



GÖTEBORGS
UNIVERSITET

Vår mötet – Tema strålskydd

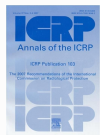
Strålskydd till personal, allmänhet och patienter - teori och applicering

MARTIN ANDERSSON 2021-05-19

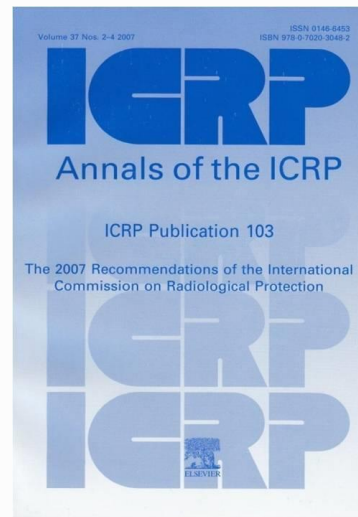
Strålskyddsföreläsning

The ICRP system of radiation protection är ett strålskyddssystem som bygger på tre grundläggande principer:

- Berättigande,
- Optimering,
- **Tillämpning av dosgränser** (gäller arbetare och till allmänhet)

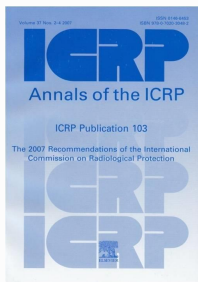


ICRP P103
(2007)

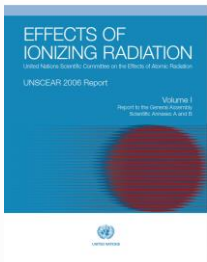


ICRP Publikation 103

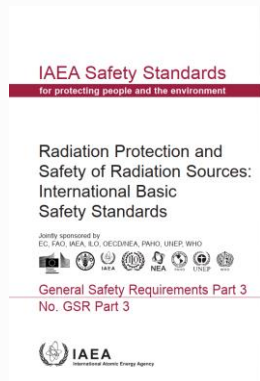
Varför ICRP:s System of Radiological Protection



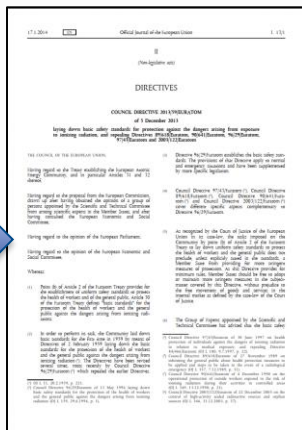
ICRP Publ. 103



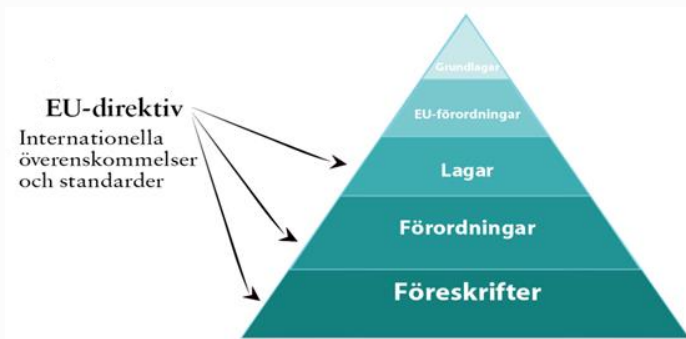
UNSCEAR



IAEA Safety Standards



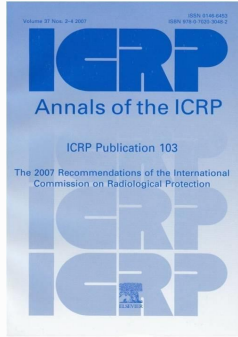
EU DIRECTIVE 2013/59/EURATOM



ICRP:s dosgränser finns i:

- Strålskyddslagen
- Strålskyddsförordning
- Föreskrifterna

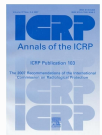
Dosgränser i ICRP Publikation 103



- Beräkningarna ges i **Effektiv dos (Sv)**
- Görs med medelabsorberad organdos till en referensperson
- Effektiv dos baseras ffa. på Life span studie (atombombsöverlevarna)

ICRP Publikation 103

- Men detta är strålskydd inte strålrisk
 - Populationsbaserad beräkning
 - Planerat arbete
 - Referensperson finns inte i verkligheten
 - ICRP definierar exponeringssituationen matematiskt; definitionsmässigt inga osäkerheter för populationen

