

Cursus
Stralingsbeschermings-
deskundige

Inwendige besmetting


Praktijk

A.S. Keverling Buisman

Praktijk

- Inwendige besmetting komt weinig voor (of meten we het niet?)
- Als er aanwijzingen zijn dan:
- Meting aan lichaam, neusuitstrijk, urine, schildklier, (feces) ←
- Bepaling inname
- Berekening van volgdosis met $e(50)$
- Opgave aan NDRIS als $E(50) > 0, (0) 1$ mSv

Hoe inname te bepalen



- Veronderstelling (wat als)
- Neusuitstrijkje
- Luchtconcentratie
- Totale-lichaams-telling
- Schildkliertelling
- Urine-analyse
- Anders

Hoe inname te bepalen

➤ Veronderstelling (wat als)

Stel 1 MBq ^{14}C een flesje valt stuk

Stel je ademt hiervan 10% in.

Dan wordt de effectieve volgdozis:

$$\begin{aligned} E &= 0,1 \times 1 \text{ MBq} \times e(50) \text{ (Sv/Bq)} = \\ &= 1 \times 10^5 \text{ Bq} \times 5,8 \times 10^{-10} \text{ (Sv/Bq)} = \\ &= 5,8 \times 10^{-5} \text{ Sv} = 0,06 \text{ mSv.} \end{aligned}$$

Neusuitstrijkje

- Depositie in ET1: 34% van de inhalatie
- Neusuitstrijkje bevat hiervan een deel
- Veilige schatting: 5%
- Inname schatting: $A_{\text{uitstrijk}} \times 20$
- Meest gebruikt voor uitsluiting

Uit luchtconcentratie

- Als C Bq/m³ dan
- $A = C [\text{Bq/m}^3] \times 1,2 [\text{m}^3/\text{h}] \times t [\text{h}]$
- C bepalen uit monitor of verzamelfilter.
- $E(50) [\text{Sv}] = e(50) [\text{Sv/Bq}] \times A [\text{Bq}]$

Uit totale-lichaams- of schildklier-telling

- Meting van $A(t)$
- Terugrekenen naar $t=0$ met retentiefunctie
- of Handboek Radionucliden
- $E(50) = e(50) \times A(0)$



Uit urine-analyse

- Meting urineconcentratie $C_u(t)$
- Terugrekenen naar $A(t)$ of $A(0)$ via uitscheidingsfunctie of Handboek
- $E(50) = e(50) \times A(0)$

Anders

- Quicky-counter = romptelling in 10 s (!)
- Feaces-analyse: gebeurt in NL niet
- Longtelling: in NL niet beschikbaar

- Validatie U/Pu-besmetting door autopsie in VS

Opgave

- Een medewerker wordt ernstig besmet bij een bewerking met CrCl_3 . Diezelfde dag blijkt dat hij een besmetting van 20.000 Bq ^{51}Cr in zijn lichaam heeft.
- Hoe groot schat u de volgdosis?

Handboek Radionucliden

^{51}Cr

Z = 24

N = 27

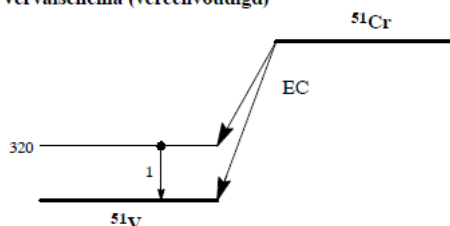
^{51}Cr

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 27,71 \text{ d} = 2,39 \times 10^6 \text{ s}$$

$$\lambda = 2,90 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	γ (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
γ_1	0,098	320
K_{α}	0,200	5
KLL	0,558	4
KLX	0,113	5

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,0042 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,0054 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,42 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^3 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 1 \times 10^{-12} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 5,6 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 30 \text{ TBq}$ $A_2 = 30 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ^{51}Cr is een bijzonder activeringsproduct: het zendt geen beta's uit en wordt zodoende niet waargenomen door de gebruikelijke besmettingsmeters. Voor de detectie van ^{51}Cr zijn daarom speciale instrumenten ontwikkeld. Het nuclide wordt gebruikt als mono-energetische gammareferentiebron.

