

1. Inleiding

Deze brochure dient als informatiebrochure voor verpleegkundigen en technologen van het Ziekenhuis Oost-Limburg die starten op een dienst waar gebruik wordt gemaakt van röntgenstralen (ioniserende straling).

Aangezien röntgenstralen of X-stralen niet zintuigelijk waarneembaar zijn, bekruipt velen een gevoel van onbehagen bij het betreden van een röntgenzaal of bij het maken van röntgenopnamen aan bed. Dit gevoel is vaak gebaseerd op onvoldoende voorlichting. Daarom heeft deze brochure tot doel u reeds een minimale basiskennis te geven over de veiligheidsaspecten m.b.t. het werken met röntgenstralen.

Daarnaast bent u echter ook verplicht om de cursus radioprotectie, die tweejaarlijks georganiseerd wordt door het ZOL in samenwerking met het Jessa ziekenhuis, te volgen en het bijhorende certificaat te behalen.

2. Wetgeving

2.1 Wettelijke organisatie

De wetgeving inzake ioniserende straling wordt geregeld door het Koninklijk Besluit van 20 juli 2001 houdende Algemeen Reglement op de Bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de Ioniserende Stralingen (ARBIS). Dit reglement is van toepassing op alle handelingen die een risico kunnen inhouden ten gevolge van blootstelling aan ioniserende stralingen.

De volledige wettekst van het reglement kan men downloaden op de website van het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) of via volgende link:

<http://www.jurion.fanc.fgov.be/jurdb-consult/>

2.2 Opleiding en informatie

De werkgever is verplicht beroepshalve blootgestelde personen vóór hun tewerkstelling (of op de eerste dag van de tewerkstelling) te informeren over de verschillende aspecten rond het werken met ioniserende straling. De informatie zal herhaald worden in functie van de behoeften en minstens eenmaal per jaar.

De informatie heeft o.a. betrekking op:

- de arbeidsrisico's;
- de basisnormen en regels van goede praktijk;
- de symbolen en vermeldingen;
- de richtlijnen in noodgeval op niveau van de werkplaats en van de onderneming;
- het belang van de naleving van technische en medische voorschriften met speciale aandacht voor de gevoeligheid van embryo en foetus voor ioniserende straling en de noodzaak tot snelle aangifte van een zwangerschap;
- nauwkeurige opleiding betreffende de bediening en het gebruik van installaties.

3. Wat zijn ioniserende stralen?

Ioniserende stralen zijn stralen die ionisaties (losmaken van elektronen uit de atomen) veroorzaakt als ze op materie invalt. Er zijn twee soorten ioniserende stralen nl. deeltjes en fotonenstraling. Deeltjes straling zijn geladen deeltjes die uit de kern van de atomen ontsnappen. Fotonen straling zijn elektromagnetische stralen net zoals ultraviolet licht, zichtbaar licht, infrarood stralen, micro- en radiogolven. Er zijn twee soorten fotonen straling namelijk γ en X-stralen. Al deze verschillende ioniserende stralen worden uitgelegd in de te volgen de cursus radioprotectie. Omdat u in het ziekenhuis enkel met X-stralen (verder röntgenstralen genoemd) in contact komt wordt in deze brochure enkel over röntgenstralen gesproken.

Röntgenstralen voor medische toepassingen worden kunstmatig gegenereerd in een röntgenbuis. De werking van een röntgenbuis zal uitgelegd worden in de cursus radioprotectie. Belangrijk om te weten is dat een röntgenbuis elektriciteit nodig heeft om röntgenstralen te kunnen genereren. Aangezien de stroomtoevoer manueel kan geregeld worden, kan de verpleegkundige/technoloog die het toestel bedient dus zelf bepalen wanneer er röntgenstralen geproduceerd worden.

4. Schadelijke effecten van ioniserende stralen

Röntgenstralen kunnen een schadelijk effect hebben op het menselijk lichaam. In de cursus radioprotectie worden de verschillende effecten van ioniserende stralen zeer uitgebreid uitgelegd. Samengevat zijn er twee belangrijke categorieën:

4.1. Deterministische effecten

Functionele en morfologische schade aan gezonde weefsels worden deterministische effecten genoemd. Deze effecten treden pas op wanneer een zekere drempeldosis overschreden wordt. De ernst van de schade aan de gezonde weefsels tengevolge van straling hangt af van de dosis. Bij doses kleiner dan 200 mSv zijn tot op heden geen deterministische effecten waargenomen. Dat is ondermeer bevestigd bij een aantal personen die zijn ingezet ter bestrijding van de gevolgen van het reactorongeluk in Tsjernobyl. Deterministische effecten zijn het gevolg van een tekort aan functionele cellen. Bij bestraling van het gehele lichaam komen ze het eerst tot uiting in organen, die voor hun functioneren een voortdurende aanmaak van cellen behoeven, zoals de bloedvormende organen, het maag-darmkanaal en in mindere mate de huid.