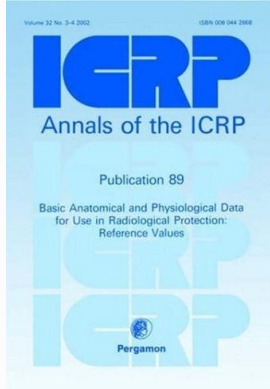


ICRP P103
(2007)

ICRP:s revidering av interna doskoefficienter

Arbetare, allmänhet och patienter

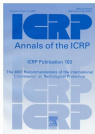
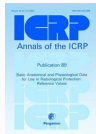
Anatomiska och fysikaliska data för strålskydd – ICRP Publ. 89



Revideringens ursprungsdokument

Lämnar Referensmannen (1975)

- Man, Kvinna
- Vuxen, 15-år, 10-år, 5-år, 1-år, nyfödd
- Ger organmassor och volymer (inte form och position)
- Medelabsorberad dos är energi per organvikt
- Alla viktningsfaktorer finns definierade



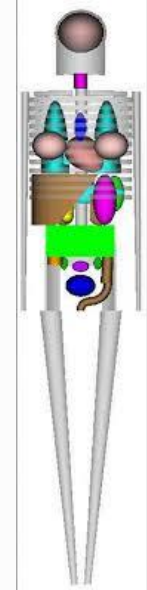
Ref. massorna (2002) Effektive dos (2007)

ICRP:s voxelfantom för strålskyddsberäkningar

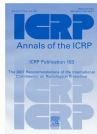
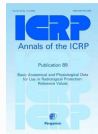
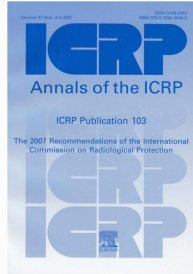
- För vuxna tar ICRP CT-bilder från patienter och modifierar till ICRP:s referensmassor
- De strålkänsliga organ för stokastiska effekter som finns definierad ICRP 103 finns i voxelfantomet
- Man måste beräkna stråldosen till alla organ med viktningsfaktor för att kunna beräkna effektiv dos



ICRP:s vuxenfantom
(2009)



Tidigare fantom
(1974)



Ref. massorna (2002) → Effektive dos (2007) → ICRP:s vuxenfantom (2009)

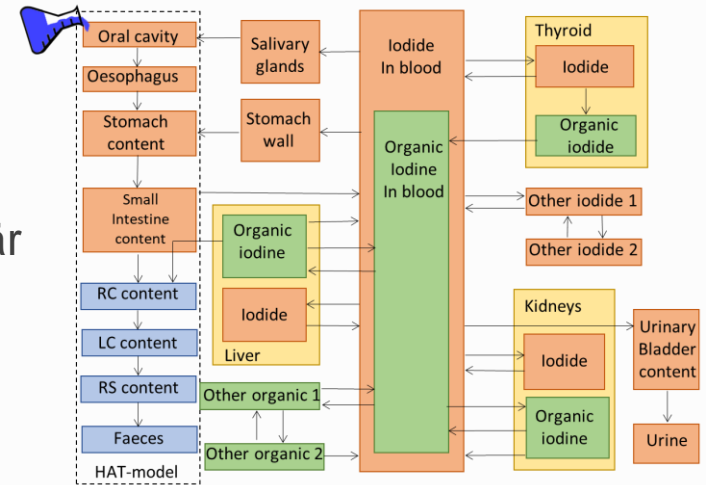
ICRP:s beräkningsmodell för intag av radionuklider

Biokinetik

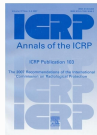
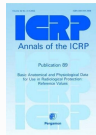
Tidigare: var av deskriptiva modeller, organ var separerade från varandra

Nu: Kompartimentmodell där även dotterprodukter är inkluderade i kedjan

Transporten mellan organen sker genom det cirkulerande blodet



ICRP:s biokinetiska modell för oralt intag av jod (I)



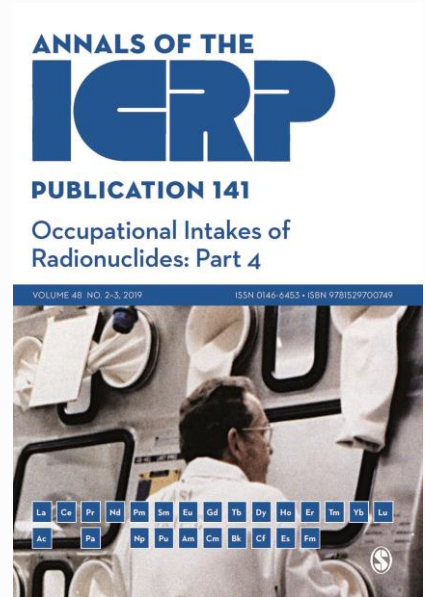
Ref. massorna (2002) → Effektive dos (2007) → Vuxenfantom (2009) → ICRP:s beräkningsmetod (2015) → Doskoefficienter (2016)

