

# RIAS-NG: aandachtspunten bij het berekenen van extremiteitendoses

Marinette van der Graaf, perifere stage in Rijnstate



Rijnstate

Begeleiders:  
Bart Klein  
Rudi Hoekema

# RIAS-NG: Wettelijke verplichting

## Besluit Stralingsbescherming, artikel 10:

*‘de ondernemer zorgt ervoor dat door of onder toezicht van een deskundige, [ ] de plannen voor handelingen voorafgaand aan de uitvoering ervan kritisch worden bestudeerd, de risico’s ervan geïnventariseerd en geëvalueerd en toestemming verleend, voordat met de handeling wordt aangevangen.’*

- Risico Inventarisatie en Analyse Stralingshygiëne  
– Nucleaire geneeskunde

# Aanbevelingen Nederlandse Commissie Stralingsdosimetrie (NCS)

- <http://radiationdosimetry.org/documents/blootstelling-ng>

## Schatting opgelopen dosis bij ongewenste blootstelling

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

### FILES

---



Hulptabellen - Download

- uitwendige blootstelling regulier - Download
- uitwendige blootstelling regulier extremiteiten - Download ←
- Uitwendige blootstelling incidenteel - Download
- Uitwendige blootstelling incidenteel extremiteiten - Download
- Uitwendige blootstelling F-18 FDG - Download
- Uitwendige blootstelling I-131 therapie - Download
- Inwendige besmetting - Download

### RIAS NG

[see all files](#)

---

 <b>Aanbevelingen risicoanalyse en -evaluatie voor Nucleair Geneeskundige verrichtingen in ziekenhuizen</b> RIAS NG <a href="#">+ More about and download</a>	 <b>Schatting opgelopen dosis bij ongewenste blootstelling</b> Voorzien, onbedoelde gebeurtenissen bij Nucleaire Geneeskunde <a href="#">+ More about and download</a>
--	---

# Excelfile berekening extremitendoses

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Radiofarmacoon	gem. activiteit (MBq)	bron constante h(0,07) ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	tijdsduur handeling (min)	aantal handelingen per jaar (#/jaar)	dikte Pb afscherming bron [mm]	halveringsdikte in Pb [mm]	afstand tot bron [cm]	aantal HVL-dikten Pb [# HVL-dikten]	transmissie T	dosis-tempo (mSv/h)	Index dosis-tempo (dosistempo/ref_dosis 1)	jaardosis per handeling (mSv/jaar)	Index jaardosis (jaardosis / ref_dosis 2)
F-18-FDG optrekken met pincet	450	2000	0.5	1000	20	6	20	3.3	0.10	2.23E+01	89.3	186.0	7.4
F-18-FDG optrekken zonder pincet	450	2000	0.4	1000	20	6	7.5	3.3	0.10	1.59E+02	635.0	1058.3	42.3



3.11 mSv/jr

16.83 mSv/jr

~60 x lager

# Excelfile berekening extremitendoses

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Radiofarmacoon	gem. activiteit	bron constante h(0,07)	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)	( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	(min)	(#jaar)	[mm]	[mm]	[cm]	[#HVL-dikten]		(mSv/h)		(mSv/jaar)	
F-18-FDG optrekken met pincet	450	2000	0.5	1000	20	6	20	3.3	0.10	2.23E+01	89.3	186.0	7.4
F-18-FDG optrekken zonder pincet	450	2000	0.4	1000	20	6	7.5	3.3	0.10	1.59E+02	635.0	1058.3	42.3

# Bronconstantes dosisequivalentempo's h(0,07) en h(10)

Bos et al. Inleiding tot de Stralingshygiëne, appendix F

<u>Nuclide</u>	<u>h(0,07)</u> ( <u>μSv/h per MBq op</u> 10 cm)	<u>h(10)</u> ( <u>μSv/h per MBq op</u> 1 m)	Ratio h(0,07)/h(10) gecorrigeerd naar afstand
<sup>18</sup> F	2000	0.166	120
<sup>99m</sup> Tc	300	0.023	130

h(0,07)

Ontleend aan N. Petoussi, et al. dose distributions in the ICRU sphere for monoenergetic photons and electrons and for ca. 800 radionuclides, GSF-Bericht 7/93, 1993

h(10)

Ontleend aan A.S. Keverling Buisman, Handboek radionucliden en indien daar niet vermeld aan N. Petoussi et al.

