

to increase care in the community, to better educate the public, to improve national policies, programmes and legislation, to further develop human resources (currently an enormous problem, hindering provision of minimal care for chronically hospitalised patients) and to link mental health more effectively with other sectors in the community (to overcome the vast numbers of people on disability benefit because of psychiatric disorders).

#### LITERATUUR

- 1 World Health Organization (WHO). The World Health Report: 2001: mental health: new understanding, new hope. Genève: WHO; 2001.
- 2 Wijngaarden B van, Bransen MEM, Wennink HJ. Een keten van lege zondagen; tekorten in de zorg voor langdurig zorgafhankelijke patiënten in het APZ vergeleken met een standaard. Utrecht: GGZ Nederland; 2001.

Aanvaard op 5 december 2001

### Capita selecta

## Zwangerschap en straling; samenvatting en conclusies van Publicatie 84 van de International Commission on Radiological Protection

H.B.KAL EN H.STRUIKMANS

Iedereen wordt aan ioniserende straling blootgesteld; in Nederland is de achtergrondstraling gemiddeld 2 mSv/jaar. (1 sievert (Sv) is de eenheid van effectieve dosis; 1 gray (Gy) de eenheid van geabsorbeerde dosis.) Vele zwangere patiënten en radiologische werkers worden extra aan straling blootgesteld (door diagnostiek respectievelijk bij hun beroepsuitoefening). Gebrek aan kennis over de risico's van straling draagt bij aan een grote mate van ongerustheid en leidt mogelijk zelfs tot onnodige onderbreking van de zwangerschap. Een vraag of een zwangere patiënt met mammacarcinoom wel een mammasparende behandeling met nabestraling kon ondergaan en wat dan het stralingsrisico voor het ongeboren kind was, was voor ons aanleiding tot een bezinning over de risico's van straling tijdens de zwangerschap.

De International Commission on Radiological Protection (ICRP) heeft recent een publicatie over zwangerschap en straling uitgebracht.<sup>1</sup> In een rapport van de Europese Commissie komt dezelfde problematiek aan de orde ('Radiation protection 100. Guidance for protection of unborn children and infants irradiated due to parental medical exposures'. European Commission, 1998; <http://europa.eu.int/comm/environment/radprot/>).

Wij bespreken de globale inhoud, de conclusies en de aanbevelingen uit het ICRP-rapport.

#### BESTRALING VÓÓR DE CONCEPTIE

Een mogelijke relatie van erfelijke afwijkingen bij het nageslacht met blootstelling van de gonaden vóór de conceptie is niet gevonden bij nakomelingen van Japanse slachtoffers van de 2 atoombomexplosies op Hiroshima en Nagasaki in 1945. Deze relatie is ook niet aangetoond bij nakomelingen van personen die jeugdanker hebben gehad en daarvoor bestraald zijn, waarbij de gonaden ook een (vaak lage) dosis hebben opgelopen.

Universitair Medisch Centrum, afd. Radiotherapie, Heidelberglaan 100, 3584 CX Utrecht.

Dr.ir.H.B.Kal, radiobioloog; dr.H.Struikmans, radiotherapeut.

Correspondentieadres: dr.ir.H.B.Kal.

#### SAMENVATTING

– Prenatale blootstelling aan doses ioniserende straling zoals gebruikt bij de meeste diagnostische onderzoeken levert in het algemeen geen extra risico op boven het natuurlijk vóórkomen van prenatale dood, misvormingen of achterstand in de geestelijke ontwikkeling (deterministische effecten).

– Hogere doses straling die toegepast worden bij therapie kunnen tot foetale schade leiden. In het algemeen geldt dat misvormingen pas optreden boven een drempeldosis van 100-200 mGy. Deze doses komen bij de meeste goed uitgevoerde diagnostische verrichtingen niet voor.

– Gedurende de periode van 8-25 weken na conceptie is het centrale zenuwstelsel bijzonder gevoelig voor straling. Foetale doses hoger dan 100 mGy kunnen tot een afname van het IQ leiden.

– In de periode van 8-15 weken na conceptie is de IQ-reductie bij een dosis van 1000 mGy (1 Gy) circa 30 punten. In de periode van 16-25 weken is de reductie minder. De kans op ernstige mentale retardatie in de periode van 8-15 weken na conceptie is 40% bij een dosis van 1000 mGy, in de periode van 16-25 weken is deze kans lager en daarna praktisch nihil.

