis-oppervlakte product), eenheid Gy·cm².

² Als aanvullende informatie wordt in de tabellen ook het gemiddelde gewicht vermeld per leeftijdscategorie om toetsingsmogelijkheden te vergroten.

2.3 Referentieniveaus

Toetsing aan diagnostische referentieniveaus kan worden bereikt door middel van metingen aan patiënten of fantomen. Om goed aan te sluiten bij huidige praktijken voor het vaststellen van blootstellingen bij kinderradiologie (bucky opnamen en MCUG) en conventionele coronaire angiografie (CAG) worden voor deze verrichtingen metingen van DRN's bij patiënten voorgesteld; voor computer tomografie worden DRN's voorgesteld die herleidbaar zijn naar metingen met CT dosis fantomen.

Voor röntgenopnamen (X-thorax, X-abdomen) en MCUG bij kinderen heeft het de voorkeur om van patiënten uit te gaan, het ontbreekt immers aan standaardfantomen die op brede schaal beschikbaar zijn. Er worden verschillende leeftijdscategorieën beschouwd die goed aansluiten bij de internationale literatuur. De toestelinstellingen die gebruikt worden bij kinderen zijn vanzelfsprekend sterk afhankelijk van de grootte van het kind en daardoor dus ook van de leeftijd. Voor de toepassing van de protocollen is het praktisch om van leeftijden uit te gaan. Als aanvullende informatie wordt in de tabellen ook het gemiddelde gewicht vermeld per leeftijdscategorie om toetsingsmogelijkheden te vergroten (15). Per leeftijdscategorie kan bijvoorbeeld voor 20 patiënten het DOP worden genoteerd. Het gemiddelde hiervan kan worden bepaald en getoetst. Soms zal het moeilijk zijn informatie voor een groep van 20 patiënten per leeftijdscategorie te 'verzamelen'. Voor die gevallen wordt geadviseerd de toetsing uit te voeren met kleinere aantallen met in achtname van de beperkingen die dit met zich meebrengt.

Bij X-thorax en X-abdomen kan onderscheid worden gemaakt tussen direct 'Digital Radiography' (DR) systemen (flat panel detector); 'Computed Radiography' (CR) systemen (fosforplaat) en röntgenfilm (film-scherm combinatie). Röntgenfilm en CR systemen vragen vergeleken met DR systemen om een relatief hogere doses om tot acceptabele beeldkwaliteit te komen. In dit protocol worden voor X-thorax en X-abdomen afzonderlijke DRN's gegeven voor respectievelijk DR enerzijds en röntgenfilm en CR anderzijds.

Voor CT worden fantomen gebruikt. Het CT dosis fantoom voor scans van de romp is een cilindervormig fantoom met een lengte van 150 mm en een diameter van 320 mm (CT coronaire angiografie); voor scans van het hoofd wordt een cilindervormig fantoom met een lengte van 150 mm en een diameter van 160 mm toegepast (CT-hoofd bij kinderradiologie). De dosiswaarden CTDI en DLP worden afgeleid uit metingen met deze fantomen en deze dosiswaarden worden bij huidige scanners als dosisindicatie voor elk onderzoek op de

bedieningsconsole weergegeven. Voor de CT-scanner geldt dat deze in de nabije toekomst de dosis gedurende de scan steeds vaker zal gaan variëren afhankelijk van de verzwakking die de röntgenstraling ondervindt in de patiënt (aangeduid als Automatic Exposure Control (AEC)). Daar in Europa nog geen niveaus en methodieken m.b.t. DRN's gedefinieerd zijn die toepasbaar zijn op de deze relatief nieuwe techniek is AEC bij CT in deze rapportage buiten beschouwing gelaten. Overigens wordt verwacht dat toepassing van AEC bij CT in de praktijk, voor een patiënt met een gemiddeld postuur, zal leiden tot dosisreductie. Tevens worden voor coronaire CT angiografie aangepaste technieken ontwikkeld om de acquisitie te optimaliseren (zoals ECG gestuurde modulatie van de buisstroom en axiale (ECG gestuurde) step and shoot acquisitions).

