

Richtlijn Kinder Diagnostische Referentieniveaus (DRN's)

INITIATIEF

Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica

IN SAMENWERKING MET

Nederlandse Vereniging voor Radiologie, Nederlandse Vereniging voor Medische Beeldvorming en Radiotherapie en Stichting Kind en Ziekenhuis.

MET ONDERSTEUNING VAN

Kennisinstituut van Medisch Specialisten

FINANCIERING

De richtlijnontwikkeling werd gefinancierd uit de Stichting Kwaliteitsgelden Medisch Specialisten (SKMS)

Colofon

RICHTLIJN KINDER DIAGNOSTISCHE REFERENTIELEVELS (DRN's)

© 2024

Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica

Postbus 8503, 3503 RM Utrecht

030 68 68 760

secretariaat@nvkf.nl

www.nvkf.nl

Alle rechten voorbehouden.

De tekst uit deze publicatie mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën of enige andere manier, echter uitsluitend na voorafgaande toestemming van de uitgever. Toestemming voor gebruik van tekst(gedeelten) kunt u schriftelijk of per e-mail en uitsluitend bij de uitgever aanvragen. Adres en e-mailadres: zie boven.

Inhoudsopgave

Samenstelling van de werkgroep	4
Startpagina Kinder Diagnostische Referentieniveaus (DRN's)	5
Verantwoording.....	7
Module CT kinder-DRN's	14
Module Bucky kinder-DRN's	55
Module Doorlichting kinder-DRN's	96
Kennislacunes	123

Samenstelling van de werkgroep

Werkgroep

- Ir. A.J. (Lida) Dam-Vervloet, klinisch fysicus, Isala, voorzitter, NVKF
- Dr. C. (Cecile) Jeukens, klinisch fysicus, Maastricht UMC, NVKF
- Dr. ir. C. (Carola) van Pul, klinisch fysicus, Maxima Medisch Centrum, NVKF
- Dr. ir. G. (Geert) Streekstra, klinisch fysicus, Amsterdam UMC, NVKF
- Dr. M.J.W. (Marcel) Greuter, klinisch fysicus, UMC Groningen, NVKF
- Ir. J. E.(Jenny) Siegersma, klinisch fysicus, Martini Ziekenhuis, NVKF
- Ir. G.O. (Goswin) Croes, klinisch fysicus in opleiding, Isala, NVKF
- Dr. G. (Gitta) Bleeker-Swart, radioloog, OLVG, NVvR
- Dr. M.F. (Martijn) Boomsma, radioloog, Isala, NVvR
- Mw. A. (Alie) Vegter, medisch beeldvormings- en bestralingsdeskundige (MBBer), Refaja, NVMBR

Meelezers:

- Dhr. C. (Casper) Smit (Klinisch fysicus), klinisch fysicus, Medisch Spectrum Twente, NVKF
- Mw. E. (Esen) Cingir - Doganer, projectmanager/ beleidsmedewerker, Stichting Kind en Ziekenhuis (vanaf juni 2023)
- Mw. A. (Anne) Ziel-Weenink, junior projectmanager/ beleidsmedewerker, Stichting Kind en Ziekenhuis (vervanging zwangerschapsverlof, juni 2023 tot augustus 2023)

Met ondersteuning van:

- K. (Kristie) Venhorst, adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten (tot januari 2022)
- M. (Marlies) Verhoeff, adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten (januari-mei 2022)
- Dr. J.C. (José) Maas, adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten (vanaf mei 2022)
- Dr. L.C. (Lotte) Houtepen, adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten (vanaf mei 2022)

Startpagina Kinder Diagnostische Referentieniveaus (DRN's)

Waar gaat deze richtlijn over?

Uitgangspunt bij diagnostische referentieniveaus (DRN's) is het optimaliseren van de stralingsbelasting voor de patiënt bij een adequate beeldkwaliteit. Deze richtlijn richt zich op DRN's voor kinderen bij drie beeldvormende modaliteiten:

- CT
- Bucky
- Doorlichting

Per modaliteit is een aparte module opgesteld waarin de methode voor het vaststellen van de DRN wordt omschreven, DRN's voor kinderen worden gegeven en een implementatieplan is beschreven ten behoeve van de toepassing van deze DRN's in de praktijk. Bij elke module is ook een implementatietool toegevoegd als bijlage.

Wanneer in deze richtlijn over kinderen wordt gesproken, gaat het om kinderen van 0- 18 jaar zonder prematuren.

Voor wie is deze richtlijn bedoeld?

Deze richtlijn is primair bestemd voor de klinisch fysicus (bij wie de verantwoordelijkheid van het naleven van DRN's is belegd volgens het "Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming" (Bbs), art. 8.8 lid 2.a.), maar secundair voor alle zorgverleners in de tweede lijn die met radiologische beelden bij kinderen te maken krijgen.

Voor patiënten

Om de risico's van onderzoek met röntgenstraling zo klein mogelijk te houden is het belangrijk dat de patiënt een zo laag mogelijke dosis röntgenstraling ontvangt. Tegelijkertijd is het van belang dat de beeldkwaliteit goed genoeg is. Het is wenselijk om hierin een optimale balans te vinden. Dankzij landelijke referentieniveaus (DRN's) kunnen ziekenhuizen zien hoeveel dosis zij gemiddeld geven ten opzichte van de rest van Nederland. Hierdoor kunnen zij indien nodig de scan protocollen optimaliseren en worden eventuele verschillen tussen ziekenhuizen in de hoeveelheid straling die nodig is per onderzoek verminderd. Voor kinderen is het extra belangrijk dat ze niet te veel röntgenstraling krijgen. Daarom zijn in deze richtlijn DRN's gegeven voor de meest voorkomende beeldvormende onderzoeken met röntgenstraling bij kinderen voor drie verschillende type onderzoeken: CT, Bucky en doorlichting. Voor kind en ouder is het belangrijk om in de voorbespreking van een doorlichtonderzoek goede uitleg te krijgen over het betreffende onderzoek. Door de patiënt mee te nemen in de afwegingen weten ze waar ze voor kiezen. Daarbij kan informatie over de controle of ziekenhuizen aan de DRN voldoen geruststellen.

Meer informatie over een röntgenfoto en CT-scan bij een kind is te vinden op Thuisarts:

<https://www.thuisarts.nl/ct-scan/mijn-kind-heeft-ct-scan-mri-of-röntgenfoto-nodig>.

Ook '3 goede vragen' kan behulpzaam zijn bij de voorbereiding op een gesprek voor een onderzoek of behandeling: <https://3goedevragen.nl>.

Hoe is de richtlijn tot stand gekomen?

Het initiatief voor deze richtlijn is afkomstig van Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica (NVKF). De richtlijn is opgesteld door een multidisciplinaire commissie met vertegenwoordigers vanuit de klinische fysici, radiologen en radiodiagnostisch laboranten. Er werd aandacht besteed aan het patiëntenperspectief door inbreng van de Stichting Kind en Ziekenhuis ten aanzien van patiëntenwaarden en -voorkeuren.

Het vaststellen, herzien en gebruik van DRN's is bij wet vastgelegd in het "Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming" (Bbs). Dit is in Bbs art. 8.3 lid 4 omschreven als: "Onze Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport bevordert de vaststelling, de regelmatige herziening en het gebruik van diagnostische referentieniveaus voor radiodiagnostisch onderzoek, indien gepast voor interventieradiologische procedures, en de beschikbaarheid van richtlijnen op dit gebied."

Acknowledgements

Deze richtlijn zou niet opgesteld zijn zonder de dosisgegevens die de volgende ziekenhuizen hebben aangeleverd:

- AMC (Amsterdam)
- Amphia ziekenhuis (Breda)
- Catharina ziekenhuis (Eindhoven)
- Elkerliek (Helmond)
- Erasmus MC (Rotterdam)
- ETZ (Tilburg)
- Franciscus Gasthuis & Vlietland (Rotterdam en Schiedam)
- Gelre ziekenhuizen (Apeldoorn en Zutphen)
- Groene Hart Ziekenhuis (Gouda)
- Haga ziekenhuis (Den Haag)
- Isala (Zwolle)
- JBZ (Den Bosch)
- MUMC (Maastricht)
- Martini ziekenhuis (Groningen)
- Maxima Medisch Centrum (Eindhoven)
- MST (Enschede)
- Nij Smellinghe (Drachten)
- Radboud (Nijmegen)
- Reinier de Graaf Groep (Delft)
- SKB (Winterswijk)
- Treant Zorggroep (Hoogeveen, Emmen, Stadkanaal)
- UMCG (Groningen)
- UMC Utrecht (Utrecht)
- WZA (Assen)
- Zorgsaam (Terneuzen)
- Zuyderland (Heerlen).

Veel dank voor het aanleveren van de dosisgegevens.

Toepassen

De website van de Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS) bevat informatie over diagnostische referentieniveaus in Nederland ([NCS, 2012](#)). Deze moeten herzien worden op basis van deze richtlijn.

Status van de richtlijn

De DRN's in deze richtlijn vervangen de kinder-DRN's uit 2012 ([NCS, 2012](#)).

Verantwoording

Autorisatie en geldigheid

Autorisatiedatum:	[datum nader te bepalen na de autorisatiefase]
Eerstvolgende beoordeling actualiteit Geautoriseerd door:	Na 5 jaar (2029). Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica, initiatiefnemer Nederlandse Vereniging voor Radiologie Nederlandse Vereniging voor Medische Beeldvorming en Radiotherapie
Regiehouder(s):	Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica

Algemene gegevens

De ontwikkeling/herziening van deze richtlijnmodule werd ondersteund door het Kennisinstituut van Medisch Specialisten (www.demedischspecialist.nl/kennisinstituut) en werd gefinancierd uit de Kwaliteitsgelden Medisch Specialisten (SKMS). De financier heeft geen enkele invloed gehad op de inhoud van de richtlijnmodule.

Samenstelling werkgroep

Voor het ontwikkelen van de richtlijnmodule is in 2021 een multidisciplinaire werkgroep ingesteld, bestaande uit vertegenwoordigers van alle relevante specialismen (zie hiervoor de Samenstelling van de werkgroep) die betrokken zijn bij het aanvragen en verslaan (radioloog), uitvoeren (laborant) en optimaliseren van dosis/beeldkwaliteit (klinisch fysicus) van röntgenonderzoeken bij kinderen.

Belangenverklaringen

De Code ter voorkoming van oneigenlijke beïnvloeding door belangenverstrengeling is gevolgd. Alle werkgroepleden hebben schriftelijk verklaard of zij in de laatste drie jaar directe financiële belangen (betrekking bij een commercieel bedrijf, persoonlijke financiële belangen, onderzoeksfinanciering) of indirecte belangen (persoonlijke relaties, reputatiemanagement) hebben gehad. Gedurende de ontwikkeling of herziening van een module worden wijzigingen in belangen aan de voorzitter doorgegeven. De belangenverklaring wordt opnieuw bevestigd tijdens de commentaarfase. Een overzicht van de belangen van werkgroepleden en het oordeel over het omgaan met eventuele belangen vindt u in onderstaande tabel. De ondertekende belangenverklaringen zijn op te vragen bij het secretariaat van het Kennisinstituut van Medisch Specialisten.

Wergroeplid	Functie	Nevenfuncties	Gemelde belangen	Ondernomen actie
Alie Vegter	Toezichthoudend medewerker stralingsbescherming Treant Zorggroep	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Carola van Pul	klinisch fysicus in Maxima Medisch Centrum	Deeltijd Universitair Hoofd Docent TU Eindhoven	Aangevuld 28-6-2023: Extern gefinancierd onderzoek: Philips, NWO: Project PICASSO op het ontwikkelen van een sensor voor patiëntbewakingssystemen (rol: Is promotor van 1 promovendus)	<i>Geen restrictie</i>

Werkgroeplid	Functie	Nevenfuncties	Gemelde belangen	Ondernomen actie
			Luxisens, NWO: Project HASTA op het ontwikkelen van een bewegingssensor voor thuismonitoring (rol: Is promotor van 1 promovendus) Beiden zijn niet gerelateerd aan röntgensystemen.	
Cecile Jeukens	Klinisch Fysicus, Coördinerend deskundige, Afdeling Beeldvorming MUMC+ Betaald, totaal 0,89 fte	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Geert Streekstra	Klinisch Fysicus (50%) - betaald Universitair docent (50%) - betaald Amsterdam UMC, locatie AMC	Geen	Extern gefinancierd onderzoeken, maar projecten zijn niet gerelateerd aan het opstellen van kinder DRN. - RvO (Eurostars project) Ontwikkeling patiënt specifieke prothese - Medartis AG i.s.m. Chirurgen Basel/Chur Prothesiologie van het polsgewricht - NWO project en tki met Orthokey Meting knieprotheseloslatting	<i>Geen restrictie</i>
Gitta Bleeker-Swart	Nucleair radioloog, OLVG Amsterdam	Wetenschappelijk onderzoek PMC - Tytgat groep - neuroblastomen en beeldvorming. Werkgroep LOP 2.0 (opleidingsplan). Binnenkort: Platform NCS.	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Jennifer Siegersma-Schaar	Klinisch Fysicus bij Martini Ziekenhuis Groningen. Betaald.	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Lida Dam (voorzitter)	- klinisch fysicus Isala - niet betaald promovendus Universiteit Twente op hyperbilirubinemie bij prematuren - binnen baan als klinisch fysicus (0-uren contract UT)	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Marcel Greuter	Klinisch fysicus, UMCG, 1.0 fte Klinisch fysicus, coördinerend stralingsdeskundige OZG Scheemda, gedetacheerd Onderzoeker, UTwente, gedetacheerd.	Lid METc Groningen, betaald Lid RvT Stichting KOS, NVS, onbetaald Lid Stichting OKF, onbetaald Voorzitter PC opleiding BME RUG, onbetaald	Extern gefinancierd onderzoek Siemens Healthineers - als PI subsidie toegekend voor PhD op photon counting CT project.	<i>Geen restrictie</i>

Werkgroep lid	Functie	Nevenfuncties	Gemelde belangen	Ondernomen actie
Martijn Boomsma	Medisch specialist	Beeldbeschikbaarheid NEN	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Goswin Croes	Klinisch fysicus in opleiding Isala	Geen	Meeschrijven aan publicaties t.a.v. kinderDRN's (op basis van deze richtlijn)	<i>Geen restrictie</i>
Lotte Houtepen	Adviseur kennisinstituut van de Federatie Medisch Specialisten	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>
José Maas	Adviseur kennisinstituut van de Federatie Medisch Specialisten	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>

Klankbordgroep lid	Functie	Nevenfuncties	Gemelde belangen	Ondernomen actie
Esen Doganer	Junior projectmanager en beleidsmedewerker Stichting Kind en Ziekenhuis	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Anne Ziel-Weenink	Tijdelijk junior Projectmanager en beleidsmedewerker Stichting Kind en Ziekenhuis	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>
Casper Smit	Lid klankbordgroep	Geen	Geen	<i>Geen restrictie</i>

Inbreng patiëntenperspectief

Er werd aandacht besteed aan het patiëntenperspectief door uitnodigen van afgevaardigde van Stichting kind en ziekenhuis in de klankbordgroep. De verkregen input is meegenomen bij het opstellen van de moduleteksten en overwegingen (zie Waarden en voorkeuren van patiënten). De conceptrichtlijn is tevens voor commentaar voorgelegd aan Stichting kind en ziekenhuis en de eventueel aangeleverde commentaren zijn bekeken en verwerkt.

Kwalitatieve raming van mogelijke financiële gevolgen in het kader van de Wkkgz

Bij de richtlijn is conform de Wet kwaliteit, klachten en geschillen zorg (Wkkgz) een kwalitatieve raming uitgevoerd of de aanbevelingen mogelijk leiden tot substantiële financiële gevolgen. Bij het uitvoeren van deze beoordeling zijn richtlijnmodules op verschillende domeinen getoetst (zie het [stroomschema](#) op de Richtlijnen database).

Uit de kwalitatieve raming blijkt dat er waarschijnlijk geen substantiële financiële gevolgen zijn, zie onderstaande tabel.

Module	Uitkomst raming	Toelichting
Module CT	Geen financiële gevolgen	Hoewel uit de toetsing volgt dat de aanbeveling(en) breed toepasbaar zijn (5.000-40.000 patiënten), volgt ook uit de toetsing dat het geen nieuwe manier van zorgverlening of andere organisatie van zorgverlening betreft. Er worden daarom geen substantiële financiële gevolgen verwacht.
Module Bucky	Geen financiële gevolgen	Hoewel uit de toetsing volgt dat de aanbeveling(en) breed toepasbaar zijn (5.000-40.000 patiënten), volgt ook uit de toetsing dat het geen nieuwe manier

		van zorgverlening of andere organisatie van zorgverlening betreft. Er worden daarom geen substantiële financiële gevolgen verwacht.
Module Doorlichting	Geen financiële gevolgen	Hoewel uit de toetsing volgt dat de aanbeveling(en) breed toepasbaar zijn (5.000-40.000 patiënten), volgt ook uit de toetsing dat het geen nieuwe manier van zorgverlening of andere organisatie van zorgverlening betreft. Er worden daarom geen substantiële financiële gevolgen verwacht.

Werkwijze

AGREE

Deze richtlijnmodule is opgesteld conform de eisen vermeld in het rapport Medisch Specialistische Richtlijnen 2.0 van de adviescommissie Richtlijnen van de Raad Kwaliteit. Dit rapport is gebaseerd op het AGREE II instrument (Appraisal of Guidelines for Research & Evaluation II; Brouwers, 2010).

Knelpuntenanalyse en uitgangsvragen

Tijdens de voorbereidende fase inventariseerde de werkgroep de knelpunten rondom kinder-DRN's binnen het werkveld door middel van presentaties en overleg met de commissie straling van de NVKF. Op basis van de uitkomsten van de knelpuntenanalyse zijn door de werkgroep concept-uitgangsvragen opgesteld en definitief vastgesteld.

Uitkomstmaten

Na het opstellen van de zoekvraag behorende bij de uitgangsvraag inventariseerde de werkgroep welke uitkomstmaten voor de patiënt relevant zijn, waarbij zowel naar gewenste als ongewenste effecten werd gekeken. Hierbij werd een maximum van acht uitkomstmaten gehanteerd. De werkgroep waardeerde deze uitkomstmaten volgens hun relatieve belang bij de besluitvorming rondom aanbevelingen, als cruciaal (kritiek voor de besluitvorming), belangrijk (maar niet cruciaal) en onbelangrijk.

Methode literatuursamenvatting

Een uitgebreide beschrijving van de strategie voor zoeken en selecteren van literatuur is te vinden onder 'Zoeken en selecteren' onder Onderbouwing. Indien mogelijk werd de data uit verschillende studies gepoold in een random-effects model. Review Manager 5.4 werd gebruikt voor de statistische analyses. De beoordeling van de kracht van het wetenschappelijke bewijs wordt hieronder toegelicht.

Beoordelen van de kracht van het wetenschappelijke bewijs

De kracht van het wetenschappelijke bewijs werd bepaald volgens de GRADE-methode. GRADE staat voor 'Grading Recommendations Assessment, Development and Evaluation' (zie <http://www.gradeworkinggroup.org/>). De basisprincipes van de GRADE-methodiek zijn: het benoemen en prioriteren van de klinisch (patiënt) relevante uitkomstmaten, een systematische review per uitkomstmaat, en een beoordeling van de bewijskracht per uitkomstmaat op basis van de acht GRADE-domeinen (domeinen voor downgraden: risk of bias, inconsistentie, indirectheid, imprecisie, en publicatiebias; domeinen voor upgraden: dosis-effect relatie, groot effect, en residuele plausibele confounding). GRADE onderscheidt vier gradaties voor de kwaliteit van het wetenschappelijk bewijs: hoog, redelijk, laag en zeer laag. Deze gradaties verwijzen naar de mate van zekerheid die er bestaat over de literatuurconclusie, in het bijzonder de mate van zekerheid dat de

literatuurconclusie de aanbeveling adequaat ondersteunt (Schünemann, 2013; Hultcrantz, 2017).

GRADE	Definitie
Hoog	<ul style="list-style-type: none"> er is hoge zekerheid dat het ware effect van behandeling dichtbij het geschatte effect van behandeling ligt; het is zeer onwaarschijnlijk dat de literatuurconclusie klinisch relevant verandert wanneer er resultaten van nieuw grootschalig onderzoek aan de literatuuranalyse worden toegevoegd.
Redelijk	<ul style="list-style-type: none"> er is redelijke zekerheid dat het ware effect van behandeling dichtbij het geschatte effect van behandeling ligt; het is mogelijk dat de conclusie klinisch relevant verandert wanneer er resultaten van nieuw grootschalig onderzoek aan de literatuuranalyse worden toegevoegd.
Laag	<ul style="list-style-type: none"> er is lage zekerheid dat het ware effect van behandeling dichtbij het geschatte effect van behandeling ligt; er is een reële kans dat de conclusie klinisch relevant verandert wanneer er resultaten van nieuw grootschalig onderzoek aan de literatuuranalyse worden toegevoegd.
Zeer laag	<ul style="list-style-type: none"> er is zeer lage zekerheid dat het ware effect van behandeling dichtbij het geschatte effect van behandeling ligt; de literatuurconclusie is zeer onzeker.

Bij het beoordelen (graderen) van de kracht van het wetenschappelijk bewijs in richtlijnen volgens de GRADE-methodiek spelen grenzen voor klinische besluitvorming een belangrijke rol (Hultcrantz, 2017). Dit zijn de grenzen die bij overschrijding aanleiding zouden geven tot een aanpassing van de aanbeveling. Om de grenzen voor klinische besluitvorming te bepalen moeten alle relevante uitkomstmaten en overwegingen worden meegewogen. De grenzen voor klinische besluitvorming zijn daarmee niet één op één vergelijkbaar met het minimaal klinisch relevant verschil (Minimal Clinically Important Difference, MCID). Met name in situaties waarin een interventie geen belangrijke nadelen heeft en de kosten relatief laag zijn, kan de grens voor klinische besluitvorming met betrekking tot de effectiviteit van de interventie bij een lagere waarde (dichter bij het nuleffect) liggen dan de MCID (Hultcrantz, 2017).

Overwegingen (van bewijs naar aanbeveling)

Om te komen tot een aanbeveling zijn naast (de kwaliteit van) het wetenschappelijke bewijs ook andere aspecten belangrijk en worden meegewogen, zoals aanvullende argumenten uit bijvoorbeeld de biomechanica of fysiologie, waarden en voorkeuren van patiënten, kosten (middelenbeslag), aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie. Deze aspecten zijn systematisch vermeld en beoordeeld (gewogen) onder het kopje 'Overwegingen' en kunnen (mede) gebaseerd zijn op expert opinion. Hierbij is gebruik gemaakt van een gestructureerd format gebaseerd op het evidence-to-decision framework van de internationale GRADE Working Group (Alonso-Coello, 2016a; Alonso-Coello 2016b). Dit evidence-to-decision framework is een integraal onderdeel van de GRADE methodiek.

Formuleren van aanbevelingen

De aanbevelingen geven antwoord op de uitgangsvraag en zijn gebaseerd op het beschikbare wetenschappelijke bewijs en de belangrijkste overwegingen, en een weging van de gunstige en ongunstige effecten van de relevante interventies. De kracht van het wetenschappelijk bewijs en het gewicht dat door de werkgroep wordt toegekend aan de overwegingen, bepalen samen de sterkte van de aanbeveling. Conform de GRADE-methodiek sluit een lage bewijskracht van conclusies in de systematische literatuuranalyse een sterke aanbeveling niet a priori uit, en zijn bij een hoge bewijskracht ook zwakke aanbevelingen mogelijk (Agoritsas, 2017; Neumann, 2016). De sterkte van de aanbeveling wordt altijd bepaald door weging van alle relevante argumenten tezamen. De werkgroep

heeft bij elke aanbeveling opgenomen hoe zij tot de richting en sterkte van de aanbeveling zijn gekomen.

In de GRADE-methodiek wordt onderscheid gemaakt tussen sterke en zwakke (of conditionele) aanbevelingen. De sterkte van een aanbeveling verwijst naar de mate van zekerheid dat de voordelen van de interventie opwegen tegen de nadelen (of vice versa), gezien over het hele spectrum van patiënten waarvoor de aanbeveling is bedoeld. De sterkte van een aanbeveling heeft duidelijke implicaties voor patiënten, behandelaars en beleidsmakers (zie onderstaande tabel). Een aanbeveling is geen dictaat, zelfs een sterke aanbeveling gebaseerd op bewijs van hoge kwaliteit (GRADE gradering HOOG) zal niet altijd van toepassing zijn, onder alle mogelijke omstandigheden en voor elke individuele patiënt.

Implicaties van sterke en zwakke aanbevelingen voor verschillende richtlijngebruikers		
	<i>Sterke aanbeveling</i>	<i>Zwakke (conditionele) aanbeveling</i>
Voor patiënten	De meeste patiënten zouden de aanbevolen interventie of aanpak kiezen en slechts een klein aantal niet.	Een aanzienlijk deel van de patiënten zouden de aanbevolen interventie of aanpak kiezen, maar veel patiënten ook niet.
Voor behandelaars	De meeste patiënten zouden de aanbevolen interventie of aanpak moeten ontvangen.	Er zijn meerdere geschikte interventies of aanpakken. De patiënt moet worden ondersteund bij de keuze voor de interventie of aanpak die het beste aansluit bij zijn of haar waarden en voorkeuren.
	<i>Sterke aanbeveling</i>	<i>Zwakke (conditionele) aanbeveling</i>
Voor beleidsmakers	De aanbevolen interventie of aanpak kan worden gezien als standaardbeleid.	Beleidsbepaling vereist uitvoerige discussie met betrokkenheid van veel stakeholders. Er is een grotere kans op lokale beleidsverschillen.

Organisatie van zorg

Bij de ontwikkeling van de richtlijnmodules is expliciet aandacht geweest voor de organisatie van zorg: alle aspecten die randvoorwaardelijk zijn voor het verlenen van zorg (zoals coördinatie, communicatie, (financiële) middelen, mankracht en infrastructuur). Randvoorwaarden die relevant zijn voor het beantwoorden van deze specifieke uitgangsvraag zijn genoemd bij de overwegingen.

Commentaar- en autorisatiefase

De conceptrichtlijnmodule werd aan de betrokken (wetenschappelijke) verenigingen en (patiënt) organisaties voorgelegd ter commentaar. De commentaren werden verzameld en besproken met de werkgroep. Naar aanleiding van de commentaren werd de conceptrichtlijnmodule aangepast en definitief vastgesteld door de werkgroep. De definitieve richtlijnmodule werd aan de deelnemende (wetenschappelijke) verenigingen en (patiënt) organisaties voorgelegd voor autorisatie en door hen geautoriseerd dan wel geaccordeerd.

Literatuur

- Agoritsas T, Merglen A, Heen AF, Kristiansen A, Neumann I, Brito JP, Brignardello-Petersen R, Alexander PE, Rind DM, Vandvik PO, Guyatt GH. UpToDate adherence to GRADE criteria for strong recommendations: an analytical survey. *BMJ Open*. 2017 Nov 16;7(11):e018593. doi: 10.1136/bmjopen-2017-018593. PubMed PMID: 29150475; PubMed Central PMCID: PMC5701989.
- Alonso-Coello P, Schünemann HJ, Moberg J, Brignardello-Petersen R, Akl EA, Davoli M, Treweek S, Mustafa RA, Rada G, Rosenbaum S, Morelli A, Guyatt GH, Oxman AD; GRADE Working Group. GRADE Evidence to Decision (EtD) frameworks: a systematic

- and transparent approach to making well informed healthcare choices. 1: Introduction. *BMJ*. 2016 Jun 28;353:i2016. doi: 10.1136/bmj.i2016. PubMed PMID: 27353417.
- Alonso-Coello P, Oxman AD, Moberg J, Brignardello-Petersen R, Akl EA, Davoli M, Treweek S, Mustafa RA, Vandvik PO, Meerpohl J, Guyatt GH, Schünemann HJ; GRADE Working Group. GRADE Evidence to Decision (EtD) frameworks: a systematic and transparent approach to making well informed healthcare choices. 2: Clinical practice guidelines. *BMJ*. 2016 Jun 30;353:i2089. doi: 10.1136/bmj.i2089. PubMed PMID: 27365494.
- Brouwers MC, Kho ME, Brouman GP, Burgers JS, Cluzeau F, Feder G, Fervers B, Graham ID, Grimshaw J, Hanna SE, Littlejohns P, Makarski J, Zitzelsberger L; AGREE Next Steps Consortium. AGREE II: advancing guideline development, reporting and evaluation in health care. *CMAJ*. 2010 Dec 14;182(18):E839-42. doi: 10.1503/cmaj.090449. Epub 2010 Jul 5. Review. PubMed PMID: 20603348; PubMed Central PMCID: PMC3001530.
- GRADE working group. <https://www.gradeworkinggroup.org> (geraadpleegd September 2023)
- Bbs: Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming. (2017, 23 oktober). Geraadpleegd van [https://wetten.overheid.nl/](https://wetten.overheid.nl/BWBR0040179) BWBR0040179.
- Hultcrantz M, Rind D, Akl EA, Treweek S, Mustafa RA, Iorio A, Alper BS, Meerpohl JJ, Murad MH, Ansari MT, Katikireddi SV, Östlund P, Tranæus S, Christensen R, Gartlehner G, Brozek J, Izcovich A, Schünemann H, Guyatt G. The GRADE Working Group clarifies the construct of certainty of evidence. *J Clin Epidemiol*. 2017 Jul;87:4-13. doi: 10.1016/j.jclinepi.2017.05.006. Epub 2017 May 18. PubMed PMID: 28529184; PubMed Central PMCID: PMC6542664.
- Federatie Medisch Specialisten. <https://richtlijndatabase.nl/werkwijze/wkkgz.html> (geraadpleegd september 2023)
- Medisch Specialistische Richtlijnen 2.0 (2012). Adviescommissie Richtlijnen van de Raad Kwaliteit.
http://richtlijndatabase.nl/over_deze_site/over_richtlijnontwikkeling.html
- Neumann I, Santesso N, Akl EA, Rind DM, Vandvik PO, Alonso-Coello P, Agoritsas T, Mustafa RA, Alexander PE, Schünemann H, Guyatt GH. A guide for health professionals to interpret and use recommendations in guidelines developed with the GRADE approach. *J Clin Epidemiol*. 2016 Apr;72:45-55. doi: 10.1016/j.jclinepi.2015.11.017. Epub 2016 Jan 6. Review. PubMed PMID: 26772609.
- Schünemann H, Brozek J, Guyatt G, et al. GRADE handbook for grading quality of evidence and strength of recommendations. Updated October 2013. The GRADE Working Group, 2013. Available from http://gdt.guidelinedevelopment.org/central_prod/design/client/handbook/handbook.html.

Module CT kinder-DRN's

Uitgangsvraag

Welke diagnostische referentieniveaus moeten voor kinderen in Nederland aangehouden worden voor de beeldvormende modaliteit Computer Tomografie (CT)?

Inleiding

Uit de praktijk is bekend dat variatie bestaat in de stralingsbelasting van CT bij kinderen. Dit biedt ruimte voor verbetering in termen van meer uniformiteit tussen ziekenhuizen wat wenselijk is aangezien röntgenstraling schadelijk kan zijn. Zorgvuldig gebruik is daarom belangrijk. Daarnaast kan de kwaliteit van de beelden variëren, wat onwenselijk is voor de diagnostiek. Het is de taak van de klinisch fysicus, radioloog en radiodiagnostisch laborant om zorg te dragen voor een zo laag mogelijke stralingsbelasting voor de patiënt bij een adequate beeldkwaliteit (as low as reasonably achievable (ALARA) (United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), 2021)) conform het "Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming" (Bbs) (Bbs, 2017). Er bestaat een aantal Europese referentieniveaus, maar de Europese richtlijn "European Guidelines on Diagnostic Reference Levels RP no. 185" (PiDRL) adviseert sterk om nationale diagnostische referentieniveaus (DRN's) te gebruiken (European Commission, 2018). Er bestaat een aantal Nederlandse kinder-DRN's, maar deze zijn gebaseerd op sterk verouderde en niet volledig Nederlandse data (beschreven in het rapport 21 'Stralingsbescherming in het ziekenhuis' van de Nederlandse commissie voor stralingsdosimetrie (NCS) van juni 2012). Bovendien ontbreken DRN's voor sommige protocollen die wel veelvuldig in de praktijk worden gebruikt, zoals bijvoorbeeld CT van de wervelkolom. In deze modules wordt getracht kinder-DRN's te bepalen die beter aansluiten op de huidige Nederlandse praktijk en kinder-DRN's te bepalen voor veel voorkomende protocollen waarvoor nog geen DRN gespecificeerd is.

Search and select

A systematic review of the literature was performed to answer the following question: In the current international literature, what Diagnostic Reference Levels (DRLs) have been established for children aged 0-18 years for radiological examination with ionizing radiation?

Population: Children aged 0-18 years (exclusion: preterm infants/ neonatal intensive care units (NICU) population)
Intervention: Radiological examinations with computerized tomography (exclusion: nuclear diagnostics/radiotherapy/dental recording)
Comparison: Not applicable
Outcome: Diagnostic Reference Level (DRL), dose-age/weight distribution

Relevant outcome measures

The guideline development group considered DRL as a critical outcome measure for decision making and dose-age/weight distribution as an important outcome measure for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above, but used the definitions used in the studies.

Search and select (Methods)

The databases Embase.com and Ovid/Medline were searched with relevant search terms from 01-01-2002 until 07-04-2022. The detailed search strategy is depicted under the tab

Methods. The systematic literature search resulted in 471 hits. Studies for this CT-module were selected based on the following criteria:

- systematic reviews (searched in at least two databases, and detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available), guidelines/protocols or other studies on diagnostic reference levels for CT;
- full-text English language publication;
- children aged ≤ 18 years;
- studies according to the PICO (Population-Intervention-Comparison-Outcome).

109 studies were initially selected based on title and abstract screening. After reading the full text, 79 studies were excluded (see the table with reasons for exclusion under the tab Methods), and 30 studies were included. Since the “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” (PiDRL) (European Commission, 2018) is a landmark publication that contains European DRLs (EDRLs), this was also included as a study reporting DRLs.

Results

31 studies were included in the analysis of the literature. We could not apply the GRADE method for weighting the evidence because of the non-comparative study designs.

Summary of literature

Description of studies

Table 1 describes the characteristics of the 31 CT studies included in the analysis. All studies report a DRL for the volume computed tomography dose index ($CTDI_{vol}$) in mGy and dose-length product (DLP) in mGy x cm. 17 studies derived a national DRL, three a regional DRL, nine a local DRL and Vassileva (2015) an international DRL. If multiple studies reported national DRLs for a country, the most recent DRL was included. Head, thorax and abdomen were most commonly examined, although some reported separate DRLs for lung (Kim, 2017; Célier 2020a), facial bone (Wagner, 2018), petrous bone (Wagner, 2018; Célier 2020a), neck (Kanal, 2022), spine (Kanal, 2022) and sinuses (Zamani, 2021; Kanal, 2022). Most DRLs were based on patient age (usually for age brackets 0-1, 1-5, 5-10 and 10-15 years), although five more recent publications included DRLs based on weight (Almén, 2022; Worrall, 2022; Hwang, 2021) or weight estimates based on age (Célier, 2020a; Schegerer, 2019), and two studies (Kanal, 2022; Hwang, 2021) included DRLs based on effective diameter-based estimates.

To establish DRLs, most studies used the third quartile values of the dose distribution for each type of examination and, if applicable, age or weight group of interest. Most recent studies based their approach on the 2018 European Commission (EC) guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” (PiDRL) (European Commission, 2018), while older studies referred to earlier EC documents (European Commission, 1996) or the International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommendations (ICRP, 2017). Two studies (Almén, 2021; Järvinen, 2015) established body DRLs using a curve method based on the Radiation and Nuclear Safety Authority in Finland, STUK guidelines (STUK S/4/2019, 2019). The basis is to fit an exponential curve to the collected dose indices for each examination type with the dose indices as the dependent variable and patient weight as the independent variable. The exponential curve used by Almén (2021) was $D(w) = \alpha \cdot x e^{(k \cdot w)}$. D and w are the dose index and weight collected for each patient; k is the regression coefficient associated with the exponential increase of the dose indices derived for the different examinations. The α -value was calculated using D , w and k . The

third quartile value (D_{q3}) for the a -values was used to define the DRL curve: $DRL(w) = D_{q3} \times e^{(k \times w)}$.

Table 1: Summary of characteristics of selected computed tomography (CT) studies

Reference	Type of DRL	DRL method	No. of CT scanners	No. of hospitals	No. of patients	Reported by age or weight	Body part studied
Alkhorayef 2020	Saudi Arabian local DRL	75 th percentile of median values.	-	-	59 total, no. per DRL not reported	Not applicable	Head, abdomen, thorax
Almén 2021	Nordic regional DRL, including Denmark, Iceland, Norway, and Sweden	Curve with exponential fit for each examination type.	-	29	328	Weight	Thorax, abdomen
Almén 2022	Nordic regional DRL, includes Denmark, Iceland, Norway, and Sweden	EC guideline: 75 th percentile of the distribution of the median values per location.	-	31	1504, minimum 15 patients for each DRL	Age for head, weight for thorax and abdomen	Head, thorax, abdomen
Anna 2017	Australia national DRL	75 th percentile of the distribution of the median values of all locations.	13	-	1265 total, minimum 10 patients per facility for each DRL.	Age	Head, thorax, abdomen
Ataç 2015	Turkish national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	167	1607	-	Age	Head, thorax, abdomen pelvis
Benmessaud 2020	Moroccan national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	-	3	1007 total, 178-356 per DRL	Age	Head
Célier 2020a	French national DRL	EC guideline: 75 th percentile of the distribution of the median values of all locations.	15	-	3253 total, minimum 10 patients per procedure and age group (minimum 8 for abdomen 5 ≤ 10 years)	Age	Head, thorax, abdomen-pelvis
Deevband 2021	Iranian national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	120	106	1160 total, minimum 10 patients per examination	Age	Head, thorax, abdomen, sinus
European Commission 2018	European DRL	75 th percentile of the distribution of the median values of all locations.	-	-	-	Age for head, weight for thorax and abdomen	Head, thorax, abdomen
Hwang 2021	South Korean local DRL	Most with EC guideline: 75 th percentile of the distribution of the median values of all locations. Only calculated if five or more locations reported 5 or more examinations. Three DRLs (weight band in weight	-	9	2494 total, 1625 abdomen, 869 thorax	Weight and size	Thorax, abdomen

Reference	Type of DRL	DRL method	No. of CT scanners	No. of hospitals	No. of patients	Reported by age or weight	Body part studied
Järvinen 2015	Finnish national DRL	of 5 kg, effective diameter < 13 cm, and age band of 0 years) based on 75 th percentile of the distribution of all values (irrespective of facility). 75 th percentile of the distribution of all values for head DRLs, exponential curve for body DRL	-	4	1049 total, 323 head and 726 body	Age for head, weight for body	Head, body (thorax, abdomen, thorax + abdomen)
Kanal 2022	United States national DRL	EC guideline: 75 th percentile of the distribution of the median values of all locations. Only calculated if five or more locations reported 20 or more examinations	1625	-	1543535 (72 228 to 876 655 depending on body part)	Age for head and neck; size for thorax and abdomen	Head, neck, thorax, abdomen
Kim 2017	Korean national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	37	19	3280 total, 430-1240 per examination	Age	Head, thorax, lung, abdomen
Kim 2019	Korean national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	369	-	1236 total, 147-378 per DRL	Age	Head
Korir 2016	Kenyan national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	10	10	630 total, ranging from 2-254, less than 10 for spine and neck	Age	Head, thorax, abdomen, sinuses, lumbar spine, neck
Kritsaneepa iboon 2012	Thai local DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	-	3	469 total, 19-57 per DRL	Age	Head, thorax, abdomen
Matsunaga 2019	Japanese national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	439	-	1285 total, 98-178 per DRL	Age	Head, thorax, abdomen
Mokubange le 2020	Douala city in Cameroon local DRL	Average of the distribution of all values.	11	10	397 total, 15-45 per DRL	Age	Head, abdomen
Rawashdeh 2019	Jordan local DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	-	4	1818 total, 26-312 per DRL	Age	Head, abdomen, thorax
Santos 2014	Portuguese national	75 th percentile of the distribution of all values.	-	3	330 total, minimum 15 per DRL	Age	Head, thorax
Saravanaku mar, 2017	Indian regional DRL Tamil	75 th percentile of the distribution of all values.	30	13	3600	Age	Head, thorax, abdomen
Schegerer 2019*	German national DRL	75 th percentiles of the particular dose distributions, conform EC guidelines.	-	-	50-1600 (depending on age range and body part)	Age for head and age plus equivalent-	Head, thorax, abdomen

Reference	Type of DRL	DRL method	No. of CT scanners	No. of hospitals	No. of patients	Reported by age or weight	Body part studied
Suliman 2015	Sudan local DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	-	8	296 total, no. per DRL not reported	Not applicable	Head, thorax, abdomen
Takei 2016	Japanese national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	164	-	970 for CTDI _{vol} , 916 for DLP	Age	Head, thorax, abdomen
Van der Merwe 2020	South African local DRL Johannesburg	75 th percentile of the distribution of all values.	-	2	905 total, 4-238 per DRL, all head DRLs >124	Age	Head, thorax, abdomen, trunk, spine, neck, temporal bones
Vassileva 2015	International DRL, includes Asia, Europe, Africa, Latin America	75 th percentile of the distribution of the median values of all locations.	82 CT locations (42 in Asia, 30 in Europe, 7 in Africa and 3 in Latin America)	72	6115	Age	Head, thorax, abdomen
Verdun 2008	Swiss local DRL	No CT examination data from specific patients available, so DRLs were obtained by multiplying the mean value of the dosimetric quantity (CTDI _{vol} or DLP) values of the 10 locations with 1.25 (an appropriate factor in this study).	11	10	-	Age and weight	Head, thorax, abdomen
Wagner 2018	Swiss national DRL	EC guideline: 75 th percentiles of the distributions of the median values of all centres	12	8	1645 total	Age	Head
Wardlaw 2016	Canadian national DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	381	-	34-174 (depending on age range and body part examined)	Age	Head, thorax, abdomen

Reference	Type of DRL	DRL method	No. of CT scanners	No. of hospitals	No. of patients	Reported by age or weight	Body part studied
Worral 2022	United Kingdom national DRL	EC guideline: 75 th percentile of the distribution of the median values of all hospitals.	40	29	22- 984 patients per examination. Minimum 10 patients per hospital for each DRL.	Age for head and weight for thorax	Head, thorax
Zamani 2021	Yazd province in Iran local DRL	75 th percentile of the distribution of all values.	6	6	766 total, minimum 10 per DRL	Age	Head, sinus, thorax, abdomen

DRLs=Diagnostic reference levels, CT=Computed tomography, No= number.