– Bij bestraling van een embryo/foetus is er een extra risico op tumorinductie (stochastisch effect). Het sterfterisico als gevolg van tumorinductie na bestraling in utero in de leeftijdscategorie van 0-15 jaar wordt geschat op 6% per Gy (0,06% per 10 mGy). Voor het gehele leven is dit risico circa 15% per Gy (0,15% per 10 mGy).

– Een mogelijke relatie van erfelijke afwijkingen in het nageslacht als gevolg van blootstelling van de gonaden vóór conceptie is tot dusver niet gevonden.

#### EFFECTEN VAN BESTRALING VAN DE ONGEBOREN VRUCHT

*Deterministische effecten.* Doses opgelopen tijdens de zwangerschap door diagnostische onderzoeken leveren in het algemeen geen extra risico op vergeleken met het normale risico op het natuurlijk vóórkomen van prenatale dood, misvormingen of achterstand in de geestelijke ontwikkeling ('deterministische effecten'). De hogere doses die gegeven worden bij therapie kunnen daar-entegen wél tot schade aan de ongeboren vrucht leiden.

Het risico op een stralinggeïnduceerde afwijking is het grootst gedurende de organogenese en de vroege foetale periode. Het is kleiner in het tweede trimester en het kleinst in het derde.

Blootstelling van de vrucht aan straling in de eerste 2 weken na conceptie kan leiden tot het mislukken van de innesteling of tot een niet te detecteren dood. Misvormingen zijn onwaarschijnlijk of zeer zeldzaam. Vanaf de 3e week na conceptie kunnen in de organen die zich op dat moment ontwikkelen misvormingen worden geïnduceerd. In het algemeen geldt dat misvormingen pas optreden boven een drempeldosis van 100-200 mGy. Deze doses komen bij normale diagnostische verrichtingen niet voor.

Gedurende de periode van 8-25 weken na conceptie is het centrale zenuwstelsel bijzonder gevoelig voor straling. Doses boven 100 mGy kunnen tot een verlaging van het intelligentiequotiënt (IQ) leiden. In de periode van 8-15 weken na conceptie kan een dosis van 1000 mGy tot een verlaging van 30 IQ-punten leiden (of bijvoorbeeld 15 punten bij 500 mGy). Doses van 1000 mGy of meer kunnen tot ernstige mentale retardatie leiden. Ook de gevoeligheid hiervoor is het grootst in de periode van 8-15 weken na conceptie. Het zenuwstelsel is minder gevoelig voor deze effecten in de periode van 16-25 weken na conceptie. Na deze periode is het zenuwstelsel praktisch ongevoelig voor straling.

De kans op ernstige mentale retardatie bij blootstelling in de periode 8-15 weken na conceptie is 40% bij een dosis van 1000 mGy. De natuurlijke frequentie van/kans op mentale retardatie, gedefinieerd als een IQ van minder dan 70, is circa 3%. Ernstige mentale retardatie, dat wil zeggen dat individuen niet in staat zijn voor zichzelf te zorgen, komt bij 0,5% van alle geboorten voor.

*Tumorinductie.* Straling kan leukemie en andere vormen van kanker veroorzaken. Bij bestraling van de ongeboren vrucht wordt aangenomen dat het risico op tumorinductie gelijk is aan dat bij kinderen die zijn bestraald met eenzelfde dosis. Het sterfterisico als gevolg van tumorinductie na bestraling in utero in de leeftijds-categorie van 0 tot 15 jaar wordt geschat op 6% per Gy (0,06% per 10 mGy).<sup>1 2</sup> Voor het gehele leven is dit risico circa 15% per Gy (0,15% per 10 mGy) (volgens het genoemde rapport van de Europese Commissie).

De spontane incidentie van jeugd-kanker en leukemie is ongeveer 2-3 per 1000 en het sterfterisico circa de helft hiervan.

#### DIAGNOSTISCH RADIOLOGISCH ONDERZOEK

Voor een aanstaande moeder die uit vrees voor straling een radiologisch onderzoek weigert, is in het algemeen het risico voor haar gezondheid door het niet kunnen stellen van een goede diagnose (en daarmee het niet kunnen instellen van adequate behandeling) groter dan het risico op eventuele schade aan de foetus bij wel doorgaan van het onderzoek. De meeste doses als gevolg van radiologische onderzoeken veroorzaken namelijk geen substantieel risico. Alleen wanneer de foetus in de directe stralingsbundel zou komen te liggen, moet de procedure aangepast worden om de dosis te verlagen.