Voor conventionele coronaire angiografie heeft het de voorkeur om van patiënten uit te gaan, het ontbreekt immers ook voor deze verrichting aan standaardfantomen die op brede schaal beschikbaar zijn. Uit metingen bij een groep patiënten kan een dosis-oppervlakte product worden afgeleid dat representatief is voor het onderzoek van een gemiddelde patiënt met een gewicht van 76.4 kg³. Bij toetsing aan een DRN wordt aanbevolen bij 20 patiënten het DOP te registreren evenals het gewicht van de patiënt⁴. Met de verkregen gegevens kan door middel van interpolatie het DOP worden afgeleid dat van toepassing is op de standaardpatiënt. Vervolgens kan deze waarde worden getoetst aan de referentiewaarde. Deze methodiek is gebaseerd op eerder toegepaste methoden in het Verenigd Koninkrijk (18). Voor de correlatie tussen gewicht en DOP-waarde wordt verwezen naar een tweetal publicaties over dit onderwerp (19;20).

Veelal beschikt het röntgentoestel over een voorziening die de actuele dosis tijdens klinisch onderzoek meet en registreert. Deze waarden kunnen worden gebruikt als bij de acceptatietest is gebleken dat de dosiswaarden voldoende overeenkomen met gemeten waarden. Voor criteria hiervoor kan worden verwezen naar publicaties van IEC, DIN, IPEM

³ Besloten is niet de definitie van een standaard patiënt over te nemen van het document 'Radiation Protection 109' van de EU (3), waarin een standaard patiënt wordt gedefinieerd als 70 kg zwaar en met een doorsnede van 27 cm, maar om een standaardpatiënt te definiëren die de hedendaagse gemiddelde patiënt beter benadert. In 2006 rapporteert het CBS voor mannen en vrouwen (> 20 jaar, voor de jaren 2000-2006) een gemiddeld gewicht van 76.4 kg (gemiddelde lengte is 174 cm).

⁴ Een aantal alternatieve karakteristieken voor het definiëren van de standaard patiënt werden overwogen: naast gewicht de body mass index (BMI) en de anteroposteriore (AP) diameter. Echter gezien de eenvoud van bepaling, algemene toepasbaarheid (brede toepasbaarheid m.b.t. andere verrichtingen) en redelijk goede correlatie met röntgenverzwakking werd gekozen voor gewicht. De redelijk goede correlatie van gewicht met DOP wordt bevestigd in de literatuur met betrekking tot cardiologische procedures (16;17).

en AAPM. Wenselijk is dat geconstateerde afwijkingen kleiner zijn dan 10%, bij grotere afwijkingen wordt een nieuwe afregeling geadviseerd.

Voor wat betreft implementatie van de DRN's in kwaliteitsborging wordt verwezen naar het protocol 'Diagnostische referentieniveaus in Nederland', dat de 1e fase beschrijft met DRN's voor 5 verrichtingen.

3. Diagnostische referentieniveaus voor de verrichtingen

3.1. Kinderradiologie: röntgenopnamen (X-thorax, X-abdomen; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar)

Methodiek

Toestellen voor het maken van röntgenopnamen beschikken in het algemeen over een voorziening die het dosis-oppervlakte product meet en registreert dan wel deze berekent. Toetsing van het diagnostische referentieniveau voor de röntgenopnamen wordt ontleend aan dosis-oppervlakte product-registraties die plaatsvinden tijdens regulier klinisch onderzoek en heeft betrekking op een representatieve groep van klinische patiënten. Voor röntgentoestellen waarop een dergelijke voorziening voor dosisregistratie ontbreekt wordt verwezen naar het protocol 'Diagnostische referentieniveaus in Nederland', dat de 1e fase beschrijft met DRN's voor 5 verrichtingen.

In de literatuur worden voor diagnostische referentieniveaus voor bucky-verrichtingen bij kinderen niet altijd eenduidige leeftijdsgroepen gehanteerd. Soms worden naast leeftijdsgroep ook gewicht en/of lengte meegenomen. Omwille van de praktische toepasbaarheid is in dit protocol uitgegaan van leeftijdscategorieën. Hierbij gold als criterium voor de te kiezen categorieën dat deze een representatieve groep patiënten vertegenwoordigen. Aanvullend wordt in de tabellen ook het gemiddelde/standaard gewicht vermeld per leeftijdscategorie om toetsingsmogelijkheden te vergroten. Uit gegevens die verzameld zijn door de projectgroep binnen de eigen klinische praktijk is gebleken dat voor bucky onderzoek bij kinderen de meeste onderzoeken worden uitgevoerd in de leeftijdsgroep 2 tot 4 jaar. Verder is bekend dat een substantieel aantal thoraxfoto's wordt gemaakt bij zeer jonge kinderen (21). Voor kinderen vanaf bij benadering 10 jaar wordt voor thoraxfoto's de techniek voor volwassenen gebruikt. Hiervoor zijn in het vorige project DRN's gedefinieerd zodat optimalisatie van deze techniek kan plaatsvinden. Bovenstaande overwegingen hebben geleid tot 3 leeftijdscategorieën: 0, 1 en 5 jaar. Nota bene: er worden dus geen leeftijdsintervallen gehanteerd maar discrete leeftijden, dit betekent dat kinderen van andere leeftijd niet worden meegenomen. Dit geldt voor alle verrichtingen die hierna staan beschreven. Een en ander sluit aan bij de publicatie van Hart (22).

