



Nascholing Risico Inventarisatie en Evaluatie (RI&E)

Rekensheet Nucleaire Geneeskunde

Remko Bijkerk

adrz / +

Vooral tabellen met cijfertjes...

Rekenblad 5: Reguliere handelingen met open bronnen op niveau Toediengereed maken - Inhalatie								Medewerker type		
Nuclide	Farmacon	Onderzoek	Activiteit Gemiddeld	Activiteitsfractie	e(g)5u-inhalatie	Jaardosis Inhalatie Collectief	FTE(m) / FTE(totaal)	Jaardosis Inhalatie Medewerker		
			[MBq]		[Sv/Bq]	[mSv]	[%]	[mSv]		
F-18	F-18 FDG	F-18 FDG PET scintigrafie	373,48	1,00	5,40E-11	1,73E-10	15%	2,60E-11		
F-18	F-18 FDG	F-18 FDG PET hersenen	444,70	1,00	5,40E-11	6,48E-13	15%	9,73E-14		
F-18	F-18 Choline	F-18 PET Choline bijschildklier injectie	261,28	1,00	0,00E+00	0,00E+00	15%	0,00E+00		
F-18	F-18 Choline	F-18 PET Choline scintigrafie	372,46	1,00	0,00E+00	0,00E+00	15%	0,00E+00		
F-18	F-18 Flutemetamol	F-18 PET Hersen amyloidscan	211,19	1,00	0,00E+00	0,00E+00	15%	0,00E+00		
Ga-68	Ga-68 PSMA	Ga-68 PSMA PET scintigrafie	252,31	1,00	4,90E-11	1,64E-11	15%	2,45E-12		
Tc-99m	Tc-99m Natriumpertechnetaat	Tc-99m Maagslijmvlies	117,95	1,00	2,90E-11	5,54E-14	15%	8,31E-15		
Tc-99m	Tc-99m MAA	Tc-99m Longperfusie	112,38	1,00	2,00E-11	4,49E-13	15%	6,74E-14		
Tc-99m	Tc-99m MAA	Tc-99m Ventilatie/perfusie longscintigrafie	118,63	1,00	2,00E-11	1,89E-12	15%	2,54E-13		
Tc-99m	Tc-99m MAG3	Tc-99m Renografie (Mag3)	71,61	1,00	2,00E-11	6,96E-14	15%	1,04E-14		
Tc-99m	Tc-99m MAG3	Tc-99m Renografie (Mag3) + Lasix	84,72	1,00	2,00E-11	1,18E-12	15%	1,77E-13		
Tc-99m	Tc-99m Nanocolloid	Tc-99m Lymfeklierscintigram	21,71	1,00	2,00E-11	3,75E-14	15%	5,63E-15		
Tc-99m	Tc-99m Nanocolloid	Tc-99m Maagontleding	12,54	1,00	2,00E-11	7,04E-08	15%	1,06E-08		
Tc-99m	Tc-99m Nanocolloid	Tc-99m Sentinel Node (1 daags)	16,29	1,00	2,00E-11	7,00E-13	15%	1,05E-13		
Tc-99m	Tc-99m Nanocolloid	Tc-99m Sentinel Node (2 daags)	41,36	1,00	2,00E-11	3,88E-12	15%	5,82E-13		
Tc-99m	Tc-99m SestaMIBI	Tc-99m Bijschildklier lokalisatie	121,40	1,00	2,00E-11	1,31E-14	15%	1,97E-15		
Tc-99m	Tc-99m SestaMIBI	Tc-99m Bijschildklier scintigrafie	518,90	1,00	2,00E-11	1,57E-12	15%	2,35E-13		
Tc-99m	Tc-99m SestaMIBI	Tc-99m Myocard GATED Rest	515,00	1,00	2,00E-11	5,56E-14	15%	8,34E-15		
Tc-99m	Tc-99m SestaMIBI	Tc-99m Myocard GATED Stress	938,26	1,00	2,00E-11	4,74E-11	15%	7,11E-12		
Tc-99m	Tc-99m SestaMIBI	Tc-99m Myocard Rest Combinatie	590,67	1,00	2,00E-11	2,93E-11	15%	4,40E-12		
Tc-99m	Tc-99m Osteocis	Tc-99m Skelet dyn inj (Osteocis)	842,30	1,00	2,00E-11	4,57E-11	15%	6,85E-12		
Tc-99m	Tc-99m Technescan HDP	Tc-99m Skeletscintigrafie	857,20	1,00	2,00E-11	4,13E-11	15%	6,19E-12		
Tc-99m	Tc-99m Technescan DMSA	Tc-99m Nierscintigram Statisch	79,34	1,00	2,00E-11	7,71E-14	15%	1,16E-14		
Tc-99m	Tc-99m Technescan DTPA	Tc-99m Links-rechts shunt DTPA	818,50	1,00	2,00E-11	8,84E-14	15%	1,33E-14		
Tc-99m	Tc-99m Vasculoscan	Tc-99m EF-Gated Bloodpool	534,12	1,00	2,00E-11	1,25E-11	15%	1,88E-12		
In-111	In-111 Octreoscan	In-111 Tumorlokalisatie	207,56	1,00	2,20E-10	1,23E-12	15%	1,85E-13		
I-123	I-123 DATscan	I-123 DATscan	202,19	1,00	1,10E-10	2,88E-12	15%	4,32E-13		
I-123	I-123 IBZM	I-123 IBZM scintigrafie	207,38	1,00	1,10E-10	4,93E-13	15%	7,39E-14		
I-123	I-123 Natriumjodide	I-123 Schildklier scintigrafie	20,99	1,00	1,10E-10	7,23E-13	15%	1,08E-13		
I-123	I-123 MIBG	I-123 MIBG scintigrafie	215,00	1,00	1,10E-10	1,28E-13	15%	1,92E-14		
							Totaal:	1,06E-08		



NO, SERIOUSLY
TELL ME MORE

YOU'RE SO INTERESTING



adrz / +

/ zorg voor elkaar

adrz / +

YOU'RE SO INTERESTING

/ zorg voor elkaar

Sinds 2009...

Aanbevelingen risicoanalyse en -evaluatie voor Nucleair Geneeskundige verrichtingen in ziekenhuizen

RIAS-NG

Externe doses bij reguliere toediening van radiofarmaca voor diagnostiek.

Handeling: Intraveneuze injectie

referentiedosis 1 10 (μSv/h) gedurende de handeling

referentiedosis 2 1000 (μSv/jaar) voor alle handelingen

NEDERLAND

Platform
In

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Radiofarmacon	gem. activiteit	bronconstante h(10)	tijdsduur handeling	aantal handelingen per jaar	dikte Pb afscherming bron	halveringsdikte in Pb	afstand tot bron	aantal HVL-dikten Pb	transmissie T	dosis-tempo	Index dosis-tempo (dosis-tempo/ref_dosis 1)	jaardosis per handeling	Index jaardosis (jaardosis/ref_dosis 2)
	(MBq)	(μSv/h per MBq op 1m)	(min)	(#/jaar)	[mm]	[mm]	[m]	# HVL-dikten		(μSv/h)		(μSv/jaar)	
F-18-FDG	400	0,166	1	1000	12	6	0,5	2,0	0,25	66,4	6,6	1106,7	1,1
Ga-67 citraat	150	0,025	1	1	2	1	0,5	2,0	0,25	3,8	0,4	0,1	0,0
Tc-99m erythrocyten	500	0,023	1	20	2	0,7	0,5	2,9	0,14	6,3	0,6	2,1	0,0
Tc-99m-Isotonaal	400	0,023	1	2500	2	0,7	0,5	2,9	0,14	5,1	0,5	211,6	0,2
Tc-99m-perftechneetaat	500	0,023	1	400	2	0,7	0,5	2,9	0,14	6,3	0,6	42,3	0,0
Tc-99m-tetrofosmine	400	0,023	1	2500	2	0,7	0,5	2,9	0,14	5,1	0,5	211,6	0,2
Tc-99m-nanocolloid	150	0,023	1	100	2	0,7	0,5	2,9	0,14	1,9	0,2	3,2	0,0
In-111 oxinaat	30	0,088	1	50	2	1,4	0,5	1,4	0,37	3,9	0,4	3,3	0,0
I-123 amfetamine	200	0,046	1	100	2	1	0,5	2,0	0,25	9,2	0,9	15,3	0,0
I-123-MIBG	300	0,046	1	4	2	1	0,5	2,0	0,25	13,8	1,4	0,9	0,0
I-131-jodide	40	0,066	1	7	2	3	0,5	0,7	0,63	6,7	0,7	0,8	0,0
Th-201-chloride	100	0,018	1	0	2	0,5	0,5	4,0	0,06	0,5	0,0	0,0	0,0