*Voorbereiding.* Iedere vrouw in de reproductieve leeftijd zou moeten worden gevraagd of zij zwanger is. Mocht dit zo zijn, dan moet worden beoordeeld of de vrucht in de directe stralingsbundel zou komen te liggen. Als dit niet het geval is, dan is het stralingsrisico voor de vrucht verwaarloosbaar. Voor het geval dat de vrucht wel in de bundel zou liggen, is de vraag wat de te verwachten dosis is. Is de dosis hoog zoals bij fluoroscopie, dan moet men zich afvragen of een vorm van onderzoek zonder gebruik van ioniserende straling mogelijk is (echografie, MRI). Als dat laatste niet mogelijk is, moet een afweging plaatsvinden van de geschatte foetale dosis, de medische indicatie voor het onderzoek en het risico om het onderzoek uit te stellen, afhankelijk van het stadium van de zwangerschap.

*Gedurende het onderzoek.* Een geïndiceerd radiologisch onderzoek van gedeelten van het lichaam die relatief ver verwijderd zijn van de vrucht, zoals borstkas, hoofd en armen, kan op elk moment van de zwangerschap worden uitgevoerd.

Bij een geïndiceerd onderzoek waarbij de vrucht in de directe stralingsbundel ligt, het onderzoek niet kan worden uitgesteld en geen gebruik kan worden gemaakt van echografie of MRI, moet men zorgen de dosis zo laag mogelijk te houden. De meest gebruikte technieken hiervoor zijn: de bundel goed te collimeren tot het gebied dat moet worden onderzocht, de buisspanning te verhogen, het strooistralenrooster te verwijderen en/of het aantal opnamen te verminderen. Met CT-onderzoek is het mogelijk alleen het ter zake doende gebied te scannen en niet als routine het gehele bekkengebied.

*Na de bestraling.* Een diagnostische bestraling kan tot bezorgdheid leiden over mogelijke effecten op de vrucht. Na een onderzoek met lage doses waarbij de vrucht niet in de bundel heeft gelegen, is er geen noodzaak om individuele doses op de vrucht te schatten. Na onderzoek met hoge doses moet een deskundige een schatting van de geabsorbeerde dosis maken en ook van het risico voor de ongeboren vrucht. Met deze gegevens kunnen dan de toekomstige ouders worden geïnformeerd. In de tabel staan doses van een aantal diagnostische onderzoeken genoemd.

#### NUCLEAIRE GENEESKUNDE

*Diagnostiek.* De meeste diagnostische onderzoeken op de afdeling nucleaire geneeskunde worden uitgevoerd met snel vervallende ('kortlevende') radionucliden. Radionucliden die de placenta niet passeren, geven desondanks toch een (geringe) stralingsbelasting van de vrucht door de radioactiviteit in het lichaam van de moeder. Radiofarmaca die de placenta wel passeren en zich in een orgaan van de vrucht ophopen, kunnen een risico opleveren. Voordat men een zwangere gaat onderzoeken, dient men na te gaan of dit onderzoek inderdaad nu moet worden verricht of dat het kan worden uitgesteld. Zoals gezegd, geldt in het algemeen voor deze diagnostische onderzoeken dat het gezondheidsrisico voor de aanstaande moeder van afzien van het onderzoek groter is dan het stralingsrisico voor de vrucht. De mogelijkheid om de toe te dienen hoeveelheid radioactiviteit te

Foetale doses (in mGy) bij diverse diagnostische onderzoeken van de moeder, in Engeland<sup>1</sup>

onderzoek	gemiddelde dosis	maximumdosis
<i>conventionele röntgenonderzoeken</i>		
buik	1,4	4,2
borstkas	< 0,01	< 0,01
intraveneus urogram	1,7	10
lumbale wervelkolom	1,7	10
bekken	1,1	4
schedel	< 0,01	< 0,01
thoracale wervelkolom	< 0,01	< 0,01
<i>röntgendoorlichting</i>		
na bariummaal	1,1	5,8
na bariumklysma	6,8	24
<i>CT</i>		
buik	8,0	49
borstkas	0,06	0,96
hoofd	< 0,005	< 0,005
lumbale wervelkolom	2,4	8,6
bekken	25	79

reduceren moet worden overwogen. Als de conditie van de patiënt dit toestaat, kan ter compensatie de duur van de opname verlengd worden. Vrouwen die borstvoeding geven, dienen deze 12-24 uur te onderbreken, afhankelijk van het radiofarmacon dat wordt gebruikt.

