

# **RIAS–NG: aandachtspunten bij het berekenen van extremiteitendoses**

Marinette van der Graaf, perifere stage in 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](#)

---

**Aanbevelingen risicoanalyse en -evaluatie voor Nucleair Geneeskundige verrichtingen in ziekenhuizen**

RIAS NG

+ More about and download

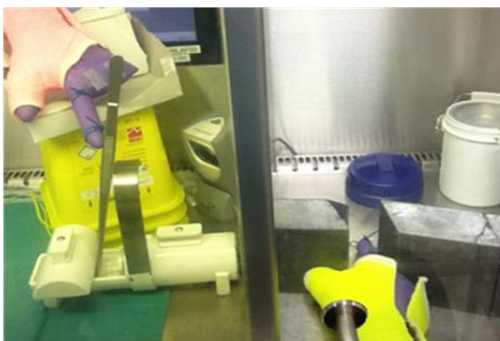
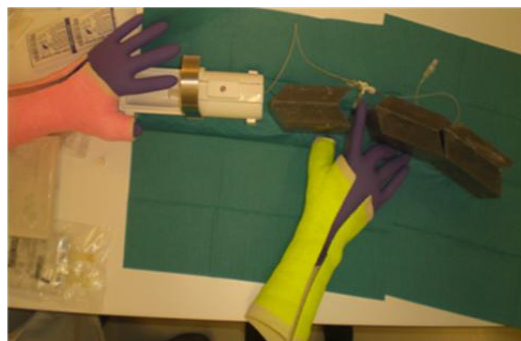
**Schatting opgelopen dosis bij ongewenste blootstelling**

Voorzien, onbedoelde gebeurtenissen bij Nucleaire Geneeskunde

+ More about and download

# 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	halverings-dikte in Pb	afstand tot bron	aantal HVL-dikten Pb	transmissie T	dosis-tempo	Index dosis-tempo (dosistempo/ref_dosis 1)	jaardosis per handeling	Index jaardosis (jaardosis / ref_dosis 2)
	(MBq)	( $\mu$ 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



3.11 mSv/jr

16.83 mSv/jr

~60 x lager

# 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 (dosistempo/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

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

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.

Wahner, 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
Li	3	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
O	8	1.53E+02	0.00E+00	1.53E+02
F	9	1.15E+03	1.73E+01	1.17E+03
Ne	10	1.66E+03	1.60E+01	1.68E+03
Ar	18	1.26E+02	1.34E+01	1.39E+02
K	19	8.45E+01	1.32E+01	9.77E+01
Ca	20	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

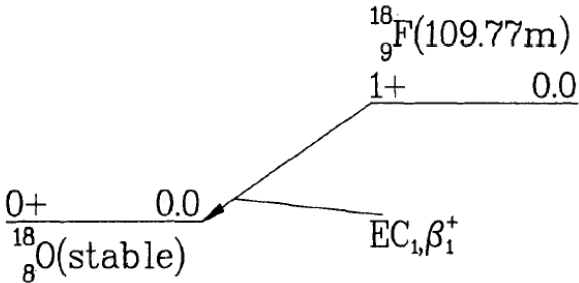
Nuclide	h(0,07) t.g.v. elektronen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	h(0,07) t.g.v. fotonen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	h(0,07) totaal ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 10 cm)	h(10) t.g.v. elektronen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	h(10) t.g.v. fotonen ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	h(10) 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:  $3.52\text{E}+18 \text{ Bq.g}^{-1}$

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

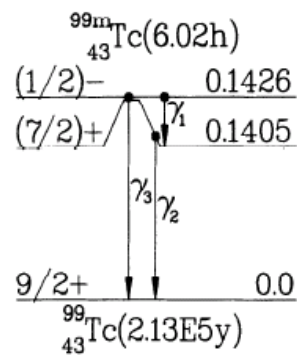
HALFLIFE = 109.77 MINUTES  
DECAY MODE(S): EC,  $\beta^+$  13-DEC-78

RADIATION	y(i) (Bq.s) <sup>-1</sup>	E(i) (MeV)	y(i) × E(i)
$\beta^+$ 1	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.