adrz / +

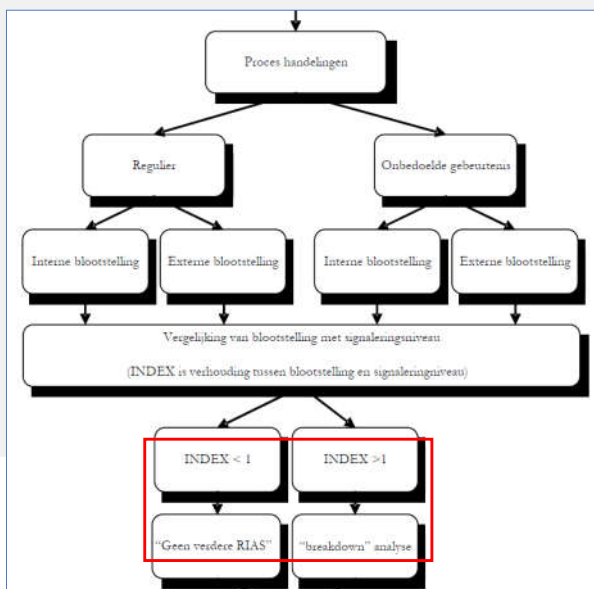
RI&E methode gebaseerd op 2 stappen:

1. Schat in "wat ertoe doet", m.b.v. een aantal "standaard" handelingen en VOG's (Bepaal Index).
2. Voor nucliden / farmaca met Index > 1: Voer een Complete (nadere) Risico Analyse (alle deelhandelingen).

Rekensheets:

- Voor standaard handelingen en VOG's
- Overschatting extremitendosis (β's)

adrz / +



Berekening extremitendosis

RIAS-NG: Schatting opgelopen dosis bij ongewenste blootstelling

Spreadsheets en hulptabellen voor het schatten van de blootstelling aan diverse radioactieve stoffen.

Het is bekend dat de RIAS-NG een overschatting geeft bij extremiteiten, zoals beschreven in deze **presentatie** van Marinette van der Graaf. Deze bevindingen zullen opgenomen worden in een nieuwe versie van de RIAS-NG, waar momenteel (augustus 2014) aan gewerkt wordt.

RIAS-NG: aandachtspunten bij het berekenen van extremitendoses

Marinette van der Graaf, perifere stage in Rijnstate



Begeleiders:
Bart Klein
Rudi Hoekema

Halveringsdikte bij afscherming

- NCS model: transmissie T berekend volgens:

$$T = (0.5)^{\text{dikte afscherming/halveringsdikte}}$$

- NB: Formule geldig voor gammastraling
Positronen en elektronen hebben beperkte dracht:

$$R = 0.5 \times E/p$$

E energie in MeV
p dichtheid afschermingsmateriaal (g/cm³)

- Impliciet stelt het model de verzwakking van betastraling gelijk aan die van gammastraling

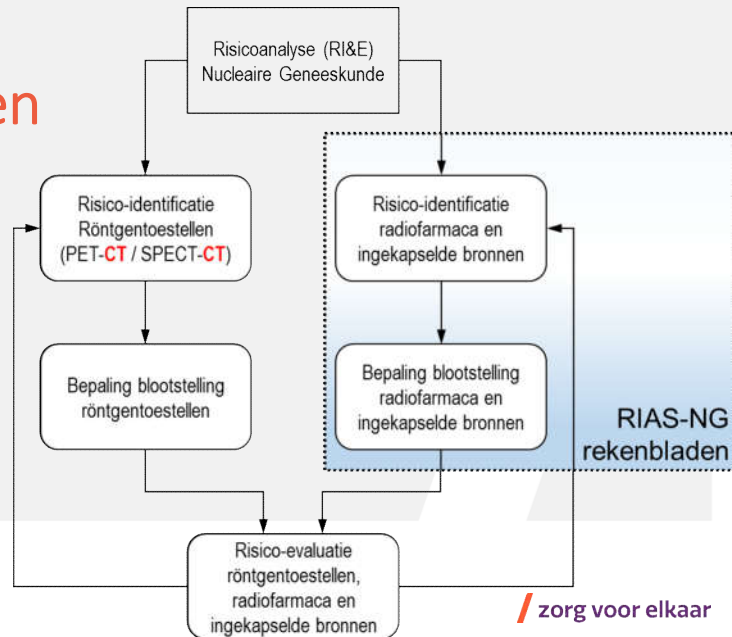
Problemen met “2-stappen” model:

Brief Inspectie SZW (medio 2018):

De door mij beoordeelde Risicoanalyse Nucleaire Geneeskunde is uitgevoerd volgens het model van de NCS, het document “Aanbevelingen risicoanalyse en – evaluatie voor Nucleair Geneeskundige verrichtingen in ziekenhuizen RIAS-NG” van de Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie uit 2012. Deze RI&E is echter niet opgesteld conform het driestappenmodel (Risico-identificatie, Bepaling van de blootstelling en Risico-evaluatie) van voornoemde Bijlage A (en ook niet conform Bijlage E van de oude regeling).

**Conclusie: RIAS samenvatting (volgens Bijlage A)
(beter) faciliteren in Rekensheets**

Plaatsing RIAS-NG reksheets binnen de RI&E van een afdeling NG



Inventarisatie bronnen en handelingen: Gebruiker aan zet!

- Nucliden
- Farmacons / Ingekapselde bronnen / Generatoren
- Onderzoeken
- Deelhandelingen
- Blootstellingspaden

Nuclide	Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Onderzoek (NG-ADRZ)	Hier alle mogelijke (deel)handelingen en blootstellingspaden toevoegen							
F-18	F-18 FDG	F-18 FDG PET scintigrafie								
F-18	F-18 FDG	F-18 FDG PET hersenen								
F-18	F-18 Choline	F-18 PET Choline bijschildklier injectie								
F-18	F-18 Choline	F-18 PET Choline scintigrafie								
F-18	F-18 Flutemetamol	F-18 PET Hersen amyloïdscan								
Co-57 (s)	Co-57 Flood source	Co-57 Contourmeting SNP								
Co-57 (s)	Co-57 Puntbron	Co-57 Markering								
Co-57 (s)	Co-57 Puntbronnen SPECT	Co-57 Kwaliteitscontrole								
Ga-68	Ga-68 Galliumchloride	nvt								
Ga-68	Ga-68 PSMA	Ga-68 PSMA PET scintigrafie								
Ge-68 (eff.)	Ge-68/Ga-68 Gallium generator	nvt								
Ge-68 (eff.)	Ge-68 Calibratiebron PET	Ge-68 Kwaliteitscontrole								
Ge-68 (eff.)	Ge-68 Lijnbronnen PET-calibratie	Ge-68 Cross calibratie PET/CT								
Kr-81m	Kr-81m Edelgas	Kr-81m Longventilatie scintigrafie								
Rb-81 (s)	Rb-81/Kr-81m Krypton generator	nvt								
Sr-89	Sr-89 Strontiumchloride	Sr-89 Metastron therapie								
Sr-90 (s)	Sr-90 Ingekapselde bron	nvt								