* Schegerer (2019) combined multiple databases that rely on data from >100 hospitals, but did not specify the exact number of CT scanners or hospitals.

Results

DRLs for age or weight brackets are described in table 2 for head examinations, table 3 for thorax examinations, table 4 for abdomen examinations and table 5 for other types of examinations. The studies were very diverse in design and implementation. Therefore, it was not possible to perform a meta-analysis or calculate summary statistics for the data from tables 2-5. In terms of the method used to derive DRLs, there were differences between studies in weight-based vs age-based diagnostic reference levels and use of the curve method.

Weight-based versus age-based diagnostic reference levels

For head CT all studies reported age based DRLs, but for CT protocols of other body parts DRLs could be weight or age based. Most studies reported age based DRLs for all CT protocols, but four studies only reported weight based DRLs for other body parts (Almén, 2022; Hwang, 2021; Worral, 2022; European Commission, 2018). In addition, two studies also report weight brackets for DRLs for other body parts, but the weights were estimated based on the patient's age instead of being based on actual weight measures from patients (Céliér, 2020a; Schegerer, 2019). These two studies reported both the age bracket and weight bracket (estimated based on age) for each DRL. In both studies, weight was only measured in a small subset of patients per location. Therefore, both studies verified per location that the median values based on weight estimated from actual measurements corresponded to the median values based on weight estimated from patient age.

Curve method

The DRLs from two studies (Almén, 2021; Järvinen, 2015), using a curve method to establish DRLs, are described in figures 1-5. Järvinen (2015) only included the DRL curve for DLP values (see figure 5). Almén (2021) included both DLP and CDTI_{vol} curves (figures 1-4).

Table 2 Computed tomography diagnostic reference levels (volumetric computed tomography dose index and dose length product) for head examinations.

Ataç 2015		Benmessaoud 2020		Deevband 2021		Järvinen 2015		Korir 2015		Kritsaneepaiboon 2012		Mokubangele 2020		Rawashdeh 2019		Santos 2014		Saravanakumar, 2017	
Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP
<1	31/288	<1	26.98/461.64	<1	23.4/182	<1	23/230	<1	38/739	<1	25/400	<1	907.45	<1	47.8/876.3	<1	48/630	<1	20/352
1-5	33.4/368	1-5	28.88/540.06	1-5	30.6/254	1-5	25/370	1-5	50/1005	1-5	30/570	1-5	472.65	1-5	54.7/839.1	1-5	50/770	1-5	20/360
6-10	40.3/467	6-10	34.00/627.20	6-10	37.2/412	6-10	29/460	6-10	n/a	6-10	40/610	6-10	726.84	6-10	65.0/839.4	6-10	70/1100	6-10	n/a
11-15	51.3/625	11-15	38.20/705.98	11-15	41.1/471	11-15	35/560	11-15	55/1395	11-15	45/800	11-15	650.55	11-18	60.7/700.2	11-15	72/1120	11-15	n/a
Takei 2016		Van der Merwe 2020		Vassileva 2015		Verdun 2008		Wagner 2018		Zamani 2021		Alkhorayef 2020		Almén 2022		Anna 2017		Célier 2020a	
Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP
<1	39.1/526	<1	21/315	<1	26/440	<1	20/270	<1	25/350	<1	25/352	All children	380	3 ≤ 12 months	27/398	0-4	15/220	1 < 6	22/450
1-5	46.9/666	1-5	21/365	1-5	36/540	1-5	30/420	1-5	30/420	1-5	28/355			1 ≤ 5 years	31/516	5-14	30/520	≥ 6	27/530
6-10	67.7/848	6-10	23/460	6-10	43/690	6-10	40/560	6-10	35/540	6-10	28/360			≥ 6 years	39/679				
11-15	n/a	11-15	33/750	11-15	53/840	11-15	60/1000	11-15	40/670	11-15	38/481								
Kanal 2022		Kim 2019		Kim 2017		Matsunaga 2019		Schegegerer 2019		Sulieyman 2015		Wardlaw 2016		Worral 2022		EC 2018 (PiDRL)			
Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP		
0-1	23/344	0-2	11.64/230.00	0	18/260	Head without contrast, 4-6 years	47.6/753.9	3 ≤ 12 months	30/300	6-10	1053	0-3	37/578	<1	20/290	0 ≤ 3 months	24/300		
1-2	27/440	2-5	20.90/348.00	1	23/350	Head (non-helical) without contrast, 4-6 years	48.3/649.8	1 ≤ 5 years	35/450			3-7	49/843	1-5	25/420	3 ≤ 12 months	28/385		
2-6	31/518	5-10	23.71/412.00	2-5	26/420	Head (helical) without contrast, 4-6 years	46.7/866.9	5 ≤ 10 years	50/650			7-13	57/888	6-10	35/570	1 ≤ 5 years	40/505		
6-18	55/910	11-15	29.96/566.27	6-10	31/500	Head with contrast (tumour), 4-6 years	47.3/846.4	10 ≤ 15 years	55/800					11-15	45/690	≥ 6 years	50/650		
				11-17	36/620									15 ≤ 18	Use adult DRLs				

CTDI staat voor CTDI_{vol} = Volumetric computed tomography dose index (mGy), DLP=Dose length product (mGy x cm)

Table 3 Computed tomography diagnostic reference levels (volumetric computed tomography dose index and dose length product) for thorax examinations.

Ataç 2015		Deevband 2021		Korir 2015		Kritsaneepaiboon 2012		Rawashdeh 2019		Santos 2014		Saravanakumar, 2017		Takei 2016		Van der Merwe 2020		Vassileva 2015	
Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP
<1	13.6/181	<1	6.75/85	<1	n/a	<1	4.5/80	<1	5.6/199.7	<1	2.4/45	<1	7/120	<1	5.5/105	<1	n/a	<1	5.2/130
1-5	13.5/214	1-5	4.77/72	1-5	11/215	1-5	5.7/140	1-5	7.3/210	1-5	5.6/140	1-5	8/132	1-5	7/150	1-5	4/110	1-5	6.0/140
6-10	13.5/277	6-10	5.4/117	6-10	n/a	6-10	10/305	6-10	12.9/292.6	6-10	5.7/185	6-10	n/a	6-10	7.5/205	6-10	7/145	6-10	6.8/170
11-15	11.5/287	11-15	8.61/227	11-15	11/453	11-15	15.6/470	11-18	12.9/498.7	11-15	7.1/195	11-15	n/a	11-15	n/a	11-15	7/290	11-15	7.3/300
Verdun 2008		Zamani 2021		Alkhorayef 2020		Anna 2017		Célier 2020a		Kim 2017		Matsunaga 2019		Scheggerer 2019					
Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age and equivalent weight brackets	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Examination	CTDI/DLP	Age and equivalent weight brackets	CTDI/DLP				
<1	5/110	<1	4/109	All children	270	0-4	2/40	1 month < 4 years, 5 < 15 kg	1.1/20	0	2/50	Thorax without contrast, 4-6 years	8.5/235.0	3 ≤ 12 months, 5 ≤ 10 kg	1.7/25				
1-5	8/200	1-5	5/112			5-14	4/120	4 < 10 years, 15 < 30 kg	1.4/36	1	3/80	Thorax with contrast (tumour), 4-6 years	8.4/232.3	1 ≤ 5 years, 10 ≤ 19 kg	2.6/55				
6-10	10/220	6-10	5/135							2-5	4/100			5 ≤ 10 years, 19 ≤ 32 kg	4.0/110				
11-15	12/460	11-15	5/170							6-10	6/170			10 ≤ 15 years, 32 ≤ 56 kg	6.5/200				
										11-17	8/340								
Sulieman 2015		Wardlaw 2016		Sulieman 2015		Almen 2022		Worral 2022		Hwang 2021			Kanal 2022		EC 2018 (PIDRL)				
Age (years)	DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Age (years)	DLP	Weight (kgs)	CTDI/DLP	Weight (kg)	CTDI/DLP	Weight (kg)	CTDI/DLP	Size (cm)*	CTDI/DLP	Age (years)	CTDI/DLP	Size (cm)*	CTDI/DLP	Weight (kg)	CTDI/DLP
6-10	208	0-3	2.8/62	6-10	208	5- <15	1.2/25	5- <15	0.9/18	<5	1.2/21.5	<13	1.2/23.6	0-1	1.6/31	12-16	2.0/42	<5	1.4/35
		3-7	3.8/87			15- <30	1.6/41	15- <30	2.0/40	5- <15	1.5/34.6	14-16	2.2/50.0	1-5	2.4/58	16-20	2.6/67	5- <15	1.8/50
		7-13	4.8/136			30- <50	2.4/65	30- <50	2.5/60	15- <30	2.3/59	17-20	2.3/62.0	5-10	2.9/95	20-24	3.4/107	15- <30	2.7/70
						50- <70	3.0/103	50- <80	4.0/115	30- <50	3.7/117.4	21-24	3.3/111.4	10-15	7.2/272	24-28	6.1/260	30- <50	3.7/115
										50- <80	5.8/184.4	>24	5.0/180.0	15-18	14/596	28-32	12/480	50- <80	5.4/200
																32-36	13/592		
																36-40	15/538		
																40	13/568		

CTDI staat voor CTDI_{vol} = Volumetric computed tomography dose index (mGy), DLP=Dose length product (mGy x cm); * Size based DRLs are based on effective diameter.

Table 4 Computed tomography diagnostic reference levels (volumetric computed tomography dose index and dose length product) for abdomen examinations.

Ataç 2015		Deevband 2021		Korir 2015		Kritsaneepaiboon 2012		Mokubangele 2020		Rawashdeh 2019		Saravanakumar, 2017		Takei 2016		Van der Merwe 2020		Vassileva 2015	
Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP
<1	13/ 104	<1	6.5/ 108	<1	n/a	<1	7.7/ 220	<1	n/a	<1	12.6/ 326.9	<1	12/ 252	<1	5.5/ 110	<1	n/a	<1	5.2/ 130
1-5	13.1/ 125	1-5	8.4/ 190	1-5	11/ 765	1-5	9/ 275	1-5	n/a	1-5	19.8/ 376.2	1-5	14/ 270	1-5	8/ 200	1-5	5/ 185	1-5	7.0/ 250
6-10	14.3/ 179	6-10	10.3/ 302	6-10	n/a	6-10	14/ 560	6-10	270.39	6-10	12.8/ 521.8	6-10	n/a	6-10	8.5/ 265	6-10	5/ 230	6-10	7.8/ 310
11-15	13.7/ 210	11-15	9.3/ 345	11-15	n/a	11-15	17/ 765	11-15	314.05	11-15	16.1/ 767	11-15	n/a	11-15	n/a	11-15	9/ 460	11-15	9.8/ 460
Verdun 2008		Zamani 2021		Zamani 2021		Alkhorayef 2020		Anna 2017		Célier 2020a		Kim 2017		Wardlaw 2016		Suliman 2015			
Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age and equivalent weight brackets		CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Age (years)	DLP	
<1	7/ 130	<1	3/ 75	<1	3/ 75	All ages	380	0-4	4/ 70	1 month < 4 years, 5 < 15 kg		1.8/ 56	0	3/ 70	0-3	3.8/ 120	6-10	574	
1-5	9/ 300	1-5	8/ 302	1-5	8/ 302			5-14	7/ 330	4 <10 years, 15 < 30 kg		2.3/ 89	1	4/ 80	3-7	4.9/ 185			
6-10	13/ 380	6-10	9/ 321	6-10	9/ 321					10 < 14 years, 30 < 50 kg		3.6/ 170	2-5	5/ 200	7-13	6.1/ 263			
11-15	16/ 500	11-15	10/ 342	11-15	10/ 342								6-10	6/ 300					
													11-17	9/ 500					
Matsunaga 2019		Schegerer 2019		Almen 2022		Hwang 2021		Kanal 2022		EC 2018 (PiDRL)									
Examination	CTDI/ DLP	Age and equivalent weight brackets		CTDI/ DLP	Weight (kg)	CTDI/ DLP	Weight (kg) and equivalent age	CTDI/ DLP	Size (cm)*	CTDI/ DLP	Age (years)	CTDI/ DLP	Size (cm)*	CTDI/ DLP	Weight (kg)	CTDI/ DLP			
Abdomen and pelvis without contrast, 4-6 years	11.2/ 343.9	3 ≤ 12 months, 5 ≤ 10 kg		-	-	-	<5 kg, <1 month	1.4/ 30	<13	1.8/ 46.2	0-1	2.4/ 60	12-16	2.7/ 83	<5	-/ 45			
		1 ≤ 5 years, 10 ≤ 19 kg		-	15-30 kg	2.6/ 92	5-15 kg, 1 month -< 4 years	2.2/ 73.8	14-16	2.3/ 79.0	1-5	2.9/ 100	16-20	4.1/ 148	5-15	3.5/ 120			
		5 ≤ 10 years, 19 ≤ 32 kg		5.0/ 185	30-50 kg	3.4/ 150	15-30 kg, 4 - < 10 years	2.7/ 101.2	17-20	3.0/ 112.6	5-10	4.6/ 170	20-24	5.8/ 261	15-30	5.4/ 150			
		10 ≤ 15 years, 32 ≤ 56 kg		7.0/ 310	50-70 kg	5.0/ 247	30-50 kg, 10 -< 14 years	4/ 168.8	21-24	4.3/ 190.5	10-15	7.9/ 358	24-28	8.0/ 380	30-50	7.3/ 210			
							50-80 kg, 14 - < 18 years	4.7/ 233	>24	5.0/ 238.2	15-18	11/ 511	28-32	11/ 535	50-80	13/ 480			
														32-36	16/ 808				
													36-40	20/ 1026					
													40	26/ 1292					

CTDI staat voor CTDI_{vol} = Volumetric computed tomography dose index (mGy), DLP=Dose length product (mGy x cm)

* Size based DRLs are based on diameter of the abdomen of the patient.

Table 5 Computed tomography diagnostic reference levels (volumetric computed tomography dose index and dose length product) for other types of examinations.

Céliér 2020a		Deevband 2021		Kanal 2022		Kim 2017		Korir 2015		Van der Merwe 2020		Wagner 2018		Zamani 2021									
Examination	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP	Examination	CTDI/ DLP								
Petrous bone 1 < 6 years	42/ 250	Sinus <1 year	8.9/ 60	Sinuses 2-6 years	12/ 219	Lung 0 years	2/ 30	Sinuses 2-15 years	38/ 538	Temporal bone 6-10 years	40/ 315	Facial bone <1 year	10/ 120	Sinus <1 year	23/ 206								
Petrous bone ≥ 6 years	52/ 330															Sinus 1-5 years	9.3/ 71	Sinuses 6-18	22/ 377	Lung 1 year	3/ 40	Lumbar spine 0-11 years	14/ 426
Thorax mediastinum 1 month < 4 years, 5 < 15 kg	1.5/ 29	Sinus 6-10 years	9.4/ 85	Neck 0-1 year	3.8/ 58	Lung 2-5 years	4/ 60	Neck 3-12 years	9/ 322	Spine 1-5 years	7/ 190	Facial bone 6-10 years	15/ 170	Sinus 6-10 years	26/ 228								
Thorax mediastinum 4 <10 years, 15 < 30 kg	1.5/ 39															Sinus 11-15 years	8.8/ 107	Neck 1-5 years	4.4/ 88	Lung 6-10 years	5/ 90	Spine 6-10 years	8/ 190
Thorax lung 1 month < 4 years, 5 < 15 kg	1.0/ 19			Neck 5-10 years	6.3/ 137	Lung 11-17 years	7/ 280			Spine 11-15 years	9/ 230	Petrous bone <1 year	20/ 110										
Thorax lung 4 <10 years, 15 < 30 kg	1.4/ 36															Neck 10-15 years	11/ 270	Neck 1-5 years	7/ 200	Neck 6-10 years	7/ 145	Petrous bone 1-5 years	30/ 200
																Neck 15-18 years	14/ 385	Neck 6-10 years	7/ 145	Neck 11-15 years	15/ 260	Petrous bone 6-10 years	30/ 200
																Spine 0-1 year	17/ 260	Trunk 1-5 years	5/ 215	Trunk 6-10 years	6/ 235	Petrous bone 11-15 years	30/ 200
																Spine 1-5 years	11/ 179	Trunk 6-10 years	6/ 235	Trunk 11-15 years	6/ 285		
																Spine 5-10 years	12/ 241						
		Spine 10-15 years	24/ 490																				
		Spine 15-18 years	34/ 707																				

CTDI staat voor CTDI_{vol} = Volumetric computed tomography dose index (mGy), DLP=Dose length product (mGy x cm)

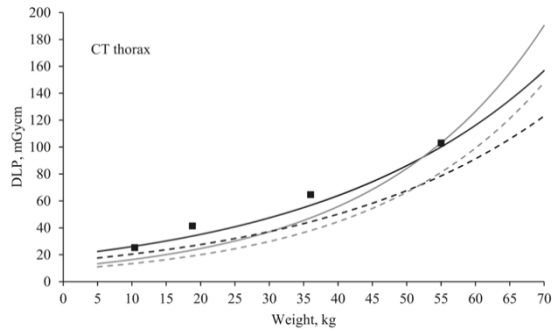


Figure 2 CT diagnostic reference levels (dose length product (DLP)) for thorax examinations (black line). The line characteristics for thorax are $k = 0.030$ and $D_{q3} = 19.3 \text{ mGy} \times \text{cm}$ valid for weight interval 5–70kg. Grey solid lines are national DRLs from Finland. The squares are DRLs for weight groups. Dotted lines are achievable dose level curves from Almén (2021) (black dotted lines) and Finland (grey dotted line). Copied from Almén (2021).

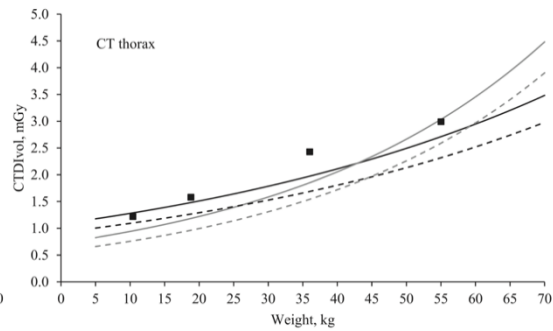


Figure 1 CT diagnostic reference levels ($CTDI_{vol}$) for thorax (black line). The line characteristics for thorax are $k = 0.017$ and $D_{q3} = 1.08 \text{ mGy}$ valid for weight interval 5–70kg. Grey solid lines are national DRLs from Finland. The squares are DRLs for weight groups. Dotted lines are achievable dose level curves from Almén (2021) (black dotted lines) and Finland (grey dotted line). Copied from Almén (2021).

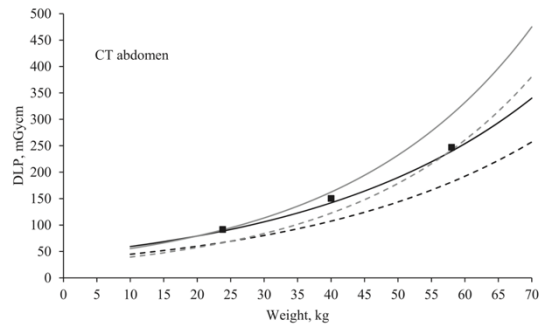


Figure 4 CT diagnostic reference levels (dose length product (DLP)) for abdomen (black line). The line characteristics for abdomen are $k = 0.029$ and $D_{q3} = 44.3 \text{ mGy} \times \text{cm}$ valid for weight interval 10–70kg. Grey solid lines are national DRLs from Finland. The squares are DRLs for weight groups. Dotted lines are achievable dose level curves from Almén (2021) (black dotted lines) and Finland (grey dotted line). Copied from Almén (2021).

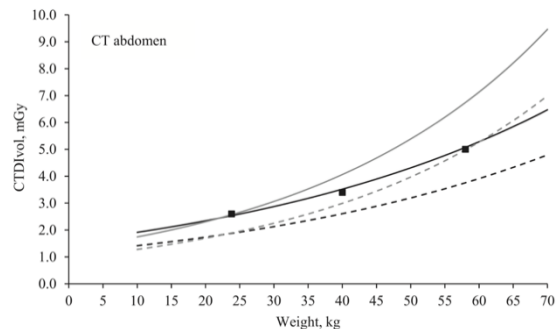


Figure 3 CT diagnostic reference levels ($CTDI_{vol}$) for abdomen (black line). The line characteristics for abdomen are $k = 0.020$ and $D_{q3} = 1.56 \text{ mGy}$ valid for weight interval 10–70kg. Grey solid lines are national DRLs from Finland. The squares are DRLs for weight groups. Dotted lines are achievable dose level curves from Almén (2021) (black dotted lines) and Finland (grey dotted line). Copied from Almén (2021).

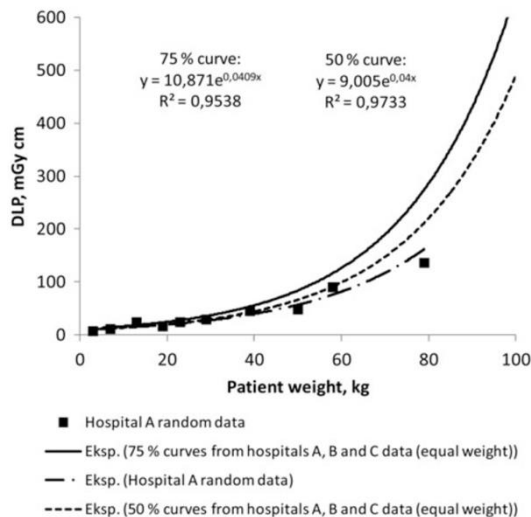


Figure 5 CT diagnostic reference levels (dose length product (DLP)) for body examinations (thorax and/or abdomen). The lowest dotted curve shows an example of using the DRL-curve. Copied from Järvinen (2015).

Level of evidence of the literature

Because of the non-comparative study designs, we could not apply the GRADE method for weighting the evidence.

Conclusions

- GRADE	We could not apply the GRADE method for weighting the evidence and drawing conclusions about the literature because of the non-comparative study designs.
--------------------	---

Overwegingen – van bewijs naar aanbeveling

Voor- en nadelen van de diagnostische procedure en de kwaliteit van het bewijs

Literatuur

De studies in de literatuuranalyse zijn zeer divers in opzet en uitvoering. Voor het bepalen en rapporteren van een DRN per type scan wordt in oudere studies vooral gebruik gemaakt van de 75e percentiel methode vanuit de Europese Commissie (EC) voor vastgestelde leeftijdscategorieën en in nieuwere studies de curve-methode (European Commission, 2018). Er is veel variatie tussen de vastgestelde DRN's. Voor hoofdprotocollen varieert deze voor CTDI_{vol} tussen 12 en 72 mGy en voor DLP tussen 230 en 1120 mGy x cm. Voor thoraxprotocollen varieert deze voor CTDI_{vol} tussen 1 en 15 mGy en voor DLP tussen 20 en 538 mGy x cm. Voor buikprotocollen varieert voor CTDI_{vol} tussen 2 en 26 mGy en voor voor DLP tussen 30 en 1292 mGy x cm. Voor de overige protocollen varieert deze voor CTDI_{vol} tussen 1 en 56 mGy en voor DLP tussen 19 en 515 mGy x cm. Sommige van de overige protocollen zijn voor de huidige DRN-richtlijn van belang, zoals nekprotocollen (CTDI_{vol} varieert tussen 4 en 15 mGy, DLP varieert tussen 58 en 260 mGy x cm) en wervelkolom protocollen (CTDI_{vol} varieert tussen 7 en 34 mGy, DLP varieert tussen 190 en 707 mGy x cm).

Methodiek vaststellen DRN – indeling in categorieën

Omdat kinderen qua lengte en gewicht veel van elkaar verschillen is een onderverdeling in categorieën nodig. Uit de literatuurstudie blijkt dat de gebruikte methoden om een kinder-DRN te bepalen weinig uniform is qua indeling voor de gebruikte categorie. De Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" PiDRL (European Commission, 2018) voor DRN in kinderradiologie adviseert om gewichtscategorieën te gebruiken (vanwege de betere correlatie met dosiswaarden), met uitzondering voor schedelonderzoeken waarvoor leeftijdscategorieën

worden voorgesteld, omdat de omvang van het hoofd minder gewichtsafhankelijk is (European Commission, 2018). In deze Europese PiDRL richtlijn (European Commission, 2018) wordt aangegeven dat een leeftijd-gebaseerde categorie-indeling gebruikt kan worden tot gewicht-gebaseerde dosisverzameling mogelijk is. Een alternatief is een indeling op basis van diameter, bijvoorbeeld de water equivalente diameter (WED) of de size specific dose estimate (SSDE) (McCollough, 2014; American Association of Physicists in Medicine, 2011), omdat dit fysisch beter relateert aan de absorptie van röntgenstraling (Priyanka 2021 en Almen 2022). Voordeel hiervan is dat dit op basis van de CT-beelden (automatisch) bepaald kan worden. Er is echter meer onderzoek nodig voordat dit overwogen kan worden, omdat het op dit moment nog onduidelijk is hoe het definiëren van DRN's op basis van SSDE of WED zich verhoudt tot de meer traditionele leeftijds- en gewichtscategorieën.

Almén (2022) beschrijft dat per leeftijdscategorie veel variatie gevonden wordt in dosis (uitgedrukt in $CTDI_{vol}$ en DLP), omdat kinderen van ongeveer dezelfde leeftijd zeer verschillende lengte en gewicht kunnen hebben. Desondanks blijkt uit de literatuurstudie dat er voornamelijk op basis van leeftijdscategorie gerapporteerd wordt. In de praktijk wordt gewicht niet gevraagd of geregistreerd, met name omdat dit praktisch lastig uitvoerbaar is, terwijl in het Elektronisch Patiënten Dossier de leeftijd altijd beschikbaar is. Dit pleit vooralsnog voor het gebruik van leeftijdscategorieën.

De Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" PiDRL (European Commission, 2018) geeft een relatie tussen de gewichtscategorieën en de leeftijd (tabel 7.2 in appendix F), op basis van een correlatie tussen gewicht en leeftijd. Hiermee is de DRN-waarde per gewichtscategorie [0>5 kg], [5>15 kg], [15>30 kg], [30>50 kg], [50-80 kg] om te zetten naar een DRN-waarde per leeftijdscategorie [0>1 maand], [1 maand>4 jaar], [4>10 jaar], [10>14 jaar], [14-18 jaar]. In veel studies wordt zowel voor hoofd als voor thorax en abdomen CT-scans de volgende indeling in leeftijdsgroepen gebruikt: [0>1 jaar], [1-5 jaar], [6-10 jaar], [11-15 jaar]. Voor hoofd CT-scans is dit afwijkend van de EDRL, waarin vanaf 6 jaar slechts 1 EDRL gegeven is. Echter bij veel studies verschilt de DRN-waarde voor hoofd tussen de 6-10 jaar en 11-15 jaar groep, waardoor het aan te raden is voor hoofd CT dezelfde leeftijdscategorieën voor DRN's aan te houden als voor de andere lichaamsdelen.

Op basis van de literatuur en aanbevelingen in de Europese richtlijn stelt de werkgroep voor een DRN vast te stellen op basis van leeftijdscategorieën [0>1 maand], [1maand>4 jaar]; [4>10 jaar], [10>14 jaar], [14-18 jaar] voor alle lichaamsdelen (inclusief hoofd).

Door een DRN per leeftijdscategorie te gebruiken wordt de toetsing voor ziekenhuizen relatief eenvoudig implementeerbaar. Ook maakt dit het mogelijk om de Nederlandse DRN-waarde met de DRN's van andere landen te vergelijken.

Methodiek vaststellen DRN – DRN-bepaling

Om een landelijke DRN per leeftijdscategorie op te stellen zijn verschillende systematieken mogelijk. Als statistische methoden zijn er twee methoden: 1) bepalen van de 75e percentiel van de verdeling van de mediaanwaarden van alle ziekenhuizen, of, in het geval dat er weinig ziekenhuizen participeren, 2) bepalen van de 75e percentiel van de verdeling van alle waarden tezamen. Daarnaast is de curve-methodiek mogelijk.

Het opstellen van een landelijke DRN per leeftijdscategorie met de statistische methoden vereist per ziekenhuis een minimumaantal, te weten tien patiënten per procedure per leeftijdscategorie (European Commission, 2018). Omdat relatief weinig data beschikbaar is

bij kinderen is de DRN-curve methodiek een goede methode. Hierbij wordt een DRN-curve gemaakt met gewicht of leeftijd op de x-as en dosisgrootte op de y-as (European Commission, 2018). Een aantal studies in de literatuur past dit toe (Kiljunen, 2007; Järvinen, 2015; Almén, 2021; Almén, 2022). Een voordeel van de curve-methode is dat met minder datapunten per leeftijd of gewichtsklasse een DRN bepaald kan worden, waardoor meer DRN's betrouwbaar bepaald kunnen worden. Op basis hiervan wordt ervoor gekozen om in deze richtlijn een leeftijd-gebaseerde DRN vast te stellen op basis van de DRN-curve-methode, omdat deze in de Nederlandse praktijk makkelijker te implementeren is, aangezien in Nederland doorgaans wel leeftijd op de onderzoeksdatum, maar niet altijd een recent gewicht bekend is.

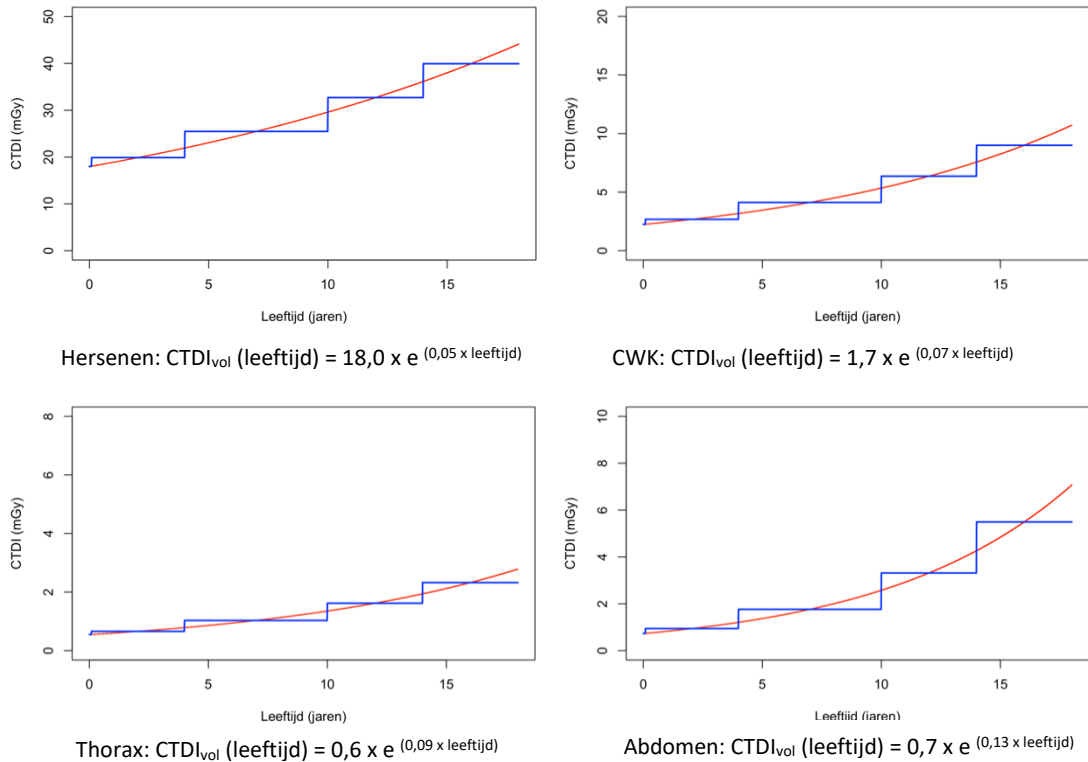
Methode dataverzameling Nederland ten behoeve van DRN bepaling

Na een landelijk uitgezette uitvraag hebben 20 ziekenhuizen data aangeleverd van röntgenonderzoeken uitgevoerd in de periode van 1-1-2017 tot 1-6-2021. Voor de modaliteit CT zijn per onderzoek de dosisparameters $CTDI_{vol}$ en DLP verzameld, naast protocolnaam, leeftijd op de onderzoeksdatum of geboortedatum en onderzoeksdatum/tijd. De protocollen waarvan data zijn aangeleverd zijn hoofd, nek, thorax en abdomen. De DRN-waarde voor hoofd is gebaseerd op radiologisch onderzoek van de hersenen en de DRN-waarde voor nek op de cervicale wervelkolom (CWK). Derhalve zullen hoofd en nek worden vervangen door respectievelijk hersenen en CWK.

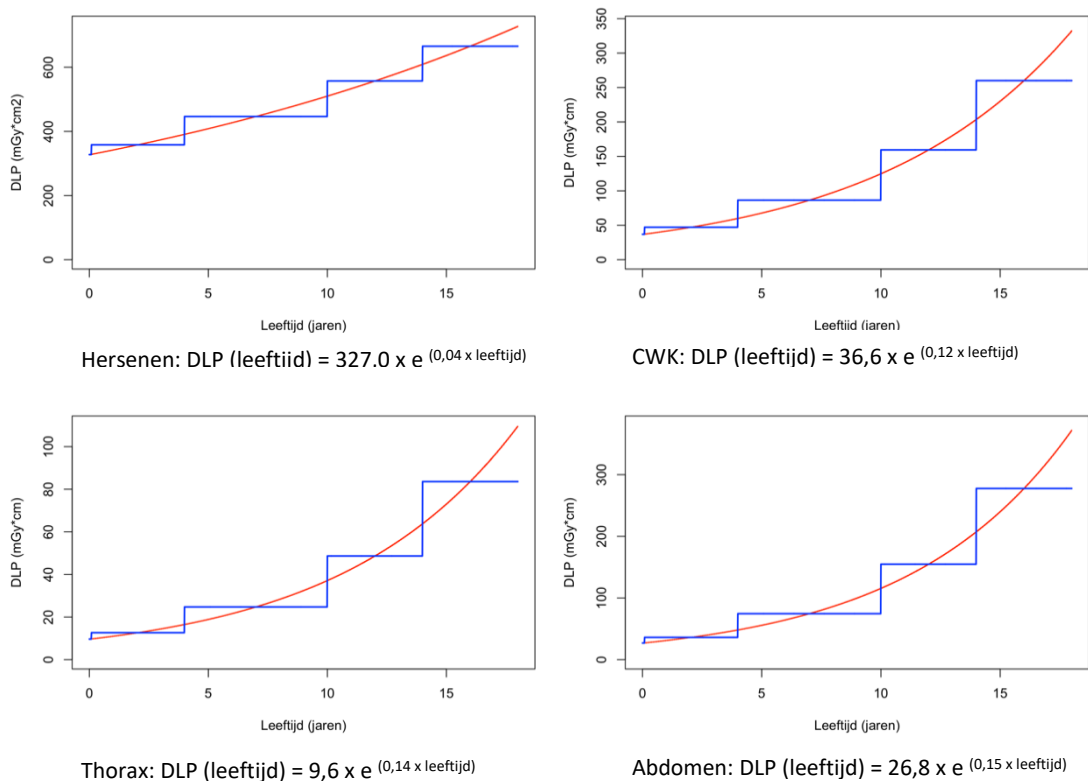
Met behulp van de curve-methode zijn de DRN's bepaald. Tevens zijn uit de DRN-curve DRN-waarden per leeftijdscategorie voor elk protocol vastgesteld. Voor details van de gebruikte methode zie bijlage "Methodiek CT" van deze module.

Resultaten onderzoek

De resultaten van in totaal 20 centra zijn geanalyseerd op basis van de methodiek zoals beschreven in bijlage "Methodiek CT" van deze module. Voor de CT protocollen zijn de DRN-curves weergegeven voor $CTDI_{vol}$ (figuur 5) en DLP (figuur 6). Daarnaast zijn in tabel 6 voor $CTDI_{vol}$ en tabel 7 voor DLP DRN-waardes gegeven per leeftijdscategorie, welke in dosisregistratiesystemen gebruikt kunnen worden. Meer details over de DRN-curves zijn te vinden in bijlage "Resultaten CT" van deze module.



Figuur 5 Vastgestelde $CTDI_{vol}$ DRN-curves voor CT protocollen voor hersenen (linksboven), CWK (rechtsboven), thorax (linksonder) en abdomen (rechtsonder). De rode lijn is de vastgestelde DRN (75e percentiel). De blauwe lijn de DRN per leeftijdscategorie.



Figuur 6 Vastgestelde DLP DRN-curves voor CT protocollen voor hersenen (linksboven), CWK (rechtsboven), thorax (linksonder) en abdomen (rechtsonder). De rode lijn is de vastgestelde DRN (75e percentiel). De blauwe lijn de DRN per leeftijdscategorie.

Tabel 6 CT protocollen; gerapporteerde $CTDI_{vol}$ (mGy) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie.

Leeftijd (mediaan)	Hersenen	CWK	Thorax	Abdomen
0-1mnd (15 dagen)	18	1,7	0,6	0,7
1mnd-4jr (24,5 maand)	20	2,0	0,7	0,9
4-10jr (84 maanden)	25	2,7	1,0	1,8
10-14jr (144 maanden)	33	3,8	1,6	3,3
14-18jr (192 maanden)	39	4,9	2,3	5,5
Aantal Centra	16	12	10	14

Tabel 7 CT protocollen: gerapporteerde DLP (mGy x cm) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie.

Leeftijd (mediaan)	Hersenen	CWK	Thorax	Abdomen
0-1mnd (15 dagen)	328	36,9	9,7	27,0
1mnd-4jr (24,5 maand)	358	47,1	12,7	36,1
4-10jr (84 maanden)	446	86,5	24,7	74,6
10-14jr (144 maanden)	557	159,4	48,7	154,8
14-18jr (192 maanden)	665	260,0	83,6	277,6
Aantal Centra	18	14	10	14

Interpretatie van resultaten

Het valt op dat de voorgestelde waarden voor DRN op basis van de hierboven beschreven data-analyse lager liggen dan de waarden beschreven in de literatuur. Dit komt mogelijk doordat in Nederland veel relatief moderne CT-scanners gebruikt worden ten opzichte van sommige andere landen en al jaren gestuurd wordt op dosisoptimalisatie. Er zou wel een bias kunnen zitten in de aangeleverde data omdat slechts 20 ziekenhuizen, die bovendien relatief veel kinderen onderzoeken, data aangeleverd hebben.

Daarnaast laten datapunten waarop de curves zijn gebaseerd zien dat er binnen een leeftijdsgroep veel variatie kan zijn in de data. Indien in een ziekenhuis de leeftijd niet gelijk verdeeld is binnen een leeftijdscategorie kan dit leiden tot een relatief lagere of hogere dosisregistratiewaarde ten opzichte van de DRN-waarde gebaseerd op mediane leeftijd (zie tabel 6 en 7), terwijl bij toetsing aan de DRN-curve wel aan de DRN-waarde voldaan zou worden.

