

Dosisdistributie in weefsels

Samenvatting. De dosisdistributie in weefsels kan de aard en de mate van de biologische effecten van röntgenstraling beïnvloeden. In dit artikel wordt ingegaan op parameters die van invloed zijn op de dosisverdeling bij intra-orale röntgenopnamen en tomografische panorama-opnamen. Op basis van de dosisverdeling wordt de kans op het ontstaan van zogenaamde stochastische effecten (goed- en kwaadaardige tumoren, genetische afwijkingen) geschat op 0,1-0,3 per miljoen intra-orale opnamen en 0,4-0,8 per miljoen tomografische panorama-opnamen; voor de gehele Nederlandse bevolking komt dit neer op het ontstaan van stochastische effecten bij respectievelijk 0-2 personen en 0-1 persoon per jaar. Deze relatief geringe kans in vergelijking met risico's in het dagelijks leven rechtvaardigt het maken van röntgenopnamen in de tandheelkunde, mits de verwachting bestaat dat deze extra diagnostische informatie opleveren en onder optimale opnameomstandigheden vervaardigd worden.

VELDERS XL, VAN AKEN J. Dosisdistributie in weefsels. Ned Tijdschr Tandheelkd 1993; 100: 272-274.

1 Inleiding

Het meten van doses bij het gebruik van röntgenstralen heeft lange tijd problemen opgeleverd. De zogenaamde erytheemdosis (de dosis die leidt tot een zichtbare reactie op de huid van de bestraalde patiënt) was kort na de ontdekking van Röntgen's X-stralen in 1895 een manier om het effect van ioniserende straling te kwantificeren.¹ Al in 1896 werd door Perrin een meetopstelling ontwikkeld, die nog steeds gehanteerd wordt om de exposie (ionisatie in lucht) te definiëren.² In 1942 zijn, in het kader van het Manhattan Project ter ontwikkeling van de atoombom, de methoden om straling te meten in belangrijke mate verder ontwikkeld.³ Thans beschikken we over tal van methoden om straling te meten. Het meten van straling alleen is niet voldoende om kwantitatief biologische effecten te voorspellen. Vooral de energieabsorptie in weefsel (de geabsorbeerde dosis) en de verdeling daarvan (dosisdistributie) kunnen de aard en de mate van de biologische effecten beïnvloeden.

In dit artikel wordt ingegaan op de dosisdistributie in weefsel ten gevolge van tandheelkundige röntgenopnamen. Hierbij wordt vooral de nadruk gelegd op de dosisdistributie bij het vervaardigen van bitewing-röntgenopnamen. Voorts wordt de invloed van parameters op de dosisdistributie besproken. Op basis van de geabsorbeerde dosis in stralingsgevoelige weefsels wordt de kans op het ontstaan van biologische effecten na het vervaardigen van intra-orale röntgenopnamen en tomografische panorama-opnamen geschat.

2 Dosis en dosisdistributie

Als biologisch weefsel wordt blootgesteld aan röntgenstraling vindt energieoverdracht plaats door middel van fotonen. Een

deel van deze fotonenergie wordt geabsorbeerd ten gevolge van het foto-elektrisch effect, een ander deel wordt verstrooid ten gevolge van het Compton-effect.^{4,5} Beide effecten zijn afhankelijk van de energie van de fotonen. Het foto-elektrisch effect treedt voornamelijk op bij lage fotonenergieën, terwijl bij hogere fotonenergieën de straling voornamelijk wordt verstrooid. De verstrooide fotonen behouden daarbij een groot deel van de oorspronkelijke energie en kunnen opnieuw worden geabsorbeerd of verstrooid.

Wanneer weefsel bestraald wordt, is de geabsorbeerde dosis in dat weefsel in het algemeen niet constant. Bij tandheelkundige opnamen wordt het dosismaximum in het algemeen gevonden aan het weefseloppervlak (in de huid). De verhouding van de geabsorbeerde dosis in een willekeurig punt in het weefsel en het dosismaximum wordt de *procentuele dieptedosis* genoemd. De procentuele dieptedosis in het weefsel is, behalve van de fotonenergie, afhankelijk van de afstand tot de focus, de diepte in het weefsel en de veldgrootte van de röntgenbundel. Daarnaast wordt de procentuele dieptedosis beïnvloed door verschillen in absorptie en verstrooiing tussen de verschillende weefsels (zoals spier, bot, vet en met lucht gevulde holten). De geabsorbeerde dosis is een maat voor de energieoverdracht per massa-eenheid. De eenheid van geabsorbeerde dosis is Gray (SI-eenheid Gy: 1 Gy = 1 J/kg). De equivalente dosis is de gemiddelde geabsorbeerde dosis in een orgaan of weefsel bij een bepaalde stralenkwaliteit (SJ-eenheid: Sv: voor röntgenstraling is 1 Sv = 1 Gy)