Nucleaire Geneeskunde - ijkende en controle met ingekapselde bronnen

processtap	uitvoering door	reguliere blootstelling aan straling
		uitwendige bestraling inwendige besmetting extremiteten
1. Levering farmaca in vial (F-18 en of spuiten (over) door leverancier Nucleaire Geneeskunde	Leverancier	
2. Registratie, controle en opslag spuiten	Nucleaire Geneeskunde	
3. Registratie, controle en plaatsing FDG vial in dosesinjector	Nucleaire Geneeskunde	
4. Eventueel opbreken I-124 spuit bereiden Tc-99m pannenrook	Nucleaire Geneeskunde	
5. Toediening farmaca aan patiënt	Nucleaire Geneeskunde	X
6. Begeleiding en scan van patiënt	Nucleaire Geneeskunde	
7. Ontslag patiënt	Nucleaire Geneeskunde	
8. Registratie en opslag gebruikte en gebruikte spuiten	Nucleaire Geneeskunde	
9. Vrijgave en afvoer gebruikte en gebruikte spuiten als ziekenhuisafval	Nucleaire Geneeskunde	

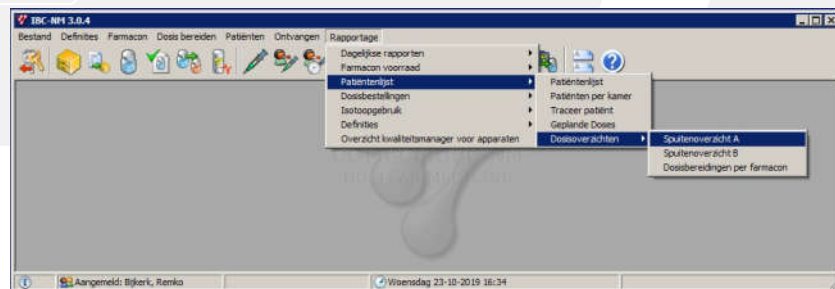
[illegible][illegible]

Rekensheets: Uitgangspunten

- Toegepaste Bronnen, Farmaca en Onderzoeken éénduidig vastgelegd
- (Fysische) eigenschappen Nucliden en Farmaca ingevuld

Nuclide - Farmacon - Onderzoek	Nucliden gegevens	Farmaca gegevens	Transfer fracties (TFW)	Handelingen
--------------------------------	-------------------	------------------	-------------------------	-------------

- Per (deel)handeling: **Aantal/jaar en Activiteit bekend**
 - Nieuwe handelingen: Schatting maken
 - Reeds uitgevoerde handelingen: IBC



IBC: 3 registratiemomenten v.d. Activiteit

- **Leveringsniveau**
 - Bestellingen
 - Elutie generatoren
 - Bereiding farmaca
- Niveau **VTGM** (voor toediening gereed maken)
- **Toedieningsniveau** (& vervolg)
 - Scan
 - Klinische patiënt

3 gegevenstabellen:

Handelingsniveau: Levering / Elutie / Bereiding				
Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Leveringen	Activiteit Gemiddeld	Activiteit Maximum	Opmerking / Handeling
Kolom 1	[Aantal/jaar]	[MBq]	[MBq]	
F-18 FDG	419	2037,60	6436,59	Levering
F-18 Choline	20	724,40	2269,25	Levering
F-18 Flutemetamol	2	490,98	669,44	Levering
Ga-68 Galliumchloride	143	1100,00	1800,00	Generator Elutie
Ga-68 PSMA	143	729,30	1201,90	Bereiding
Tc-99m Natriumpertechneetaat	447	25633,99	68379,29	Generator Elutie
Tc-99m MAA	63	1761,30	2290,94	Bereiding
Tc-99m MAG3	51	1731,82	2534,91	Bereiding

12 generieke Risico Rekensheets

- **“Activiteits”niveau**
 - Levering / voorraad
 - VTGM
 - Toediening
- **Reguliere handelingen**
 - Uitwendige blootstelling
 - Inhalatie
- **VOG’s**
 - Uitwendige blootstelling
 - Inhalatie
 - Ingestie
 - Prik-incident
 - Huidbesmetting

[illegible]

zorg voor elkaar

Elke Rekensheet bestaat uit 3 delen:

- In te vullen gegevens: (selectie)
- Overgenomen gegevens: (uit Nucliden & Farmaca eigenschappen)
- Berekende gegevens: (dosistempo en collectieve jaardosis)

[illegible]

			Petoussi	Petoussi	Otto	HVL Smith	HVL Smith
Leveringen	Activiteit Gemiddeld	Activiteitsfractie	h(0,07) @ 10 cm	h(10) @ 100 cm	h(3) @ 100 cm	Transmissie bron-afscherming	Transmissie lichaams-afscherming
[Aantal/jaar]	[MBq]		[µSv/h/MBq]	[µSv/h/MBq]	[µSv/h/MBq]		
✓ #N/B	✓ #N/B	✓ #N/B				✓ #N/B	✓ #N/B
✓ #N/B	✓ #N/B	✓ #N/B				✓ #N/B	✓ #N/B
✓ #N/B	✓ #N/B	✓ #N/B				✓ #N/B	✓ #N/B
✓ #N/B	✓ #N/B	✓ #N/B				✓ #N/B	✓ #N/B

Collectieve dosis van alle betrokken medewerkers						
Dosistempo extremiteten	Extremiteten jaardosis	Dosistempo lichaam	Lichaams jaardosis	Dosistempo oog lens	Oog lens jaardosis	
[μSv/h]	[mSv]	[μSv/h]	[mSv]	[μSv/h]	[mSv]	
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	
#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	#N/B	
#N/R	#N/R	#N/R	#N/R	#N/R	#N/R	



Voorbeeld: Levering - Uitwendig - Regulier

Overnemen uit tabel “Nuclide – Farmacon – Onverzoek” (exacte kopie):

- Input: Selectie van handelingen leveringsniveau
- Output: Ingevulde “IBC gegevens” (Aantal & Activiteit)

Eventueel verdelen over meerdere Tabellen...

Rekenblad 1: Reguliere handelingen met open (en ingekapselde) bronnen op Leveringsniveau				
Nuclide	Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Type (deel)handeling	Leveringen	Activiteit Gemiddeld
			[Aantal/jaar]	[MBq]
F-18	F-18 FDG	VTGM in LAF-kast	419	2037,60
F-18	F-18 Choline	VTGM in LAF-kast	20	724,40
F-18	F-18 Flutemetamol	VTGM in LAF-kast	2	490,98
Ga-68	Ga-68 Galliumchloride	VTGM in LAF-kast	143	1100,00
Ga-68	Ga-68 PSMA	VTGM in LAF-kast	143	729,30
Tc-99m	Tc-99m Natriumpertechnetaat	VTGM in LAF-kast	447	25633,99
Tc-99m	Tc-99m MAA	VTGM in LAF-kast	63	1761,30



Benodigde gegevens (2): Activiteitsfractie

Bij verschillende (deel)handelingen na elkaar:

- Tijd vóór of ná Activiteitsregistratie

Rekenblad 1: Reguliere handelingen met open (en ingekapselde) bronnen op Leveringsniveau - U				
Nuclide	Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Type (deel)handeling	Tijd (vóór/na activiteitsmeting)	Activiteitsfractie
			[uur]	
F-18	F-18 FDG	VTGM in LAF-kast	0,00	1,00
F-18	F-18 Choline	VTGM in LAF-kast	0,25	0,91
F-18	F-18 Flutemetamol	VTGM in LAF-kast	0,50	0,83
Ga-68	Ga-68 Galliumchloride	VTGM in LAF-kast	0,75	0,63
Ga-68	Ga-68 PSMA	VTGM in LAF-kast	1,00	0,54
Tc-99m	Tc-99m Natriumpertechnetaat	VTGM in LAF-kast	1,50	0,84
Tc-99m	Tc-99m MAA	VTGM in LAF-kast	-1,00	1,12