Dosimetrische grootheid en eenheid

De dosimetrische grootheden is het dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm²).

Referentieniveaus

Tabel I toont diagnostische referentieniveaus voor röntgenopnamen in de kinderradiologie, het betreft X-thorax en X-abdomen. De haalbare waarden zijn gebaseerd op een veldstudie van Geleijns in 9 Nederlandse ziekenhuizen uit 1998 (23). Voor de gemiddelde waarden uit deze studie werd verondersteld dat deze als haalbaar kunnen worden beschouwd, recente gegevens uit het LUMC voor digitale (DR) systemen ondersteunen dit (21).

Tabel I: Diagnostische referentieniveaus voor kinderradiologie: röntgenopnamen X-thorax, X-abdomen.

Dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm²). Tussen haakjes intree-doses: DRN's zijn gebaseerd op DRN's in het Verenigd Koninkrijk (22) haalbare waarden uit de veldstudie van Geleijns (23)

Leeftijd (jaar)	Gewicht (kg)	Grid	DRN, CR, DR en Film ⁵	Haalbare waarde, alleen DR ⁶
X-Thorax AP/PA				
0	4	Nee	DOP 0.015 Gy.cm ²	DOP 0.0075 Gy.cm ²
1	11	Nee	DOP 0.020 Gy.cm ²	DOP 0.010 Gy.cm ²
5	21	Nee	DOP 0.050 Gy.cm ²	DOP 0.025 Gy.cm ²
X-Abdomen AP				
0	4	Nee	DOP 0.015 Gy.cm ²	DOP 0.0075 Gy.cm ²
1	11	Nee	DOP 0.100 Gy.cm ²	DOP 0.050 Gy.cm ²
5	21	Ja	DOP 0.250 Gy.cm ²	DOP 0.125 Gy.cm ²

Het dosis-oppervlakte product heeft betrekking op een veldgrootte van respectievelijk 15x15cm²; 18x18cm², en 25x25cm² voor 0, 1 en 5 jaar (veldgrootte gemeten op de beelddrager). Grid: geeft aan of er al dan niet een stroostralenrooster wordt toegepast.

Meetmethode dosiswaarden

Het dosis-oppervlakte product is over het algemeen eenvoudig op de bedieningsconsole af te lezen. Gebruikers dienen zich ervan te overtuigen dat de uitlezing van het dosis-oppervlakte product voldoende nauwkeurig is, bijvoorbeeld door middel van kalibratie.

Bij toetsing aan de DRN wordt aanbevolen bij 20 patiënten per leeftijdscategorie het DOP te registreren. Met de verkregen gegevens kan door middel van middeling het DOP worden

⁵ De dosis die nodig is voor opnamen met CR-systemen en röntgenfilm is veelal hoger dan bij DR-systemen.

⁶ Bij DR systemen is vaak een dosisniveau haalbaar dat aanzienlijk lager is dan het DRN (waarbij een goede beeldkwaliteit wordt verkregen).

afgeleid dat van toepassing is op de gemiddelde patiënt per leeftijdscategorie. Vervolgens kan deze waarde worden getoetst aan de referentiewaarde.

3.2 Kinderradiologie: CT–hoofd; trauma (leeftijd 0 (neonaat), 1, 5 en 10 jaar)

Methodiek

Voor CT worden dosismetingen met het standaard CT dosis fantoom (diameter 16 cm) in combinatie met een 100 mm lange CT-ionisatiekamer uitgevoerd. Deze dosimetrische techniek is goed ingebed in de klinische praktijk en hij wordt ook beschreven in internationale richtlijnen. Uit de dosismetingen kan de computer tomografie dosisindex (CTDI) en het dosis-lengte product (DLP) worden afgeleid, deze dosiswaarden worden overigens in het algemeen voor elk CT-onderzoek op de bedieningsconsole getoond. Besloten is om voor de bovenstaande verrichting leeftijdsgroepen van 0, 1, 5 en 10 jaar te hanteren. Het criterium hiervoor was dat de verschillende leeftijdscategorieën een karakteristiek groep patiënten vertegenwoordigen.