3 Tandheelkundige parameters

De minimale focus-huidafstand (FHA) wordt bepaald door de lengte van de tubus of de conus. Door toename van de FHA

X.L. Velders, tandarts¹
J. van Aken, tandarts

Uit de ¹vakgroep Tandheelkundige Radiologie van het Academisch Centrum Tandheelkunde Amsterdam (ACTA).

Trefwoorden: Radiologie - Stralingsdosis

Datum van acceptatie: 12 maart 1993.

Adres: Dr. X.L. Velders, ACTA, Louwesweg 1, 1066 EA Amsterdam.

neemt de procentuele dieptedosis toe (afb. 1). Omdat de geabsorbeerde dosis ter plaatse van de röntgenfilm constant moet zijn, neemt de geabsorbeerde dosis in de huid bij een toename van de FHA af (afb. 1). Dit effect blijkt uit metingen, waarvan de resultaten zijn samengevat in tabel I. De geabsorbeerde dosis in de huid bij gebruik van een Oralix 50, FHA 20 cm, is lager (7,2 mGy) dan bij de FHA 10 cm (9,7 mGy).⁶

In de regel neemt de procentuele dieptedosis toe bij toenemende fotonenergie. Hierdoor neemt de geabsorbeerde dosis in de huid af bij toenemende fotonenergie. Zo is de geabsorbeerde dosis in de huid bij gebruik van een röntgenapparaat met een buisspanning van 65 kV hoger (3,1 mGy) dan bij hetzelfde toestel met een buisspanning van 90 kV (2,1 mGy).

Bij toename van de fotonenergie neemt niet alleen de geabsorbeerde dosis in de huid af, maar ook de geabsorbeerde dosis in organen die dicht bij de focus gelegen zijn dan de röntgenfilm. Het verschil wordt geringer naarmate het orgaan dicht bij de film ligt. Ter plaatse van de film is de geabsorbeerde dosis ongeveer gelijk, onafhankelijk van de fotonenergie. Hiermee in overeenstemming neemt de geabsorbeerde dosis in de parotis aan de belichte zijde af naarmate de fotonenergie toeneemt: 122 µSv bij een toestel met 65 kV en 85 µSv bij een toestel met 90 kV. In de sublinguale speekselkliert, die op ongeveer dezelfde diepte ligt als de film, is de geabsorbeerde dosis ongeveer gelijk: 52 µSv en 50 µSv bij gebruik van 65 kV, respectievelijk 90 kV. In tegenstelling tot organen die dicht bij de focus gelegen zijn dan de film, neemt de geabsorbeerde dosis bij een toename van de fotonenergie toe voor organen die op een grotere afstand gelegen zijn. Dit geldt zowel in de primaire bundel als ook daarbuiten. Daarom neemt aan de niet belichte zijde de geabsorbeerde dosis in de parotis toe naarmate de buisspanning toeneemt: in

de parotis 30 μSv en 35 μSv bij respectievelijk 65 kV en 90 kV. Dit geldt ook voor de schildklier: 11 μSv en 14 μSv bij 65 kV en 90 kV (tab. I).