Algemene overwegingen literatuur en onderzoek

Het is belangrijk dat ziekenhuizen eenvoudig hun dosisgegevens kunnen toetsen aan de landelijke DRN. Daarom is gekozen voor een methode die goed implementeerbaar is, bijvoorbeeld in ziekenhuizen met dosisregistratiesystemen, als ook toepasbaar is voor ziekenhuizen met een laag aantal kinder-CT-onderzoeken.

Een tweeledige werkwijze past hier het best bij: 1) er wordt een leeftijdsafhankelijke DRN-curve opgesteld waarbij alle verzamelde data van de ziekenhuizen gebruikt kan worden, ook wanneer er voor een bepaalde leeftijdscategorie weinig gegevens zijn en 2) uit deze DRN-curve worden de te toetsen dosiswaarden van het eigen instituut per leeftijdscategorie afgeleid.

Door te kiezen voor deze aanpak kunnen 1) ziekenhuizen de DRN-curve gebruiken om bij handmatige verzameling of na export van dosisgegevens uit een dosisregistratiesysteem de verzamelde gegevens per leeftijd te plotten op de DRN-curve en/ of kunnen 2) ziekenhuizen de DRN-toets per leeftijdscategorie implementeren in het dosisregistratiesysteem. Ook kunnen Nederlandse DRN-waarden vergeleken worden met Europese DRN-waarden.

Vervolgonderzoek is nodig voordat een gewicht-, SSDE- of WED-gebaseerde categorie-indeling overwogen kan worden.

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

De patiënt vindt het belangrijk goed geïnformeerd te worden over de reden van het onderzoek, over wat er gaat gebeuren, over mogelijke risico's van het onderzoek en het effect op zijn of haar dagelijkse leven op de korte zowel als op de lange termijn. Deze risico's en de communicatie daarvan met de patiënt dienen te worden besproken met de aanvragend specialist en worden beschreven in de [richtlijn Beeldvorming met ioniserende straling \(NVKF, 2021\)](#). Voor de communicatie van risico's van straling is er voor de patiënt en hun ouders/verzorgers informatie te vinden op thuisarts.nl. Om de risico's van een onderzoek met röntgenstraling zo klein mogelijk te houden, wil de patiënt een zo laag mogelijke dosis röntgenstraling ontvangen. Daarentegen is het voor de patiënt wel van belang dat de beeldkwaliteit goed genoeg is om de beelden accuraat te kunnen beoordelen. Het is wenselijk om hierin een optimale balans te vinden conform het ALARA principe (as low as reasonably achievable) (United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), 2021; Bbs, 2017)).

Om als ziekenhuis te weten of optimale instellingen gebruikt worden, kan de stralingsdosis vergeleken worden met landelijke referentieniveaus (DRN's). Voor kinderen is het extra belangrijk dat ze niet te veel dosis krijgen. Daarom zijn er referentiewaarden opgesteld voor de meest voorkomende beeldvormende onderzoeken met röntgenstraling bij kinderen. Dankzij DRN's kunnen ziekenhuizen toetsen hoeveel dosis zij geven ten opzichte van het vastgestelde referentieniveau. Hierdoor kunnen zij de patiëntdosis optimaliseren en worden eventuele verschillen tussen ziekenhuizen in de hoeveelheid straling die nodig is per onderzoek geminimaliseerd (ICRP, 2017; European Commission, 2018). DRN's zijn niet bedoeld als dosislimiet voor de individuele patiënt.

Patiënten en hun ouders/verzorgers kunnen worden geïnformeerd over het bestaan van DRN-waarden. Ziekenhuizen zijn verplicht hun eigen dosiswaarde hieraan te toetsen.

Kosten (middelenbeslag)

Het aanpassen van de stralingsdosis zal niet leiden tot hogere kosten van het onderzoek. Het gebruik van een optimale stralingsdosis zal zorgen voor zo min mogelijk negatieve effecten van stralingsbelasting, waardoor de zorgkosten op langere termijn ook laag blijven.

Er is een minimale uitbreiding van de urenbesteding (minder dan een dagdeel) voor medewerkers die DRN's toetsingen uitvoeren, nu er meer kinderDRN's zijn ten opzichte van de vorige kinderDRN's. Deze minimale uitbreiding is heel gemakkelijk te verantwoorden ten opzichte van de meerwaarde van het toetsen van DRN's.

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

De werkgroep verwacht geen problemen ten aanzien van de aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie van deze richtlijn voor kinder-DRN's gezien de bereidheid die ziekenhuizen eerder hebben laten zien bij het toetsen van hun dosisgrootheden aan al

bestaande DRN's. DRN's worden al jaren gebruikt en zijn algemeen geaccepteerd als dosisvergelijking/ optimalisatie tool. In de Nederlandse wet staat bijvoorbeeld dat er periodiek getoetst moet worden ten opzichte van referentieniveaus. Juist omdat het nu mogelijk wordt bij zeer kleine aantallen toch aan de DRN-curve te toetsen is de verwachting dat meer ziekenhuizen kunnen deelnemen, bijvoorbeeld ziekenhuizen die in het verleden door de eis van minstens tien patiënten én de scherpe leeftijdscategorie niet voldoende patiënten hadden voor een periodieke toetsing. Voor de in deze richtlijn met behulp van de curve-methode opgestelde DRN's is een tool (zie bijlagen "Gebruik implementatietool CT voor toetsing aan kinder-DRN's" en 'Implementatietool CT" van deze module) ontwikkeld die het controleren van de DRN's mogelijk maakt voor ziekenhuizen die slechts enkele onderzoeken per jaar uitvoeren.

Aanbeveling

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de diagnostische procedures

In de wetgeving is opgenomen dat het toetsen aan DRN's verplicht is. Er is dus een zeer sterke aanbeveling om de DRN's te gebruiken. Hiervoor moeten wel adequate en passende DRN's beschikbaar zijn. Deze richtlijn geeft waarden voor de DRN's voor veelgebruikte kinderprotocollen bij CT. De DRN's zijn gebaseerd op data-analyse van 20 Nederlandse ziekenhuizen, waaronder enkele grote academische centra die veel kinderen scannen.

Ziekenhuizen moeten periodiek toetsen of ze voldoen aan de DRN's. Hiervoor kunnen ze een waarde of een curve gebruiken. Door deze tweeledige systematiek zal het voor ziekenhuizen makkelijker worden om te toetsen aan de kinder-DRN.

De voordelen van het gebruik van een landelijke DRN is dat er betere sturing op lage stralingsbelasting bij kinderen mogelijk is. De nieuwe DRN (die een bestaande Nederlandse kinder-DRN vervangt) is aangepast aan onderzoeken met recente radiologische apparatuur en beter in lijn met de werkelijk haalbare dosis. De nieuwe Nederlandse DRN is lager dan de Europese "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PIDRL) (European Commission, 2018) en ook lager dan in veel wetenschappelijke studies. Het gebruik van de geadviseerde DRN's gaat ervoor zorgen dat in Nederland gestuurd gaat worden op optimalisatie van stralingsdosis bij kinderen.

Toets voor protocol CT hersenen, CT CWK (cervicale wervelkolom), CT thorax en CT abdomen aan de vastgestelde DRN's in onderstaande tabel 8 en 9 en neem eventueel maatregelen als de DRN niet gehaald wordt.*

Tabel 8 Exponentiële functies voor de DRN-curves CT protocollen – CTDI_{vol} (mGy)

Protocol	CTDI _{vol} (leeftijd)
Hersenen	$18,0 \times e^{(0,05 \times \text{leeftijd})}$
CWK	$1,7 \times e^{(0,07 \times \text{leeftijd})}$
Thorax	$0,6 \times e^{(0,09 \times \text{leeftijd})}$
Abdomen	$0,7 \times e^{(0,13 \times \text{leeftijd})}$

Zie voor visuele curves figuur 5 in de overwegingen.

Tabel 9 Exponentiële functies voor de DRN-curves CT protocollen – DLP (mGy x cm)

Protocol	DLP (leeftijd)
Hersenen	$327,0 \times e^{(0,04 \times \text{leeftijd})}$
CWK	$36,6 \times e^{(0,12 \times \text{leeftijd})}$
Thorax	$9,6 \times e^{(0,14 \times \text{leeftijd})}$

Abdomen	$26,8 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$
----------------	--

Zie voor visuele curves figuur 6 in de overwegingen.

** aan de hand van de implementatietool (zie bijlagen "Gebruik implementatietool CT voor toetsing aan kinder-DRN's" en "Implementatietool CT" van deze module)*

Literatuur

- Alkhorayef M. Survey of paediatric imaging exposure from computed tomography examinations. Radiation Physics and Chemistry [Internet]. 2020;167:108261. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X18314518>
- Almén A, Guðjónsdóttir J, Heimland N, Højgaard B, Waltenburg H, Widmark A. Establishing paediatric diagnostic reference levels using reference curves - A feasibility study including conventional and CT examinations. Phys Med. 2021 Jul;87:65-72. doi: 10.1016/j.ejmp.2021.05.035. Epub 2021 Jun 9. PMID: 34118729.
- Almén A, Guðjónsdóttir J, Heimland N, Højgaard B, Waltenburg H, Widmark A. Paediatric diagnostic reference levels for common radiological examinations using the European guidelines. Br J Radiol. 2022 Feb 1;95(1130):20210700. doi: 10.1259/bjr.20210700. Epub 2021 Dec 13. PMID: 34898256; PMCID: PMC8822550.
- American Association of Physicists in Medicine. Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations. United States, 2011. Rapport https://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_204.pdf
- Anna H, Wallace A, Thomas P. Validation of the Australian diagnostic reference levels for paediatric multi detector computed tomography: a comparison of RANZCR QUDI data and subsequent NDRLS data from 2012 to 2015. Australas Phys Eng Sci Med. 2017 Mar;40(1):101-114. doi: 10.1007/s13246-016-0508-0. Epub 2016 Dec 19. PMID: 27995545.
- Ataç GK, Parmaksız A, İnal T, Bulur E, Bulgurlu F, Öncü T, Gündoğdu S. Patient doses from CT examinations in Turkey. Diagn Interv Radiol. 2015 Sep-Oct;21(5):428-34. doi: 10.5152/dir.2015.14306. PMID: 26133189; PMCID: PMC4557329.
- Bbs: Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming. (2017, 23 oktober). Geraadpleegd van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040179>.
- Benmessaoud M, Dadouch A, Talbi M, Tahiri M, El-Ouardi Y. Diagnostic Reference Levels for Paediatric Head Computed Tomography in Morocco: A Nationwide Survey. Radiat Prot Dosimetry. 2020 Nov 14;ncaa170. doi: 10.1093/raddos/ncaa170. Epub ahead of print. PMID: 33188405.
- Céliier D, Roch P, Etard C, Ducou Le Pointe H, Brisse HJ. Multicentre survey on patient dose in paediatric imaging and proposal for updated diagnostic reference levels for France. Part 1: computed tomography. Eur Radiol. 2020 Feb;30(2):1156-1165. doi: 10.1007/s00330-019-06405-3. Epub 2019 Sep 5. PMID: 31486877.
- European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.
- European Commission, European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. Publications Office of the European Union, 1996. Rapport. ISBN 92-827-7843-6. Beschikbaar via: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/47eb62b0-698d-4166-bc34-cc3f8d07d2e3>
- Hwang JY, Choi YH, Yoon HM, Ryu YJ, Shin HJ, Kim HG, Lee SM, You SK, Park JE. Establishment of Local Diagnostic Reference Levels of Pediatric Abdominopelvic and Thorax CT Examinations Based on the Body Weight and Size in Korea. Korean J Radiol.

- 2021 Jul;22(7):1172-1184. doi: 10.3348/kjr.2020.0890. Epub 2021 Apr 1. PMID: 33856132; PMCID: PMC8236355.
- ICRP, 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1).
- Järvinen H, Seuri R, Kortensniemi M, Lajunen A, Hallinen E, Savikurki-Heikkilä P, Laarne P, Perhomaa M, Tyrväinen E. Indication-based national diagnostic reference levels for paediatric CT: a new approach with proposed values. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015 Jul;165(1-4):86-90. doi: 10.1093/rpd/ncv044. Epub 2015 Apr 1. PMID: 25833898.
- Kanal KM, Butler PF, Chatfield MB, Wells J, Samei E, Simanowith M, Golden D, Gress DA, Burleson J, Sensakovic WF, Strauss KJ, Frush D. U.S. Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses for 10 Pediatric CT Examinations. *Radiology*. 2022 Jan;302(1):164-174. doi: 10.1148/radiol.2021211241. Epub 2021 Oct 26. Erratum in: *Radiology*. 2022 Jan;302(1):E6. PMID: 34698569.
- Kiljunen T, Järvinen H, Savolainen S. Diagnostic reference levels for thorax X-ray examinations of paediatric patients. *Br J Radiol*. 2007 Jun;80(954):452-9. doi: 10.1259/bjr/60918774. PMID: 17684076.
- Kim JS, Lee SK, Kim SK, Yoo SM, Kim JM, Yoon SW. National diagnostic reference levels and achievable doses for 13 adult CT protocols and a paediatric head CT protocol: national survey of Korean hospitals. *Radiat Prot Dosimetry*. 2019 Dec 31;187(2):220-229. doi: 10.1093/rpd/ncz156. PMID: 31322696.
- Kim M, Chang K, Hwang J, Nam Y, Han D, Yoon J. Radiation dose for pediatric and young adult ct: a survey to establish age-based reference levels of 2015-2016 in Korea. *Radiat Prot Dosimetry*. 2017 Jun 15;175(2):228-237. doi: 10.1093/rpd/ncw289. PMID: 27886991.
- Korir GK, Wambani JS, Korir IK, Tries MA, Boen PK. National diagnostic reference level initiative for computed tomography examinations in Kenya. *Radiat Prot Dosimetry*. 2016 Feb;168(2):242-52. doi: 10.1093/rpd/ncv020. Epub 2015 Mar 19. PMID: 25790825; PMCID: PMC4884875.
- Kritsaneepaiboon S, Trinavarat P, Visrutaratna P. Survey of pediatric MDCT radiation dose from university hospitals in Thailand: a preliminary for national dose survey. *Acta Radiol*. 2012 Sep 1;53(7):820-6. doi: 10.1258/ar.2012.110641. Epub 2012 Jul 20. PMID: 22821958.
- Matsunaga Y, Chida K, Kondo Y, Kobayashi K, Kobayashi M, Minami K, Suzuki S, Asada Y. Diagnostic reference levels and achievable doses for common computed tomography examinations: Results from the Japanese nationwide dose survey. *Br J Radiol*. 2019 Feb;92(1094):20180290. doi: 10.1259/bjr.20180290. Epub 2018 Oct 24. PMID: 30306794; PMCID: PMC6404832.
- McCullough C, Bakalyar DM, Bostani M, Brady S, Boedeker K, Boone JM, Chen-Mayer HH, Christianson OI, Leng S, Li B, McNitt-Gray MF, Nilsen RA, Supanich MP, Wang J. Use of Water Equivalent Diameter for Calculating Patient Size and Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in CT: The Report of AAPM Task Group 220. *AAPM Rep*. 2014 Sep;2014:6-23. PMID: 27546949; PMCID: PMC4991550.
- Mokubangele CM, Ebongue AN, Ouogue F, Bongue D, Moifo B. Evaluation of irradiation doses delivered to patients in computed tomography examinations in 10 radiology departments in Douala-Cameroon. *Radiat Prot Dosimetry*. 2020 Dec 3;191(3):288-295. doi: 10.1093/rpd/ncaa124. PMID: 33095233.
- NVKF 2021. Richtlijn Beeldvorming met ioniserende straling. Beoordeeld: 13-10-2021. Link: https://richtlijnen database.nl/richtlijn/beeldvorming_met_ioniserende_straling_risico_s_communicatie_en_afscherming/startpagina_-_beeldvorming_met_ioniserende_straling.html

- Priyanka, Kadavigere R, Sukumar S, Pendem S. Diagnostic reference levels for computed tomography examinations in pediatric population - A systematic review. *J Cancer Res Ther.* 2021 Jul-Sep;17(4):845-852. doi: 10.4103/jcrt.JCRT_945_20. PMID: 34528530.
- Rawashdeh M, Abdelrahman M, Zaitoun M, Saade C, Alewaidat H, McEntee MF. Diagnostic reference levels for paediatric CT in Jordan. *J Radiol Prot.* 2019 Aug 28;39(4):1060-1073. doi: 10.1088/1361-6498/ab3ee2. Epub ahead of print. PMID: 31469115.
- Santos J, Foley S, Paulo G, McEntee MF, Rainford L. The establishment of computed tomography diagnostic reference levels in Portugal. *Radiat Prot Dosimetry.* 2014;158(3):307-17. doi: 10.1093/rpd/nct226. Epub 2013 Sep 15. PMID: 24043875.
- Saravanakumar A, Vaideki K, Govindarajan KN, Jayakumar S, Devanand B. Assessment of Regional Pediatric Computed Tomography Dose Indices in Tamil Nadu. *J Med Phys.* 2017 Jan-Mar;42(1):48-54. doi: 10.4103/0971-6203.202425. PMID: 28405108; PMCID: PMC5370338.
- Schegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Rofo.* 2019 Aug;191(8):739-751. English, German. doi: 10.1055/a-0824-7603. Epub 2019 Jan 21. PMID: 30665250.
- STUK S/4/2019. Radiation and nuclear safety authority regulation on justification assessment and optimisation of radiation protection in medical exposure. 2019 Apr 5. Geraadpleegd van https://www.stuklex.fi/fi/STUK-S-4-2019_annex.pdf.
- Suliaman A. Establishment of diagnostic reference levels in computed tomography for paediatric patients in Sudan: a pilot study. *Radiat Prot Dosimetry.* 2015 Jul;165(1-4):91-4. doi: 10.1093/rpd/ncv109. Epub 2015 Apr 1. PMID: 25836694.
- Tabatabaei SMH, Talari H, Gholamrezanezhad A, Farhood B, Rahimi H, Razzaghi R, Mehri N, Rajebi H. A low-dose chest CT protocol for the diagnosis of COVID-19 pneumonia: a prospective study. *Emerg Radiol.* 2020 Dec;27(6):607-615. doi: 10.1007/s10140-020-01838-6. Epub 2020 Aug 13. PMID: 32789807; PMCID: PMC7424559.
- Takei Y, Miyazaki O, Matsubara K, Shimada Y, Muramatsu Y, Akahane K, Fujii K, Suzuki S, Koshida K. Nationwide survey of radiation exposure during pediatric computed tomography examinations and proposal of age-based diagnostic reference levels for Japan. *Pediatr Radiol.* 2016 Feb;46(2):280-5. doi: 10.1007/s00247-015-3474-x. PMID: 26494635.
- Thakur Y, Bjarnason TA, Baxter P, Griffith M, Eaton K. Radiation Dose Survey for Common Computed Tomography Exams: 2013 British Columbia Results. *Can Assoc Radiol J.* 2016 Feb;67(1):88-95. doi: 10.1016/j.carj.2015.07.002. Epub 2015 Nov 19. PMID: 26608253.
- United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), Title 10, Section 20.1003, of the Code of Federal Regulations. 24 Mar 2021. Link: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/part020-1003.html>
- van der Merwe CM, Mahomed N. An audit of radiation doses received by paediatric patients undergoing computed tomography investigations at academic hospitals in South Africa. *SA J Radiol.* 2020 Oct 16;24(1):1823. doi: 10.4102/sajr.v24i1.1823. PMID: 33240540; PMCID: PMC7669994.
- Vassileva J, Rehani M, Kostova-Lefterova D, Al-Naemi HM, Al Suwaidi JS, Arandjic D, Bashier EH, Kodlulovich Renha S, El-Nachef L, Aguilar JG, Gershan V, Gershkevitch E, Gruppetta E, Hustuc A, Jauhari A, Kharita MH, Khelassi-Toutaoui N, Khosravi HR, Khoury H, Kralik I, Mahere S, Mazuoliene J, Mora P, Muhogora W, Muthuvelu P, Nikodemova D, Novak L, Pallewatte A, Pekarovič D, Shaaban M, Shelly E, Stepanyan K, Thelsy N, Visrutaratna P, Zaman A. A study to establish international diagnostic reference levels for paediatric computed tomography. *Radiat Prot Dosimetry.* 2015 Jul;165(1-4):70-80. doi: 10.1093/rpd/ncv116. Epub 2015 Apr 1. PMID: 25836685.

- Verdun FR, Gutierrez D, Vader JP, Aroua A, Alamo-Maestre LT, Bochud F, Gudinchet F. CT radiation dose in children: a survey to establish age-based diagnostic reference levels in Switzerland. *Eur Radiol.* 2008 Sep;18(9):1980-6. doi: 10.1007/s00330-008-0963-4. Epub 2008 Apr 4. PMID: 18389242.
- Wagner F, Bize J, Racine D, Le Coultre R, Verdun F, Trueb PR, Treier R. Derivation of new diagnostic reference levels for neuro-paediatric computed tomography examinations in Switzerland. *J Radiol Prot.* 2018 Sep;38(3):1013-1036. doi: 10.1088/1361-6498/aac69c. Epub 2018 May 22. PMID: 29786616.
- Worrall M, Holubinka M, Havariyoun G, Hodgson K, Edyvean S, Holroyd J, Davis A, Dunn M, Gardiner A. Analysis and results from a UK national dose audit of paediatric CT examinations. *Br J Radiol.* 2022 Jan 1;95(1129):20210796. doi: 10.1259/bjr.20210796. Epub 2021 Nov 19. PMID: 34767475; PMCID: PMC8722233.
- Zamani H, Kavousi N, Masjedi H, Omid R, Rahbar S, Perota G, Razavi E, Zare MH, Abedi-Firouzjah R. Estimation of diagnostic reference levels and achievable doses for pediatric patients in common computed tomography examinations: a multi-center study. *Radiat Prot Dosimetry.* 2021 Aug 2;194(4):214-222. doi: 10.1093/rpd/ncab093. PMID: 34244802.

**Bijlagen bij module CT
Implementatieplan CT**

Aanbeveling	Tijdspad voor implementatie: < 1 jaar, 1 tot 3 jaar of > 3 jaar	Verwacht effect op kosten	Randvoorwaarden voor implementatie (binnen aangegeven tijdspad)	Mogelijke barrières voor implementatie ¹	Te ondernemen acties voor implementatie ²	Verantwoordelijken voor acties ³	Overige opmerkingen
<p>Toets voor protocol CT hersenen, CT CWK, CT thorax en CT abdomen aan de vastgestelde DRN's in tabel 8 en 9 <i>en neem eventueel maatregelen als de DRN niet gehaald wordt</i> aan de hand van de implementatietool (zie bijlagen "Gebruik implementatietool CT voor toetsing aan kinder-DRN's" en "Implementatietool CT" van deze module).</p>	<p>1 tot 3 jaar</p>	<p>Geen</p>	<p>Bekendheid met de richtlijn en implementatietool.</p>	<p>Door de wijze waarop DRN wordt opgesteld (75% dosiswaarden) voldoet een deel van de ziekenhuizen per definitie niet direct aan de DRN's.</p>	<p>Verspreiden van richtlijn en implementatietool.</p> <p>Voldoende kennis bij zorgverleners.</p> <p>Controleren aanbeveling tijdens kwaliteitsvisitatie.</p>	<p>Beroepsverenigingen (NVKF, NVMBR, NVVR)</p>	<p>Geen</p>

Methodiek CT

De basis voor bepaling van nationale DRN's voor Bucky, Doorlichting en CT is de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PIDRL) (European Commission, 2018).

In deze bijlage is beschreven hoe de CT-data is verzameld, voor welke protocollen (anatomische regio's) de DRN's zijn bepaald, welke leeftijdscategorieën van toepassing zijn en aan de hand van welke dosisgrootte DRN's zijn vastgesteld. In de context van het bepalen van DRN's bedoelen we met "protocol" een enkele CT-scan uit een radiologisch onderzoek dat uit een enkele scan of een serie van scans bestaat. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de DRN's zijn bepaald met behulp van een model van de leeftijdsafhankelijkheid van de dosiswaarden (curvemethode).

Dataverzameling

Om de DRN's te kunnen bepalen is de volgende minimale set van parameters ten aanzien van uitgevoerde radiologische onderzoeken uitgevraagd aan de deelnemende ziekenhuizen (zie tabellen S1.1 en S1.2).

Tabel S1.1: Uitgevraagde variabelen

Voor bepaling DRN benodigde informatie	
Patiënt	Geboortedatum of leeftijd op datum van onderzoek
	Onderzoeksdatum/tijd
Radiologische verrichting	Protocolnaam
Dosis	CTDI _{vol} (mGy)
	DLP (mGy x cm ²)

Tabel S1.2: Uitgevraagde protocollen

Anatomische regio*
Hoofd
Nek
Thorax
Abdomen

* Op basis van de aangeleverde informatie was het niet altijd mogelijk om verder onderscheid te maken in type CT-scan of procedure. Gedetailleerde informatie over de geïnccludeerde protocollen is op aanvraag beschikbaar.

Data is verzameld van opnamen die zijn gemaakt in de periode van 1-1-2017 tot 1-6-2021. Wanneer een ziekenhuis de beschikking had over een automatisch dosisregistratiesysteem is gevraagd alle in die periode opgeslagen data aan te leveren. Bij handmatige registratie werd verzocht data van de laatste tien onderzoeken per leeftijdsgroep aan te leveren (zie onderstaande tabel) teruggellend vanaf 1-6-2021. Voor protocollen waarvoor dit aantal niet werd gehaald, is verzocht om alle beschikbare data aan te leveren die in de bovengenoemde periode kon worden verzameld.

Data-cleaning

De methode van aanlevering van data verschilde per centrum. Voor elk individueel centrum is de data opgeschoond. Hierbij zijn de volgende standaarden in acht genomen:

- Per beeldvormend onderzoek is op basis van de aangeleverde gegevens bepaald onder welk protocol deze geschaard kon worden. Wanneer er onduidelijkheid

bestond over het protocol, is de data verwijderd. Daarnaast werden ook topogrammen geëxcludeerd.

- CT hoofd: Inclusiecriteria voor CT hoofd waren CT hersenen, CT schedel, CT cerebrum of CT hoofd. CT sinus, CT orbita, CT aangezicht, CT CWK, CT kaak, CT mastoid en dergelijke protocollen zijn geëxcludeerd. De DRN is verder gebaseerd op één onderzoek door het hoofd (dus als er meerdere onderzoeken werden uitgevoerd, bijvoorbeeld met en zonder contrast, is er één onderzoek geïncludeerd).
- CT CWK: Inclusiecriteria voor CT CWK waren alle protocollen met CWK of cervicale wervelkolom. Alle andere protocollen zijn geëxcludeerd.
- CT thorax: Inclusiecriteria voor CT thorax waren CT thorax en CT thorax blanco, dus zonder toevoegingen. Bijvoorbeeld CTA thorax, CT thorax HR, CT thorax, CT thorax longembolie en dergelijke zijn geëxcludeerd.
- CT abdomen: Inclusiecriteria voor CT abdomen waren CT abdomen, CT abdomen veneus en CT abdomen blanco. Exclusiecriteria waren CT abdomen arterieel, CT abdomen nieren, CT abdomen low dose, CT nieren en dergelijken. De DRN is verder gebaseerd op één onderzoek door het abdomen (dus als er meerdere onderzoeken werden uitgevoerd, bijvoorbeeld in meerdere fases is er één onderzoek geïncludeerd).
- Bij verschillende ziekenhuizen werden meerdere scans per beeldvormend onderzoek per patiënt aangeleverd. De CT-scan met de hoogste DLP-waarde is meegenomen in de analyses.
- Beeldvormende onderzoeken waarbij geen leeftijd op de onderzoeksdatum of DLP werd aangeleverd, of een DLP gelijk aan 0 mGy*cm werd aangeleverd, zijn geëxcludeerd.
- Voor elk onderzoek werd de leeftijd in jaren op de onderzoeksdatum bepaald. Voor de analyses werden de leeftijdscategorieën uit tabel S1.3 aangehouden.
- Voor de analyses van de $CTDI_{vol}$ is uitgegaan van onderzoeken waarbij ook DLP-waarden aanwezig waren en daarnaast een $CTDI_{vol}$ -waarde groter dan 0 mGy was aangeleverd.
- De eenheden van de DLP en $CTDI_{vol}$ waarden werden, indien niet zodanig aangeleverd, alle omgerekend naar respectievelijk mGy*cm en mGy.

Tabel S1.3: Leeftijdscategorieën

Leeftijdsgroepen voor protocollen
0 tot 1 maand
1 maand tot 4 jaar
4 tot 10 jaar
10 tot 14 jaar
14 tot 18 jaar

Bepaling DRN

Bij de “traditionele” methode voor het bepalen van de DRN’s wordt per ziekenhuis de mediaan bepaald van de relevante dosisparameter voor een bepaald protocol en leeftijdsgroep. Hierna wordt van de voor alle ziekenhuizen bepaalde medianen, het 75^e percentiel voor een bepaald protocol en leeftijdsgroep bepaald als DRN. Uitgangspunt daarbij is dat er per ziekenhuis minimaal 10 dosiswaarden per protocol en leeftijdsgroep beschikbaar zijn. In de uitvraag bleek dat vaak niet het geval. Om voor alle protocollen dosisgrootheden te kunnen genereren, die gebruikt kunnen worden voor DRN bepaling, is

ervoor gekozen om een exponentieel model van dosisgrootte versus leeftijd te fitten aan de beschikbare verzamelde dosisgroottes. De methode werkt als volgt:

1. Voor een bepaald protocol wordt voor elk ziekenhuis een quantiele regressie uitgevoerd, gebaseerd op een exponentiële curve, om de mediaancurve te bepalen van dosisgrootte versus leeftijd. Om de fit met voldoende betrouwbaarheid te kunnen maken is een minimum van tien gesteld aan het aantal datapunten (leeftijd, dosis) en een verdeling van de datapunten over leeftijdsinterval van minimaal vijf jaren (en daarmee meerdere leeftijdscategorieën). Op basis van visuele inspectie door de werkgroep was hiermee voldoende leeftijdsbereik van de curves.
2. Per ziekenhuis worden op basis van de in de 1^e stap bepaalde curve 1800 datapunten gesampled.
3. Er wordt opnieuw een quantiele regressie uitgevoerd op de in de 2^e stap gegenereerde datapunten, om de 75^e percentielcurve te bepalen als DRN-curve. Bij deze regressie wordt een weging per centrum toegepast evenredig met het aantal in een standaardperiode aangeleverde onderzoeken voor het onderhavige protocol.

Om de vergelijking met Europese of andere internationale DRN's mogelijk te maken zijn ook discrete DRN-waarden bepaald uit de 75^e percentiel exponentiele DRN-curves op basis van de DRN-waarde bij de mediane leeftijd binnen een leeftijdsinterval.

Alle statistische analyses zijn uitgevoerd in het softwarepakket R. (R, versie nr. 4.2.0). In R is de quantiele regressie geïmplementeerd op basis van het Barrodale and Roberts algorithm (Koenker, 1987; Koenker 1994).

Literatuurreferenties

European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Koenker, R. W., & d'Orey, V. (1987). Algorithm AS 229: Computing regression quantiles. *Applied statistics*, 383-393.

Koenker, R., & d'Orey, V. (1994). Remark AS R92: A remark on algorithm AS 229: Computing dual regression quantiles and regression rank scores. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 43(2), 410-414.

Resultaten CT

Op basis van de beschreven methodiek in bijlage “Methodiek CT” van deze module zijn kinder diagnostische referentieniveaus (DRN) curves bepaald voor de leeftijdscategorieën conform de Europese richtlijn “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” (PiDRL) (European Commission, 2018). De resultaten voor computed tomography dose index (CTDI_{vol}) en dose-length product (DLP) zijn vastgesteld per protocol (hersenen, CWK, thorax en abdomen) en weergegeven op drie manieren:

- (1) Exponentiële functies voor de DRN-curves (tabel S2.1 voor CTDI_{vol} en tabel S2.3 voor DLP),
- (2) tabellen met DRN-waarden op basis van mediane leeftijden (tabel S2.2 voor CTDI_{vol} en tabel S2.4 voor DLP),
- (3) grafieken met DRN-curves per protocol (figuur S2.1 - 4 voor CTDI_{vol} en figuur S2.5-8 voor DLP).

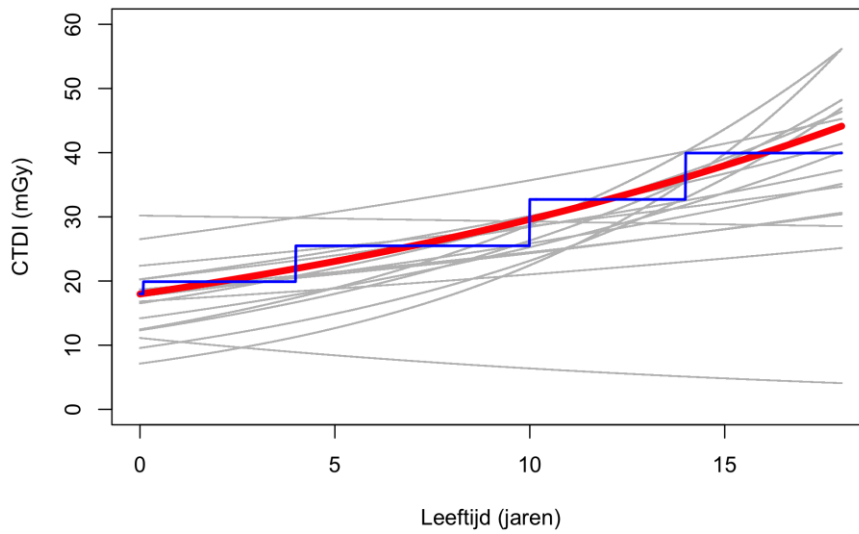
CTDI_{vol}

Tabel S2.1 Exponentiële functies voor de DRN-curves CT protocollen – CTDI_{vol} (mGy)

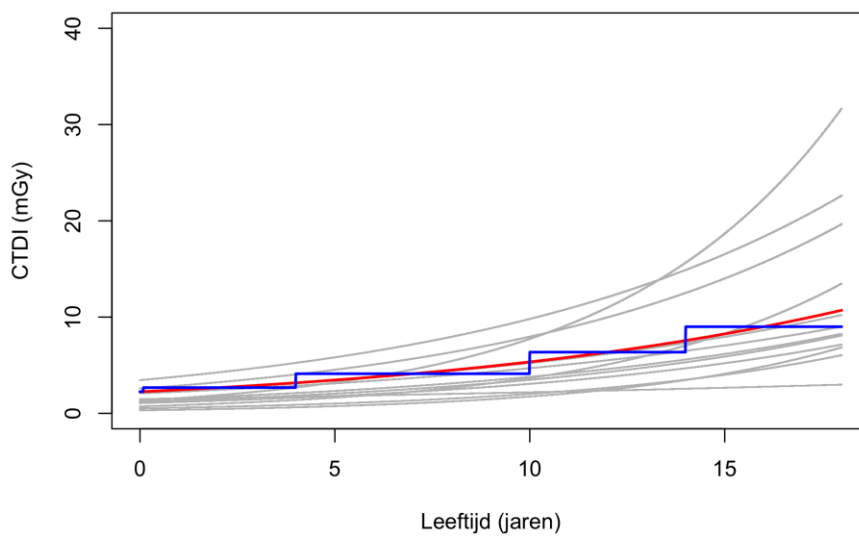
Protocol	CTDI _{vol} (leeftijd)
Hersenen	$18,0 \times e^{(0,05 \times \text{leeftijd})}$
CWK	$1,7 \times e^{(0,07 \times \text{leeftijd})}$
Thorax	$0,6 \times e^{(0,09 \times \text{leeftijd})}$
Abdomen	$0,7 \times e^{(0,13 \times \text{leeftijd})}$

Tabel S2.2 CT protocollen; gerapporteerde CTDI_{vol} (mGy) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie.

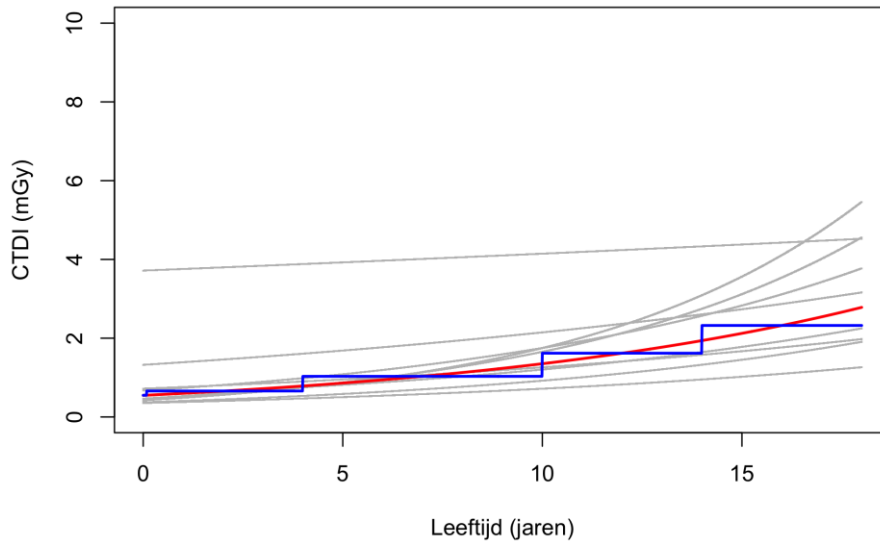
Leeftijd (mediaan)	Hersenen	CWK	Thorax	Abdomen
0-1mnd (15 dagen)	18	1,7	0,6	0,7
1mnd-4jr (24,5 maanden)	20	2,0	0,7	0,9
4-10jr (84 maanden)	25	2,7	1,0	1,8
10-14jr (144 maanden)	33	3,8	1,6	3,3
14-18jr (192 maanden)	39	4,9	2,3	5,5
Aantal Centra	16	12	10	14
Aantal academische centra	4	2	4	4
Aantal datapunten totaal	3598	688	1213	490
Aantal datapunten per centrum (gemiddelde [laagste - hoogste])	425 [28 - 3598]	106 [20 - 688]	210 [20 - 1213]	67 [10 - 490]



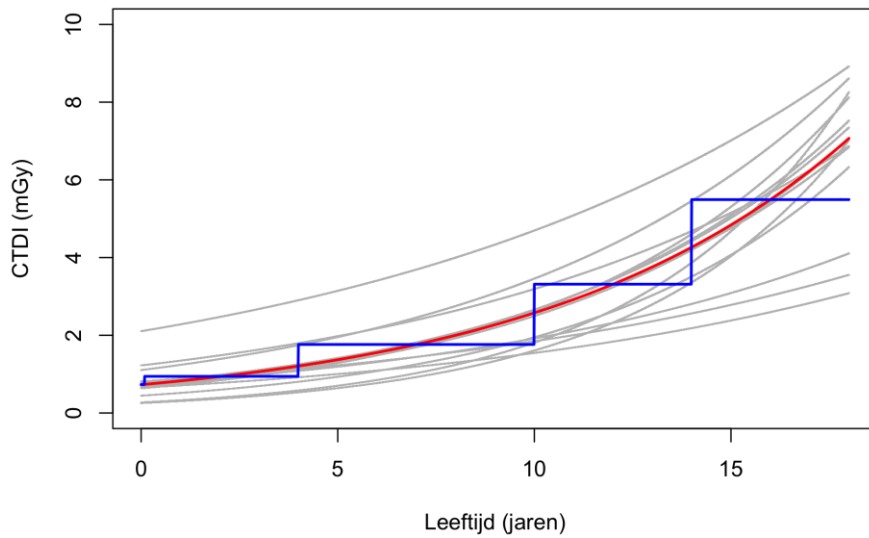
Figuur S2.1 – Vastgestelde DRN CT hersenen - $CTDI_{vol}(leeftijd) = 18,0 \times e^{(0,05 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 16 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.



Figuur S2.2 – Vastgestelde DRN CT CWK - $CTDI_{vol}(leeftijd) = 1,7 \times e^{(0,07 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 12 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.



Figuur S2.3 – Vastgestelde DRN CT thorax - $CTDI_{vol}(leeftijd) = 0,6 \times e^{(0,09 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 11 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.



Figuur S2.4 – Vastgestelde DRN CT abdomen- $CTDI_{vol}(leeftijd) = 0,7 \times e^{(0,13 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 18 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.