/ zorg voor elkaar

Gegevens (3): Tijdsduur / Afstand / Afscherming

Reguliere handelingen met open (en ingekapselde) bronnen op Leveringsniveau - Uitwendige blootstelling

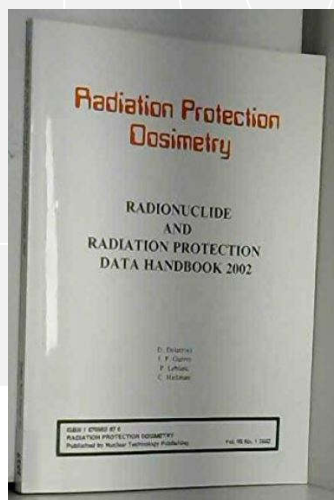
Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Type (deel)handeling	Tijdsduur extremiteten blootstelling [min]	Afstand extremiteten tot bron [cm]	Afscherming bron [mm Pb eq.]	Tijdsduur lichaams blootstelling [min]	Afstand lichaam tot bron [m]	Extra afscherming lichaam [mm Pb eq.]
F-18 FDG	VTGM in LAF-kast	2	30		15	0,5	
F-18 Choline	VTGM in LAF-kast	2	30		15	0,5	
F-18 Flutemetamol	VTGM in LAF-kast	2	30		15	0,5	
Ga-68 Galliumchloride	VTGM in LAF-kast	2	30		15	0,5	
Ga-68 PSMA	VTGM in LAF-kast	2	30		15	0,5	
Tc-99m Natriumpertechnetaat	VTGM in LAF-kast	2	20		15	0,5	
Tc-99m MAA	VTGM in LAF-kast	2	8		15	0,5	

Reguliere handelingen met open (en ingekapselde) bronnen op Leveringsniveau - Uitwendige blootstelling

Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Tijdsduur extremiteten blootstelling [min]	Afstand extremiteten tot bron [cm]	Afscherming bron [mm Pb eq.]	Tijdsduur lichaams blootstelling [min]	Afstand lichaam tot bron [m]	Extra afscherming lichaam [mm Pb eq.]	HVL Smith	HVL Smith
F-18 FDG	2	30	30	15	0,5	10	1,50E-02	2,47E-01
F-18 Choline	2	30	30	15	0,5	10	1,50E-02	2,47E-01
F-18 Flutemetamol	2	30	30	15	0,5	10	1,50E-02	2,47E-01
Ga-68 Galliumchloride	2	30	30	15	0,5	10	1,72E-02	2,58E-01
Ga-68 PSMA	2	30	30	15	0,5	10	1,72E-02	2,58E-01
Tc-99m Natriumpertechnetaat	2	20	3	15	0,5	10	1,39E-04	1,37E-13
Tc-99m MAA	2	8	3	15	0,5	10	1,39E-04	1,37E-13



Transmissie door afscherming: Delacroix e.a. (2002) / Smith & Stabin (2012)



Paper

EXPOSURE RATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUES FOR OVER 1,100 RADIONUCLIDES

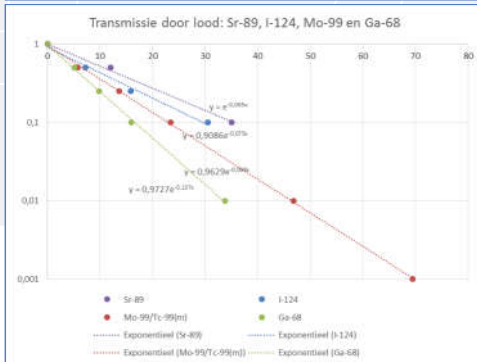
David S. Smith and Michael G. Stabin*

Lead attenuation thicknesses (mm Pb)

HVL	QVL	TVL	CVL	MVL
0.639	2.3	5.86	16.9	28.8
0.168	0.631	1.42	3.71	6.09
0.0698	0.459	1.21	9.26	22.1
0.284	0.932	1.92	4.95	13.2

Transmissie door afscherming in Rekensheet:

Literatuur:	Otto 2016	ICRP 119	Delacroix 2002 / Bos 2007	Smith & Stabin 2012					
Nuclide	Verval	T(1/2) [h]	HVL [mm Pb]	TVL [mm Pb]	HVL [mm Pb]	QVL [mm Pb]	TVL [mm Pb]	CVL [mm Pb]	MVL [mm Pb]
F-18	EC/B+	1,8295	6	17	4,95	9,46	15,1	28,9	42,5
P-32	B-	342,96	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Co-57 (s)	EC	6501,6	< 1	1	0,298	0,533	0,85	2,39	24
Ga-68	EC/B+	1,133	6	17	5,12	9,84	16	33,8	61,7



Transmissie door afscherming:

- HVL bij Gamma-straling
- Dracht bij bèta-straling

Disclaimer:

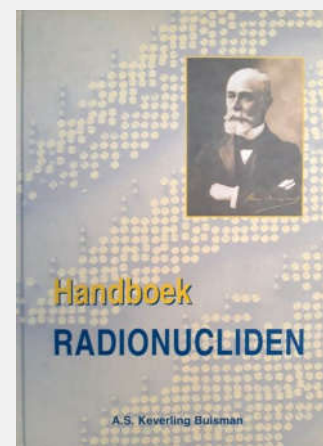
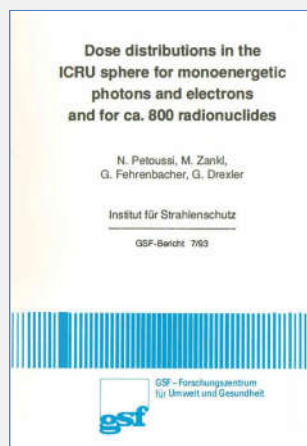
- Literatuurwaarden ongewijzigd overgenomen, soms (grote) onderlinge afwijkingen
- Bepaling Transmissie uit gegevens volgens eigen inzicht / benodigde precisie

Bronconstanten:

- Petoussi '93
- Keverling Buisman '96
- Otto 2016

Benodigd:

- $H^*(10)$ voor effectieve lichaamsdosis
- $H'(0,07)$ voor equivalente extr. dosis
- $H'(3)$ voor equivalente ooglensdosis



Radiation Protection Dosimetry (2016), Vol. 168, No. 1, pp. 1–70
Advance Access publication 26 October 2014

doi:10.1093/rpd/ncu316



PERSONAL DOSE-EQUIVALENT CONVERSION COEFFICIENTS FOR 1252 RADIONUCLIDES

Thomas Otto*
Technology Department, CERN, CH-1211 Geneve 23, Switzerland

Bronconstanten “keuze stress”

Keverling '96:

Nuclide	h [μSv/h/MBq]	H(huid) [Sv/s per Bq/cm ²]
F-18	1,66E-01	5,00E-10
P-32		6,00E-10

Petoussi '93:

Nuclide	H'(10) e [μSv/h/MBq]	H'(10) γ [μSv/h/MBq]	H'(10) sum [μSv/h/MBq]
F-18	0,00E+00	1,60E-01	1,60E-01
P-32	1,97E-04	0,00E+00	1,97E-04

Nuclide	H'(0,07) e [μSv/h/MBq]	H'(0,07) γ [μSv/h/MBq]	H'(0,07) sum [μSv/h/MBq]
F-18	1,66E+03	1,60E+01	1,68E+03
P-32	1,17E+03	0,00E+00	1,17E+03