In de stralingsbescherming zijn de deterministische effecten van ondergeschikt belang aangezien de drempeldoses, waarbij deze effecten kunnen optreden, zeer hoog zijn en dus zelden overschreden worden.

Tabel 1 heeft de drempeldosissen weer voor deterministische effecten na bestraling van het hele lichaam. In tabel 2 staan enkele voorbeelden van deterministische effecten na lokale bestraling van een lichaamsdeel.

Dosis (Gy)	Effect bij bestraling van het hele lichaam
0,2-1	Vermindering van het aantal witte bloedcellen.
2-4	Fataal beenmergsyndroom
4-10	Fataal maag-darm syndroom
10-100	Centraal zenuwstelsel syndroom

Tabel 1: Drempelwaarde en deterministische effecten bij volledige lichaamsbestraling

Dosis (Gy)	Effect bij éénmalig lokale bestraling
3-8	Erytheemvorming (het rood worden van de huid) en ontharing.
3-5	Permanente steriliteit bij de man.
2-6	Permanente steriliteit bij de vrouw.
5	Staarvorming van het oog (cataract) (laat effect).
30-80	Schade aan overige organen zoals het hart, lever, alvleesklier en speekselklieren.

Tabel 2: Drempelwaarde en deterministische effecten bij bestraling van een lichaamsdeel

4.2. Stochastische effecten

Stochastische of kans gebonden effecten zijn effecten waarvan de kans op inductie toeneemt met de dosis en waarbij er dus geen sprake is van een drempeldosis. Het gaat hier over een alles of niets effect. Tot de stochastische effecten behoren genetische effecten en tumorinductie.

Van stochastische effecten weten we nooit of ze gaan voorkomen maar de kans wordt wel groter bij hogere stralingsdosissen.

Deze effecten zijn pas 10 tot 30 jaar na de blootstelling zichtbaar. De kans op kanker ten gevolge van blootstelling aan ioniserende stralen is 5%/Sv.

Bovenstaande cijfers zijn misschien erg angstaanjagend, maar ze moeten uiteraard in perspectief geplaatst worden. Tabel 3 toont bv. hoeveel dagen men gemiddeld minder lang leeft door allerlei risico's uit het dagdagelijkse leven.

Roken van 20 sigaretten per dag	2370	Ongevallen thuis	95
20% overgewicht	985	3 mSv gedurende 30 jaar	49
Werken in de bouw	302	Ongeval met voetgangers	37
Rijden met de wagen	207	Koffie	6

Tabel 2: Drempelwaarde en deterministische effecten bij bestraling van een lichaamsdeel

Werken met ioniserende stralen is dus niet het grootste risico dat we nemen op voorwaarde dat we ons houden aan de regels van de stralingsbescherming.

5. Dosimetrie

5.1 Geabsorbeerde dosis

Een grootheid die zowel voor deeltjes- als voor fotonenstraling mag worden gebruikt is de geabsorbeerde dosis (D), kortweg de dosis. De hiervoor gebruikte dimensie is de hoeveelheid geabsorbeerde energie per kilogram materiaal (J/kg). De afgesproken eenheid voor geabsorbeerde dosis is gray (Gy), $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Eén gray is echter een grote dosis, in de praktijk wordt daarom vaak gebruik gemaakt van μGy of mGy .

5.2 Orgaandosis

De orgaandosis is de geabsorbeerde dosis opgenomen door een specifiek orgaan. De eenheid voor orgaandosis is dus ook gray (Gy).

