

STAND VAN ZAKEN

Stralingsbelasting door computertomografie in Nederland

AFWEGING TUSSEN VOORDELEN EN RISICO'S

Jaap Stoker, J.B.A. (Bart) Kipp, Koos Geleijns, Aart J. van der Molen, Henk W. Venema Gerelateerde artikelen: Ned Tijdschr Geneedkd. 2009;153

- Het toenemend gebruik van computertomografie (CT) baart zorgen over de stralingsbelasting en daarmee gepaard gaande risico's, vooral de kans op kankerinductie.
- Voorzichtigheidshalve gaat men ervan uit dat ook lage doses risico's met zich meebrengen, evenredig met de dosis.
- Ontwikkelingen in de CT-techniek zoals automatische belichtingsregeling en op de patiënt toegesneden scan-protocollen maken het mogelijk de stralingsdosis - soms sterk - te verminderen.
- Men moet kritisch zijn op de indicatie van het onderzoek. De diagnostische winst nu moet opwegen tegen de mogelijke langetermijnrisico's.
- Kinderen lopen een groter risico en vooral bij hen dient de CT-indicatie sterk te zijn en de dosis laag.

De stralingsbelasting van een onderzoek met computertomografie (CT) is niet verwaarloosbaar.¹ Door het toenemende gebruik van CT voor diagnostiek en monitoring van vele ziekten stijgt de bijdrage van CT aan de jaarlijkse stralingsbelasting van de bevolking.

In Nederland is het aantal CT-onderzoeken toegenomen tot ongeveer 890.000 in 2006 (figuur 1) (bron: Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), versie 5.0, 19 maart 2008: www.rivm.nl/ims). In dat jaar was 9,6% van het totale aantal radiologische verrichtingen een CT-onderzoek. Dit percentage gaf echter wel 51,7% van de totale effectieve dosis van 0,60 mSv/inwoner door radiologisch onderzoek.

In dit artikel beschrijven wij het risico van ioniserende straling door CT en de afweging tussen enerzijds de directe diagnostische winst en anderzijds een geschatte kans op toekomstige kanker.

DE CT-TECHNIEK BEPAALT DE STRALINGSBELASTING

De CT-techniek heeft een stormachtige ontwikkeling meegemaakt sinds de introductie van de CT-hersenscanner in 1972 en de CT-scanner voor het gehele lichaam in 1974. Een belangrijke ontwikkeling was de introductie van spiraal-CT in 1990, waarmee de snelheid van de scan werd vergroot en de beelden een betere kwaliteit kregen. De volgende stap was de ontwikkeling van multi-'slice'-CT waarbij meerdere plakken tegelijkertijd worden gescand. Deze ontwikkeling heeft voorlopig geculmineerd in de introductie van een 320-slice-CT-scanner

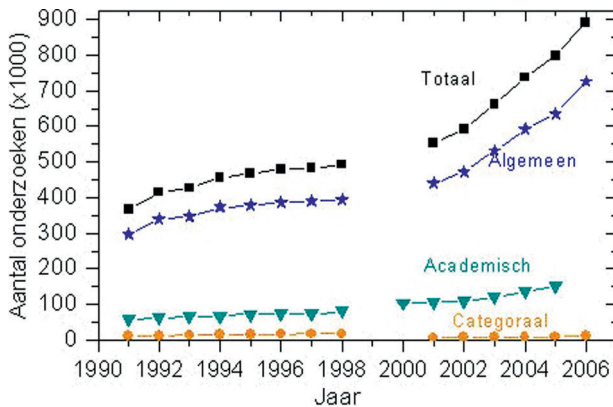
*Academisch Medisch Centrum/
Universiteit van Amsterdam.*

*Afd. Radiologie: prof.dr. J. Stoker, radioloog;
dr. H.W. Venema, klinisch fysicus
(tevens: afd. Medische Fysica).*

*Afd. Radiotherapie: dr. J.B.A. Kipp, radiobioloog,
Leids Universitair Medisch Centrum,
afd. Radiologie, Leiden.*

*Dr. K. Geleijns, klinisch fysicus;
drs. A.J. van der Molen, radioloog.*

*Contactpersoon: prof.dr. J. Stoker
(j.stoker@amc.uva.nl).*



FIGUUR 1 Aantal CT-onderzoeken in de algemene, academische en categorale ziekenhuizen in de jaren 1991-2006 (bron: Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: www.rivm.nl/ims/object_document/o22n1152.html).

eind 2007.