Dosvärden för arbetare

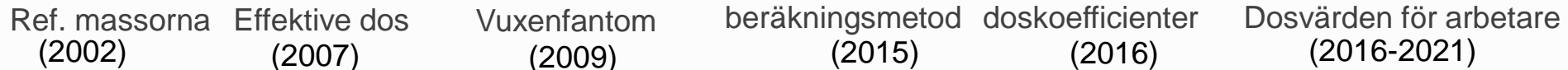
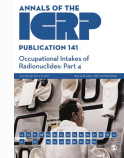
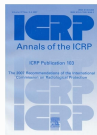
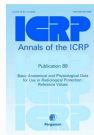
Nya dosvärden för inandning, förtäring och injektion för arbetare

För de flesta grundämnen har ICRP uppdaterat dosvärden för arbetare (kvarvarande kommer i slutet av 2021)

Singelintag av radionuklider exponerat över 50 år

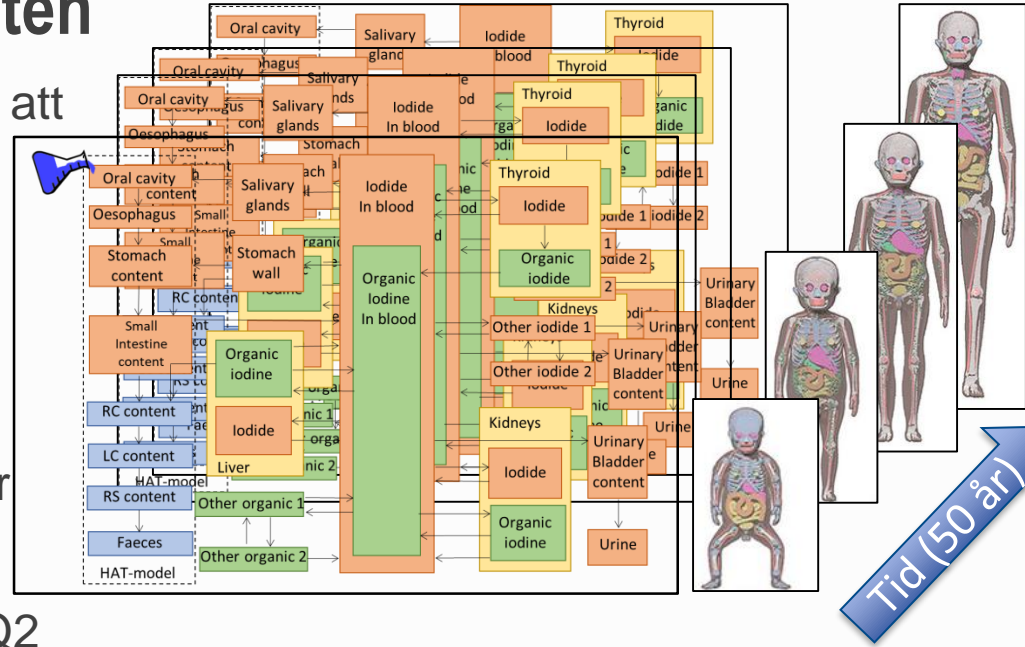


ICRP publikation 141



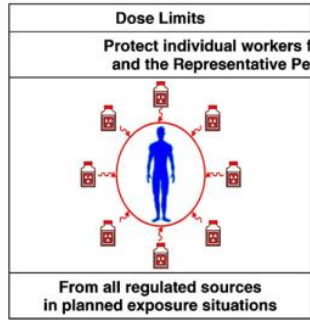
Dosvärlden för allmänheten

- Dosvärlden för allmänheten håller på att tas fram.
- Åldersspecifik biokinetiken är klar, då den följer ofta arbetare
- Problemet är att barnfantomen inte är färdiga
- Publiceras del 1 2020 Q4 och 2023 Q2



Ref. massorna (2002) Effektive dos (2007) Barnfantom (2020) Doskoefficienter (20XX) Beräkningsmetod för allmänhet (20XX) Dosvärden för allmänhet (20XX)

Tillåtna doser vid planerade exponeringssituationer till svensk personal och personer ur allmänheten



Dosgränser

Arbetare < 20mSv

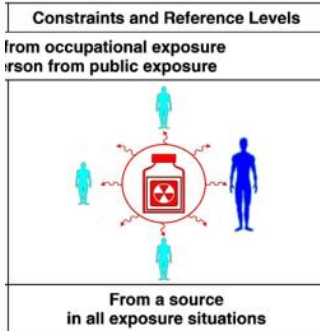
- Kategori A < 20mSv
- Kategori B < 6mSv
- Okategoriserad < 1mSv

