

Risico's van straling in de tandheelkunde en de geneeskunde

J. Geleijns, fysicus
J.J. Broerse, fysicus

Samenvatting. De biologische gevolgen van blootstelling aan röntgenstraling in de tandheelkunde en de geneeskunde betreffen zogenoemde stochastische effecten zoals carcinogenese en genetische effecten. De stralingsbelasting voor de verschillende röntgen- en nucleair geneeskundige onderzoeken zoals die tegenwoordig worden uitgevoerd, varieert van minder dan 0,001 mSv tot meer dan 10 mSv effectieve dosis. Het niveau aan natuurlijke achtergrondstraling bedraagt in Nederland ongeveer 2 mSv. Uitgaande van een duidelijke indicatie voor het uitvoeren van het röntgen- of nucleair geneeskundige onderzoek kan, in het algemeen, worden gesteld dat de diagnostisch verkregen informatie ruimschoots opweegt tegen de aan het onderzoek verbonden stralingsrisico's.

Uit de vakgroep Klinische Oncologie van het Academisch Ziekenhuis Leiden en het Interuniversitair Onderzoeksinstituut voor Radiopathologie en Stralingsbescherming (IRS) te Leiden.

Trefwoorden: Radiologie – Stralingsrisico

Datum van acceptatie: 6 september 1995.

Adres: J. Geleijns, AZ Leiden, postbus 9600, 2300 RC Leiden.

GELEIJNS J, BROERSE JJ. Risico's van straling in de tandheelkunde en de geneeskunde. Ned Tijdschr Tandheelkd 1995; 102: 484-7.

'The major figure in American radiodontics was C. Edmund Kells, a New Orleans dentist who in July 1896 established the first radiographic dental clinic in the United States. (...) In 1907, Kells enumerated the various injuries that could result from radiation exposure and the subsequent treatment of these injuries. Ironically, Kells was foreshadowing his own bleak future. After numerous debridement and grafting operations and amputations, Kells was no longer able to practice his profession. In excruciating pain, he shot himself to death in his dental office.'

R.L. Eisenberg¹

1 Inleiding

Op 8 november 1895 ontdekte Wilhelm Conrad Röntgen een stralingssoort die door zwart papier kon doordringen en die een fotografische plaat kon belichten. Al gauw werd deze nieuwe vorm van straling toegepast om de inwendige structuur van delen van het lichaam, zoals de hand en het gebit, af te beelden. De kennis over de risico's van ioniserende straling was echter zeer beperkt, waardoor radiologen, tandartsen en patiënten, veelal onnodig, aan te hoge doses straling werden blootgesteld. Tegenwoordig is vrijwel iedereen zich bewust van de risico's van ioniserende straling en worden röntgentechnieken op een verantwoorde wijze toegepast. Dit neemt niet weg dat er binnen de radiodiagnostiek en de tandheelkunde nog steeds mogelijkheden bestaan voor reductie van de stralenbelasting voor de patiënt en de werker.

2 Stralingsdosimetrie

De basisgrootheid in de stralingsdosimetrie is de geabsorbeerde dosis. Deze grootheid is gedefinieerd als de hoeveelheid geabsorbeerde stralingsenergie (joule) per eenheid van massa (kg). De eenheid $J \cdot kg^{-1}$ heeft in de stralingsdosimetrie de speciale naam Gray (Gy) gekregen. Aangezien de verschillende organen en weefsels in het lichaam grote variaties in stralingsgevoeligheid vertonen, wordt er in de stralingshygiëne naar gestreefd de gemiddelde dosis in de afzonderlijke stralingsgevoelige organen en weefsels, zoals rood beenmerg, maag, longen, colon, bot, huid en gonaden, vast te leggen. Om verschillende vormen van blootstelling aan straling met elkaar te kunnen vergelijken, wordt vervolgens de effectieve dosis berekend door de naar stralingsgevoeligheid gewogen orgaan-

en weefseldoses te sommeren. De effectieve dosis wordt uitgedrukt in de eenheid Sievert (Sv) of duizendsten van Sieverts (mSv).