Na onderzoek met Technetium-99m is er geen noodzaak om individuele doses van de foetus te schatten; de effectieve dosis van de foetus bij onderzoeken met Technetium-99m kan variëren van 0,1 tot 10 mGy.

**Therapie.** Als regel worden zwangeren niet met radioactieve stoffen behandeld. Veruit de meest voorkomende behandeling – radioactief jodium bij hyperthyreoïdie en bij schildklierkanker – heeft zelden haast en bovendien zijn er (tijdelijke) alternatieven. Bij hyperthyreoïdie in de zwangerschap is propylthiouracil (dat de placenta niet passeert) de eerste keus. Bij schildklierkanker zijn adequate operatieve verwijdering en onderdrukking van de thyroïdstimulerendhormoon (TSH)-spiegel door substitutie met levothyroxine veel belangrijker voor de prognose dan ablatie van de schildklierrest met Jood-131.

Het kan niettemin vóórkomen dat een vrouw met schildklierkanker behandeld wordt met Jood-131 en vervolgens zwanger blijkt te zijn. Door gamma-straling afkomstig van het isotoop dat zich in de blaas van de vrouw bevindt, kan de dosis van de vrucht enige honderden mGy bedragen. Maar radioactief jodium passeert ook heel gemakkelijk de placenta en een therapeutische dosis kan de schildklier van de foetus belasten met een zeer hoge dosis en deze klier beschadigen. In zo'n uitzonderlijk geval moet de dosis van de foetus worden berekend en moet men deze bespreken met de patiënte en de verwijzende arts. Bij de overwegingen kan zwangerschapsonderbreking worden betrokken.

Als binnen 1-3 dagen na een therapeutische dosis de patiënte zwanger blijkt te zijn, kan de dosis voor de

vrucht beperkt worden door de diurese te bevorderen en de patiënte te laxeren, omdat het grootste deel van het Jood-131 via de darm en (vooral) de nieren wordt uitgescheiden. Het geven van kaliumjodide ter bescherming van de schildklier van de foetus heeft alleen de eerste uren na de therapie zin.

#### RADIOTHERAPIE

Bij zwangere vrouwen kunnen tumoren die buiten het bekkengebied liggen in het algemeen met radiotherapie worden behandeld. Zorgvuldige planning van de bestraling is echter een vereiste. Door strooistraling kan de vrucht een zekere hoeveelheid straling ontvangen waarvan de grootte mede afhankelijk is van de duur van de zwangerschap. Deze doses buiten het eigenlijke te bestralen gebied kunnen beperkt worden door extra afscherming aan te brengen. Een berekening van deze dosis kan met een computerprogramma worden uitgevoerd. Tumoren in het buikgebied echter, kunnen niet adequaat worden behandeld zonder dat ernstige schade aan de foetus (foetale dood) wordt veroorzaakt.

**Vorbereiding.** Het is daarom van belang te weten of een patiënte zwanger is voordat met radiotherapie wordt begonnen. Als een patiënte zwanger is, moeten veel afwegingen worden gemaakt: zijn er alternatieve behandelingen zoals chirurgie, chemotherapie of hormonale therapie, kan de behandeling worden uitgesteld, wat is het stadium van de zwangerschap, welke effecten op de foetus zijn te verwachten, moet afbreking van de zwangerschap overwogen worden, is vroegtijdige bevaling aangewezen et cetera.

**Gedurende radiotherapie.** Uitwendige bestraling van tumoren die buiten het bekkengebied zijn gelegen, is mogelijk. Wel is het verstandig om een schatting van de dosis die door strooistraling op de vrucht terechtkomt te maken en het gebruik van extra afscherming te overwegen. Zonder afscherming bij bestraling voor hersentumoren bedraagt de foetale dosis circa 30 mGy; in anterieure en posterieure mantelvelden bij bestraling voor de ziekte van Hodgkin is de dosis circa 400-500 mGy. De American Association of Physicists in Medicine (AAPM) heeft een aantal aanbevelingen opgesteld om de foetale doses te beperken, onder meer over verandering van het behandelplan, aanpassing van de fotonenenergie en afscherming.<sup>3</sup> Het risico op deterministische effecten is daardoor verwaarloosbaar of betrekkelijk gering. Het risico op stochastische effecten (tumorinductie) kan licht verhoogd zijn, zoals wij beschreven in het gedeelte over tumorinductie.