5.3 Equivalente dosis

In weefselcellen kan de geabsorbeerde stralingsenergie schade veroorzaken. Deze schade is bij dezelfde afgegeven energie echter niet voor elke stralingssoort hetzelfde. α -Deeltjes zullen namelijk in een beperkt gebied heel veel ionisaties veroorzaken waardoor de stralingschade in dat gebied veel groter is dan bij dezelfde energieafgifte van bijvoorbeeld röntgenstraling. Dit wordt het verschil in biologische effectiviteit genoemd. Dit betekent dat de grootheid "geabsorbeerde dosis" niet de juiste grootheid is om stralingschade van verschillende stralingssoorten met elkaar te vergelijken. Door de dosis te vermenigvuldigen met een stralingsweegfactor (WR) wordt voor dit verschil in biologisch effect gecorrigeerd. De stralingsweegfactor voor α -straling is 20 en voor röntgenstraling 1.

De eenheid is nog steeds J/kg. Om een onderscheid te maken tussen de geabsorbeerde dosis en de equivalente dosis, wordt deze laatste echter uitgedrukt in sievert (Sv). Met behulp van de equivalente dosis (H) is het dus wel mogelijk om de stralingschade van de verschillende stralingssoorten met elkaar te vergelijken en kan de dosisbijdrage van verschillende soorten straling bij elkaar worden opgeteld.

- 1 Gray röntgenstraling veroorzaakt een equivalente dosis van 1 Sv
- 1 Gray α -straling veroorzaakt een equivalente dosis van 20 Sv
- 1 Gray α -straling + 1 Gray röntgenstraling veroorzaakt een equivalente dosis van 21 Sv.

5.4 Effectieve dosis

Omdat het effect van ioniserende straling niet op alle organen en weefsels even groot is, wordt ook nog gecorrigeerd voor het orgaan of weefsel waarin de straling is geabsorbeerd. Deze correctie kan worden uitgevoerd door het invoeren van een weefselweegfactor (WT). De weefselweegfactoren zijn afgeleid uit de relatieve stralingsgevoeligheid van de organen en weefsels voor het ontstaan van stochastische effecten.

In tabel 3 zijn voor de verschillende organen en weefsels de weegfactoren gegeven. De waarden zijn afgeleid van een referentiebevolking met een gelijke hoeveelheid mannen en vrouwen. Het stochastisch risico als gevolg van een equivalente dosis van een orgaan kan door middel van de weegfactor worden omgerekend naar een vergelijkbaar risico voor een bestraling van het gehele lichaam. Wanneer alle organen en weefsels afzonderlijk eenzelfde equivalente dosis van bijvoorbeeld 1 Sv hebben is dit gelijk aan een bestraling van het gehele lichaam waarbij 1 Sv wordt ontvangen. Het totaal van alle weefselweegfactoren is tenslotte gelijk aan 1. De som van alle equivalente doses van de bestraalde organen en weefsels, elk vermenigvuldigd met de bijbehorende weegfactor, wordt de effectieve dosis (E) genoemd, eveneens met de eenheid sievert.

Orgaan	Weegfactor (wT)
Gonaden	0.08
Rode beenmerg	0.12
Dikke darm	0.12
Longen	0.12
Maag	0.12
Borstklier	0.12
Blaas	0.04
Lever	0.04
Schildklier	0.04
Slokdarm	0.04
Huid	0.01
Botoppervlak	0.01
Hersenen	0.01
Speekselklieren	0.01
Overige	0.12
Totaal	1

Tabel 3 :Weefselweegfactoren

6. Persoonlijke dosimeter

Alle medewerkers die beroepshalve blootgesteld kunnen worden aan ioniserende stralen, zijn verplicht een dosimeter te dragen. Deze verplichte dosimeter, die strikt persoonlijk is, een uniek nummer heeft en niet onderling geruild mag worden, wordt ter hoogte van de borst gedragen. Indien men tijdens de werkzaamheden een loodschort draagt (bv. coronarografie, interventionele radiologie, operatiekwartier (OK), ...) wordt de verplichte dosimeter gedragen ter hoogte van de borst onder de loodschort. Deze dosimeter heeft steeds een G (globale dosis) staan in zijn nummering (zie figuur 1).