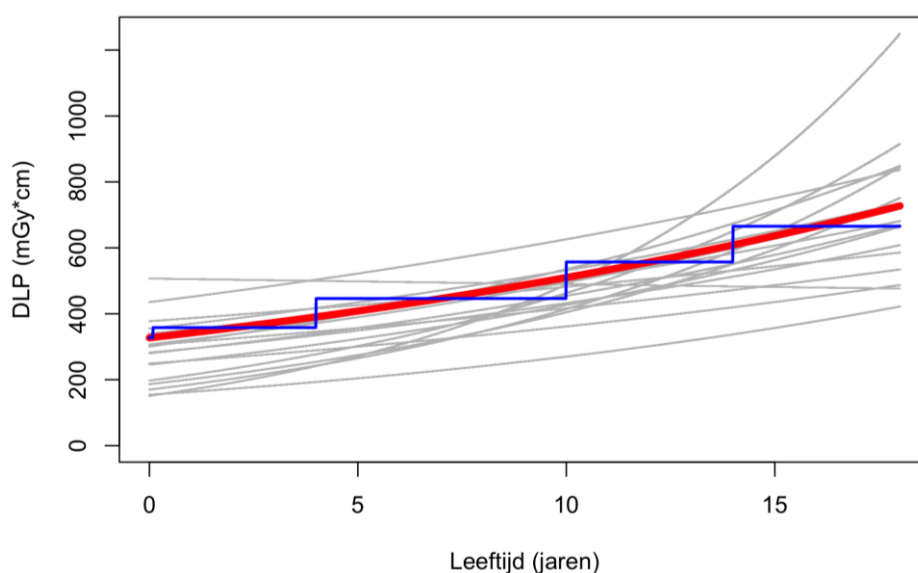
DLP

Tabel S2.3 Curves DRN CT protocollen – DLP (mGy x cm)

Protocol	DLP (leeftijd)
Hersenen	$327,0 \times e^{(0,04 \times leeftijd)}$
CWK	$36,6 \times e^{(0,12 \times leeftijd)}$
Thorax	$9,6 \times e^{(0,14 \times leeftijd)}$
Abdomen	$26,8 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$

Tabel S2.4 CT protocollen; gerapporteerde DLP (mGy x cm) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie

Leeftijd (mediaan)	Hersenen	CWK	Thorax	Abdomen
0-1mnd (15 dagen)	328	36,9	9,7	27,0
1mnd-4jr (24,5 maanden)	358	47,1	12,7	36,1
4-10jr (84 maanden)	446	86,5	24,7	74,6
10-14jr (144 maanden)	557	159,4	48,7	154,8
14-18jr (192 maanden)	665	260,0	83,6	277,6
Aantal Centra	18	14	10	14
Aantal academische centra	4	2	4	4
Aantal datapunten totaal	3852	727	1213	491
Aantal datapunten per centrum (gemiddelde [laagste - hoogste])	406 [28 - 3852]	96 [17 - 727]	210 [20 - 1213]	67 [10 - 491]



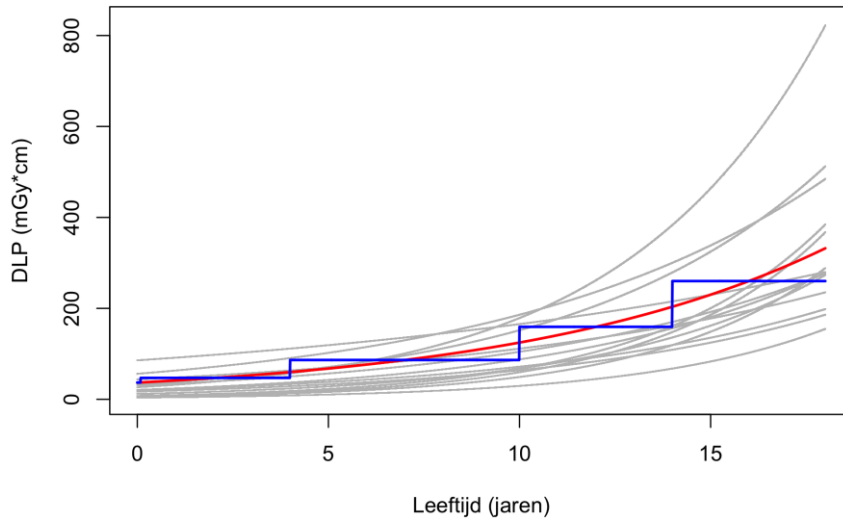
Figuur S2.5 – Vastgestelde DRN CT hersenen - $DLP(leeftijd) = 327,0 \times e^{(0,04 \times leeftijd)}$

Gebaseerd op data van 17 centra.

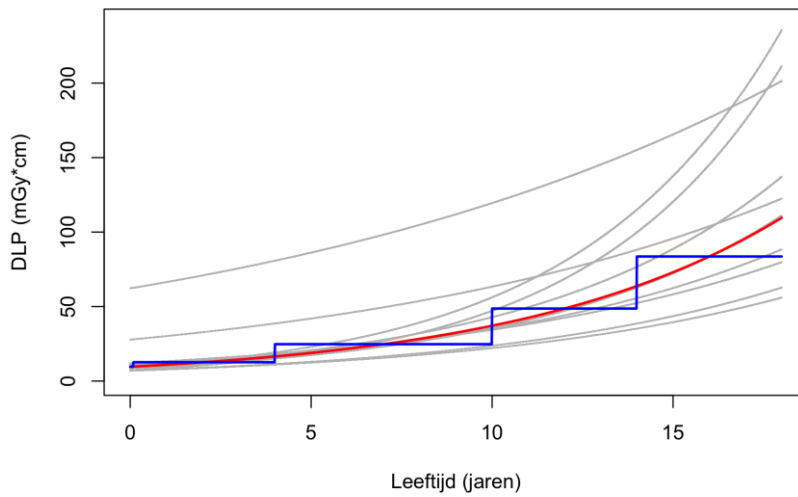
Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)

Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie

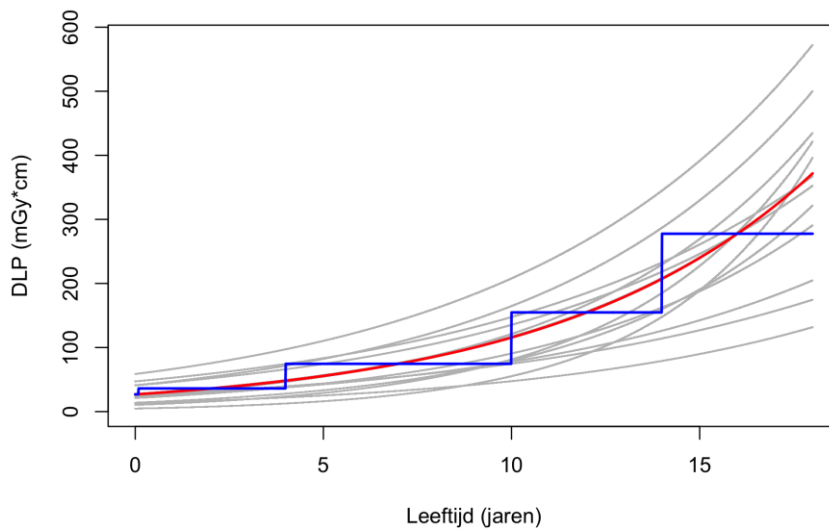
Grijze lijnen: individuele centra.



Figuur S2.6 – Vastgestelde DRN CT CWK - $DLP(\text{leeftijd}) = 36,6 \times e^{(0,12 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 14 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.



Figuur S2.7 – Vastgestelde DRN CT thorax - $DLP(\text{leeftijd}) = 9,6 \times e^{(0,14 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 10 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.



*Figuur S2.8 – Vastgestelde DRN CT abdomen – $DLP(\text{leeftijd}) = 26,8 \times e^{(0,15 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 18 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.*

Literatuurreferenties:

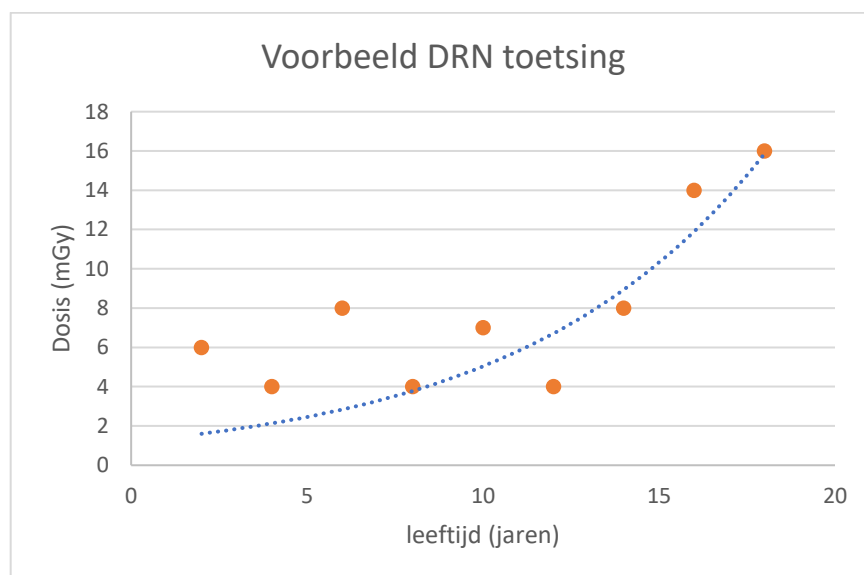
European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826
 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via
http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Gebruik implementatietool CT voor toetsing aan kinder-DRN's

In dit implementatieplan wordt besproken welke stappen er uitgevoerd moeten worden om de beeldvormende kinderonderzoeken te toetsen aan de kinder-DRN's.

Uitvoering

In de module over CT zijn DRN's gedefinieerd voor CT-protocollen op basis van een dosis-leeftijdcurve. Om als ziekenhuis de eigen dosiswaarden te toetsen aan deze curves is een Excel werkblad gemaakt dat hiervoor gebruikt kan worden, zie bijlage "Implementatietool CT" van deze module. De dosiswaarden en leeftijden van patiënten, zoals deze zijn gerapporteerd in de uitgevoerde onderzoeken, kunnen hierin worden ingevuld. Deze zullen vervolgens automatisch in de grafiek weergegeven worden. Zo wordt er gevisualiseerd hoe de individuele punten liggen ten opzichte van de DRN-curve, voor een voorbeeld zie Figuur S3.1. Er is geen minimum aan aantal data punten vereist dat benodigd is voor deze toetsing. Uiteraard geldt wel hoe meer data punten hoe betrouwbaarder de conclusie. Er is conform de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PIDRL) (European Commission, 2018) gekozen voor conclusies op basis van een situatie met < 10 patiënten en met ≥ 10 patiënten.



Figuur S3.1. Voorbeeld van toetsing aan de landelijke kinder-DRN-curve. Landelijke DRN-curve (blauwe lijn) en de dosiswaarden van een ziekenhuis (oranje punten).

Om te bepalen of het ziekenhuis voldoet aan de kinder-DRN voor een specifiek protocol, kan afhankelijk van het aantal patiënten gebruik gemaakt worden van één van onderstaande tabellen.

≥ 10 patiënten:

Individuele punten:	Conclusie:	Actie:
Meer dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet aan de DRN-waarde*	Geen actie nodig.
Minder dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet niet aan de DRN-waarde*	Zijn er speciale omstandigheden waardoor gebruik van een hogere dosis verklaard kan worden, i.e. fors(e) kind(eren), ander onderzoek? Zo niet, de protocollen nakijken.
Meerdere punten ver onder de DRN-curve	Voldoet aan de DRN-waarde, maar mogelijk onvoldoende diagnostische kwaliteit	Zijn er speciale omstandigheden, i.e. heel klein kind, ander onderzoek of vraagstelling? Eventueel de protocollen nakijken.

* hierbij kan de nuance gemaakt worden dat als een bepaalde leeftijdscategorie wel wordt voldaan aan de DRN-waarde. Bv: als alle dosispunten van kinderen < 10 jaar wel onder de curve liggen en > 10 jaar erboven, in dat geval hoeft er alleen actie te worden genomen bij de > 10 jaar groep.

< 10 patiënten:

Individuele punten:	Conclusie:	Actie:
Meer dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk aan de DRN-waarde*	Geen actie nodig.
Minder dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk niet aan de DRN-waarde*	Zijn er speciale omstandigheden waardoor gebruik van een hogere dosis verklaard kan worden, i.e. fors(e) kind(eren), ander onderzoek? Zo niet, de protocollen nakijken.
Meerdere punten ver onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk aan de DRN-waarde, maar mogelijk onvoldoende diagnostische kwaliteit	Zijn er speciale omstandigheden, i.e. heel klein kind, ander onderzoek of vraagstelling? Eventueel de protocollen nakijken.

* hierbij kan de nuance gemaakt worden dat als een bepaalde leeftijdscategorie wel wordt voldaan aan de DRN-waarde. Bv: als alle dosispunten van kinderen < 10 jaar wel onder de curve liggen en > 10 jaar erboven, in dat geval hoeft er alleen actie te worden genomen bij de > 10 jaar groep.

Frequentie van kinder-DRN toetsing:

De werkgroep adviseert om minimaal jaarlijks de lokale onderzoeken aan de kinder-DRN te toetsen.

Literatuurreferenties:

European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Bijlage 4 Implementatietool CT

Deze bijlage is als losse excel bijgevoegd.

Evidence tabellen

Table of excluded studies

Reference	Reason for exclusion
Billinger, 2010	wrong radiology modality
Paulo, 2016	wrong radiology modality
Matthews, 2014	wrong radiology modality
Korir, 2014	wrong radiology modality
Smans, 2008	wrong radiology modality
Célier, 2020b	wrong radiology modality
Hart, 2009	wrong radiology modality
Forbes, 2022	wrong radiology modality
Järvinen, 2011	Updated Järvinen, 2015
Afzalipour, 2019	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Satharasinghe, 2021	wrong publication
Priyanka, 2021	wrong publication
Seuri, 2017	updated Almen 2022
Bijwaard, 2015	wrong outcome - no DRL
Compagnone, 2021	wrong outcome - no DRL
Hull, 2017	wrong design
Strauss, 2014	wrong publication
Bijwaard, 2016	wrong outcome - no DRL
De Monte, 2020	wrong outcome - no DRL
Goske, 2014	wrong publication
Brat, 2019	wrong design
Kim, 2012	wrong design
Kiljunen, 2007	missing outcome data, refers to external website
Kharita, 2010	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Bouaoun, 2018	wrong outcome - no DRL
Sonawane, 2011	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Al-Haj, 2016	wrong publication, conference abstract
Mobini, 2014	wrong publication, conference abstract
Tonkopi, 2016	wrong publication, conference abstract
Zhou, 2019	wrong outcome - no DRL
Jackson, 2015	wrong outcome - no DRL
Yakoumakis, 2013	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Yakoumakis, 2009	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Kiljunen, 2009	wrong outcome - no DRL
Thomas, 2019	wrong outcome - no DRL
Satharasinghe, 2021	Duplicate
Dabin, 2014	wrong population
Farah, 2018	wrong radiology modality, updated Forbes 2021
Fukushima, 2012	updated Takei 2016
Granata, 2012	wrong publication, poster abstract
Janbabanezhad-Toori, 2016	wrong outcome - no DRL
Kanal, 2021	updated Kanal 2022
Matsunaga, 2015	updated Matsunaga 2019
Mohiy, 2012	wrong outcome
Paulo, 2019	wrong radiology modality, same data Paulo 2016
Paulo, 2016	wrong radiology modality, same data Paulo 2016
Sage, 2021	wrong outcome
Seuri, 2014	updated Jarvinen 2015
Thomas, 2016	updated Anna 2017
Westra, 2014	wrong publication
Miyazaki, 2014	wrong population
Yamada, 2015	wrong population
Goske, 2014	wrong design
Goske, 2014	wrong design
Goske, 2012	wrong design
Goske, 2011	wrong design
Westra, 2014	wrong design

Hammond, 2021	wrong publication
Hayton, 2016	updated Anna 2017
Niiniviita, 2018	wrong design
Moorin, 2013	wrong design
Súkupová L, 2008	wrong language
Jung, 2014	wrong design
Thiele, 2016	wrong design
Vitta, 2009	wrong design
Ubeda, 2015	wrong design
Strauss, 2017	wrong outcome
Tahmasebzadeh, 2020	wrong design
Ubeda, 2012	wrong design
Kottou, 2018	wrong design

Literature search strategy

Richtlijn: Kinder DRN	
Uitgangsvraag: Welke diagnostische referentieniveaus moeten in Nederland aangehouden worden voor de 3 radiologische modaliteiten CT, bucky en doorlicht apparatuur?	
Database(s): Ovid/Medline, Embase.com (Clinical Key + Trip database)	Datum: 07-04-2022
Periode: 2002 - heden	Talen: Engels, Nederlands
Literatuurspecialist: Miriam van der Maten	
BMI-zoekblokken: voor verschillende opdrachten wordt (deels) gebruik gemaakt van de zoekblokken van BMI-Online https://blocks.bmi-online.nl/ Bij gebruikmaking van een volledig zoekblok zal naar de betreffende link op de website worden verwezen.	

Zoekopbrengst

	EMBASE	OID/MEDLINE	Ontdubbeld
SRs	13	6	13
Guideline en protocollen	184	81	181
Overige studies	270	188	313
Totaal	467	275	507

Zoekstrategie

Embase.com

No.	Query	Results
#12	#9 OR #10 OR #11	467
#11	#6 NOT (#9 OR #10)	270
#10	#6 AND #8 NOT #7	184
#9	#6 AND #7	13
#8	'practice guideline'/de OR guideline*:ti,ab,kw OR recommendation*:ti,ab,kw OR cpg:ti,ab,kw OR protocol*:ti,ab,kw	1928194
#7	'meta analysis'/exp OR 'meta analysis (topic)'/exp OR metaanaly*:ti,ab OR 'meta analy*':ti,ab OR metanaly*:ti,ab OR 'systematic review'/de OR 'cochrane database of systematic reviews'/jt OR prisma:ti,ab OR prospero:ti,ab OR (((systemati* OR scoping OR umbrella OR 'structured literature') NEAR/3 (review* OR	814860

	overview*)):ti,ab) OR ((systemic* NEAR/1 review*)):ti,ab) OR (((systemati* OR literature OR database* OR 'data base*') NEAR/10 search*)):ti,ab) OR (((structured OR comprehensive* OR systemic* NEAR/3 search*)):ti,ab) OR (((literature NEAR/3 review*)):ti,ab) AND (search*::ti,ab OR database*::ti,ab OR 'data base*':ti,ab)) OR (('data extraction':ti,ab OR 'data source*':ti,ab) AND 'study selection':ti,ab) OR ('search strategy':ti,ab AND 'selection criteria':ti,ab) OR ('data source*':ti,ab AND 'data synthesis':ti,ab) OR medline:ab OR pubmed:ab OR embase:ab OR cochrane:ab OR (((critical OR rapid) NEAR/2 (review* OR overview* OR synthes*)):ti) OR (((critical* OR rapid*) NEAR/3 (review* OR overview* OR synthes*)):ab) AND (search*::ab OR database*::ab OR 'data base*':ab)) OR metasynthes*::ti,ab OR 'meta synthes*':ti,ab	
#6	#1 AND (#2 OR #3 OR #4) AND #5 AND [2002-2022]/py NOT (('animal experiment'/exp OR 'animal model'/exp OR 'nonhuman'/exp) NOT 'human'/exp)	467
#5	'diagnostic reference level'/exp OR 'diagnostic reference level*':ti,ab,kw OR drl*::ti,ab,kw OR (((dosage OR dose) NEAR/3 'reference level*'):ti,ab,kw) OR (((dosage OR dose) NEAR/2 age):ti,ab,kw)	7593
#4	'fluoroscopy'/exp OR fluoroscop*::ti,ab,kw OR ((fluorescence NEAR/3 (radiation OR scan*)):ti,ab,kw) OR fluorophotograph*::ti,ab,kw OR photofluoroscop*::ti,ab,kw	80090
#3	'ionizing radiation'/exp OR 'radiodiagnosis'/de OR 'radiography'/de OR 'x ray'/exp OR bucky:ti,ab,kw OR roentgen:ti,ab,kw OR rontgen:ti,ab,kw OR röntgen:ti,ab,kw OR xray*::ti,ab,kw OR 'x-ray*':ti,ab,kw OR radiophotograph*::ti,ab,kw OR radiograph*::ti,ab,kw	1063771
#2	'computer assisted tomography'/exp OR 'cat scan':ti,ab,kw OR ((compute* NEAR/3 tomograph*):ti,ab,kw) OR ct:ti,ab,kw OR cts:ti,ab,kw	1544778
#1	'adolescent'/exp OR 'baby'/exp OR 'boy'/exp OR 'child'/exp OR 'minors'/exp/mj OR 'pediatric patient'/exp OR 'pediatrics'/exp OR 'schoolchild'/exp OR infan*::ti,ab,kw OR newborn*::ti,ab,kw OR 'new born*':ti,ab,kw OR perinat*::ti,ab,kw OR neonat*::ti,ab,kw OR baby*::ti,ab,kw OR babies:ti,ab,kw OR toddler*::ti,ab,kw OR minors*::ti,ab,kw OR boy:ti,ab,kw OR boys:ti,ab,kw OR boyfriend:ti,ab,kw OR boyhood:ti,ab,kw OR girl*::ti,ab,kw OR kid:ti,ab,kw OR kids:ti,ab,kw OR child*::ti,ab,kw OR children*::ti,ab,kw OR schoolchild*::ti,ab,kw OR adolescen*::ti,ab,kw OR juvenil*::ti,ab,kw OR youth*::ti,ab,kw OR teen*::ti,ab,kw OR pubescen*::ti,ab,kw OR pediatric*::ti,ab,kw OR paediatric*::ti,ab,kw OR peadiatric*::ti,ab,kw OR school:ti,ab,kw OR school*::ti,ab,kw OR 'fetus'/exp OR fetus:ti,ab,kw OR fetal:ti,ab,kw	5278649

Ovid/Medline

#	Searches	Results
12	9 or 10 or 11	275
11	6 not (9 or 10)	188
10	(6 and 8) not 9	81

9	6 and 7	6
8	exp Practice Guideline/ or (guideline* or recommendation* or cpg or protocol*).ti,ab,kf.	1186774
7	(meta-analysis/ or meta-analysis as topic/ or (metaanaly* or meta-analy* or metanaly*).ti,ab,kf. or systematic review/ or cochrane.jw. or (prisma or prospero).ti,ab,kf. or ((systemati* or scoping or umbrella or "structured literature") adj3 (review* or overview*).ti,ab,kf. or (systemic* adj1 review*).ti,ab,kf. or ((systemati* or literature or database* or data-base*) adj10 search*).ti,ab,kf. or ((structured or comprehensive* or systemic*) adj3 search*).ti,ab,kf. or ((literature adj3 review*) and (search* or database* or data-base*).ti,ab,kf. or ("data extraction" or "data source*") and "study selection").ti,ab,kf. or ("search strategy" and "selection criteria").ti,ab,kf. or ("data source*" and "data synthesis").ti,ab,kf. or (medline or pubmed or embase or cochrane).ab. or ((critical or rapid) adj2 (review* or overview* or synthes*).ti. or (((critical* or rapid*) adj3 (review* or overview* or synthes*)) and (search* or database* or data-base*).ab. or (metasynthes* or meta-synthes*).ti,ab,kf.) not (comment/ or editorial/ or letter/ or ((exp animals/ or exp models, animal/) not humans/))	557229
6	1 and (2 or 3 or 4) and 5	269
5	exp Diagnostic Reference Levels/ or 'diagnostic reference level*'.ti,ab,kf. or drl*.ti,ab,kf. or 'dose reference level*'.ti,ab,kf. or ((dosage or dose) adj2 age).ti,ab,kf.	4859
4	exp fluoroscopy/ or fluoroscop*.ti,ab,kf. or (fluorescence adj3 (radiation or scan*).ti,ab,kf. or fluorophotograph*.ti,ab,kf. or photofluoroscop*.ti,ab,kf.	46456
3	exp X-Rays/ or exp Radiography/ or exp Radiation, Ionizing/ or bucky.ti,ab,kf. or roentgen.ti,ab,kf. or r?ntgen.ti,ab,kf. or xray*.ti,ab,kf. or 'x-ray*'.ti,ab,kf. or radiophotograph*.ti,ab,kf. or radiograph*.ti,ab,kf.	1742916
2	exp Tomography, X-Ray Computed/ or (cat scan* or ct or cts).ti,ab,kf. or (compute* adj3 tomograph*).ti,ab,kf.	792499
1	(child* or schoolchild* or infan* or adolescen* or pediatri* or paediatr* or neonat* or boy or boys or boyhood or girl or girls or girlhood or youth or youths or baby or babies or toddler* or childhood or teen or teens or teenager* or newborn* or postneonat* or postnat* or puberty or preschool* or suckling* or juvenile? or fetus or fetal).tw.	2729924

Module Bucky kinder-DRN's

Uitgangsvraag

Welke diagnostische referentieniveaus moeten voor kinderen in Nederland aangehouden worden voor de beeldvormende modaliteit bucky?

Inleiding

Uit de praktijk is bekend dat er variatie bestaat in de stralingsbelasting van de beeldvormende modaliteit bucky bij kinderen. Dit biedt ruimte voor verbetering in termen van meer uniformiteit tussen de ziekenhuizen, wat wenselijk is aangezien röntgenstraling schadelijk kan zijn. Zorgvuldig gebruik is daarom belangrijk. Daarnaast kan de kwaliteit van de beelden variëren, dit is onwenselijk voor de diagnostiek. Het is de taak van de klinisch fysicus, radioloog en radiodiagnostisch laborant om de beeldkwaliteit te optimaliseren tegen een zo laag als redelijkerwijs mogelijke stralingsbelasting voor de patiënt (as low as reasonably achievable (ALARA) (United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), 2021)) conform het "Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming" (Bbs) (Bbs, 2017). Er bestaat een aantal Europese referentieniveaus, maar de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PiDRL) adviseert sterk om nationale diagnostische referentieniveaus (DRN's) te gebruiken (European Commission, 2018). Er bestaat een aantal Nederlandse kinder-DRN's, maar deze zijn gebaseerd op sterk verouderde en niet volledig Nederlandse data (beschreven in het rapport 'Stralingsbescherming in het ziekenhuis' van de Nederlandse commissie voor stralingsdosimetrie (NCS) van juni 2012). Bovendien ontbreken DRN's voor sommige protocollen die veelvuldig in de praktijk worden gebruikt, zoals wervelkolom opnames. In deze modules wordt getracht kinder-DRN's te bepalen die beter aansluiten op de huidige Nederlandse praktijk en kinder-DRN's te bepalen voor veel voorkomende protocollen waarvoor nog geen DRN gespecificeerd is.

Search and select

A systematic review of the literature was performed to answer the following question: In the current international literature, what DRLs have been established for children aged 0-18 years for radiological examination with ionizing radiation?

Population: Children aged 0-18 years (exclusion: preterm infants/ neonatal intensive care units (NICU) population)

Intervention: Radiological examinations with digital detector / flatpanel detector radiography (exclusion: nuclear diagnostics/radiotherapy/dental recording)

Comparison: Not applicable

Outcome: Diagnostic Reference Level (DRL), dose-age/weight distribution

Relevant outcome measures

The guideline development group considered Diagnostic Reference Level (DRL) as a critical outcome measure for decision making and dose-age/weight distribution as an important outcome measure for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above, but used the definitions used in the studies.

Search and select (Methods)

The databases Embase.com and Ovid/Medline were searched with relevant search terms from 01-01-2002 until 07-04-2022. The detailed search strategy is depicted under the tab

Methods. The systematic literature search resulted in 471 hits. Studies for this module were selected based on the following criteria:

- systematic reviews (searched in at least two databases, and detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available), guidelines/protocols or other studies on diagnostic reference levels for digital detector / flatpanel detector radiography;
- full-text English language publication;
- children aged ≤ 18 years;
- studies according to the PICO (Population-Intervention-Comparison-Outcome).

109 studies were initially selected based on title and abstract screening. After reading the full text, 101 studies were excluded (see the table with reasons for exclusion under the tab Methods), and 8 studies were included. Since the “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” (PiDRL) (European Commission, 2018) is a landmark publication that contains European DRLs, this was also included as a study reporting DRLs.

Results

9 studies were included in the analysis of the literature. We could not apply the GRADE method for weighting the evidence because of the non-comparative study designs.

Summary of literature

Description of studies

Table 1 describes the characteristics of the 8 conventional radiography studies included in the analysis. All studies report a DRL for the dose-area product (DAP) or an equivalent measure such as the kerma-area product (KAP or P_{KA}). Six studies derive a national DRL, two a regional DRL (Almén, 2021; Almén 2022) and one a European DRL (Smans, 2008). Most DRLs were based on patient age (usually for age brackets), although DRLs based on weight (Almén, 2022; Paulo, 2016) or weight estimates based on age (Céliér, 2020b; Schegerer, 2019) were given in four more recent publications. In terms of examination type, eight studies reported thorax DRLs, six studies reported abdomen DRLs, five studies reported pelvis DRLs, two studies reported brain DRLs and one study reported hips/joints DRLs.

To establish DRLs most studies used the third quartile values of the dose distribution for each type of examination and, if applicable, age or weight group of interest. Recent studies base their approach on the 2018 European Commission (EC) guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging (PiDRL) (European Commission, 2018), while older studies refer to earlier EC documents (European Commission, 1996) or the International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommendations (ICRP, 2017). One study (Almén, 2021) established DRLs using a curve method based on the Radiation and Nuclear Safety Authority in Finland, STUK guidelines (STUK S/4/2019, 2019). The basis is to fit an exponential curve to the collected dose indices for each examination type, with the dose indices as the dependent variable and patient weight as the independent variable. The exponential curve used by Almén (2021) was $D(w) = a \times e^{(k \times w)}$. “D” and “w” are the dose index and weight collected for each patient, “k” is the regression coefficient associated with the exponential increase of the dose indices and was derived for the different examinations. The a -value was calculated using D, w and k. The third quartile value (D_{q3}) for the “a-values” was used to define the DRL curve: $DRL(w) = D_{q3} \times e^{(k \times w)}$.

Table 1: Summary of characteristics of selected plain radiography studies

Reference	Type of DRL	DRL method	No. of Scanners	No. of hospitals	No. of patients	Reported by age or weight	Body part studied
Billinger 2010	Austrian national DRL	75 th percentile of average patient entrance doses. Average patient dose was derived per facility from an exponential regression formula.	25	14	41 (abdomen), 549 (brain ap/pa), 429 (brain lat), 723 (thorax)	Age	Brain, thorax, abdomen
Célier 2020b	French national DRL	75 th percentile of the distribution of the median values per location. Only calculated if there were at least 10 patients.	42	16	2249, minimum 10 patients per procedure	Age and weight	Thorax, abdomen, pelvis
European Commission 2018	European DRL	75 th percentile of the distribution of the median values of all locations.	-	-	-	Age for head, weight for thorax, abdomen, pelvis	Thorax, abdomen, pelvis
Smans 2008	European DRL, including 13 countries	75 th percentile	-	14	Not reported	Age	Thorax
Paulo 2016	Portuguese national DRL	75 th percentile of median values for age/weight brackets, 75 th percentile of average values for specific weights	-	3	9935, minimum 10 patients per DRL.	Age and weight	Thorax, pelvis, abdomen
Matthews 2014	Irish national DRL	75 th percentile of mean values for each examination in each age group in each location.	-	18	568, ranging 14-266 patients per examination.	Age	Thorax, pelvis, abdomen, spine
Schegerer 2019	German national DRL	EC guideline: 75 th percentiles of the particular dose distributions.	Unclear, combined multiple databases that rely on data from >100 hospitals		Unclear, minimum 50 per DRL	Weight plus age	Thorax, abdomen, pelvis
Almén 2022	Nordic regional DRL, including Denmark, Iceland, Norway, and Sweden	EC guideline: 75 th percentile of the distribution of the median values per location.	-	31	1438, minimum 15 patients	Weight	Thorax, abdomen, pelvis, hips/joints
Almén 2021	Nordic regional DRL, including Denmark, Iceland, Norway, and Sweden	Curve with exponential fit	-	29	1394	Weight	Thorax, abdomen, pelvis, hips/joints

DRLs=Diagnostic reference levels

Results

DRLs for specific age or weight brackets are described in table 2 for thorax examinations, table 3 for abdomen examinations, table 4 for pelvis examinations and table 5 for other types of examinations. The studies are very diverse in design and implementation. Therefore, it was not possible to perform a meta-analysis or calculate summary statistics for the data from tables 2-5. In terms of the method used to derive DRLs, there were differences between studies in weight-based vs age-based diagnostic reference levels and use of the curve method.

Weight-based versus age-based diagnostic reference levels

Billinger (2010), Matthews (2014) and Smans (2008) calculated DRLs for different age brackets. Almén (2022) only reported weight based DRLs. Paulo (2016) calculated DRLs for different age and weight classes. The authors recommended using DRLs based on weight brackets because weight better explains the variation in radiation dose. The European Commission (2018) reported age based DRLs for head and weight based DRLs for other body parts. In addition, two studies also reported weight brackets for DRLs for other body parts, but the weights were estimated based on the patient's age instead of being based on actual weight measures from patients (Céliér, 2020a; Schegerer, 2019). These two studies reported both the age bracket and weight bracket (estimated based on age) for each DRL. In both studies, weight was only measured in a small subset of patients per location. Therefore, both studies verified per location that the median values based on weight from actual measurements corresponded to the median values based on weight estimated from patient age.

Curve method

The DRLs from the one study (Almén, 2021) using a curve method to establish DRLs are described in figure 1 for thorax, figure 2 for abdomen and figure 3 for pelvis examinations.

Table 2: Plain radiography diagnostic reference levels (dose area product (DAP) in mGy x cm²) for thorax examinations.

Scheegerer 2019		Billinger 2010*		Paulo 2016		Paulo 2016		Paulo 2016	
Examination (age and weight equivalent bracket)	DAP	Age (years)	DAP	Age bracket (years)	DAP	Weight (kg)	DAP	Weight bracket (kg)	DAP
Thorax AP/PA (3 – <5 kg; 0 – < 3 months)	5	0	17	< 1	11	5	12	< 5	11
Thorax AP/PA (5 – < 10 kg; 3 – < 12 months)	10	1	23	1-< 5	17	10	14	5-< 15	14
Thorax AP/PA (10 – < 19 kg; 1 – < 5 years)	20	5	26	5-< 10	29	20	20	15-< 30	22
Thorax AP/PA (19 – < 32 kg; 5 – < 10 years)	35	10	37	10-< 16	78	30	33	30-< 50	56
Thorax LAT (10 – < 19 kg; 1 – < 5 years)	25	15	73	16- 18	77	40	54	>50	96
Thorax LAT (19 – < 32 kg; 5 – < 10 years)	50					50	77		
						60	83		
Céliier 2020b		Matthews 2014		Almén 2022***		Smans 2008		EC 2018 (PiDRL)	
Examination (age and weight equivalent bracket)	DAP	Age (years)	DAP	Examination (weight bracket)	DAP	Age (years)	DAP	Examination (weight bracket)	DAP
Thorax neonatal respiratory distress (< 1 month, < 5 kg)	8.3	0-1	9	Thorax, supine (< 5kg)	13	<1	88	Thorax AP/PA (<5 kg)	15
Thorax suspicion of pneumonia (1 month ≤ 4 years, 5-15 kg)	15	1-5	15	Thorax, supine (5-<15kg)	40	1-2	136	Thorax AP/PA (5-< 15 kg)	22
Thorax suspicion of pneumonia (10 ≤ 14 years, 30-50kg)	35	5-10	21	Thorax, erect (15-<30 kg)	28	2-3	189	Thorax AP/PA (15-< 30 kg)	50
		10-15	41	Thorax, erect (30-<50 kg)	50	3-8	233	Thorax AP/PA (30-< 50 kg)	70
				Thorax, erect (50-<70 kg)	97	8-12	395	Thorax AP/PA (50-< 80 kg)	87

Abbreviations: dose area product in mGy x cm² (DAP), anteroposterior (AP), posteroanterior (AP), lateral (LAT).

* Billinger 2010 originally reported μGy·m², these values were converted to mGy x cm² by multiplying with 10.

**Matthews 2014, Scheegerer 2019 and Smans 2008 originally reported cGy x cm², these values were converted to mGy x cm² by multiplying with 10.

*** Almén 2022 originally reported Gy x cm², these values were converted to mGy x cm² by multiplying with 1000.

Table 3: Plain radiography diagnostic reference levels (dose area product (DAP) in mGy x cm²) for abdomen examinations.

Céliér 2020b		Billinger 2010		Age bracket (years)		Paulo 2016		Weight bracket (kg)	
Examination (age and weight equivalent bracket)	DAP	Age (years)	DAP	Age bracket (years)	DAP	Weight (kg)	DAP	Weight bracket (kg)	DAP
Abdomen (1 month ≤ 4 years, 5-15 kg)	60	0	60	< 1	25	5	27	< 5	23
Abdomen (4 ≤ 10 years, 15-30 kg)	220	1	90	1-< 5	84	10	32	5-< 15	34
		5	200	5-< 10	137	20	115	15-< 30	123
		10	500	10-< 16	410	30	141	30-< 50	248
		15	700	16- 18	979	40	270	>50	1266
						50	586		
						60	510		
Schegerer 2019		Almén 2022***		Matthews 2014		EC 2018 (PiDRL)			
Examination (age and weight equivalent bracket)	DAP	Weight (kg)	DAP	Age (years)	DAP	Examination (weight bracket)	DAP		
Abdomen AP/PA (3 – <5 kg; 0 – < 3 months)	20	5–<15	73	0-1	10	Abdomen AP (<5 kg)	45		
Abdomen AP/PA (5 – < 10 kg; 3 – < 12 months)	50	15–<30	237	1-5	116	Abdomen AP (5-< 15 kg)	150		
Abdomen AP/PA (10 – < 19 kg; 1 – < 5 years)	100	30–<50	534	5-10	326	Abdomen AP (15-< 30 kg)	250		
Abdomen AP/PA (19 – < 32 kg; 5 – < 10 years)	200	50–<70	1540	10-15	504	Abdomen AP (30-< 50 kg)	475		
						Abdomen AP (50-< 80 kg)	700		

Abbreviations: dose area product (DAP), anteroposterior (AP), posteroanterior (AP)

* Billinger 2010 originally reported $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$, these values were converted to $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ by multiplying with 10.

** Matthews 2014 and Schegerer 2019 originally reported $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$, these values were converted to $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ by multiplying with 10.

*** Almén 2022 originally reported $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$, these values were converted to $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ by multiplying with 1000.

Table 4: Plain radiography diagnostic reference levels (dose area product (DAP) in mGy x cm²) for pelvis examinations.

Célier 2020b		Paulo 2016					
Examination (age and weight equivalent bracket)	DAP	Age bracket (years)	DAP	Weight (kg)	DAP	Weight bracket (kg)	DAP
Pelvis (4 - < 10 years, 15-30 kg)	110	< 1	23	5	22	< 5	10
Pelvis (10-< 14 years, 30-50kg)	580	1-< 5	67	10	28	5-< 15	32
		5-< 10	109	20	86	15-< 30	97
		10-< 16	539	30	116	30-< 50	275
		16- 18	816	40	250	>50	917
				50	591		
				60	840		
Schegeer 2019*		Almén 2022**		Matthews 2014*		EC 2018 (PiDRL)	
Examination (age and equivalent weight bracket)	DAP	Weight bracket (kg)	DAP	Age (years)	DAP	Examination (weight bracket)	DAP
Pelvis AP/PA (10 – < 19 kg; 1 – < 5 years)	120	5-<15	41	0-1	22	Pelvis AP (15-< 30 kg)	180
Pelvis AP/PA (19 – < 32 kg; 5 – < 10 years)	250	15-<30	130	1-5	50	Pelvis AP (30-< 50 kg)	310
		30-<50	330	5-10	141		
		50-<70	646	10-15	174		

Abbreviations: dose area product (DAP), anteroposterior (AP), posteroanterior (AP)

* Matthews 2014 and Schegeer 2019 originally reported cGy x cm², these values were converted to mGy x cm² by multiplying with 10.

** Almén 2022 originally reported Gy x cm², these values were converted to mGy x cm² by multiplying with 1000.

Table 5: Plain radiography diagnostic reference levels (dose area product (DAP) in mGy x cm²) for brain, spine and hip/joints examinations.

Billinger 2010*		Schegerer 2019**		EC 2018 (PiDRL)	
Examination (age)	DAP	Examination (age bracket)	DAP	Examination (age bracket)	DAP
Brain AP/PA (0 year)	150	Brain AP (3 – < 12 months)	120	Brain AP/PA (3 months –< 1 year)	215
Brain AP/PA (1 year)	250	Brain AP (1 – < 5 years)	240	Brain AP/PA (1 –< 6 years)	295
Brain AP/PA (5 year)	350	Brain LAT (3 – < 12 months)	100	Brain AP/PA (≥ 6 years)	350
Brain AP/PA (10 year)	450	Brain LAT (1 – < 5 years)	200	Brain LAT (3 months –< 1 year)	200
Brain AP/PA (15 year)	500			Brain LAT (1 –< 6 years)	250
Brain LAT (0 year)	100				
Brain LAT (1 year)	200				
Brain LAT (5 year)	250				
Brain LAT (10 year)	300				
Brain LAT (15 year)	350				
Matthews 2014**		Almén 2022***			
Examination (age bracket)	DAP	Examination (weight bracket)	DAP		
AP lumbar spine (10-15 year)	418	Hips/joints (5–<15 kg)	48		
Lateral lumbar spine (10-15 year)	843	Hips/joints (15–<30 kg)	88		

Abbreviations: dose area product (DAP), anteroposterior (AP), posteroanterior (AP), lateral (LAT).