Andere mogelijkheden zijn uitwendige bestraling en brachytherapie van tumoren in het bekkengebied. Deze worden gebruikt voor het cervixcarcinoom, die in 1 op de 1250-2200 zwangerschappen voorkomt. De behandeling bestaat meestal uit chirurgie en radiotherapie. De doses van de radiotherapie zijn zo hoog dat de zwangerschap moet worden beëindigd. Als de tumor laat in de zwangerschap wordt gediagnosticeerd, kan worden overwogen de behandeling uit te stellen tot na de bevaling.

**Na radiotherapie.** Na bestraling van een zwangere pa-

tiënte moet de radiotherapeut een zorgvuldige schatting van de dosis op de ongeboren vrucht maken en deze documenteren. Een risico-evaluatie moet worden gemaakt en besproken met de ouders. Het is van groot belang dat de documentatie wordt bewaard, gewoonlijk tot het kind volwassen is. Overwegingen zijn dat later status-onderzoek mogelijk is naar door straling geïnduceerde tumoren en dat later nagegaan kan worden welke dosis het kind heeft ontvangen.

Vrouwen die niet zwanger zijn en radiotherapie hebben gekregen, vragen soms wanneer zij na de behandeling zwanger kunnen worden. De meeste radiotherapeuten adviseren 1-2 jaar te wachten, niet omdat er potentiële stralingsrisico's zijn voor de toekomstige vrucht, maar meer uit de overweging dat de tumor wellicht in die periode aanvullende behandeling noodzakelijk maakt of dat er metastasen kunnen optreden waardoor de levensduurverwachting van de patiënte beperkt is. Het toekomstige kind zou dan zonder eigen moeder moeten opgroeien.

#### ZWANGEREN DIE RADIOLOGISCH WERK DOEN

Dosislimieten voor niet-zwangere vrouwen met radiologisch werk zijn gelijk aan die voor hun mannelijke collega's. Voor zwangere werkers gelden strengere limieten. De vrucht wordt immers als lid van de algemene bevolking beschouwd, waarvoor andere dosislimieten gelden dan voor radiologisch personeel. In Nederland is de dosislimiet voor de foetus 1 mGy voor de resterende periode van de zwangerschap. De werkomstandigheden voor de aanstaande moeder moeten zodanig zijn dat deze limiet niet wordt overschreden. Dit kan betekenen dat er geen verandering in werkzaamheden behoeft plaats te vinden, dat de vrouw overgeplaatst moet worden naar een werkplek waar de stralingsbelasting minder is (bijvoorbeeld van een fluoroscopie- naar een CT-afdeling, van brachytherapie- naar de planningafdeling), of dat zij van baan moet veranderen zodat blootstelling niet waarschijnlijk is. In sommige gevallen vraagt een zwangere werknemer vrijgesteld te mogen worden van radiologische werkzaamheden. De werkgever zou hiervoor kunnen zorgdragen, al is het maar om eventuele latere problemen te vermijden ingeval een kind met afwijkingen zou worden geboren (de kans hierop is immers al 3% zonder extra straling).

#### AFBREKEN VAN ZWANGERSCHAP

Het afbreken van een zwangerschap is een individuele beslissing die door vele factoren wordt bepaald. Hierbij spelen ethische, morele en religieuze overwegingen een rol, alsmede wettelijke bepalingen over zwangerschaps-onderbreking.

Een dosis lager dan 100 mGy hoeft geen reden voor onderbreking te zijn, omdat de kans op geïnduceerde deterministische effecten dan praktisch nihil is.

Het sterfterisico als gevolg van tumorinductie bij een dosis van 100 mGy is ongeveer 1,5%. Zonder extra blootstelling boven de achtergrondstraling van 2 mSv/jaar is voor een lid van de bevolking de kans op het krijgen van kanker al 1 op 3 en het sterfterisico 1 op 5.