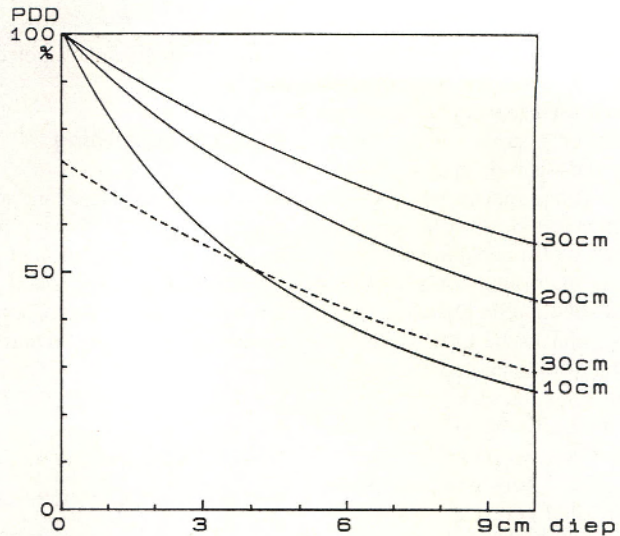
In het algemeen neemt de procentuele dieptedosis af met een toename van de diepte. Dit wordt veroorzaakt door de toename van de afstand tot de focus en door absorptie van fotonen. Dit geldt zowel in de primaire bundel alsook daarbuiten. In de primaire bundel is de geabsorbeerde dosis in de parotis aan de belichte zijde in alle gevallen hoger dan de geabsorbeerde dosis aan de onbelichte zijde (tab. I). Buiten de primaire bundel is de geabsorbeerde dosis in de schildklier in alle gevallen hoger dan in de longtop, omdat de afstand tot de primaire bundel verschillend is (tab. I).

Vooraf bij het gebruik van een relatief kleine röntgenbundel, zoals bij tandheelkundige intra-orale röntgenopnamen, is de invloed van de hoeveelheid verstrooide straling op de dosisverdeling groot. Deze hoeveelheid is afhankelijk van de veldgrootte van de primaire bundel en de fotonenergie. In organen die uitsluitend aan verstrooide straling worden blootgesteld, neemt de geabsorbeerde dosis af als de veldgrootte afneemt. Het effect van de verstrooide straling zal in de primaire bundel minder sterk naar voren komen. In tabel I is de geabsorbeerde dosis in alle gevallen lager bij gebruik van een rechthoekige tubus (een veldgrootte 12 cm^2) dan bij een ronde tubus (28 cm^2). Dit effect is zelfs in de primaire bundel meetbaar: de geabsorbeerde dosis in de huid bij een röntgentoestel met 65 kV is 3,07 mGy bij een veldgrootte van 12 cm^2 en 3,14 mGy bij een veldgrootte van 28 cm^2 . Bij een apparaat met 90 kV is de geabsorbeerde dosis in de huid respectievelijk 1,92 mGy en 2,10 mGy. De geabsorbeerde dosis neemt bij een toestel met 90 kV meer af dan bij 65 kV, omdat de relatieve bijdrage van de hoeveelheid verstrooide straling toeneemt met de fotonenergie.

4 Biologische effecten

De kans op het ontstaan van biologische effecten is zowel afhankelijk van de geabsorbeerde dosis, als van de aard van het bestraalde weefsel. De weefselgevoeligheid hangt onder meer af van de functie van het weefsel voor het organisme en het vermogen beschadigde cellen te herstellen of te vervangen. Voor verschillende weefsels wordt de gevoeligheid uitgedrukt in zogenaamde risicofactoren. Deze risicofactoren geven het verwachte aantal personen aan bij wie zich een biologisch effect zal manifesteren per eenheid geabsorbeerde dosis.

De totale kans op het ontstaan van stochastische effecten (benigne en maligne tumoren en ernstige genetische afwijkingen) wordt geschat op $730 \times 10^{-4}/\text{Sv}$.⁷ De kans



Afb. 1. De procentuele dieptedosis (PDD) weergegeven voor drie verschillende tubuslengtes: 10 cm, 20 cm en 30 cm. De ononderbroken lijnen geven de procentuele dieptedosis weer uitgaande van een maximale dosis van 100% in de huid (diepte 0 cm). De dosis op 10 cm diepte is bij een tubuslengte van 10 cm nog slechts 25%, bij 20 cm nog 44% en bij 30 cm 56%. Omdat de dosis ter plaatse van de film (onafhankelijk van de tubuslengte) gelijk moet zijn, kan de dosis in de huid bij een tubuslengte van 30 cm gereduceerd worden tot 73%. De onderbroken lijn geeft de procentuele dieptedosis weer voor een tubuslengte van 30 cm uitgaande van een maximale dosis in de huid van 73%. De procentuele dieptedosis op 4 cm is evenals bij een tubuslengte van 10 cm 51%.