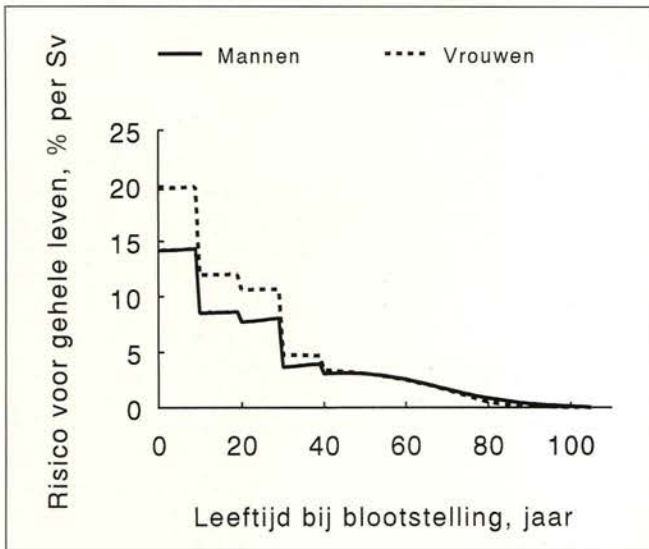
3 Stralingsrisico's

De biologische gevolgen van blootstelling aan ioniserende straling kunnen worden onderscheiden in *deterministische* en *stochastische* effecten. Deterministische effecten worden niet waargenomen beneden een drempeldosis die, normaal gesproken, niet zal worden overschreden in de tandheelkunde en radiodiagnostiek. Voorbeelden van deterministische effecten zijn steriliteit, cataract, huid-erythem en weefselnecrose.

Voor stochastische effecten, zoals kankerverwekkende en genetische effecten, wordt verondersteld dat er geen drempeldosis bestaat. Dit betekent dat er een kans op het optreden van deze effecten bestaat, zelfs bij de lage doses zoals die voorkomen in de tandheelkunde en radiodiagnostiek. Risicoschattingen voor stochastische effecten in de mens worden afgeleid uit epidemiologische studies. De 'Life Span Study' van de Japanse overlevenden van de atoombombardementen op Hiroshima en Nagasaki is een zeer omvangrijke studie die een cohort van 93.000 personen omvat. Dit is de belangrijkste bron van informatie over de waarschijnlijkheid van optreden van stochastische effecten. De onzekerheden in de risicoschattingen blijven echter aanzienlijk, ondanks het uitgebreide, tot op heden uitgevoerde, epidemiologische onderzoek.

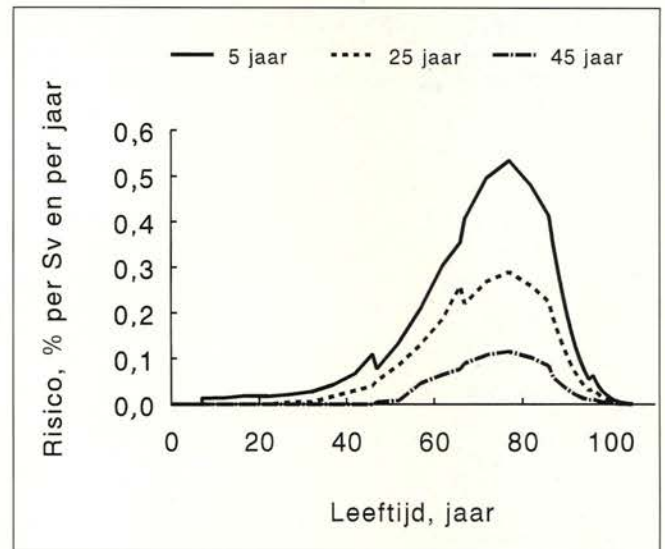
In tabel I wordt een overzicht gegeven van de door de ICRP aanbevolen risicogetallen voor het optreden van kwaadaardige gezwellen, goedaardige gezwellen en ernstige erfelijke effecten in volwassen werkers en de gehele bevolking.² Een risico van bijvoorbeeld 4% per Sv voor inductie van een kwaadaardig gezwel in volwassen werkers betekent dat bij blootstelling aan een effectieve dosis van 1 mSv een risico van $0,04 \times 0,001 = 0,00004$ op inductie van een kwaadaardig gezwel kan worden berekend. Met andere woorden, in gemiddeld één op de 25000 werkers die blootgesteld worden aan 1 mSv effectieve dosis wordt een kwaadaardig gezwel geïnduceerd. De in tabel I vermelde risicogetallen zijn gemiddelde waarden.

