



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Analyse van trends in de stralingsbelasting als gevolg van beeldvormende diagnostiek

RIVM rapport 610003001/2013

M.J.M. Pruppers | I. R. de Waard | H. Bijwaard



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Analyse van trends in stralingsbelasting als gevolg van beeldvormende diagnostiek

RIVM Rapport 610003001/2013

Colofon

© RIVM 2013

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)', de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

M.J.M. Pruppers, Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid
I.R. de Waard-Schalkx, Centrum Veiligheid
H. Bijwaard, Centrum Veiligheid

Contact:
Harmen Bijwaard
Centrum Veiligheid
harmen.bijwaard@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de directie Geneesmiddelen en Medische Technologie van het ministerie van VWS, in het kader van het project 'MEDISTRA-B - Beleidsondersteuning Medische Stralingstoepassingen', kennisvraag 4.1.3, Analyse IMS

Rapport in het kort

Ontwikkelingen in stralingsbelasting bij beeldvormende diagnostiek

Voor diagnoses waarbij een afbeelding van het inwendige lichaam wordt gemaakt (medische beeldvorming) kan röntgenapparatuur worden gebruikt waarbij ioniserende straling vrijkomt. De gemiddelde stralingsdosis per Nederlander als gevolg van deze diagnostiek is tussen 2002 en 2010 met ruim 70 procent gestegen (ongeveer 0,045 millisievert jaarlijks). De belangrijkste oorzaak daarvan is dat het aantal onderzoeken met computertomografie (CT) in ziekenhuizen in tien jaar is verdubbeld.

Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM, toegespitst op het gebruik van CT-scanners in ziekenhuizen. Een eensluidende verklaring voor de gestegen inzet van CT ontbreekt echter. Voor de hand liggende verklaringen zoals de bevolkingsgroei en de vergrijzing blijken slechts een marginale bijdrage te leveren.

Het is onduidelijk wat de toegenomen inzet van CT veroorzaakt. Vermoedelijk voeren ziekenhuizen steeds meer CT-voorzieningen uit, omdat ze over meer scanners beschikken die bovendien sneller scans kunnen maken. Daarnaast kunnen de richtlijnen voor diagnostiek en de behandelplannen in individuele ziekenhuizen de afgelopen jaren zodanig zijn veranderd dat vaker CT wordt aangewend om een diagnose te stellen. Ook kan het zijn dat nieuw, jonger personeel, dat met CT wordt opgeleid, hieraan bijdraagt. Een andere factor kan de toegenomen mondigheid van patiënten zijn, die zelf om een CT-scan vragen. Artsen kunnen er op hun beurt eerder toe neigen een CT-scan te laten maken uit angst voor juridische consequenties bij medische missers.

Meer inzicht in de verklaringen kan bijvoorbeeld worden verkregen door mensen uit het veld daarover te laten discussiëren en er een rangorde in te laten aanbrengen. Daarnaast kan onderzoek naar alternatieven voor CT worden gestimuleerd, of naar een vermindering van de dosis per verrichting. Tevens kan een betere bewustwording bij artsen van de kosten en risico's van CT-onderzoek het aantal CT-voorzieningen helpen verminderen. Daarbij is het van belang de baten van dit type onderzoek, namelijk eerdere en betere diagnoses, niet uit het oog te verliezen.

Trefwoorden:

stralingsbelasting, medische toepassingen, CT-voorzieningen, trend

Abstract

Developments in radiation exposure from medical imaging

For diagnoses that require an image of the body's interior (medical imaging) X-ray equipment can be used that produces ionising radiation. In the Netherlands the average per caput radiation dose due to diagnostic radiology has increased between 2002 and 2010 with 70 per cent (approximately 0.045 millisievert yearly). The main cause for this is the doubling of the number of Computed Tomography (CT) examinations in Dutch hospitals in the past ten years.

This follows from research by the Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) that focusses on the use of CT scanners in Dutch hospitals. However, a real explanation for the observed increase in CT use is missing. Seemingly obvious explanations like ageing and growth of the population appear to contribute only marginally.

It is unclear what causes the increased use of CT. Presumably hospitals carry out more and more CT examinations because they have more scanners that can make scans faster. Apart from that, diagnostic guidelines and treatment plans may have changed in recent years in a way that leads to more frequent use of CT for diagnoses. It is also possible that new, younger staff, trained with CT, contributes to this development. Another factor might be the growing empowerment of patients that ask for CT scans themselves. In addition, physicians may ask for more CT scans due to fear of litigation in case they miss a diagnosis.

More insight in possible explanations might be obtained from an expert elicitation that should lead to a ranking of arguments. Apart from that, research for CT alternatives or reduction of examination doses can be supported. Furthermore, more consciousness among physicians of the costs and risks of CT could help to reduce the number of CT examinations. However, one should not lose sight of the benefits of diagnostic radiology, i.e. quicker and better diagnoses.

Keywords:

radiation exposure, medical applications, CT examinations, trend

Inhoud

Samenvatting—6

1 Inleiding—7

2 Waargenomen trends—9

- 2.1 Trends in de stralingsbelasting—9
- 2.2 Trends in aantallen verrichtingen medische beeldvormende diagnostiek—10
- 2.3 Trends in aantallen CT-verrichtingen—11
- 2.4 Discussie en conclusies—13

3 Verklaringen voor trends en mogelijkheden voor sturing—14

- 3.1 Inleiding—14
- 3.2 Literatuur over trends—14
- 3.3 Het aanbod: de totale beschikbare capaciteit—15
 - 3.3.1 Ontwikkelingen in CT—15
 - 3.3.2 Wachttijden voor CT-onderzoek—17
 - 3.3.3 Beschikbaarheid alternatieven—17
 - 3.3.4 Gebruik van de beschikbare capaciteit—18
- 3.4 De vraag: het aantal onderzoeken—19
 - 3.4.1 Bevolkingsgroei en vergrijzing—19
 - 3.4.2 Indicaties voor CT-onderzoek—22
- 3.5 Andere processen die mogelijk een rol spelen—24
- 3.6 Mogelijkheden voor sturing door de overheid—24

4 Discussie en conclusies—25

- 4.1 Discussie—25
- 4.2 Conclusies—25

Referenties—26

Samenvatting

De gemiddelde stralingsdosis per Nederlander als gevolg van medische beeldvormende diagnostiek is in de periode 2002-2010 jaarlijks met ongeveer 0,045 mSv gestegen. De belangrijkste oorzaak van deze stijging is het toenemende aantal CT (computertomografie) verrichtingen. De opdrachtgever, het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), wil weten wat de oorzaak van deze toename is. De toename van het aantal CT-scans wordt ook in de internationale literatuur gevonden, maar een analyse van de trend ontbreekt.

Een voor de hand liggende verklaring voor de stijging van het aantal onderzoeken zou zijn de vergrijzing en de toename van de bevolking. Uit de analyse in dit rapport blijkt dat bevolkingsgroei en vergrijzing maar een marginale rol spelen in de stijging van het aantal onderzoeken.

De groei van het aantal CT-scanners (en in mindere mate de afname van de scanduur) heeft bijgedragen aan de toename van het aantal onderzoeken. Andere factoren die van invloed kunnen zijn (geweest) op het aantal CT-onderzoeken zijn: veranderende richtlijnen voor diagnostiek en behandelplannen, de instroom van nieuw, met CT opgeleid personeel, de toegenomen mondigheid van patiënten, een mogelijke angst voor juridische consequenties en een *technology push*. De grootte van deze invloeden is moeilijk in cijfers uit te drukken.

Het verdient daarom aanbeveling om deze factoren te rangschikken met behulp van kwalitatief onderzoek bijvoorbeeld door middel van *expert elicitation*. Daarnaast dient onderzoek naar alternatieven voor CT of dosisreductie gestimuleerd te worden. Tevens kan een betere bewustwording van de kosten en de risico's van (herhaald) CT-onderzoek een bijdrage leveren aan een reductie van het aantal CT-verrichtingen. Hierbij moeten niet de baten van dit type onderzoek uit het oog verloren worden.

1 Inleiding

De gemiddelde stralingsdosis per Nederlander als gevolg van medische beeldvormende diagnostiek is in de periode 2002 - 2010 jaarlijks met ongeveer 0,045 mSv gestegen. De belangrijkste oorzaak van deze stijging is het toenemende aantal CT-verrichtingen, zoals weergegeven in het Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen (zie www.rivm.nl/ims). De opdrachtgever (het ministerie van VWS) wil weten wat de oorzaak van deze toename is.

Om de trends in de cijfers in het Informatiesysteem Medische Stralings-toepassingen (IMS) meer betekenis te geven, is het van belang deze met de trends in bijvoorbeeld economische, maatschappelijke en demografische ontwikkelingen te vergelijken. Er is onderzocht welke processen – en zo mogelijk in welke mate – de stijging van het aantal verrichtingen kunnen hebben beïnvloed. Kennis over deze processen kan bijdragen aan het verkennen van mogelijke toekomstige trends en mogelijkheden voor sturing door de overheid.

Het uiteindelijke doel van het stralingsbeschermingsbeleid van het ministerie van VWS is het beheersen van de risico's voor patiënten. De trendanalyse draagt bij aan het bereiken van dit doel door verklaringen te zoeken voor de stijging van de aantallen CT-verrichtingen die de grootste bijdrage aan de dosis leveren en door het verkennen van de mogelijkheden voor sturing door de overheid.

De vraagstelling voor de trendanalyse is als volgt:

1. Welke processen zijn van invloed op de waargenomen trends?
2. Welke verklaringen zijn er in de internationale literatuur te vinden voor de trend in het aantal verrichtingen en in hoeverre gaan die ook voor Nederland op? Zijn er mogelijke verklaringen die typisch voor Nederland zijn?
3. Welke mogelijkheden zijn er voor sturing door de overheid?