Tabel I. De geabsorbeerde dosis (μGy) in de schildklier (Th), de longen (L), de hersenen (He), de parotis (Par) aan de belichte (bel) en onbelichte (onb) zijde, de sublinguale speekselklier (Sub) aan de belichte (bel) zijde en in de huid bij bitewing-opnamen onder verschillende opname-omstandigheden: C = ronde, dichte conus; T = ronde, open tubus; R = rechthoekige, open tubus. (FHA = focus-huidafstand)

Type	kV	FHA	cm^2	Th	L	He	Par bel	Par onb	Sub bel	Huid	
Oralix	50	10	C	28	29	2	10	391	20	236	9700
Oralix	50	20	T	28	9	1	8	329	27	49	7180
Practix	65	23	T	28	11	1	8	122	30	50	3140
Practix	90	23	T	28	14	2	10	85	35	52	2100
Oralix	65	20	R	12	4	1	2	56	10	17	3260
Practix	65	23	R	12	4	1	4	55	15	22	3070
Practix	90	23	R	12	7	1	6	35	23	30	1920

Tabel II. De kans op het ontstaan van zgn. stochastische effecten per miljoen röntgenopnamen (stoch eff) (benigne en maligne tumoren en ernstige genetische afwijkingen) is afhankelijk van de effectieve dosis (eff dosis). De effectieve dosis is een maat voor de geabsorbeerde dosis en de stralingsgevoeligheid van een weefsel. De kans geeft het verwachte aantal personen in Nederland (NL) weer bij wie zich een stochastisch effect zal manifesteren. De spreiding geeft de verschillen aan die ontstaan door de keuze van verschillende opname-omstandigheden onder ideale laboratoriumomstandigheden.

Type opname	Eff dosis (μSv)	Stoch eff $\times 10^{-6}$	Kans (NL)
Bitewing-opname (1 opname)			
D-speed	1-4	<0,1-0,3	
E-speed	1-3	<0,1-0,2	
Status Totalis (20 opnamen Oralix 65)			
D-speed	19-36	1,4-2,6	
E-speed	11-22	0,8-1,6	
Intra-orale opnamen			
Tomografische panorama-opnamen	<1-4	<0,1-0,3	0-2
	6-11	0,4-0,8	0-1

voor de verschillende organen wordt gewogen ten opzichte van de totale kans: de weefactor voor de gonaden is 0,20, voor de schildklier 0,05. Deze weefactor is verwerkt in de effectieve dosis van een weefsel; de effectieve dosis is de geabsorbeerde dosis vermenigvuldigd met de weefactor.

De totale effectieve dosis voor een bitewing-opname met D-speed films varieert, afhankelijk van de opnameomstandigheden van 0,9 μ Sv tot 4,3 μ Sv. De kans op het ontstaan van stochastische effecten wordt voor een bitewing-opname geschat op 0,1-0,3 per miljoen opnamen. De kans op het ontstaan van stochastische effecten wordt voor een totale röntgenstatus met D-speed films geschat op 1,5-5 personen per miljoen opnamen.^{9 10} Bij het gebruik van E-speed films is de kans 40 tot 50% lager.

In Nederland worden jaarlijks ongeveer 6×10^6 intra-orale röntgenopnamen vervaardigd.^{11 12} De kans op het ontstaan van stochastische effecten ten gevolge van intra-orale röntgenopnamen wordt voor Nederland geschat op 0 tot 2 personen per jaar.

Voor tomografische panorama-opnamen kan eveneens een schatting worden gemaakt van de kans op het ontstaan van stochastische effecten. De geabsorbeerde dosis in de stralingsgevoelige weefsels is in het algemeen lager dan bij een volledige status, maar hoger dan bij vier bitewing-opnamen.¹³ In de schildklier, de hersenen, de larynx en de oesophagus daarentegen is de geabsorbeerde dosis hoger dan bij een volledige status. De geabsorbeerde dosis varieert significant wanneer verschillende tomografische panorama-röntgenapparatuur met elkaar vergeleken worden.¹³ De kans op het ontstaan van stochastische effecten ten gevolge van tomografische panoramaopnamen varieert van 0,4 tot 0,8 personen per miljoen opnamen.

Er zijn geen nauwkeurige gegevens bekend over het aantal tomografische panorama-opnamen dat jaarlijks in Nederland gemaakt wordt. Internationaal is het aantal in 1982 geschat op ongeveer 20% van het aantal intra-orale röntgenopnamen.¹⁴ Dit percentage is voor Nederland waarschijnlijk te hoog. Gegevens van de Commissie Tandheelkundige Statistiek voor 1989 resulteren voor ziekenfondsverzekerden in een percentage van circa 5%.¹⁵ Uitgaande van een percentage variërend van 5% tot 20% resulteert dit voor Nederland in een kans op het ontstaan van stochastische ef-

fecten ten gevolge van tomografische panorama-opnamen van 0-1 persoon per jaar.