In afbeelding 1 wordt de leeftijds- en geslachtsafhankelijkheid van het risico op inductie van een kwaadaardig gezwel volgens het multiplicatieve ICRP model getoond. Uit afbeelding 1a blijkt dat de gevoeligheid voor straling sterk afneemt met toenemende leeftijd. Tot een leeftijd van veertig jaar zijn vrouwen enigszins gevoeliger voor blootstelling aan straling



1a

Afb. 1. Risico's op inductie van een kwaadaardige tumor na blootstelling aan röntgenstraling. De risico's zijn berekend met het multiplicatieve risicomodel van de ICRP waarbij een DDREF van 2 werd toegepast.² Afbeelding 1a toont de relatie tussen het risico op inductie van een kwaadaardige tumor per eenheid van effectieve dosis als functie van de leeftijd en het geslacht. Afbeelding 1b toont het leeftijdsafhankelijke risicotempo na blootstelling aan röntgenstraling op een leeftijd van 5, 25 en 45 jaar.



1b

dan mannen. In afbeelding 1b wordt per leeftijdsinterval van één jaar het risico op het overlijden tengevolge van een geïnduceerd kwaadaardig gezwel gegeven. Het risicogetal voor mannen en vrouwen is gemiddeld. In afbeelding 1b komt duidelijk naar voren dat er een, soms zeer lange, latente periode volgt na de blootstelling aan straling. Onafhankelijk van de leeftijd bij de blootstelling, die voor de verschillende curven in de afbeelding vijf 25 en 45 jaar was gekozen, is de kans op het tot expressie komen van het kwaadaardige gezwel het grootst tussen het zeventigste en tachtigste levensjaar. De absolute risico's zijn bij blootstelling op lage leeftijd uiteraard aanzienlijk groter dan bij blootstelling op hogere leeftijd.

4 Stralingsbelasting

De mens wordt dagelijks blootgesteld aan natuurlijke bronnen van ioniserende straling. De grootste bijdrage daarin leveren de dochterproducten van radioactieve isotopen van de gassen radon en thorium. Deze gassen kunnen vrijkomen uit de bodem en worden in verhoogde concentraties aangetroffen in woningen. In verschillende landen, waaronder Nederland,

worden door de overheid maatregelen getroffen om de blootstelling van de bevolking aan radongas te beheersen.

De risico's van blootstelling aan concentraties radongas, zoals die onder normale omstandigheden voorkomen in woningen, zijn overigens nog niet onomstotelijk aangetoond. Voor de Nederlandse bevolking bedraagt de gemiddelde effectieve dosis tengevolge van de blootstelling aan radon en thorium 1,2 mSv per jaar (tab. II).^{3,4} Vergeleken met andere landen is dit een relatief lage waarde. Andere bronnen van natuurlijke stralenbelasting zijn bijvoorbeeld gamma-straling uit bouwmaterialen (0,3 mSv.j⁻¹) en kosmische straling (0,2 mSv.j⁻¹).

Naast natuurlijke bronnen van straling kan de mens ook worden blootgesteld aan kunstmatige bronnen van straling. Gemiddeld is de effectieve dosis tengevolge van blootstelling aan kunstmatige bronnen vier- à vijfmaal kleiner dan die tengevolge van natuurlijke bronnen. De radiodiagnostiek levert veruit het grootste aandeel in de blootstelling aan kunstmatige bronnen van ioniserende straling (0,44 mSv.j⁻¹). Andere kunstmatige bronnen van ioniserende straling zijn de radioactieve nucliden die in het milieu terecht zijn gekomen na de kernproeven in de jaren vijftig en zestig en na het reactorongeval in 1986 in Tsjernobyl.

Tabel I. Waarschijnlijkheid van optreden voor stochastische effecten per eenheid van effectieve dosis, 10⁻² Sv⁻¹ (ICRP 60).²

Aan straling blootgesteld	Kwaadaardige gezwellen	Goedaardige gezwellen*	Ernstige erfelijke effecten	Totaal
Volwassen werkers	4,0	0,8	0,8	5,6
Gehele bevolking	5,0	1,0	1,3	7,3

*Met 'goedaardige gezwellen' wordt het verlies aan kwaliteit van leven (detriment) in rekening gebracht dat optreedt bij bepaalde geïnduceerde, niet-kwaadaardige, tumoren.