Dose distributions in the ICRU sphere for monoenergetic photons and electrons and for ca. 800 radionuclides

Appendix

Table A1

N. Petoussi, M. Zankl.

W. Drexler, G. Drexler

Element	Z	Electron Contribution	Photon Contribution	Sum
H	1	0.00E+00	1.47E-03	1.47E-03
He	2	9.85E-05	7.72E-01	7.72E-01
B	5	1.65E+03	0.00E+00	1.65E+03
C	6	1.46E+03	1.60E+01	1.48E+03
N	7	1.34E+03	1.68E+01	1.36E+03
C	14	1.53E+02	0.00E+00	1.53E+02
O	8	1.15E+03	1.73E+01	1.17E+03
F	9	1.66E+03	1.60E+01	1.68E+03
...	...	...	...	...
Rh	99M	1.26E+02	1.34E+01	1.39E+02
Rh	99	8.45E+01	1.32E+01	9.77E+01
Tc	99M	2.59E+02	2.21E+00	2.61E+02

U sphere at the main axis, sources at a distance of

$^{-1} \cdot GBq^{-1}$ .

# Bronconstantes dosisequivalenten h(0,07) en h(10)

Bos et al. Inleiding tot de Stralingshygiëne, appendix F

Nuclide	h(0,07) ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	h(10) ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	Ratio h(0,07)/h(10) gecorrigeerd naar afstand
$^{18}\text{F}$	2000	0.166	120
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	300	0.023	130

N. Petoussi et al. GSF-Bericht 7/93, appendix A1

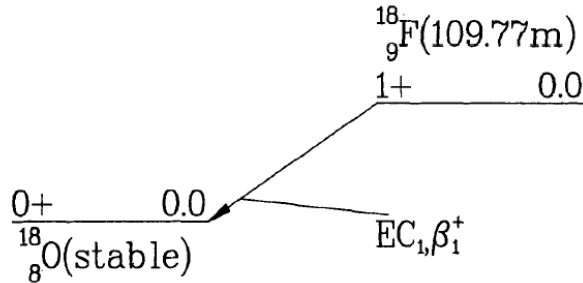
Nuclide	h(0,07) t.g.v. elektronen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	h(0,07) t.g.v. fotonen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	h(0,07) totaal ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	h(10) t.g.v. elektronen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	h(10) t.g.v. fotonen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	h(10) totaal ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)
$^{18}\text{F}$	1660	16	1676	-	0.160	0.160
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	259	2	261	-	0.022	0.022

↑  
**99% bijdrage elektronen**

←—————→  
**Factor 100, afstand!**



# $^{18}\text{F}$ : bijdrage positronen aan h(0,07)



Handbook Delacroix et al. 2002

## Fluorine - 18

Half life: 1.83 hours  
 Specific activity:  $3.52\text{E}+18 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$

Main emissions (keV)								
	Gamma or X		Beta (E <sub>max</sub> )		Electrons		Alpha	
	E	%	E	%	E	%	E	%
E1	511	194	634	97	1	3		
E2								
E3								
% omitted		0		0		0		

↑  
positronen

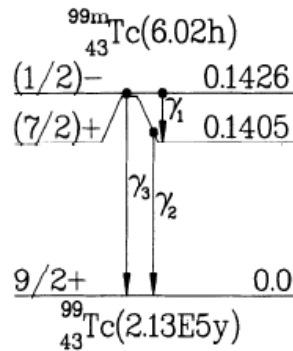
**9-FLUORINE-18**  
 HALFLIFE = 109.77 MINUTES  
 DECAY MODE(S): EC,  $\beta^+$   
 13-DEC-78