De stralingsbelasting van een CT-scan is vele malen groter dan die van een reguliere röntgenfoto: voor een CT van de thorax is die bijvoorbeeld ruim een factor 100 vergeleken met een röntgenfoto. Dit is niet verbazingwekkend, omdat men met een CT-scan ook veel meer informatie verkrijgt. De stralingsbelasting van een CT-scan is van meerdere factoren afhankelijk, zoals intrinsieke scannereigenschappen en instellingen van de machine.²⁻⁴

Er komen steeds meer mogelijkheden om de stralingsbelasting bij CT-scans te reduceren. Hier speelt echter het natuurkundig principe dat er een zekere hoeveelheid straling nodig is om een CT-scan van goede kwaliteit te maken. Hier geldt: hoe lager de stralingsdosis, des te groter de ruis in het beeld. De kwaliteit van de scan kan dan zover afnemen dat hij niet meer goed te beoordelen is. Een goede balans tussen stralingsdosis en beeldkwaliteit is dus belangrijk.

Het postuur van de te scannen persoon telt sterk mee voor de ruis in het beeld: eenzelfde hoeveelheid straling zal bij een dikkere persoon CT-beelden opleveren met meer ruis, die dus minder goed beoordeelbaar zijn dan bij een dunnere persoon. De laatste jaren zijn de meeste CT-scanners uitgerust met de mogelijkheid van automatische belichtingsregeling, waarmee de intensiteit van de röntgenbundel wordt aangepast aan het postuur van de patiënt. Hierdoor kan men de dosis aanpassen aan de omvang bij gelijkblijvende beeldkwaliteit. Bij kinderen en slanke patiënten neemt de dosis dan af en bij dikkere patiënten toe.

RISICO VAN DE STRALINGSBELASTING DOOR CT-SCANS

Het belangrijkste risico van stralingsbelasting bij het maken van een CT-scan is de inductie van kanker.

Men kan de blootstelling aan straling kwantificeren met de equivalente orgaandosis, hierna te noemen **orgaandosis**. Dit is de gemiddelde energie per massa-eenheid die is geabsorbeerd in organen of weefsels in het menselijk lichaam, vermenigvuldigd met een factor om de biologische schadelijkheid van de betreffende soort straling te verrekenen.

Daarnaast gebruikt men de **effectieve dosis**, waarbij alle orgaandoses worden vermenigvuldigd met weegfactoren die de gevoeligheden representeren voor stralingsschade, en daarna worden gesommeerd. De effectieve dosis wordt gebruikt als een globale maat voor de kans op stralingsschade, waarbij niet alleen de kans op tumorinductie is verdisconteerd, maar ook de kans op sterfte ten gevolge daarvan en de kans op eventuele genetische schade bij het nageslacht. De wegingsfactoren worden vastgesteld door de International Commission on Radiological Protection (ICRP).^{5,6} De eenheid voor orgaandosis en effectieve dosis is sievert (Sv) of millisievert (mSv).

Kwantitatieve informatie over de risico's van blootstelling aan straling is voornamelijk afkomstig van studies bij de overlevenden van de atoombommen op Japan in 1945.^{7,8} Bij een orgaandosis van 100 mSv tot meer dan 2 Sv bleek in de afgelopen 50 jaar een duidelijke verhoging in kankerincidentie ten opzichte van een controlegroep die vrijwel niet was blootgesteld aan straling, dat wil zeggen een dosis minder dan 5 mSv. De deskundigen zijn het er niet over eens wat de bewijskracht is van de gegevens over het carcinogene effect voor doses hiertussenin. Sommigen stellen dat voor orgaandoses van enkele tientallen mSv er nu direct en geloofwaardig epidemiologisch bewijs is van een verhoogd risico op kanker, maar anderen zijn minder stellig.^{1,9} Een eventueel door straling geïnduceerde tumor wordt pas lange tijd na de blootstelling aan de straling manifest. Voor leukemie is de latente periode minimaal enige jaren; voor solide tumoren is deze periode veel langer: deze kan tientallen jaren bedragen.

