

Bővített fokozatú sugárvédelmi tanfolyam Semmelweis Egyetem

DOZIMETRIA: dózisfogalmak, dózisszámítások

Taba Gabriella, SE Sugárvédelmi Szolgálat

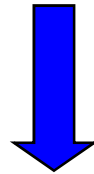
2019.04.15.

EOK Hevesy György előadóterem (Tűzoltó u. 37-47.)

Miért kellenek dozimetriai fogalmak?

A dozimetria célja, feladata

- Jelen sugárzási viszonyok (dózis)



Időtartam:

napok, hetek, évek telhetnek el míg az ártalom jelentkezik

- Ártalom, kockázat

Mivel a dózis fogalmakkal jellemezzünk az ártalom kialakulását ezért a legfontosabb megelőzés a jelenlegi sugárzási viszonyok jellemzése és mérése és a megtett védekezési intézkedések.

Fontos feladat: dózisviszonyok meghatározása jelenleg az ember, az élővilág környezetében, azért hogy szükség esetén **védekezéssel csökkentsük a dózisértéket**, hogy ne alakuljon ki elfogadhatatlan káros következmény.

Milyen mennyiséggel jellemezzük a káros hatást?

- **Elvárás a káros hatás, az ártalom „kvantitatív” jellemzésére, előrejelzése céljából bevezetendő mennyiséggel, a dózissal szemben:**
 - a lehető legtöbb káros hatásnál alkalmazható legyen (akut, krónikus; szomatikus, genetikus; funkcionális, morfológiai; ember, állat, növény esetén,...),
 - egyértelmű definíciója és jól mérhető legyen,
 - kivitelezhető mérőeszköz hitelesítés és kalibrálás,
- **Gyakorlati megjegyzés:** a kívánalmak csak korlátozottan teljesíthetők:

=> többféle dózisfogalom, dózismennyiség szükséges; átfedésekkel találkozunk, de egy dózis fogalomba nem lehet mindent belesűríteni!

Milyen hatásokat kell jellemezni?

Ionizáló sugárzás esetén, dozimetriai szempontból két lényegesen különböző hatás:

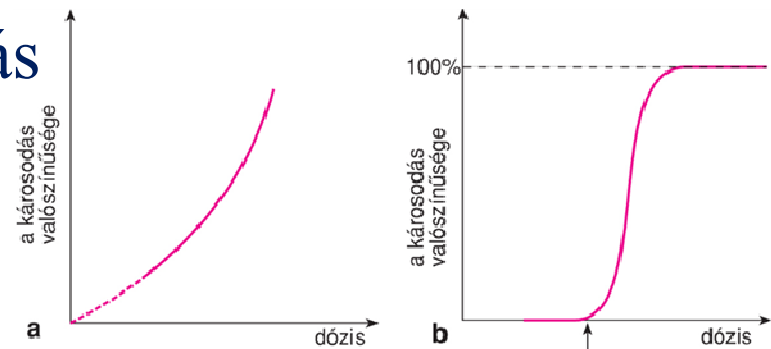
determinisztikus és sztochasztikus

- *Determinisztikus*: súlyosság arányos az expozícióval, dózissal (bőrpír, égés, hasmenés) *azonnali hatás*
- *Sztochasztikus*: gyakoriság arányos az expozícióval, dózissal. (kromoszóma aberráció)