* Billinger 2010 originally reported $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$, these values were converted to $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ by multiplying with 10.

** Matthews 2014 and Schegerer 2019 originally reported $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$, these values were converted to $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ by multiplying with 10.

*** Almén 2022 originally reported $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$, these values were converted to $\text{mGy}\cdot\text{cm}^2$ by multiplying with 1000.

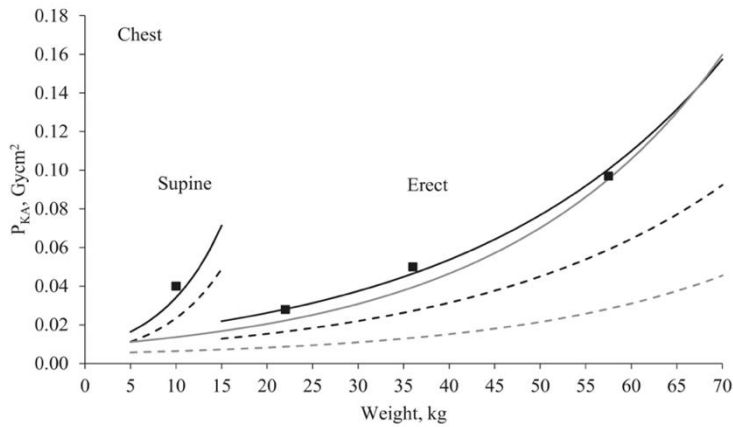


Figure 1: Plain radiography diagnostic reference levels (originally reported as the kerma-area product, but for the purposes of the literature comparison equated to the dose area product (DAP)) for thorax examinations. Black solid lines are regional DRLs calculated by Almén (2021). The line characteristics for thorax erect are $k = 0.036$ and $D_{q3} = 0.0128 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$ valid for weight interval 15–70kg. The line characteristics for thorax supine are $k = 0.143$ and $D_{q3} = 0.0078 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$ valid for weight interval 5–15kg. Grey solid lines are national DRLs from Finland. The squares are DRLs for weight groups. Dotted lines are achievable dose level curves from Almén (2021) (black dotted lines) and Finland (grey dotted line). Copied from Almén (2021).

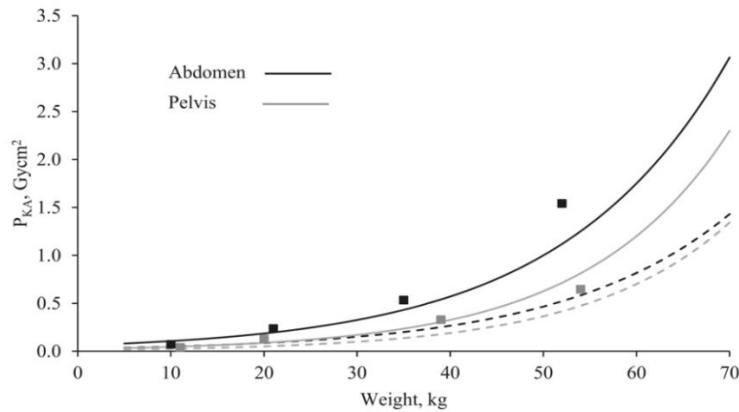


Figure 2: Plain radiography diagnostic reference levels (originally reported as the kerma-area product, but for the purposes of the literature comparison equated to the dose area product (DAP)) for abdomen (black line) and pelvis (grey line) examinations. The line characteristics for abdomen are $k = 0.056$ and $D_{q3} = 0.0608 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$ valid for weight interval 5–70kg. The line characteristics for pelvis are $k = 0.065$ and $D_{q3} = 0.0243 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$ valid for weight interval 5–70kg. The squares are DRLs for weight groups. Dotted lines are achievable dose level curves for abdomen (black dotted lines) and pelvis (grey dotted line). Copied from Almén (2021).

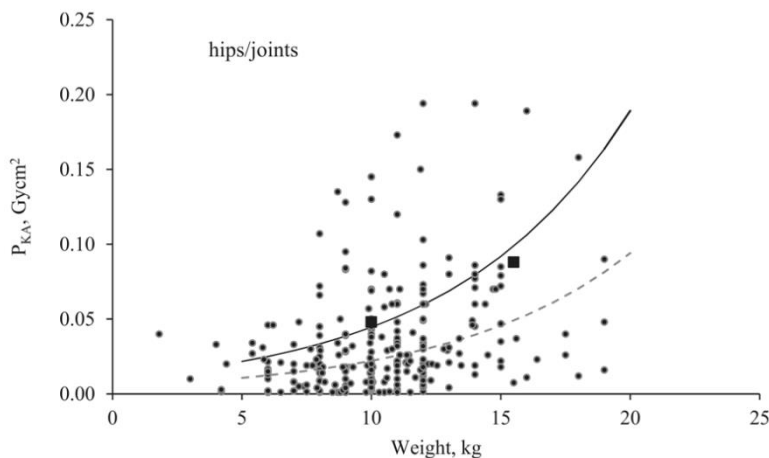


Figure 3: Plain radiography diagnostic reference levels (originally reported as the kerma-area product, but for the purposes of the literature comparison equated to the dose area product (DAP)) for hip/joints examinations. The solid line is regional DRLs, squares are DRLs for weight groups and the dotted line is the achievable dose level curve. The line characteristics for hips/joints are $k = 0.144$ and $D_{q3} = 0.0105 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$ valid for weight interval 5–15kg. Copied from Almén (2021)

Level of evidence of the literature

Because of the non-comparative study designs, we could not apply the GRADE method for weighting the evidence.

Conclusions

- GRADE	We could not apply the GRADE method for weighting the evidence and drawing conclusions about the literature because of the non-comparative study designs.
----------------	---

Overwegingen – van bewijs naar aanbeveling

Voor- en nadelen van de diagnostische procedure en de kwaliteit van het bewijs

Literatuur

De studies in de literatuuranalyse zijn zeer divers in opzet en uitvoering en betreffen veel verschillende protocollen waardoor er niet makkelijk vergeleken kan worden. Voor het bepalen en rapporteren van een DRN per type onderzoek wordt vooral gebruik gemaakt van de 75e percentiel methode vanuit de Europese Commissie (EC) voor bepaalde leeftijdscategorieën en in nieuwere studies de curve-methode (European Commission, 2018).

Voor thoraxprotocollen varieert de DRN-waarde tussen 5 en 395 mGy x cm². Voor buikprotocollen varieert de DRN-waarde tussen 20 en 1540 mGy x cm². Voor bekkenprotocollen varieert de DRN-waarde tussen 10 en 917 mGy x cm². Voor de overige protocollen varieert deze tussen 48 en 843 mGy x cm². Sommige van de overige protocollen zijn voor de huidige DRN richtlijn van belang, zoals hersenprotocollen (AP varieert tussen 120 en 500 mGy x cm², LAT varieert tussen 100 en 350 mGy x cm²) en lumbale wervelkolom protocollen (AP 10-15 jaar 418 mGy x cm², LAT 10-15 jaar 843 mGy x cm²).

Methodiek vaststellen DRN – indeling in categorieën

Omdat kinderen qua lengte en gewicht veel van elkaar verschillen is een onderverdeling in categorieën nodig. Uit de literatuurstudie blijkt dat de gebruikte methoden om een kinder-DRN te bepalen weinig uniform is qua indeling voor de gebruikte categorie. De Europese richtlijn “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” (PiDRL) (European Commission, 2018) voor DRN in kinderradiologie adviseert om gewichtscategorieën te gebruiken (vanwege de betere correlatie met dosiswaarden). In deze Europese PiDRL richtlijn wordt aangegeven dat een leeftijd-gebaseerde categorie-indeling gebruikt kan worden tot gewicht-gebaseerde dosisverzameling mogelijk is.

Hoewel gewicht het aanbevolen patiëntkenmerk is om DRN's van lichaamsscans te classificeren in de EC-methode (European Commission, 2018), had alleen Paulo (2016) genoeg patiëntinformatie om DRN's voor verschillende gewichtsklassen te berekenen. Paulo (2016) adviseerde gebruik van gewichtsklasse data voor DRN's omdat gewicht de variatie in stralingsdosis beter verklaart dan leeftijd. Daarnaast gebruikte Almén (2021) een curve-methode om de DRN's te bepalen. Het voordeel hiervan is dat minder metingen per leeftijd of gewichtsklasse nodig zijn voor het vaststellen van de DRN's. Dit is van belang omdat studies die de EC-methode hanteren, soms geen DRN konden berekenen voor een bepaalde leeftijd of gewicht, omdat minder dan tien observaties beschikbaar waren.

De Europese richtlijn “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” PiDRL (European Commission, 2018) geeft een relatie tussen de gewichtscategorieën en de leeftijd (tabel 7.2 in appendix F), op basis van

een correlatie tussen gemiddeld gewicht per leeftijd. Hiermee is de DRN-waarde per gewichtscategorie [0>5 kg], [5>15 kg], [15,>30 kg], [30>50 kg], [50- 80 kg] om te zetten naar een DRN per leeftijdscategorie [0>1 maand], [1maand>4 jaar], [4-10>, [10-14>, [14-18]. In veel literatuurstudies wordt zowel voor hoofd als voor thorax en abdomen de volgende indeling in leeftijdsgroepen gebruikt: [0,1>, [1,5], [6,10], [11,15]. Voor hoofd onderzoeken is dit afwijkend van de EDRL, waarin vanaf >6 jaar slechts 1 EDRL gegeven is. Echter bij veel studies verschilt de DRN-waarde voor hoofd tussen de 6-10 jaar en 11- 15 jaar groep, waardoor het aan te raden is voor hoofd dezelfde leeftijdscategorieën voor DRN's aan te houden als voor de andere lichaamsdelen.

Op basis van de literatuur en aanbevelingen in de Europese richtlijn stelt de werkgroep voor een DRN vast te stellen op basis van leeftijdscategorieën [0>1 maand], [1 maand>4 jaar]; [4-10>, [10-14>, [14-18] voor alle lichaamsdelen (inclusief hoofd).

Door een DRN per leeftijdscategorie te gebruiken wordt de toetsing voor ziekenhuizen relatief eenvoudig implementeerbaar. Ook maakt dit het mogelijk om de Nederlandse DRN-waarde met de DRN's van andere landen te vergelijken.

Methodiek vaststellen DRN – DRN-bepaling

Om een landelijke DRN per leeftijdscategorie op te stellen zijn verschillende systematieken mogelijk. Als statistische methoden zijn er twee methoden: 1) bepalen van de 75e percentiel van de verdeling van de mediaanwaarden van alle ziekenhuizen, of, in het geval dat er weinig ziekenhuizen participeren, 2) bepalen van de 75e percentiel van de verdeling van alle waarden tezamen. Daarnaast is de curve-methodiek mogelijk.

Het opstellen van een landelijke DRN per leeftijdscategorie met de statistische methoden vereist per ziekenhuis een minimumaantal, te weten tien patiënten per procedure per leeftijdscategorie (European Commission, 2018). Omdat relatief weinig data beschikbaar is bij kinderen is de DRN-curve methodiek een goede methode. Hierbij wordt een DRN-curve gemaakt met gewicht of leeftijd op de x-as en dosisgrootte op de y-as (European Commission, 2018). Een aantal studies in de literatuur past dit toe (Almén, 2021; Almén, 2022). Een voordeel van de curve-methode is dat met minder datapunten per leeftijd of gewichtsklasse een DRN bepaald kan worden, waardoor meer DRN's betrouwbaar bepaald kunnen worden. Op basis hiervan wordt ervoor gekozen om in deze richtlijn een leeftijd-gebaseerde DRN vast te stellen op basis van de DRN-curve-methode, omdat deze in de Nederlandse praktijk makkelijker te implementeren is, aangezien in Nederland doorgaans wel leeftijd op de onderzoeksdatum, maar niet altijd een recent gewicht bekend is.

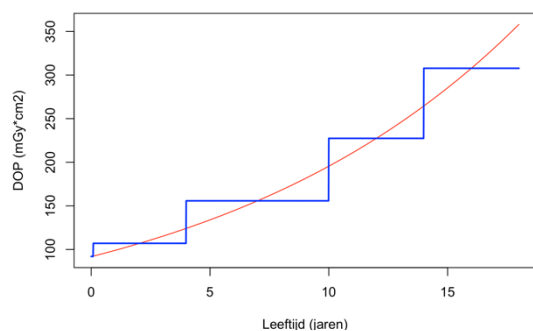
Methode dataverzameling Nederland ten behoeve van DRN bepaling

Na een landelijk uitgezette uitvraag hebben 23 ziekenhuizen data aangeleverd van röntgenonderzoeken uitgevoerd in de periode van 1-1-2017 tot 1-6-2021. Voor de modaliteit bucky is per onderzoek de dosisparameter dosis oppervlakte product (DOP) verzameld, daarnaast protocolnaam, leeftijd op de onderzoeksdatum of geboortedatum en onderzoeksdatum/tijd. De protocollen waarvan data is aangeleverd zijn Hoofd, Thorax, Abdomen, Bekken, Wervelkolom Totaal, Wervelkolom Cervicaal, Wervelkolom Thoracaal en Wervelkolom Lumbaal. Met behulp van de curve-methode zijn de DRN's bepaald. Tevens zijn uit de DRN-curve DRN-waarden per leeftijdscategorie voor elk protocol vastgesteld. Voor details van de methode zie bijlage "Methodiek Bucky" van deze module.

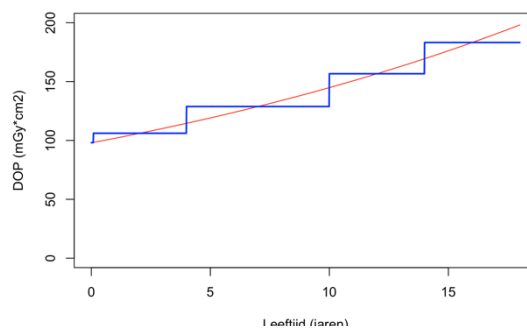
Resultaten onderzoek

De resultaten van in totaal 23 centra zijn geanalyseerd op basis van de methodiek zoals beschreven in bijlage "Methodiek Bucky" van deze module. Voor de Bucky protocollen zijn

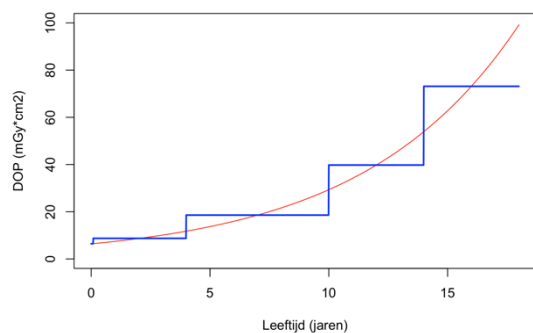
de DRN-curves weergegeven in figuur 4 voor algemene protocollen en figuur 5 voor wervelkolom protocollen. Daarnaast zijn in tabel 6 voor algemene protocollen en tabel 7 voor specifieke wervelkolom protocollen DLP DRN-waardes gegeven per leeftijdscategorie, welke in dosisregistratiesystemen gebruikt kunnen worden. Meer details over de DRN-curves zijn te vinden in bijlage “Resultaten Bucky” van deze module.



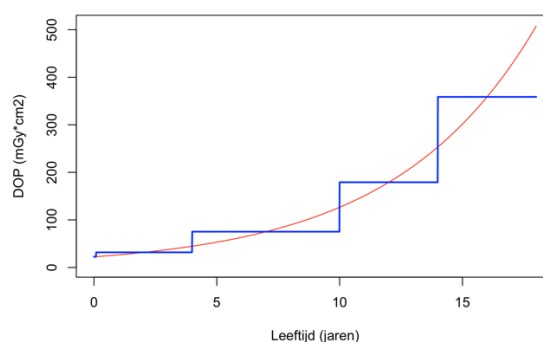
Hoofd AP/PA: $DOP(\text{leeftijd}) = 91,8 \times e^{(0,08 \times \text{leeftijd})}$



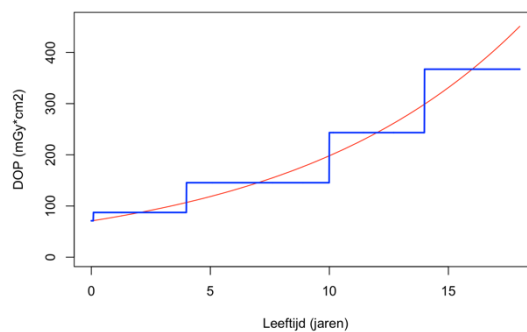
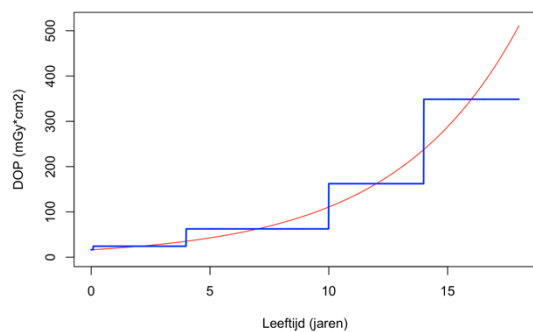
Hoofd LAT: $DOP(\text{leeftijd}) = 97,5 \times e^{(0,04 \times \text{leeftijd})}$



Thorax: $DOP(\text{leeftijd}) = 6,4 \times e^{(0,15 \times \text{leeftijd})}$

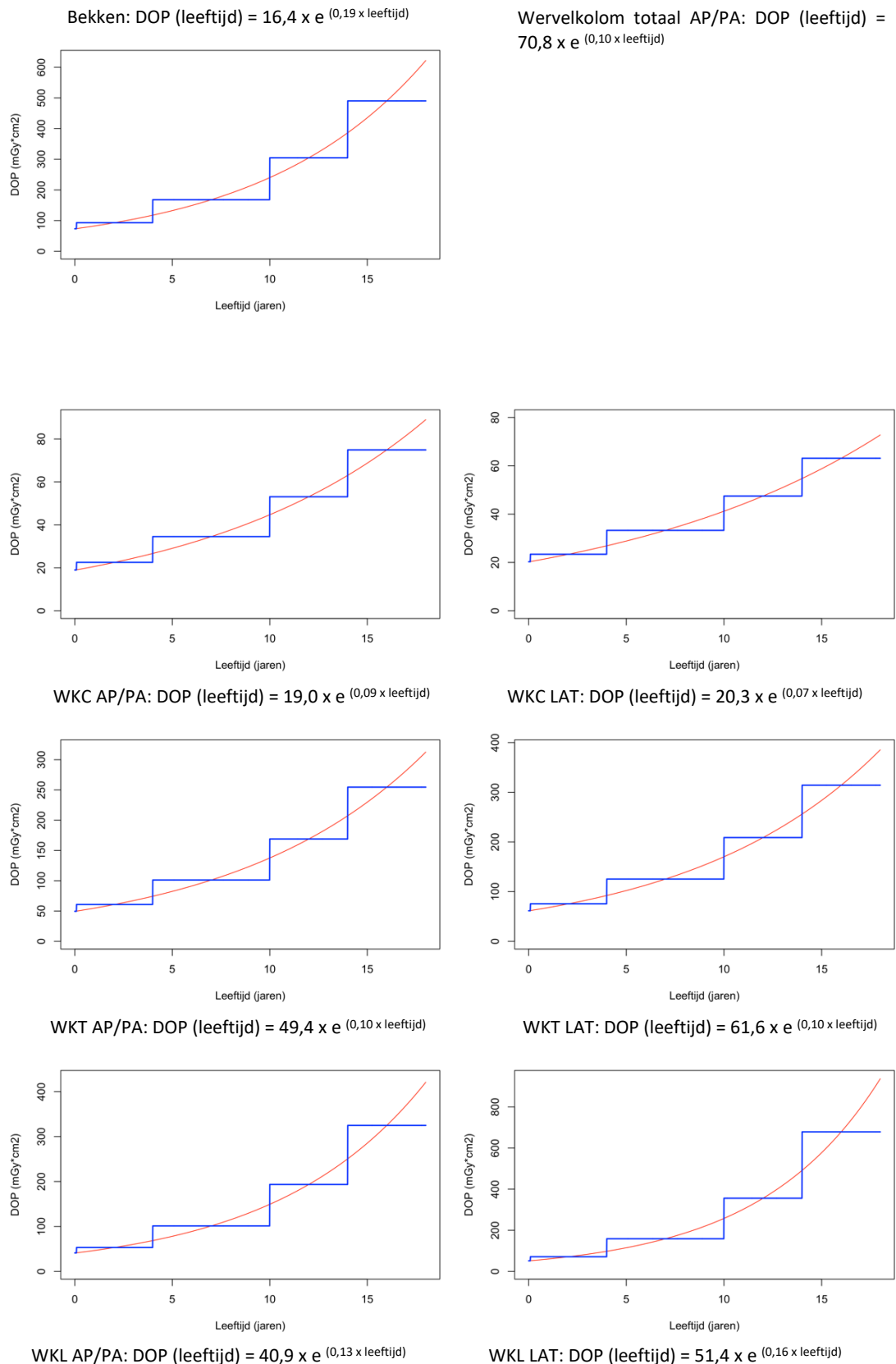


Abdomen: $DOP(\text{leeftijd}) = 22,3 \times e^{(0,17 \times \text{leeftijd})}$



Wervelkolom totaal LAT: $DOP(\text{leeftijd}) = 73,0 \times e^{(0,12 \times \text{leeftijd})}$

Figuur 4 Vastgestelde DOP DRN-curves voor Bucky protocollen voor hoofd AP/PA (linksboven), hoofd LAT (rechtsboven), thorax AP/PA (2^e rij links), abdomen AP/PA (2^e rij rechts), bekken AP/PA (3^e rij links), wervelkolom totaal AP/PA (3^e rij rechts) en wervelkolom totaal LAT (linksonder). De rode lijn is de vastgestelde DRN (75^e percentiel). De blauwe lijn de DRN per leeftijdscategorie.
Afkortingen: LAT = lateraal, AP/PA = anteroposterior (AP)/ posteroanterior (AP)



Figuur 5 Vastgestelde DOP DRN-curves voor Bucky protocollen voor WKC AP/PA (linksboven), WKC LAT (rechtsboven), WKT AP/PA (links midden), WKT LAT (rechts midden), WKL AP/PA (linksonder) en WKL LAT (rechtsonder). De rode lijn is de vastgestelde DRN (75^e percentiel). De blauwe lijn de DRN per leeftijdscategorie. *Afkortingen: WKC= wervelkolom cervicaal, WKT = wervelkolom thoracaal, WKL= wervelkolom lumbaal, LAT = lateraal, AP/PA = anteroposterior (AP)/ posteroanterior (AP)*

Tabel 6 Bucky protocollen; gerapporteerde DOP (mGy x cm²) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie

Leeftijd (mediaan)	Hoofd AP/PA	Hoofd LAT	Thorax AP/PA	Abdomen AP/PA	Bekken AP/PA	Wervelkolom Totaal AP/PA	Wervelkolom Totaal LAT
0-1mnd (15 dagen)	92,0	98,1	6,4	22,5	16,5	71,1	73,5
1mnd-4jr (24,5 maanden)	107,0	106,1	8,7	31,8	24,2	87,4	93,2
4-10jr (84 maanden)	155,8	128,8	15,6	75,2	62,5	145,5	16,2
10-14jr (144 maanden)	227,4	156,7	39,8	179,1	162,4	243,4	304,7
14-18jr (192 maanden)	307,8	183,2	73,1	358,7	348,7	367,2	490,3
Aantal Centra	7	6	22	19	18	9	7

Afkortingen: LAT = lateraal, AP/PA = anteroposterior (AP)/ posteroanterior (AP)

Tabel 7 Bucky protocollen; gerapporteerde DOP (mGy x cm²) wervelkolom DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie

Leeftijd (mediaan)	WK Cervicaal AP/PA	WK Cervicaal LAT	WK Thoracaal AP/PA	WK Thoracaal LAT	WK Lumbaal AP/PA	WK Lumbaal LAT
0-1mnd (15 dagen)	19,0	20,3	49,6	61,5	41,1	51,7
1mnd-4jr (24,5 maanden)	22,5	23,4	60,9	75,5	53,2	71,4
4-10jr (84 maanden)	34,5	33,3	101,2	125,3	101,2	158,9
10-14jr (144 maanden)	53,1	47,5	169,0	208,8	193,5	356,0
14-18jr (192 maanden)	74,9	63,1	254,7	314,2	324,9	678,8
Aantal Centra	12	13	14	14	14	14

Afkortingen: WK = wervelkolom, LAT = lateraal, AP/PA = anteroposterior (AP)/ posteroanterior (AP)

Interpretatie van resultaten

Voor abdomen-, thorax-, en bekkenonderzoeken zijn de data-analyse DRN-waarden redelijk in lijn met de literatuurwaarden.

Daarnaast laten datapunten waarop de curves zijn gebaseerd zien dat er binnen een leeftijdsgroep veel variatie kan zijn in de data. Indien in een ziekenhuis de leeftijd niet gelijk verdeeld is binnen een leeftijdscategorie kan dit leiden tot een relatief lagere of hogere dosisregistratiewaarde ten opzichte van de DRN-waarde gebaseerd op mediane leeftijd (zie tabel 6 en 7), terwijl bij toetsing aan de DRN-curve wel aan de DRN's voldaan zou worden.

Algemene overwegingen literatuur en onderzoek

Het is belangrijk dat ziekenhuizen eenvoudig hun dosisgegevens kunnen toetsen aan de landelijke DRN. Daarom is gekozen voor een methode die goed implementeerbaar is, bijvoorbeeld in ziekenhuizen met dosisregistratiesystemen, als ook toepasbaar is voor ziekenhuizen met een laag aantal kinder-onderzoeken.

Een tweeledige werkwijze past hier het best bij: 1) er wordt een leeftijdsafhankelijke DRN-curve opgesteld waarbij alle verzamelde data van de ziekenhuizen gebruikt kan worden, ook wanneer er voor een bepaalde leeftijdscategorie weinig gegevens zijn en 2) uit deze DRN-curve worden de te toetsen dosiswaarden van het eigen instituut per leeftijdscategorie afgeleid.

Door te kiezen voor deze aanpak kunnen 1) ziekenhuizen de DRN-curve gebruiken om bij handmatige verzameling of na export van dosisgegevens uit een dosisregistratiesysteem de verzamelde gegevens per leeftijd te plotten op de DRN-curve en/ of kunnen 2) ziekenhuizen de DRN-toets per leeftijdscategorie implementeren in het dosisregistratiesysteem. Ook kunnen Nederlandse DRN-waarden vergeleken worden met Europese DRN-waarden.

Vervolgonderzoek is nodig voordat een gewicht-gebaseerde categorie-indeling overwogen kan worden.

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

De patiënt vindt het belangrijk goed geïnformeerd te worden over de reden van het onderzoek, over wat er gaat gebeuren, over mogelijke risico's van het onderzoek en het effect op zijn of haar dagelijkse leven op de korte zowel als op de lange termijn. Deze risico's en de communicatie daarvan met de patiënt dienen te worden besproken met de aanvragend specialist en worden beschreven in de [richtlijn Beeldvorming met ioniserende straling \(NVKF, 2021\)](#). Voor de communicatie van risico's van straling is er voor de patiënt en hun ouders/verzorgers informatie te vinden op thuisarts.nl. Om de risico's van een onderzoek met röntgenstraling zo klein mogelijk te houden, wil de patiënt een zo laag mogelijke dosis röntgenstraling ontvangen. Daarentegen is het voor de patiënt wel van belang dat de beeldkwaliteit goed genoeg is om de beelden accuraat te kunnen beoordelen. Het is wenselijk om hierin een optimale balans te vinden conform het ALARA (as low as reasonably achievable) principe (United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), 2021; Bbs, 2017)).

Om als ziekenhuis te weten of optimale instellingen gebruikt worden, kan de stralingsdosis vergeleken worden met landelijke referentieniveaus (DRN's). Voor kinderen is het extra belangrijk dat ze niet te veel dosis krijgen. Daarom zijn er referentiewaarden opgesteld voor de meest voorkomende beeldvormende onderzoeken met röntgenstraling bij kinderen. Dankzij DRN's kunnen ziekenhuizen toetsen hoeveel dosis zij geven ten opzichte van het vastgestelde referentieniveau. Hierdoor kunnen zij de patiëntdosis optimaliseren en worden eventuele verschillen tussen ziekenhuizen in de hoeveelheid straling die nodig is per onderzoek geminimaliseerd (ICRP, 2017; European Commission, 2018). DRN's zijn niet bedoeld als dosislimiet voor de individuele patiënt.

Patiënten en hun ouders/verzorgers kunnen worden geïnformeerd over het bestaan van DRN-waarden. Ziekenhuizen zijn verplicht hun eigen dosisgrootheden hieraan te toetsen.

Kosten (middelenbeslag)

Het aanpassen van de stralingsdosis zal niet leiden tot hogere kosten van het onderzoek. Het gebruik van een optimale stralingsdosis zal zorgen voor zo min mogelijk negatieve effecten van stralingsbelasting en/of herhaalde onderzoeken, waardoor de zorgkosten op langere termijn ook laag blijven.

Er is een minimale uitbreiding van de urenbesteding (minder dan een dagdeel) voor medewerkers die DRN's toetsingen uitvoeren, nu er meer kinderDRN's zijn ten opzichte van de vorige kinderDRN's. Deze minimale uitbreiding is heel gemakkelijk te verantwoorden ten opzichte van de meerwaarde van het toetsen van DRN's.

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

De werkgroep verwacht geen problemen ten aanzien van de aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie van deze richtlijn voor kinder-DRN's gezien de bereidheid die

ziekenhuizen eerder hebben laten zien bij het toetsen van hun dosisgrootheden aan al bestaande DRN's. DRN's worden al jaren gebruikt en zijn algemeen geaccepteerd als dosisvergelijking/ optimalisatie tool. In de Nederlandse wet staat ook dat er periodiek getoetst moet worden ten opzichte van referentieniveaus. Juist omdat het nu mogelijk wordt ook bij zeer kleine aantallen toch aan de DRN-curve te toetsen is de verwachting dat meer ziekenhuizen kunnen deelnemen, bijvoorbeeld ziekenhuizen die in het verleden door de eis van minstens tien patiënten én de scherpe leeftijdscategorie niet voldoende patiënten hadden voor een periodieke toetsing. Voor de in deze richtlijn met behulp van de curve-methode opgestelde DRN is een tool (zie bijlagen "Gebruik implementatietool Bucky voor toetsing aan kinder-DRN's" en "Implementatietool Bucky" van deze module) ontwikkeld die het controleren van de DRN's mogelijk maakt voor ziekenhuizen die slechts enkele onderzoeken per jaar uitvoeren.

Voor de communicatie van risico's van straling is er voor de patiënten en hun ouders/verzorgers informatie te vinden op thuisarts.nl.

Aanbeveling

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de diagnostische procedures

In de wetgeving is opgenomen dat het toetsen aan DRN's verplicht is. Er is dus een zeer sterke aanbeveling om de DRN's te gebruiken. Hiervoor moeten wel adequate en passende DRN's beschikbaar zijn. Deze richtlijn geeft waarden voor de DRN's voor veelgebruikte kinderprotocollen bij bucky röntgenonderzoeken. De DRN's zijn gebaseerd op data-analyse van 23 Nederlandse ziekenhuizen, waaronder enkele grote academische centra die veel kinderen onderzoeken.

Ziekenhuizen moeten periodiek toetsen of ze voldoen aan de DRN's. Hiervoor kunnen ze een waarde of een curve gebruiken. Door deze tweeledige systematiek zal het voor ziekenhuizen makkelijker worden om te toetsen aan de kinder-DRN.

De voordelen van het gebruik van een landelijke DRN is dat er betere sturing op lage stralingsbelasting bij kinderen mogelijk is. De nieuwe DRN (die een bestaande Nederlandse kinder-DRN vervangt) is aangepast aan onderzoeken met moderne radiologische apparatuur en beter in lijn met werkelijk haalbare dosis. De nieuwe Nederlandse DRN is lager dan de Europese "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PiDRL) (European Commission, 2018) en ook lager dan in veel wetenschappelijke studies. Het gebruik van de geadviseerde DRN's gaat ervoor zorgen, dat in Nederland gestuurd gaat worden op stralingszuinige instellingen bij kinderen.

*Toets voor protocol bucky hoofd, bucky thorax, bucky abdomen, bucky bekken, bucky wervelkolom totaal, bucky wervelkolom cervicaal, bucky wervelkolom thoracaal en bucky wervelkolom lumbaal aan de vastgestelde DRN's in onderstaande tabel 8 en neem eventueel maatregelen als de DRN niet gehaald wordt. **

Tabel 8 Exponentiële functies voor de DRN-curves bucky protocollen – DOP (mGy x cm²)

Protocol	DOP (leeftijd)
Hoofd AP/PA	$DOP(leeftijd) = 91,8 \times e^{(0,08 \times leeftijd)}$
Hoofd LAT	$DOP(leeftijd) = 97,5 \times e^{(0,04 \times leeftijd)}$
Thorax AP/PA	$DOP(leeftijd) = 6,4 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$
Abdomen AP/PA	$DOP(leeftijd) = 22,3 \times e^{(0,17 \times leeftijd)}$
Bekken AP/PA	$DOP(leeftijd) = 16,4 \times e^{(0,19 \times leeftijd)}$
Wervelkolom Totaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 70,8 \times e^{(0,10 \times leeftijd)}$

Wervelkolom Totaal LAT	$DOP(leeftijd) = 73,0 \times e^{(0,12 \times leeftijd)}$
WK Cervicaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 18,9 \times e^{(0,09 \times leeftijd)}$
WK Cervicaal LAT	$DOP(leeftijd) = 20,3 \times e^{(0,07 \times leeftijd)}$
WK Thoracaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 49,4 \times e^{(0,10 \times leeftijd)}$
WK Thoracaal LAT	$DOP(leeftijd) = 61,6 \times e^{(0,10 \times leeftijd)}$
WK Lumbaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 40,9 \times e^{(0,13 \times leeftijd)}$
WK Lumbaal LAT	$DOP(leeftijd) = 51,4 \times e^{(0,16 \times leeftijd)}$

Zie voor visuele curves figuren 4 en 5 in de overwegingen.

** aan de hand van de implementatietool (zie bijlagen "Gebruik implementatietool Bucky voor toetsing aan kinder-DRN's" en "Implementatietool Bucky" van deze module)*

Literatuur

- Almén A, Guðjónsdóttir J, Heimland N, Højgaard B, Waltenburg H, Widmark A. Establishing paediatric diagnostic reference levels using reference curves - A feasibility study including conventional and CT examinations. *Phys Med.* 2021 Jul;87:65-72. doi: 10.1016/j.ejmp.2021.05.035. Epub 2021 Jun 9. PMID: 34118729.
- Almén A, Guðjónsdóttir J, Heimland N, Højgaard B, Waltenburg H, Widmark A. Paediatric diagnostic reference levels for common radiological examinations using the European guidelines. *Br J Radiol.* 2022 Feb 1;95(1130):20210700. doi: 10.1259/bjr.20210700. Epub 2021 Dec 13. PMID: 34898256; PMCID: PMC8822550.
- Bbs: Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming. (2017, 23 oktober). Geraadpleegd van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040179>.
- Billinger J, Nowotny R, Homolka P. Diagnostic reference levels in pediatric radiology in Austria. *Eur Radiol.* 2010 Jul;20(7):1572-9. doi: 10.1007/s00330-009-1697-7. Epub 2010 Jan 22. PMID: 20094888.
- Célier D, Roch P, Etard C, Ducou Le Pointe H, Brisse HJ. Multicentre survey on patient dose in paediatric imaging and proposal for updated diagnostic reference levels for France. Part 2: plain radiography and diagnostic fluoroscopy. *Eur Radiol.* 2020 Feb;30(2):1182-1190. doi: 10.1007/s00330-019-06406-2. Epub 2019 Sep 16. PMID: 31529249.
- European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.
- European Commission, European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. Publications Office of the European Union, 1996. Rapport. ISBN 92-827-7843-6. Beschikbaar via: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/47eb62b0-698d-4166-bc34-cc3f8d07d2e3>
- ICRP, 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1).
- Matthews K, Brennan PC, McEntee MF. An evaluation of paediatric projection radiography in Ireland. *Radiography [Internet].* 2014;20(3):189–94. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817413001168>
- NVKF 2021. Richtlijn Beeldvorming met ioniserende straling. Beoordeeld: 13-10-2021. Link: https://richtlijndatabase.nl/richtlijn/beeldvorming_met_ioniserende_straling_risico_s_communicatie_en_afscherming/startpagina_-_beeldvorming_met_ioniserende_straling.html
- Paulo G, Vaño E, Rodrigues A. Diagnostic reference levels in plain radiography for paediatric imaging: A Portuguese study. *Radiography [Internet].* 2016;22(1):e34–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817415000863>

- Scheegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Rofo*. 2019 Aug;191(8):739-751. English, German. doi: 10.1055/a-0824-7603. Epub 2019 Jan 21. PMID: 30665250.
- Smans K, Vaño E, Sanchez R, Schultz FW, Zoetelief J, Kiljunen T, Maccia C, Järvinen H, Bly R, Kosunen A, Faulkner K, Bosmans H. Results of a European survey on patient doses in paediatric radiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;129(1-3):204-10. doi: 10.1093/rpd/ncn031. Epub 2008 Feb 29. PMID: 18310099.
- STUK S/4/2019. Radiation and nuclear safety authority regulation on justification assessment and optimisation of radiation protection in medical exposure. 2019 Apr 5. Geraadpleegd van https://www.stuklex.fi/fi/STUK-S-4-2019_annex.pdf.
- United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), Title 10, Section 20.1003, of the Code of Federal Regulations. 24 Mar 2021. Link: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/part020-1003.html>

**Bijlagen bij module Bucky
Implementatieplan Bucky**

Aanbeveling	Tijdspad voor implementatie: < 1 jaar, 1 tot 3 jaar of > 3 jaar	Verwacht effect op kosten	Randvoorwaarden voor implementatie (binnen aangegeven tijdspad)	Mogelijke barrières voor implementatie ¹	Te ondernemen acties voor implementatie ²	Verantwoordelijken voor acties ³	Overige opmerkingen
Toets voor protocol bucky hoofd, bucky thorax, bucky abdomen, bucky bekken, bucky wervelkolom totaal, bucky wervelkolom cervicaal, bucky wervelkolom thoracaal en bucky wervelkolom lumbaal aan de vastgestelde DRN's in tabel 8 <i>en neem eventueel maatregelen als de DRN niet gehaald wordt</i> aan de hand van de implementatietool (zie bijlagen "Gebruik	1 tot 3 jaar	Geen	Bekendheid met de richtlijn en implementatietool.	Door de wijze waarop DRN wordt opgesteld (75% dosiswaarden) voldoet een deel van de ziekenhuizen per definitie niet direct aan de DRN's.	Verspreiden van richtlijn en implementatietool. Voldoende kennis bij zorgverleners. Controleren aanbeveling tijdens kwaliteitsvisitatie.	Beroepsverenigingen (NVKF, NVMBR, NVVR)	Geen

<i>implementatietool Bucky voor toetsing aan kinder-DRN's" en "Implementatietool Bucky" van deze module).</i>							
---	--	--	--	--	--	--	--

Methodiek Bucky

De basis voor bepaling van nationale DRN's voor Bucky, Doorlichting en CT is de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PIDRL, European Commission, 2018).

In deze bijlage is beschreven we hoe de Bucky data is verzameld, voor welke protocollen (anatomische regio's en projecties/procedures) de DRN's zijn bepaald, welke leeftijdscategorieën van toepassing zijn en aan de hand van welke dosisgrootte de DRN's zijn vastgesteld. In de context van het bepalen van DRN's bedoelen we met "protocol" een enkele Bucky opname uit een radiologisch onderzoek dat uit een enkele opname of een serie van opnamen bestaat. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de DRN's zijn bepaald met behulp van een model van de leeftijdsafhankelijkheid van de dosiswaarden (curvemethode).

Dataverzameling

Om de DRN's te kunnen bepalen is de volgende minimale set van parameters ten aanzien van uitgevoerde radiologische onderzoeken uitgevraagd aan de deelnemende ziekenhuizen (zie tabellen S1.1 en S1.2).