De trendanalyse beperkt zich tot patiënten (werknemers blijven buiten beschouwing) en tot trends in het aantal verrichtingen die het meest bijdragen aan de gemiddelde stralingsdosis per Nederlander als gevolg van medische beeldvormende diagnostiek ofwel het aantal CT-verrichtingen. Omdat er onvoldoende gegevens van vóór 2001 beschikbaar zijn, richt de trendanalyse zich op de periode 2002 - 2010.

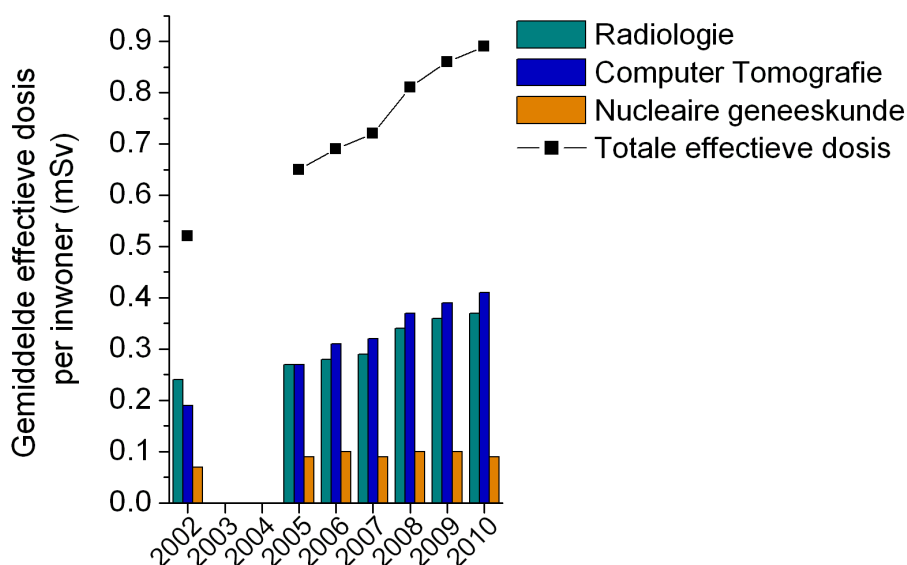
In Hoofdstuk 2 zijn de waargenomen trends beschreven: in de stralings-belasting, in het aantal verrichtingen in de medische beeldvormende diagnostiek in het algemeen en van de CT-verrichtingen in het bijzonder. Daarbij is onderscheid gemaakt naar het type instelling (algemene, academische en andere instellingen) en het type verrichting (CT-abdomen, CT-thorax, CT-hoofd en andere CT-verrichtingen). In Hoofdstuk 3 is geprobeerd om de waargenomen trends te verklaren, waar mogelijk kwantitatief. De onderliggende processen zijn ingedeeld naar enerzijds (veranderingen in) het aanbod van de mogelijkheden tot het uitvoeren van CT-verrichtingen en anderzijds (veranderingen in) de vraag naar het uitvoeren van CT-verrichtingen. Ook zijn in Hoofdstuk 3 mogelijkheden verkend om het aantal CT-verrichtingen te beïnvloeden, mede ten behoeve van de bescherming van patiënten tegen risico's die met de

stralingsbelasting samenhangen. In Hoofdstuk 4 is tot slot kritisch gekeken naar de analyses in dit rapport en zijn enkele conclusies getrokken.

2 Waargenomen trends

2.1 Trends in de stralingsbelasting

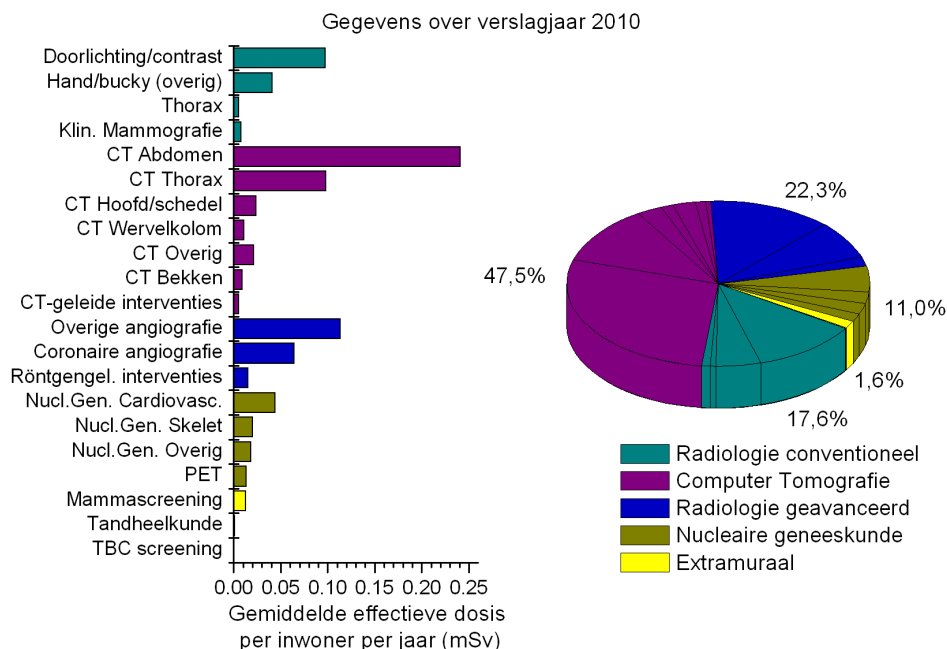
De trend in de stralingsbelasting is gebaseerd op het meest recente IMS-rapport met gegevens over 2010 dat in augustus 2012 is gepubliceerd [1]. Voor 2010 is de gemiddelde effectieve dosis per inwoner als gevolg van medische beeldvormende diagnostiek geschat op 0,89 mSv en voor 2002 op 0,52 mSv (zie Figuur 1). De gemiddelde stijging bedraagt jaarlijks ongeveer 0,045 mSv ($= (0,89 - 0,52)/8$). In de berekeningen voor het jaar 2010 is voor de radiologische verrichtingen en de CT-verrichtingen dezelfde gemiddelde effectieve dosis per onderzoek gebruikt als in eerdere jaren. Voor radiologie zijn de dosisgegevens uit het Demonstratieproject patiëntendosimetrie radiologie [2] gebruikt. Het aantal onderzoeken per inwoner laat een stijgende trend zien. Deze stijgende trend in het aantal onderzoeken (met jaarlijks dezelfde dosis per verrichting) resulteert in een stijging van de gemiddelde effectieve dosis per inwoner per jaar.



Figuur 1 Gemiddelde jaarlijkse effectieve dosis per inwoner voor verschillende jaren met daarbij de onderverdeling tussen de verschillende vormen van de medische beeldvorming. Voor de jaren 2003 en 2004 is geen inventarisatie van de totale dosis gedaan (Bron:[1])

In Figuur 1 is goed te zien dat de dosis ten gevolge van CT met de jaren stijgt. De dosis door radiologie stijgt eveneens. Deze stijgingen worden veroorzaakt door een toename van het aantal verrichtingen, niet door eventuele veranderingen in de dosis per verrichting. Die zijn namelijk hier niet meegenomen.

In Figuur 2 is te zien hoe groot de bijdrage in dosis per inwoner is van de verschillende categorieën van medische toepassingen. De bijdrage van CT-verrichtingen aan de dosis, die in 2005 42% bedroeg, is gedurende de jaren daarna een steeds groter aandeel gaan innemen tot ruim 47% in 2010.

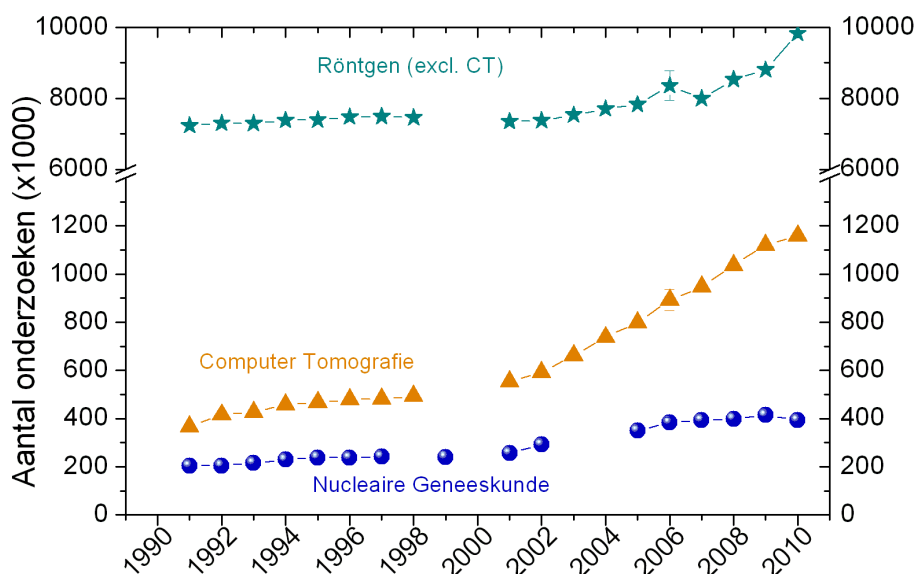


Figuur 2 Verdeling van de gemiddelde effectieve dosis per inwoner in 2010 als gevolg van medische beeldvormende diagnostiek over verschillende typen onderzoek (absoluut links, relatief rechts) (Bron:[1])

2.2

Trends in aantallen verrichtingen medische beeldvormende diagnostiek

In 2010 zijn in de Nederlandse ziekenhuizen ongeveer 9,8 miljoen röntgen-verrichtingen (exclusief CT) uitgevoerd. Het totaal aantal CT-verrichtingen bedraagt ongeveer 1,16 miljoen en het totaal aantal verrichtingen nucleaire geneeskunde is geschat op ruim 393.000 (zie Figuur 3).