In sommige röntgenzalen is het verplicht een tweede dosimeter te dragen. De tweede persoonlijke dosimeter (schildklierdosimeter) moet in dit geval gedragen worden boven de loodschort. De schildklierdosimeter is te herkennen met het symbool  op de etiket en de letter T (thyroid) in de nummering. De schildklierdosimeter wordt in de rode houder geplaatst om deze snel het herkennen (Zie figuur 2). Met uitzondering van de maanden juli-augustus en december-januari worden de dosimeters maandelijks omgewisseld (OK tweemaandelijks) zodat de individueel opgelopen dosis uitgelezen kan worden. De preventiedienst volgt uw opgelopen hoeveelheid stralen op, samen met de arbeidsgeneesheer. Indien u aan te veel stralen bent blootgesteld, wordt u door de preventieadviseur hiervan op de hoogte gesteld. U kan steeds uw jaarlijkse stralingsdosis opvragen tijdens uw jaarlijks medisch onderzoek bij de arbeidsgeneesheer. De wettelijke dosislimiet voor beroepshalve blootgestelde personen is **20 mSv per 12 opeenvolgende glijdende maanden**.



Figuur 1: Dosimeter te dragen onder de loodschort.
De dosimeter heeft de letter G (global)



Figuur 2: Dosimeter te dragen OP de loodschort.
De dosimeter heeft de letter T (Thyroid)

Personen die beroepshalve blootgesteld worden aan ioniserende straling, maar nog niet in het bezit zijn van een dosimeter, kunnen, via hun diensthoofd, hiervoor een aanvraag indienen bij de dienst preventie en milieu van het ziekenhuis (Heidi.Palmers@zol.be). Indien men zijn/haar dosimeter verloren heeft, dient dit ook aan Heidi Palmers gemeld te worden.

7. Basisregels stralingsbescherming

Er zijn drie belangrijke regels die men ten alle tijden moet toepassen om zichzelf te beschermen tegen ioniserende straling: afscherming van de bron, afstand tot de bron en minimale blootstellingsduur.

7.1 Afscherming van de bron

Ioniserende stralen worden zeer sterk tegengehouden door lood en beton.

De muren, vloer, plafond en deuren van röntgenzalen zijn voorzien van loodafscherming om buitenstaanders/passanten te beschermen tegen de ioniserende stralen opgewekt in de zaal. Het personeel op zaal neemt steeds plaats achter een loodglas wanneer hun aanwezigheid op zaal niet vereist is tijdens het onderzoek/procedure. Soms is het echter noodzakelijk om bij de patiënt te blijven tijdens het onderzoek (bv. punctie/biopsie/interventionele radiologie/...). In dit geval draagt u de op zaal aanwezig zijnde beschermingsmiddelen: loodschort (of loden rok en vest) en schildklierbeschermer. Vaste toestellen in zalen waar men altijd naast de patiënt werkt tijdens het toedienen van straling (cathlab, interventionele radiologie) zijn uitgerust met mobiele loden afscherming.



Figuur 3: Voorbeeld van een loden venster voor de console en loden gordijnen aan de tafel



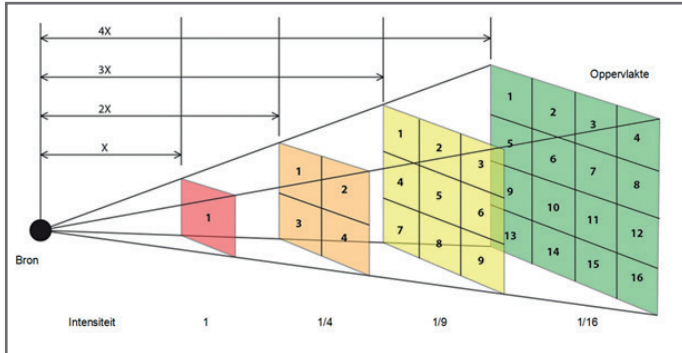
Figuur 4: Loodschort en schildklierbeschermer zijn verplicht te dragen indien men niet achter het loodglas kan staan.

7.2 Afstand tot de bron

Indien men tijdens het onderzoek/procedure op zaal moet zijn, blijft men best zo ver mogelijk verwijderd van de röntgenbron. Hoe verder men van de bron verwijderd is, hoe kleiner de opgelopen dosis. De dosis is omgekeerd evenredig aan het kwadraat van de afstand.

Dit betekent dat wanneer de afstand 2 maal zo groot wordt het dosistempo met een factor $2^2 = 2 \times 2 = 4$ afneemt. Bij vergroten van de afstand met een factor 3 wordt het dosistempo $3^2 = 3 \times 3 = 9$ keer zo klein.

Dit heet de omgekeerde kwadratenwet.