# 99mTc: bijdrage elektronen aan h(0,07)



Handbook Delacroix et al. 2002

## Technetium - 99m

Half life: 6.0 hours  
Specific activity: 1.95E+17 Bq.g<sup>-1</sup>

43-TECHNETIUM-99M

HALFLIFE = 6.02 HOURS  
DECAY MODE(S): IT

29-MAR-78

RADIATION	$\gamma(i)$ (Bq.s) <sup>-1</sup>	$E(i)$ (MeV)	$\gamma(i)-E(i)$
ce-M, $\gamma$ 1	9.14E-01	1.749E-03*	1.60E-03
ce-N*, $\gamma$ 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*, $\gamma$ 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 $\beta_1$ 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  $\Sigma\gamma(i)-E(i)$  IN ITS CATEGORY.  
TECHNETIUM-99 DAUGHTER IS RADIOACTIVE.

Main emissions (keV)								
	Gamma or X		Beta (Emax)		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 (dosistempo/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 ( $\text{g/cm}^3$ )

- 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)		
	½	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  $^{18}\text{F}$  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

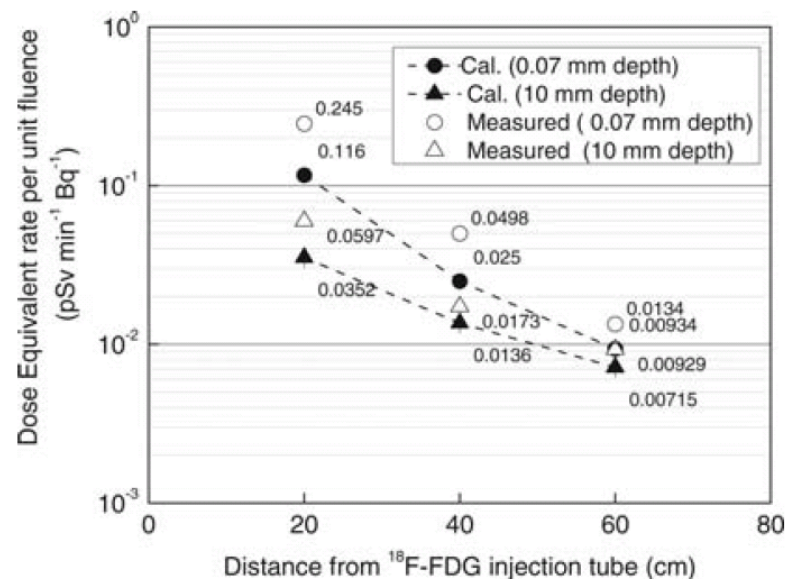
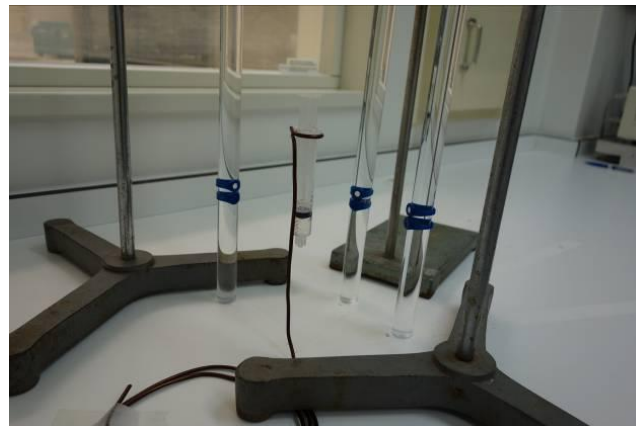
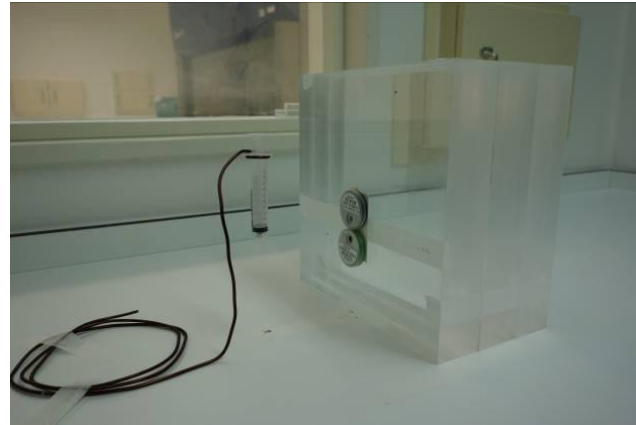
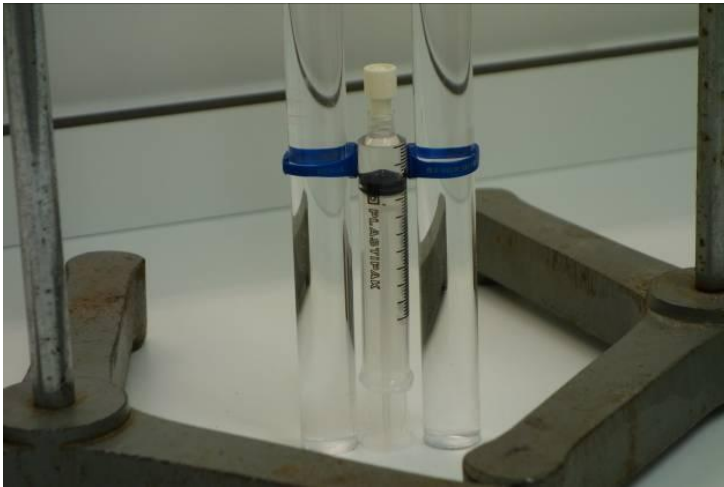