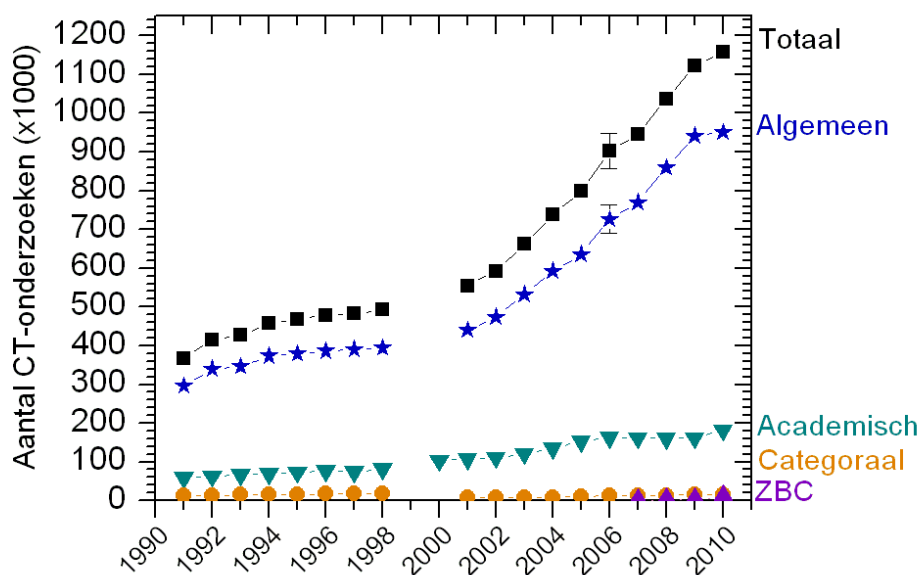


Figuur 3 Het aantal röntgen (exclusief CT), CT en nucleair geneeskundige verrichtingen in Nederland voor de jaren 1991 tot en met 2010 met bijbehorende onzekerheid voor het jaar 2006 (Bron:[1])

Vanaf 2001 is een duidelijk stijgende trend waar te nemen, rekening houdend met de onzekerheid in de schatting van het totale aantal. Omdat de enquête over het verslagjaar 2006 voor de eerste maal met een webapplicatie werd uitgevraagd, was er geen verplichting aan verbonden. De respons op de enquête was voor het verslagjaar 2006 ongeveer 40% lager dan in de jaren ervoor en erna (84% over het verslagjaar 2007 en 97,5% over 2010). Hierdoor moest voor een groot aantal instellingen het aantal verrichtingen aanvullend worden geschat. De onzekerheid in de getallen van 2006 is dan ook groter dan die van andere jaren. Voor de getallen van 2006 is daarom het 95%-betrouwbaarheidsinterval in de grafiek weergegeven.

2.3 Trends in aantallen CT-verrichtingen

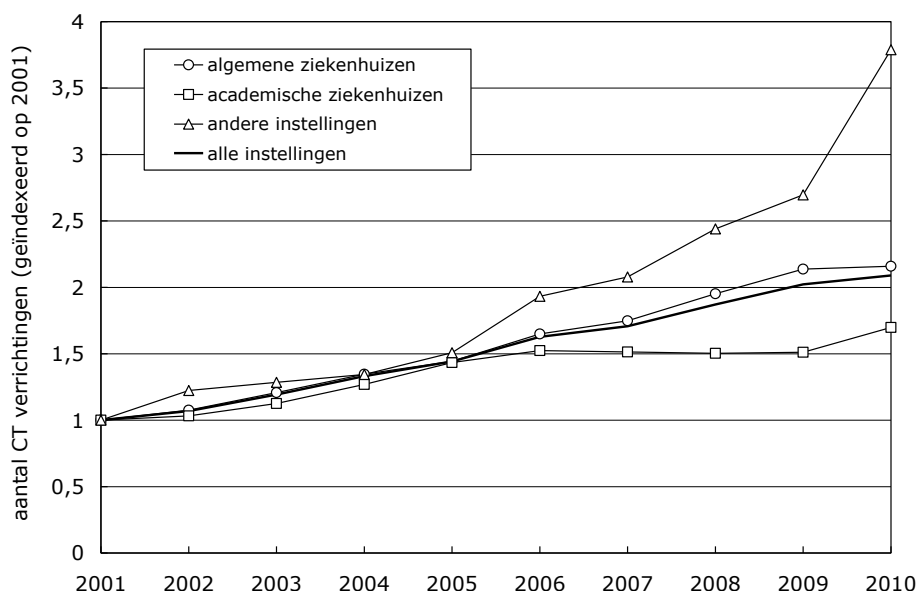
In Figuur 4 is het totaal aantal CT-verrichtingen te zien vanaf 1991 tot en met 2010. Sinds begin jaren '90 is het aantal CT-verrichtingen meer dan verdubbeld. Het jaarlijks aantal CT-verrichtingen stijgt nog steeds en is in 2010 toegenomen tot 1,16 miljoen verrichtingen per jaar. De absolute stijging van het aantal CT-verrichtingen komt vooral door de stijging van het aantal onderzoeken in de algemene ziekenhuizen. Er zijn acht academische instellingen, een veel kleiner aantal in vergelijking met het aantal (ongeveer 80) algemene ziekenhuizen. De absolute stijging van het aantal CT-verrichtingen voor de academische ziekenhuizen is dan ook kleiner. De trend in het totaal aantal CT-verrichtingen laat sinds 2001 een gemiddelde stijging zien van ongeveer 67.000 verrichtingen per jaar.



Figuur 4 Aantal CT-verrichtingen in algemene, academische en categorieale ziekenhuizen en Zelfstandige Behandelcentra (ZBC) en het totaal van 1991 tot en met 2010 (Bron:[1])

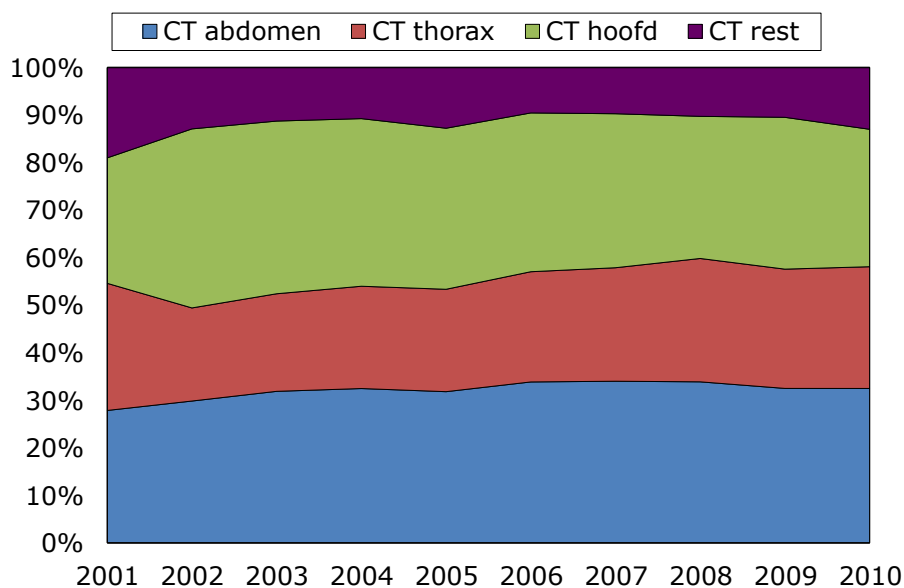
In Figuur 5 is per type instelling de relatieve stijging van het aantal CT-verrichtingen weergegeven ten opzichte van het aantal in 2001. De trend in het totaal over alle instellingen lijkt het meest op de trend in de algemene ziekenhuizen, omdat deze ook het grootste aandeel vormen. De trend voor de academische ziekenhuizen blijft daarbij achter (en lijkt na 2005 nauwelijks meer

toe te nemen), terwijl het aantal verrichtingen in de 'andere instellingen' (waaronder de zelfstandige behandelcentra vallen) sneller stijgt.



Figuur 5 Aantal CT-verrichtingen per type instelling geïndexeerd op 2001

Uit Figuur 6, waarin de relatieve verdeling van het aantal verrichtingen over de typen verrichtingen is weergegeven, blijkt dat over de jaren de CT-onderzoeken van abdomen, thorax en hoofd het grootste aandeel (meer dan 80%) hebben in het jaarlijkse totale aantal verrichtingen. De relatieve bijdragen van elk type CT-verrichting aan het totaal aantal verrichtingen in een jaar lijken over de periode 2001 - 2010 ongeveer gelijk te zijn gebleven. Aangezien het totaal aantal CT-verrichtingen stijgt, maar de verdeling over de typen verrichtingen min of meer gelijk blijft, nemen de verschillende typen verrichtingen dus navenant toe.



Figuur 6 Verdeling aantal CT-verrichtingen naar type verrichting voor verschillende jaren

2.4 Discussie en conclusies

Uit de waargenomen trends zijn de volgende constateringën naar voren gekomen:

1. De belangrijkste bijdrage aan de gemiddelde effectieve dosis per inwoner in 2010 als gevolg van medische beeldvormende diagnostiek wordt geleverd door CT-verrichtingen.
2. Uit de bijdragen van de diverse typen CT-verrichtingen aan de gemiddelde effectieve dosis per inwoner (zie Figuur 2) blijkt dat het grootste deel door CT-abdomen en CT-thorax wordt bijgedragen.
3. Uit de bijdragen van de diverse typen CT-verrichtingen aan het totaal aantal CT-verrichtingen blijkt dat het grootste deel door CT-abdomen, CT-hoofd en CT-thorax wordt bijgedragen.