Voor doses boven 100 mGy is er kans op foetale schade, waarvan de ernst afhangt van de grootte van de dosis en het stadium van de zwangerschap. Met uitzondering van radiotherapie van het buik- en bekkengebied is de grootte van de effecten als gevolg van radiologisch onderzoek en radiotherapie klein vergeleken met de normale incidentie van andere aandoeningen gedurende de zwangerschap.

In een niet-bestraalde populatie zijn de risico's gedurende de zwangerschap: 15% voor spontane abortus, 2-4% voor ernstige misvormingen, 4% voor intra-uteriene groeiachterstand (meestal door hypertensie) en 8-10% voor genetische bepaalde ziekten. Rekening houdend met deze feiten moeten de risico's van blootstelling aan straling worden afgewogen.

#### AANBEVELINGEN

Medici die ioniserende straling toepassen, moeten op de hoogte zijn van de effecten van straling op het embryo en de foetus. Voor de meeste diagnostische verrichtingen betreft dit alleen een gering verhoogd risico op kanker, terwijl voor doses hoger dan 100-200 mGy de risico's afwijkingen in het centrale zenuwstelsel, misvormingen, groei-achterstand en foetale sterfte betreffen. De grootte van de laatstgenoemde risico's zijn gecorrigeerd met de duur van de zwangerschap.

Voor eventuele blootstelling aan straling moet worden gevraagd of een patiënte zwanger is. Alle medische toepassingen waarbij blootstelling aan straling is betrokken, moeten gerechtvaardigd zijn. Medische toepassing van straling moet geoptimaliseerd zijn, in die zin dat de benodigde informatie bij een zo laag mogelijke dosis moet worden verkregen (het zogeheten 'ALARA'-principe: 'as low as reasonably achievable'). Waar mogelijk moeten de medische procedures zo aangepast worden dat de foetale dosis minimaal is. Bij diagnostiek en therapie waarmee hoge doses straling zijn gemoeid, moeten de foetale dosis en de potentiële risico's geschat worden. Zwangeren die radiologisch werk doen, kunnen hun beroep blijven uitoefenen mits de foetale dosis gedurende de zwangerschap lager is dan 1 mGy. Beëindiging van een zwangerschap bij foetale doses van minder dan 100 mGy is niet geïndiceerd. Bij hogere doses zal eventuele beëindiging het resultaat zijn van een individuele afweging.

#### TOT SLOT

De zwangere patiënt of radiologisch werker heeft het recht te weten wat de grootte en de soort van potentiële stralingseffecten zijn als gevolg van blootstelling van de foetus. Voor doses lager dan 1 mGy kan worden volstaan met te zeggen dat het risico praktisch verwaarloosbaar is. Als de foetale dosis boven de 1 mGy komt, moet gedetailleerder informatie worden gegeven. Ook het risico op de gezondheid van de zwangere door het eventueel niet ondergaan van een onderzoek moet worden besproken.

In het ICRP-rapport komt duidelijk naar voren dat voor de meeste radiologische en nucleair-geneeskundige onderzoeken en bij sommige behandelingen met the-



rapeutische doses de foetale stralingsbelasting zo laag is dat het risico op deterministische effecten verwaarloosbaar is en dat op stochastische effecten acceptabel. Voor een aantal onderzoeken waarbij de gecumuleerde dosis de 100 mGy te boven gaat, wordt de kans op deterministische schade aan de foetus reëel en dient een afwijking plaats te vinden. De keuze van de 100-mGy-grens voor deterministische effecten is gebaseerd op dierexperimenten en op de gevolgen van de atoombomaanval op Japan in 1945. Hierbij moet worden opgemerkt dat het om blootstellingen ging met een hoog dosistempo in één keer ontvangen. In de klinische praktijk zal bijvoorbeeld bij radiotherapie de foetale dosis over een relatief lange periode worden ontvangen met zeer lage fractiedoses. De drempeldosis van 100 mGy voor bijvoorbeeld afwijkingen aan het centrale zenuwstelsel zal dan waarschijnlijk veel hoger liggen. Bij de afwijking van de stralingsrisico's moet deze factor zeker in de overwegingen worden betrokken. Voor stochastische effecten, te weten tumorinductie, is wel met dosistempo en grootte van de fractiedosis rekening gehouden. Voor zeer lage fractiedoses blijft echter de vraag of in dit lage dosisgebied een lineaire dosis-effectrelatie geldig is of dat er wellicht een drempeldosis bestaat.