Dosimetrische grootheid en eenheid

De dosimetrische grootheden zijn de volume computer tomografie dosisindex ($CTDI_{100,vol}$, mGy, voor spiraal CT acquisities) of de gewogen computer tomografie dosisindex ($CTDI_{100,w}$, mGy, voor axiale (step and shoot) CT acquisities) en het dosis-lengte product (DLP, mGy·cm).

Referentieniveaus

Tabel II toont diagnostische referentieniveaus voor een toepassing van CT in de kinderradiologie, het betreft CT–hoofd; trauma. De recente Zwitserse studie van Verdun heeft aan de basis gelegen van de hier vermelde DRN's (24). De waarden uit deze veldstudie zijn geïnterpoleerd met betrekking tot de hier gehanteerde leeftijdscategorieën. Het DLP is afgeleid van een gangbare scan range voor de verschillende leeftijdsgroepen. De haalbare waarden zijn gebaseerd op een Nederlands document van Nievelstein dat geoptimaliseerde protocollen beschrijft (25) en op persoonlijke communicatie met de auteur. Het uitgangspunt bij alle waarden is een 16-slice scanner geweest.

Tabel II: Diagnostische referentieniveaus Kinderradiologie: CT–hoofd; trauma

Computer tomografie dosisindex (voor een spiraal acquisitie $CTDI_{100,vol}$; bij een step and shoot acquisitie $CTDI_{100w}$), mGy) en dosis-lengte product (DLP, mGy·cm) bepaald voor een CT dosis hoofdfantoom.

Leeftijd (jaar)	Gewicht (kg)	DRN (hersenen) (24)		Haalbare waarde (trauma) ⁷	
		$CTDI_{100, vol/w}$:	DLP	$CTDI_{100, vol/w}$:	DLP
0	4	20 mGy	240 mGy·cm	15 mGy	180 mGy·cm
1	11	25 mGy	300 mGy·cm	20 mGy	240 mGy·cm
5	21	35 mGy	420 mGy·cm	25 mGy	300 mGy·cm
10	36	50 mGy	600 mGy·cm	35 mGy	420 mGy·cm

Het dosis-lengte product heeft betrekking op een scantraject van 12 cm.

Meetmethode dosiswaarden

Bij de ingebruikname van nieuwe CT-scanners is het gebruikelijk de CTDI daadwerkelijk te meten. Deze gemeten niveaus dienen om de output van de CT-scanner te toetsen aan de specificaties maar ook om de nauwkeurigheid van de indicatie van CTDI en DLP op de bedieningsconsole te controleren. Voor het uitvoeren van de metingen zijn speciaal hiervoor ontwikkelde fantomen nodig (CT dosis fantoom). De metingen worden uitgevoerd met een 100 mm lange CT-ionisatiekamer (26).

Gebruikers van CT-scanners worden geacht de klinische CT-protocollen m.b.t. de bovenstaande vraagstellingen te toetsen aan de genoemde referentieniveaus. Dit kan bijvoorbeeld aan de hand van de op de console getoonde CTDI- en DLP-niveaus. In dit geval dient de gebruiker zich ervan te verzekeren dat de nauwkeurigheid van de indicatie van de CTDI op de bedieningsconsole voldoende is.

⁷ Persoonlijke communicatie met R.A.J. Nieuvelstein

3.3 Kinderradiologie: Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG; leeftijd 0 (neonaat), 1 en 5 jaar)

Methodiek

Doorlichtstatieven die worden gebruikt bij MCUG beschikken over het algemeen over een voorziening die het dosis-oppervlakte product meet en registreert. Toetsing van het diagnostische referentieniveau voor de röntgenopnamen wordt ontleend aan registraties van het dosis-oppervlakte product die plaatsvinden tijdens regulier klinisch onderzoek en heeft betrekking op een representatieve groep van klinische patiënten. Besloten is om voor de bovenstaande verrichting leeftijdsgroepen van 0, 1 en 5 jaar te hanteren. Het criterium hiervoor was dat de verschillende leeftijdscategorieën een relevante groep patiënten vertegenwoordigen (21).

Dosimetrische grootte en eenheid

De dosimetrische grootte is het dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm²).

Referentieniveaus

Tabel III toont diagnostische referentieniveaus voor Kinderradiologie: Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG). De DRN's zijn overgenomen uit de publicatie van Hart, welke diagnostische referentieniveaus geeft voor het Verenigd Koninkrijk (27). De haalbare waarden zijn gebaseerd op de Nederlandse studie van Schultz (28). Deze waarden worden ondersteund met gegevens uit het Hagaziekenhuis, Leids Universitair Medisch Centrum en het Universitair Medisch Centrum Utrecht (21).