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat chroom zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 30% directe uitscheiding, 5% naar bot en de rest homogeen verdeeld over de overige organen/weefsels.

De biologische halveringstijden zijn gesteld op:

Bloed	0,5 d
Bot	1000 d
Rest	0,62 6 d 0,38 80 d

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Driewaardig chroom	$f_1 = 0,01$
Zeswaardig chroom	$f_1 = 0,1$

Inhalatie

Oxide, hydroxide	$f_1 = 0,1$	Klasse S
Halogenide, nitraat	$f_1 = 0,1$	Klasse M
Overige verbindingen	$f_1 = 0,1$	Klasse F

Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)

	Ingestie $f_1 = 0,01$	Ingestie $f_1 = 0,1$	Inhalatie F	Inhalatie M	Inhalatie S	
$e(50)(w)$	$3,7 \times 10^{-11}$	$3,8 \times 10^{-11}$	$3,0 \times 10^{-11}$	$3,4 \times 10^{-11}$	$3,6 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$2,7 \times 10^{10}$	$2,6 \times 10^{10}$	$3,3 \times 10^{10}$	$2,9 \times 10^{10}$	$2,8 \times 10^{10}$	Bq
$e(50)(b)$	$3,7 \times 10^{-11}$	$3,8 \times 10^{-11}$	$2,1 \times 10^{-11}$	$3,1 \times 10^{-11}$	$3,6 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$2,7 \times 10^{10}$	$2,6 \times 10^{10}$	$4,8 \times 10^{10}$	$3,2 \times 10^{10}$	$2,8 \times 10^{10}$	Bq

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname

Tijd (d)	Lichaamsactiviteit (Bq per Bq inname)				
0,25	$9,8 \times 10^{-1}$	$9,8 \times 10^{-1}$	$7,3 \times 10^{-1}$	$7,3 \times 10^{-1}$	$7,4 \times 10^{-1}$
1	$7,0 \times 10^{-1}$	$7,1 \times 10^{-1}$	$5,0 \times 10^{-1}$	$4,8 \times 10^{-1}$	$4,8 \times 10^{-1}$
2	$3,2 \times 10^{-1}$	$3,5 \times 10^{-1}$	$3,1 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-1}$
3	$1,3 \times 10^{-1}$	$1,7 \times 10^{-1}$	$2,2 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$
5	$2,1 \times 10^{-2}$	$6,6 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-1}$	$9,1 \times 10^{-2}$	$8,4 \times 10^{-2}$
7	$6,4 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$7,6 \times 10^{-2}$	$7,0 \times 10^{-2}$

Opgave

- Een dakventilatieuitlaat met een debiet van $5400 \text{ m}^3/\text{h}$ zonder filtering is uitgerust met een deelstroom pomp met filtertje waardoor $1 \text{ m}^3/\text{h}$ gezogen wordt. Na 168 uur belading wordt op het filtertje $450 \text{ Bq } ^{137}\text{Cs}$ gevonden.
- Welke schatting kunt u maken van de lozing en van de volgdosis voor de werkers in de betrokken week?
- $E(50, ^{137}\text{Cs}, \text{inh F}) = 6,7 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$

Opgave

- De gemiddelde concentratie van ^{85}Kr in de buitenlucht bedraagt 1 mBq/m^3 .
- Hoe groot is de effectieve dosis hiervan per jaar?
- Gegeven: $e(^{85}\text{Kr}) = 9,2 \times 10^{-13} \text{ Sv/h per Bq/m}^3$

Opgave

- De EU-limiet voor ^{137}Cs in voedsel bedraagt 600 Bq/kg.
- E(50) voor 150 g besmet vlees?
- En voor 5-jarigen?
- Gegevens voor ingestie van ^{137}Cs :

Effectieve volgdozis per via ingestie opgenomen eenheid (Sv Bq⁻¹) voor leden van de bevolking