Figure 5. Dose equivalent rate per unit activity ( $\text{pSv min}^{-1} \text{Bq}^{-1}$ ) at distances of 20, 40 and 60 cm from the  $^{18}\text{F}$ -FDG injection tube.

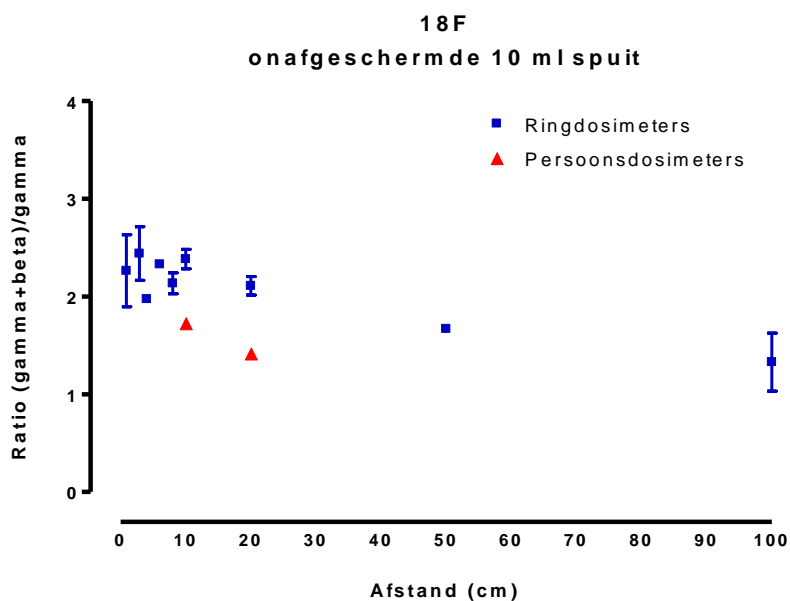
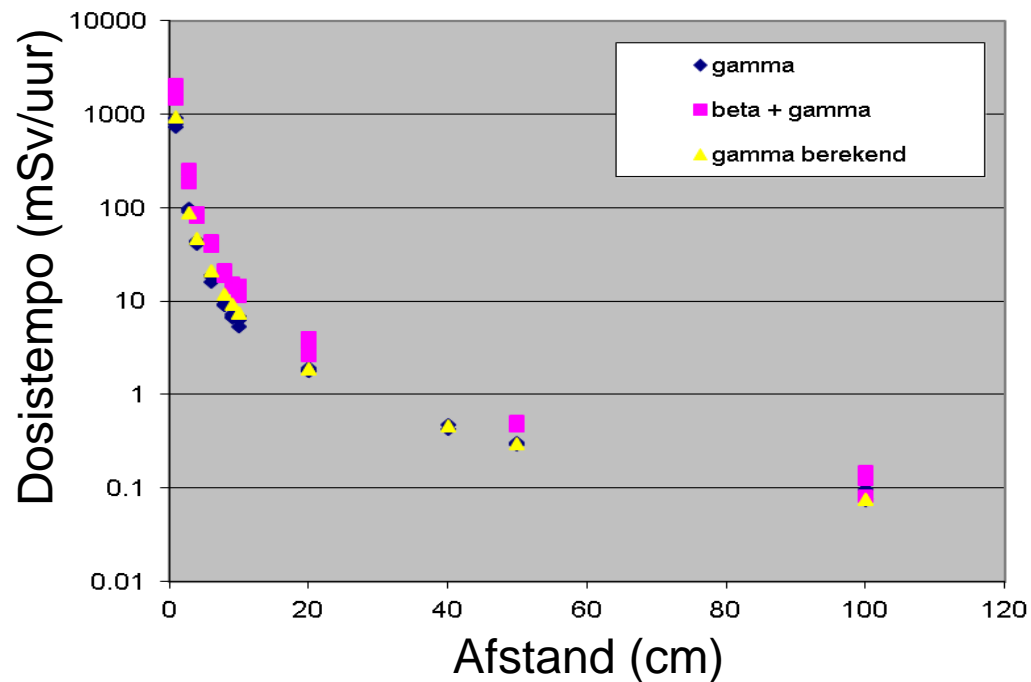


# Uitgevoerde stralingsmetingen

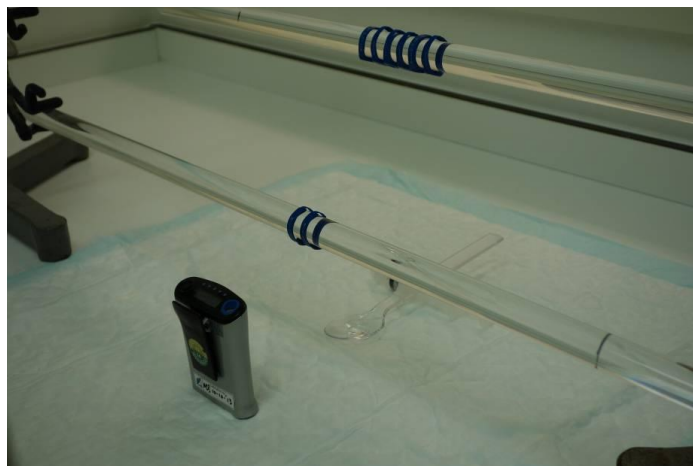
- Verschillende afstanden tot injectiespuit met  $^{18}\text{F}$



# Resultaten $^{18}\text{F}$



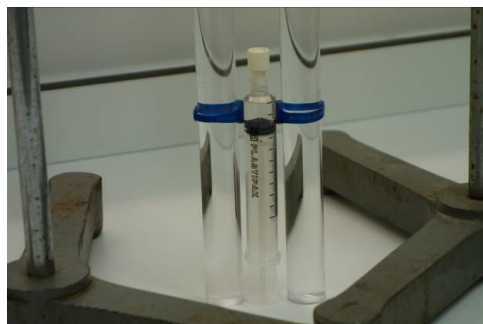
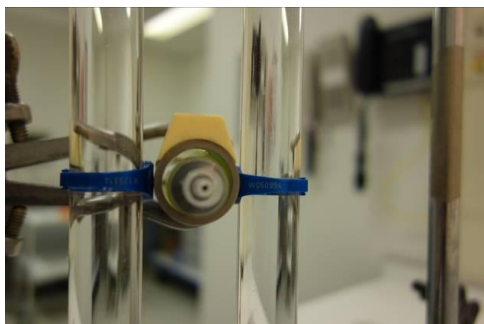
# Stralingsmetingen aan open bron $^{18}\text{F}$



Tabel 4.4.5 Berekende en gemeten doses omgerekend naar  $\text{mSv/uur}$  bij  $^{18}\text{F}$  met een gemiddelde activiteit van 450 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 wolfram 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  $D_{\text{totaal}}/D_{\text{gamma}}$   
 $^{18}\text{F}$ :             $\times 3$   
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ :         $\times 1.5$

Niet afstandsafhankelijk om berekening eenvoudig te houden.