Personer ur allmänheten <1 mSv

- 0-5 år ,6-15 år , Vuxen (16-70 år)
- **Dosbegränsning**

Personer ur allmänheten <0,1 mSv

- 0-5 år ,6-15 år , Vuxen (16-70 år)

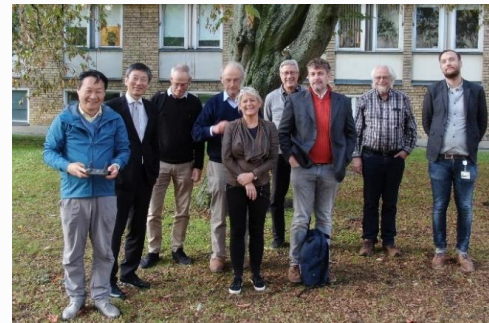


Strålskydd till patienter inom diagnostisk nuklearmedicin

- Det finns inga dosgränser för patienter där gäller:
 - 1) Berättigande
 - 2) Optimering
- Arbetsgruppen inom ICRP för diagnostisk nuklearmedicin följer även ICRP:s revidering av ICRP publikation 103.

Specifikt arbete:

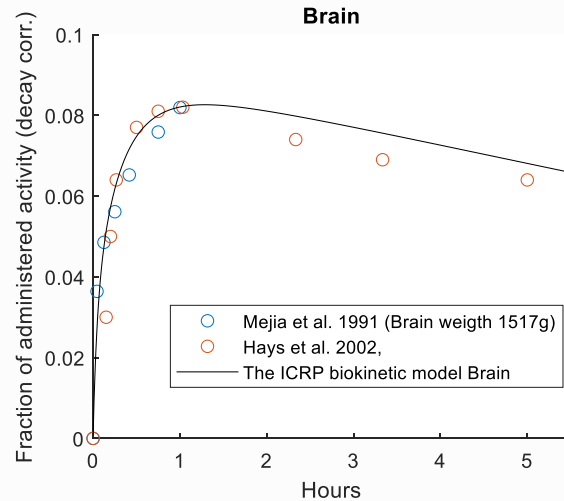
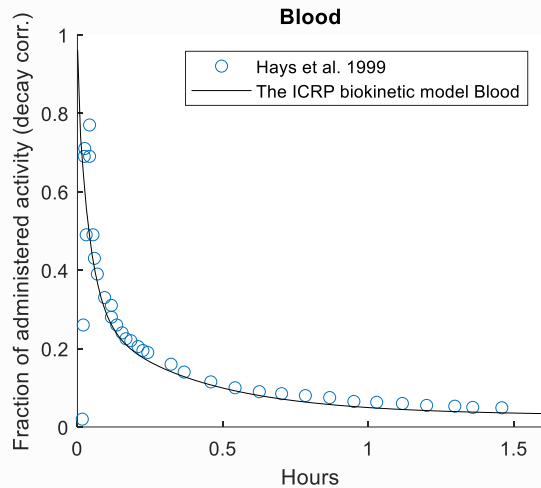
- Reviderar alla biokinetisk modeller för radioaktiva läkemedel
- Revidera dosimetrin för att följa ICRP:s nya metod
- Fortsätta skapa nya doskoefficienter till nuklearmedicinska patienter



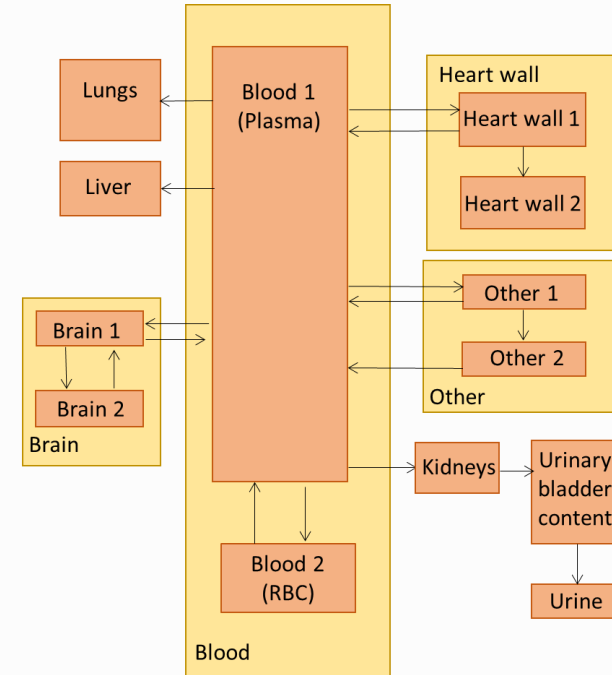
Medlemsmöte i Malmö 2019

Revision av ^{18}F -FDG

Reviderad biokinetisk modell av ^{18}F -FDG



Utkast av ^{18}F -FDG



Abstract till EANM: Martin Andersson, Alexandra Kamp, Dietmar Noßke, Sören Mattsson, Augusto Giussani
"A revised compartmental model for biokinetics and dosimetry of ^{18}F -FDG" 2021