Tabel III: Diagnostische referentieniveaus voor Kinderradiologie: Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG)

Dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm ²) gemeten bij 20 patiënten per leeftijdscategorie			
Leeftijd (jaar)	Gewicht (kg)	DRN (27)	Haalbare waarde (28)
0	4	DOP: 0.3 Gy.cm ²	DOP: 0.1 Gy.cm ²
1	11	DOP: 0.7 Gy.cm ²	DOP: 0.2 Gy.cm ²
5	21	DOP: 0.8 Gy.cm ²	DOP: 0.6 Gy.cm ²

Meetmethode dosiswaarden

Het dosis-oppervlakte product is over het algemeen eenvoudig op de bedieningsconsole af te lezen. Gebruikers dienen zich ervan te overtuigen dat de uitlezing van de dosis-oppervlaktemeter voldoende nauwkeurig is, bijvoorbeeld door middel van kalibratie.

Bij toetsing aan het DRN wordt aanbevolen bij 20 patiënten per leeftijdscategorie het DOP te registreren. Met de verkregen gegevens kan door middel van middeling het DOP worden afgeleid dat van toepassing is op de gemiddelde patiënt per leeftijdscategorie. Vervolgens kan deze waarde worden getoetst aan de referentiewaarde.

3.4 CT coronaire angiografie, diagnostisch

Methodiek

Voor CT worden dosismetingen met het standaard CT dosis rompfantom in combinatie met een 100 mm lange CT-ionisatiekamer uitgevoerd. Deze dosimetriscie techniek is goed ingebed in de klinische praktijk en hij wordt ook beschreven in internationale richtlijnen. Uit de dosismetingen kan de computer tomografie dosisindex (CTDI) en het dosis-lengte product (DLP) worden afgeleid, deze dosiswaarden worden overigens in het algemeen voor elk CT-onderzoek op de bedieningsconsole getoond.

Dosimetriscie grootheid en eenheid

De dosimetriscie groohteden zijn de volume computer tomografie dosisindex ($CTDI_{100,vol}$, mGy, voor spiraal CT acquisities) of de gewogen computer tomografie dosisindex ($CTDI_{100,w}$, mGy, voor axiale (step and shoot) CT acquisities) en het dosis-lengte product (DLP, mGy·cm).

Referentieniveaus

Tabel IV toont diagnostiscie referentieniveaus voor diagnostiscie CT coronaire angiografie. De computer tomografie dosisindex ($CTDI_{100,vol}$, mGy) en het dosis-lengte product (DLP, mGy·cm) zijn bepaald voor een CT dosis rompfantom. De waarden hebben betrekking op 64-slice scanners en zijn ontleend aan een internationale veldstudie van Geleijns (29).

Tabel IV: Diagnostische referentieniveaus voor diagnostische CT coronaire angiografie.

Computer tomografie dosisindex (CTDI_{100,vol}, mGy) en dosis-lengte product (DLP, mGy.cm) bepaald voor een CT dosis rompfantom (29).

DRN	Haalbare waarde
	Retrospective ECG <i>gated</i> reconstruction, helical acquisition CTDI _{100,vol} 60 mGy / DLP 700 mGy.cm
Spiraal CT met een retrospectieve ECG <i>gated</i> reconstructie zonder modulatie van de buisstroom CTDI _{100,vol} : 80 mGy / DLP: 1000 mGy.cm	Spiraal CT met een retrospectieve ECG <i>gated</i> reconstructie en ECG <i>triggered</i> modulatie van de buisstroom (bij lage hartritmes (<70) CTDI _{100,vol} 50 mGy / DLP 600 mGy.cm
	Step and shoot CT met een prospectieve ECG <i>triggered</i> acquisitie CTDI _{100,w} 25 mGy / DLP 300 mGy.cm

Meetmethode dosiswaarden

Bij de ingebruikname van nieuwe CT-scanners is het gebruikelijk de CTDI daadwerkelijk te meten. Deze gemeten niveaus dienen om de output van de CT-scanner te toetsen aan de specificaties maar ook om de nauwkeurigheid van de indicatie van CTDI en DLP op de bedieningsconsole te controleren. Voor het uitvoeren van de metingen zijn speciaal hiervoor ontwikkelde fantomen nodig (CT dosis fantoom) en de metingen worden uitgevoerd met een 100 mm lange CT-ionisatiekamer (26).