Tabel II. Gemiddelde stralingsbelasting voor de Nederlandse bevolking tengevolge van blootstelling aan natuurlijke en kunstmatige bronnen van ioniserende straling, uitgedrukt als effectieve dosis (mSv) per caput en per jaar.^{3,4}

Bron	Effectieve dosis, mSv.j ⁻¹
Radon en thorium	1,20
Gammastraling uit bouwmaterialen	0,30
Inwendige straling (o.a. ⁴⁰ K)	0,37
Kosmische straling	0,20
Radiodiagnostiek	0,44
Nucleaire geneeskunde	0,04
Overige (fall-out, kernenergie, radiologisch werk)	0,12
Totaal	2,7

Tabel III. Een indicatie van de effectieve dosis voor tandheelkundig, radiodiagnostisch en nucleair geneeskundig onderzoek.

	Effectieve dosis (mSv)
Tandheelkunde	
Intraorale opname ⁵	0,001 – 0,004
Status totalis ⁵	0,01 – 0,04
Radiodiagnostiek	
Handfoto	< 0,001
Thoraxopname (PA & LAT) ⁶	0,1 – 0,5
CT Hoofd ⁶	1 – 3
CT Thorax ⁶	5 – 15
<i>Radiodiagnostiek: gemiddeld per onderzoek⁷</i>	0,8
Nucleaire geneeskunde	
Schildklier (^{99m} Tc) ⁸	0,7 – 0,9
Longperfusie (^{99m} Tc) ⁸	1
Hart (²⁰¹ Tl) ⁸	7
<i>Nucleaire geneeskunde: gemiddeld per onderzoek⁷</i>	3

Alhoewel tandheelkundige opnamen de meest gemaakte röntgenopnamen zijn, is het aandeel van de tandheelkundige intra-orale opnamen aan de gemiddelde effectieve dosis voor de Nederlandse bevolking gering, aangezien de effectieve dosis per intra-orale opname zeer laag is. Een reden hiervoor is dat bij de tandheelkundige opnamen de blootstelling aan straling slechts een klein gebied betreft, dat bovendien een relatief lage gevoeligheid heeft voor straling. In tabel III worden enkele waarden voor de effectieve dosis voor röntgenopnamen in de tandheelkunde, de radiodiagnostiek en het nucleair geneeskundig onderzoek vermeld.⁵⁻⁷

Uit tabel III kan worden afgeleid dat de effectieve doses voor de intra-orale tandheelkundige opnamen zeer laag zijn, vergeleken met de effectieve doses tijdens radiodiagnostisch onderzoek of nucleaire geneeskunde. De gemiddelde effectieve dosis voor tandheelkundige röntgenopnamen in Nederland

bedraagt minder dan 1% van die van de (algemene) röntgen-diagnostiek.

Een röntgenonderzoek met een lagere effectieve dosis dan de tandheelkundige opnamen is de skeletopname van de hand. De omvang van de röntgenbundel is bij een handopname beperkt en ook is de hand relatief stralingsongevoelig. De opnamen van de hand worden bovendien gemaakt met filmschermcombinaties, die aanzienlijk gevoeliger voor röntgenstraling zijn dan de gebruikelijke tandfilms ('no-screen films').

5 Slotbeschouwing

Technische ontwikkelingen, wet- en regelgeving, voorlichting en onderwijs hebben ertoe geleid dat de zeer hoge stralingsbelasting en de daaraan verbonden risico's bij röntgenonderzoek, zoals wij deze kennen uit het begin van deze eeuw, thans niet meer voorkomen. De röntgenonderzoeken zijn sterk verbeterd, zowel wat betreft de kwaliteit van het onderzoek als de stralingsveiligheid. De stralingsbelasting voor de verschillende röntgen- en nucleair geneeskundige onderzoeken zoals die tegenwoordig worden uitgevoerd, varieert van minder dan 0,001 mSv tot meer dan 10 mSv, een verschil van meer dan een factor duizend. Tabel IV geeft een overzicht van verschillende vormen van blootstelling aan ioniserende straling en het daaraan gecorreleerde risico. Aangezien uit afbeelding 1 bleek dat het stochastische stralingsrisico pas op latere leeftijd in de vorm van een kwaadaardig gezwel tot expressie komt, is het stralingsrisico niet alleen weergegeven als de kans op het krijgen van een kwaadaardig gezwel, maar ook als het aantal dagen verlies van levensverwachting.

Dat er nog steeds mogelijkheden bestaan voor dosisreductie blijkt uit de resultaten van nationale en internationale vergelijkingen van de stralenbelasting voor specifieke röntgenonderzoeken.^{6,9,10} In het algemeen kan worden gesteld dat, uitgaande van een duidelijke indicatie voor het uitvoeren van het röntgen- of nucleair geneeskundig onderzoek, de diagnostisch verkregen informatie ruimschoots opweegt tegen de aan het onderzoek verbonden stralingsrisico's.