RADIATION	y(i) (Bq-s) <sup>-1</sup>	E(i) (MeV)	y(i) × E(i)
$\beta^+$	1.00E 00	2.498E-01*	2.50E-01
$\gamma$	2.00E 00	5.110E-01	1.02E 00

LISTED X,  $\gamma$  AND  $\gamma$ ± RADIATIONS 1.02E 00  
 LISTED  $\beta$ , ce AND Auger RADIATIONS 2.50E-01  
 LISTED RADIATIONS 1.27E 00

\* AVERAGE ENERGY (MeV)  
 OXYGEN-18 DAUGHTER IS STABLE.

# $^{99m}\text{Tc}$ : bijdrage elektronen aan h(0,07)



Handbook Delacroix et al. 2002

## Technetium - $^{99m}$

Half life: 6.0 hours  
 Specific activity:  $1.95\text{E}+17 \text{ Bq.g}^{-1}$

### 43-TECHNETIUM-99M

HALFLIFE = 6.02 HOURS 29-MAR-78  
 DECAY MODE(S): IT

RADIATION	$\nu(i)$ ( $\text{Bq}\cdot\text{s}$ ) <sup>-1</sup>	$E(i)$ (MeV)	$\nu(i)\cdot E(i)$
ce-M, $\gamma$ 1	9.14E-01	1.749E-03*	1.60E-03
ce-N <sup>+</sup> , $\gamma$ 1	7.57E-02	2.174E-03*	1.65E-04
$\gamma$ 2	8.89E-01	1.405E-01	1.25E-01
ce-K, $\gamma$ 2	8.79E-02	1.194E-01	1.05E-02
ce-L <sub>1</sub> , $\gamma$ 2	9.67E-03	1.374E-01	1.33E-03
ce-L <sub>2</sub> , $\gamma$ 2	6.10E-04	1.377E-01	8.40E-05
ce-L <sub>3</sub> , $\gamma$ 2	3.01E-04	1.378E-01	4.15E-05
ce-M, $\gamma$ 2	1.92E-03	1.400E-01*	2.70E-04
ce-N <sup>+</sup> , $\gamma$ 2	3.71E-04	1.405E-01*	5.21E-05
ce-K, $\gamma$ 3	6.91E-03	1.216E-01	8.41E-04
ce-L <sub>1</sub> , $\gamma$ 3	1.17E-03	1.396E-01	1.63E-04
ce-L <sub>2</sub> , $\gamma$ 3	2.43E-04	1.399E-01	3.39E-05
ce-L <sub>3</sub> , $\gamma$ 3	7.40E-04	1.400E-01	1.04E-04
ce-M, $\gamma$ 3	4.19E-04	1.422E-01*	5.97E-05
K $\alpha_1$ X-ray	4.03E-02	1.837E-02	7.39E-04
K $\alpha_2$ X-ray	2.12E-02	1.825E-02	3.96E-04
K $\beta$ X-ray	6.88E-03	2.062E-02	1.42E-04
Auger-KLL	1.45E-02	1.535E-02*	2.23E-04
Auger-KLX	5.76E-03	1.777E-02*	1.02E-04
Auger-LMM	7.10E-02	2.053E-03*	1.46E-04
Auger-LMX	3.05E-02	2.468E-03*	7.53E-05
Auger-MXY	1.11E 00	4.090E-04*	4.54E-04

LISTED X,  $\gamma$  AND  $\gamma\pm$  RADIATIONS 1.26E-01  
 OMITTED X,  $\gamma$  AND  $\gamma\pm$  RADIATIONS\*\* 1.58E-04  
 LISTED  $\beta$ , ce AND Auger RADIATIONS 1.62E-02  
 OMITTED  $\beta$ , ce AND Auger RADIATIONS\*\* 3.88E-05  
 LISTED RADIATIONS 1.42E-01  
 OMITTED RADIATIONS\*\* 1.96E-04

\* AVERAGE ENERGY (MeV)  
 \*\* EACH OMITTED TRANSITION CONTRIBUTES  
 <0.100% TO  $\sum \nu(i)\cdot E(i)$  IN ITS CATEGORY.  
 TECHNETIUM-99 DAUGHTER IS RADIOACTIVE.

