

AANGEWENDE TECHNIEKEN: NUCLEAIRE GENEESKUNDE

Inleiding

Het principe van radioactiviteit en radioactieve straling werd beschreven op het einde van de negentiende eeuw, maar pas tijdens de tweede wereldoorlog zal het gebruik ervan een hoge vlucht nemen, in eerste instantie op militair gebied met de ontwikkeling van de atoom- en de waterstofbom, maar ook, en vooral, op vreedzaam gebied, in de medische wereld en als energieleverancier.

Op medisch gebied zijn er drie disciplines welke gebruik maken van radioactieve straling: radiologie, radiotherapie en nucleaire geneeskunde.

Nucleaire geneeskunde is de medische discipline welke gebruik maakt van ioniserende straling om diagnostische en therapeutische handelingen uit te voeren. De oorsprong van de gebruikte ioniserende straling, de wijze waarop de patiënt (en de omgeving) hieraan wordt blootgesteld en de manier waarop die straling gedetecteerd wordt door de camera's is dusdanig verschillend van radiologie dat het een apart specialisme is.

Men maakt er gebruik van zogenaamde open bronnen. Deze open bronnen bevatten radioactieve isotopen welke onder verschillende vorm en op verschillende wijze aan de patiënten worden toegediend, zij het in hun vrije vorm dan wel gebonden aan een ligand teneinde een welbepaalde orgaan- of weefsel-specificiteit te bekomen.

Historisch gezien omvat nucleaire geneeskunde drie takken:

De 'in vitro' onderzoeken omvatten alle tests welke in een laboratorium worden uitgevoerd dmv radioactieve liganden, en worden zowel voor de primaire diagnose als follow-up onderzoek uitgevoerd. Sedert een tiental jaar worden deze tests echter systematisch vervangen door niet-radioactieve diagnosemiddelen. De problemen die ontstonden op gebied van stralingsbescherming (er werd vaak gebruik gemaakt van relatief langlevende en/of vluchtige isotopen) zijn hieraan zeker niet vreemd.

Een tweede en op heden belangrijkste tak vormen de 'in vivo' onderzoeken waarbij de producten niet in een laboratorium aan bloed of andere vochten van een patiënt worden toegevoegd, maar rechtstreeks aan de patiënt worden toegediend. Meestal worden er dan in de daarop volgende uren beelden gemaakt van de patiënt of van een deel ervan. Hierbij zal de functie van een orgaan of celstructuur in het licht worden gesteld waardoor dit type onderzoek 'functionele' onderzoeken worden genoemd, als onderscheid met radiologie welke 'anatomische' onderzoeken zijn.

Een laatste onderdeel van nucleaire geneeskunde vormen de therapieën: hierbij wordt uitdrukkelijk gebruik gemaakt van de schadelijke effecten van ioniserende stralingen, maar door een grondige kennis van de principes van radioactiviteit en door gebruik te maken van aangepaste isotopen en dosissen kunnen deze schadelijke effecten nuttig aangewend worden. Deze therapieën worden niet enkel gebruikt bij de behandeling van tumoren maar ook goedaardige aandoeningen kunnen hierdoor effectief en eenvoudig behandeld worden (denken we hierbij maar aan schildklier- en gewrichtsaandoeningen).

In al deze gevallen wordt er op een verschillende manier gebruik gemaakt van ioniserende straling, en zullen dus ook de maatregelen voor de bescherming hiertegen van elkaar verschillen, zoals verderop duidelijk zal worden.

Bij het diagnostisch gebruik van ioniserende straling is het noodzakelijk om de onzichtbare straling om te zetten in een zichtbaar signaal, bij voorkeur op een permanent medium.

Hierbij wordt in de nucleaire geneeskunde gebruik gemaakt van gamma- en PET-camera's afhankelijk van het gebruikte isotoop.

Een isotoop is een 'instabiel' nuclide dat een overmaat aan protonen of neutronen bezit en streeft naar een meer stabiele status. Dit isotoop zal vervallen naar een meer stabiele vorm door afgave van een deel van zijn overbodige energie.

Dit kan dmv van het alfa-verval, waarbij een heliumatoom wordt uitgestoten samen met vrijzetting van energie. Dit treed enkel op bij radionucliden met een zeer grote massa. Door de omvang en de lading van het alfa-partikel veroorzaakt het zeer veel schade bij de doorgang doorheen biologisch weefsel en wordt het niet toegepast in de nucleaire geneeskunde.

Een tweede vorm van radioactief verval ontstaat door beta-verval, hierbij wordt een neutron omgezet in een proton en wordt een elektron vrijgezet.