RISICOAFWEGING

In bijna alle landen zijn de aanbevelingen van de ICRP de basis voor regel- en wetgeving op het gebied van de bescherming tegen straling.⁵ De ICRP stelt dat het verstandig is om ook voor lage doses, dat wil zeggen minder dan 100 mSv, aan te nemen dat er een kans op tumorinductie bestaat die evenredig is met de dosis. Dit zogenaamde lineaire model zonder drempelwaarde ('linear-no threshold model'; LNT) volgt men, hoewel er geen onduwzelnig bewijs voor is. In feite past men hier het voor-

zorgprincipe toe: het is niet uit te sluiten dat straling ook bij lage doses voor mensen risico's oplevert. Het risico op fatale kanker wordt daarbij geschat op 5% voor een effectieve dosis van 1 Sv, dus bijvoorbeeld 0,05% (1 op 2000) voor een effectieve dosis van 10 mSv. Een effectieve dosis van 10 mSv is niet ongebruikelijk voor bijvoorbeeld een CT van het abdomen.

Dit risico is echter een gemiddelde voor de gehele bevolking en geldt niet zonder meer voor delen van de bevolking.⁶ Zo hangt het risico op kankerinductie in vrij sterke mate af van de leeftijd (figuur 2): kinderen lopen meer risico. Dat heeft twee oorzaken. In de eerste plaats is bij kinderen de gevoeligheid voor tumorinductie groter en bovendien hebben zij meer levensduur voor de boeg waarin de tumor manifest kan worden.

De risico's in figuur 2 zijn frequentiewaarden,⁷ en ze zijn hoger dan de genoemde risicocijfers van de ICRP, die betrekking hebben op de geschatte sterfte aan kanker. Ook bij bijvoorbeeld screening met CT bij een oudere populatie zijn de ICRP-risicogetallen niet zonder meer van toepassing; de risico's zullen in de praktijk kleiner zijn.

In een klinische setting zal men bij de overwegingen of een CT-onderzoek is geïndiceerd zowel het vitale belang van de diagnose, als een correcte schatting van de risico's moeten betrekken. Bij dit laatste moet men er rekening mee houden dat minder tumoren manifest kunnen worden bij een kortere levensverwachting van de patiënt.

CT-ONDERZOEK IN NEDERLAND

CT-onderzoeken die in Nederland het meest worden uitgevoerd, zijn CT van het abdomen en van het hoofd (figuur 3) (bron: Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen van het RIVM, versie 5.0, 19 maart 2008: www.rivm.nl/ims). CT van het abdomen heeft de hoogste gemiddelde effectieve dosis, namelijk 11 mSv, en levert daarmee de grootste bijdrage aan de effectieve dosis per inwoner. Deze gemiddelde effectieve dosis door CT was in 2006 0,31 mSv per inwoner, een stijging ten opzichte van 0,27 mSv in 2005. Met stijgende leeftijd neemt de frequentie van CT-onderzoeken gestaag toe. Bepaalde CT-onderzoeken worden vaker op een jongere leeftijd uitgevoerd, zoals van het bekken, waarbij de mediane leeftijd 50-54 jaar is; voor CT van het hoofd is deze 70-74 jaar.