Nuclide	Halve-ringstijd	f_1 voor $g \leq 1$ a	Leeftijd ≤ 1 a e(g)	f_1 voor $g > 1$ a	Leeftijd 1–2 a e(g)	Leeftijd 2–7 a e(g)	Leeftijd 7–12 a e(g)	Leeftijd 12–17 a e(g)	Leeftijd > 17 a e(g)
Cs-134m	2,90 h	1,000	2,1 E-10	1,000	1,2 E-10	5,9 E-11	3,5 E-11	2,5 E-11	2,0 E-11
Cs-135	2,30 E+6 a	1,000	4,1 E-9	1,000	2,3 E-9	1,7 E-9	1,7 E-9	2,0 E-9	2,0 E-9
Cs-135m	0,883 h	1,000	1,3 E-10	1,000	8,6 E-11	4,9 E-11	3,2 E-11	2,3 E-11	1,9 E-11
Cs-136	13,1 d	1,000	1,5 E-8	1,000	9,5 E-9	6,1 E-9	4,4 E-9	3,4 E-9	3,0 E-9
Cs-137	30,0 a	1,000	2,1 E-8	1,000	1,2 E-8	9,6 E-9	1,0 E-8	1,3 E-8	1,3 E-8
Cs-138	0,536 h	1,000	1,1 E-9	1,000	5,9 E-10	2,9 E-10	1,7 E-10	1,2 E-10	9,2 E-11

Opgave

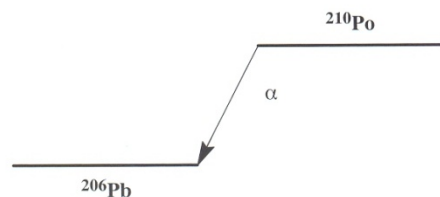
- Litvinenko overleed in 2006 na ^{210}Po vergiftiging. Hoeveel gram ^{210}Po heeft hij minstens onvrijwillig binnengekregen?
- Gegeven: overleden binnen 3 weken met verschijnselen van geelzucht.
- Gegeven: Handboek Radionucliden

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 138,38 \text{ d} = 1,20 \times 10^7 \text{ s}$$

$$\lambda = 5,80 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y ($\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$)	E (keV)
α_1	1,000	5297
α terugstoot	1,000	103

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{\text{sp}} = 1,66 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^4 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} < 10^{-14} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,4 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 40 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,02 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ^{210}Po is een natuurproduct. Het komt voor in de uraniumvervalreeks. De vluchtigheid van polonium maakt dat het nuclide vrijkomt bij processen waarbij stoffen met (sporen) uranium verhit worden. Grotere hoeveelheden ^{210}Po kunnen worden geproduceerd door bestraling van bismuth met neutronen. In 2006 is bekend geworden dat dit nuclide onder spionnen als effectieve gifstof toepassing vindt. Een inname van enkele microgrammen is al dodelijk (hoge specifieke activiteit, hoge radiotoxiciteit, opname in essentiële organen).

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat polonium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 30% naar lever, 10% naar nieren, 5% naar milt, 10% naar rood beenmerg en de rest naar de overige organen/weefsels. De biologische halveringstijd voor alle organen/weefsels wordt gesteld op 50 dagen.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 0,1$

Inhalatie

Als natuurlijke (rest)stof	$f_1 = 0,01$	Klasse S
Hydroxide, oxide, nitraat	$f_1 = 0,1$	Klasse M
Overige verbindingen	$f_1 = 0,1$	Klasse F

Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)

	Ingestie $f_1 = 0,1$	Inhalatie F	Inhalatie M	Inhalatie S	
$e(50)(w)$	$2,4 \times 10^{-7}$	$7,1 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-6}$	Sv/Bq
$A_{\text{Re}}(w)$	$4,2 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$	$3,1 \times 10^5$	Bq
$e(50)(b)$	$2,4 \times 10^{-7}$	$6,0 \times 10^{-7}$	$3,0 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-6}$	Sv/Bq
$A_{\text{Re}}(b)$	$4,2 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	Bq

Gegevens voor urine-analyse

Na eenmalige inname

Tijd (d)	Urineconcentratie (Bq/d per Bq inname)			
1	$1,9 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$8,3 \times 10^{-6}$
2	$4,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$
3	$4,4 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-5}$
5	$4,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$
7	$4,1 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$