Figuur 5: Bij verdubbeling van de afstand krijg je maar $\frac{1}{4}$ van de hoeveelheid stralen

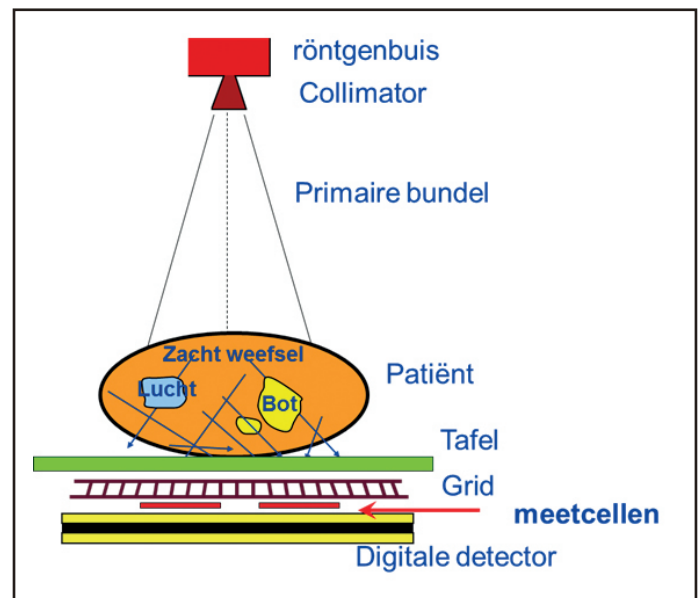
7.3 Blootstellingsduur

Dit is de meest logische maatregel: hoe korter de blootstellingsduur, hoe kleiner de stralingsdosis. Het nemen van opnames of het gebruik van fluoroscopie moet tot een minimum beperkt zijn.

8. Werkingsprincipe klassieke röntgenopname

Een RX-opstelling is opgebouwd uit een röntgenbuis, collimator, tafel, grid, meetcellen en een detector. De röntgenbuis genereert röntgenstralen van zodra er spanning op de buis wordt gezet. De röntgenbuis is omhuld met lood (voor afscherming van de stralenbron). Aan één zijde is er een venster voorzien waarlangs de X-stralen de buis kunnen verlaten. Op deze uitgang staat steeds een collimator die bestaat uit verschillende loden lamellen. Met de collimator kan de vorm en de grootte van het röntgenveld aangepast worden. Het zo klein mogelijk houden van het röntgenveld is een zeer belangrijke manier om de dosis zo laag mogelijk te houden.

De röntgenbundel die door de collimator gaat noemen we de primaire bundel. De patiënt wordt tussen de primaire bundel en de detector gepositioneerd om een beeld te maken. Wanneer de primaire bundel naar de patiënt wordt gericht, zal een deel van de röntgenstralen geabsorbeerd worden door de weefsels en organen, een deel zal doorheen de patiënt gaan en een deel zal botsen met structuren in het menselijk lichaam alsook met de tafel. Door de botsing verliezen de röntgenstralen in kwestie een gedeelte van hun energie en zullen ze bovendien van richting veranderen. Deze stralen worden stroostralen genoemd. Zowel het niet-geabsorbeerde gedeelte van de primaire bundel als de stroostralen (die in alle richtingen lopen) komen terecht op de digitale detector. Deze zet de verschillen in ontvangen stralen (bot houdt meer stralen tegen dan zacht weefsel of lucht waardoor de detector meer stralen meet onder zacht weefsel dan onder bot) om in een beeld.



Figuur 6: Schematische voorstelling van het werkingsprincipe van een röntgenopname

Om de stroostralen weg te filteren en zo de kwaliteit van het beeld te optimaliseren, wordt er een grid of rooster geplaatst tussen de patiënt en de detector (voor het exacte werkingsprincipe van de grid of het

stroostralenrooster verwijzen we naar de cursus 'Radioprotectie'). De meetcellen zorgen ervoor dat de hoeveelheid stralen aangepast wordt aan de dikte van de patiënt (bij obese patiënten is er een hogere dosis nodig om dezelfde beeldkwaliteit te krijgen).

9. Vasculaire en interventionele radiologie

Bij vasculaire en interventionele radiologie staat de uitvoerende arts naast de patiënt wanneer er stralen worden gebruikt. De aanwezigheid van verpleegkundigen naast de patiënt kan eveneens vereist zijn tijdens de procedures.

Bij vasculaire en interventionele radiologie maakt men gebruik van 2 soorten opnames: fluoroscopie (doorlichting) en cinégrafie opname.