Gebruikers van CT-scanners worden geacht de klinische CT-protocollen m.b.t. de bovenstaande vraagstellingen te toetsen aan de genoemde referentieniveaus. Dit kan bijvoorbeeld aan de hand van de op de console getoonde (en door de gebruiker gevalideerde) CTDI- en DLP-niveaus. In dit geval dient de gebruiker zich ervan te verzekeren dat de nauwkeurigheid van de indicatie van de CTDI op de bedieningsconsole voldoende is.

3.5 Conventionele coronaire angiografie: diagnostisch

Methodiek

Doorlichtstatieven die worden gebruikt bij coronaire angiografie beschikken over het algemeen over een voorziening die het dosis-oppervlakte product meet en registreert. Toetsing van het diagnostische referentieniveau voor de hartcatheterisatie wordt ontleend aan registraties van het dosis-oppervlakte product die plaatsvinden tijdens regulier klinisch onderzoek en heeft betrekking op een representatieve groep van klinische patiënten.

Dosimetrische grootheid en eenheid

De vlakke ionisatiekamer registreert het dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm²) door middel van een (veelal ingebouwde) dosismeter.

Referentieniveaus

Tabel V toont diagnostische referentieniveaus voor diagnostische coronaire angiografie. Het dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm²) heeft betrekking op een gemiddelde patiënt waarbij interpolatie heeft plaatsgevonden naar een gemiddelde patiënt met een gewicht van 76.4 kg. Opmerking: DRN's van Zweden en Zwitserland zijn de basis voor het DRN. Deze waarden zijn getoetst aan praktijken in Nederland. De haalbare waarde is gebaseerd op de publicatie van Hart die DRN's publiceerde voor het Verenigd Koninkrijk.

Tabel V: Diagnostische referentieniveaus voor conventionele diagnostische coronaire angiografie

Dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm ²) gemeten bij 20 patiënten; interpolatie naar een gemiddelde patiënt met een gewicht van 76.4 kg.	
DRN (30;31)	Haalbare waarde (27)
DOP: 80 Gy.cm ²	DOP: 30 Gy.cm ²

Meetmethode dosiswaarden

Het dosis-oppervlakte product is over het algemeen eenvoudig op de bedieningsconsole af te lezen. Gebruikers dienen zich ervan te overtuigen dat het dosis-oppervlakte product voldoende nauwkeurig is, bijvoorbeeld door middel van kalibratie.

Bij toetsing aan de DRN wordt aanbevolen bij 20 patiënten het DOP te registreren evenals het gewicht van de patiënt. Met de verkregen gegevens kan *door middel van interpolatie het*

*DOP worden afgeleid dat van toepassing is op de gemiddelde patiënt (gewicht = 76.4 kg).
Vervolgens kan deze waarde worden getoetst aan de referentiewaarde.*

3.6 Overzicht

Tabel I: Diagnostische referentieniveaus voor kinderradiologie: röntgenopnamen X-thorax, X-abdomen.

Dosis-oppervlakte product (DOP, Gy·cm²). Tussen haakjes intree-doses: DRN's zijn gebaseerd op DRN's in het Verenigd Koninkrijk (22) haalbare waarden uit de veldstudie van Geleijns (23)

Leeftijd (jaar)	Gewicht (kg)	Grid	DRN, CR, DR en Film ⁸	Haalbare waarde, alleen DR ⁹
X-Thorax AP/PA				
0	4	Nee	DOP 0.015 Gy·cm ²	DOP 0.0075 Gy·cm ²
1	11	Nee	DOP 0.020 Gy·cm ²	DOP 0.010 Gy·cm ²
5	21	Nee	DOP 0.050 Gy·cm ²	DOP 0.025 Gy·cm ²
X-Abdomen AP				
0	4	Nee	DOP 0.015 Gy·cm ²	DOP 0.0075 Gy·cm ²
1	11	Nee	DOP 0.100 Gy·cm ²	DOP 0.050 Gy·cm ²
5	21	Ja	DOP 0.250 Gy·cm ²	DOP 0.125 Gy·cm ²

Het dosis-oppervlakte product heeft betrekking op een veldgrootte van respectievelijk 15x15cm²; 18x18cm², en 25x25cm² voor 0, 1 en 5 jaar (veldgrootte gemeten op de beelddrager). Grid: geeft of of er al dan niet een stroostralenrooster wordt toegepast.

⁸ De dosis die nodig is voor opnamen met CR-systemen en röntgenfilm is veelal hoger dan bij DR-systemen.

⁹ Bij DR systemen is vaak een dosisniveau haalbaar dat aanzienlijk lager is dan het DRN (waarbij een goede beeldkwaliteit wordt verkregen).