Tabel S1.1: Uitgevraagde variabelen

Voor bepaling DRN benodigde informatie	
Patiënt	Geboortedatum of leeftijd op onderzoeksdatum
	Onderzoeksdatum/tijd
Radiologische verrichting	Protocolnaam
Dosis	DOP (mGy x cm ²)

Tabel S1.2: Uitgevraagde protocollen

Anatomische regio	Projectie of procedure
Hoofd	AP/PA en LAT
Thorax	AP/PA
Abdomen	AP
Bekken	AP
Wervelkolom	Cervicaal
	Thoracaal
	Lumbaal
	Volledig/Scoliose

Data is verzameld van opnamen die zijn gemaakt in de periode van 1-1-2017 tot 1-6-2021. Wanneer een ziekenhuis de beschikking had over een automatisch dosisregistratiesysteem is gevraagd alle in die periode opgeslagen data aan te leveren. Bij handmatige registratie werd verzocht data van de laatste tien onderzoeken per leeftijdsgroep aan te leveren (zie onderstaande tabel) teruggellend vanaf 1-6-2021. Voor protocollen waarvoor dit aantal niet werd gehaald, is verzocht om alle beschikbare data aan te leveren die in de bovengenoemde periode kon worden verzameld.

Data-cleaning

De methode van aanlevering van data verschilde per centrum. Voor elk individueel centrum is de data opgeschoond. Hierbij zijn de volgende standaarden in acht genomen:

- Per beeldvormend onderzoek is op basis van de aangeleverde gegevens bepaald onder welk protocol deze geschaard kon worden. Wanneer er onduidelijkheid bestond over het protocol, is de data geëxcludeerd.

- Bucky opname – Hoofd PA/AP – Als de richting PA of AP maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als AP of PA niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd.
- Bucky opname – Hoofd Lat - Als de richting Lateraal maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als lateraal niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd.
- Bucky opname Thorax PA/AP – Inclusie criteria thorax PA of thorax AP, thorax AP kind, bedthorax AP en thorax GGD. Thorax Lat, Thorax ribdetail, bedthorax lateral zijn geëxcludeerd
- Bucky opname – Abdomen: Geïnccludeerd zijn alle benamingen die AP of PA bevatten. Bevat de benaming lateraal, horizontale stralen, linker zijligging of BB, dan zijn de gegevens geëxcludeerd.
- Bucky opname – Bekken: Inclusie criteria moet bevatten Bekken AP of PA. Enkele opname. Heup links en rechts, Heupen, Lauenstein inlet en outlet zijn geëxcludeerd.
- Bucky opname – CWK PA/AP – Als de richting PA of AP maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als AP of PA niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd.
- Bucky opname – CWK Lat - Als de richting Lateraal maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als lateraal niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd. Tevens zijn de opnamen die “dens, Flexie en extensie, horizontale stralen, overgang” bevatten geëxcludeerd.
- Bucky opname – TWK PA/AP – Als de richting PA of AP maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als AP of PA niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd.
- Bucky opname – TWK Lat - Als de richting Lateraal maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als lateraal niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd. Tevens zijn de opnamen die, horizontale stralen en overgang” bevatten geëxcludeerd.
- Bucky opname – LWK PA/AP – Als de richting PA of AP maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als AP of PA niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd.
- Bucky opname – LWK Lat - Als de richting Lateraal maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als lateraal niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd. Tevens zijn de opnamen die “Flexie en extensie, horizontale stralen, overgang” bevatten geëxcludeerd.
- Bucky opname – Wervelkolom totaal PA/AP – Als de richting PA of AP maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als AP of PA niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd.
- Bucky opname – Wervelkolom totaal Lat - Als de richting Lateraal maar genoemd is, zijn de opnamen geïnccludeerd. Als lateraal niet in de benaming voorkomt zijn de opnamen geëxcludeerd. Tevens zijn de opnamen die “bending en handbelichting” bevatten geëxcludeerd.
- Bij verschillende ziekenhuizen werden meerdere opnamen per beeldvormend onderzoek per patiënt aangeleverd. De opname met de hoogste DOP-waarde is meegenomen in de analyses.
- Beeldvormende onderzoeken waarbij geen leeftijd op de onderzoeksdatum, of DOP-waarde werd aangeleverd, of een DOP-waarde gelijk aan $0 \text{ mGy} \times \text{cm}^2$ werd aangeleverd, zijn geëxcludeerd.
- Voor elk onderzoek werd de leeftijd in jaren op de onderzoeksdatum bepaald. Voor de analyses werden de leeftijdscategorieën uit tabel S1.3 aangehouden.

- De eenheden van de DOP waarden werden, indien niet zodanig aangeleverd, alle omgerekend naar $\text{mGy} \times \text{cm}^2$.

Tabel S1.3: Leeftijdscategorieën

Leeftijdsgroepen voor protocollen
0 tot 1 maand
1 maand tot 4 jaar
4 tot 10 jaar
10 tot 14 jaar
14 tot 18 jaar

Bepaling DRN

Bij de “traditionele” methode voor het bepalen van de DRN’s wordt per ziekenhuis de mediaan bepaald van de relevante dosisparameter voor een bepaald protocol en leeftijdsgroep. Hierna wordt van de voor alle ziekenhuizen bepaalde medianen, het 75^e percentiel voor een bepaald protocol en leeftijdsgroep bepaald als DRN. Uitgangspunt daarbij is dat er per ziekenhuis minimaal tien dosiswaarden per protocol en leeftijdsgroep beschikbaar zijn. In de uitvraag bleek dat vaak niet het geval. Om voor alle protocollen dosisgrootheden te kunnen genereren, die gebruikt kunnen worden voor DRN bepaling, is ervoor gekozen om een exponentieel model van dosisgrootheid versus leeftijd te fitten aan de beschikbare verzamelde dosesgrootheden. De methode werkt als volgt:

1. Voor een bepaald protocol wordt voor elk ziekenhuis een quantiele regressie uitgevoerd, gebaseerd op een exponentiële curve, om de mediaancurve te bepalen van dosisgrootheid versus leeftijd. Om de fit met voldoende betrouwbaarheid te kunnen maken is een minimum van tien gesteld aan het aantal datapunten (leeftijd, dosis) en een verdeling van de datapunten over minimaal vijf leeftijdsjaren (en daarmee meerdere leeftijdscategorieën). Op basis van visuele inspectie door de werkgroep was hiermee voldoende leeftijdsbereik van de curves.
2. Per ziekenhuis worden op basis van de in de 1^e stap bepaalde curve 1800 datapunten gesampled.
3. Er wordt opnieuw een quantiele regressie uitgevoerd op de in de 2^e stap gegenereerde datapunten, om de 75^e percentielcurve te bepalen als DRN-curve. Bij deze regressie wordt een weging per centrum toegepast evenredig met het aantal in een standaardperiode aangeleverde onderzoeken voor het onderhavige protocol.

Om de vergelijking met Europese of andere internationale DRN’s mogelijk te maken zijn ook discrete DRN-waarden bepaald uit de 75^e percentiel exponentiele DRN-curves op basis van de DRN-waarde bij de mediane leeftijd binnen een leeftijdsinterval.

Alle statistische analyses zijn uitgevoerd in het softwarepakket R. (R, versie nr. 4.2.0). In R is de quantiele regressie geïmplementeerd op basis van het Barrodale and Roberts algorithm (Koenker, 1987; Koenker 1994).

Literatuurreferenties

European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

- Koenker, R. W., & d'Orey, V. (1987). Algorithm AS 229: Computing regression quantiles. *Applied statistics*, 383-393.
- Koenker, R., & d'Orey, V. (1994). Remark AS R92: A remark on algorithm AS 229: Computing dual regression quantiles and regression rank scores. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 43(2), 410-414.

Resultaten Bucky

Op basis van de beschreven methodiek in bijlage ‘Methodiek Bucky’ van deze module zijn de kinder diagnostische referentieniveaus (DRN) curves bepaald, voor de leeftijdscategorieën conform de Europese richtlijn “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” (PiDRL) (European Commission, 2018). De resultaten voor dosis oppervlakte product (DOP) zijn vastgesteld per protocol (Hoofd, Thorax, Abdomen, Bekken*, Wervelkolom Totaal, Wervelkolom Cervicaal, Wervelkolom Thoracaal en Wervelkolom Lumbaal) en weergegeven op drie verschillende manieren:

- (1) DRN-curves (exponentiële functies) (tabel S2.1 voor protocollen Hoofd, Thorax, Abdomen, Bekken, Wervelkolom Totaal, Wervelkolom Cervicaal, Wervelkolom Thoracaal en Wervelkolom Lumbaal),
- (2) tabellen met DRN-waarden op basis van mediane leeftijden (tabel S2.2 voor protocollen Hoofd, Thorax, Abdomen, Bekken, Wervelkolom Totaal en tabel S2.3 voor protocollen Wervelkolom Cervicaal, Wervelkolom Thoracaal en Wervelkolom Lumbaal),
- (3) grafieken met DRN-curves per protocol (figuur S2.1 – S2.13).

* De Bekken/heup protocollen zijn door alle centra aangeleverd als alleen bekken protocollen, daarom zijn DRN-waarden gegeven voor Bekken in plaats van Bekken/heup.

Tabel S2.1 Exponentiële functies voor de DRN-curves Bucky protocollen – DOP (mGy x cm²)

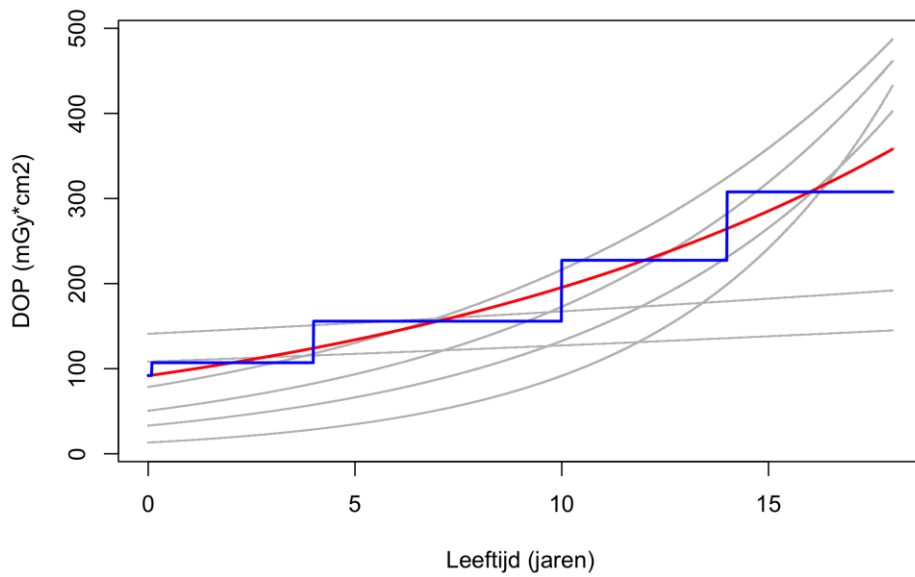
Protocol	DOP (leeftijd)
Hoofd AP/PA	$DOP(leeftijd) = 91,8 \times e^{(0,08 \times leeftijd)}$
Hoofd LAT	$DOP(leeftijd) = 97,5 \times e^{(0,04 \times leeftijd)}$
Thorax AP/PA	$DOP(leeftijd) = 6,4 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$
Abdomen AP/PA	$DOP(leeftijd) = 22,3 \times e^{(0,17 \times leeftijd)}$
Bekken AP/PA	$DOP(leeftijd) = 16,4 \times e^{(0,19 \times leeftijd)}$
Wervelkolom Totaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 70,8 \times e^{(0,10 \times leeftijd)}$
Wervelkolom Totaal LAT	$DOP(leeftijd) = 73,0 \times e^{(0,12 \times leeftijd)}$
WK Cervicaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 18,9 \times e^{(0,09 \times leeftijd)}$
WK Cervicaal LAT	$DOP(leeftijd) = 20,3 \times e^{(0,07 \times leeftijd)}$
WK Thoracaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 49,4 \times e^{(0,10 \times leeftijd)}$
WK Thoracaal LAT	$DOP(leeftijd) = 61,6 \times e^{(0,10 \times leeftijd)}$
WK Lumbaal AP/PA	$DOP(leeftijd) = 40,9 \times e^{(0,13 \times leeftijd)}$
WK Lumbaal LAT	$DOP(leeftijd) = 51,4 \times e^{(0,16 \times leeftijd)}$

Tabel S2.2 Bucky protocollen; gerapporteerde DOP ($mGy \times cm^2$) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie.

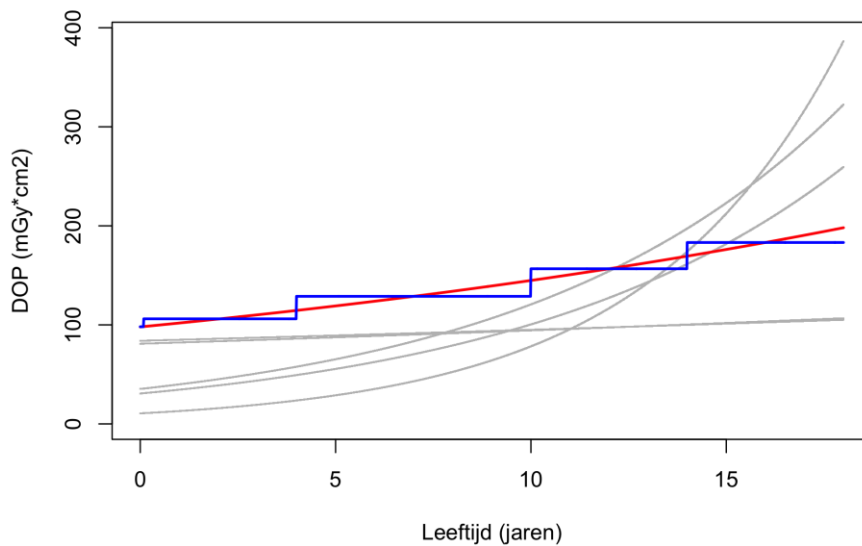
Leeftijd (mediaan)	Hoofd AP/PA	Hoofd LAT	Thorax AP/PA	Abdomen AP/PA	Bekken AP/PA	Wervelkolom Totaal AP/PA	Wervelkolom Totaal LAT
0-1mnd (15 dagen)	92,0	98,1	6,4	22,5	16,5	71,1	73,5
1mnd-4jr (24,5 maanden)	107,0	106,1	8,7	31,8	24,2	87,4	93,2
4-10jr (84 maanden)	155,8	128,8	15,6	75,2	62,5	145,5	16,2
10-14jr (144 maanden)	227,4	156,7	39,8	179,1	162,4	243,4	304,7
14-18jr (192 maanden)	307,8	183,2	73,1	358,7	348,7	367,2	490,3
Aantal Centra	7	6	22	19	18	9	7
Aantal academische centra	4	3	5	5	4	3	3
Aantal datapunten totaal	374	273	12371	3614	6267	4761	522
Aantal datapunten per centrum (gemiddelde [laagste - hoogste])	94 [12 - 374]	78 [12 - 273]	1076 [11 - 12371]	361 [10 - 3614]	660 [20 - 6267]	952 [19 - 4761]	131 [18 - 522]

Tabel S2.3 Bucky protocollen; gerapporteerde DOP ($mGy \times cm^2$) wervelkolom DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie

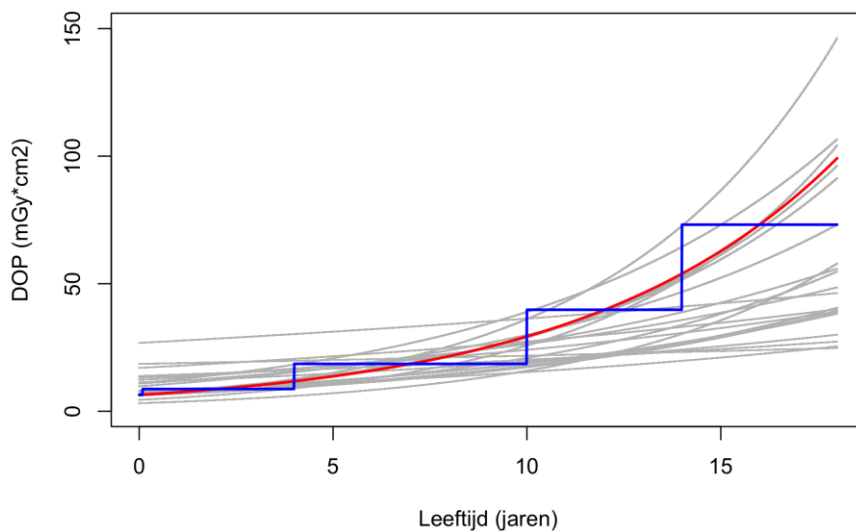
Leeftijd (mediaan)	WK Cervicaal AP/PA	WK Cervicaal LAT	WK Thoracaal AP/PA	WK Thoracaal LAT	WK Lumbaal AP/PA	WK Lumbaal LAT
0-1mnd (15 dagen)	19,0	20,3	49,6	61,5	41,1	51,7
1mnd-4jr (24,5 maanden)	22,5	23,4	60,9	75,5	53,2	71,4
4-10jr (84 maanden)	34,5	33,3	101,2	125,3	101,2	158,9
10-14jr (144 maanden)	53,1	47,5	169,0	208,8	193,5	356,0
14-18jr (192 maanden)	74,9	63,1	254,7	314,2	324,9	678,8
Aantal Centra	12	13	14	14	14	14
Aantal academische centra	4	4	4	4	4	4
Aantal datapunten totaal	784	686	856	823	1236	1167
Aantal datapunten per centrum (gemiddelde [laagste - hoogste])	121 [19 - 784]	98 [22 - 686]	114 [11 - 856]	110 [12 - 823]	165 [20 - 1236]	156 [22 - 1167]



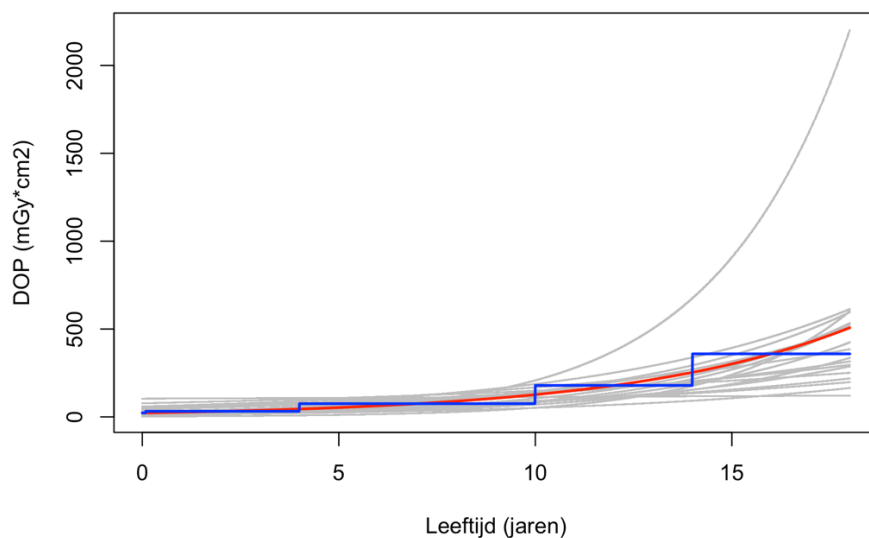
Figuur S2.1 – Vastgestelde DRN Bucky Hoofd AP/PA - $DOP(leeftijd) = 91,8 \times e^{(0,08 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 7 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



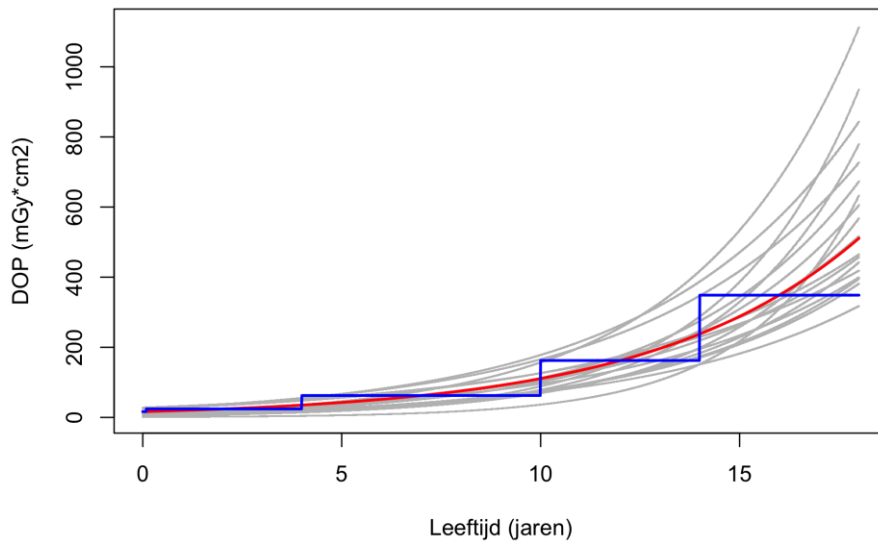
Figuur S2.2 – Vastgestelde DRN Bucky Hoofd LAT - $DOP(leeftijd) = 97,5 \times e^{(0,04 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 6 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



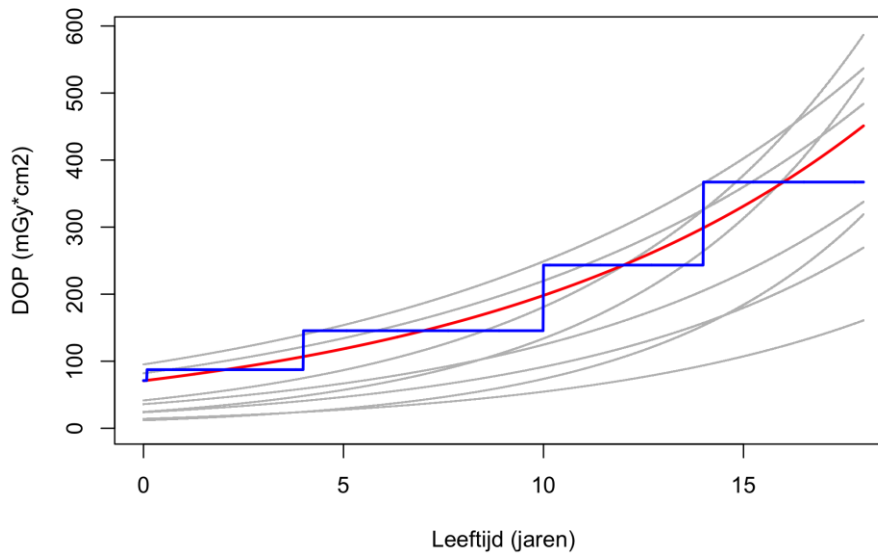
*Figuur S2.3 – Vastgestelde DRN Bucky Thorax AP/PA - $DOP(leeftijd) = 6,4 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 22 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.*



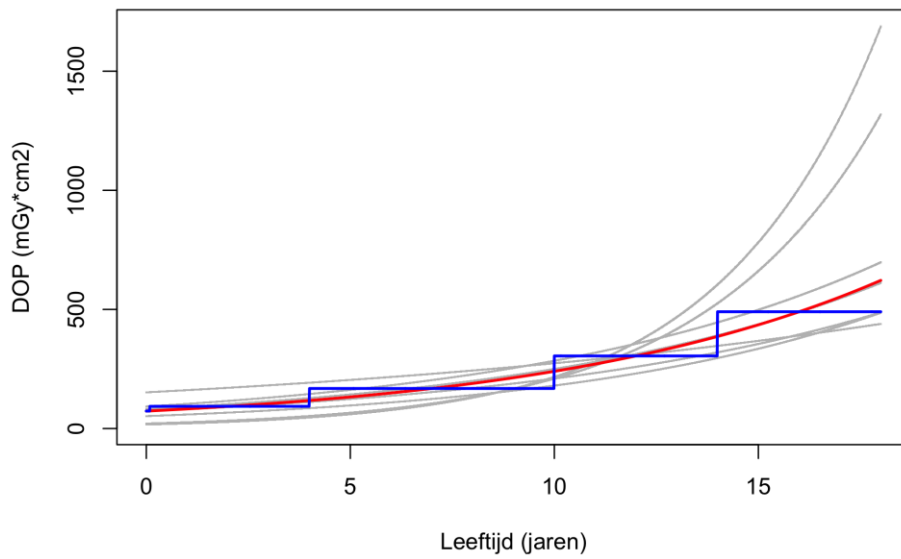
*Figuur S2.4 – Vastgestelde DRN Bucky Abdomen AP/PA - $DOP(leeftijd) = 22,3 \times e^{(0,17 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 19 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.*



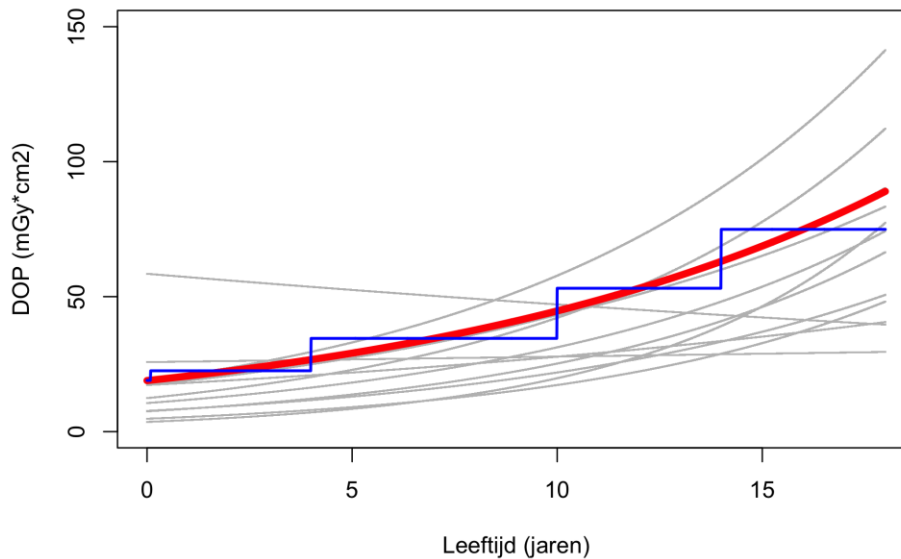
Figuur S2.5 – Vastgestelde DRN Bucky Bekken AP/PA - $DOP(\text{leeftijd}) = 16,4 \times e^{(0,19 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 18 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



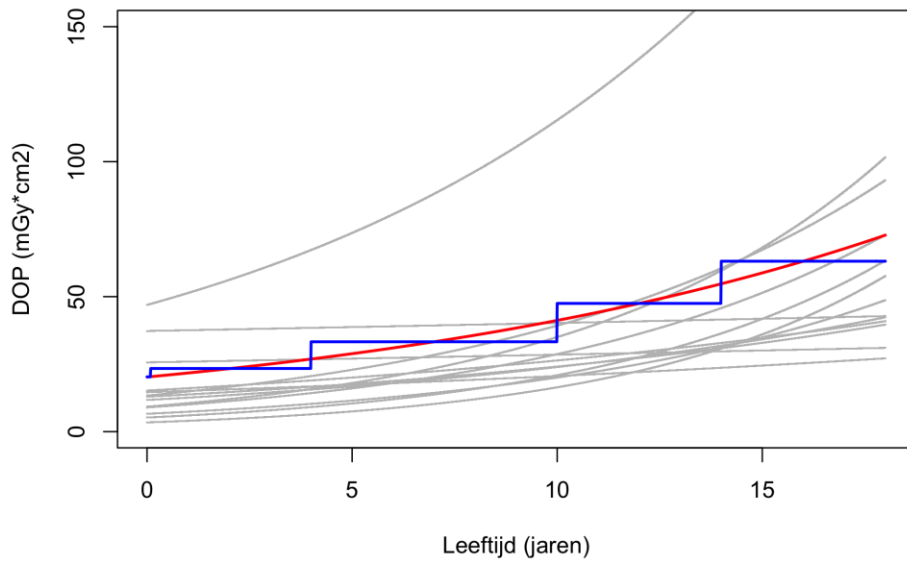
Figuur S2.6 – Vastgestelde DRN Bucky WK Totaal AP/PA - $DOP(\text{leeftijd}) = 70,8 \times e^{(0,10 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 9 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



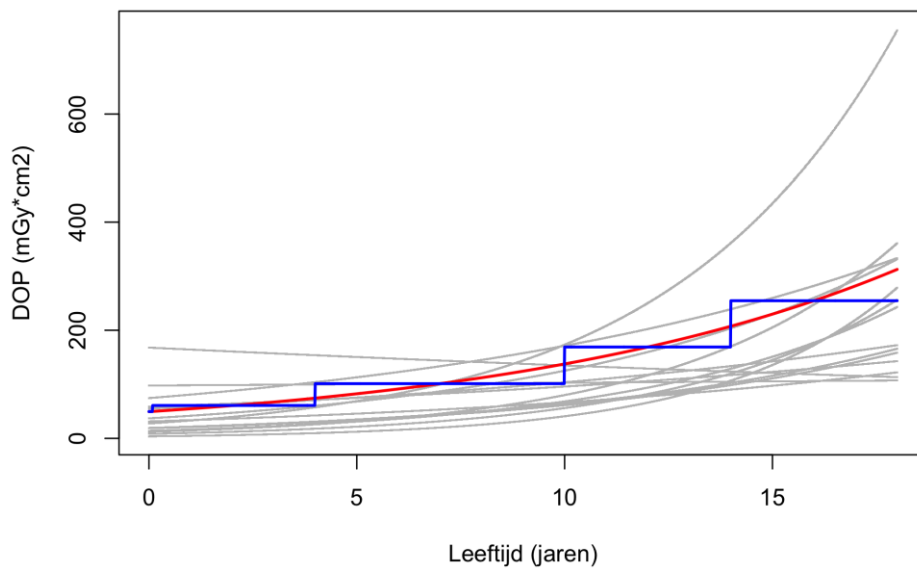
Figuur S2.7 – Vastgestelde DRN Bucky WK Totaal LAT - $DOP(\text{leeftijd}) = 73,0 \times e^{(0,12 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 7 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.



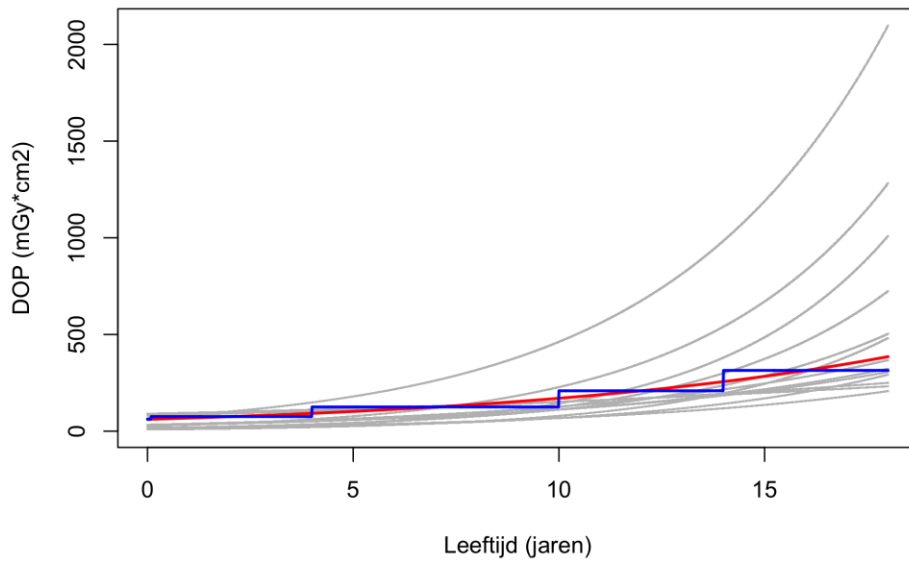
Figuur S2.8 – Vastgestelde DRN Bucky WK Cervicaal AP/PA - $DOP(\text{leeftijd}) = 18,9 \times e^{(0,09 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 12 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grize lijnen: individuele centra.



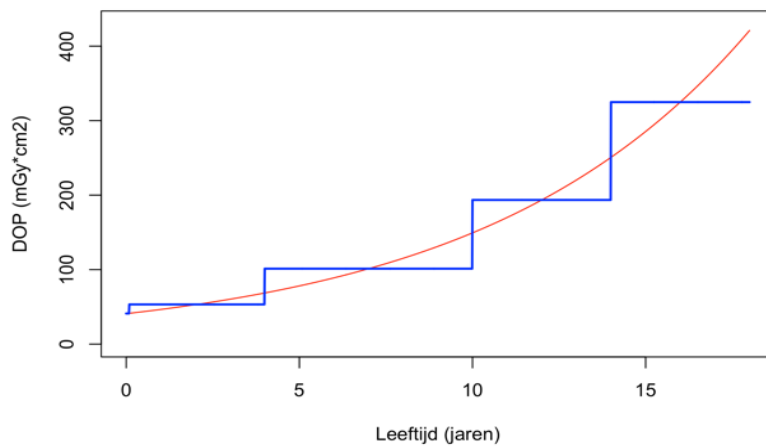
Figuur S2.9 – Vastgestelde DRN Bucky WK Cervicaal LAT - $DOP(\text{leeftijd}) = 20,3 \times e^{(0,07 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 13 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



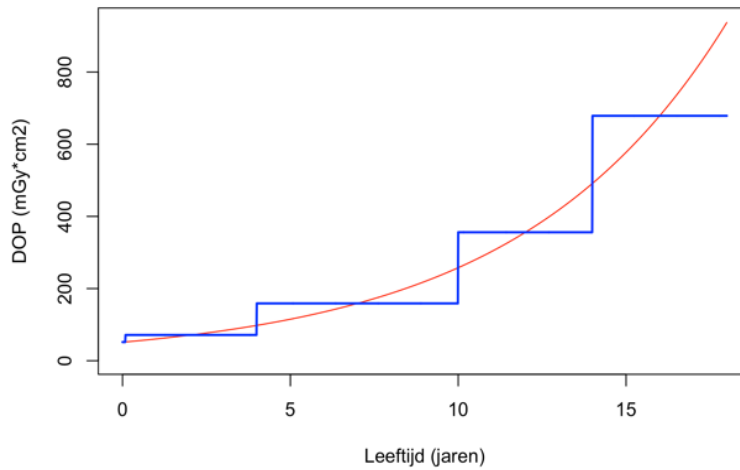
Figuur S2.10 – Vastgestelde DRN Bucky WK Thoracaal AP/PA - $DOP(\text{leeftijd}) = 49,4 \times e^{(0,10 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 14 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



Figuur S2.11 – Vastgestelde DRN Bucky WK Thoracaal LAT - $DOP(\text{leeftijd}) = 61,6 \times e^{(0,10 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 14 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



Figuur S2.12 – Vastgestelde DRN Bucky WK Lumbaal AP/PA - $DOP(\text{leeftijd}) = 40,9 \times e^{(0,13 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 14 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



*Figuur S2.13 – Vastgestelde DRN Bucky WK Lumbaal LAT - $DOP(\text{leeftijd}) = 51,4 \times e^{(0,16 \times \text{leeftijd})}$
 Gebaseerd op data van 14 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.*

Literatuurreferenties:

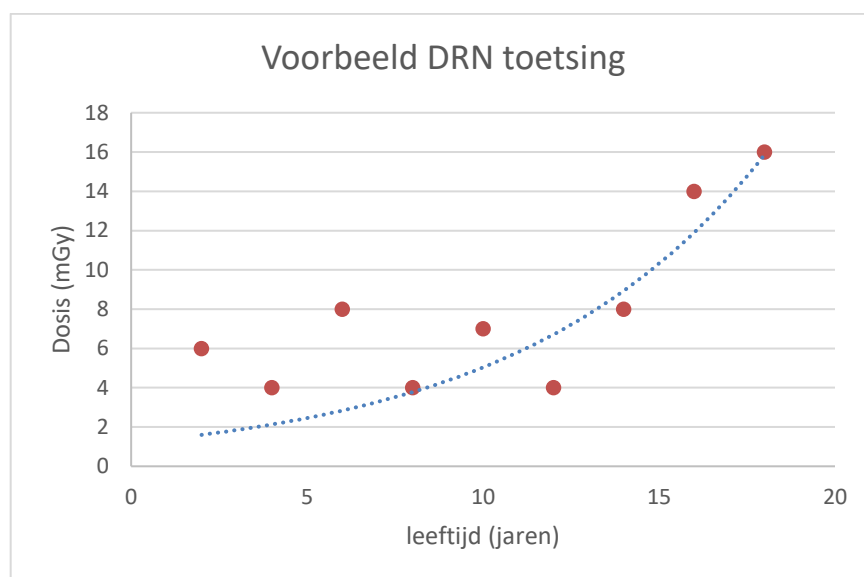
European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826
 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via
http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Gebruik implementatietool Bucky voor toetsing aan kinder-DRN's

In dit implementatieplan wordt besproken welke stappen er uitgevoerd moeten worden om de beeldvormende kinderonderzoeken te toetsen aan de kinder-DRN's.

Uitvoering

In de module over bucky zijn DRN's gedefinieerd voor bucky-protocollen op basis van een dosis-leeftijdcurve. Om als ziekenhuis de eigen dosiswaarden te toetsen aan deze curves is een Excel werkblad gemaakt dat hiervoor gebruikt kan worden, zie bijlage "Implementatietool Doorlichting" van deze module. De dosiswaarden en leeftijden van patiënten, zoals deze zijn gerapporteerd in de uitgevoerde onderzoeken, kunnen hierin worden ingevuld. Deze zullen vervolgens automatisch in de grafiek weergegeven worden. Zo wordt er gevisualiseerd hoe de individuele punten liggen ten opzichte van de DRN-curve, voor een voorbeeld zie figuur S3.1. Er is geen minimum aan aantal data punten vereist dat benodigd is voor deze toetsing. Uiteraard geldt wel hoe meer data punten hoe betrouwbaarder de conclusie. Er is conform de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PIDRL) (European Commission, 2018) gekozen voor conclusies op basis van een situatie met < 10 patiënten en met ≥ 10 patiënten.



Figuur S3.1. Voorbeeld van toetsing aan de landelijke kinder-DRN-curve. Landelijke DRN-curve (blauwe lijn) en de dosiswaarden van een ziekenhuis (oranje punten).

Om te bepalen of het ziekenhuis voldoet aan de kinder-DRN voor een specifieke opname protocol (dus één richting), kan afhankelijk van het aantal patiënten gebruik gemaakt worden voor één van onderstaande tabellen.

≥ 10 patiënten:

Individuele punten:	Conclusie:	Actie:
Meer dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet aan de DRN-waarde*	Geen actie nodig.
Minder dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet niet aan de DRN-waarde*	Zijn er speciale omstandigheden waardoor er een verklaring is dat er een hogere dosis is gebruikt, i.e. fors(e) kind(eren), ander onderzoek? Zo niet, de protocollen nakijken.
Meerdere punten ver onder de DRN-curve	Voldoet aan de DRN-waarde, maar mogelijk	Zijn er speciale omstandigheden, i.e. heel klein kind, ander onderzoek of vraagstelling? Eventueel de protocollen nakijken.

	onvoldoende diagnostische kwaliteit	
--	-------------------------------------	--

* hierbij kan de nuance gemaakt worden dat een bepaalde leeftijdscategorie wel wordt voldaan aan de DRN-waarde. Bv: als alle dosispunten van kinderen < 10 jaar wel onder de curve liggen en > 10 jaar erboven, in dat geval hoeft er alleen actie te worden genomen bij de > 10 jaar groep.

< 10 patiënten:

Individuele punten:	Conclusie:	Actie:
Meer dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk aan de DRN-waarde*	Geen actie nodig.
Minder dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk niet aan de DRN-waarde*	Zijn er speciale omstandigheden waardoor er een verklaring is dat er een hogere dosis is gebruikt, i.e. fors(e) kind(eren), ander onderzoek? Zo niet, de protocollen nakijken.
Meerdere punten ver onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk aan de DRN-waarde, maar mogelijk onvoldoende diagnostische kwaliteit	Zijn er speciale omstandigheden, i.e. heel klein kind, ander onderzoek of vraagstelling? Eventueel de protocollen nakijken.

* hierbij kan de nuance gemaakt worden dat een bepaalde leeftijdscategorie wel wordt voldaan aan de DRN-waarde. Bv: als alle dosispunten van kinderen < 10 jaar wel onder de curve liggen en > 10 jaar erboven, in dat geval hoeft er alleen actie te worden genomen bij de > 10 jaar groep.

Frequentie van kinder-DRN toetsing:

De werkgroep adviseert om minimaal jaarlijks de lokale onderzoeken aan de kinder-DRN te toetsen.

Literatuurreferenties:

European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Implementatietool bucky

Deze bijlage is als losse excel bijgevoegd.