De beschikbare gegevens over de medische beeldvormende diagnostiek in Nederland beperken zich tot het aantal verichtingen per ziekenhuis en per type verichting. Deze gegevens worden sinds verslagjaar 2006 verzameld op basis van CTG-codes (College Tarieven Gezondheidszorg). Er worden geen gegevens verzameld over leeftijd en geslacht van de patiënten en ook niet over de indicatie of het ziektebeeld. Ook is niet bekend welk deel van de onderzoeken bij dezelfde patiënt plaatsvindt. Als een patiënt een bepaalde aandoening heeft (bijvoorbeeld kanker of aangeboren afwijkingen), is het aannemelijk dat deze patiënt meermalen (per jaar) een CT-verrichting ondergaat.

Op grond van deze constateringën is de rest van het onderzoek beperkt gebleven tot het onderzoeken van mogelijke verklaringen voor de stijging in de tijd van het aantal CT-verrichtingen in het algemeen en van CT-abdomen, CT-thorax en CT-hoofd in het bijzonder.

3 Verklaringen voor trends en mogelijkheden voor sturing

3.1 Inleiding

De vraag is welke processen de stijging van het aantal verrichtingen zouden kunnen verklaren. Om structuur in de mogelijk onderliggende oorzaken aan te brengen, is allereerst een scheiding aangebracht in enerzijds (veranderingen in) het *aanbod* van de mogelijkheden tot het uitvoeren van CT-verrichtingen en anderzijds (veranderingen in) de *vraag* naar het uitvoeren van CT-verrichtingen.

Het aanbod hangt af van de totale beschikbare capaciteit aan CT-scanners, of het gebruik van de scanners is geoptimaliseerd (de benuttingsgraad van de beschikbare capaciteit) en of de aangeboden CT-verrichtingen door alternatieve beeldvormende technieken, zoals MRI- en echo-onderzoek, zouden kunnen worden vervangen.

De 'vraag' hangt af van het aanbod aan patiënten die een ziektebeeld hebben waarbij een CT-indicatie wordt gegeven en die baat (kunnen) hebben bij de voordelen van CT (snelheid, beeldkwaliteit, diagnosemogelijkheden). Hierin kunnen de bevolkingsgroei en de vergrijzing en mogelijk ook (verandering in) de verwijzpraktijk een rol spelen.

3.2 Literatuur over trends

Er is een beperkt literatuuronderzoek uitgevoerd met behulp van de zoekmachines Pubmed, Scopus en Google Scholar en de zoekwoorden 'CT examinations', 'time trends' en 'explanation'. De gevonden publicaties zijn meestal beschrijvend van karakter waarbij geen analyse is opgenomen. De conclusie uit een van de publicaties over de veranderingen in CT gebruik bij de spoedeisende hulp in voornamelijk de Verenigde Staten [3, 4, 5, 6, 7], luidt: *'The number of CT scans per trauma patient has more than doubled over 6 years, generating more radiation exposure and charges per patient, despite no change in mortality or injury severity'* [3]. Hierbij wordt duidelijk dat er meer gebruikgemaakt wordt van CT-onderzoek dan voorheen, maar dat zich geen veranderingen in de mortaliteit en de ernst van de verwondingen voordoen.

In [8] staat: *'There has been an exponential rise in the use of CT during the last 25 years, with similar trending of data from regions across the world. However, variability in levels of utilization and patterns of practice in both adult and pediatric populations can be identified. Multiple technical, health care, regulatory and cultural factors are shaping our use of this modality.'* Hier worden een aantal factoren aangegeven die de groei in CT-scans beïnvloed hebben.

In [9] wordt vermeld: *'The increase in imaging use over this period was likely driven by many factors, including improvements in the technology that have led to expansion of clinical applications, patient- and physician-generated demand, defensive medical practices, and medical uncertainty, all factors that would be expected to influence utilization across all systems of medical care.'* Hier wordt gesuggereerd dat de stijging niet specifiek is toe te wijzen aan een bepaalde factor.

'Among practitioners of defensive medicine who detailed their most recent defensive act, 43% reported using imaging technology in clinically unnecessary circumstances. Avoidance of procedures and patients that were

perceived to elevate the probability of litigation was also widespread.' wordt vermeld in [10]. Dit is een weergave van de gang van zaken in de Verenigde Staten en zal wellicht niet meteen van toepassing zijn voor de Nederlandse situatie. Wel geeft het aan dat artsen de mogelijkheid van juridische consequenties meewegen bij het aanvragen van diagnostiek.

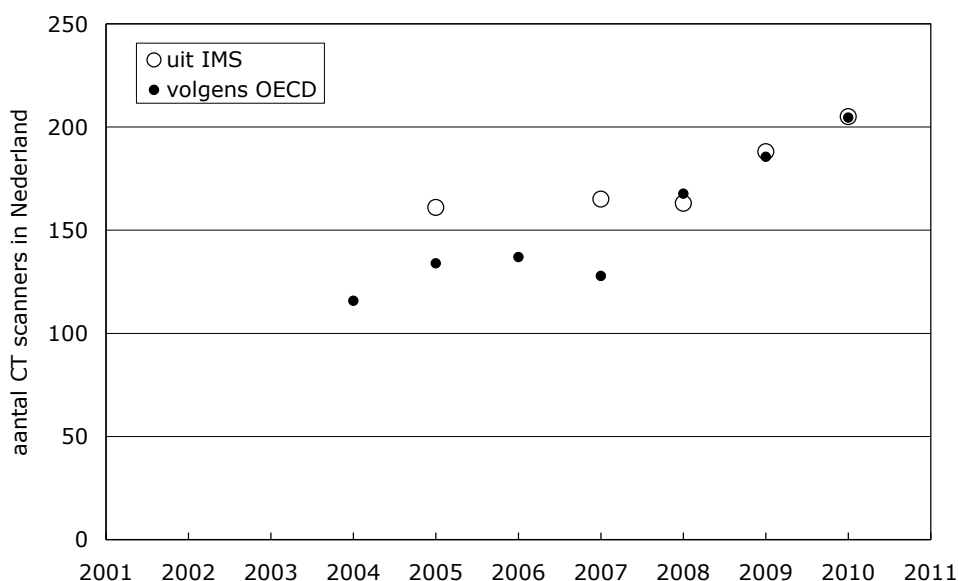
3.3 Het aanbod: de totale beschikbare capaciteit

3.3.1 Ontwikkelingen in CT

Rond 1990 is het aantal CT-verrichtingen gestaag toegenomen, met name door de introductie van CT-scanners in alle ziekenhuizen. Midden jaren '90 was het aantal redelijk stabiel. Vanaf 2001 is er een duidelijke stijging van het aantal CT-verrichtingen te zien. Waarschijnlijk spelen hierbij zowel de toenemende mogelijkheden van CT-scanners als het feit dat ziekenhuizen steeds vaker in het bezit zijn van meer dan één CT-scanner een rol [1].

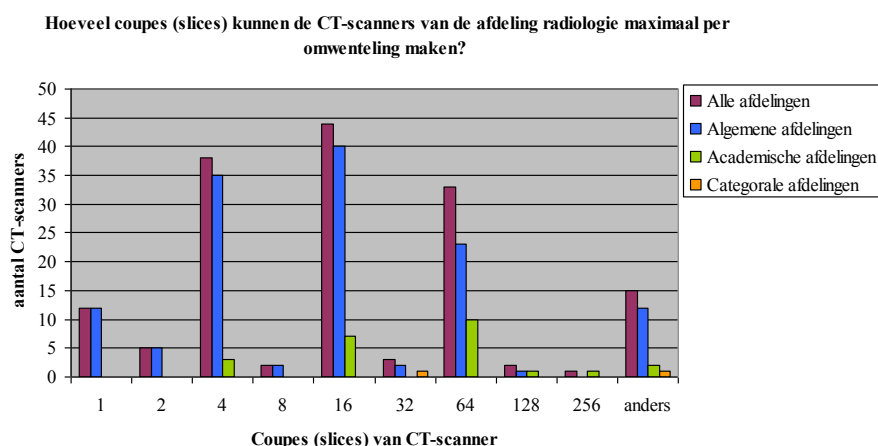
In de jaren '90 zijn in de ziekenhuizen in Nederland in snel tempo CT-scanners geplaatst. De CT-scanners die toen al in gebruik waren, stonden voornamelijk in de academische ziekenhuizen en de grotere algemene ziekenhuizen. De capaciteit van de CT-scanners werd volledig gebruikt. Eind jaren '90 had vrijwel ieder ziekenhuis een eigen CT-scanner. Hierna is de technische ontwikkeling van de CT-apparatuur en de mogelijkheden voor het gebruik van CT verder toegenomen. In 2000 stonden er in de academische ziekenhuizen 23 CT-scanners en in 2010 waren dat er 40 [1]. Voor de algemene ziekenhuizen is het aantal CT-scanners voor 2010 geschat op 143. Het totaal aantal CT-scanners is in 2010 geschat op 205 voor alle instellingen samen.

Gegevens over de trend in het aantal scanners in het IMS is beperkt tot de periode 2005 - 2010: zie Figuur 7. Over 2008 - 2010 heeft het RIVM deze gegevens ook aan de OECD verstrekt. De gegevens van de OECD blijken vóór die tijd niet met de IMS-gegevens overeen te stemmen. In Nederland geldt dat het totaal aantal scanners sinds 2008 opnieuw groeit, na een aantal jaren waarin het stabiel was.



Figuur 7 Aantal CT-scanners over de jaren

De mogelijkheden van CT-scanners zijn met de komst van multislice-scanners toegenomen [11, 12, 13]. De technische ontwikkelingen, zoals de snellere verwerking van beelden, zorgen ervoor dat nieuwe soorten diagnostiek mogelijk zijn geworden [14]. Een voorbeeld hiervan is de introductie van onderzoeken van het hart op de CT-scanners. Met de komst van de multislice-scanners ontstonden er mogelijkheden tot het maken van scans van het hart die met de voormalige, langzamere scanners niet (goed) mogelijk waren, omdat dat leidde tot bewogen afbeeldingen.