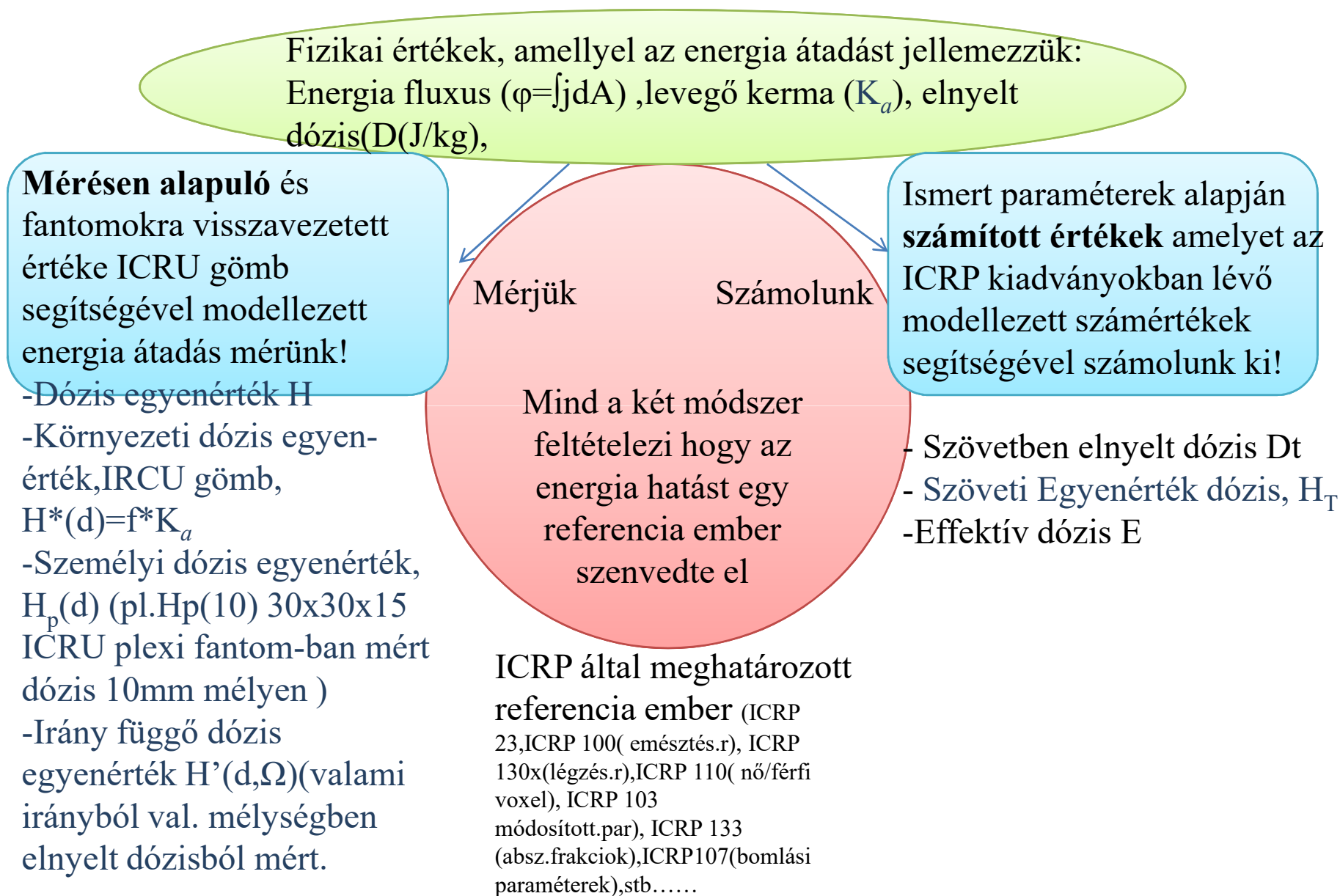
Később jelentkezik

Megjegyzések:

- determinisztikus hatásnak létezik küszöb dózisa (ez alatt nem mutatható ki káros hatás),
- sok esetben szimultán mindkét hatás megfigyelhető



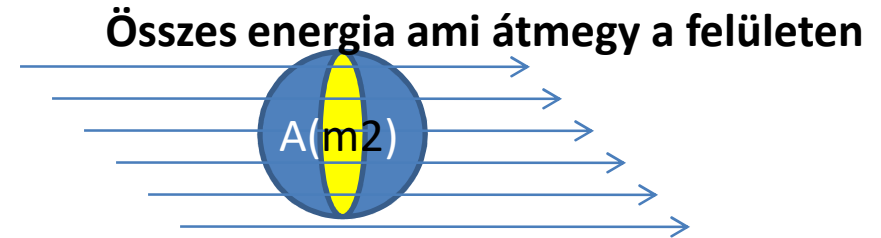
Különböző dózis fogalmak meghatározásának módja