Bij positron verval zal een proton worden omgezet in een neutron en een positron dat het antideeltje is van een elektron. Hierdoor zal het snel annihileren (versmelten) met een elektron waarbij twee gammastralen van 512 keV gevormd worden.

Een laatste vorm van verval is het gamma-verval, dit ontstaat als deel van een alfa- of betaverval maar ontstaat ook wanneer een meta-stabiel atoom naar zijn grondtoestand terugvalt zoals bij het in de nucleaire geneeskunde meest gebruikte Tc-99m ('m' van metastabiel). Deze gammastralen bezitten geen massa maar enkel een lading (fotonen).

Het verval van een instabiele nucleus naar een meer stabiele toestand is een spontaan en willekeurig proces. Men kan dus niet bepalen wanneer een welbepaald atoom naar zijn stabiele toestand terugvalt, maar wanneer een groot aantal atomen aanwezig is kan via kansberekening wel een idee gevormd worden van het radioactief verval. De snelheid waarmee dit plaatsvindt (het half-leven) is specifiek voor elk nuclide, zo bedraagt dit voor Tc-99m 6.02 uur. Praktisch wil dit zeggen dat na 6.02 uur de helft van de nucliden naar hun stabiele toestand zijn vervallen, na 12 uur is dit 75%, na 18 uur 87.5% en zo verder.

Gamma-camera

Bij het verval van de in de nucleaire geneeskunde gebruikte isotopen worden er gammastralen gevormd welke doorheen de materie die het lichaam van de patiënt vormt, gaan om tot slot op de camera in te vallen op een kristal. Hierin zal de onzichtbare gammastraal (het foton) door de grote dichtheid van het kristal sterk afgeremd worden en op een kort traject al zijn kinetische energie verliezen. Hierdoor komen de in het kristal aanwezige atomen in een metastabiele toestand en zullen deze na korte tijd terug stabiel worden door uitzenden van een nieuw foton, ditmaal onder vorm van zichtbaar licht. Deze lichtflits wordt opgevangen door een fotomultiplier welke zich achter kristal in de camera bevindt, en omgezet worden in een elektrisch signaal dat daarna versterkt wordt. Dit signaal wordt dan doorgegeven aan de computer die aan de hand van de lokalisatie van de fotomultiplier en de intensiteit van het signaal weet vanwaar de initiële gammastraal ontstaan is in de patiënt en de data als dusdanig digitaal kan bewaren en afbeelden.

Voor gebruik in de nucleaire diagnostiek wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van pure gammastralers, dit wil zeggen isotopen welke geen deeltjes zoals alfa- of bètadeeltjes uitzenden om stabiel te worden. Dit komt omdat fotonen welke geen massa vertonen minder interactie hebben met en dus schade zullen aanrichten aan het biologisch weefsel van de patiënt. Verder dient ook de energie van de fotonen voldoende groot zijn opdat ze doorheen het weefsel van de patiënt kunnen raken en uit het lichaam kunnen treden. Hiervoor is een energie van ongeveer 100 keV noodzakelijk. Een te hoge energie is anderzijds ook niet wenselijk, omdat anders de fotonen onvoldoende in de detectieapparatuur kunnen afgestopt worden. Daarom hebben de meest gebruikte isotopen een energie tussen de 100 en 200 keV en een relatief kort half leven van enkele uren.

Vb: Technetium-99m heeft een energie van 140 keV en een halfleven van 6 uur, Indium-111 heeft een energiepiek van 170 en 247 keV bij een halfleven van 2.8 dagen, Fluor-18 is een positron emitter welke twee gammastralen uitzendt van 512 keV met een halfleven van 110 minuten.

Bij de therapeutische toepassingen van nucleaire geneeskunde maakt men zoals hoger gesteld gebruik van het schadelijk effect van radioactieve straling. Daarom wordt hier geen gebruik gemaakt van gamma-stralers maar van isotopen welke via bètastraling vervallen. Hierbij wordt een elektron vrijgezet dat aanleiding geeft tot het ontstaan van vrije radicalen welke celschade veroorzaken, en er meestal voor zorgen er dusdanig schade aan het DNA wordt aangericht dat de cel zich niet meer kan delen en dus op termijn afsterft. Het meest gebruikte isotoop hiervoor is op heden Iodium-131 voor de behandeling van goed- en kwaadaardige schildklierandoeningen. Dit principe zorgt ervoor dat er enerzijds meer aandacht dient besteed te worden aan de bescherming van de omgeving van de patiënt, maar dat anderzijds de nadelige gevolgen voor de patiënt zelf vaak zeer beperkt zijn. De cellen sterven een normale dood, waardoor het effect van een dergelijke therapie zich slechts geleidelijk laat voelen en het lichaam de mogelijkheid heeft om zich aan te passen aan de veranderde situatie.