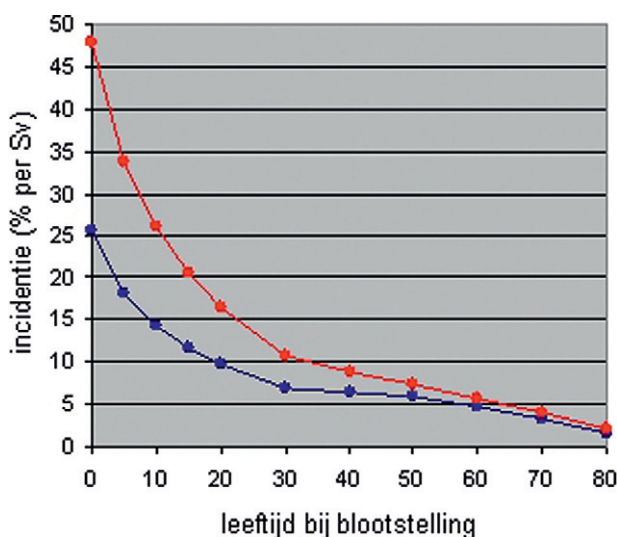
RECHTVAARDIGING VAN HET STRALINGSRISICO

Omdat we ervan uitgaan dat een blootstelling aan straling tijdens röntgenonderzoek, zoals CT, een risico met zich meebrengt, verwachten we van de verwijzend arts en de radioloog dat zij er gezamenlijk voor zorgen dat CT alleen wordt uitgevoerd wanneer het voordeel ervan

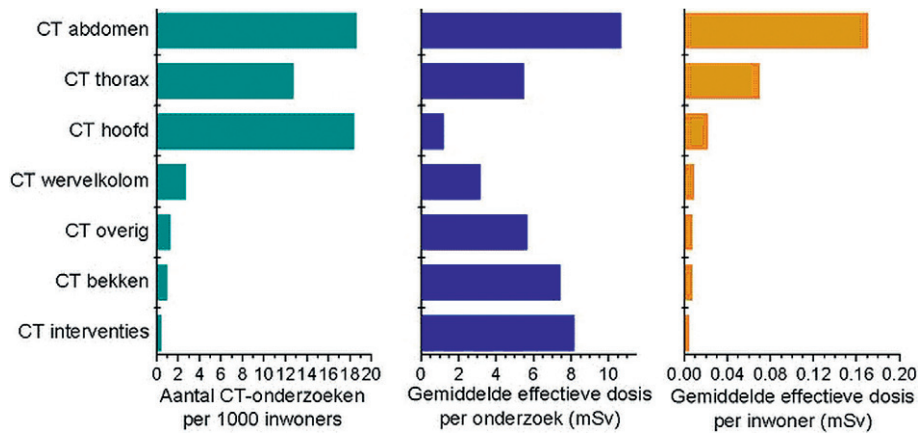
opweegt tegen het veronderstelde stralingsrisico. Het voordeel van de CT-scan is dan bijvoorbeeld het aantonen of juist uitsluiten van pathologische afwijkingen. Dit illustreren wij met enkele voorbeelden.

CORONAIRE CT-ANGIOGRAFIE

Coronaire CT-angiografie (CCTA) is een relatief nieuwe techniek om een ernstige afwijking van de coronaire vaten uit te sluiten, die steeds vaker als alternatief voor een diagnostische hartkatheterisatie wordt toegepast. De spectaculaire groei van CCTA en de relatief hoge dosis die daarmee gepaard gaat, krijgen veel aandacht in wetenschappelijke tijdschriften⁹ en de populaire pers. Echter, een genuanceerde benadering van de stralingsbelasting bij CCTA, en het hiermee samenhangende risico, ontbreekt voornamelijk in de internationale discussies. Met name wordt voorbijgegaan aan het voordeel van het minimaal invasieve karakter van de techniek, ten opzichte van conventionele invasieve hartkatheterisatie. Wanneer bijvoorbeeld de toch al geringe sterfte die gepaard gaat met invasieve hartkatheterisatie,¹⁰ wordt vergeleken met het geringe stralingsrisico van minimaal invasieve CCTA, dan blijkt dat het risico van hartkatheterisatie groter is, ondanks de relatief hoge stralingsbelasting van CCTA. Tenslotte is ook nog van belang dat het bij de sterfte door een klinisch onderzoek om een acuut risico gaat, en dat, zoals al eerder beschreven, voor stralingseffecten geldt dat deze pas geruime tijd na de blootstelling tot expressie komen.



FIGUUR 2 Het geschatte risico op kanker ten gevolge van eenmalige bestraling als functie van de leeftijd bij blootstelling (rood: ♀; blauw: ♂). Kinderen lopen meer risico dan volwassenen, oudere volwassenen lopen minder risico.⁸



FIGUUR 3 Stralingsbelasting door CT in Nederland: frequentie van CT-onderzoeken, gemiddelde effectieve dosis per onderzoek en per inwoner in 2006 (bron: Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: www.rivm.nl/ims/object_document/o2n1152.html).