Tabel II: Diagnostische referentieniveaus Kinderradiologie: CT–hoofd; trauma

Computer tomografie dosisindex (voor een spiraal acquisitie CTDI_{100,vol}; bij een step and shoot acquisitie CTDI_{100w}), mGy) en dosis-lengte product (DLP, mGy·cm) bepaald voor een CT dosis hoofdfantoom.

Leeftijd (jaar)	Gewicht (kg)	DRN (hersenen) (24)		Haalbare waarde (trauma) ¹⁰	
		CTDI _{100, vol/w} :	DLP	CTDI _{100, vol/w} :	DLP
0	4	20 mGy	240 mGy·cm	15 mGy	180 mGy·cm
1	11	25 mGy	300 mGy·cm	20 mGy	240 mGy·cm
5	21	35 mGy	420 mGy·cm	25 mGy	300 mGy·cm
10	36	50 mGy	600 mGy·cm	35 mGy	420 mGy·cm

Het dosis-lengte product heeft betrekking op een scantraject van 12 cm.

Tabel III: Diagnostische referentieniveaus voor Kinderradiologie: Mictie Cysto-Urethrogram (MCUG)

Dosis-oppervlakte product (DOP, Gy·cm²) gemeten bij 20 patiënten per leeftijdscategorie

Leeftijd (jaar)	Gewicht (kg)	DRN (27)	Haalbare waarde (28)
0	4	DOP: 0.3 Gy·cm ²	DOP: 0.1 Gy·cm ²
1	11	DOP: 0.7 Gy·cm ²	DOP: 0.2 Gy·cm ²
5	21	DOP: 0.8 Gy·cm ²	DOP: 0.6 Gy·cm ²

¹⁰ Persoonlijke communicatie met R.A.J. Nivelstein

Tabel IV: Diagnostische referentieniveaus voor diagnostische CT coronaire angiografie.

Computer tomografie dosisindex (CTDI_{100,vol}, mGy) en dosis-lengte product (DLP, mGy.cm) bepaald voor een CT dosis rompfantom (29).

DRN	Haalbare waarde
	<p>Retrospective ECG gated reconstruction, helical acquisition</p> <p>CTDI_{100,vol} 60 mGy / DLP 700 mGy.cm</p>
<p>Spiraal CT met een retrospectieve ECG gated reconstructie zonder modulatie van de buisstroom</p> <p>CTDI_{100,vol}: 80 mGy / DLP: 1000 mGy.cm</p>	<p>Spiraal CT met een retrospectieve ECG gated reconstructie en ECG triggered modulatie van de buisstroom</p> <p>(bij lage hartritmes (<70)</p> <p>CTDI_{100,vol} 50 mGy / DLP 600 mGy.cm</p>
	<p>Step and shoot CT met een prospectieve ECG triggered acquisitie</p> <p>CTDI_{100,w} 25 mGy / DLP 300 mGy.cm</p>

Tabel V: Diagnostische referentieniveaus voor conventionele diagnostische coronaire angiografie

Dosis-oppervlakte product (DOP, Gy.cm²) gemeten bij 20 patiënten; interpolatie naar een gemiddelde patiënt met een gewicht van 76.4 kg.

DRN (30;31)	Haalbare waarde (27)
DOP: 80 Gy.cm ²	DOP: 30 Gy.cm ²

Referenties

- 1 Besluit van 16 juli 2001, houdende vaststelling van het besluit stralingsbescherming. Staatsblad 397. 2001. Den Haag, SDU Uitgevers.
- 2 Veldkamp W, Geleijns J, Bouwman R, Crompvoets-Jeukens C, Geertse T, Hummel W et al. Diagnostische Referentieniveaus in Nederland. 1-10-2008. NCS Platform voor Radiologie en Nucleaire Geneeskunde. Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie.
- 3 Radiation protection 109, guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures. 1999. Report of the Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection of the European Union.
- 4 Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen. 2003. Rapport van het Bundesamt für Strahlenschutz.
- 5 Aroua A, Besancon A, Buchillier-Decka I, Trueb P, Valley JF, Verdun FR et al. Adult reference levels in diagnostic and interventional radiology for temporary use in Switzerland. Radiation Protection Dosimetry 2004; 111(3):289-295.
- 6 Galanski M, Hidajat N, Maier W, Nagel HD, Schmidt Th. Radiation exposure in computed tomography, fundamentals, Influencing parameters, dose assessment, optimisation, scanner data, terminology. Nagel HD, editor. 4th revised and updated edition. 2002. Hamburg, CTB Publications.
- 7 International Atomic Energy Agency (1996) BSS. International Basic Safety Standards, Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. 1996. International Atomic Energy Agency.
- 8 International Commission on Radiological Protection. Radiological Protection and Safety in Medicine. ICRP Publication 73. 1996. Oxford, Pergaman Press. Annals of the ICRP 26 (2).
- 9 Saxebol G, Olerud HM, Hjordemaal O, Leitz W, Servomaa A, Walderhaug T. Nordic guidance levels for patient doses in diagnostic radiology. Radiation Protection Dosimetry 1998; 80(1-3):99-101.
- 10 Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA, Dunn M. Doses from Computed Tomography (CT) Examinations in the UK – 2003 Review. NRPB-W67. 2005. Chilton, NRPB.
- 11 Wall BF. Diagnostic reference levels in the x-ray department. Eur radiol Syllabus 14, 66-73. 2004.