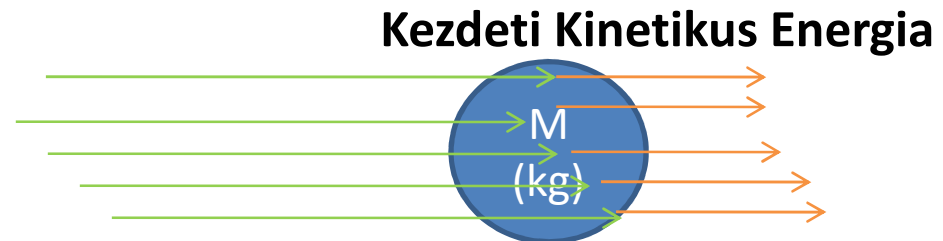
Energia áramlás jellemzői

Az adott testben leadott energia okozza a káros biológiai hatást

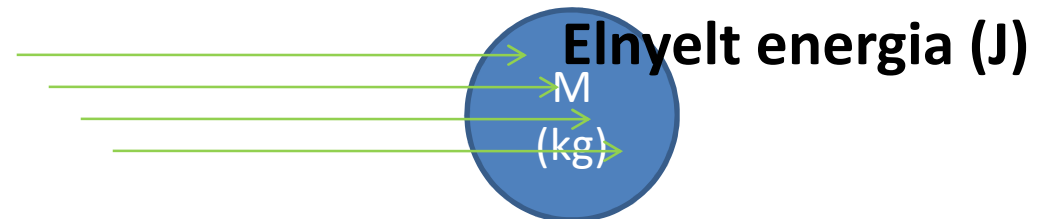
Energia fluxus sűrűség: ENERGY
FLUX DENSITY: Egy térben egy
gömb felületén egy idő egységni
idő alatt belépő összes részecske
energiájának összege osztva a gömb
keresztmetszetével



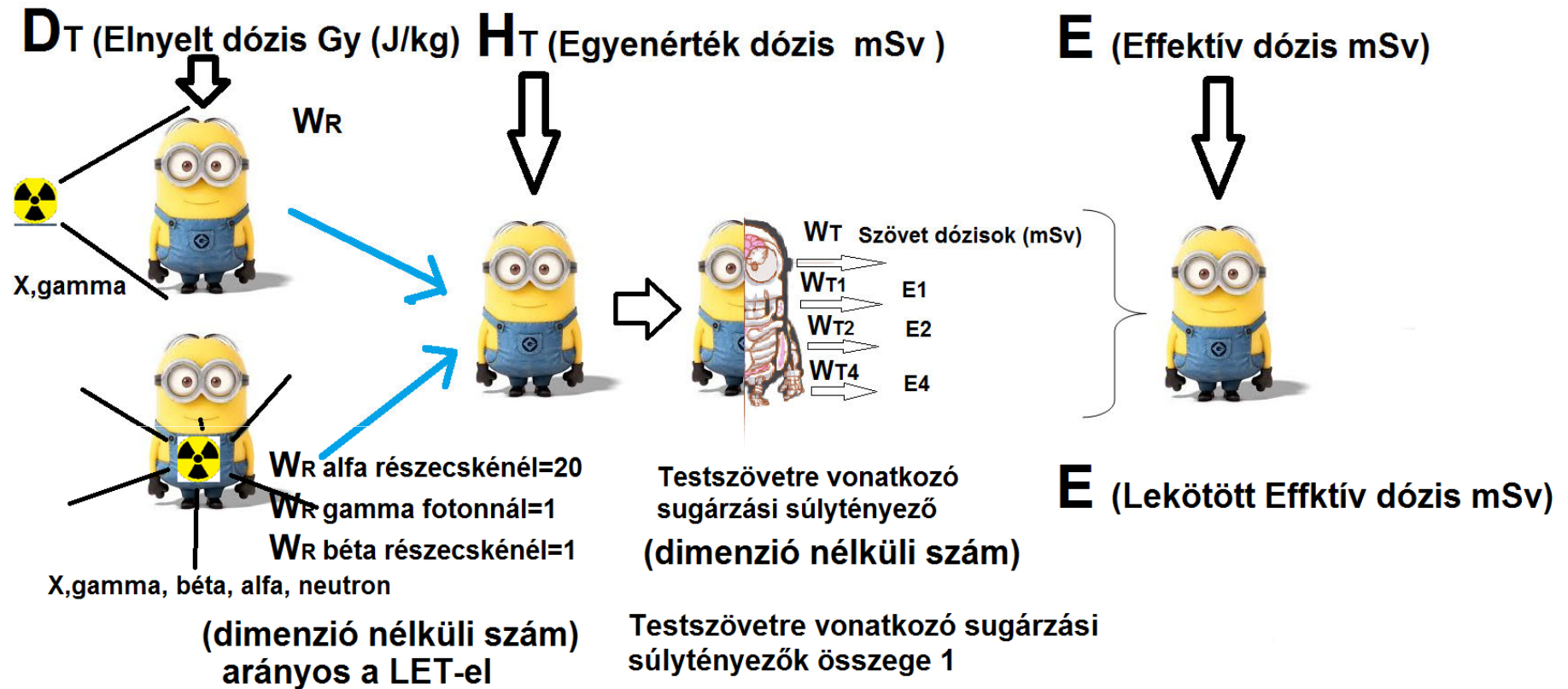
KERMA: MINETIC ENERGIE
RELASED IN MATTER: adott
anyag megfelelően kicsi
térfogatelemében közvetve ionizáló
részecskék által felszabadított
valamennyi töltött részecske kezdeti
kinetikus energiájának összege
osztva a térfogat elem tömegével,