Strålskyddsdosimetri – tillgängligt online

Dosimetriprogrammet arbetsgruppen använder är tillgängligt på www.idac-dose.org

IDAC spheres

1) Select radionuclide:

2) Select type of sphere:

3) Volume of sphere [cm³]: (between 0.001 and 3000 cm³)

4) Calculate

5) Set parameters to Results

Administered activity and decay integration time
 Total number of disintegrations in MBq and hours

Integration time: Hours
Administered activity: MBq

| cm ³ | mGy/MBq |
|-----------------|------------|
| 0.0100 | 6.6537e+03 |
| 0.1000 | 721.3777 |
| 0.5000 | 148.5751 |
| 1 | 74.9525 |
| 2 | 37.7544 |
| 4 | 18.9865 |
| 6 | 12.7085 |
| 8 | 9.5531 |
| 10 | 7.6558 |
| 20 | 3.8479 |
| 40 | 1.9339 |
| 60 | 1.2933 |
| 80 | 0.9722 |
| 100 | 0.7792 |
| 200 | 0.2624 |
| 400 | 0.1874 |
| 500 | 0.1563 |
| 600 | 0.1322 |
| 1000 | 0.0799 |
| 2000 | 0.0404 |
| 3000 | 0.0271 |

Results (interpolated from the simulated values in table)

mGy/MBq

Photon dose: Electron dose: Alpha dose:

Cumulated dynamic bladder per adm. act calculation

1) Select calculation method: Static bladder Dynamic bladder

2) Administered activity [MBq]: MBq

3) Activity in the urinary bladder content (no voiding)

| Time [hours] | Bladder activity [MBq] |
|--------------|------------------------|
| 1 | 0.00048651 |
| 2 | 0.0094332 |
| 3 | 0.01567 |
| 4 | 0.019405 |
| 5 | 0.1 |
| 6 | 0.023211 |
| 7 | 0.026745 |
| 8 | 0.03011 |
| 9 | 0.033349 |
| 10 | 0.036484 |
| 11 | 0.039526 |
| 12 | 0.042485 |
| 13 | 0.045368 |
| 13 | 0.3 |
| 13 | 0.046182 |

4) Biological bladder parameters

| | Flow rate to urinary bladder [ml/day] | Expected bladder capacity [ml] | Initial bladder volume [ml] | Residual volume after voiding [ml] |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Adult male: | 1600 | 250 | 100 | 10 |
| Adult female & 15 year male: | 1200 | 200 | 80 | 8 |
| 15 years female: | 1200 | 175 | 70 | 7 |
| 10 years: | 700 | 125 | 50 | 5 |
| 5 years: | 500 | 100 | 32 | 3 |
| 1 year: | 400 | 75 | 18 | 2 |
| Newborn: | 300 | 50 | 8 | 2 |

Insert bladder activity without voiding until all activity is gone. Calculations will only be performed on data set (no extrapolation is performed) first time point is start time and the last time point should be close to 0 MBq.

Calculated activity in the urinary bladder:

| Phantoms | MBq-h/MBq |
|---------------|-----------|
| Adult male | 1.14e+00 |
| AD F & 15-M | 1.22e+00 |
| 15-yrs female | 1.22e+00 |
| 10 years | 1.07e+00 |
| 5 years | 1.47e+00 |
| 1 year | 1.42e+00 |
| Newborn | 1.33e+00 |

IDAC organ compartment modelling (TIAC)

TIAC = 2.3655 MBq-hv 1 MBq = 2.3655 MBq-h/MBq

1) Select source organ and input data points

- 1) Adipose-residual tissue
- 2) Adrenals
- 3) Alveolar-interstitial
- 4) Blood
- 5) Brain
- 6) Breast
- 7) Bronchi surface
- 8) Bronchi bound
- 9) Bronchi sequestered
- 10) Bronchioles surface
- 11) Bronchioles bound
- 12) Bronchioles sequestered
- 13) Cartilage

2) Adjust data points for decay: All data points are decay corrected

3) Select compartmental system: direct uptake 1 retention direct uptake 2 retention uptake 1 retention uptake 3 retention