9.1 Fluoroscopie

Fluoroscopie is een techniek waarbij de patiënt gedurende langere tijd doorgelicht wordt, zodat men kan zien hoe afgebeelde lichaamsdelen bewegen of hoe een zich in het beeld bevindende sonde of katheter zich verplaatst tijdens een operatie. Fluoroscopie helpt de chirurg om de katheter naar de juiste plaats te navigeren. Er worden echter geen beelden opgeslagen. Het gaat hier enkel om doorlichting van de patiënt.

Deze techniek wordt gebruikt tijdens het grootste deel van de interventionele handeling.

9.2 Cinégrafie

Cinégrafie is het maken van een serie radiografische beelden die men achteraf als een film kan afspelen. De gemaakte beelden zijn van een veel hogere kwaliteit dan de fluoroscopiebeelden. De beelden worden opgeslagen zodat ze later opnieuw bekeken kunnen worden.

Om cinégrafie beelden te maken zal het toestel veel meer stralen geven in vergelijking met fluoroscopie. Het dosistempo is typisch 10 keer hoger onder cinégrafie dan onder fluoroscopie.

Tijdens het nemen van de cinégrafie is de aanwezigheid naast de patiënt niet altijd noodzakelijk. Dus voor het nemen van de cinégrafie opnames dient men dus na te gaan welke bijkomende beschermingsmaatregelen mogelijk zijn (vb. afstand vergroten, achter loodglas staan, de cinégrafie zo kort mogelijk houden).

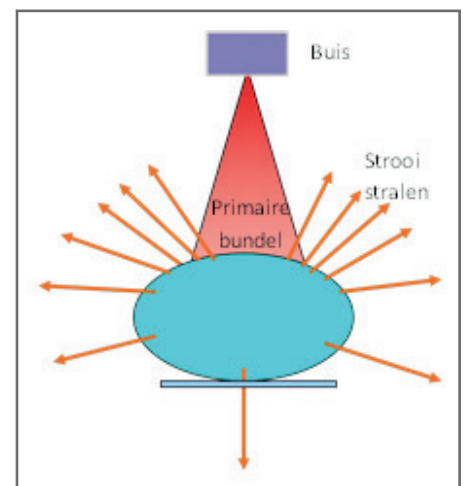
10. Primaire stralen en stroostralen?

Het verschil tussen de primaire bundel en stroostralen wordt weergegeven in figuur 7. Primaire stralen zijn de stralen die rechtstreeks uit de röntgenbuis komen. De hoeveelheid primaire stralen kan geregeld worden met de collimator. Bij heel wat toestellen wordt de primaire bundel zichtbaar gemaakt met een lamp in de buis. Zo kan men visueel zien waar de primaire bundel is. Bij C-bogen is dit niet zichtbaar, maar hier is de primaire bundel nooit groter dan de detector.

De primaire bundel is altijd een hoge dosis stralingsbundel. Het is dan ook uitermate belangrijk om niet met je handen in de primaire bundel te beerven tijdens een onderzoek.

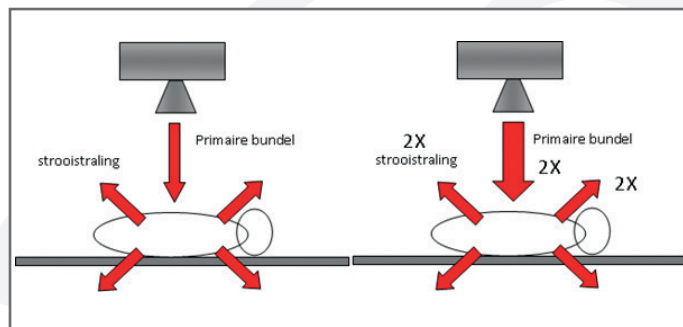
Stroostralen ontstaan door botsingen van de primaire stralen met de patiënt en/of de tafel. Stroostralen hebben een lagere energie dan de primaire stralen en stralen in alle richtingen. Het is dus ook belangrijk om jezelf te beschermen tegen stroostralen wanneer je op zaal aanwezig moet zijn tijdens een onderzoek/procedure.