Figuur 8 Verdeling CT-scanners naar coupes (slices) (Bron: [15])

In Figuur 8 is het aantal coupes van de in 2007 beschikbare CT-scanners weergegeven. Naar de soort CT-scanner (single-, dual- of multislice-scanner) wordt bij het verzamelen van gegevens voor het IMS normaliter niet gevraagd, maar deze gegevens zijn (eenmalig) bij de ziekenhuizen opgevraagd door te vragen hoeveel coupes (slices) de CT-scanners van de afdeling radiologie maximaal per omwenteling kunnen maken. Dit laat zien dat de meerderheid van de instellingen beschikt over een multislice-scanner, met een voorkeur voor 4, 16 en 64 coupes.

De vraag die nu voorligt, is welke processen ten grondslag liggen aan de groei van het aantal CT-scanners met bijna 30% over de periode 2008 - 2010.

Er bestaan geen kwantitatieve gegevens over de overwegingen die instellingen maken bij het aanschaffen van nieuwe scanners. De volgende oorzaken dragen vermoedelijk positief (+) of negatief (-) bij aan de stijging van het aantal scanners:

- + het beschikken over onvoldoende capaciteit (meer vraag dan aanbod) wat zou moeten samenhangen met de *wachttijden* voor een CT-onderzoek;
- + een toename van het aanbod van patiënten met een indicatie voor een CT-onderzoek, mede omdat de diagnostische mogelijkheden van CT steeds groter worden;
- +/- persoonlijke voorkeur van betrokken radiologen voor bepaalde typen verrichtingen;
- het beschikken over voldoende capaciteit van *alternatieven* met vergelijkbare diagnostische kwaliteit, zoals MRI- en echo-onderzoek
- het optimale *gebruik van de beschikbare capaciteit*;
- steeds grotere snelheid van uitvoeren van een CT-onderzoek, waardoor per tijdseenheid meer verrichtingen kunnen worden uitgevoerd;
- een streven om de toenemende zorgkosten terug te dringen.

Door het ontbreken van een model dat deze processen kwantitatief beschrijft en de bijbehorende gegevens, is het niet mogelijk om met de huidige gegevens hierover een kwantitatieve uitspraak te doen.

3.3.2 Wachttijden voor CT-onderzoek

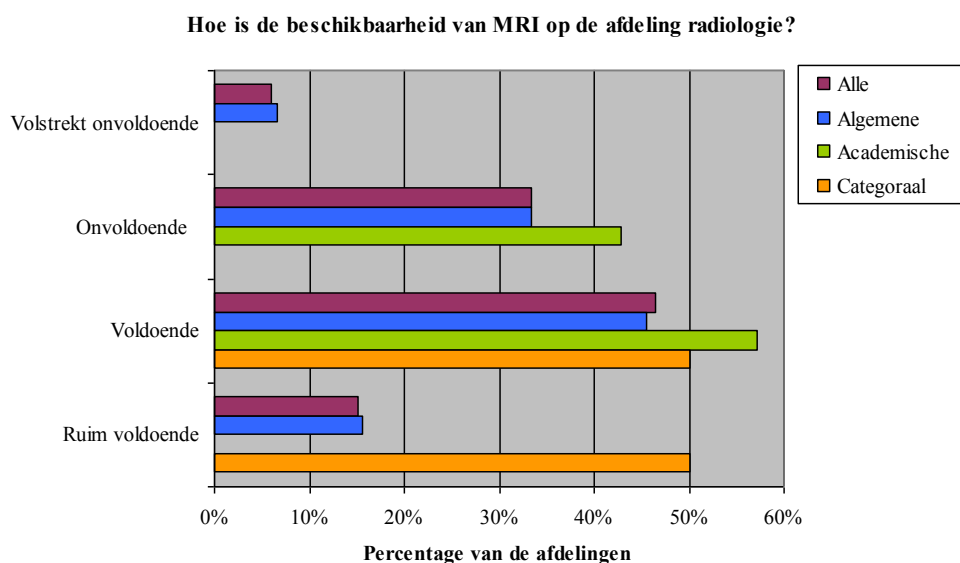
De geregistreerde wachttijd voor een onderzoek kan als indicator dienen voor de beschikbaarheid van de apparatuur. Een lange wachttijd voor een specifiek onderzoek kan erop duiden dat er te weinig apparatuur beschikbaar is. Het kan echter ook op andere oorzaken duiden, zoals een tekort aan personeel.

Om de wachttijd voor CT-onderzoek te kwantificeren, is een steekproef genomen van de wachttijd voor CT-onderzoek zoals die voor de diverse typen instellingen op kiesbeter.nl (www.kiesbeter.nl) wordt weergegeven. Er is een selectie gemaakt van instellingen op basis van het jaarlijkse totaal aantal uitgevoerde CT-verrichtingen. Op basis van deze aantallen zijn de volgende instellingen geselecteerd: de vier instellingen met de minste CT-verrichtingen per jaar, de vier instellingen met een gemiddeld aantal CT-verrichtingen en de vier instellingen met de meeste CT-verrichtingen per jaar, waarvan twee academische en twee topklinische instellingen.

Uit de gegevens op kiesbeter.nl zijn medio oktober 2012 de volgende wachttijden voor CT-onderzoek gevonden: Bij de acht instellingen met de minste en met een gemiddeld aantal CT-verrichtingen was de wachttijd één tot twee weken. Bij de instellingen met de meeste CT-verrichtingen was de wachttijd één week bij drie instellingen en vier weken bij één instelling. Deze niet al te lange, maar ook niet heel korte wachttijden geven de indruk dat de CT-scanners volop in gebruik zijn en dat de capaciteit redelijk op de vraag is afgestemd.

3.3.3 Beschikbaarheid alternatieven

Mogelijke alternatieven voor een CT-onderzoek zijn onder meer MRI- en echo-onderzoek. Over de beschikbaarheid van echografie is geen informatie gevonden. In het kader van een eerder onderzoek van het RIVM naar kwaliteitsaspecten op afdelingen radiologie [15] is gevraagd naar de inschatting van de afdeling radiologie over de beschikbaarheid van MRI op de afdeling.



Figuur 9 Beschikbaarheid MRI (bron: [15])

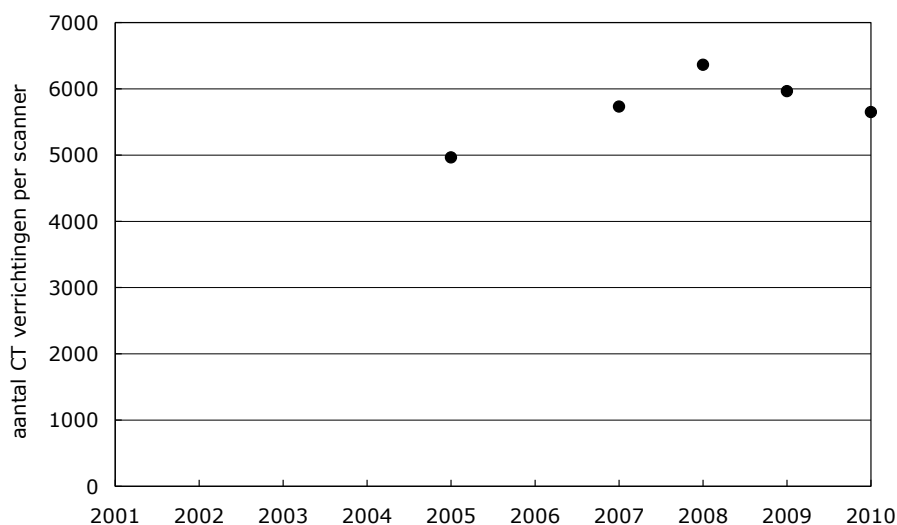
Figuur 9 laat zien dat 40% van alle afdelingen radiologie de beschikbaarheid van MRI inschatten als volstrekt onvoldoende of onvoldoende. Dit kan erop duiden dat er meer vraag is naar het uitvoeren van MRI-onderzoek dan er onderzoekstijd beschikbaar is. Deze grotere vraag zou kunnen leiden tot het uitvoeren van onderzoeken op de CT-scanner, omdat het niet mogelijk is de MRI-scanner te gebruiken.

3.3.4 *Gebruik van de beschikbare capaciteit*

Door de ontwikkelingen van de apparatuur is de gemiddelde onderzoekstijd per patiënt voor een CT-onderzoek afgenomen [13]. Om met de huidige scanners de capaciteit optimaal te benutten, is de organisatie rondom de uitvoering van de onderzoeken nog belangrijker geworden. Omdat bij gebruik van de huidige CT-scanners veel vaker van contrastmiddelen gebruik wordt gemaakt, is ook de organisatie hiervan van belang [13].

Als er gekeken wordt naar het gebruik van de totale capaciteit van de CT-scanner is het ook van belang of de scanner alleen optimaal gebruikt wordt op werkdagen tijdens kantooruren of dat deze ook inzetbaar is in de avonduren en in het weekend. De CT-scanner is in ziekenhuizen in de avonduren en het weekend vaak alleen beschikbaar voor intern opgenomen patiënten en spoedgevallen. Een nieuwe ontwikkeling lijkt het steeds meer gebruiken van de capaciteit in de avonduren en het weekend. Deze ontwikkeling is vooral zichtbaar bij de Diagnostische Centra (zie bijvoorbeeld www.diagnostiekvoorur.nl/onderzoeken/beeldvormende_onderzoeken/rntgenfotos.php; www.diagnostiekvoorur.nl/contact/hoofdlocaties/eindhoven.php (avonden); en www.sintlucasandreasziekenhuis.nl/smartsite.dws?id=RADIOLOGIE) die zich willen onderscheiden in klantgerichtheid. Hierbij is het wel van belang dat er op dat moment gekwalificeerd personeel aanwezig is. Het is bekend dat afdelingen radiologie voor de voorbereiding van de patiënten die contrastvloeistof krijgen toegediend een aparte ruimte en apart personeel beschikbaar hebben. Dit verhoogt het aantal verrichtingen dat met de CT-scanner kan worden gehaald, omdat de laboranten geen infusen meer hoeven in te brengen, terwijl de patiënt op de CT-scanner ligt.