Otto 2016:

Nuclide	Hp(10) ph [μSv/h/GBq]	Hp(10) el [μSv/h/GBq]	Hp(10) β+/β- [μSv/h/GBq]	Hp(10) an [μSv/h/GBq]	Hp(10) USh [μSv/h/MBq]	Hp(10) Sh [μSv/h/MBq]
F-18	0	0	7	169	7,00E-03	1,69E-01
P-32	0	0	1	0	1,00E-03	0,00E+00

Nuclide	Hp(3) ph [μSv/h/GBq]	Hp(3) el [μSv/h/GBq]	Hp(3) β+/β- [μSv/h/GBq]	Hp(3) an [μSv/h/GBq]	Hp(3) USh [μSv/h/MBq]	Hp(3) Sh [μSv/h/MBq]
F-18	0	0	5	169	5,00E-03	1,69E-01
P-32	0	0	736	0	7,36E-01	0,00E+00

Nuclide	Hp(0,07) ph [mSv/h/GBq]	Hp(0,07) el [mSv/h/GBq]	Hp(0,07) β+/β- [mSv/h/GBq]	Hp(0,07) an [mSv/h/GBq]	Hp(0,07) USh [μSv/h/MBq]	Hp(0,07) Sh [μSv/h/MBq]
F-18	0	0	1675,6	5,8	1,68E+03	5,80E+00
P-32	0	0	1211,3	0	1,21E+03	0,00E+00

**Nodig voor
oog lensdosis !**

/ zorg voor elkaar

Voorbeeld: Extremiteten - H'(0,07)

Disclaimers:

- Literatuur: soms (grote) onderlinge afwijkingen
- Keuze Bronconstante:
 - volgens eigen inzicht (conservatief?)
 - bij twijfel ondersteund door metingen / aanvullende info
- Kwadratenwet (afstanden):
 - Afstand vanaf bron > 5x bronafmetingen

Literatuur:	Otto 2016	Otto 2016	Petoussi 93	Otto 2016	Petoussi 93
Nuclide	Verval	Hp(0,07) USh [μSv/h/MBq]	H'(0,07) sum [μSv/h/MBq]	Hp(0,07) Sh [μSv/h/MBq]	H'(0,07) γ [μSv/h/MBq]
F-18	EC/B+	1,68E+03	1,68E+03	5,80E+00	1,60E+01
P-32	B-	1,21E+03	1,17E+03	0,00E+00	0,00E+00
Co-57 (s)	EC	2,49E+01	1,13E+02	2,90E+00	3,13E+01
Ga-68	EC/B+	1,03E+03	9,98E+02	5,40E+00	1,48E+01
Ge-68 (s)	EC	9,00E-01	1,04E+01	9,00E-01	1,04E+01
Ge-68 (eff.)	EC/B+	1,03E+03	9,98E+02	5,40E+00	1,48E+01
Rb-81 (s)	EC/B+	4,42E+02	1,33E+03	7,90E+00	1,61E+01
Kr-81m	IT/EC	1,06E+03	9,01E+02	4,30E+00	4,07E+00
Sr-89	B-	1,25E+03	1,22E+03	0,00E+00	1,23E-03
Sr-90 (s)	B-	1,46E+03	1,46E+03	0,00E+00	0,00E+00
Y-90	B-	1,09E+03	1,07E+03	0,00E+00	8,18E-04
Mo-99 (s)	B-	1,38E+03	1,35E+03	1,00E+00	2,44E+00
Tc-99m	IT/B-	6,74E+01	2,61E+02	2,60E+00	2,21E+00

Opmerking:

- Vanuit NCS aftrap gegeven voor een Extremiteten Commissie.
- Doel: Richtlijn “extremiteten” bij open radioactieve stoffen.
- Aandacht gevraagd voor: berekening van de “ handen / extremiteten” dosis t.b.v. het nieuwe RIAS model

Afscherming van eventuele Béta-straling

Mogelijkheden:

- **Ja:** Hp(d) voor Gamma straling
- **Nee:** Hp(d) voor Gamma + Béta straling
- **Deels:** Zoek het lekker zelf uit...

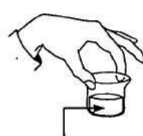
Rekenblad 1: Reguliere handelingen met open (en ingekapselde) bronnen op Leveringsniveau						Petoussi	Petoussi	Otto
Nuclide	Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Béta-straling afgeschermd?	Leveringen	Activiteit Gemiddeld	Activiteits-fractie	h(0,07) @ 10 cm	h(10) @ 100 cm	h(3) @ 100 cm
		[Ja/Nee/Deels]	[Aantal/jaar]	[MBq]		[μSv/h/MBq]	[μSv/h/MBq]	[μSv/h/MBq]
F-18	F-18 FDG	Ja	419	2037,60	1,00	1,60E+01	1,60E-01	1,69E-01
F-18	F-18 Choline	Nee	20	724,40	1,00	1,68E+03	1,60E-01	5,00E-03
F-18	F-18 Flutemetamol	Deels	2	490,98	1,00	Bepaal h(0,07)	Bepaal h(10)	Bepaal h(3)
Ga-68	Ga-68 Galliumchloride	Ja	143	1100,00	1,00	1,48E+01	1,48E-01	1,61E-01
Ga-68	Ga-68 PSMA	Nee	143	729,30	1,00	1,48E+01	1,48E-01	1,61E-01
Tc-99m	Tc-99m Natriumpertechnate	Ja	447	25633,99	1,00	2,21E+00	2,18E-02	2,60E-02
Tc-99m	Tc-99m MAA	Ja	63	1761,30	1,00	2,21E+00	2,18E-02	2,60E-02



/ zorg voor elkaar

Bepaling Afscherming Béta-straling (1)

- Delacroix:
 - Total absorption β en e (mm glas en plastic)
 - Bronconstanten bij praktijkvoorbeelden

EXTERNAL EXPOSURE (mSv.h ⁻¹) for an activity of 1 MBq or 1 MBq.m ⁻² (as appropriate)				
Point source (30 cm)	Infinite plane source	10 ml glass vial	Contact with 50 ml glass beaker	Contact with 5 ml plastic syringe
				
Betas, electrons (skin dose)	Betas, electrons (skin)			
10 cm	10 cm			
1 m	1 m			
Photons (skin)	Photons (skin)			
10 cm	10 cm			
1 m	1 m			
Photons (deep dose)	Photons (deep dose)			
10 cm	10 cm			
1 m	1 m			
1.20E-1	9.6E-02	1.58E-4	5.63E-1	2.88E+0
1.81E-3	5.3E-04			
	6.8E-03			
	4.3E-03			
	6.4E-03			
	4.1E-03			

The values above do not include Bremsstrahlung radiation.

Fluorine - 18

Half life: 1.83 hours

SHIELDING (mm)		
Betas and electrons (Total absorption)		
Glass	0.9	
Plastic	1.7	
Gamma and X rays (half and tenth value thickness)		
	½	1/10
Lead	6	17
Steel	27	64



/ zorg voor elkaar

Bepaling Afscherming Béta-straling (2)

- Metingen collega's (bv. M. v.d. Graaf)
- Mirion (NRG): (extremiteiten) dosimeters



adrz / +

Resultaten metingen

- Resultaten experimenten:
 ^{18}F : dosis totaal/dosis gamma < 3
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$: dosis totaal/dosis gamma < 1.5
- Dosis totaal/dosis gamma wordt hoger naarmate afstand tot bron korter wordt.