Main emissions (keV)								
	Gamma or X		Beta (E <sub>max</sub> )		Electrons		Alpha	
	E	%	E	%	E	%	E	%
E1	18	6			120	9		
E2	21	1			138	1		
E3	141	89						
% omitted		1				1		



Conversie elektronen uit K- en L-schil

# $^{99m}\text{Tc}$ : bijdrage elektronen aan $h(0,07)$

Table 1: Dose equivalent at 0.007 cm depth at the main axis of the ICRU sphere,  $H'(0.07)$ , from point sources of monoenergetic photons and electrons at distance of 10 cm from the surface of the sphere

Energy emitted MeV	Dose per fluence due to electrons Sv.cm <sup>2</sup>	Dose per emitted electron Sv	Dose per fluence due to photons Sv.cm <sup>2</sup>	Dose per emitted photon Sv
0.010			0.72E-11	0.57E-14
0.015			0.31E-11	0.25E-14
0.020			0.18E-11	0.14E-14
0.025			0.12E-11	0.92E-15
0.030			0.84E-12	0.67E-15
0.040			0.55E-12	0.44E-15
0.050			0.43E-12	0.34E-15
0.060			0.39E-12	0.31E-15
0.070			0.41E-12	0.32E-15
0.080	0.40E-14	0.32E-17	0.42E-12	0.33E-15
0.090	0.22E-10	0.18E-13		
0.100	0.19E-09	0.15E-12	0.50E-12	0.40E-15
0.125	0.98E-09	0.78E-12		
---	---	---	---	---

10% elektronen 120 -138 keV

1 MBq/uur:

$3600 \cdot 10^6$  desintegraties

→

$3600 \cdot 10^6 \cdot 0.78 \cdot 10^{-12} \cdot 0.1 =$

$280 \cdot 10^{-6} = 280 \text{ uSv}$

~259 uSv

# Excellfile berekening extremitendoses

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Radiofarmacoon	gem. activiteit	bron constante h(0,07)	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)	( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	(min)	(#jaar)	[mm]	[mm]	[cm]	[#HVL-dikten]		(mSv/h)		(mSv/jaar)	
F-18-FDG optrekken met pincet	450	2000	0.5	1000	20	6	20	3.3	0.10	2.23E+01	89.3	186.0	7.4
F-18-FDG optrekken zonder pincet	450	2000	0.4	1000	20	6	7.5	3.3	0.10	1.59E+02	635.0	1058.3	42.3

# 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:

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

E energie in MeV  
 $\rho$  dichtheid afschermingsmateriaal (g/cm<sup>3</sup>)

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

# Afscherming (handbook Delacroix)

$^{18}\text{F}$

SHIELDING (mm)		
<b>Betas and electrons</b> (Total absorption)		
Glass	0.9	
Plastic	1.7	
<b>Gamma and X rays</b> (half and tenth value thickness)		
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$
Lead	6	17
Steel	27	64

$^{99\text{m}}\text{Tc}$

SHIELDING (mm)		
<b>Betas and electrons</b> (Total absorption)		
Glass	0.2	
Plastic	0.3	
<b>Gamma and X rays</b> (half and tenth value thickness)		
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$
Lead	< 1	1
Steel	1	19

# Voldoende afscherming

- Bij voldoende afscherming: alleen gammastraling

Dan alleen fotoncomponent van  $h(0,07)$  of  $100 \times h(10)$  te gebruiken in NCS-model