Elnyelt dózis: bármely ionizáló
sugárzás által besugárzott térfogat
elem elnyelt energiája osztva a
térfogat elem tömegével



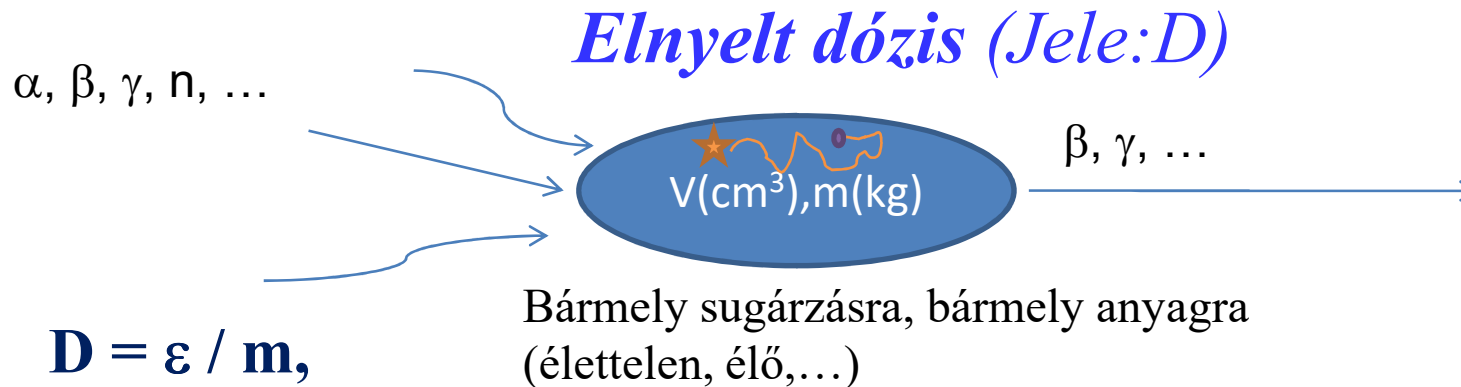
Számítási módszer: Négy fontos lépés



Energia abszorpció->Energia uniformizálás->Biológiai érzékenysége az adott szövetnek->az egész testre vonatkozó hatás