Table of excluded studies

Reference	Reason for exclusion
Afzalipour, 2019	wrong radiology modality
Al-Haj, 2016	wrong publication, conference abstract
Alkhorayef, 2020	wrong radiology modality
Anna, 2017	wrong radiology modality
Ataç, 2015	wrong radiology modality
Benmessaoud, 2020	wrong radiology modality
Bijwaard, 2015	wrong outcome - no DRL
Bijwaard, 2016	wrong outcome - no DRL
Bouaoun, 2018	wrong outcome - no DRL
Brat, 2019	wrong design
Céliier, 2020a	wrong radiology modality
Compagnone, 2021	wrong outcome - no DRL
Dabin, 2014	wrong population
De Monte, 2020	wrong outcome - no DRL
Deevband, 2021	wrong radiology modality
Farah, 2018	updated Forbes 2021
Forbes, 2022	wrong radiology modality
Fukushima, 2012	wrong radiology modality, updated Takei 2016
Goske, 2011	wrong design
Goske, 2012	wrong design
Goske, 2014	wrong publication
Goske, 2014	wrong design
Goske, 2014	wrong design
Granata, 2012	wrong publication, poster abstract
Hammond, 2021	wrong publication
Hart, 2009	wrong radiology modality
Hayton, 2016	wrong radiology modality, updated Anna 2017
Hull, 2017	wrong design
Hwang, 2021	wrong radiology modality
Jackson, 2015	wrong outcome - no DRL
Janbabanezhad-Toori, 2016	wrong outcome - no DRL
Järvinen, 2011	wrong radiology modality
Järvinen, 2015	wrong radiology modality
Jung, 2014	wrong design
Kanal, 2021	wrong radiology modality, updated Kanal 2022
Kanal, 2022	wrong radiology modality
Kharita, 2010	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Kiljunen, 2007	missing outcome data, refers to external website
Kiljunen, 2009	wrong outcome - no DRL
Kim, 2012	wrong design
Kim, 2017	wrong radiology modality
Kim, 2019	wrong radiology modality
Korir, 2014	wrong radiology modality
Korir, 2016	wrong radiology modality
Kottou, 2018	wrong design
Kritsaneepaiboon, 2012	wrong radiology modality
Matsunaga, 2015	wrong radiology modality, updated Matsunaga 2019
Matsunaga, 2019	wrong radiology modality
Miyazaki, 2014	wrong population
Mobini, 2014	wrong publication, conference abstract
Mohiy, 2012	wrong outcome
Mokubangele, 2020	wrong radiology modality
Moorin, 2013	wrong design
Niiniviita, 2018	wrong design
Paulo, 2016	wrong radiology modality, same data Paulo 2016
Paulo, 2019	wrong radiology modality, same data Paulo 2016
Priyanka, 2021	wrong publication
Rawashdeh, 2019	wrong radiology modality

Sage, 2021	wrong outcome
Santos, 2014	wrong radiology modality
Saravanakumar, 2017	wrong radiology modality
Satharasinghe, 2021	wrong publication
Satharasinghe, 2021	duplicate
Seuri, 2014	wrong radiology modality, updated Jarvinen 2015
Seuri, 2017	wrong radiology modality, updated Almen 2022
Sonawane, 2011	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Strauss, 2014	wrong publication
Strauss, 2017	wrong outcome
Súkupová L, 2008	wrong language
Suliman, 2015	wrong radiology modality
Tahmasebzadeh, 2020	wrong design
Takei, 2016	wrong radiology modality
Thiele, 2016	wrong design
Thomas, 2016	wrong radiology modality, updated Anna 2017
Thomas, 2019	wrong outcome - no DRL
Tonkopi, 2016	wrong publication, conference abstract
Ubeda, 2012	wrong design
Ubeda, 2015	wrong design
van der Merwe, 2020	wrong radiology modality
Vassileva, 2015	wrong radiology modality
Verdun, 2008	wrong radiology modality
Vitta, 2009	wrong design
Wagner, 2018	wrong radiology modality
Wardlaw, 2016	wrong radiology modality
Westra, 2014	wrong publication
Westra, 2014	wrong design
Worrall, 2022	wrong radiology modality
Yakoumakis, 2009	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Yakoumakis, 2013	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Yamada, 2015	wrong population
Zamani, 2021	wrong radiology modality
Zhou, 2019	wrong outcome - no DRL

Literature search strategy

Richtlijn: Kinder DRN	
Uitgangsvraag: Welke diagnostische referentieniveaus moeten in Nederland aangehouden worden voor de 3 radiologische modaliteiten CT, bucky en doorlicht apparatuur?	
Database(s): Ovid/Medline, Embase.com (Clinical Key + Trip database)	Datum: 07-04-2022
Periode: 2002 - heden	Talen: Engels, Nederlands
Literatuurspecialist: Miriam van der Maten	
BMI-zoekblokken: voor verschillende opdrachten wordt (deels) gebruik gemaakt van de zoekblokken van BMI-Online https://blocks.bmi-online.nl/ Bij gebruikmaking van een volledig zoekblok zal naar de betreffende link op de website worden verwezen.	

Zoekopbrengst

	EMBASE	OID/MEDLINE	Ontdubbeld
SRs	13	6	13
Guideline en protocollen	184	81	181
Overige studies	270	188	313

Totaal	467	275	507
---------------	-----	-----	------------

Zoekstrategie

Embase.com

No.	Query	Results
#12	#9 OR #10 OR #11	467
#11	#6 NOT (#9 OR #10)	270
#10	#6 AND #8 NOT #7	184
#9	#6 AND #7	13
#8	'practice guideline'/de OR guideline*:ti,ab,kw OR recommendation*:ti,ab,kw OR cpg:ti,ab,kw OR protocol*:ti,ab,kw	1928194
#7	'meta analysis'/exp OR 'meta analysis (topic)'/exp OR metaanaly*:ti,ab OR 'meta analy*':ti,ab OR metanaly*:ti,ab OR 'systematic review'/de OR 'cochrane database of systematic reviews'/jt OR prisma:ti,ab OR prospero:ti,ab OR (((systemati* OR scoping OR umbrella OR 'structured literature') NEAR/3 (review* OR overview*)):ti,ab) OR ((systemic* NEAR/1 review*):ti,ab) OR (((systemati* OR literature OR database* OR 'data base*') NEAR/10 search*):ti,ab) OR (((structured OR comprehensive* OR systemic*) NEAR/3 search*):ti,ab) OR (((literature NEAR/3 review*):ti,ab) AND (search*:ti,ab OR database*:ti,ab OR 'data base*':ti,ab)) OR ('data extraction':ti,ab OR 'data source*':ti,ab) AND 'study selection':ti,ab) OR ('search strategy':ti,ab AND 'selection criteria':ti,ab) OR ('data source*':ti,ab AND 'data synthesis':ti,ab) OR medline:ab OR pubmed:ab OR embase:ab OR cochrane:ab OR (((critical OR rapid) NEAR/2 (review* OR overview* OR synthes*)):ti) OR (((critical* OR rapid*) NEAR/3 (review* OR overview* OR synthes*)):ab) AND (search*:ab OR database*:ab OR 'data base*':ab)) OR metasynthes*:ti,ab OR 'meta synthes*':ti,ab	814860
#6	#1 AND (#2 OR #3 OR #4) AND #5 AND [2002-2022]/py NOT (('animal experiment'/exp OR 'animal model'/exp OR 'nonhuman'/exp) NOT 'human'/exp)	467
#5	'diagnostic reference level'/exp OR 'diagnostic reference level*':ti,ab,kw OR drl*:ti,ab,kw OR (((dosage OR dose) NEAR/3 'reference level*'):ti,ab,kw) OR (((dosage OR dose) NEAR/2 age):ti,ab,kw)	7593
#4	'fluoroscopy'/exp OR fluoroscop*:ti,ab,kw OR ((fluorescence NEAR/3 (radiation OR scan*)):ti,ab,kw) OR fluorophotograph*:ti,ab,kw OR photofluoroscop*:ti,ab,kw	80090
#3	'ionizing radiation'/exp OR 'radiodiagnosis'/de OR 'radiography'/de OR 'x ray'/exp OR bucky:ti,ab,kw OR roentgen:ti,ab,kw OR rontgen:ti,ab,kw OR röntgen:ti,ab,kw OR xray*:ti,ab,kw OR 'x-ray*':ti,ab,kw OR radiophotograph*:ti,ab,kw OR radiograph*:ti,ab,kw	1063771
#2	'computer assisted tomography'/exp OR 'cat scan':ti,ab,kw OR ((compute* NEAR/3 tomograph*):ti,ab,kw) OR ct:ti,ab,kw OR cts:ti,ab,kw	1544778
#1	'adolescent'/exp OR 'baby'/exp OR 'boy'/exp OR 'child'/exp OR 'minors'/exp/mj OR 'pediatric patient'/exp OR 'pediatrics'/exp OR	5278649

No.	Query	Results
	'schoolchild'/exp OR infan*:ti,ab,kw OR newborn*:ti,ab,kw OR 'new born*':ti,ab,kw OR perinat*:ti,ab,kw OR neonat*:ti,ab,kw OR baby*:ti,ab,kw OR babies:ti,ab,kw OR toddler*:ti,ab,kw OR minors*:ti,ab,kw OR boy:ti,ab,kw OR boys:ti,ab,kw OR boyfriend:ti,ab,kw OR boyhood:ti,ab,kw OR girl*:ti,ab,kw OR kid:ti,ab,kw OR kids:ti,ab,kw OR child*:ti,ab,kw OR children*:ti,ab,kw OR schoolchild*:ti,ab,kw OR adolescen*:ti,ab,kw OR juvenil*:ti,ab,kw OR youth*:ti,ab,kw OR teen*:ti,ab,kw OR pubescen*:ti,ab,kw OR pediatric*:ti,ab,kw OR paediatric*:ti,ab,kw OR peadiatric*:ti,ab,kw OR school:ti,ab,kw OR school*:ti,ab,kw OR 'fetus'/exp OR fetus:ti,ab,kw OR fetal:ti,ab,kw	

Ovid/Medline

#	Searches	Results
12	9 or 10 or 11	275
11	6 not (9 or 10)	188
10	(6 and 8) not 9	81
9	6 and 7	6
8	exp Practice Guideline/ or (guideline* or recommendation* or cpg or protocol*).ti,ab,kf.	1186774
7	(meta-analysis/ or meta-analysis as topic/ or (metaanaly* or meta-analy* or metanaly*).ti,ab,kf. or systematic review/ or cochrane.jw. or (prisma or prospero).ti,ab,kf. or ((systemati* or scoping or umbrella or "structured literature") adj3 (review* or overview*).ti,ab,kf. or (systemic* adj1 review*).ti,ab,kf. or ((systemati* or literature or database* or data-base*) adj10 search*).ti,ab,kf. or ((structured or comprehensive* or systemic*) adj3 search*).ti,ab,kf. or ((literature adj3 review*) and (search* or database* or data-base*).ti,ab,kf. or ("data extraction" or "data source*") and "study selection").ti,ab,kf. or ("search strategy" and "selection criteria").ti,ab,kf. or ("data source*" and "data synthesis").ti,ab,kf. or (medline or pubmed or embase or cochrane).ab. or ((critical or rapid) adj2 (review* or overview* or synthes*).ti. or (((critical* or rapid*) adj3 (review* or overview* or synthes*)) and (search* or database* or data-base*).ab. or (metasynthes* or meta-synthes*).ti,ab,kf.) not (comment/ or editorial/ or letter/ or ((exp animals/ or exp models, animal/) not humans/))	557229
6	1 and (2 or 3 or 4) and 5	269
5	exp Diagnostic Reference Levels/ or 'diagnostic reference level*'.ti,ab,kf. or drl*.ti,ab,kf. or 'dose reference level*'.ti,ab,kf. or ((dosage or dose) adj2 age).ti,ab,kf.	4859
4	exp fluoroscopy/ or fluoroscop*.ti,ab,kf. or (fluorescence adj3 (radiation or scan*).ti,ab,kf. or fluorophotograph*.ti,ab,kf. or photofluoroscop*.ti,ab,kf.	46456
3	exp X-Rays/ or exp Radiography/ or exp Radiation, Ionizing/ or bucky.ti,ab,kf. or roentgen.ti,ab,kf. or r?ntgen.ti,ab,kf. or xray*.ti,ab,kf. or 'x-ray*'.ti,ab,kf. or radiophotograph*.ti,ab,kf. or radiograph*.ti,ab,kf.	1742916

#	Searches	Results
2	exp Tomography, X-Ray Computed/ or (cat scan* or ct or cts).ti,ab,kf. or (compute* adj3 tomograph*).ti,ab,kf.	792499
1	(child* or schoolchild* or infan* or adolescen* or pediatri* or paediatr* or neonat* or boy or boys or boyhood or girl or girls or girlhood or youth or youths or baby or babies or toddler* or childhood or teen or teens or teenager* or newborn* or postneonat* or postnat* or puberty or preschool* or suckling* or juvenile? or fetus or fetal).tw.	2729924

Module Doorlichting kinder-DRN's

Uitgangsvraag

Welke diagnostische referentieniveaus moeten voor kinderen in Nederland aangehouden worden voor de beeldvormende modaliteit doorlichting?

Inleiding

Uit de praktijk is bekend dat er variatie is in de stralingsbelasting van de beeldvormende modaliteit doorlichting bij kinderen. Dit biedt ruimte voor verbetering in termen van meer uniformiteit tussen ziekenhuizen wat wenselijk is aangezien röntgenstraling schadelijk kan zijn. Zorgvuldig gebruik is daarom belangrijk. Daarnaast kan de kwaliteit van de beelden variëren, dit is onwenselijk voor de diagnostiek. Het is de taak van de klinisch fysicus, radioloog en radiodiagnostisch laborant om zorg te dragen voor een zo laag mogelijk stralingsbelasting voor de patiënt bij een adequate beeldkwaliteit (as low as reasonably achievable (ALARA) (United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), 2021)) conform het "Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming" (Bbs) (Bbs, 2017). Er zijn Europese referentieniveaus, maar de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PiDRL) adviseert sterk om nationale diagnostische referentieniveaus (DRN's) te gebruiken (European Commission, 2018). Er bestaat een aantal Nederlandse kinder-DRN's, maar deze zijn gebaseerd op sterk verouderde en niet volledig Nederlandse data (beschreven in het rapport 'Stralingsbescherming in het ziekenhuis' van de Nederlandse commissie voor stralingsdosimetrie (NCS) van juni 2012). Bovendien ontbreken DRN's voor sommige protocollen die veelvuldig in de praktijk worden gebruikt, zoals maagdarmonderzoeken. In deze modules wordt getracht kinder-DRN's te bepalen die beter aansluiten op de huidige Nederlandse praktijk en kinder-DRN's te bepalen voor veel voorkomende protocollen waarvoor nog geen DRN gespecificeerd is.

Search and select

A systematic review of the literature was performed to answer the following question: In the current international literature, what Diagnostic Reference Levels (DRLs) have been established for children aged 0-18 years for radiological examination with ionizing radiation?

Population: Children aged 0-18 years (exclusion: preterm infants/ neonatal intensive care units (NICU) population)

Intervention: Radiological examinations with fluoroscopy (exclusion: nuclear diagnostics/radiotherapy/dental recording)

Comparison: Not applicable

Outcome: Diagnostic Reference Level (DRL), dose-age/weight distribution

Relevant outcome measures

The guideline development group considered DRL as a critical outcome measure for decision making and dose-age/weight distribution as an important outcome measure for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above, but used the definitions used in the studies.

Search and select (Methods)

The databases Embase.com and Ovid/Medline were searched with relevant search terms from 01-01-2002 until 07-04-2022. The detailed search strategy is depicted under the tab

Methods. The systematic literature search resulted in 471 hits. Studies for this module were selected based on the following criteria:

- systematic reviews (searched in at least two databases, and detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available), guidelines/protocols or other studies on diagnostic reference levels for the radiological modality fluoroscopy;
- full-text English language publication;
- children aged ≤ 18 years;
- studies according to the PICO (Population-Intervention-Comparison-Outcome).

109 studies were initially selected based on title and abstract screening. After reading the full text, 103 studies were excluded (see the table with reasons for exclusion under the tab Methods), and 6 studies were included. Since the “European Guidelines on Diagnostic Reference Levels RP no. 185” (PiDRL) (European Commission, 2018) is a landmark publication that contains European DRLs (EDRLs), this was also included as a study reporting DRLs.

Results

7 studies were included in the analysis of the literature. We could not apply the GRADE method for weighting the evidence because of the non-comparative study designs.

Summary of literature

Description of studies

Table 1 describes the characteristics of the 6 fluoroscopy studies included in the analysis. All studies report a DRL for the dose-area product (DAP) or an equivalent measure such as the kerma-area product (KAP or P_{KA}). The KAP or P_{KA} were equated to the DAP for the purposes of the literature analysis. Four studies derive a national DRL (Célier, 2020b; Hart, 2009; Schegerer, 2019; Korir 2013), one a local DRL (Forbes, 2022) and one a European DRL (Smans 2008). Most DRLs were based on patient age (usually for age brackets), although weight-based estimates were given in two more recent publications (Célier, 2020b; Schegerer, 2019). Only micturating cystourethrography (MCU) was examined by multiple studies (Hart, 2009; Schegerer, 2019; Célier, 2020b; Forbes, 2022), but separate DRLs were calculated for voiding cystourethrogram (Smans, 2008); cardiac catheterisation, pulmonary balloon valvuloplasty and PDA (patent ductus arteriosus) closure (Korir, 2013); barium meal and barium swallow (Hart, 2009); upper GI and enema (Forbes, 2022); and upper and lower GI (Célier, 2020b).

To establish DRLs most studies used the third quartile values of the dose distribution for each type of examination and, if applicable, age or weight group of interest. Recent studies base their approach on the 2018 European Commission (EC) guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging (PiDRL) (European Commission, 2018), while older studies refer to earlier EC documents (European Commission, 1996) or the International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommendations.

Table 1: Summary of characteristics of selected fluoroscopy studies

Reference	Type of DRL	DRL method	No. of scanners	No. of hospitals	No. of patients	Reported by age or weight	Part studied
Célier 2020b	French national DRL	75 th percentile of the distribution of the median values per location. Only calculated if there were at least 10 patients.	42	16	1235, at least 10 patients per procedure	Age plus equivalent-weight	Upper GI, lower GI, MCU
European Commission 2018	European DRL	75 th percentile of the distribution of the median values of all locations.	-	-	-	Weight	MCU
Forbes 2022	France local DRL	75 th percentile of the median values in each center, according to the EC PIDRL and ICRP recommendations. A minimum of 15 examinations, by patient group and procedure type, were considered in the calculation of the median value of each location.	-	5	2,406 examinations, 40-661 patients per procedure and age group	Age	Fluoroscopically-guided contrast enema, upper gastrointestinal tract
Hart 2009	United Kingdom national DRL	75 th percentile of the mean patient doses observed in a nationally representative sample of at least 20 X-ray rooms	Ranging from 16-59 for each DRL.	316	Unclear no. of paediatric patients, 208 000 DAP measurements along with 187 000 fluoroscopy times in the combined adult and paediatric data.	Age	MCU, barium meal, barium swallow
Korir 2013	Kenyan national DRL	75 th percentile for each type of examination without age brackets.	5	-	50 total, 10-24 per DRL	Not applicable	Cardiac catheterisation, pulmonary balloon valvuloplasty, PDA (patent ductus arteriosus) closure
Schegerer 2019*	German national DRL	75 th percentiles of the particular dose distributions, conform EC guidelines.	-	-	Minimum 50, unclear exact no per DRL.	Age plus equivalent-weight	MCU
Smans 2008	European DRL, including 13 countries	75 th percentile of the dose distribution of the values per location. Both mean and median values per location were accepted.	-	14	Not reported	Age	MCU

DRLs=Diagnostic reference levels, MCU= micturating cystourethrography, GI = gastrointestinal.

* Schegerer 2019 combined multiple databases that rely on data from >100 hospitals, but did not specify the exact number of CT scanners or hospitals.

Results

DRLs for specific age or weight brackets are described in table 2 and table 3 for other examination types. The studies are very diverse in design and implementation. Therefore, it is not possible to perform a meta-analysis or calculate summary statistics for the data from tables 2 and 3. In terms of the method used to derive DRLs, there were differences between studies in weight-based vs age-based diagnostic reference levels.

Weight-based versus age-based diagnostic reference levels

Forbes (2022), Hart (2009) and Smans (2008) calculated DRLs for different age brackets. The European Commission (2018) reported weight based DRLs. In addition, two studies report both age and weight based DRLs, but the weights brackets were estimated based on the patient's age instead of being based on actual weight measures from patients (Céliér, 2020a; Schegerer, 2019). These two studies reported both the age bracket and weight bracket (estimated based on age) for each DRL. In both studies, weight was only measured in a small subset of patients per location. Therefore, both studies verified per location that the median values based on weight from actual measurements corresponded to the median values based on weight estimated from patient age.

Table 2: Fluoroscopy diagnostic reference levels (dose area product (DAP) (mGy x cm²)) for miction cystourethrography (MCU).

Célier 2020b		Forbes 2022		Hart 2009		Smans 2008		Schegegerer 2019		EC 2018	
Age and equivalent weight brackets	DAP	Age	DAP	Standard age (years)	DAP	Age (years)	DAP	Age and equivalent weight brackets	DAP	Weight (kg)	DAP
1 month - < 4 years, 5-15 kg	720	<1 month	26	0	300	<1	187	3 – <5 kg; 0 – < 3 months	50	<5	300
		1 month ≤ 4 years	37	1	700	2-3	533	5 – < 10 kg; 3 – < 12 months	100	5-< 15	700
		4 years ≤ 10 years	75	5	800	8-12	1322	10 – < 19 kg; 1 – < 5 years	180	15-< 30	800
		10 years ≤ 14 years	242	10	1500	>12	3165	19 – < 32 kg; 5 – < 10 years	300	30-< 50	750
				15	2500						

Abbreviations: miction cystourethrography (MCU), dose area product (DAP) in mGy x cm²

*Hart 2009 originally reported Gy x cm², these values were converted to mGy x cm² by multiplying with 1000.

** Forbes 2022, Smans 2008 and Schegegerer 2019 originally reported cGy x cm², this was converted to mGy x cm² by multiplying by 10.

Table 3: Fluoroscopy diagnostic reference levels (dose area product (DAP) (mGy x cm²)) for other types of examinations.

Célier 2020b		Forbes 2022		Hart 2009		Korir 2014	
Examination (age and equivalent weight brackets)	DAP	Examination (age)	DAP	Examination (standard age)	DAP	Examination (age years)	DAP
Upper GI (aortic arch malformation, intestinal malrotation diagnosis) 1 month - < 4 years, 5-15 kg	160	Upper GI (<1 month)	33	Barium meal 0 year	400	Cardiac catheterisation (0-14 years)	80000
		Upper GI (1 month ≤ 4 years)	58	Barium meal 1 year	1100		
Lower GI (neonatal intestinal obstruction) < 1 month, < 5 kg	290	Upper GI (4 ≤ 10 years)	75	Barium meal 5 year	1300	Patent ductus arteriosus closure (1-5 years)	128000
		Upper GI (10 ≤ 14 years)	115	Barium meal 10 year	2400		
Lower GI therapeutic enema 1 month - < 4 years, 5-15 kg	360	Upper GI (14 ≤ 18 years)	802	Barium meal 15 year	6400	Pulmonary balloon valvuloplasty (1-11 years)	63000
		Enema (<1 month)	41	Barium swallow 0 year	400		
		Enema (1 month ≤ 4 years)	90	Barium swallow 1 year	1200		
		Enema (4 ≤ 10 years)	150	Barium swallow 5 year	1300		
				Barium swallow 10 year	2900		
				Barium swallow 15 year	3500		

Abbreviations: GI= gastrointestinal, DAP= dose area product in mGy x cm²

*Hart 2009 and Korir 2014 originally reported Gy x cm², these values were converted to mGy x cm² by multiplying with 1000.

** Forbes 2022 originally reported cGy x cm², this was converted to mGy x cm² by multiplying by 10.

Level of evidence of the literature

Because of the non-comparative study designs, we could not apply the GRADE method for weighting the evidence.

Conclusions

- GRADE	We could not apply the GRADE method for weighting the evidence and drawing conclusions about the literature because of the non-comparative study designs.
----------------	---

Overwegingen – van bewijs naar aanbeveling

Voor- en nadelen van de diagnostische procedure en de kwaliteit van het bewijs

Literatuur

Er zijn slechts 6 studies beschikbaar in de literatuur die ook nog maar over een zeer beperkt aantal type procedures rapporteren. Daarbij zijn de studies in de literatuuranalyse zeer divers in opzet en uitvoering. Voor het bepalen en rapporteren van een DRN per type onderzoek wordt vooral gebruik gemaakt van de 75e percentiel methode vanuit de Europese Commissie (EC) voor bepaalde leeftijdscategorieën (European Commission, 2018). De gerapporteerde gewichtscategorieën zijn afgeleid uit de leeftijdscategorieën, niet op basis van gewichten van de patiënten.

Voor mictie-cysto-urethrogram (MCU) protocollen varieert de DRN-waarde tussen 26 en 3165 mGy x cm². Voor hogere gastro-intestinale protocollen varieert de DRN-waarde tussen 3,3 en 80 mGy x cm². Voor lagere gastro-intestinale protocollen rapporteert Célier 2020b als enige DRN's. Namelijk een DRN van 290 mGy x cm² voor kinderen jonger dan 1 maand en een DRN van 360 mGy x cm² voor kinderen tussen één maand en vier jaar oud. Van de overige protocollen varieert de DRN-waarde tussen 40 en 128 000 mGy x cm².

Methodiek vaststellen DRN – indeling in categorieën

Omdat kinderen qua lengte en gewicht veel van elkaar verschillen is een onderverdeling in categorieën nodig. Uit de literatuurstudie blijkt dat de gebruikte methoden om een kinder-DRN te bepalen weinig uniform is qua indeling van de gebruikte categorie. De Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" PiDRL (European Commission, 2018) voor DRN in kinderradiologie adviseert om gewichtscategorieën te gebruiken (vanwege de betere correlatie met dosiswaarden). In deze Europese PiDRL richtlijn wordt aangegeven dat tijdelijk een leeftijd-gebaseerde categorie-indeling gebruikt kan worden tot gewicht-gebaseerde dosisverzameling mogelijk is.

Hoewel gewicht het aanbevolen patiëntkenmerk is om DRN's van lichaamsonderzoeken te classificeren in de EC-methode (European Commission, 2018), rapporteren alleen Schegerer (2019) en Celier (2020) DRN's in gewichtsklassen. Hierbij zijn gewichtscategorieën bepaald op basis van de leeftijd.

De Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" PiDRL (European Commission, 2018) geeft een relatie tussen de gewichtscategorieën en de leeftijd (tabel 7.2 in appendix F), op basis van een correlatie tussen gemiddeld gewicht per leeftijd. Hiermee is de DRN-waarde per gewichtscategorie [0>5 kg], [5>15 kg], [15>30 kg], [30>50 kg], [50- 80 kg] om te zetten naar een DRN per leeftijdscategorie [0>1 maand], [1 maand>4 jaar], [4>10 jaar], [10>14 jaar], [14-18 jaar]. Op basis van de literatuur en aanbevelingen in de Europese richtlijn stelt de

werkgroep voor een DRN vast te stellen op basis van leeftijdscategorieën [0>1 maand], [1 maand>4 jaar]; [4>10 jaar], [10>14 jaar], [14-18 jaar] voor alle lichaamsdelen.

Door een DRN per leeftijdscategorie te gebruiken wordt de toetsing voor ziekenhuizen relatief eenvoudig implementeerbaar. Ook maakt dit het mogelijk om de Nederlandse DRN-waarde met de DRN's van andere landen te vergelijken.

Methodiek vaststellen DRN – DRN-bepaling

Om een landelijke DRN per leeftijdscategorie op te stellen zijn verschillende systematieken mogelijk. Als statistische methoden zijn er twee methoden: 1) bepalen van de 75e percentiel van de verdeling van de mediaanwaarden van alle ziekenhuizen, of, in het geval dat er weinig ziekenhuizen participeren, 2) bepalen van de 75e percentiel van de verdeling van alle waarden tezamen. Daarnaast is de curve-methodiek mogelijk.

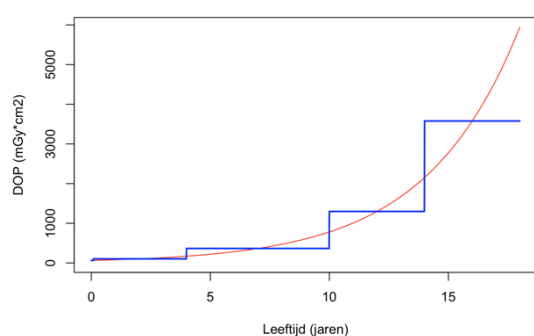
Het opstellen van een landelijke DRN per leeftijdscategorie met de statistische methoden vereist per ziekenhuis een minimumaantal, te weten tien patiënten per procedure per leeftijdscategorie (European Commission, 2018). Omdat relatief weinig data beschikbaar is bij kinderen is de DRN-curve methodiek een goede methode. Hierbij wordt een DRN-curve gemaakt met gewicht of leeftijd op de x-as en dosisgrootte op de y-as (European Commission, 2018). Een aantal studies in de CT en bucky literatuur past dit toe (Almén, 2021; Almén, 2022). Een voordeel van de curve-methode is dat met minder datapunten per leeftijd of gewichtsklasse een DRN bepaald kan worden, waardoor meer DRN's betrouwbaar bepaald kunnen worden. Op basis hiervan wordt ervoor gekozen om in deze richtlijn voorlopig een leeftijd-gebaseerde DRN vast te stellen op basis van de DRN-curve-methode, omdat deze in de Nederlandse praktijk makkelijker te implementeren is, aangezien in Nederland doorgaans wel leeftijd op de onderzoeksdatum, maar niet altijd een recent gewicht bekend is.

Methode dataverzameling Nederland ten behoeve van DRN bepaling

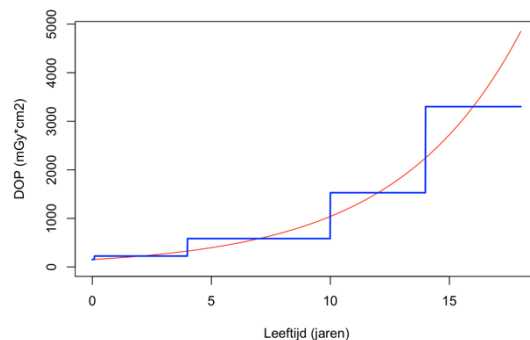
Na een landelijk uitgezette uitvraag hebben acht ziekenhuizen data aangeleverd van doorlichtingsonderzoeken uitgevoerd in de periode van 1-1-2017 tot 1-6-2021. Voor de modaliteit doorlichting is per onderzoek de dosisparameter dosis oppervlakte product (DOP) verzameld en daarnaast protocolnaam, leeftijd op de onderzoeksdatum of geboortedatum en onderzoeksdatum/tijd. De protocollen waarvoor data is aangeleverd zijn gastro-intestinaal stelsel (bovenste (upper) en onderste (lower) GI-tract), mictie-cystourethrografie (MCUG). Met behulp van de curve-methode zijn de DRN's bepaald. Tevens zijn uit de DRN-curve DRN-waarden per leeftijdscategorie voor elk protocol vastgesteld. Voor details van de methode zie bijlage "Methodiek Doorlichting" van deze module.

Resultaten onderzoek

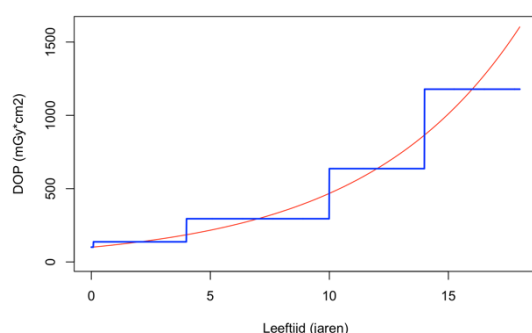
De resultaten van in totaal acht centra zijn geanalyseerd op basis van de methodiek zoals beschreven in bijlage "Methodiek Doorlichting" van deze module. Voor de Doorlichting protocollen zijn de DRN-curves weergegeven in figuur 1. Daarnaast zijn in tabel 4 DRN-waardes gegeven per leeftijdscategorie, welke in dosisregistratiesystemen gebruikt kunnen worden. Meer details over de DRN-curves zijn te vinden in bijlage "Resultaten Doorlichting" van deze module. Voor het protocol lower GI-tract zijn de resultaten gebaseerd op data van één centrum, derhalve is dit geen DRN.



Upper GI-tract: DOP (leeftijd) = $151,7 \times e^{(0,19 \times \text{leeftijd})}$



Lower GI-tract: DOP (leeftijd) = $100,3 \times e^{(0,15 \times \text{leeftijd})}$



MCUG: DOP (leeftijd) = $62,0 \times e^{(0,25 \times \text{leeftijd})}$

Figuur 1 Vastgestelde DOP DRN-curves voor doorlichting-protocollen voor upper GI-tract (linksboven), lower GI-tract (rechtsboven)* en MCUG (linksonder). De rode lijn is het vastgestelde DRN (75^e percentiel). De blauwe lijn de DRN-waarde per leeftijdscategorie.

* Geen DRN, resultaten gebaseerd op data van één centrum.

Afkortingen: GI= gastrointestinaal, MCUG = mictie-cysto-urethrografie

Tabel 4 Doorlichting protocollen: gerapporteerde DOP (mGy x cm²) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie

Leeftijd (mediaan)	MCUG	Upper GI-tract	Lower GI-tract*
0-1mnd (15 dagen)	62,6	100,9	152,9
1mnd-4jr (24,5 maand)	104,0	137,3	224,7
4-10jr (84 maanden)	365,6	294,7	583,8
10-14jr (144 maanden)	1298,2	636,5	1528,6
14-18jr (192 maanden)	3578,1	1178,3	3301,3
Aantal Centra	6	7	1

*Geen DRN, resultaten gebaseerd op data van één centrum.

Afkortingen: GI= gastrointestinaal, MCUG = mictie cysto urethrografie

Interpretatie van resultaten

Een vergelijking met de literatuur kan maar beperkt gemaakt worden, omdat er weinig publicaties beschikbaar zijn. De gepubliceerde waarden laten een grote spreiding zien. De voorgestelde DRN-waarden per leeftijdscategorie op basis van de hierboven beschreven data-analyse liggen redelijk in dezelfde orde van grootte als de waarden beschreven in de literatuur.

De curves laten zien dat er binnen een leeftijdsgroep veel variatie kan zijn in de data. Indien in een ziekenhuis de leeftijd niet gelijk verdeeld is binnen een leeftijdscategorie, kan dit leiden tot een relatief lagere of hogere dosisregistratiewaarde ten op zichte van de DRN-waarde gebaseerd op mediane leeftijd (zie tabel 4), terwijl bij toetsing aan de DRN-curve wel aan de DRN-waarde voldaan zou worden.

Algemene overwegingen literatuur en onderzoek

Het is belangrijk dat ziekenhuizen eenvoudig hun dosisgegevens kunnen toetsen aan de landelijke DRN. Daarom is gekozen voor een methode die goed implementeerbaar is, bijvoorbeeld in ziekenhuizen met dosisregistratiesystemen, als ook toepasbaar is voor ziekenhuizen met een laag aantal kinder-onderzoeken.

Een tweeledige werkwijze past hier het best bij: 1) er wordt een leeftijdsafhankelijke DRN-curve opgesteld waarbij alle verzamelde data van de ziekenhuizen gebruikt kan worden, ook wanneer er voor een bepaalde leeftijdscategorie weinig gegevens zijn en 2) uit deze DRN-curve worden de te toetsen dosiswaarden van het eigen instituut per leeftijdscategorie afgeleid.

Door te kiezen voor deze aanpak kunnen 1) ziekenhuizen de DRN-curve gebruiken om bij handmatige verzameling of na export van dosisgegevens uit een dosisregistratiesysteem de verzamelde gegevens per leeftijd te plotten op de DRN-curve en/ of kunnen 2) ziekenhuizen de DRN-toets per leeftijdscategorie implementeren in het dosisregistratiesysteem. Ook kunnen Nederlandse DRN-waarden vergeleken worden met Europese DRN-waarden.

Vervolgonderzoek is nodig voordat een gewicht-gebaseerde categorie-indeling overwogen kan worden.

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

De patiënt vindt het belangrijk goed geïnformeerd te worden over de reden van het onderzoek, over wat er gaat gebeuren, over mogelijke risico's van het onderzoek en het effect op zijn of haar dagelijkse leven op de korte zowel als op de lange termijn. Deze risico's en de communicatie daarvan met de patiënt dienen te worden besproken met de aanvragend specialist en worden beschreven in [de richtlijn Beeldvorming met ioniserende straling \(NVKF, 2021\)](#). Voor de communicatie van risico's van straling is er voor de patiënt en hun ouders/verzorgers informatie te vinden op thuisarts.nl. Om de risico's van een onderzoek met röntgenstraling zo klein mogelijk te houden, wil de patiënt een zo laag mogelijke dosis röntgenstraling ontvangen. Daarentegen is het voor de patiënt wel van belang dat de beeldkwaliteit goed genoeg is om de beelden accuraat te kunnen beoordelen. Het is wenselijk om hierin een optimale balans te vinden conform het ALARA (as low as reasonably achievable) principe (United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), 2021; Bbs, 2017)).

Om als ziekenhuis te weten of optimale instellingen gebruikt worden, kan de stralingsdosis vergeleken worden met landelijke referentieniveaus (DRN's). Voor kinderen is het extra belangrijk dat ze niet te veel dosis krijgen. Daarom zijn er referentiewaarden opgesteld voor de meest voorkomende beeldvormende onderzoeken met röntgenstraling bij kinderen. Dankzij DRN's kunnen ziekenhuizen toetsen hoeveel dosis zij geven ten opzichte van het vastgestelde referentieniveau. Hierdoor kunnen zij de patiëntdosis optimaliseren en worden eventuele verschillen tussen ziekenhuizen in de hoeveelheid straling die nodig is per onderzoek geminimaliseerd (ICRP, 2017; European Commission, 2018). DRN's zijn niet bedoeld als dosislimiet voor de individuele patiënt.

Patiënten en hun ouders/verzorgers kunnen worden geïnformeerd over het bestaan van DRN-waarden. Ziekenhuizen zijn verplicht hun eigen dosisgrootheden hieraan te toetsen.

Kosten (middelenbeslag)

Het aanpassen van de stralingsdosis zal niet leiden tot hogere kosten van het onderzoek. Het gebruik van een optimale stralingsdosis zal zorgen voor zo min mogelijk negatieve effecten van stralingsbelasting en/of herhaalde onderzoeken, waardoor de zorgkosten op langere termijn ook laag blijven.

Er is een minimale uitbreiding van de urenbesteding (minder dan een dagdeel) voor medewerkers die DRN's toetsingen uitvoeren, nu er meer kinderDRN's zijn ten opzichte van de vorige kinderDRN's. Deze minimale uitbreiding is heel gemakkelijk te verantwoorden ten opzichte van de meerwaarde van het toetsen van DRN's.

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

De werkgroep verwacht geen problemen ten aanzien van de aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie van deze richtlijn voor kinder-DRN's gezien de bereidheid die ziekenhuizen eerder hebben laten zien bij het toetsen van hun dosisgrootheden met DRN's. DRN's worden al jaren gebruikt en zijn algemeen geaccepteerd als dosisvergelijking/optimalisatie tool. In de Nederlandse wet staat ook dat er periodiek getoetst moet worden ten opzichte van referentieniveaus. Juist omdat het nu mogelijk wordt ook bij zeer kleine aantallen toch aan de DRN-curve te toetsen is de verwachting dat meer ziekenhuizen kunnen deelnemen, bijvoorbeeld ziekenhuizen die in het verleden door de eis van minstens tien patiënten én de scherpe leeftijdscategorie niet voldoende patiënten hadden voor een periodieke toetsing. Voor de in deze richtlijn met behulp van de curve-methode opgestelde DRN is een tool (zie bijlagen "Gebruik Implementatietool Doorlichting voor toetsing kinder-DRN's" en "Implementatietool Doorlichting" van deze module) ontwikkeld die het controleren van de DRN's mogelijk maakt voor ziekenhuizen die slechts enkele onderzoeken per jaar uitvoeren.

Aanbeveling

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de diagnostische procedures

In de wetgeving is opgenomen dat het toetsen aan DRN's verplicht is. Er is dus een zeer sterke aanbeveling om de DRN's te gebruiken. Hiervoor moeten wel adequate en passende DRN's beschikbaar zijn. Deze richtlijn geeft waarden voor de DRN's voor veelgebruikte kinderprotocollen bij doorlichtingsonderzoeken. De DRN's zijn gebaseerd op data-analyse van acht Nederlandse ziekenhuizen, waaronder enkele grote academische centra die veel kinderen onderzoeken.