Praktische uitvoering

Het meest gebruikte isotoop Tc-99m heeft een halfleven van 6u. Dit wil zeggen dat het niet praktisch is om dit vanuit een fabriek elke dag geleverd te krijgen. Daarom wordt dit isotoop op de dienst zelf onttrokken van zijn moedernuclide, het eveneens instabiele Molybdeen -99m dat met een halfleven van 66 uur vervalt tot Tc-99m. Dit Molybdeen wordt door de firma eenmaal per week in een verzegelde en met lood afgeschermd container bezorgd op de dienst. Het Molybdeen is gefixeerd aan een aluminiumkolom en zet zich spontaan om tot Tc-99m dat veel minder vast gebonden is aan de kolom. Door fysiologisch water langs de kolom te laten lopen wordt het Tc-99m losgemaakt en meegevoerd in een steriele vial.

Dit zogenaamde vrij pertechnetaat ($^{99m}\text{Tc-O}_4$) wordt nu gebonden aan een of andere 'ligand', afhankelijk van het orgaan of weefsel dat dient onderzocht te worden. Zo zal het voor een botonderzoek gebonden worden aan fosfonaten, voor een hartonderzoek aan een product (sestamibi) dat zich vrij specifiek bindt aan myocardweefsel en voor nieronderzoeken aan een product dat glomerulair gefilterd maar niet terug gereabsorbeerd wordt. Ook kan het via chemische weg gebonden worden aan lichaamseigen structuren zoals rode en witte bloedcellen.

Daarna wordt Tc-99m aan de patiënt toegediend, meestal dmv intraveneuze injectie, maar ook via de voeding, inhalatie of intrathecale toediening.

Nadat een vooraf bepaalde tijd gewacht is, afhankelijk van de tijd welke het product nodig heeft om vanuit het bloed of de gastro-intestinale tractus in het gewenste orgaan opgenomen te worden, zullen er beelden gemaakt worden. Praktisch wil dit zeggen dat reeds vanaf het ogenblik van toediening het verval van Tc-99m in het lichaam van de patiënt zal verder gaan en dat de hierbij vrijgekomen fotonen het lichaam van de patiënt zullen verlaten. De camera registreert enkel de vrijgezette fotonen welke invallen op het kristal maar zal geen eigen straling uitzenden, tenzij voor de zogenaamde attenuatie-correctie doeleinden bij een PET-scan.

Fysische principes

Voor een goed begrip is het noodzakelijk enkele veel gebruikte grootheden te definiëren:

Het aantal desintegraties per seconde (het verval van instabiele naar stabiele toestand) wordt uitgedrukt in Becquerel (Bq) (een Becquerel is een desintegratie per seconde). De nog steeds gebruikte, maar niet meer erkende eenheid Curie (Ci) omvat die hoeveelheid radioactiviteit die 3.7×10^{10} desintegraties per seconde omvat.

De fundamentele grootheid voor dosisberekening is de geabsorbeerde stralingsdosis D welke gelijk is aan de geabsorbeerde energie (in joule) per eenheid van massa (kg). De eenheid hiervoor is de gray (Gy).

Wanneer je deze wet toepast op de hoger beschreven geabsorbeerde stralingsdosis blijkt dat deze afneemt met het kwadraat van de afstand: dus wanneer je op een meter van een stralingsbron staat en je verplaatst je een meter verder weg zal de geabsorbeerde stralingsdosis halveren!

De schade welke een geabsorbeerde stralingsdosis in het lichaam veroorzaakt is echter verschillend afhankelijk van het type straling: zo veroorzaakt een α -deeltje veel meer schade dan een β - of γ -deeltje. Dit komt omdat niet enkel de geabsorbeerde dosis de schade bepaalt (dan zou dit onafhankelijk van het type straling zijn) maar ook van de densiteit van ionisaties op de baan van het geladen deeltje. Hoe hoger dit aantal ionisaties per afgelegde weg, hoe meer energie er op korte afstand zal vrijgegeven worden en hoe hoger het schadelijk effect zal zijn. Zo zijn α -deeltjes groot (ze bevatten twee protonen en twee elektronen en bij hun doortocht doorheen de weefsels sterk afgeremd worden. Ze zullen op korte tijd al hun energie afgeven en dan ook veel schade aanrichten.

Om de eigenschappen van het soort straling mee in te brengen wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde wegingsfactor om tot de equivalente dosis te komen. Voor de straling welke in nucleaire geneeskunde gebruikt wordt (bèta en gammastraling) is deze wegingsfactor 1, voor neutronen, protonen en alfadeeltjes bedraagt deze 20. De eenheid van equivalente dosis de sievert (Sv) en is dus in het geval voor nucleaire geneeskunde even groot als de gray.