5 Slotbeschouwing

De kans op het ontstaan van stochastische effecten onder de Nederlandse bevolking door intra-orale röntgenopnamen wordt geschat op 0 tot 2 personen per jaar en op 0 tot 1 persoon per jaar door tomografische panorama-opnamen. Daarentegen wordt

de kans op het ontstaan van stochastische effecten ten gevolge van blootstelling aan de achtergrondstraling in Nederland geschat op 175 per miljoen inwoners, of wel 2500 personen per jaar (2,4 mSv per jaar).¹⁴

De relatief geringe kans op het ontstaan van stochastische effecten rechtvaardigt het maken röntgenopnamen in de tandheelkunde, mits de verwachting bestaat dat deze extra diagnostische informatie opleveren en onder optimale opnameomstandigheden vervaardigd worden.

Summary

ESTIMATES OF PROBABILITY FOR STOCHASTIC EFFECTS IN DENTAL RADIOGRAPHY

Key words: Dental radiography - Radiation dosage

Biological effects of ionising radiation are dependent on the distribution of doses in tissue. In this article parameters influencing the distribution of dose in tissue are discussed with emphasis on intraoral and rotational panoramic radiography. For both examinations the probability to develop stochastic effects is estimated. For intraoral radiography the probability ranges from 0.1 to 0.3 per million exposures and for rotational panoramic radiography from 0.4 to 0.8 per million. For the whole Dutch population the probability to develop stochastic effects is 0-2 persons per year and 0-1 person per year respectively. Dental radiography is therefore justified if further diagnostic information is to be expected and exposure circumstances are optimal.

Literatuur

- ¹SCHNEIDER GH. Zum Strahlenschutz aus geschichtlicher Schau. *Stralotherapie* 1965; 125: 460-77.
- ²VAN AKEN J. De betekenis van het onderzoek van Röntgen voor de huidige röntgenologie. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1968; 75: 585-601.
- ³KATHREN RL. Before transistors, JC's and all those other good things: the first fifty years of radiation monitoring instrumentation. In: Kathren RL, Ziemer PL, eds. *Health Physics. A backward glance. Thirteen original papers*. Oxford: Pergamon Press, 1980: 167-9.
- ⁴CURRY TS, DOWDEY JE, MURRY RC. *Christensen's physics of diagnostic radiology*. 4th edition. Philadelphia, London: Lea & Febiger, 1990.
- ⁵BROERSE JJ, HENNEN LA, HERMENS AF, ZOETELIEF J. *Grondbeginselen stralingsfysica en radiobiologie voor medische toepassingen*. Leiden, Rijswijk: IRS & RBI-TNO.
- ⁶VELDERS XL, VAN AKEN J, VAN DER STELT PF. The absorbed dose to organs in the head and neck from bitewing radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20: 161-5.
- ⁷INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press, 1991.
- ⁸VELDERS XL, VAN AKEN J, VAN DER STELT PF. Risk assessment from bitewing radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20: 209-13.
- ⁹STENSTRÖM B, HENRIKSON CO, KARLSSON L, SARBY B. Effective dose equivalent from intraoral radiography. *Swed Dent J* 1987; 11: 71-7.
- ¹⁰GIBBS SJ, PUJOL A, CHEN T-S, JAMES A. Patient risk from intraoral dental radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1988; 17: 15-23.
- ¹¹VAN AKEN J. Het verbruik van intra-orale röntgenfilms in de periode 1958-1988. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 1991; 98: 362-4.
- ¹²VELDERS XL. Patient exposure due to bitewing radiography. Amsterdam: Vrije Universiteit, 1989. Academisch proefschrift.
- ¹³GIBBS SJ, PUJOL A, MCDAVID WD, WELANDER U, TRONJE G. Patient risk from rotational panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1988; 17: 25-32.
- ¹⁴UNITED NATIONS. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988. Report to the General Assembly, with annexes. Vienna: United Nations, 1988. United Nations publication. Sales no. E.88.IX.7.
- ¹⁵COMMISSIE TANDHEELKUNDIGE STATISTIEK. *Statistisch Overzicht 1989*. Zeist: Commissie Tandheelkundige Statistiek, 1990.