Ziekenhuizen moeten periodiek toetsen of ze voldoen aan de DRN's. Hiervoor kunnen ze een waarde of een curve gebruiken. Door deze tweeledige systematiek zal het voor ziekenhuizen makkelijker worden om te toetsen aan de kinder-DRN.

De voordelen van het gebruik van een landelijke DRN is dat er betere sturing op lage stralingsbelasting bij kinderen mogelijk is. De nieuwe DRN (die een bestaande Nederlandse kinder-DRN vervangt) is aangepast aan onderzoeken met moderne radiologische apparatuur en beter in lijn met werkelijk haalbare dosis. Het gebruik van de geadviseerde DRN's gaat ervoor zorgen dat in Nederland gestuurd gaat worden op stralingszuinige instellingen bij kinderen.

Toets voor protocol doorlichting MCUG en doorlichting upper-GI tract aan de vastgestelde DRN's in onderstaande tabel 5 en neem eventueel maatregelen als de DRN niet gehaald wordt. *

Tabel 5 Exponentiële functies voor de DRN-curves doorlichting protocollen – DOP (mGy x cm²)

Protocol	DOP (leeftijd)
MCUG	$62,0 \times e^{(0,25 \times leeftijd)}$
Upper GI-tract	$100,3 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$

Zie voor visuele curves figuur 1 in de overwegingen.

* aan de hand van de implementatietool (zie bijlagen “Gebruik implementatietool Doorlichting voor toetsing aan kinder-DRN’s” en “Implementatietool Doorlichting” van deze module)

Literatuur

- Almén A, Guðjónsdóttir J, Heimland N, Højgaard B, Waltenburg H, Widmark A. Establishing paediatric diagnostic reference levels using reference curves - A feasibility study including conventional and CT examinations. *Phys Med.* 2021 Jul;87:65-72. doi: 10.1016/j.ejmp.2021.05.035. Epub 2021 Jun 9. PMID: 34118729.
- Almén A, Guðjónsdóttir J, Heimland N, Højgaard B, Waltenburg H, Widmark A. Paediatric diagnostic reference levels for common radiological examinations using the European guidelines. *Br J Radiol.* 2022 Feb 1;95(1130):20210700. doi: 10.1259/bjr.20210700. Epub 2021 Dec 13. PMID: 34898256; PMCID: PMC8822550.
- Bbs: Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming. (2017, 23 oktober). Geraadpleegd van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040179>.
- Céliér D, Roch P, Etard C, Ducou Le Pointe H, Brisse HJ. Multicentre survey on patient dose in paediatric imaging and proposal for updated diagnostic reference levels for France. Part 2: plain radiography and diagnostic fluoroscopy. *Eur Radiol.* 2020 Feb;30(2):1182-1190. doi: 10.1007/s00330-019-06406-2. Epub 2019 Sep 16. PMID: 31529249.
- European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.
- European Commission, European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. Publications Office of the European Union, 1996. Rapport. ISBN 92-827-7843-6. Beschikbaar via: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/47eb62b0-698d-4166-bc34-cc3f8d07d2e3>
- Forbes A, Geryes BH, Hornbeck A, Kien N, Quelquejay C, Adamsbaum C, Farah J, le Pointe HD. Harmonisation of imaging protocols, radiation doses and image quality in gastrointestinal fluoroscopy examinations - multicentre study. *Pediatr Radiol.* 2022 Jan;52(1):50-57. doi: 10.1007/s00247-021-05194-6. Epub 2021 Oct 16. PMID: 34657168.
- Hart D, Hillier MC, Wall BF. National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK. *Br J Radiol.* 2009 Jan;82(973):1-12. doi: 10.1259/bjr/12568539. Epub 2008 Oct 13. PMID: 18852213.
- ICRP, 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. *Ann. ICRP* 46(1).
- Korir GK, Wambani JS, Yuko-Jowi CA, Korir IK, Tries M, Kidali MM. Establishing diagnostic reference levels for interventional procedures in Kenya. *Radiography [Internet].*

- 2014;20(2):148–52. Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817413001223>
- NVKF 2021. Richtlijn Beeldvorming met ioniserende straling. Beoordeeld: 13-10-2021. Link:
https://richtlijndatabase.nl/richtlijn/beeldvorming_met_ioniserende_straling_risico_s_communicatie_en_afscherming/startpagina_-_beeldvorming_met_ioniserende_straling.html
- Scheegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Rofo*. 2019 Aug;191(8):739-751. English, German. doi: 10.1055/a-0824-7603. Epub 2019 Jan 21. PMID: 30665250.
- Smans K, Vaño E, Sanchez R, Schultz FW, Zoetelief J, Kiljunen T, Maccia C, Järvinen H, Bly R, Kosunen A, Faulkner K, Bosmans H. Results of a European survey on patient doses in paediatric radiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;129(1-3):204-10. doi: 10.1093/rpd/ncn031. Epub 2008 Feb 29. PMID: 18310099.
- United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC), Title 10, Section 20.1003, of the Code of Federal Regulations. 24 Mar 2021. Link: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/part020-1003.html>

**Bijlagen bij module Doorlichting
Implementatieplan doorlichting**

Aanbeveling	Tijdspad voor implementatie: < 1 jaar, 1 tot 3 jaar of > 3 jaar	Verwacht effect op kosten	Randvoorwaarden voor implementatie (binnen aangegeven tijdspad)	Mogelijke barrières voor implementatie ¹	Te ondernemen acties voor implementatie ²	Verantwoordelijk en voor acties ³	Overige opmerkingen
<p>Toets voor protocol doorlichting MCUG en doorlichting upper-GI tract aan de vastgestelde DRN's in tabel 5 en neem eventueel maatregelen als de DRN niet gehaald wordt aan de hand van de implementatietool (zie bijlagen "Gebruik implementatietool Doorlichting voor toetsing aan kinder-DRN's" en "Implementatietool Doorlichting" van deze module).</p>	1 tot 3 jaar	Geen	Bekendheid met de richtlijn en implementatietool.	Door de wijze waarop DRN wordt opgesteld (75% dosiswaarden) voldoet een deel van de ziekenhuizen per definitie niet direct aan de DRN's.	<p>Verspreiden van richtlijn en implementatietool.</p> <p>Voldoende kennis bij zorgverleners.</p> <p>Controleren aanbeveling tijdens kwaliteitsvisitatie.</p>	Beroepsvereniging en (NVKF, NVMBR, NVVR)	Geen

Methodiek Doorlichting

De basis voor bepaling van nationale DRN's voor Bucky, Doorlichting en CT is de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PIDRL) (European Commission, 2018).

In deze bijlage is beschreven hoe de Doorlichtingsdata is verzameld, voor welke protocollen (anatomische regio's en procedures) de DRN's zijn bepaald, welke leeftijdscategorieën van toepassing zijn en aan de hand van welke dosisgrootte DRN's zijn vastgesteld. In de context van het bepalen van DRN's bedoelen we met "protocol" een volledig radiologisch onderzoek, vaak gekoppeld aan een behandeling, dat meestal uit een serie van opnamen bestaat. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de DRN's zijn bepaald met behulp van een model van de leeftijdsafhankelijkheid van de dosiswaarden (curvemethode).

Dataverzameling

Om de DRN's te kunnen bepalen is de volgende minimale set van parameters ten aanzien van uitgevoerde radiologische onderzoeken uitgevraagd aan de deelnemende ziekenhuizen (zie tabellen S1.1 en S1.2).

Tabel S1.1: Uitgevraagde variabelen

Voor bepaling DRN benodigde informatie	
Patiënt	Geboortedatum of leeftijd op de onderzoeksdatum
	Onderzoeksdatum/tijd
Radiologische verrichting	Protocolnaam
Dosis	DOP (mGy x cm ²)

Tabel S1.2: Uitgevraagde protocollen

Anatomische regio	Procedure
Urinewegen	MCUG
Maag-darmkanaal	Hoge spijsverteringskanaal (upper GI-tract)
	Contrastonderzoeken (met klysma)

Er is data verzameld van doorlichtingsonderzoeken die zijn uitgevoerd in de periode van 1-1-2017 tot 1-6-2021. Wanneer een ziekenhuis de beschikking had over een automatisch dosisregistratiesysteem is gevraagd alle in die periode opgeslagen data aan te leveren. Bij handmatige registratie werd verzocht data van de laatste tien onderzoeken per leeftijdsgroep aan te leveren (zie onderstaande tabel) teruggelend vanaf 1-6-2021. Voor protocollen waarvoor dit aantal niet werd gehaald, is verzocht om alle beschikbare data aan te leveren die in de bovengenoemde periode kon worden verzameld.

Data-cleaning

De methode van aanlevering van data verschilde per centrum. Voor elk individueel centrum is de data opgeschoond. Hierbij zijn de volgende standaarden in acht genomen:

- Per doorlichtingsonderzoek is op basis van de aangeleverde gegevens bepaald onder welk protocol deze geschaard kon worden. Wanneer er onduidelijkheid bestond over het protocol, is de procedure geëxcludeerd.
 - CT hoofd: Inclusie criteria voor CT hoofd waren CT hersenen, CT schedel, CT cerebrum of CT hoofd. CT sinus, CT orbita, CT aangezicht, CT CWK, CT kaak, CT

mastoid en dergelijke protocollen zijn geëxcludeerd. De DRN is verder gebaseerd op één onderzoek door het hoofd (dus als er meerdere onderzoeken werden uitgevoerd bv met en zonder contrast is er één onderzoek geïnccludeerd).

- CT CWK: Inclusie criteria voor CT CWK waren alle protocollen met CWK of cervicale wervelkolom alle andere zijn geëxcludeerd.
- CT thorax: Inclusie criteria voor CT thorax waren CT thorax en CT thorax blanco dus zonder toevoegingen. Dus vb CTA thorax, CT thorax HR, CT thorax, CT thorax longembolie ed zijn geëxcludeerd.
- CT abdomen: Inclusie criteria voor CT abdomen waren CT abdomen, CT abdomen veneus en CT abdomen blanco. Exclusie criteria waren CT abdomen arterieel, CT abdomen nieren, CT abdomen low dose, CT nieren ed. De DRN is verder gebaseerd op één onderzoek door het abdomen (dus als er meerdere onderzoeken werden uitgevoerd bv in meerdere fases is er één onderzoek geïnccludeerd).
- Doorlichtingsonderzoeken waarvoor geen leeftijd op de onderzoeksdatum, of DOP-waarde werd aangeleverd, of een DOP-waarde gelijk aan 0 mGy x cm² werd aangeleverd, zijn geëxcludeerd.
- Voor elke procedure werd de leeftijd in jaren op de onderzoeksdatum bepaald. Voor de analyses werden de leeftijdscategorieën uit tabel S1.3 aangehouden.
- De eenheden van de DOP waarden werden, indien niet zodanig aangeleverd, alle omgerekend naar mGy x cm².

Tabel S1.3: Leeftijdscategorieën

Leeftijdsgroepen voor protocollen
0 tot 1 maand
1 maand tot 4 jaar
4 tot 10 jaar
10 tot 14 jaar
14 tot 18 jaar

Bepaling DRN

Bij de “traditionele” methode voor het bepalen van de DRN’s wordt per ziekenhuis de mediaan bepaald van de relevante dosisparameter voor een bepaald protocol en leeftijdsgroep. Hierna wordt van de voor alle ziekenhuizen bepaalde medianen, het 75^e percentiel voor een bepaald protocol en leeftijdsgroep bepaald als DRN. Uitgangspunt daarbij is dat er per ziekenhuis minimaal tien dosiswaarden per protocol en leeftijdsgroep beschikbaar zijn. In de uitvraag bleek dat vaak niet het geval. Om voor alle protocollen dosisgrootheden te kunnen genereren, die gebruikt kunnen worden voor DRN bepaling, is ervoor gekozen om een exponentieel model van dosisgrootheid versus leeftijd op de onderzoeksdatum te fitten aan de beschikbare verzamelde dosisgrootheden. De methode werkt als volgt:

1. Voor een bepaald protocol wordt voor elk ziekenhuis een quantiele regressie uitgevoerd, gebaseerd op een exponentiële curve, om de mediaancurve te bepalen van dosisgrootheid versus leeftijd. Om de fit met voldoende betrouwbaarheid te kunnen maken is een minimum van tien gesteld aan het aantal datapunten (leeftijd, dosis) en een verdeling van de datapunten over minimaal vijf leeftijdsjaren (en daarmee meerdere leeftijdscategorieën). Op basis van visuele inspectie door de werkgroep was hiermee voldoende leeftijdsbereik van de curves.

2. Per ziekenhuis worden op basis van de in de 1^e stap bepaalde curve 1800 datapunten gesampled.
3. Er wordt opnieuw een quantiele regressie uitgevoerd op de in de 2^e stap gegenereerde datapunten, om de 75^e percentielcurve te bepalen als DRN-curve. Bij deze regressie wordt een weging per centrum toegepast evenredig met het aantal in een standaardperiode aangeleverde onderzoeken voor het onderhavige protocol.

Om de vergelijking met Europese of andere internationale DRN's mogelijk te maken zijn ook discrete DRN-waarden bepaald uit de 75^e percentiel exponentiele DRN-curves op basis van de DRN-waarde bij de mediane leeftijd binnen een leeftijdsinterval.

Alle statistische analyses zijn uitgevoerd in het softwarepakket R. (R, versie nr. 4.2.0). In R is de quantiele regressie geïmplementeerd op basis van het Barrodale and Roberts algorithm (Koenker, 1987; Koenker 1994).

Literatuurreferenties

European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Koenker, R. W., & d'Orey, V. (1987). Algorithm AS 229: Computing regression quantiles. *Applied statistics*, 383-393.

Koenker, R., & d'Orey, V. (1994). Remark AS R92: A remark on algorithm AS 229: Computing dual regression quantiles and regression rank scores. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 43(2), 410-414.

Resultaten Doorlichting

Op basis van de beschreven methodiek in bijlage “Methodiek Doorlichting” van deze module zijn de kinder diagnostische referentieniveaus (DRN) curves bepaald, voor de leeftijdscategorieën conform de Europese richtlijn “Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging” (PiDRL) (European Commission, 2018).

De resultaten voor dosis oppervlakte product (DOP) zijn vastgesteld per protocol (MCUG, Upper GI-tract en Lower GI-tract*) en weergegeven op drie manieren:

- (4) DRN-curves (exponentiele functies) (tabel S2.1)
- (5) tabellen met DRN-waarden op basis van mediane leeftijden (tabel S2.2),
- (6) grafieken met DRN-curves per protocol (figuur S2.1 - S2.3).

*Merk op: Lower GI-tract is bepaald op data van één centrum, derhalve wordt dit niet als DRN gerapporteerd. Daarnaast zijn er voor contrastonderzoeken met klysma geen data aangeleverd, daarom is hier geen DRN voor berekend.

Tabel S2.1 Curves DRN Doorlichting protocollen – DOP (mGy x cm²)

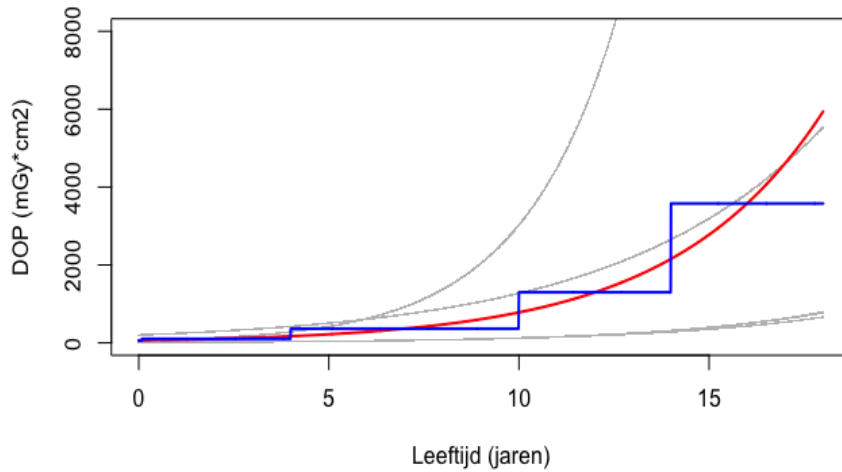
Protocol	DOP (leeftijd)
MCUG	$62,0 \times e^{(0,25 \times leeftijd)}$
Upper GI-tract	$100,3 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$
Lower GI-tract*	$151,7 \times e^{(0,19 \times leeftijd)}$

*Geen DRN, resultaten gebaseerd op data van één centrum.

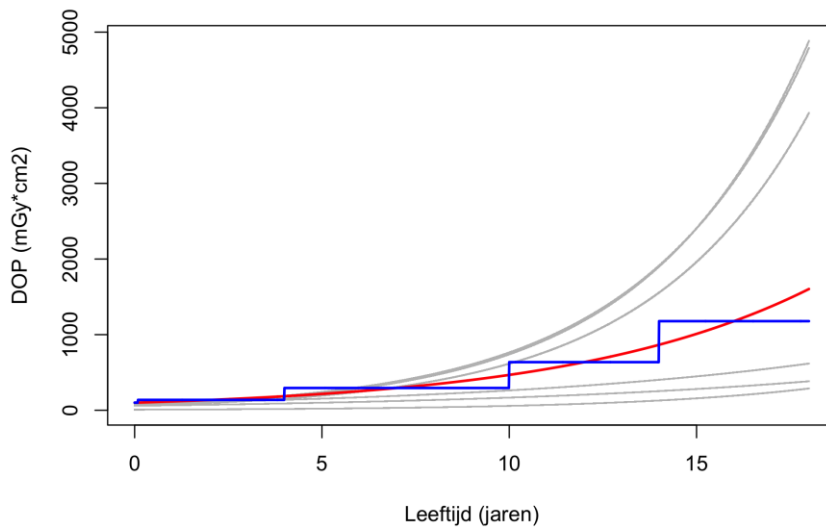
Tabel S2.2 Doorlichting protocollen; gerapporteerde DOP (mGy x cm²) DRN-waarden gebaseerd op mediane leeftijd per categorie.

Leeftijd (mediaan)	MCUG	Upper GI-tract	Lower GI-tract*
0-1mnd (15 dagen)	62,6	100,9	152,9
1mnd-4jr (24,5 maand)	104,0	137,3	224,7
4-10jr (84 maanden)	365,6	294,7	583,8
10-14jr (144 maanden)	1298,2	636,5	1528,6
14-18jr (192 maanden)	3578,1	1178,3	3301,3
Aantal Centra	6	7	1
Aantal academische centra	3	4	1
Aantal datapunten totaal	339	506	114
Aantal datapunten per centrum (gemiddelde [laagste - hoogste])	97 [13 - 339]	127 [23 - 506]	Niet van toepassing.

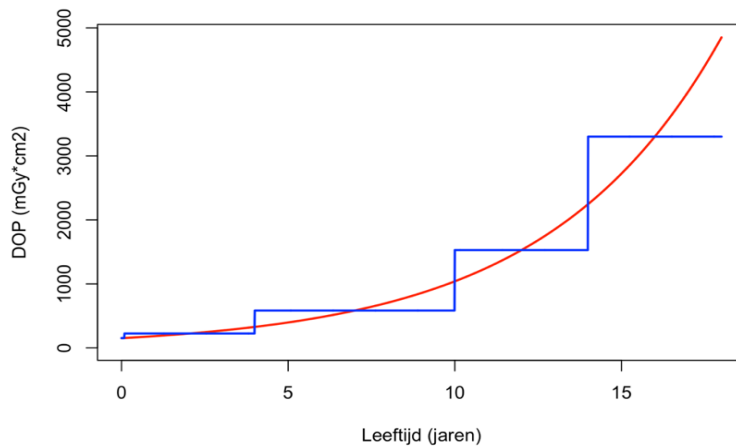
*Geen DRN, resultaten gebaseerd op data van één centrum.



Figuur S2.1 – Vastgestelde DRN Doorlichting MCUG - $62,0 \times e^{(0,25 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 6 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



Figuur S2.2 – Vastgestelde DRN Doorlichting Upper GI-tract - $100,3 \times e^{(0,15 \times leeftijd)}$
 Gebaseerd op data van 7 centra.
 Rode lijn: vastgestelde DRN (75^e percentiel)
 Blauwe lijn: DRN per leeftijdscategorie
 Grijs lijnen: individuele centra.



Figuur S2.3* – Curve Doorlichting Lower GI-tract - $151,7 \times e^{(0,19 \times leeftijd)}$

*Geen DRN, resultaten gebaseerd op data van één centrum.

Rode lijn: mediane DOP van het centrum

Blaauwe lijn: dosis per leeftijdscategorie

Literatuurreferenties:

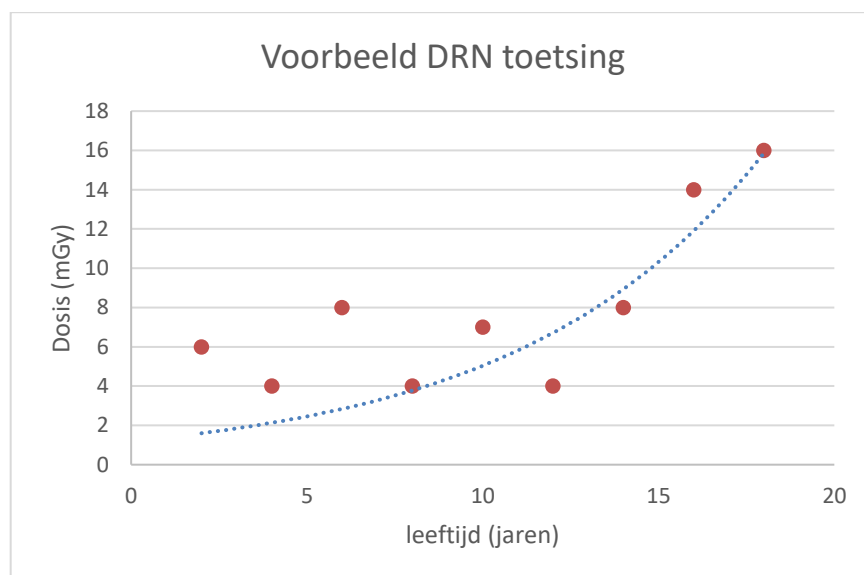
European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Gebruik Implementatietool doorlichting voor toetsing aan kinder-DRN's

In dit implementatieplan wordt besproken welke stappen er uitgevoerd moeten worden om de radiologische kinderonderzoeken te toetsen aan de kinder-DRN's.

Uitvoering

In de module over doorlichting zijn DRN's gedefinieerd voor doorlichting-protocollen op basis van een dosis-leeftijdcurve. Om als ziekenhuis de eigen dosiswaarden te toetsen aan deze curves is een Excel werkblad gemaakt dat hiervoor gebruikt kan worden, zie bijlage "Implementatietool Doorlichting" van deze module. De dosiswaarden en leeftijden van patiënten, zoals deze zijn gerapporteerd in de uitgevoerde onderzoeken, kunnen hierin worden ingevuld. Deze zullen vervolgens automatisch in de grafiek weergegeven worden. Zo wordt er gevisualiseerd hoe de individuele punten liggen ten opzichte van de DRN-curve, voor een voorbeeld zie figuur S3.1. Er is geen minimum aan aantal data punten vereist dat benodigd is voor deze toetsing. Uiteraard geldt wel hoe meer data punten hoe betrouwbaarder de conclusie. Er is conform de Europese richtlijn "Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging" (PiDRL) (European Commission, 2018) gekozen voor conclusies op basis van een situatie met < 10 patiënten en met ≥ 10 patiënten.



Figuur S3.1. Voorbeeld van toetsing aan de landelijke kinder-DRN-curve. Landelijke DRN-curve (blauwe lijn) en de dosiswaarden van een ziekenhuis (oranje punten).

Om te bepalen of het ziekenhuis voldoet aan de kinder-DRN voor een specifiek protocol, kan afhankelijk van het aantal patiënten gebruik gemaakt worden voor één van onderstaande tabellen.

≥ 10 patiënten:

Individuele punten:	Conclusie:	Actie:
Meer dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet aan de DRN-waarde*	Geen actie nodig.
Minder dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet niet aan de DRN-waarde*	Zijn er speciale omstandigheden waardoor er een verklaring is dat er een hogere dosis is gebruikt, i.e. fors(e) kind(eren), ander onderzoek? Zo niet, de protocollen nakijken.
Meerdere punten ver onder de DRN-curve	Voldoet aan de DRN-waarde, maar mogelijk	Zijn er speciale omstandigheden, i.e. heel klein kind, ander onderzoek of vraagstelling? Eventueel de protocollen nakijken.

	onvoldoende diagnostische kwaliteit	
--	-------------------------------------	--

* hierbij kan de nuance gemaakt worden dat een bepaalde leeftijdscategorie wel wordt voldaan aan de DRN-waarde. Bv: als alle dosispunten van kinderen < 10 jaar wel onder de curve liggen en > 10 jaar erboven, in dat geval hoeft er alleen actie te worden genomen bij de > 10 jaar groep.

< 10 patiënten:

Individuele punten:	Conclusie:	Actie:
Meer dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk aan de DRN-waarde*	Geen actie nodig.
Minder dan 50% van de punten onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk niet aan de DRN-waarde*	Zijn er speciale omstandigheden waardoor er een verklaring is dat er een hogere dosis is gebruikt, i.e. fors(e) kind(eren), ander onderzoek? Zo niet, de protocollen nakijken.
Meerdere punten ver onder de DRN-curve	Voldoet waarschijnlijk aan de DRN-waarde, maar mogelijk onvoldoende diagnostische kwaliteit	Zijn er speciale omstandigheden i.e. heel klein kind, ander onderzoek of vraagstelling? Eventueel de protocollen nakijken.

* hierbij kan de nuance gemaakt worden dat een bepaalde leeftijdscategorie wel wordt voldaan aan de DRN-waarde. Bv: als alle dosispunten van kinderen < 10 jaar wel onder de curve liggen en > 10 jaar erboven, in dat geval hoeft er alleen actie te worden genomen bij de > 10 jaar groep.

Frequentie van kinder-DRN toetsing:

De werkgroep adviseert om minimaal jaarlijks de lokale onderzoeken aan de de kinder-DRN te toetsen.

Literatuurreferenties:

European Commission. Radiation protection No 185: European Guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Rapport. ISBN 978-92-79-89876-1 ISSN 2315-2826 doi:10.2833/486256 MJ-XA-18-002-EN-N. Beschikbaar via http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf.

Bijlage 4 Implementatietool Doorlichting

Deze bijlage is als losse excel bijgevoegd.

Table of excluded studies

Reference	Reason for exclusion
Afzalipour, 2019	wrong radiology modality
Al-Haj, 2016	wrong publication, conference abstract
Alkhorayef, 2020	wrong radiology modality
Almen, 2021	wrong radiology modality
Almén, 2022	wrong radiology modality
Anna, 2017	wrong radiology modality
Ataç, 2015	wrong radiology modality
Benmessaoud, 2020	wrong radiology modality
Bijwaard, 2015	wrong outcome - no DRL
Bijwaard, 2016	wrong outcome - no DRL
Billinger, 2010	wrong radiology modality
Bouaoun, 2018	wrong outcome - no DRL
Brat, 2019	wrong design
Célier, 2020a	wrong radiology modality
Compagnone, 2021	wrong outcome - no DRL
Dabin, 2014	wrong population
De Monte, 2020	wrong outcome - no DRL
Deevband, 2021	wrong radiology modality
Farah, 2018	updated Forbes 2022
Fukushima, 2012	wrong radiology modality, updated Takei 2016
Goske, 2011	wrong design
Goske, 2012	wrong design
Goske, 2014	wrong publication
Goske, 2014	wrong design
Goske, 2014	wrong design
Granata, 2012	wrong publication, poster abstract
Hammond, 2021	wrong publication
Hayton, 2016	wrong radiology modality, updated Anna 2017
Hull, 2017	wrong design
Hwang, 2021	wrong radiology modality
Jackson, 2015	wrong outcome - no DRL
Janbabanezhad-Toori, 2016	wrong outcome - no DRL
Järvinen, 2011	wrong radiology modality
Järvinen, 2015	wrong radiology modality
Jung, 2014	wrong design
Kanal, 2021	wrong radiology modality, updated Kanal 2022
Kanal, 2022	wrong radiology modality
Kharita, 2010	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Kiljunen, 2007	missing outcome data, refers to external website
Kiljunen, 2009	wrong outcome - no DRL
Kim, 2012	wrong design
Kim, 2017	wrong radiology modality
Kim, 2019	wrong radiology modality
Korir, 2016	wrong radiology modality
Kottou, 2018	wrong design
Kritsaneepaiboon, 2012	wrong radiology modality
Matsunaga, 2015	wrong radiology modality, updated Matsunaga 2019
Matsunaga, 2019	wrong radiology modality
Matthews, 2014	wrong radiology modality
Miyazaki, 2014	wrong population
Mobini, 2014	wrong publication, conference abstract
Mohiy, 2012	wrong outcome
Mokubangele, 2020	wrong radiology modality
Moorin, 2013	wrong design
Niiniviita, 2018	wrong design
Paulo, 2016	wrong radiology modality
Paulo, 2016	wrong radiology modality, same data Paulo 2016
Paulo, 2019	wrong radiology modality, same data Paulo 2016

Priyanka, 2021	wrong publication
Rawashdeh, 2019	wrong radiology modality
Sage, 2021	wrong outcome
Santos, 2014	wrong radiology modality
Saravanakumar, 2017	wrong radiology modality
Satharasinghe, 2021	wrong publication
Satharasinghe, 2021	duplicate
Seuri, 2014	wrong radiology modality, updated Jarvinen 2015
Seuri, 2017	wrong radiology modality, updated Almen 2022
Sonawane, 2011	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Strauss, 2014	wrong publication
Strauss, 2017	wrong outcome
Súkupová L, 2008	wrong language
Sulieyman, 2015	wrong radiology modality
Tahmasebzadeh, 2020	wrong design
Takei, 2016	wrong radiology modality
Thiele, 2016	wrong design
Thomas, 2016	wrong radiology modality, updated Anna 2017
Thomas, 2019	wrong outcome - no DRL
Tonkopi, 2016	wrong publication, conference abstract
Ubeda, 2012	wrong design
Ubeda, 2015	wrong design
van der Merwe, 2020	wrong radiology modality
Vassileva, 2015	wrong radiology modality
Verdun, 2008	wrong radiology modality
Vitta, 2009	wrong design
Wagner, 2018	wrong radiology modality
Wardlaw, 2016	wrong radiology modality
Westra, 2014	wrong publication
Westra, 2014	wrong design
Worrall, 2022	wrong radiology modality
Yakoumakis, 2009	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Yakoumakis, 2013	wrong population, based on phantom instead of clinical data
Yamada, 2015	wrong population
Zamani, 2021	wrong radiology modality
Zhou, 2019	wrong outcome - no DRL

Literature search strategy

Algemene informatie

Richtlijn: Kinder DRN	
Uitgangsvraag: Welke diagnostische referentieniveaus moeten in Nederland aangehouden worden voor de 3 radiologische modaliteiten CT, bucky en doorlicht apparatuur?	
Database(s): Ovid/Medline, Embase.com (Clinical Key + Trip database)	Datum: 07-04-2022
Periode: 2002 - heden	Talen: Engels, Nederlands
Literatuurspecialist: Miriam van der Maten	
BMI-zoekblokken: voor verschillende opdrachten wordt (deels) gebruik gemaakt van de zoekblokken van BMI-Online https://blocks.bmi-online.nl/ Bij gebruikmaking van een volledig zoekblok zal naar de betreffende link op de website worden verwezen.	

Zoekopbrengst

	EMBASE	OID/MEDLINE	Ontdubbeld
SRs	13	6	13
Guideline en protocollen	184	81	181

Overige studies	270	188	313
Totaal	467	275	507

Zoekstrategie

Embase.com

No.	Query	Results
#12	#9 OR #10 OR #11	467
#11	#6 NOT (#9 OR #10)	270
#10	#6 AND #8 NOT #7	184
#9	#6 AND #7	13
#8	'practice guideline'/de OR guideline*:ti,ab,kw OR recommendation*:ti,ab,kw OR cpq:ti,ab,kw OR protocol*:ti,ab,kw	1928194
#7	'meta analysis'/exp OR 'meta analysis (topic)'/exp OR metaanaly*:ti,ab OR 'meta analy*':ti,ab OR metanaly*:ti,ab OR 'systematic review'/de OR 'cochrane database of systematic reviews'/jt OR prisma:ti,ab OR prospero:ti,ab OR (((systemati* OR scoping OR umbrella OR 'structured literature') NEAR/3 (review* OR overview*)):ti,ab) OR ((systemic* NEAR/1 review*):ti,ab) OR (((systemati* OR literature OR database* OR 'data base*') NEAR/10 search*):ti,ab) OR (((structured OR comprehensive* OR systemic*) NEAR/3 search*):ti,ab) OR (((literature NEAR/3 review*):ti,ab) AND (search*:ti,ab OR database*:ti,ab OR 'data base*':ti,ab)) OR (('data extraction':ti,ab OR 'data source*':ti,ab) AND 'study selection':ti,ab) OR ('search strategy':ti,ab AND 'selection criteria':ti,ab) OR ('data source*':ti,ab AND 'data synthesis':ti,ab) OR medline:ab OR pubmed:ab OR embase:ab OR cochrane:ab OR (((critical OR rapid) NEAR/2 (review* OR overview* OR synthes*)):ti) OR (((critical* OR rapid*) NEAR/3 (review* OR overview* OR synthes*)):ab) AND (search*:ab OR database*:ab OR 'data base*':ab)) OR metasynthes*:ti,ab OR 'meta synthes*':ti,ab	814860
#6	#1 AND (#2 OR #3 OR #4) AND #5 AND [2002-2022]/py NOT (('animal experiment'/exp OR 'animal model'/exp OR 'nonhuman'/exp) NOT 'human'/exp)	467
#5	'diagnostic reference level'/exp OR 'diagnostic reference level*':ti,ab,kw OR drl*:ti,ab,kw OR (((dosage OR dose) NEAR/3 'reference level*'):ti,ab,kw) OR (((dosage OR dose) NEAR/2 age):ti,ab,kw)	7593
#4	'fluoroscopy'/exp OR fluoroscop*:ti,ab,kw OR ((fluorescence NEAR/3 (radiation OR scan*)):ti,ab,kw) OR fluorophotograph*:ti,ab,kw OR photofluoroscop*:ti,ab,kw	80090
#3	'ionizing radiation'/exp OR 'radiodiagnosis'/de OR 'radiography'/de OR 'x ray'/exp OR bucky:ti,ab,kw OR roentgen:ti,ab,kw OR rontgen:ti,ab,kw OR röntgen:ti,ab,kw OR xray*:ti,ab,kw OR 'x-ray*':ti,ab,kw OR radiophotograph*:ti,ab,kw OR radiograph*:ti,ab,kw	1063771
#2	'computer assisted tomography'/exp OR 'cat scan':ti,ab,kw OR ((compute* NEAR/3 tomograph*):ti,ab,kw) OR ct:ti,ab,kw OR cts:ti,ab,kw	1544778

No.	Query	Results
#1	'adolescent'/exp OR 'baby'/exp OR 'boy'/exp OR 'child'/exp OR 'minors'/exp/mj OR 'pediatric patient'/exp OR 'pediatrics'/exp OR 'schoolchild'/exp OR infan*:ti,ab,kw OR newborn*:ti,ab,kw OR 'new born*':ti,ab,kw OR perinat*:ti,ab,kw OR neonat*:ti,ab,kw OR baby*:ti,ab,kw OR babies:ti,ab,kw OR toddler*:ti,ab,kw OR minors*:ti,ab,kw OR boy:ti,ab,kw OR boys:ti,ab,kw OR boyfriend:ti,ab,kw OR boyhood:ti,ab,kw OR girl*:ti,ab,kw OR kid:ti,ab,kw OR kids:ti,ab,kw OR child*:ti,ab,kw OR children*:ti,ab,kw OR schoolchild*:ti,ab,kw OR adolescen*:ti,ab,kw OR juvenil*:ti,ab,kw OR youth*:ti,ab,kw OR teen*:ti,ab,kw OR pubescen*:ti,ab,kw OR pediatric*:ti,ab,kw OR paediatric*:ti,ab,kw OR peadiatric*:ti,ab,kw OR school:ti,ab,kw OR school*:ti,ab,kw OR 'fetus'/exp OR fetus:ti,ab,kw OR fetal:ti,ab,kw	5278649

Ovid/Medline

#	Searches	Results
12	9 or 10 or 11	275
11	6 not (9 or 10)	188
10	(6 and 8) not 9	81
9	6 and 7	6
8	exp Practice Guideline/ or (guideline* or recommendation* or cpg or protocol*).ti,ab,kf.	1186774
7	(meta-analysis/ or meta-analysis as topic/ or (metaanaly* or meta-analy* or metanaly*).ti,ab,kf. or systematic review/ or cochrane.jw. or (prisma or prospero).ti,ab,kf. or ((systemati* or scoping or umbrella or "structured literature") adj3 (review* or overview*)).ti,ab,kf. or (systemic* adj1 review*).ti,ab,kf. or ((systemati* or literature or database* or data-base*) adj10 search*).ti,ab,kf. or ((structured or comprehensive* or systemic*) adj3 search*).ti,ab,kf. or ((literature adj3 review*) and (search* or database* or data-base*)).ti,ab,kf. or (("data extraction" or "data source*") and "study selection").ti,ab,kf. or ("search strategy" and "selection criteria").ti,ab,kf. or ("data source*" and "data synthesis").ti,ab,kf. or (medline or pubmed or embase or cochrane).ab. or ((critical or rapid) adj2 (review* or overview* or synthes*)).ti. or (((critical* or rapid*) adj3 (review* or overview* or synthes*)) and (search* or database* or data-base*)).ab. or (metasynthes* or meta-synthes*).ti,ab,kf.) not (comment/ or editorial/ or letter/ or ((exp animals/ or exp models, animal/) not humans/))	557229
6	1 and (2 or 3 or 4) and 5	269
5	exp Diagnostic Reference Levels/ or 'diagnostic reference level*'.ti,ab,kf. or drl*.ti,ab,kf. or 'dose reference level*'.ti,ab,kf. or ((dosage or dose) adj2 age).ti,ab,kf.	4859
4	exp fluoroscopy/ or fluoroscop*.ti,ab,kf. or (fluorescence adj3 (radiation or scan*)).ti,ab,kf. or fluorophotograph*.ti,ab,kf. or photofluoroscop*.ti,ab,kf.	46456
3	exp X-Rays/ or exp Radiography/ or exp Radiation, Ionizing/ or bucky.ti,ab,kf. or roentgen.ti,ab,kf. or r?ntgen.ti,ab,kf. or	1742916

#	Searches	Results
	xray*.ti,ab,kf. or 'x-ray*'.ti,ab,kf. or radiophotograph*.ti,ab,kf. or radiograph*.ti,ab,kf.	
2	exp Tomography, X-Ray Computed/ or (cat scan* or ct or cts).ti,ab,kf. or (compute* adj3 tomograph*).ti,ab,kf.	792499
1	(child* or schoolchild* or infan* or adolescen* or pediatri* or paediatr* or neonat* or boy or boys or boyhood or girl or girls or girlhood or youth or youths or baby or babies or toddler* or childhood or teen or teens or teenager* or newborn* or postneonat* or postnat* or puberty or preschool* or suckling* or juvenile? or fetus or fetal).tw.	2729924

Kennislacunes

Inleiding

Tijdens de ontwikkeling van de richtlijn/module Kinder Diagnostische Referentieniveaus (DRN's) is systematisch gezocht naar onderzoeksbevindingen die nuttig konden zijn voor het beantwoorden van de uitgangsvragen. Een deel (of een onderdeel) van de hiervoor opgestelde zoekvragen is met het resultaat van deze zoekacties te beantwoorden; een groot deel echter niet. Door gebruik te maken van de evidence-based methodiek (EBRO) is duidelijk geworden dat er nog kennislacunes bestaan. De werkgroep is van mening dat (vervolg)onderzoek wenselijk is om in de toekomst een duidelijker antwoord te kunnen geven op vragen uit de praktijk. Om deze reden heeft de werkgroep per module aangegeven op welke vlakken nader onderzoek gewenst is.

Module CT:

- Wat is de (in)effectiviteit van het volgen van een DRN op basis van WED (water equivalente diameter) of SSDE (size specific dose estimate) versus een DRN op basis van leeftijd?
- Wat is de (in)effectiviteit van het volgen van een DRN op basis van leeftijd versus een DRN op basis van gewicht?

Module Bucky:

- Wat is de (in)effectiviteit van het volgen van een DRN op basis van leeftijd versus een DRN op basis van gewicht?

Module Doorlichting:

- Wat is de (in)effectiviteit van het volgen van een DRN op basis van leeftijd versus een DRN op basis van gewicht?