Om een idee te hebben van de opgelopen dosis voor het ganse lichaam wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde 'effectieve dosis', dit is een getal dat aangeeft hoe groot het stralingsrisico is rekening houdend met de verschillende stralingsgevoeligheid van de verschillende organen en impact hierop. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een weefselwegfactor welke de relatieve bijdrage aangeeft van de orgaandosis tot het totale risico indien het lichaam homogeen zou bestraald worden. Dit wordt de effectieve dosis E genoemd, met als eenheid sievert (Sv).

Effecten van straling

Tengevolge van de ioniserende straling welke ontstaat als gevolg van de interactie tussen menselijk weefsel en radioactief materiaal ontstaat biologische schade. Deze schade wordt voornamelijk aangericht door de zogenaamde secundair geladen deeltjes, welke ontstaan wanneer het weefsel blootgesteld wordt aan ioniserende straling. Hierdoor ontstaan hoog reactieve vrije radicalen welke interageren met moleculen en deze chemische verbindingen ertussen verbreken.

Deze effecten (van geabsorbeerde stralingsdosis) zijn in eerste instantie afhankelijk van de aard en energie van de straling alsook van de energieafgifte en de aangerichte celschade. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen twee soorten effecten

Deterministische effecten:

Dit zijn zichtbare letsels welke optreden nadat er door een grote geabsorbeerde stralingsdosis veel cellen verloren gaan. De ernst van deze letsels nemen toe met de blootstelling maar vertonen een bepaalde drempelwaarde, onder dewelke zij niet optreden. Voorbeelden hiervan zijn in toenemende mate van ernst: rood verkleuren en verbranden van de huid, beenmergbeschadiging met als gevolg verandering in het bloedbeeld, gastro-enterologische symptomen en neurologische symptomen. Boven een welbepaalde dosis treedt er een incompatibiliteit op met het leven.

Zo zal een dosis van 1000 Sv dermate schade aanrichten aan de meest essentiële metabole processen dat de dood bijna onmiddellijk zal optreden. Een dosis van 100 Sv veroorzaakt neurologische symptomen en overlijden na enkele dagen. Dosissen tussen 10 en 100 Sv veroorzaken morfologische afwijkingen in het maagdarmkanaal (de gastrointestinale effecten) en overlijden na enkele weken door falen van het hematopoëtisch systeem (de bloedvormende organen). Dosissen tot 2 Sv geven aanleiding tot de zogenaamde stralingsziekte gekenmerkt door hoofdpijn, duizeligheid, ziektegevoel, nausea, braken, diarree, hypotensie. Meestal treedt er een recuperatie op na een week. Hierbij is het nuttig op te merken dat niet enkel de totaal opgelopen dosis een rol speelt maar ook de tijdsperiode waarin de dosis wordt opgelopen. Zo zal een dosis van 3,5 Sv opgelopen op enkele minuten bij ongeveer 50% van de blootgestelde personen lethaal blijken te zijn. Acute dosissen van meer dan 5 Sv zijn fataal voor iedereen die hieraan blootgesteld wordt.

Stochastische effecten.

Hierbij ontstaat er schade aan het genetisch materiaal van de cel waardoor deze nog in staat is zich te delen maar omgevormd wordt tot een maligne cel.

Men gaat er van uit dat er voor stochastische effecten geen zogenaamde drempelwaarde is, reeds van de minste blootstelling aan radioactiviteit is er een klein, maar niet onbestaande, risico op het ontwikkelen van tumoren. Een andere vorm van stochastische effecten zijn de veranderingen welke optreden aan het erfelijk materiaal en pas bij het nageslacht tot uiting komen.

Bronnen van geabsorbeerde stralingsdosis

Het is van belang in te zien dat de mensheid gedurende zijn ganse bestaan heeft blootgestaan aan ioniserende straling en dat het aandeel van artificieel veroorzaakte straling eerder beperkt is (gemiddeld krijgt een Belg tussen de 3 en de 3,5 mSv per jaar, waarvan ongeveer 82% van natuurlijke origine is). Hierdoor is het bijzonder moeilijk om te bepalen of bepaalde stochastische effecten ontstaan tengevolge van ioniserende straling in het algemeen en de artificieel veroorzaakte ioniserende straling in het bijzonder.

Verder dient opgemerkt te worden dat het risico dat men loopt indien men blootgesteld wordt aan ioniserende straling vergeleken te worden met andere risico's waaraan men, al dan niet bewust of gewild, werd blootgesteld. Zo bedraagt het (geschatte) verlies aan levensdagen bij het roken van 20 sigaretten per dag ongeveer 2370 dagen (6-7 jaar), 20% overgewicht verkort het leven met 985 dagen en de blootstelling aan 10 mSv per jaar bij medisch-nucleaire werkers voor een levensduurverkorting van 1 (een) dag. Deze waarden mogen evenwel geen aanleiding geven tot een onverschillige houding met betrekking tot de maatregelen ter bescherming tegen ioniserende straling.