Een mogelijke relatie van erfelijke afwijkingen in het nageslacht als gevolg van blootstelling van de gonaden vóór conceptie is tot dusver niet gevonden. Dit blijkt uit onderzoek bij kinderen van bestraalde ouders die de atoombomaanvallen op Hiroshima en Nagasaki in 1945 overleefden. In de afgelopen jaren is er ook onderzoek gedaan bij kinderen van bergingswerkers en schoonmakers (zogenoemde 'liquidators') van de Tsjernbyl-reactor die in 1986 ontplofte. Het blijkt dat bij veel kinderen die na het ongeluk werden verwekt aanmerkelijk meer 'spontane' DNA-veranderingen worden gezien in het niet-coderend DNA (satelliet-DNA, dat niet onderhevig is aan selectiedruk en sneller muteert dan ander DNA) dan van nature te verwachten valt. De mutatiefrequentie was een factor 7 hoger dan bij broertjes en zusjes die vóór de ramp waren verwekt.<sup>4</sup> Lage stralingsdoses kunnen dus voor mutaties in het nageslacht zorgen, maar of die ook tot gezondheidsconsequenties leiden blijft nog de vraag.

Om bij radiotherapie de dosis die de foetus ontvangt te berekenen is onlangs een computerprogramma beschikbaar gekomen waarmee dit snel en op betrouwbare wijze kan gebeuren.<sup>5</sup>

Het onderwerp zwangerschap en straling is maatschappelijk zo belangrijk dat het structureel in het onderwijs voor de basisarts zou moeten worden opgenomen.

Naar onze mening dient op elke afdeling voor radio-  
logie, nucleaire geneeskunde en radiotherapie een exem-

plaar van het ICRP-rapport aanwezig te zijn en dient deskundigheid te bestaan over de inhoud van het rapport.

---

#### ABSTRACT

*Pregnancy and medical irradiation; summary and conclusions from the International Commission on Radiological Protection, Publication 84*

– Prenatal exposure to ionising radiation as used during most diagnostic procedures generally presents no increased risk of prenatal death, malformation or impairment of mental development (i.e. deterministic effects) compared to the background incidence of these entities.

– Higher doses of radiation used in therapeutic procedures can result in significant foetal harm. In general, malformations only occur above a threshold dose of 100-200 mGy. These doses are not normally reached with most properly executed diagnostic procedures.

– During the period from 8 to 25 weeks after conception, the central nervous system is particularly sensitive to radiation. Foetal doses in excess of about 100 mGy may result in a decrease in IQ.

– Between 8-15 weeks after conception, a foetal dose of 1000 mGy (1 Gy) reduces IQ by about 30 points. This reduction is less marked during the period from 16-25 weeks. At foetal doses of 1000 mGy in the period from 8 to 15 weeks after conception the risk of severe mental retardation is about 40%. During the period from 16 to 25 weeks, this risk is practically zero at a dose of 1000 mGy.

– Radiation exposure of the embryo/foetus is associated with an increased risk of tumour induction (stochastic effect). Recent absolute risk estimates for fatal cancer risk for ages 0-15 year after in utero irradiation have been estimated to be 6% per Gy (0.06% per 10 mGy). For the whole life span this risk is about 15% per Gy (0.15% per 10 mGy).

– Pre-conception irradiation of either parent's gonads has not been shown to result in increased cancer or malformations in the children.

---

#### LITERATUUR

<sup>1</sup> International Commission on Radiological Protection (ICRP). Publication 84. Pregnancy and medical irradiation. Annals of the ICRP 2000;30:1-43.

<sup>2</sup> Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. Br J Radiol 1997;70:130-9.

<sup>3</sup> Stovall M, Blackwell CR, Cundiff J, Novack DH, Palta JR, Wagner LK, et al. Fetal dose from radiotherapy with photon beams: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 36. Med Phys 1995;22:63-82.

<sup>4</sup> Weinberg HS, Korol AB, Kirzhner VM, Avivi A, Fahima T, Nevo E, et al. Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators. Proc R Soc Lond B Biol Sci 2001;268:1001-5.

<sup>5</sup> Giessen PH. Peridose, a software program to calculate the dose outside the primary beam in radiation therapy. Radiother Oncol 2001; 58:209-13.

Aanvaard op 6 september 2001