Het aantal onderzoeken per CT-scanner ligt voor de jaren 2005 tot en met 2010 tussen de 5000 en 6200 (zie Figuur 10; berekend uit de gegevens in Figuur 4 en Figuur 7). Uit een IAEA (International Atomic Energy Agency) rapport uit 2010 [16] blijkt dat de jaarlijks haalbare productie van het aantal CT-verrichtingen per scanner 5000 bedraagt. In Nederland wordt dit aantal dus ruimschoots gehaald.



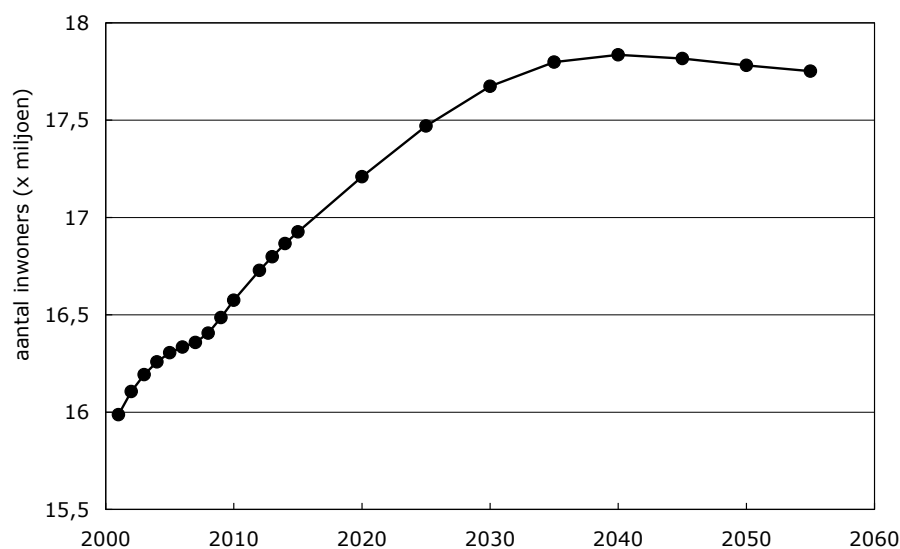
Figuur 10 Aantal CT-verrichtingen per scanner

3.4 De vraag: het aantal onderzoeken

De stijging van het aantal uitgevoerde onderzoeken hangt onder andere af van de groei van het totaal aantal inwoners en de leeftijd van deze inwoners. Door meer inwoners (bevolkingsgroei) zal de vraag naar medische beeldvormende diagnostiek en dus ook naar CT-onderzoeken stijgen. Verschuivingen in de samenstelling van de bevolking van jongere naar oudere leeftijdsklassen (vergrijzing) zullen meer CT-onderzoeken tot gevolg hebben. Dit laatste omdat de meeste CT-verrichtingen bij ouderen plaatsvinden [17].

3.4.1 Bevolkingsgroei en vergrijzing

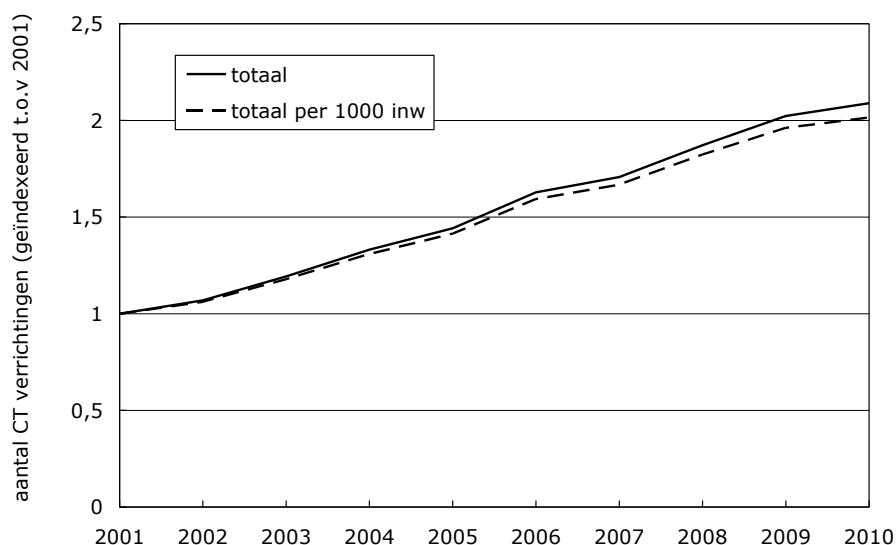
De Nederlandse bevolking zal over de periode 2013 - 2050 groeien zoals in Figuur 11 is weergegeven.



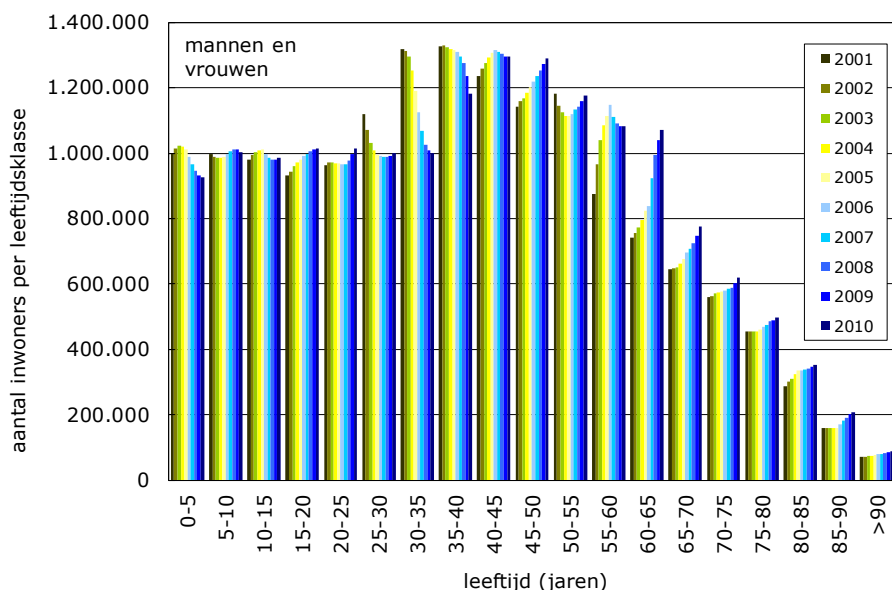
Figuur 11 Bevolkingsgroei (deels prognose) (bron: CBS-StatLine (bevolking+prognose, geraadpleegd vóór 13 december 2012))

Het aantal uitgevoerde CT-verrichtingen is weergegeven in Figuur 12, geïndexeerd op het aantal onderzoeken in 2001. Uit het figuur wordt duidelijk dat het aantal onderzoeken gecorrigeerd voor de bevolkingsgroei (per 1000 inwoners) een klein verschil toont met het totaal. De bevolkingsgroei lijkt dus nauwelijks invloed te hebben op de stijging van het totaal aantal onderzoeken.

De groei van de totale bevolking is niet evenredig over alle leeftijdsklassen. In Figuur 13 is per leeftijdsklasse het aantal inwoners voor verschillende jaren in de periode 2001-2010 weergegeven. Dit laat zien dat voor de leeftijdsklassen boven 60 jaar de populatie groeit, terwijl bijvoorbeeld de leeftijdsklasse 30 tot 35 jaar een krimp laat zien. Deze gegevens zijn ook beschikbaar voor mannen en vrouwen apart.