- 12 Wall BF. Implementation of DRLs in the UK. *Radiation Protection Dosimetry* 2005; 114(1-3):183-187.
- 13 Gezondheidsraad. Risico's van blootstelling aan ioniserende straling. publicatienr. 2007/03. 2007. Den Haag, Gezondheidsraad.
- 14 Broerse JJ, Kicken P.J.H., Teeuwisse W, Vries de W, Zoetelief J, Zweers D. Dosimetrie in de Radiologie: Stralingsbelasting van de Patiënt en Werknemers. 1-3-2007. Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie. Subcommissie Radiologie. Rapport 17.
- 15 Groeigids 4-14 jaar. Een uitgave van het Ouder en Kind Centrum, Centrum voor Jeugd en Gezin, www.groeigids.nl; 2009.
- 16 Kotre CJ, Reay J, Chapple CL. The influence of patient size on patient doses in cardiology. *Radiation Protection Dosimetry* 2006; 117(1-3):222-224.
- 17 Reay J, Chapple CL, Kotre CJ. Is patient size important in dose determination and optimization in cardiology? *Physics in Medicine and Biology* 2003; 48(23):3843-3850.
- 18 Wall BF. Implementation of DRLs in the UK. *Radiation Protection Dosimetry* 2005; 114(1-3):183-187.
- 19 Kotre CJ, Reay J, Chapple CL. The influence of patient size on patient doses in cardiology. *Radiation Protection Dosimetry* 2006; 117(1-3):222-224.
- 20 Reay J, Chapple CL, Kotre CJ. Is patient size important in dose determination and optimization in cardiology? *Physics in Medicine and Biology* 2003; 48(23):3843-3850.
- 21 DRN werkgroep document; Dosisgegevens uit verschillende Nederlandse ziekenhuizen. 2009.
- 22 Hart D, Wall BF, Shrimpton PC, Dance DR. The establishment of reference doses in paediatric radiology as a function of patient size. *Radiation Protection Dosimetry* 2000; 90(1-2):235-238.
- 23 Geleijns J. Stralenbelasting bij kinderradiologie: een vergelijkend onderzoek in 9 Nederlandse ziekenhuizen. 1998.
- 24 Verdun FR, Gutierrez D, Vader JP, Aroua A, Alamo-Maestre LT, Bochud F et al. CT radiation dose in children: a survey to establish age-based diagnostic reference levels in Switzerland. *European Radiology* 2008; 18(9):1980-1986.
- 25 Nivelstein RAJ, Molen van der A.J. Multislice CT op de kinderleeftijd. 1-11-2008.
- 26 International Standard IEC 60601-2-44. 2002.

- 27 Hart D, Hillier MC, Wall BF. National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK. *British Journal of Radiology* 2009; 82(973):1-12.
- 28 Schultz FW, Geleijns J, Holscher HC, Weststrate J, Zonderland HM, Zoetelief J. Radiation burden to paediatric patients due to micturating cystourethrography examinations in a Dutch children's hospital. *Br J Radiol* 1999; 72(860):763-772.
- 29 Geleijns J, Raoul M.S., Joemai RMS, Dewey M, Roos de A, Zankl M, Calzado Cantera A et al. A multicenter Coronary CT Angiography trial (CorE64): aspects of radiation exposure and risk assessment. Submitted to *Radiology* 2009.
- 30 Aroua A, Rickli H, Stauffer JC, Schnyder P, Trueb PR, Valley JF et al. How to set up and apply reference levels in fluoroscopy at a national level. *Eur Radiol* 2007; 17(6):1621-1633.
- 31 Holm L-E, Leitz W. The Swedish Radiation Protection Authority's regulations and general advice on diagnostic standard doses and reference levels within medical X-ray diagnostics. 2002.