Resultaat: Dosistempo en Collectieve jaardosis

Reguliere handelingen met open (en ingekapselde) bron		Collectieve dosis van alle betrokken medewerkers					
Farmacon / Ingekapselde bron / Generator	Type (deel)handeling	Dosistempo extremiteiten	Extremiteiten jaardosis	Dosistempo lichaam	Lichaams jaardosis	Dosistempo ooglens	Ooglens jaardosis
		[$\mu\text{Sv/h}$]	[mSv]	[$\mu\text{Sv/h}$]	[mSv]	[$\mu\text{Sv/h}$]	[mSv]
F-18 FDG	VTGM in LAF-kast	3,57E+03	4,99E+01	3,17E+02	3,32E+01	3,35E+02	3,51E+01
F-18 Choline	VTGM in LAF-kast	1,27E+03	8,47E-01	1,13E+02	5,64E-01	1,19E+02	5,95E-01
F-18 Flutemetamol	VTGM in LAF-kast	8,61E+02	5,74E-02	7,64E+01	3,82E-02	8,07E+01	4,04E-02
Ga-68 Galliumchloride	VTGM in LAF-kast	1,78E+03	8,51E+00	1,66E+02	5,93E+00	1,81E+02	6,45E+00
Ga-68 PSMA	VTGM in LAF-kast	1,18E+03	5,64E+00	1,10E+02	3,93E+00	1,20E+02	4,28E+00
Tc-99m Natriumpertechnetaat	VTGM in LAF-kast	1,05E+04	1,57E+02	2,29E+10	2,55E-11	2,73E-10	3,05E-11
Tc-99m MAA	VTGM in LAF-kast	4,52E+03	9,50E+00	1,57E-11	2,47E-13	1,87E-11	2,95E-13
Tc-99m MAG3	VTGM in LAF-kast	4,45E+03	7,56E+00	1,54E-11	1,97E-13	1,84E-11	2,35E-13

adrz / +

/ zorg voor elkaar

Jaardosis per type medewerker

Invullen:

FTE(Medewerker)
FTE(Totaal)



Reguliere handelingen met open (en ingekapselde) bron		Medewerker type			
Farmacon / Ingekapelde bron / Generator	Type (deel)handeling	FTE(m) / FTE(totaal)	Extremiteiten jaardosis	Lichaams jaardosis	Ooglens jaardosis
		[%]	[mSv]	[mSv]	[mSv]
F-18 FDG	VTGM in LAF-kast	15%	7,48E+00	4,98E+00	5,26E+00
F-18 Choline	VTGM in LAF-kast	15%	1,27E-01	8,46E-02	8,93E-02
F-18 Flutemetamol	VTGM in LAF-kast	15%	8,61E-03	5,73E-03	6,05E-03
Ga-68 Galliumchloride	VTGM in LAF-kast	15%	1,28E+00	8,90E-01	9,68E-01
Ga-68 PSMA	VTGM in LAF-kast	15%	8,46E-01	5,90E-01	6,42E-01
Tc-99m Natriumpertechnetaat	VTGM in LAF-kast	15%	2,35E+01	3,83E-12	4,57E-12
Tc-99m MAA	VTGM in LAF-kast	15%	1,42E+00	3,71E-14	4,42E-14
Tc-99m MAG3	VTGM in LAF-kast	15%	1,13E+00	2,95E-14	3,52E-14
Tc-99m Nanocolloid	VTGM in LAF-kast	15%	1,38E+00	3,59E-14	4,28E-14
Tc-99m SestaMIBI	VTGM in LAF-kast	15%	1,37E+01	3,57E-13	4,26E-13
Tc-99m Osteocis	VTGM in LAF-kast	15%	1,17E+00	3,04E-14	3,63E-14
Tc-99m Technescan HDP	VTGM in LAF-kast	15%	2,27E+01	5,91E-13	7,05E-13
Tc-99m Technescan DMSA	VTGM in LAF-kast	15%	1,57E-01	4,08E-15	4,86E-15
Tc-99m Technescan DTPA	VTGM in LAF-kast	15%	2,51E-02	6,55E-16	7,81E-16
Tc-99m Vasculosis	VTGM in LAF-kast	15%	2,51E+00	6,53E-14	7,79E-14
In-111 Octreoscan	VTGM in LAF-kast	15%	5,86E-02	2,01E-14	2,43E-14
I-123 DATscan	VTGM in LAF-kast	15%	6,91E-02	9,43E-48	1,13E-47
I-123 IBZM	VTGM in LAF-kast	15%	1,15E-02	1,56E-48	1,88E-48
I-123 NaI capsule (35% uptake)	VTGM in toedienruimte	15%	8,75E-03	4,60E-17	5,52E-17
I-123 Natriumjodide	VTGM in LAF-kast	15%	2,28E-02	3,11E-48	3,73E-48
I-123 MIBG	VTGM in LAF-kast	15%	3,92E-03	5,35E-49	6,42E-49
I-131 NaI capsule (35% uptake)	VTGM in toedienruimte	15%	2,71E-01	2,51E-02	2,74E-02
Ra-223 Radiumdichloride	VTGM in toedienruimte	15%	2,85E-02	1,87E-04	2,69E-04
		Totaal:	7,80E+01	6,58E+00	7,00E+00

Handelingen op niveau: VTGM en Toediening (Uitwendig – Regulier)

- Grotendeels zelfde werkwijze als bij Leveringsniveau
- Onderzoeken (i.p.v. Farmaca)
 - Gem. Activiteit / Aantallen
- Ingekapelde bronnen tijdens gebruik

Reguliere handelingen met open bronnen op niveau Toediening - Uitwendig			
Onderzoek	Type (deel)handeling	Handeling	Activiteit Gemiddeld
		[Aantal/jaar]	[MBq]
F-18 FDG PET scintigrafie	Injectie	1589	233,33
F-18 FDG PET hersenen	Injectie	5	255,20
F-18 PET Choline bijschildklier injectie	Injectie	9	230,49
F-18 PET Choline scintigrafie	Injectie	26	280,62
F-18 PET Hersen amyloidscan	Injectie	3	195,51
Ga-68 PSMA PET scintigrafie	Injectie	244	194,86
Tc-99m Maagslijmvlies	Injectie	3	102,86



/ zorg voor elkaar

Resultaat: Jaardosis per type medewerker (Uitwendig – Regulier)

Levering - Uitwendig - Regulier	VTGM - Uitwendig - Regulier	Toediening-Uitwendig-Regulier	Totale per type medewerker
---------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	----------------------------

Medewerker type					
Blootstellingstype	Extremiteten jaardosis	Lichaams jaardosis	Ooglens jaardosis	Inwendige volgdosis	Huid dosis per cm2
	[mSv]	[mSv]	[mSv]	[mSv]	[mSv]
Niveau Reguliere handelingen					
Levering	7,80E+01	6,58E+00	7,00E+00		
VTGM	7,10E+00	7,81E-01	8,27E-01		
Toediening	2,63E-01	1,14E-01	1,23E-01		
Totaal	8,53E+01	7,47E+00	7,95E+00		
Voorziene onbedoelde gebeurtenissen					
Levering					
VTGM					
Toediening					
Totaal					



Reguliere handelingen - Inhalatie

Levering - Inhalatie - Regulier	VTGM - Inhalatie - Regulier	Toediening-Inhalatie-Regulier
---------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

Deels gelijk aan Uitwendige blootstelling, echter:

- Transfer Fractie Werker (TFW) per type handeling
- Dosiskonversie coëfficiënt (e(g)) voor Inhalatie