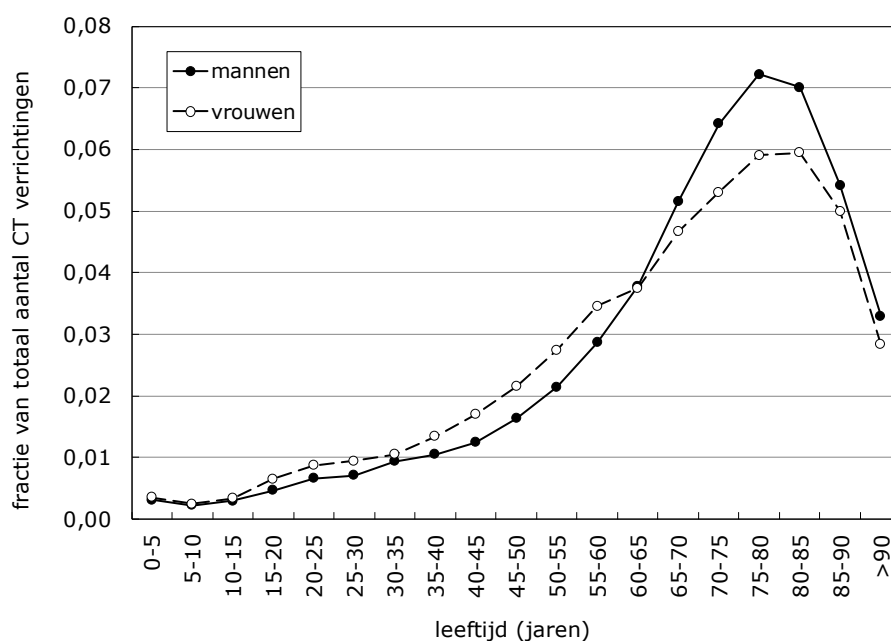


Figuur 12 Aantal CT-verrichtingen, totaal en totaal per 1000 inwoners



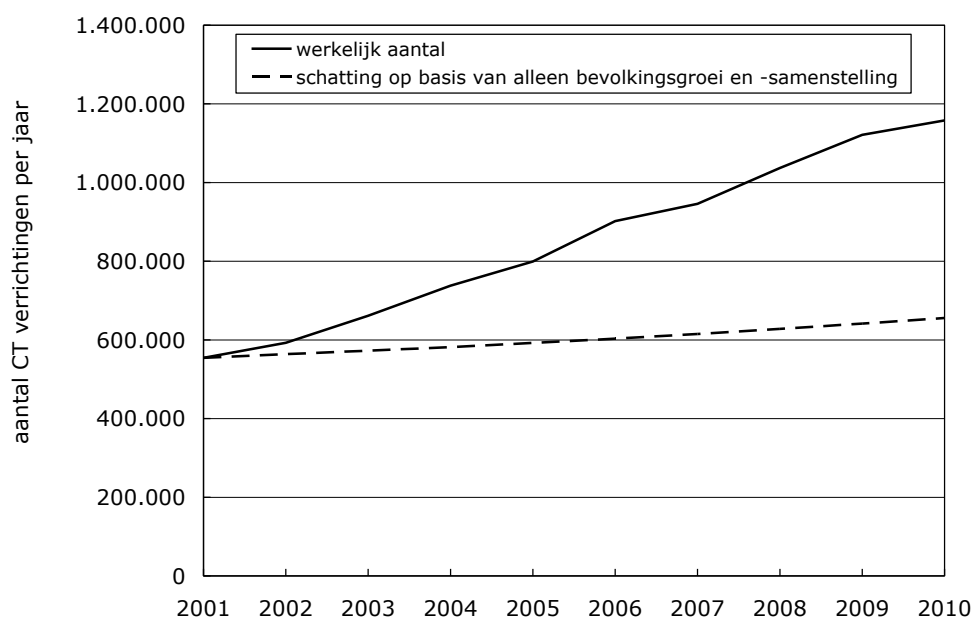
Figuur 13 Aantal inwoners per leeftijdsklasse in de periode 2001-2010 (bron: CBS-StatLine (bevolking+geslacht+leeftijd))

In een RIVM-rapport uit 2002 [18] is beschreven hoe voor het jaar 2000 de verdeling is bepaald van het aantal CT-verrichtingen over het type verrichting en over de combinatie geslacht/leeftijdsklasse. Het RIVM heeft toen van ziektekostenverzekeraars declaratiegegevens over 2000 verkregen van ongeveer vier miljoen verzekerden. Deze gegevens geven inzicht in het verband tussen verschillende verrichtingen en de leeftijds- en geslachtsverdeling van de betrokken patiënten. Deze verdeling was voor zowel mannen als vrouwen per type verrichting genormeerd (som van alle fracties is één voor alle mannen en één voor alle vrouwen). Met behulp van gegevens uit het DoseDataMed 2 project [17] over de verdeling tussen mannen en vrouwen per type verrichting is deze verdeling omgewerkt tot de verdeling in Figuur 14 waarin de som van alle fracties één is voor mannen en vrouwen samen. Deze verdeling is ook beschikbaar voor elk van de typen verrichtingen in Figuur 6 apart (CT-abdomen, CT-thorax, CT-hoofd en CT-rest).



Figuur 14 Verdeling totaal aantal CT-verrichtingen over leeftijdsklassen

Vervolgens is aangenomen dat de verdeling van het aantal verrichtingen over de diverse typen verrichtingen en leeftijdsklassen niet wezenlijk is veranderd in de loop van de periode 2001-2010. Tot slot is, uitgaande van het aantal verrichtingen in 2001 met behulp van de bevolkingsgegevens, het aantal verrichtingen per type verrichting, geslacht en leeftijdscategorie in de jaren na 2000 gereconstrueerd: zie Figuur 15. De vergelijking van de trend in het werkelijk opgetreden totale aantal verrichtingen met de gereconstrueerde trend leert hoe groot de invloed van de bevolkingsgroei en de vergrijzing op de trend is. De stijging van het werkelijk aantal uitgevoerde onderzoeken uit cijfers van het IMS [1] blijkt veel groter te zijn dan op basis van de bevolkingsgroei en de vergrijzing verwacht zou kunnen worden.



Figuur 15 Aantal CT-verrichtingen werkelijk en geschat op basis van de groei van de bevolking sinds 2001 en de veranderingen in de samenstelling over de leeftijdsklassen

3.4.2 Indicaties voor CT-onderzoek

De vraag naar CT-onderzoek is afhankelijk van de geldende richtlijnen. Binnen de specialismen worden voor verschillende aandoeningen diagnostiek- en behandelplannen opgesteld. Deze behandelplannen worden dan gebruikt als een soort veldstandaard. Als daarin is opgenomen dat een bepaalde diagnostiek het beste met CT verricht kan worden, dan zal een groot deel van de patiënten met dat betreffende ziektebeeld ook daadwerkelijk een CT-onderzoek krijgen. Deze behandelplannen zijn onderhevig aan wijzigingen en verbeteringen, mede door wetenschappelijk onderzoek en de hieruit voortkomende conclusies.

In Tekstbox 1 is een voorbeeld gegeven van een landelijke richtlijn. Hierin worden de opties voor diagnostiek beschreven en ook de rol van CT-onderzoek hierin.

*Tekstbox 1 Voorbeeld richtlijn coloncarcinoom*Preoperatieve diagnostiek coloncarcinoom

Zodra een patiënt is doorverwezen in verband met klachten die passen bij coloncarcinoom (zoals bloedverlies per anum, ijzergebreks-anemie, veranderd defecatiepatroon met alarmsymptomen, of palpabele verdachte afwijking) is nadere diagnostiek gewenst voor het aantonen of uitsluiten van een carcinoom en eventuele afstandsmetastasen (lever en long). In dit hoofdstuk over de diagnostiek wordt onderscheid gemaakt tussen het aantonen van een primaire tumor en het vaststellen van de regionale stadiëring. De diagnostiek met betrekking tot afstandsmetastasen wordt behandeld in de recent verschenen richtlijn 'Colorectale levermetastasen' en wordt, behoudens een korte beschrijving hieronder verder niet nader behandeld. Screening en surveillance voor colorectaal carcinoom valt buiten deze richtlijn.

De richtlijn Diagnostiek en behandeling colorectale levermetastasen geeft op het gebied van de preoperatieve diagnostiek van het coloncarcinoom de volgende aanbevelingen:

- Er is een tendens om, ten tijde van de diagnostiek en behandeling van de primaire colorectale tumor, echografische diagnostiek van de lever te vervangen door CT-scan of MRI, teneinde een gedetailleerde uitgangssituatie te creëren voor de verdere follow-up. Derhalve wordt er geadviseerd om voor een goede uitgangssituatie een spiraal-CT of MRI van de lever te verrichten. Dit heeft enerzijds tot doel leverlaesies te detecteren en te karakteriseren (goedaardige vs. metastasen) en anderzijds het aanvullend beleid te bepalen, namelijk het wel of niet starten van adjuvante chemotherapie. Bij twijfel over de aanwezigheid of de aard van leverlaesies dient het onderzoek na drie maanden te worden herhaald.
- Voor de beoordeling van de extrahepatische afwijkingen wordt geadviseerd voor het aantonen van longhaarden de beeldvormende diagnostiek te beperken tot een X-thorax, gezien de lage prevalentie van longmetastasen en het ontbreken van evidence van de meerwaarde van CT-thorax.

Diagnostische technieken omvatten endoscopie en beeldvormende technieken, zoals colon röntgenfoto met bariumcontrast middel (X-Colon). Recente ontwikkeling op het gebied van afbeelding van coloncarcinomen is de 'virtuele colonoscopie', waarbij de darmen driedimensionaal in beeld gebracht kunnen worden. Virtuele colonoscopie kan gebaseerd zijn op zowel CT-scan (CT-colografie) als MRI (MR-colografie). Voor regionale staging zijn CT-scan, MRI en PET (CT) diagnostische modaliteiten.

De bevindingen hebben betrekking op patiënten die in verband met klachten zijn verwezen naar een specialist en niet op patiënten met afwijkende bevindingen bij screeningsonderzoek.

Bron: www.oncoline.nl/index.php?pagina=/richtlijn/item/pagina.php&richtlijn_id=562

Datum Goedkeuring: 2008-01-09, Versie: 2.0, Verantwoording: Landelijke werkgroep Gastro Intestinale Tumoren, Type: Landelijke richtlijn

In principe is het mogelijk om alle oude en nieuwe richtlijnen door te nemen en na te gaan hoe de aanbevolen radiodiagnostiek over de jaren is veranderd. In de praktijk is dit echter ondoenlijk door de veelheid aan behandelplannen (die ook per instelling kunnen verschillen). Het is dus niet mogelijk om de invloed van veranderende indicaties en bijbehorende behandelplannen op de toenemende CT-diagnostiek te kwantificeren. Kwalitatief gezien is het aannemelijk dat er met de toegenomen mogelijkheden van CT ook meer CT-onderzoek in de behandelplannen voorkomt.