4) Select int. act and fit data: MBq

5) Send generated data to IDAC-Dose2.2: Update IDAC-Dose2.2 for: [All phantoms]

| Time [h] | Activity [MBq] |
|----------|----------------|
| 1 | 0.0335 |
| 2 | 1.0323 |
| 3 | 2.0313 |
| 4 | 3.0303 |
| 5 | 4.0293 |
| 6 | 9.99 |
| 7 | 19.96 |

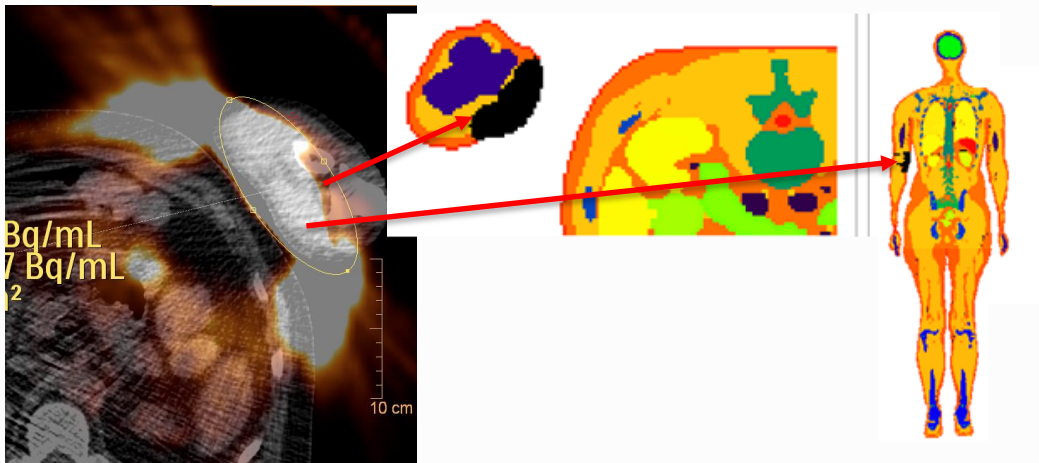
Andersson, M., Johansson, L., Eckerman, K., Mattsson, S. (2017) IDAC-Dose 2.1, an internal dosimetry program for diagnostic nuclear medicine based on the ICRP adult reference voxel phantoms. EJNMMI Research, 7: 88

Praktisk strålskydd ^{18}F -FDG

Extravasering & dos till allmänhet

Dosimetri – Kraftig extravasering ^{18}F -FDG patient

- Inom diagnostik och extravasering kan det ske höga stråldoser lokalt (t.ex. huden) – massera extravaseringsvolymen
- Effektiva dosen hamnar i detta fallet mellan $1,55\text{ mSv} < \text{stråldos} < 7,03\text{ mSv}$
- Dock kan extravasering leda till en ny undersökning och en högre stråldos där av



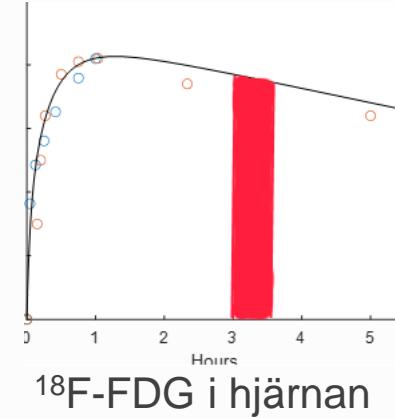
| | |
|--|------------------------|
| | FDG Patient 370 MBq |
| Effektiv dos Allt fastnar i extravaseringen | 1,55 mSv |
| Effektiv dos (vanlig adm.) ICRP-128 | 7,03 mSv |
| Effektiv dos ICRP-128 61 % + Extravaseringsdos 39 % | 4,89 mSv |

Kraftig extravasering vid
 ^{18}F -FDG-undersökning

Ref: Ü Ören, and M Andersson. Radiation Protection Dosimetry, 2016, doi: 10.1093/rpd/ncw221

FDG-patienter - Praktisk strålskydd allmänhet

- Hypotetiskt fall: ^{18}F -FDG patient administrerad 370 MBq
- 3 timmar efter administrering blir patienten körd 30 min bil hem
- MC simulerar alla sönderfall från patient till chaufför mellan 3 timmar och 3,5 timmar baserat på reviderad FDG modell
- Stråldos till chaufför 0,05 μSv per körning (taxi)



0.1 mSv = 1900 körningar per år 0.1 mSv

Okategoriserad <1 mSv (10 ggr dos)
(strålskyddsutbilda)