De wetgeving in België (Koninklijk Besluit van 20 juli 2001, verschenen in het Belgisch Staatsblad van 30 augustus 2001 betreffende het algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen) begrenst de maximale dosis voor beroepsblootgesteld personeel op 20 mSv op jaarbasis (voorheen 50 mSv) en voor de bevolking op 1 mSv per jaar (voorheen 5 mSv).

Stralingsbescherming

In de eerste tientallen jaren na de ontdekking en de toepassingen van radioactieve straling werd er geen aandacht besteed aan de schadelijke effecten ervan, en dit om de eenvoudige reden dat men er zich niet van bewust was. Als typisch voorbeeld hiervan kan Marie Curie gegeven worden. Tijdens het baanbrekende werk dat zij gedurende tientallen jaren heeft uitgevoerd (en dat haar naast een Nobelprijs voor scheikunde ook een benoeming als eerste vrouwelijk hoogleraar aan de Sorbonne opleverde) was zij constant en op totaal onverantwoorde wijze blootgesteld aan ioniserende straling. Zo bewaarde zij deze producten naast haar bed en droeg deze gedurende langere tijd op het lichaam. Zowel zij als haar man Pierre Curie leden aan symptomen nu gekend als stralingsziekte (cfr. supra) en het feit dat zij op 67-jarige leeftijd overleed aan leukemie kan niet los gezien worden van deze langdurige blootstelling aan ioniserende straling. Op heden zijn haar notitieboeken nog steeds gevaarlijk radioactief! Nu zijn de potentiële risico's van ioniserende straling vrij goed gekend en wordt er (terecht) veel aandacht aan besteed, ten bewijze waarvan deze cursus wordt georganiseerd.

Ook op een afdeling nucleaire geneeskunde wordt gebruik gemaakt van radioactieve stoffen voor het onderzoek en de behandeling van patiënten. Omdat er wordt gebruik gemaakt van niet afgekapselde bronnen zorgt dit ervoor dat meer nog dan op afdelingen radiologie en radiotherapie aandacht dient besteed te worden aan de omgang hiermee.

Op een dienst nucleaire geneeskunde worden niet enkel de patiënten blootgesteld aan de bepaalde dosis, ook de huisgenoten van de patiënten, bezoekers, omstanders, verpleegkundigen op de afdeling zelf en de afdeling waar de patiënt verblijft... ontvangen een zekere dosis daar de patiënt als stralingsbron fungeert, een bron welke niet stopt met stralen bij het verlaten van de dienst.

Aangezien de meeste producten ingespoten of ingeademd worden, dan wel via de voeding worden toegediend (principe van open bronnen) bestaat er niet enkel een risico op zogenaamd uitwendige besmetting (cfr. Radiologie) maar ook op inwendige besmetting.

Wettelijke maatregelen:

Een erkenning Klasse II vergunning (inrichting nucleaire geneeskunde) voorziet een hele reeks van maatregelen om het risico op besmetting te verminderen en de opgelopen stralingsdosis (voor het beroepsblootgestelde personeel) zo laag mogelijk te houden. Deze maatregelen worden niet enkel bij verlenen van de vergunning gecontroleerd maar 3x per jaar is er een controle van al deze maatregelen door een erkend controleorganisme onder leiding van het FANC (Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle). Deze erkenning regelt ook de hoeveelheid en het soort isotopen dat er ter plaatse mag gebruikt en bewaard worden.

Al het personeel dat potentieel beroepsmatig kan blootgesteld worden aan ioniserende straling moet verplicht jaarlijks onderzocht worden door een arbeidsgeneesheer met een bijkomende bekwaaming in bescherming tegen ioniserende straling.

Verder dient de dienst zo ingericht te zijn dat de dosis waarmee personeel in aanraking komt minimaal is. De voornaamste beschermingsbron bestaat in het rechtstreeks afschermen van het product door middel van een materiaal met een hoge dichtheid (lood) van voldoende dikte. Hierdoor worden alle ioniserende straling aan de bron tegengehouden. Het systematisch gebruik van loden afscherming voor de Mb-generator (bron waaruit het technetium 99m-isotoop wordt gedilueerd), het plaatsen van alle vials achter een loden wand, het uitsluitend manipuleren van spuitjes met gebruik van een loden spuihuls zijn hiervan de meest in het oog springende maatregelen. Verder wordt ook in de muren en de deuren loden afschermingen gebruikt (half waarde dikte voor Tc-99m bedraagt 0,3 mm, voor I-131 is dit 3,0 mm en voor F-18 is dit 5,0 mm; 10 half waarde diktes verminderen de dosis met een factor 1000) en zijn de wanden en vloer makkelijke reinigbaar en afwasbaar.