3.5 Andere processen die mogelijk een rol spelen

Naast de hiervoor beschreven processen zijn er nog enkele andere processen te bedenken die mogelijk een rol spelen in de vraag naar CT-onderzoek. Zo is het mogelijk dat recent opgeleid, nieuw personeel meer affiniteit heeft met relatief nieuwe modaliteiten en eerder besluit om CT-onderzoek te laten uitvoeren, waar men vroeger wellicht een röntgenfoto afdoende vond. Daarnaast kan ook de toegenomen mondigheid (en geïnformeerdeheid) van patiënten een rol spelen. Het is niet uit te sluiten dat artsen daardoor ook eerder geneigd zijn om extra onderzoek te laten verrichten. Hier kunnen ook juridische aspecten meespelen (zie ook Paragraaf 3.2): extra onderzoek zou gedaan kunnen worden om niet van nalatigheid te kunnen worden beticht. Tot slot kan er ook sprake zijn van enige *technology push*: als de apparatuur eenmaal is aangeschaft, dan moet deze natuurlijk ook goed gebruikt worden en wellicht wat meer dan strikt genomen noodzakelijk is.

De hierboven genoemde processen zijn lastig te kwantificeren. Er kunnen ook nog andere hier niet geïdentificeerde processen meespelen. Dit alles zorgt ervoor dat de vraag naar CT-onderzoek en de trend daarin moeilijk te kwantificeren zijn.

3.6 Mogelijkheden voor sturing door de overheid

Het RIVM houdt namens de Nederlandse overheid de (trend in de) medische stralingsbelasting van de Nederlandse bevolking bij. Hierdoor is duidelijk geworden dat deze belasting aan het toenemen is. Hoewel de inzet van radiodiagnostiek tot aanzienlijke gezondheidswinst leidt, is die toename gezien de nadelige gezondheidseffecten van ioniserende straling geen gunstige ontwikkeling.

Uit de huidige analyse is niet duidelijk geworden wat de belangrijkste bijdragen aan de toenemende trend zijn en het zal moeilijk zijn alle bijdragen te kwantificeren. De Nederlandse overheid zou wel kwalitatief onderzoek naar deze bijdragen kunnen faciliteren (zie ook Hoofdstuk 4) om meer inzicht te krijgen in de problematiek en mogelijke oplossingsrichtingen. Naast zo'n analyse is het zaak om mogelijkheden te verkennen om de stralingsbelasting ten gevolge van CT-scans te verlagen. Dat kan bijvoorbeeld door meer onderzoek te faciliteren naar alternatieven voor CT-onderzoek of naar mogelijkheden voor dosisreductie bij CT-verrichtingen. Ook kan het nuttig zijn om te investeren in een betere bewustwording van de kosten van (herhaald) CT-onderzoek en de risico's van blootstelling aan ioniserende straling. Bij dat laatste zou wellicht een 'stralingspaspoort' een handig hulpmiddel kunnen zijn. Zo'n paspoort zou direct duidelijk kunnen maken hoeveel scans en foto's een patiënt al heeft ondergaan en wat zijn totale medische stralingsbelasting is geweest. Zo'n paspoort heeft echter aanzienlijke financiële en logistieke consequenties die hier niet onderzocht zijn.

4 Discussie en conclusies

4.1 Discussie

Voor de analyse in dit rapport is nagegaan welke processen aan de aanbod- en vraagkant van CT-onderzoek een rol spelen in de toename van het aantal CT-onderzoeken. Daarnaast is getracht die processen waar mogelijk te kwantificeren.

Aan de aanbodkant is dat ten dele gelukt: de groei van het aantal scanners is in beeld gebracht en de redelijk korte wachttijd en de volledige benutting geven aan dat er goed gebruik van wordt gemaakt. De kwantitatieve bijdrage van de toegenomen mogelijkheden van CT-scanners is onduidelijk. Aan de vraagkant is duidelijk geworden dat de bevolkingsgroei en de vergrijzing slechts een kleine bijdrage leveren aan de toegenomen vraag. Andere factoren die van invloed kunnen zijn (geweest) op het aantal CT-onderzoeken zijn: veranderingen in richtlijnen met diagnostiek en behandelplannen, meer aandacht voor CT in de beroepsopleidingen, toegenomen mondigheid van patiënten, angst voor juridische consequenties en *technology push*. Deze invloeden zijn moeilijk te kwantificeren. Dat maakt een verklaring voor de toegenomen vraag al snel speculatief.

Omdat de toegenomen vraag naar CT-onderzoek niet goed te kwantificeren lijkt, verdient kwalitatief onderzoek de aanbeveling. Te denken valt aan bijvoorbeeld *expert elicitation*: men zou deskundigen uit de praktijk of beroepsgroepen kunnen vragen naar wat zij denken dat mogelijke oorzaken van de toenemende trend zijn en hen daarover laten discussiëren. Voor een groter draagvlak zou ook een enquête hierover kunnen worden gehouden onder een significant aantal instellingen.

4.2 Conclusies

De medische stralingsbelasting ten gevolge van radiodiagnostiek neemt in Nederland jaarlijks met 0,045 mSv toe. Bijna de helft van deze stralingsbelasting wordt veroorzaakt door CT-onderzoek. Bij de analyse van deze toenemende trend is daarom alleen aandacht aan CT-verrichtingen besteed. Daarbij is gekeken naar factoren die de *vraag* naar dit type onderzoek beïnvloeden en factoren die het *aanbod* beïnvloeden. Aan de aanbodkant is duidelijk geworden dat met name de groei van het aantal scanners (en in mindere mate de afgenomen scanduur) van invloed is geweest. Aan de vraagkant is het lastiger om de belangrijkste oorzaken aan te wijzen, omdat de factoren die daar een rol spelen moeilijker te kwantificeren zijn. Wel is duidelijk geworden dat de bevolkingsgroei en de vergrijzing slechts een marginale rol spelen. Andere factoren die van invloed kunnen zijn (geweest) op het aantal CT-onderzoeken zijn: veranderingen in richtlijnen met diagnostiek en behandelplannen, meer aandacht voor CT in de beroepsopleidingen, toegenomen mondigheid van patiënten, angst voor juridische consequenties en *technology push*. Deze invloeden zijn moeilijk te kwantificeren. Het verdient daarom aanbeveling om deze factoren te rangschikken met behulp van kwalitatief onderzoek bijvoorbeeld door middel van *expert elicitation*. Daarnaast dient onderzoek naar alternatieven voor CT of dosisreductie gestimuleerd te worden. Tevens kan een betere bewustwording van de kosten en de risico's van (herhaald) CT-onderzoek een bijdrage leveren. Hierbij moeten natuurlijk niet de baten van dit type onderzoek uit het oog verloren worden.

Referenties

- 1 Waard de-Schalkx, I.R. Medische Stalingstoepassingen. Gegevens 2010. RIVM briefrapport 610001001/2012.
- 2 Geleijns, K., Teeuwisse, W., Veldkamp, W. Demonstratieproject patiëntendosimetrie radiologie. Eindverslag ZonMw project; september 2004.
- 3 Ahmadinia, K., Smucker, J.B., Nash, C.L., Vallier, H.A. Radiation exposure has increased in trauma patients over time. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 2012; 72 (2) 410-415.
- 4 Raja, A.S., Morteale, K.J., Hanson, R., Sodickson, A.D., Zane, R., Khorasani, R. Abdominal imaging utilization in the emergency department: Trends over two decades. *Int J of Emergency Medicine*, 2011; 4(1), art. no. 19.
- 5 Kocher, K.E., Meurer, W.J., Fazel, R., Scott, P.A., Krumholz, H.M., Nallamothu, B.K. National trends in use of computed tomography in the emergency department. *Annals of Emergency Medicine* 2011; 58(5) 452-462.e3.
- 6 Rao, V.M., Levin, D.C., Parker, L., Frangos, A.J., Sunshine, J.H. Trends in utilization rates of the various imaging modalities in emergency departments: Nationwide Medicare data from 2000 to 2008. *JACR Journal of the American College of Radiology*, 2011; 8(10) 706-709.
- 7 Larson, D.B., Johnson, L.W., Schnell, B.M., Salisbury, S.R., Forman, H.P. National trends in CT use in the emergency department: 1995-2007. *Radiology*, 2011; 258(1)164-173.
- 8 Thomas, K.E. CT utilization--trends and developments beyond the United States' borders. *Pediatric radiology*; 2011; 41 Suppl 2 , pp. 562-566.
- 9 Smith, R., Migliorette, D.L., Johnson, M.S., Lee, C. et al. Use of Diagnostic Imaging Studies and Associated Radiation Exposure for Patients enrolled in Large Integrated Health Care Systems, 1996-2010. *JAMA* 2012;307(22):2400-2409.
- 10 Studdert, D. M., M. M. Mello, et al. (2005). "Defensive medicine among high-risk specialist physicians in a volatile malpractice environment." *JAMA* 293(21): 2609-2617.
- 11 Sablayrolles, J.L. Present and future trends in MDCT applications: Introduction. *Eur Radiol* 2002;12 (Suppl 2):s1-s3.
- 12 Sablayrolles, J.L., Al Attar, N., Nataf, P. New trends in non-invasive coronary angiography with multislice CT. *Surgical technology international* 13:205-213, 2004.
- 13 Bijwaard, H., Stoop, P. Ontwikkelingen in de Computer Tomografie. Gevolgen voor de patiëntveiligheid. RIVM rapport 265021004, 2006.
- 14 Mackinnon, A.D., Billington, R.A., Adam, E.J., Dundas, D.D., Patel, U. Picture archiving and communication systems lead to sustained improvements in reporting times and productivity: results of a 5-year audit. *Clin Radiol*. 2008 Jul;63(7):796-804.
- 15 Waard de-Schalkx, I.R. en Stoop, P. Resultaten enquête kwaliteitsaspecten afdelingen radiologie. RIVM Rapport 300080004/2010.
- 16 IAEA. Planning a Clinical PET Centre. Human Health Series no 11. IAEA, Vienna, 2010.
- 17 European Commission. Radiation Protection No 154; European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures.

- 18 Meeuwsen EJ en Brugmans MJP. Gegevens over medische stralings-toepassingen: van ziekenhuisenquêtes tot zorgverzekeraars. RIVM rapport 610059009/2002.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl