

Uit de Laboratoriumpraktijk

Stralingsrisico-evaluatie van een radionuclidenlaboratorium: een praktijkvoorbeeld

B. SHAPIRO¹ en C. BEIJER²

Een kwantitatieve evaluatie van het stralingsrisico ten gevolge van in-vitro radioisotopendiagnostiek werd uitgevoerd in overeenstemming met de eis van de 'Richtlijn Radionuclidenlaboratoria' uit 1994. De berekeningswijze wordt gedemonstreerd aan de hand van een gedetailleerd praktijkvoorbeeld. Uit de resultaten blijkt dat niveaus van het beroeps- en milieurisico respectievelijk 10^{-5} en 10^{-11} bedragen hetgeen overeenkomt met circa 25 % en 0,1 % van de voorgeschreven grenswaarden. Tevens wordt aangetoond dat in geval van beroepsmatige blootstelling het aandeel van inhalatie verreweg het grootst is, echter voor de bevolking geeft de ingestie de hoogste bijdrage aan de stralingsbelasting.

Aan het eind van 1994 werd een nieuwe richtlijn voor de Radionuclidenlaboratoria van kracht (1). Daarmee werden de oude richtlijnen uit 1983 vervangen (2).

In de nieuwe richtlijn zijn onder andere de bouwkundige eisen en de gedragsregels omschreven, waarbij de verschillen met vroeger betrekkelijk gering zijn. Er is wel sprake van aanzienlijke uitdieping en uitbreiding met betrekking tot stralingsrisico-evaluatie.

Aan de hand van een praktijkvoorbeeld zal de uitvoering van de voorgeschreven berekeningen zoals het bepalen van de per handeling maximaal toegestane activiteit en het toetsen van beroepsmatige blootstelling van het personeel en de stralingsbelasting van het publiek gedemonstreerd worden (1). Tevens wordt t.a.v. ingestie overeenkomstig het geadviseerde in de nieuwe richtlijn een rekenmodel geïntroduceerd dat, in principe, op ieder radionuclidenlaboratorium van toepassing kan zijn.

Tenslotte wordt de kwantitatieve risico-evaluatie voor de medewerkers en voor het publiek uitgevoerd. Gezien de omvang van de in-vitro diagnostiek waarop deze evaluatie betrekking heeft, beschouwen wij de verkregen resultaten als representatief voor een doorsnee radionuclidenlaboratorium.

Afdeling Nucleaire Geneeskunde¹, Klinisch Chemisch en Medisch Microbiologisch Laboratorium², Rijnland Ziekenhuis, Leiderdorp

Correspondentie: B. Shapiro, Afdeling Nucleaire Geneeskunde, Rijnland Ziekenhuis, Simon Smitweg 1, 2353 GA Leiderdorp.

Rekenmethodiek

In het algemeen worden in-vitro bepalingen met name met behulp van twee radionucliden, I^{125} en Co^{57} verricht, waarbij de werkzaamheden in een radionuclidenlaboratorium uitgevoerd worden. Een dergelijk laboratorium behoort in de meeste gevallen tot het C-klasse en zal voorzien (moeten) zijn van een zuurkast, waarin met uitzondering van buistellingen en opslag van afval alle overige handelingen met radioactieve stoffen verricht kunnen worden.

Het stralingsrisico, waarvoor de effectieve dosis als een maat kan dienen wordt zowel naar het belastingspad als naar de ermee belaste bevolkingsgroep ingedeeld.

Stralingsbelasting van het personeel ten gevolge van inhalatie

De richtlijn gaat er van uit dat de stralingsbelasting voor het personeel hoofdzakelijk ten gevolge van inhalatie plaatsvindt, zodat slechts de berekeningswijze voor het inhalatiepad in detail beschreven is. Alle handelingen met een stralingsrisico moeten afzonderlijk berekend worden en getoetst op corresponderende drempelwaarden. Een dergelijke kwantificering heeft goed omschreven brongegevens nodig en kan vereenvoudigd worden indien men aanneemt dat er slechts één radiologisch werker tegelijk aan de uitvoering van een handeling werkt en als enige de door deze handeling veroorzaakte stralingsbelasting oploopt.

Indien er in werkelijkheid meerdere radiologisch werkers op het laboratorium al dan niet tegelijk werkzaam zijn, zou men de totale door de inhalatie veroorzaakte stralingsbelasting pro rata volgens de individueel gewerkte uren moeten verdelen.