CT VAN DE THORAX BIJ KINDEREN

Een zorgvuldige afweging bij de verwijzing van kinderen voor het maken van een CT-scan is van bijzonder belang aangezien zoals gezegd kinderen gevoeliger zijn voor straling dan volwassenen. Met de nieuwste multi-slice-CT-scanners kan het gehele brein, of de gehele thorax van kinderen in een fractie van een seconde worden afgebeeld. Vanwege de snelheid van deze scanners is het steeds vaker mogelijk om af te zien van sedatie bij CT van kinderen. Op basis van klinische informatie zal de radioloog een weloverwogen keuze maken tussen verschillende beeldvormende technieken zoals CT, echografie en MRI. Zo zal hij of zij bijvoorbeeld voor de diagnostiek van abdominale afwijkingen de voorkeur geven aan echografie boven CT. Een juiste indicatiestelling (justificatie) voor het CT-onderzoek is één van de belangrijkste methoden om de stralingsbelasting voor het kind te beperken.

Daarnaast dient het CT-onderzoek zelf goed te worden uitgevoerd. Hierin is de afgelopen jaren veel bereikt: onlangs werd aangetoond dat optimalisatie van CT-scanprotocollen in de Verenigde Staten ertoe heeft geleid dat de stralingsbelasting voor kinderen, en het hiermee samenhangende risico, per onderzoek sinds 2001 belangrijk is gedaald.¹¹

CT-COLONOGRAFIE

CT-colonografie, ook wel virtuele colonoscopie genoemd, is een CT-techniek waarmee na rectale insufflatie van lucht of kooldioxide colorectaal carcinoom en zijn voorlopers kunnen worden gedetecteerd.¹² Deze techniek wordt op dit moment onderzocht als potentiële scree-

ningstechniek voor colorectaal carcinoom.^{13,14} Zeker bij toepassing als bevolkingsonderzoek is de stralingsbelasting een belangrijk punt. Het grote intrinsieke contrast tussen darmwandafwijkingen, namelijk zacht weefsel, en de darminhoud, die voornamelijk bestaat uit kooldioxide of lucht, zorgt ervoor dat de benodigde stralingsdosis hierdoor aanzienlijk lager is dan voor standaard-CT van het abdomen. Uit een recente internationale enquête bleek de stralingsbelasting van screening-CT-colonografie gemiddeld 5,7 mSv te zijn; de laagste dosis was 2,6 mSv.¹⁵ Experimentele studies geven aan dat deze dosis bij voortgaande technische ontwikkelingen waarschijnlijk nog aanzienlijk verder kan worden verminderd.¹⁶

BESLUIT

Door de efficiënte wijze waarop CT belangrijke informatie voor de behandeling oplevert, heeft CT in toenemende mate een centrale rol gekregen bij de diagnostiek van vele ziekten. Dit toenemend gebruik van CT gaat gepaard met niet geheel verwaarloosbare risico's op langere termijn voor de individuele patiënt, en met een toename van de jaarlijkse stralingsbelasting van de gehele bevolking. Een belangrijke groep hierbij zijn kinderen, want zij lopen meer risico bij blootstelling aan straling. Bij hen is echter, door hun kleine lichaamsomvang, een CT-scan met minder straling mogelijk. CT-scanprotocollen voor kinderen dienen dan ook geoptimaliseerd te zijn voor hun afmetingen.

Reeds vóór de introductie van automatische belichtingsregeling streefde men er in Nederland al naar om voor kinderen aangepaste CT-protocollen te gebruiken, met

LEERPUNTEN

- Men gaat ervan uit dat ook lage doses straling risico's hebben.
- Gebruik van CT geeft stralingsrisico's, vooral kans op kankerinductie.
- Technische ontwikkelingen en aangepaste scanprotocollen maken het mogelijk de stralingsdosis te verminderen, soms sterk te verminderen.
- Het blijft belangrijk kritisch te zijn op de indicatie voor CT, in het bijzonder bij kinderen.

een lagere dosis.¹⁷ Ook internationaal is hier aandacht voor, zoals het initiatief 'Image gently' van de Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging (www.pedrad.org/associations/5364/ig/).