Een tweede manier om de stralingsbelasting te verminderen is het in acht nemen van voldoende afstand te bewaren met de stralingsbron. Volgens de wet van behoud van energie zal de opgelopen dosis afnemen met het kwadraat van de afstand. Door ervoor te zorgen dat bij het scannen van de patiënt het beroepsblootgestelde personeel niet vlak naast de patiënt zit maar enkele meters hiervan verwijderd kan de dosis met meer dan de helft gereduceerd worden! Anderzijds mag deze maatregel geen aanleiding geven tot het minder verlenen van noodzakelijke zorgen aan de patiënt of een onveiligheidsgevoel creëren. Verder worden de radioactieve producten in een afsluitbare ruimte bewaard welke via een sas verbonden is met de rest van de afdeling.

Een derde maatregel is de duur van het contact te reduceren, gezien de opgelopen dosis tijdsafhankelijk is.

Specifiek voor nucleaire geneeskunde met gebruik van open bronnen dient de bescherming tegen inwendige contaminatie speciale aandacht te krijgen. Daarom is het gebruik van handschoenen verplicht en mag er niet gegeten of gedronken worden op de dienst. Ook het gebruik van beroepskleding en schoeisel verkleint de besmettingskans. Roken is, net zoals in de rest van het ziekenhuis, strikt verboden.

Aangezien een patiënt vaak via de urine een gedeelte van de toegediende dosis zal uitwateren vormt het toilet een van de grootste besmettingsrisico's op de dienst. Daarom wordt er voor deze patiënten een apart toilet voorzien, volledig gescheiden van dit van het personeel.

Mocht er tijdens de manipulatie van de open bronnen toch contact zijn tussen de huid en het ioniserend product kan er via wassen (handen of ganse lichaam) voor gezorgd worden dat de besmettingsomvang maximaal gereduceerd wordt. Hiertoe zijn er op elke dienst verplicht douches voorzien.

Om de blootstelling gericht op te volgen is het dragen van een persoonlijke dosimeter verplicht. Deze wordt bovenop de kleding gedragen en wordt maandelijks afgelezen. Aan de hand hiervan wordt per 12 glijdende maanden de totale stralingsdosis bepaald. Indien er hier abnormaal waarden opgetekend worden dient de oorzaak hiervan opgezocht en aangepakt te worden. Mocht de dosis oplopen tot meer dan 20 mSv per lopende 12 maanden volgt er een verplichte verwijdering van de afdeling totdat de jaarlijkse dosis onder de limietwaarde is.

Omdat een foetus beschouwd wordt als een lid van de bevolking waarvoor de limietwaarde 1 mSv is, moet een zwanger personeelslid tewerkgesteld worden op een plaats waar zij niet in aanraking kan komen met ioniserende straling.

Lozing van radioactief materiaal:

Bij het gebruik van radioactief materiaal in de nucleaire geneeskunde kan niet voorkomen worden dat er een welbepaalde hoeveelheid afval wordt geproduceerd al dan niet besmet is. Om verspreiding hiervan te voorkomen moet er dan ook een strikt afvalbeleid gevoerd worden waarbij er gebruik wordt gemaakt van gescheiden circuits voor het besmet en niet besmet afval.

Voor de producten welke gebruikt worden op een dienst gaat het meestal om kortlevende producten (meest gebruikt is Tc-99m met een halfleven van 6,03 uur, gaande tot I-131 met een halfleven van 8 dagen). Deze kan men in een aparte ruimte en met voldoende afscherming bewaren tot het volledig afgestorven is en nadien als gewoon afval behandelen (dit is na een tiental halflevens). Na een half-leven is er nog 50% van de initiële activiteit aanwezig, na 10 half-levens nog slechts 0,2% en na 20 halflevens nog 0,0002%. Voor bepaalde afvalproducten is dit relatief makkelijk te verwezenlijken: de gebruikte vials, naalden, spuitjes, catheters, absorberende materialen, handschoenen en dergelijk worden verzameld in met lood afgedekte containers en gedurende de nodige tijd bewaard.

Producten met een langer halfleven (I-131, I-125, Tl-201) worden in aparte containers ingezameld en gedurende langere tijd in afzondering bewaard.