Patient lämnar efter 3 h



Chaufför kör i 30 min



Patient är hemma

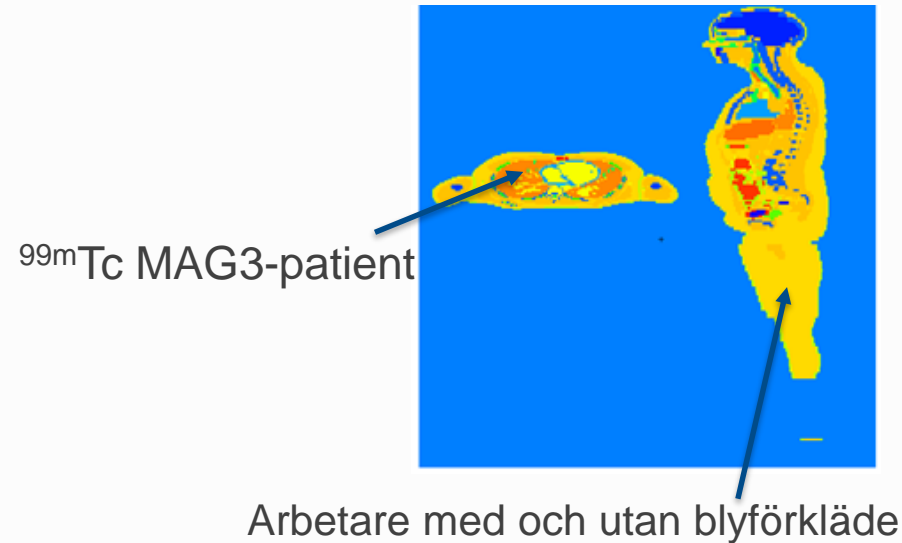
Praktisk strålskydd ^{99m}Tc

Arbetare

Personalstrålskydd ^{99m}Tc

Blyförkläde och ^{99m}Tc . Det finns en myt som säger att det blyförkläden skapar mer strålning med lägre energi som sedan leder till att personal får en högre stråldos vid arbete med ^{99m}Tc

| 'Organ' | Utan blyförkläde [J/photon] | Med blyförkläde [J/photon] | Utan bly/med bly |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------|
| 'Staff Eye lenses ' | 9,20E-08 | 8,90E-08 | 0,97 |
| 'Staff Brain ' | 2,30E-05 | 2,20E-05 | 0,93 |
| 'Staff Thymus ' | 4,20E-07 | 7,60E-08 | 0,18 |
| 'Staff Lung ' | 2,20E-05 | 3,70E-06 | 0,17 |
| 'Staff Uterus ' | 5,00E-07 | 8,30E-08 | 0,16 |
| 'Staff Heart Wall ' | 1,10E-05 | 1,60E-06 | 0,15 |
| 'Staff Kidneys ' | 4,30E-06 | 6,60E-07 | 0,15 |
| 'Staff Liver ' | 6,50E-05 | 1,00E-05 | 0,15 |
| 'Staff Breast ' | 3,20E-05 | 4,40E-06 | 0,14 |
| 'Staff Spleen ' | 2,00E-06 | 2,80E-07 | 0,14 |
| 'Staff Thyroid ' | 9,00E-07 | 1,20E-07 | 0,14 |



Blyförklädet reducerar stråldosen till personal i detta fallet till **1/5**

Personalstrålskydd ^{99m}Tc

Ska man då ha blyförkläden vid planerat arbete med ^{99m}Tc -behandlingar?

Ställde jag tre frågor till olika sjukhus, använder era anställda blyförkläde för Tc-99m vid:

1) *beredning*, 2) *injektion* 3) *bildtagning*

London: Det korta svaret är att vi inte använder blyförkläden alls. Med detta sagt är användningen av en bänksköld vanligt under beredningen



Umeå: 1) **Ja**, av tradition personal lär upp nya som de blivit upplärda. 2) **Nej**. Sköterskorna får inte särskilt höga stråldoser 3) **Nej**. Personalen är sällan i närheten under bildtagning då vi har manöverrum till alla kameror.