Dit kan je door rekening te houden met onderstaande kenmerken van stroostraling:



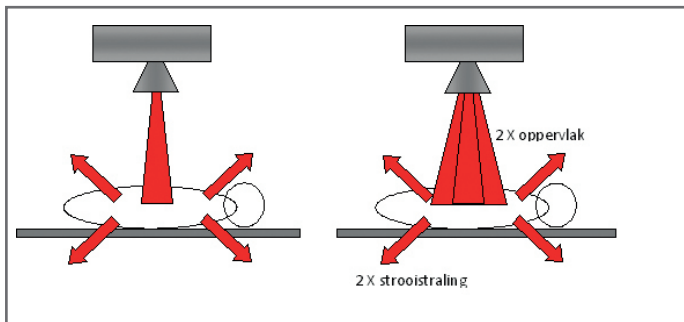
Figuur 7: Schematische voorstelling van primaire bundel en stroostralen

1. De dosis van de stroostraling is evenredig met de primaire bundel (Figuur 8). Als de intensiteit van de primaire bundel verdubbelt, verdubbelt ook die van de stroostraling. De intensiteit van de primaire bundel hangt af van het gekozen programma en de dikte van de patiënt (bij obese patiënten gaat het toestel meer stralen geven)



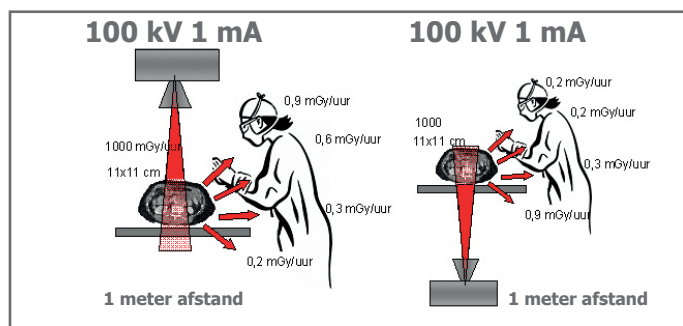
Figuur 8: Als de intensiteit van de primaire bundel verdubbelt, verdubbelt ook de intensiteit van de scatterstralen.

2. De stroostraling is evenredig met het oppervlak van de primaire bundel (Figuur 9). Verdubbelt het oppervlak dat bestraald wordt, dan verdubbelt ook de hoeveelheid stroostraling. Je moet dus steeds zo veel mogelijk diafragmeren zodat je enkel bestraalt wat echt nodig is.



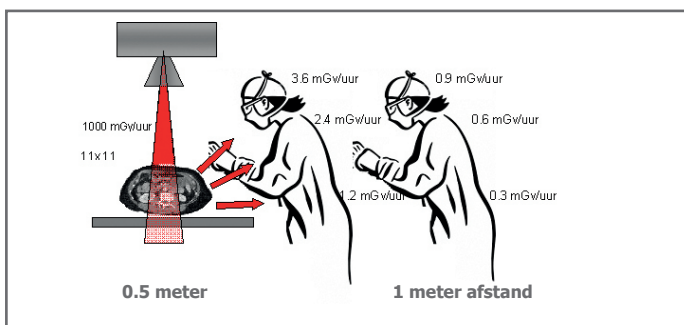
Figuur 9: Als het bestraalde oppervlak verdubbelt, verdubbelt ook de hoeveelheid stroostraling

3. Stroomstraling is schuin achterwaarts gericht (Figuur 10). De hoogste intensiteit van de stroostraling is schuin terug richting de buis. De laagste intensiteit stroostraling is achter de patiënt. Je ontvangt dus veel minder stroostraling met de buis onder tafel dan wanneer de buis zich boven de tafel bevindt.



Figuur 10: De hoogste intensiteit stroostraling is schuin achterwaarts gericht

4. Voor niet al te korte afstanden tot de patiënt kan voor de dosis in het stroostralingsveld de omgekeerde kwadratenwet worden toegepast (Figuur 11).



Figuur 11: Bij verdubbeling van de afstand krijg je maar 1/4 van de hoeveelheid stroostraling

11. De gecontroleerde zone

Iedere zaal waarin een röntgentoestel staat alsook de bijhorende bedieningsruimte is een gecontroleerde zone. Deze zones zijn aangeduid met het logo in figuur 12. Iedere beroepshalve blootgestelde persoon die een gecontroleerde zone betreedt, is verplicht een dosimeter te dragen. Patiënten moeten geen dosimeter dragen. In de controleerde zone is het verboden om te eten en drinken.

Figuur 12: symbool voor gecontroleerde zone