Eerst dienen alle werkzaamheden in een aantal elementaire handelingen (bijvoorbeeld: centrifugeren) opgesplitst te worden. De tijden per handeling (j) en per bepaling (n), de $t_{n,j}$'s alsmede de activiteiten per bepaling en per radionuclide (i), de $A_{n,i}$'s worden als brongegevens gebruikt om voor elke handeling de totale inhalatietijden $t_{inh,tot,j}$ ($\sum t_{n,j}$) en de gemiddeld gehanteerde activiteiten $A_{gem,j,i}$ ($\sum A_{n,i} \cdot t_{n,j} / t_{inh,tot,j}$) te bepalen. De stralingsbelasting wordt uiteindelijk door de cumulatieve activiteit, te weten het product van $t_{inh,tot}$ en de A_{gem} bepaald, waarbij deze twee parameters als wekelijkse grootheden gedefinieerd zijn (tabellen 1 en 2).

Tabel 1. Overzicht blootstellingsparameters en tijden van diverse handelingen

	Koken ¹	Centrifugeren ²	Oplossen ³	RIA ⁴	Opslag ⁵
Aanduiding, j	1	2	3	4	5
Verspreidingsparameter, p	-3	-3	-2,3 ⁶	-2	-1
Ventilatievoorzieningsparameter, r	1	0,9 ⁷	0,8 ⁷	0,1 ⁷	0
Beschermingsparameter laboratorium, q	2	2	2	2	2
Gemiddelde afstand tot stralingsbron, r _{gem,j} (m)	9,0	1,0	0,3	0,3	2,6
Somtijds inhalatie, t _{inh,tot,j} ⁸ (uur)	0,4	3,4	0,3	31,0	35,1
Somtijds uitwendige bestraling t _{ext,tot,j} ⁹ (uur)	21,7	177,7	13,0	1560,0	1824,3

¹: koken van vloeistoffen in ‘gesloten’ systemen; ²: inclusief mengen en schudden; ³: eenvoudige bewerking van poeders in ‘gesloten’ systemen; ⁴: eenvoudige chemische bepaling met tracers (RIA) inclusief pipetteren, tellen en incuberen; ⁵: opslag van radioactief afval in werkruimte; ⁶: gedeeltelijk eenvoudige bewerking met poeders in ‘gesloten’ systemen (p = -3) en gedeeltelijk eenvoudige werkzaamheden in ‘gesloten’ systemen (p = -1); waarde is berekend als gewogen gemiddelde afhankelijk van handelingstijden en activiteiten; ⁷: gedeeltelijk buiten de zuurkast (r = 0) en gedeeltelijk binnen (r = 1); waarde is berekend als gewogen gemiddelde afhankelijk van handelingstijden en activiteiten; ⁸: gemiddelde tijd per week; ⁹: tijd per jaar

Tenslotte, dienen de waarden voor de laboratorium-beschermingsparameter (q), de ventilatievoorzieningsparameter (r) en de verspreidingsparameters voor elke handeling, de p_j's, vastgesteld te worden om onder andere de beroepsmatige stralingsbelasting te kunnen berekenen. Indien er in meer dan in één ruimte gewerkt wordt dan dient men alle hierboven genoemde waarden en parameters per ruimte te berekenen en vast te stellen. Deze beschouwing richt zich zowel op de veiligheid van afzonderlijke handelingen als op die van de ruimtes welke tot het radionuclidenlaboratorium behoren. De wijze waarop de per handeling maximaal toegestane en toegepaste activiteiten, respectievelijk de X_{max,j} en de X_j, berekend dienen te worden alsmede hun onderlinge toetsen zijn door de richtlijn voorgeschreven.

De belastingsfactor van een ruimte, de B_w, berekend uit de som van de ratio's van de tijdsgegewogen bijdragen van de diverse handelingen uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten en genormeerd op 40 uren, moet getoetst worden op een drempelwaarde van 1. Indien alle individuele X_j's lager dan X_{max,j}'s zijn en tevens geldt dat voor alle tot het laboratorium behorende ruimtes dat B_w < 1, dan zal de effectieve dosis onder de wettelijk gestelde limiet van 20 mSv per jaar blijven. De waarde van de effectieve dosis van radiologische werkers t.g.v. inwendige besmetting door inhalatie kan uitgaande van vergelijking 2.1 uit de richtlijn (pag. 70) voor elke afzonderlijke handeling (j) geschat worden (2):

$$10^{3-q-r-p_j} \cdot X_j \cdot (t_{inh,tot,j} / 40) \text{ [mSv] [1]}$$

Tabel 2. Gemiddeld gehanteerde activiteiten onderverdeeld naar handeling en radionuclide

Handeling	Gemiddelde activiteit ¹ (MBq)	
	A _{gem,j,i=1} (I ¹²⁵)	A _{gem,j,i=2} (Co ⁵⁷)
j = 1	0,270	0,085
j = 2	0,320	0,012
j = 3	0,130	0,085
j = 4	0,140	0,011
j = 5	0,040	0,043

¹: wekelijks gemiddelde

De uitgevoerde vervanging van X_{max,j} door X_j impliceert hiermee overeenkomstige proportionele verlaaging van de maximale jaarlijkse dosislimiet van 20 mSv. Daar de door inhalatie veroorzaakte stralingsbelasting gedurende een beperkte tijd opgelopen wordt moet de effectieve dosis tevens naar inhalatietijd pro rata worden bijgesteld.