Andere afvalstoffen zijn echter minder eenvoudig te verzamelen: een van de voornaamste hiervan voor de urine van de patiënt. Hierbij blijkt echter dat bij berekening van de uiteindelijke dosis, uitgaande van de gebruikte dosissen, de hoeveelheid welke uitgewaterd wordt, en de verdunningsfactor van het grote debiet aan afvalwater van een ziekenhuis, de toegestane limieten voor lozing van radioactief water nooit overschreden worden.

Stralingsbelasting van medewerkers op de nucleaire afdeling

De wettelijke limieten voor beroepsblootgestelde personen bedraagt 20 mSv. Wanneer de hoger vermelde voorzorgsmaatregelen in acht worden genomen blijft de werkelijke opgelopen dosis zeer ruim binnen deze limieten (cfr. wettelijke maatregelen).

Stralingsbelasting patiënt:

Patiënten worden blootgesteld aan een bepaalde hoeveelheid ioniserende straling hetgeen gepaard gaat met mogelijke gezondheidsrisico's. Voor hen is er echter ook een nut van deze bestraling en het voordeel hiervan

weegt ruimschoots op tegen de potentiële nadelen en daarom is er in de wetgeving is geen beperking voorzien van de dosis welke een patiënt kan oplopen.

Er dient echter steeds naar gestreefd te worden deze stralingsdosis zo laag mogelijk te houden volgens het ALARA-principe. Internationaal opgestelde richtlijnen via de SNM (Society of Nuclear Medicine) en de EANM (European Association of Nuclear Medicine) bepalen voor elk type onderzoek welke de minimum en maximum dosissen zijn welke mogen toegediend worden. Hierbij wordt veel gebruik gemaakt van patientendosimetrie.

Doordat de isotopen aan een patiënt worden toegediend staan een of meerdere (tot zelfs alle) organen bloot aan de effecten van ioniserende straling. De stralingsdosis voor elke orgaan hangt af van meerdere factoren, deels te wijten aan het gebruikte radiofarmacon en deels te wijten aan de karakteristieken van de patiënt. Een van de belangrijkste parameters hierbij is het farmacologisch gedrag van het farmacon: op welke manier wordt het in de cellen van het lichaam vastgehouden, op welke manier wordt het uitgescheiden (via de urine, de faeces, zweet, ...). De toegediende dosis vertoont logischerwijze ook een verband met de uiteindelijk opgelopen stralingsdosis alsook de wijze waarop het farmacon wordt toegediend en tot slot vormt ook de farmacologische en biochemische zuiverheid een factor welke de biodistributie en dus de stralingsdosis beïnvloeden.

Bij de karakteristieken van de patiënt spelen het ziektebeeld, het geslacht, de leeftijd en het gewicht een belangrijke rol.

Er bestaan modellen waarbij voor elk gebruik radiofarmacon berekend wordt wat de stralingsbelasting voor het ganse lichaam en elk orgaan afzonderlijk is per eenheid van toegediende activiteit. Deze zogenaamde MIRD (Medical Internal Radiation Dose) vormt de basis van de stralingsdosissen waarop de richtlijnen van de ICRP (International Commission on Radiological Protection) is gebaseerd.

Bij de berekening van de geabsorbeerde stralingsdosis in organen wordt een onderscheid gemaakt tussen de bronorganen (die de radioactiviteit opgenomen hebben en dus als stralingsbron fungeren) en de doelorganen (welke bestraald worden) en waarvan de stralingsdosis moet berekend worden.

Dit zijn allemaal modellen die uitgaan van een standaard persoon: een volwassen persoon met een gemiddeld gewicht en normaal functionerend metabolisme.

Voor de berekening van de stralingsdosis van kinderen worden dezelfde gegevens gebruikt, en wordt er geen rekening gehouden met het feit dat de biologische halveringstijd (dit is de tijd dat het radiofarmacon aanwezig is in het lichaam) bij kinderen vaak beduidend korter is, waardoor de effectieve dosis op deze manier vaak overschat wordt.

Om de dosismaximaal te reduceren kan gebruik worden gemaakt van volgende maatregelen: het verminderen van de toegediende dosis, gebruik maken van tracers met een korter (effectief) half-leven, de geabsorbeerde fractie verminderen door gebruik te maken van fotonen, geen partikels, met een energie van meer dan 100 keV.

Om een idee te geven van de opgelopen effectieve dosissen:

Het meest gebruikte onderzoek, een skeletscintigrafie, geeft een stralingsbelasting van 7 mSv, een nieronderzoek 3 mSv en een hartonderzoek met Tl-201 20 mSv.