Reguliere handelingen met open bronnen op Leveringsniveau - Inhalatie					Medewerker type		
Farmacon	Type (deel)handeling	TFW per dag (5 uur)	Tijdsduur handeling	e(g)5μ- inhalatie	Jaardosis Inhalatie Collectief	FTE(m) / FTE(totaal)	Jaardosis Inhalatie Medewerker
			[min]	[Sv/Bq]	[mSv]	[%]	[mSv]
F-18 FDG	VTGM in LAF-kast	5,40E-13	15	5,40E-11	1,24E-09	15%	1,87E-10
Ga-68 PSMA	VTGM in LAF-kast	5,40E-13	15	4,90E-11	1,38E-10	15%	2,07E-11
Tc-99m Natriumpertechnetaat	VTGM in LAF-kast	5,40E-13	15	2,90E-11	8,97E-09	15%	1,35E-09
Tc-99m MAA	VTGM in LAF-kast	5,40E-13	15	2,00E-11	5,99E-11	15%	8,99E-12
Tc-99m MAG3	VTGM in LAF-kast	5,40E-13	15	2,00E-11	4,77E-11	15%	7,15E-12

Transfer Fracties Werkers: HARAS



Voorbeeld: Optrekken van spuiten met een vloeistof waarin een niet vluchtige radionuclide is opgelost

DIN-gekeurde zuurkast

	<i>TF-werker</i>		
	<i>12 min</i>	<i>1 uur</i>	<i>5 uur</i>
<i>0,01% vrijk.</i>	1,2 E-14	9,8 E-14	5,4 E-13
<i>10% vrijkomen</i>	1,2 E-11	9,8 E-11	5,4 E-10
<i>0,01% vrijk. falend zuurkast</i>	1,3 E-10	1,2 E-9	6,9 E-8
<i>0,01 % vrijk. falend ventilatie-systeem</i>	1,6 E-10	2,3 E-9	1,6 E-8
<i>100% vrijkomen</i>	1,2 E-10	9,8 E-10	5,4 E-9
<i>100% vrijkomen falend ventilatie-systeem</i>	1,6 E-6	2,3 E-5	1,6 E-4

ICRP 119: Tabellen op Website ANVS

Inhalatie & Ingestie:

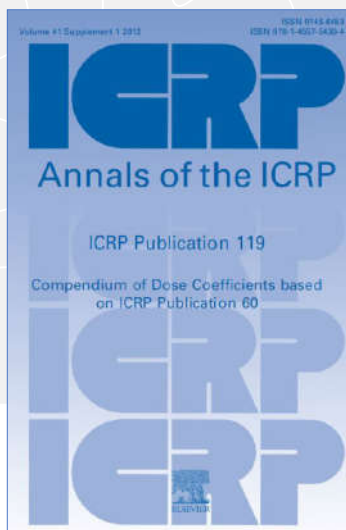


Table A.1. Effective dose coefficient for ingested and inhaled (AMAD = 1 and 5 μm) particulates by workers.

		Effective Dose Coefficient (Sv Bq ⁻¹)					
		Inhalation				Ingestion	
Nuclide	<i>T</i> _{1/2}	Type	<i>f</i> ₁	<i>e</i> (1 μm)	<i>e</i> (5 μm)	<i>f</i> ₁	<i>e</i>
Fluorine							
F-18	109.77 m	F	1,0	3,0E-11	5,4E-11	1,0	4,9E-11
		M	1,0	5,7E-11	8,9E-11		
		S	1,0	6,0E-11	9,3E-11		
Phosphorus							
P-32	14.29 d	F	0,8	8,0E-10	1,1E-09	0,8	2,4E-09
Gallium							
Ga-68	68.0 m	F	0,001	2,8E-11	4,9E-11	0,001	1,0E-10
		M	0,001	5,1E-11	8,1E-11		
Technetium							
Tc-99m	6.02 h	F	0,8	1,2E-11	2,0E-11	0,8	2,2E-11
		M	0,8	1,9E-11	2,9E-11		

/ zorg voor elkaar

Resultaat: Jaardosis per type medewerker (Inwendig– Regulier)

Medewerker type					
Blootstellingstype	Extremiteten jaardosis [mSv]	Lichaams jaardosis [mSv]	Oog lens jaardosis [mSv]	Inwendige volgdosis [mSv]	Huid dosis per cm2 [mSv]
Niveau Reguleerbare handelingen					
Levering	7,80E+01	6,58E+00	7,00E+00	1,84E-09	
VTGM	7,10E+00	7,81E-01	8,27E-01	1,06E-08	
Toediening	2,63E-01	1,14E-01	1,23E-01	2,54E-04	
Totaal	8,53E+01	7,47E+00	7,95E+00	2,54E-04	

Aandachtspunt / Disclaimer:

- Meer recente literatuur: Hogere schattingen voor TFW Inhalatie
- EU Radiation Protection 188 (2018): Monitoring via Inname-bepaling



/ zorg voor elkaar

Voorziene onbedoelde gebeurtenissen

In RIAS samenvatting genoemd:

- VOG's ingekapselde bronnen
 1. Tijd
 2. Afstand
 3. Lekkage
 4. Zoekraken I-125 zaadje

- VOG's open bronnen
 1. Lekkage van bron tijdens transport
 2. Bij ingespoten patiënt verblijven
 3. Morsen / opruimen besmetting
 4. Aanraken besmette onderdelen
 5. Loslaten infuus, morsen radioactief bloed
 6. Reanimatie

Rekensheets:

Levering - Uitwendig - VOG	VTGM - Uitwendig - VOG	Toediening - Uitwendig - VOG					

Levering - Inwendig - VOG	VTGM - Inwendig - VOG			Toediening - Inwendig - VOG					



VOG uitwendige blootstelling (1)

Grotendeels gelijk aan Uitwendige blootstelling Regulier, echter:

- Handelingen opnemen waarbij VOG $\geq 1x$ per jaar
- Geschatte **fractie** van de **maximaal** gehanteerde activiteit (uit IBC)
- Blootstellingsduur tijdens gebeurtenis (en eventuele decontaminatie)

Voorbeeld:

Voorziene ongewenste gebeurtenis

Lek bij optrekken, 10% komt vrij

Onderzoek	Tijdsduur extremiteten blootstelling [min]	Afstand extremiteten tot bron [cm]	Afscherming bron [mm Pb eq.]	Tijdsduur lichaams blootstelling [min]	Afstand lichaam tot bron [m]	Extra afscherming lichaam [mm Pb eq.]	Béta-straling afgeschermd? [Ja/Nee/Deels]	Activiteit Maximum [MBq]	Activiteits- fractie
F-18 FDG PET scintigrafie	1	10	0	10	0,5	10	Nee	737,02	0,10
F-18 FDG PET hersenen	1	10	0	10	0,5	10	Nee	476,52	0,10
F-18 PET Choline bijschildklier injectie	1	10	0	10	0,5	10	Nee	384,17	0,10
F-18 PET Choline scintigrafie	1	10	0	10	0,5	10	Nee	514,54	0,10
F-18 PET Hersen amyloidscan	1	10	0	10	0,5	10	Nee	214,85	0,10
Ga-68 PSMA PET scintigrafie	1	10	0	10	0,5	10	Nee	548,17	0,10
Tc-99m Maagslijmvlies	1	10	0	10	0,5	10	Nee	251,62	0,10
Tc-99m Longperfusie	1	10	0	10	0,5	10	Nee	122,74	0,10

VOG uitwendige blootstelling (2)