Stralingsbelasting van het personeel ten gevolge van ingestie

Hoewel de stralingsbelasting voor het personeel ten gevolge van ingestie ten opzichte van inhalatie vele malen lager ligt, wordt het wenselijk geacht ook deze vorm van reguliere belasting te kwantificeren. Hiervoor hebben wij het volgende model gekozen dat, bij gebrek aan nauwkeurige gegevens, tot een zeer conservatieve schatting leidt. Aannemende dat de huidbesmetting 0,1 % van de gehanteerde activiteit is waarvan wederom 0,1 % als inwendige besmetting gezien wordt volgt:

$$10^3 \cdot \sum_i DCC_{ing,i} \cdot A_{inkoop,i} \text{ [mSv] [2]}$$

waar DCC_{ing,i} de dosisconversiecoëfficiënt voor ingestie voor het radionuclide (i) is en waarbij de jaarlijks totaal ingekochte en dus gehanteerde hoeveelheden activiteiten per radionuclide, de A_{inkoop,i}'s als brongegevens benodigd zijn : A_{inkoop,1}, 66 MBq (I¹²⁵) en A_{inkoop,2}, 5 MBq (Co⁵⁷).

Stralingsbelasting van het personeel ten gevolge van uitwendige bestraling

Het berekenen van de maximaal mogelijke beroepsmatige externe blootstelling ten gevolge van uitwendige bestraling is uitgevoerd op basis van de vergelijking 3.8 van de richtlijn (pag. 101) (2):

$$10^{-3} \cdot \sum_i \Gamma_i \cdot \sum_j A_{j,i} \cdot r_{gem,j}^{-2} \cdot t_{ext,tot,j} \text{ (mSv) [3]}$$

Hierbij is Γ_i de bronconstante voor het radionuclide (i) en r_{gem,j} een gemiddelde afstand tot de met de handeling (j) geassocieerde stralingsbron (tabel 1). A_{i,j} stellen wij gelijk aan A_{gem,i,j}. Het ‘‘opslag’’ (j = 5) vormt hierop een uitzondering waarbij de gemiddelde voorraadactiviteiten A_{voorraad,i}'s (gelijkmatig over de 12 maanden verdeelde jaarlijks totaal ingekochte activi-

Tabel 3. Stralingsrisico's

Belastingspad	Bevolkingsgroep		
	Mede-werkers	Publiek	Toetsings-criterium
Inhalatiedosis (mSv/Re _{inh})	1,252	0,0647	20,0
Ingestiedosis (mSv/Re _{ing})	0,001	0,9917	500,0
Externe dosis (mSv/Re _{ext})	0,117	0,0001	1,6
Totale dosis (mSv)	1,370	–	
Niveau totale risico	10 ⁻⁵	10 ⁻¹¹	

teiten: A_{voorraad,1}, 2,750 MBq I¹²⁵ en A_{voorraad,2}, 0,208 MBq Co⁵⁷) bij de afvalopslagactiviteiten A_{gem,1,5} en de A_{gem,2,5} opgeteld dienen te worden (tabel 2).

Stralingsbelasting voor het publiek

De nieuwe richtlijn beschrijft in detail de berekeningswijze en de manier van toetsen van de stralingsbelasting voor het publiek. Tevens dienen aan een aantal parameters waarden toegekend te worden voor de berekening van respectievelijk de maximaal theoretisch mogelijke luchtlozing per jaar (MLL), de maximaal theoretisch mogelijke lozing in water (MLW) en de maximaal theoretisch mogelijke externe blootstelling (MED).

Voor de berekening van de MLL kozen wij: correctiefactoren voor luchtlozingen voor de fysische halveringstijd R_{L,1} en R_{L,2}, 1; parameterwaarden voor de verspreidingskans bij een bepaalde bewerking p₁ en p₂, -3 en de effectiviteitsparameters filtersysteem s₁ en s₂, 0.

Voor de MLW-berekening kozen wij: factoren om de uitscheiding van patiënten te verrekennen Z₁ en Z₂, 1; mogelijke verspreidingsdelen via water V₁ en V₂, 1; delen niet vast afval van proefdieren via riool W₁ en W₂, 1; correctiefactoren voor kort-en langlevende nucleiden R_{w,1} en R_{w,2}, 1 en, wederom de effectiviteitsparameters filtersysteem s₁ en s₂, 0.