SUS: 1) **Ja**, 2) **Ja**, 3) **Ja**

Hamburg: 1) **Nej** blyglas och sprutskydd 2) **Nej**, sprutskydd 3) **Nej**, kort tid och avstånd

Seoul: 1) **Frivilligt**, finns blyglas. 2) **Ja**, p.g.a. hör arbetsbörda på få personer. 3) **Nej**. Kort tid när patient

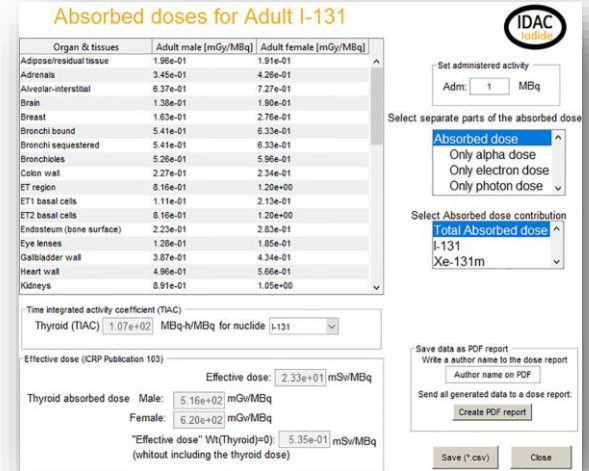
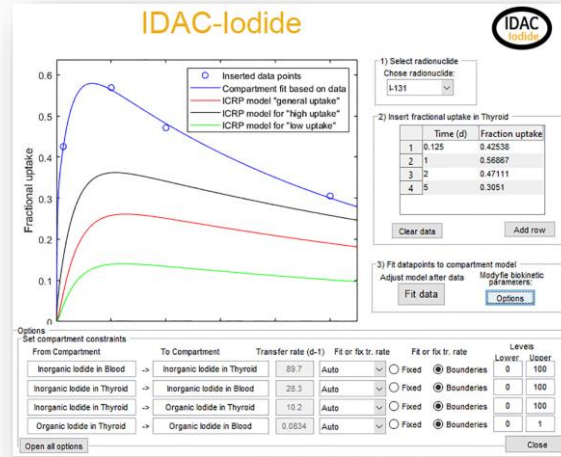
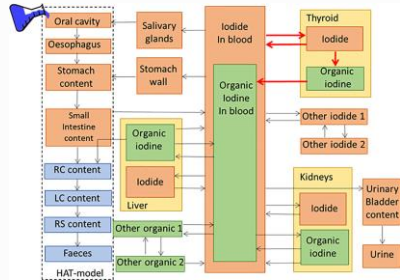
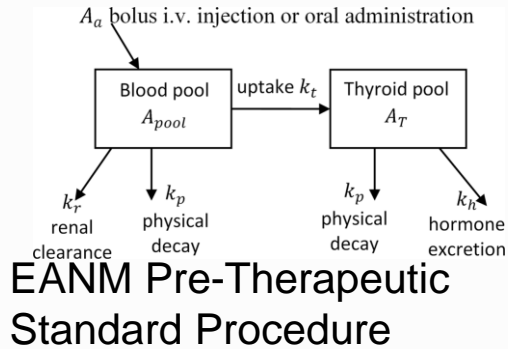


Det finns inget rätt eller fel svar: Olika planerade arbetsbelastningar, olika strålskyddsverktyg samt optimera arbetet olika.

Praktisk strålskydd ¹³¹I

Patienter & Utsläpp

Referensdosimetri på Graves-patienter behandlade med ^{131}I



The ICRP compartment model for oral administration

Online-version också tillgänglig på www.idac-dose.org

Ref: Andersson M, Mattsson S. Front Endocrinol 2021;12:634955.

Utsläpp av radioaktivt jod ^{131}I från sjukhus

- Tillåtna utsläpp i avlopp av ^{131}I är 1 MBq per gång (40 MBq per år)
- Jodutsläppen ska dokumenteras (Urin och avföring som innehåller radionuklider från medicinska undersökningar är undantaget)

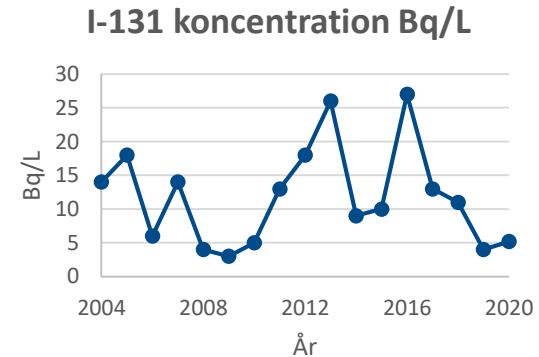
London

Mäter årligen utsläppen av ^{131}I , ^{177}Lu -177, ^{223}Ra och ^{90}Y

- ^{131}I dominerar stråldos till människa
- ^{177}Lu -177, ^{223}Ra och ^{90}Y dominerar stråldos till djurlivet



Sjukhusfysiker mäter vid utlopp



Ref: DR McGowan *et al.* J. Radiol. Prot. 34 (2014) 1–14

Tack!



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority



GÖTEBORGS
UNIVERSITET



LUNDS
UNIVERSITET



FOLKTANDVÅRDEN