→ factor 120 lager bij  $^{18}\text{F}$

→ factor 130 lager bij  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

**Maar..... Niet altijd wordt alle betastraling weggevangen**



## CALCULATION OF PERSONAL DOSE EQUIVALENT FOR POSITRON-EMITTING RADIONUCLIDES USING MONTE CARLO CODE EGS5

T. Kato<sup>1,5</sup>, K. Aoki<sup>1</sup>, S. Yokoyama<sup>1,\*</sup>, K. Ejiri<sup>1</sup>, K. Minami<sup>1</sup>, H. Yashima<sup>2</sup>, A. Taniguchi<sup>2</sup>, T. Nakamura<sup>3</sup> and H. Hirayama<sup>4</sup>

Oppervlakte dosis neemt meer toe op korte afstand tot injectiespuit met <sup>18</sup>F dan volgens kwadratenwet:

Factor totale dosis/dosis gammastraling:

1	op 100 cm
1.3	op 60 cm
1.8	op 40 cm
3.3	op 20 cm

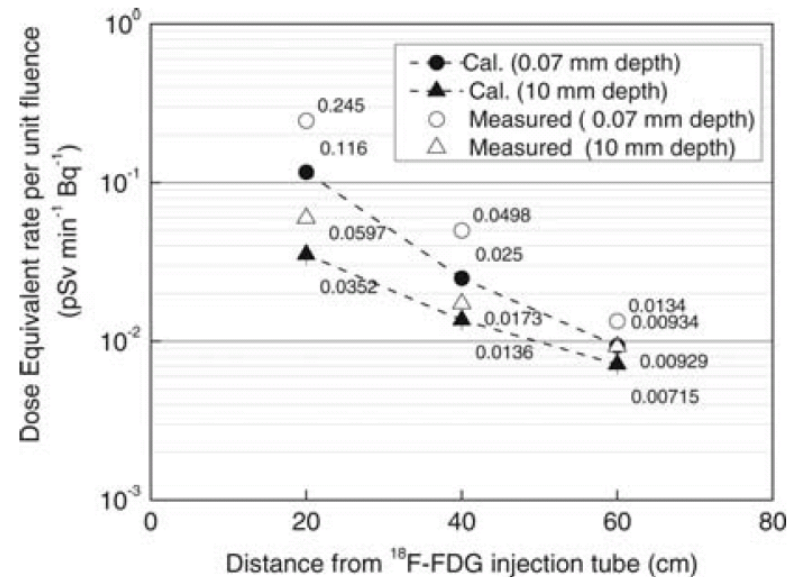
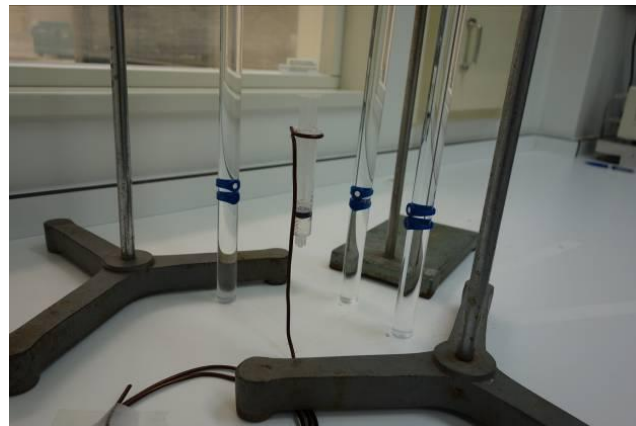
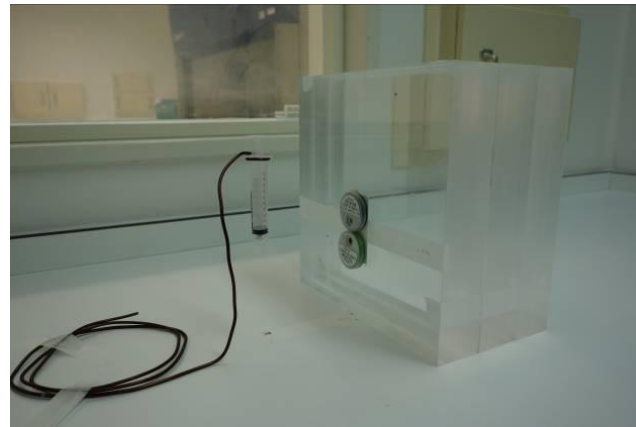
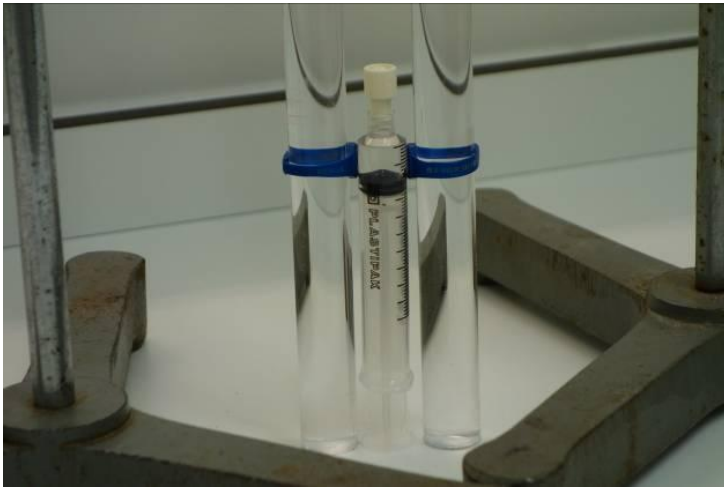