Tabel IV. Een indicatie van het risico van röntgenopnamen in de tandheelkunde en de radiodiagnostiek. Risico's worden uitgedrukt in de reductie van de levensverwachting (dagen) en de kans op het ontwikkelen van een kwaadaardig gezwel. Voor de risicoschatting is het multiplicatieve model van de ICRP toegepast en is een dosis- en dosistempo-effectiviteitsfactor (DDREF) van 2 gehanteerd.⁷

Blootstelling	Effectieve dosis, mSv	Kans op ontwikkelen van een kwaadaardig gezwel	Aantal dagen verlies van levensverwachting
<i>Risico voor alle onderzoeken gedurende het gehele leven:</i>			
Röntgenonderzoek in de radiodiagnostiek ^a	35 ^a	1 : 500	9
Intra-orale opnamen in de tandheelkunde ^a	0,16 ^a	1 : 110.000	0,04
<i>Risico voor een enkel onderzoek:</i>			
Handopname (AP) ^a	0,0002	1 : 80.000.000	0,00006
Intra-orale tandheelkundige opname ^a	0,004	1 : 4.000.000	0,001
Thorax onderzoek (PA & LAT) ^a	0,1	1 : 190.000	0,024
CT Hoofd ^a	1	1 : 19.000	0,25
CT Thorax ^a	10	1 : 2.300	1,9

^aBij de berekening is rekening gehouden met de leeftijdsverdeling van patiënten die dergelijke onderzoeken ondergaan.
^aWegens gebrek aan gegevens is bij de berekening geen rekening gehouden met de leeftijdsverdeling van patiënten die dergelijke onderzoeken ondergaan, maar is de dosis evenredig verdeeld over de eerste 76 levensjaren.
^aGecumuleerde dosis over 80 levensjaren.

Literatuur

- 1 Eisenberg RL. Radiology: an illustrated history. St. Louis: Mosby Yearbook, 1992.
- 2 ICRP Publication 60, 1990. Recommendations of the international commission on radiological protection. Annals of the ICRP. Volume no. 1-3. Oxford: Pergamon Press, 1991.
- 3 Beentjes LB, Timmerman CWM. Patient doses in the Netherlands. Radiat Protect Dosimetry 1991; 36: 265-8.
- 4 Vaas LH, Blaauboer RO, Leenhouts HP. Radiation sources, doses and dose distributions in the Netherlands. Radiat Protect Dosimetry 1991; 36: 89-92.
- 5 Velders XL, Aken J van. Dosisdistributie in weefsels. Ned Tijdschr Tandheelkd 1993; 100: 272-4.
- 6 Geleijns J. Patient dosimetry in diagnostic radiology: chest examinations and computed tomography. Leiden: Rijksuniversiteit Leiden, 1995. Academisch proefschrift.
- 7 Zoetelief J, Beentjes LB, Broerse JJ, et al. Quality assurance and population dose in diagnostic radiology and nuclear medicine imaging: state of the art in the Netherlands. Radiat Protect Dosimetry 1995; 57: 59-64.
- 8 Broerse JJ, Hennen LA, Hermens AF, et al. Grondbeginselen stralingsfysica en radiobiologie voor medische toepassingen. Rijswijk/Leiden: Radiobiologisch Instituut TNO/Cohen Instituut, 1987.
- 9 Maccia C, Ariche-Cohen M, Nadeau X, et al. The 1991 CEC trial on quality criteria for diagnostic radiographic images. Radiat Protect Dosimetry 1995; 57: 111-7.
- 10 Velders XL. Patient exposure due to bitewing radiography. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, 1989. Academisch proefschrift.

Summary

RADIATION RISKS IN DENTAL RADIOGRAPHY AND MEDICINE

Key words: Radiology – Radiation risk

Biological effects of exposure to ionizing radiation in diagnostic dental and medical radiology are stochastic effects such as carcinogenesis and genetical effects. Today, radiation exposure due to an x-ray or nuclear medicine examination varies from less than 0.001 mSv to more than 10 mSv effective dose. The background level of natural radiation in the Netherlands is about 2 mSv. Assuming that an appropriate indication for the examination exists, it can be stated that generally the diagnostic information obtained outweighs by far the risks involved in the exposure to radiation.