Voorziene onbedoelde gebeurtenissen met open bronnen		Medewerker type			
Onderzoek	Voorziene ongewenste gebeurtenis	Aantal VOG's [per jaar]	Extremiteten jaardosis [mSv]	Lichaams jaardosis [mSv]	Ooglens jaardosis [mSv]
F-18 FDG PET scintigrafie	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	2,06E+00	1,94E-03	6,06E-05
F-18 FDG PET hersenen	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	1,33E+00	1,25E-03	3,92E-05
F-18 PET Choline bijschildklier injectie	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	1,07E+00	1,01E-03	3,16E-05
F-18 PET Choline scintigrafie	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	1,44E+00	1,35E-03	4,23E-05
F-18 PET Hersen amyloid	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	1,44E+00	1,35E-03	4,23E-05
Ga-68 PSMA PET scintigrafie	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	1,44E+00	1,35E-03	4,23E-05
Tc-99m Maagslijmvlies	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	1,44E+00	1,35E-03	4,23E-05
Tc-99m Longperfusie	Lek bij optrekken, 10% komt vrij	1	1,44E+00	1,35E-03	4,23E-05
Medewerker type		Bijdrage aan jaardosis			
Blootstellingstype		Extremiteten jaardosis [mSv]	Lichaams jaardosis [mSv]	Ooglens jaardosis [mSv]	Inwendige jaardosis [mSv]
Niveau Reguliere handelingen					
Levering		7,80E+01	6,58E+00	7,00E+00	1,84E-09
VTGM		7,10E+00	7,81E-01	8,27E-01	1,06E-08
Toediening		2,63E-01	1,14E-01	1,23E-01	2,54E-04
Totaal		8,53E+01	7,47E+00	7,95E+00	2,54E-04
Voorziene onbedoelde gebeurtenissen					
Levering		8,04E+02	3,23E-01	6,30E-01	
VTGM		1,13E+01	7,52E-03	1,15E-02	
Toediening		2,73E+00	1,69E-01	1,88E-01	
Totaal		8,18E+02	5,00E-01	8,30E-01	

VOG (inwendige) besmetting (1)

Voortbordurend op VOG Uitwendige blootstelling, met:

- **TFW** passend bij beschouwde incident (HARAS, voorbeeld: 1% activiteit spuit)
- Dosisconversiecoëfficiënten **e(g)**: Inhalatie / Ingestie / IV prikken
- **H(huid)** en **Lambda** (voor berekening effectieve besmettingstijd)

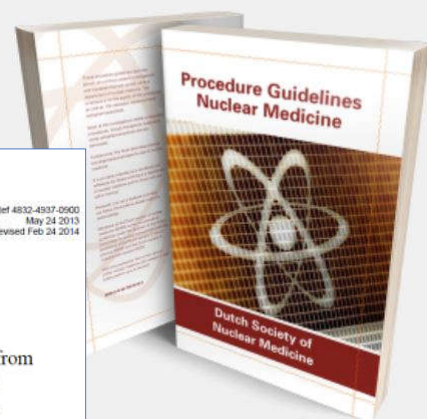
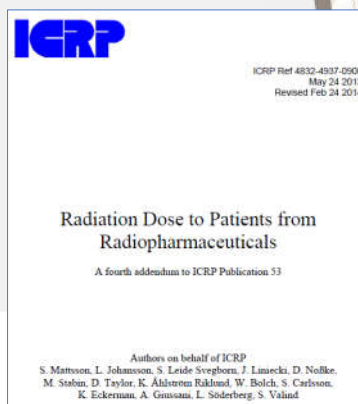
Inhalatie incident				Ingestie incident			
TFW (inhalatie)	Aantal VOG's	e(g)5μ- inhalatie	Volgdosis Inhalatie	TFW (ingestie)	Aantal VOG's	e(g)-ingestie	Volgdosis Ingestie
	[per jaar]	[Sv/Bq]	[mSv]		[per jaar]	[Sv/Bq]	[mSv]
9,80E-08	1	5,40E-11	2,44E-06	1,00E-07	1	4,90E-11	2,26E-06
9,80E-08	1	5,40E-11	1,45E-06	1,00E-07	1	4,90E-11	1,34E-06

Prik incident				Huidbesmetting				
TFW (prikken)	Aantal VOG's	e(g) intra-veneus	Volgdosis Prikken	TFW (per cm2 huid)	Aantal VOG's	H(huid) per cm2	Lambda (effectief)	Volgdosis Huid
	[per jaar]	[mSv/MBq]	[mSv]		[per jaar]	[Sv/s/Bq]	[per dag]	[mSv/cm2]
1,00E-03	1	1,90E-02	8,75E-03	1,00E-07	1	5,00E-10	9,23E+00	2,15E-01
1,00E-03	1	1,90E-02	5,20E-03	1,00E-07	1	5,00E-10	9,23E+00	1,28E-01

VOG: Prik-incident

Prikken (IV):

- Activiteitsfractie ingeschat m.b.v. TFW
 - HARAS: p. 40
- Volgdosis bepaald uit e(g)-IV
 - ICRP 53/80/106
 - NVNG Aanbevelingen



VOG: Huidbesmetting

Huidbesmetting:

- Activiteit verdeeld over bepaald huid-oppervlak
- Deels niet afwasbaar (TFW)
- Halfwaardetijd (i.v.m. tijdsduur):
 - Fysisch
 - Biologisch
- H(huid): Keverling Buisman (verwijst naar):

SSK - Maßnahmen bei radioaktiver Kontamination der Haut (1990)



Anhang 1

Berechnung der Äquivalentdosis der kontaminierten Haut

Die Äquivalentdosis der kontaminierten Haut läßt sich mit der nachstehenden Formel ermitteln:

$$H_s = A_F \cdot T_{1/2} \cdot \frac{1}{\ln 2} \cdot 86\,400 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t}\right) \cdot \dot{h}_s$$

Eindresultaat: Jaardosis per type medewerker (Regulier & VOG's)

Medewerker type	Extremiteten jaardosis	Lichaams jaardosis	Ooglens jaardosis	Inwendige volgdosis	Huiddosis per cm2
Blootstellingstype	[mSv]	[mSv]	[mSv]	[mSv]	[mSv]
Niveau Reguliere handelingen					
Levering	7,80E+01	6,58E+00	7,00E+00	1,84E-09	
VTGM	7,10E+00	7,81E-01	8,27E-01	1,06E-08	
Toediening	2,63E-01	1,14E-01	1,23E-01	2,54E-04	
Totaal	8,53E+01	7,47E+00	7,95E+00	2,54E-04	
Voorziene onbedoelde gebeurtenissen					
Levering	8,04E+02	3,23E-01	6,30E-01	3,47E-03	0,00E+00
VTGM	1,13E+01	7,52E-03	1,15E-02	5,41E-04	0,00E+00
Toediening	2,73E+00	1,69E-01	1,88E-01	2,74E-01	2,61E+02
Totaal	8,18E+02	5,00E-01	8,30E-01	2,78E-01	2,61E+02

Aandachtspunt – Sommatie van:

- Effectieve lichaamsdosis & Inwendige volgdosis
- Reguliere handelingen en VOG's?



/ zorg voor elkaar

Zijn we nu klaar 😊 ?
... eigenlijk nog niet 😞

RIAS Samenvatting: ...

6.6 Identificatie en indeling van ruimte

Dit onderdeel heeft als doel de vraag te beantwoorden in welke categorie de ruimten waar handelingen plaatsvinden, dienen te worden ingedeeld. Het gaat hier om de gecontroleerde en bewaakte zone. Ook hiervoor wordt verwezen naar de tabellen bij onderdelen 2A en 2B en worden dezelfde criteria gehanteerd als bij onderdeel 3E.



/ zorg voor elkaar

Controle Dosisniveau's bij ruimte-indeling

- Voeg een kolom "Ruimte (type)" toe aan álle rekensheets (analoog aan Type medewerker)
- Geef per ruimte type de Fractie v.d. beschouwde (deel)handelingen weer
- Beschouw maximaal mogelijke stralingsbelasting medewerkers per

Ruimte type					
Blootstellingstype	Extremiteten jaardosis	Lichaams jaardosis	Ooglens jaardosis	Inwendige volgdosis	Huid dosis per cm2
	[mSv]	[mSv]	[mSv]	[mSv]	[mSv]
Niveau Reguliere handelingen					
Levering					
VTGM					
Toediening					
Totaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Voorziene onbedoelde gebeurtenissen					
Levering					
VTGM					
Toediening					
Totaal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