Figure 5. Dose equivalent rate per unit activity (pSv min<sup>-1</sup> Bq<sup>-1</sup>) at distances of 20, 40 and 60 cm from the <sup>18</sup>F-FDG injection tube.

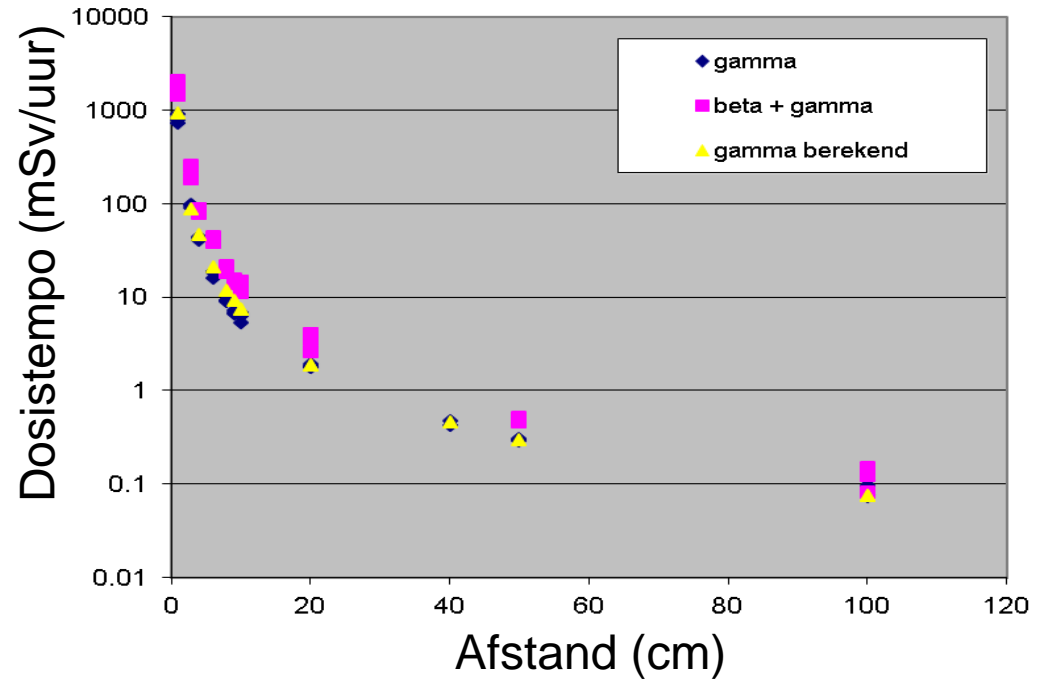


# Uitgevoerde stralingsmetingen

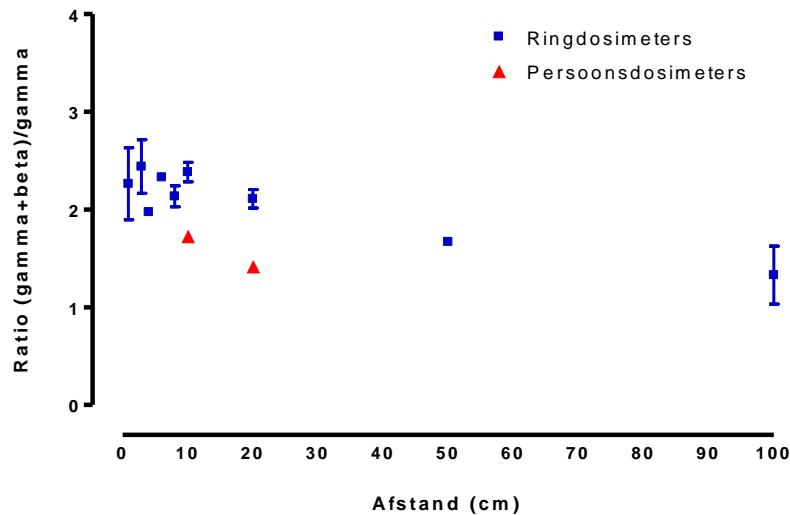