Stralingsbelasting foetus:

In principe wordt een foetus aan bepaalde straling blootgesteld wanneer de moeder een nucleair onderzoek dient te ondergaan. De stralingsbelasting van de ongeboren vrucht na toediening van een diagnostisch radiofarmacon is zo laag dat er nooit een indicatie voor abortus bestaat en dat het ook niet noodzakelijk is om alle vruchtbare vrouwen een zwangerschapstest te laten ondergaan. Wettelijk is de limiet voor stralingsbelasting van een foetus deze van een persoon van het publiek, tzt. 1 mSv. Niettemin wordt er naar gestreefd de dosis zo laag mogelijk te houden en wordt en zo mogelijk gewacht met het onderzoek tot na de bevalling.

Stralingsbelasting zuigelingen:

Via de borstvoeding kan radioactief materiaal overgebracht worden van de moeder naar het kind.

Om deze reden is het vaak nuttig dat het geven van borstvoeding tijdelijk onderbroken wordt. De periode is afhankelijk van het radiofarmacon en bedraagt voor Tc-99m tussen 4 en 24 uur. Voor andere producten kan dit oplopen tot een maand (Ga-67 en Tl-201) en zelfs de volledige duur van de lactatie (I-131). Ook de korte afstand tussen moeder en kind bij het geven van borstvoeding zorgt voor een bijkomende externe bestraling, hierbij is voldoende gedurende 24 uur borstvoeding te onderbreken.

Stralingsbelasting aan bevolking

De patiënt is na toediening van een radiofarmacon enige tijd eens stralingsbron voor zijn omgeving. De dosis welke derden hierbij oplopen is afhankelijk van het gebruikte radiofarmacon, de toegediende dosis, het effectieve halfleven, de afstand tot de patiënt en de duur van het contact.

Aangezien aan de eerste drie geen veranderingen kunnen aangebracht worden zal vooral aan de laatste twee aandacht besteed worden bij het reduceren van de opgelopen dosis door derden. Hierbij mag echter de realiteit niet uit het oog verloren worden: de effectieve dosis bij een constant verblijf op 1 m afstand van een patiënt welke wordt ingespoten met een standaarddosis van de meest gebruikte tracer (Tc-99m-HDP) bedraagt 0,01 mSv en het effectief dosisequivalenttempo bedraagt op 0 u 4,0 $\mu\text{Sv/u}$ en op 24 u 0,0 $\mu\text{Sv/u}$!. Voor I-131 bedragen deze respectievelijk 0,016 mSv, 1,4 $\mu\text{Sv/u}$ en 0,2 $\mu\text{Sv/u}$ en voor Tl-201 0,036 mSv, 0,45 $\mu\text{Sv/u}$ en 0,33 $\mu\text{Sv/u}$.

Globaal kan gesteld worden dat het personeel werkzaam op een verpleegafdeling met een zeer beperkt aantal maatregelen kan voorkomen dat zij een noemenswaardige dosis oplopen. De voornaamste maatregel hierbij is het voorkomen van contact met lichaamsvochten van de patiënt. Aangezien dit reeds voor andere redenen niet wenselijk is, is een specifieke maatregel overbodig.

Dat de afstand en de duur van het contact een invloed hebben is hoger voldoende aangetoond, anderzijds mag dit zoals gezegd geen aanleiding geven tot een vermindering van de noodzakelijk zorgen aan een patiënt.

Stralingsbelasting bij therapieën.

Zoals bij de algemene principes van ioniserende straling reeds werd gezegd wordt er gebruik gemaakt van beta-emitters om een (gewenst) schadelijk effect te bezorgen aan het weefsel. Hierbij dient echter zeer goed opgelet te worden dat er met betrekking tot de patiënt geen of zo weinig mogelijk schade aan andere weefsels wordt aangericht. Praktisch wil dit zeggen dat elke mogelijke vorm van contaminatie of verkeerde toediening dient vermeden te worden. Dit kan door het afdekken van de toedieningsplaats door middel van ondoordringbare en absorberende materialen, het plaatsen van een infuus van intraveneuze toedieningen, het vermijden van lekkage door immobiliseren van de patiënt bij intra-articulaire injecties en dergelijke. Ter bescherming van het personeel worden alle voorzorgsmaatregelen zoals gemeld bij de diagnostische onderzoeken gevolgd. Om te beschermen tegen bètastralen wordt gebruik gemaakt van plexiglas en dan pas loden afscherming.

De voornaamste maatregelen die echter dienen getroffen te worden dient ter bescherming van leden van de bevolking tegen de mogelijke gevolgen van deze therapeutische handelingen. Soms is het noodzakelijk de patiënt hiervoor gedurende korte tijd op te nemen in een zogenaamde isolatiekamer.

De te nemen maatregelen voor de verpleegkundigen, familie en andere zullen in extenso besproken worden tijdens de les therapeutische toepassingen van nucleaire geneeskunde.