Ten behoeve van de berekening van de MED kozen wij: aanwezige hoeveelheden activiteit A_i, A_{inkoop,i}; afschermingsfactoren vaste omhulling O₁ en O₂, 1; bedrijfsuren U₁ en U₂, 8760; afstanden stralende oppervlak tot terreingrens (in meters) M₁ en M₂, 90 en de transmissiefactoren gebouw (20 cm beton) T₁, 0 en T₂, 0,0006 (3).

Resultaten

De aan het stralingsrisico gerelateerde waarden voor alle drie belastingspaden en de twee bevolkingsgroepen zijn hierboven samengebracht (tabel 3). Bij het vertalen van de effectieve dosis naar het sterfterisico zou de omrekeningsfactor van 2,5 • 10⁻² / Sv gebruikt kunnen worden welke de totale kans op alle mogelijke ernstige effecten ten gevolge van blootstelling aan ioniserende straling aangeeft (4).

Discussie

Zoals de resultaten laten zien, bedraagt het aandeel van inhalatie ruim 90 % van de totale beroepsmatige stralingsbelasting terwijl de bijdrage van ingestie slechts op het niveau van 0,01 % ligt, hetgeen te ver-

waarlozen is. Uit de waarden van handelingstijden (tabel 1) en de gemiddelde activiteiten (tabel 2) blijkt dat aandelen van "RIA" (j = 4) en van "centrifugeren" (j = 2) respectievelijk 67 % en 27 % van de inhalatiedosis bedragen (formule 1; vergelijkingen 2.3 en 2.4 van de richtlijn, pag. 74) (2). Het aandeel van "RIA" in de uitwendige dosis bedraagt 74 % terwijl bijna een kwart ervan (23 %) het gevolg is van opslag (j = 5; formule 3). Uiteindelijk veroorzaakt "RIA" ongeveer twee derde van de beroepsmatige stralingsbelasting. Vandaar dat kritische en gedetailleerde evaluatie van deze handeling geboden is in het kader van het streven naar vermindering van de stralingsbelasting (ALARA). Het niveau van beroepsrisico bedraagt 10⁻⁵ hetgeen één orde van grootte lager is dan de voor "B" radiologisch werkers maximaal toegestane risico (1).

De aandelen van verschillende belastingspaden in de stralingsbelasting van het publiek kunnen op basis van corresponderende risiconiveaus geschat worden. Door het normeren van de MLL-, MLW- en MED-waarden op de corresponderende toetsingsniveaus, respectievelijk de L_{SN}, W_{SN} en de voor de woonfunctie gecorrigeerde E_{SN} (1) en, vervolgens met het bij deze toetsingsniveaus horende risico te vermenigvuldigen, worden de risiconiveaus bepaald. Deze toetsingsniveaus komen overeen met het risico van 10⁻⁸ (1). Hieruit volgt dat de risiconiveaus van alle drie belastingspaden en daardoor ook het globaal niveau van het milieurisico op 10⁻¹¹ geschat kunnen worden.

Wij concluderen dat in geval van beroepsmatige blootstelling de stralingsbelasting voor een belangrijk deel wordt veroorzaakt door inhalatie. Voor de bevolking geeft de ingestie de hoogste bijdrage aan de stralingsbelasting. In beide gevallen blijft het risico ruim onder de toegestane niveaus.

Literatuur

1. HIMH94 Richtlijn Radionuclidenlaboratoria. Den Haag: Hoofddirectie Milieuhygiëne, 1994; Publikatie 94-02.
2. HIMH83 Radionuclidenlaboratoria, Richtlijnen voor het inrichten van en werken in Radionuclidenlaboratoria. Hoofddirectie voor de Hygiëne van het Milieu, 1983; Publikatie 83-02.
3. Radiological Health Handbook, Revised Edition January 1970, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Food and Drug Administration.
4. Omgaan met risico's van straling. Normstelling ioniserende straling voor arbeid en milieu. ISSN 0921-7371, Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21 483, nr. 1 en nr. 2. Ministerie van VROM.

Summary

Stralingsrisico-evaluatie van een radionuclidenlaboratorium: een praktijkvoorbeeld. Shapiro B en Beyer C. Ned Tijdschr Klin Chem 1997; 22: 67-69.

Quantitative analysis of the radiation risk resulting from in-vitro radioisotope diagnosis was carried out in accordance with the 1994 'Radionuclide Laboratory Directive'. The manner of quantitation was demonstrated on the basis of a detailed case study. The results show that the risk levels for laboratory personnel and the general public amount respectively to 10⁻⁵ and 10⁻¹¹ or to approximately 25 % and 0,1 % of the corresponding limits. Further, it was found that inhalation accounts for by far the largest component of the occupational dose, whereas the largest burden to the public is caused by ingestion.