- Verschillende afstanden tot injectiespuit met  $^{18}\text{F}$



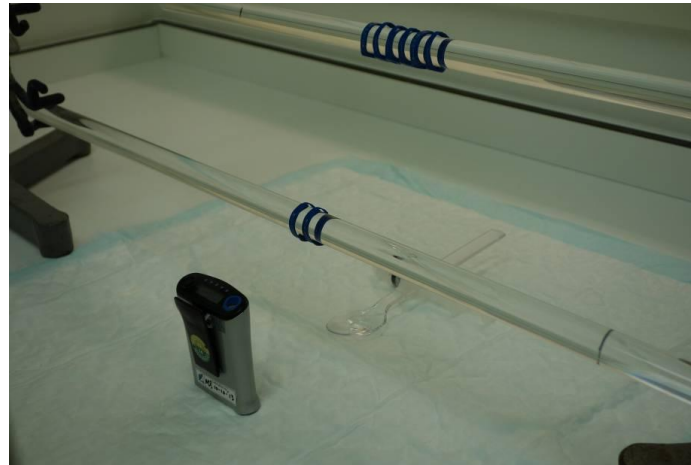
# Resultaten <sup>18</sup>F



18F  
onafgeschermd 10 ml spuit



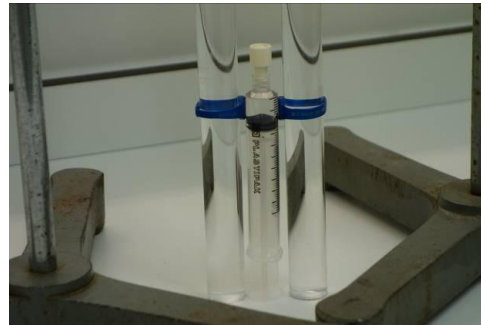
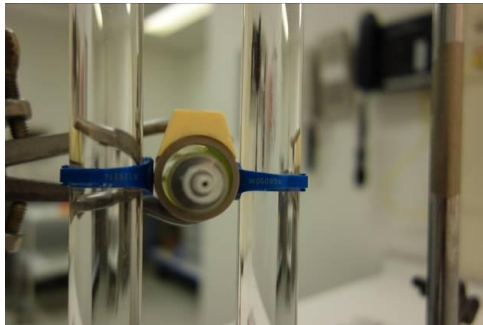
# Stralingsmetingen aan open bron $^{18}\text{F}$