Door technische ontwikkelingen zoals automatische belichtingsregeling en betere scanprotocollen lijkt de dosis per CT-onderzoek in de laatste jaren wat af te nemen. Dit heeft een gunstig effect op het risico per

onderzoek en op de balans tussen de diagnostische winst nu en risico's op lange termijn. De voortgaande technische ontwikkelingen zullen waarschijnlijk op korte termijn een verdere afname in dosis mogelijk maken. Al deze ontwikkelingen nemen niet weg dat men kritisch zal moeten blijven op de indicatiestelling voor CT. De winst nu moet opwegen tegen de mogelijke risico's op lange termijn.

P. Stoop (RIVM), R.A.J. Nivelstein (Universitair Medisch Centrum Utrecht) en R.R. van Rijn (Academisch Medisch Centrum/Universiteit van Amsterdam) droegen bij aan dit artikel met informatie en discussie.

Belangenconflict: geen gemeld. Financiële ondersteuning: geen gemeld.

Aanvaard op 25 november 2008

Citeer als Ned Tijdschr Geneeskd. 2009;153:B103

[➤ Meer op www.nvtg.nl/klinischepraktijk](http://www.nvtg.nl/klinischepraktijk)

LITERATUUR

- 1 Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography - an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357:2277-84.
- 2 Brix G, Nagel HD, Stamm G, Veit R, Lechel U, Griebel J, et al. Radiation exposure in multi-slice versus single-slice spiral CT: results of a nationwide survey. *Eur Radiol.* 2003;13:1979-91.
- 3 Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology.* 2008;248:254-63.
- 4 Van der Molen AJ, Geleijns J. Overranging in multisection CT: quantification and relative contribution to dose - comparison of four 16-section CT scanners. *Radiology.* 2007;242:208-16.
- 5 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP.* 2007;37:1-332.
- 6 Radiation protection in medicine. ICRP publication 105. *Ann ICRP.* 2007;37:1-63.
- 7 National Research Council of the National Academies. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation - BEIR VII. Washington: National Academies Press; 2006.
- 8 Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res.* 2007;168:1-64.
- 9 Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA.* 2007;298:317-23.
- 10 Noto TJ, Johnson LW, Krone R, Weaver WF, Clark DA, Kramer JR Jr, et al. Cardiac catheterization 1990: a report of the Registry of the Society for Cardiac Angiography and Interventions (SCA&I). *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1991;24:75-83.
- 11 Arch ME, Frush DP. Pediatric body MDCT: a 5-year follow-up survey of scanning parameters used by pediatric radiologists. *Am J Roentgenol.* 2008;191:611-7.
- 12 Laméris JS, Stoker J. Virtuele colonoscopie. *Ned Tijdschr Geneeskd.* 2000;144:60-4.
- 13 Kim DH, Pickhardt PJ, Taylor AJ, Leung WK, Winter TC, Hinshaw JL, et al. CT colonography versus colonoscopy for the detection of advanced neoplasia. *N Engl J Med.* 2007;357:1403-12.
- 14 Johnson CD, Chen MH, Toledano AY, Heiken JP, Dachman A, Kuo MD, et al. Accuracy of CT colonography for detection of large adenomas and cancers. *N Engl J Med.* 2008;359:1207-17.
- 15 Liedenbaum MH, Venema HW, Stoker J. Radiation dose in CT colonography - trends in time and differences between daily practice and screening protocols. *Eur Radiol.* 2008;18:2222-30.
- 16 Van Gelder RE, Venema HW, Florie J, Nio CY, Serlie IWO, Schutter MP, et al. Feasibility of substantial dose reduction in CT colonography: comparison of medium to very low doses in identical patients. *Radiology.* 2004;232:611-20.
- 17 Stoop P, Bijwaard H. Optimalisatie van de dosis bij radiologisch onderzoek van kinderen. Inventarisatie van de praktijk in algemene ziekenhuizen. RIVM rapport 265021005. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne; 2006.