Tabel 4.4.5 Berekende en gemeten doses omgerekend naar  $\text{mSv/uur}$  bij  $^{18}\text{F}$  met een gemiddelde activiteit van  $450 \text{ MBq}$  voor de beschreven opstelling en op dezelfde afstand van een onafgeschermd spuit.

	Berekende dosis ( $\gamma$ )	Gemeten dosis ( $\gamma$ )	Gemeten dosis (gamma + beta)	Ratio totaal/gamma
Open bron ( $x = 10 \text{ cm}$ )	7.47	30.66 – 35.63 <b>gem. 32.81</b>	256.09 – 293.25 <b>gem. 269.21</b>	8.0 – 8.4 <b>gem. 8.1</b>
Onafgeschermd spuit ( $x = 10 \text{ cm}$ )	7.47	5.26 – 6.56 <b>gem. 6.02</b>	13.50 – 14.69 <b>gem. 14.27</b>	2.2 – 2.6 <b>gem. 2.4</b>
Open bron ( $x = 20 \text{ cm}$ )	1.87	7.17 – 8.96 <b>gem. 8.00</b>	61.68 – 65.69 <b>gem. 63.02</b>	6.9 – 8.6 <b>gem. 7.9</b>
Onafgeschermd spuit ( $x = 20 \text{ cm}$ )	1.87	1.78 – 1.94 <b>gem. 1.84</b>	3.56 – 4.07 <b>gem. 3.88</b>	2.0 - 2.3 <b>gem. 2.1</b>

# Stralingsmetingen aan $^{99m}\text{Tc}$



Tabel 4.5.1 Berekende en gemeten doses omgerekend naar  $\text{mSv/uur}$  bij  $^{99m}\text{Tc}$  met een gemiddelde activiteit van  $450 \text{ MBq}$  voor de beschreven opstellingen. De waarden in rood zijn gebaseerd op dosismetingen rond de detectielimiet en daarom onbetrouwbaar.

	Berekende dosis ( $\gamma$ )	Gemeten dosis ( $\gamma$ )	Gemeten dosis (gamma + beta)	Ratio totaal/gamma
Direct op onafgeschermd 10-ml spuit ( $x = 0.9 \text{ cm}$ )	127.78	89.95– 122.23 <b>gem. 106.14</b>	111.29 – 145.16 <b>gem. 124.72</b>	1.1 – 1.2 <b>gem. 1.2</b>
Op 2 cm afstand van onafgeschermd spuit ( $x = 2.8 \text{ cm}$ )	13.20	11.72 – 13.89 <b>gem. 12.51</b>	12.35 – 15.53 <b>gem. 13.707</b>	0.9 – 1.3 <b>gem. 1.1</b>
10-ml spuit in wolframaam huls ( $x = 1.1 \text{ cm}$ )	4.39	0.05 – 0.07 <b>gem. 0.07</b>	-0.04 – 0.22 <b>gem. 0.13</b>	-0.8 – 3.2 <b>gem. 1.8</b>

# Resultaten metingen

- Resultaten experimenten:
  - $^{18}\text{F}$ : 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.

# Aanpassing model

- Stap 1:  
Gebruik model voor dosis ten gevolge van alleen de gammastraling →  $100 \times h(10)$  in plaats van  $h(0,07)$
- Stap 2:  
vermenigvuldig met maximale ratio  $D_{\text{totaal}}/D_{\text{gamma}}$   
 $^{18}\text{F}$ :           x3  
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ :       x1.5

Niet afstandsafhankelijk om berekening eenvoudig te houden.