1

Dózisfogalmak, - mennyiségek és egységek a sugárvédelemben



$$D = \varepsilon / m,$$

- ahol ε : a V térfogat m tömegében elnyelt energia (J).
- Mértékegysége **gray**; jele **Gy**, és **1 Gy = 1 J/kg.** (ez lehet nem ionizáló is)
- (Régi egysége a *rad*, 1 Gy = 100 rad.)
- A sugárvédelmi gyakorlatban használjuk a "**szervdózis**" fogalmát, mely egy szövetben vagy szervben az átlagos elnyelt dózis.
- **Dózisteljesítmény**: dózis időegységre eső hányada:
- egysége Gy/s, nGy/h, ... Pl.Ht: 100-200nGy/h

2 Ha azt szeretnénk, hogy az dozimetriai mennyiség tartalmazza a sugárzás típusával kapcsolatos ártalom ki alakulásának hatását:

Egyenérték dózis (Jele: H_T)

Csak élő rendszerben, szervre, szövetre használjuk!

- Káros hatás: Függ a sugárzás típusától, energiájától

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}, \text{ (számolt érték!)}$$

ahol:

W_R : a sugárzás fajtájára, minőségére jellemző súlytényező, dimenzió nélküli szám

$D_{T,R}$: a T szövetben, az R típusú sugárzásból eredő elnyelt dózis.

T: gonádok, tüdő, máj, bőrszövet, csontvelő,...

R: α -, β -, γ , n, p, ion, ... - sugárzás.

2

Egyenérték dózis (H_T) jellemzése

Mértékegysége: sievert, Sv, $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

- A W_R értékét a γ -sugárzásra, definíciószerűen 1-nek vesszük és a többi sugárzást ehhez viszonyítjuk.

A sugárzási súlytényező (W_R) jellemzése:

- arányos az úthossz menti fajlagos ionizációval, a **Lineáris Energia Transzfer(LET)** értékkel (a LET egysége: $\text{eV} \cdot \text{nm}^{-1}$).

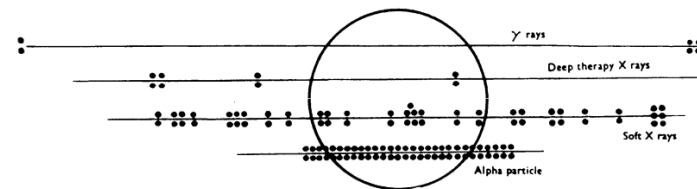


Figure 9.1. Separation of ion clusters in relation to the size of a biological target. (Reproduced from Gray, 1946, *Br. Med. Bull.*, by permission of the author.)

- szerepe hasonló mint korábban a Q sug. minőségi tényezőnek, ill. RBE-nek (Relatív Biol. Effektivitás)
- **RBE**: relatív biológiai hatékonyság: a sugárzási súlytényezőnek megfelelő mennyiség, dózismérés során ma is használatos, a biológiai hatás jellemzésére (pl. epidemiológiában).

2 Többféle sugárzás esetén:

- A T testszövetben többféle sugárzásból eredő szöveti egyenérték dózis

$$H_T = \sum H_{R,T}$$

	High LET	Low LET	
particles	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \\ p \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} e^- \\ \beta^- \\ \beta^+ \end{array} \right\}$	"electrons"
		$\left\{ \begin{array}{l} \gamma \text{ ray} \\ x \text{ ray} \end{array} \right\}$	electromagnetic radiation

3. melléklet a 487/2015. (XII. 30.) Korm. Rendelet alapján:

1. Sugárzási súlytényezők

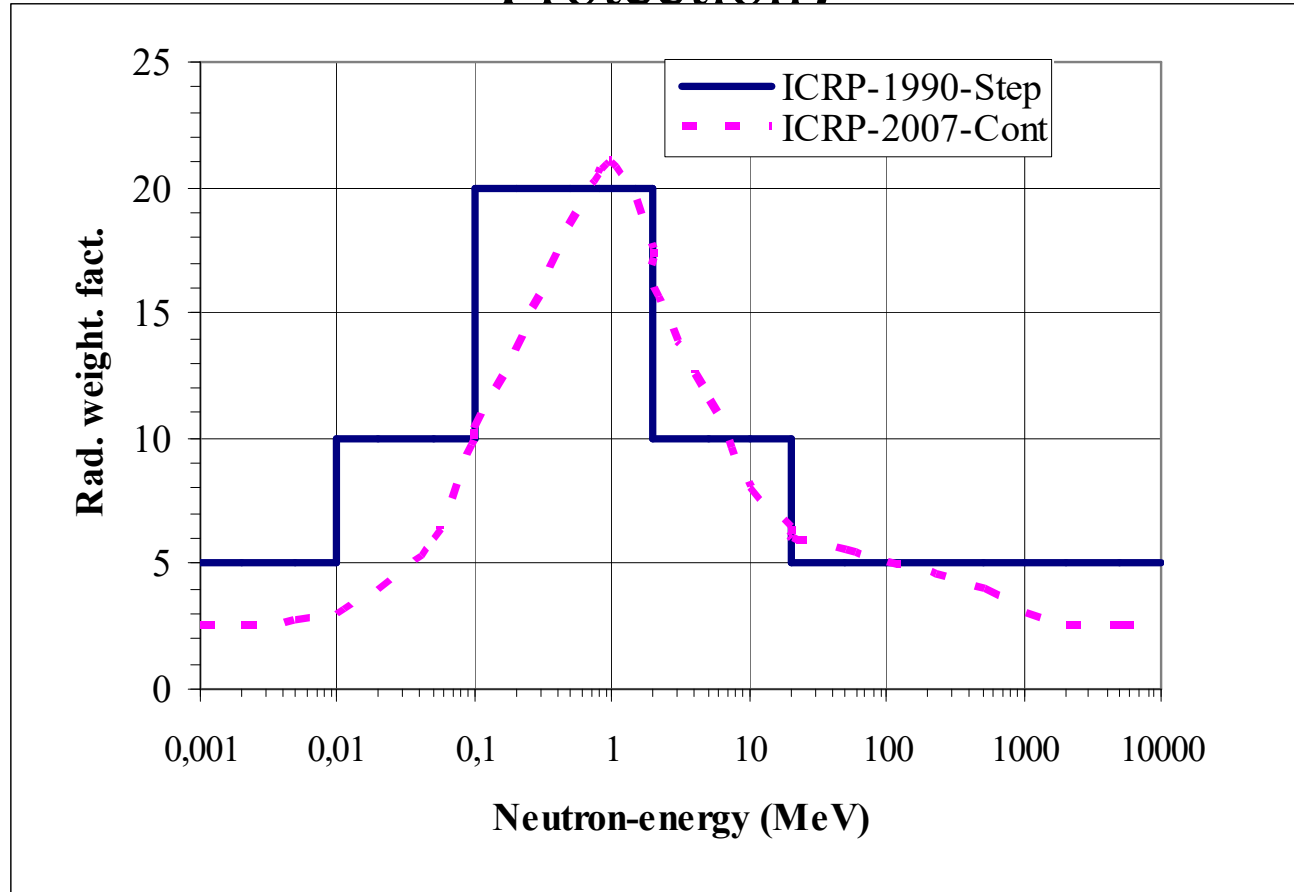
A sugárzás típusa	wR	LET értékek (eV.nM ⁻¹)
Fotonok	1	0,2-3,5
Elektronok és müonok	1	0,2-1,1
Protonok és töltött pionok	2	-
Alfa-részecskék, hasadványok, nehézionok	20	130
Neutronok, $E_n \leq 1 \text{ MeV}$	$2,5 + 18,2 e^{-[\ln(E_n)]2/6}$	Energia függő
Neutronok, $1 \text{ MeV} < E_n \leq 50 \text{ MeV}$	$5,0 + 17,0 e^{-[\ln(2E_n)]2/6}$	Energia függő
Neutronok, $E_n > 50 \text{ MeV}$	$2,5 + 3,25 e^{-[\ln(0,04E_n)]2/6}$	Energia függő

Egyenérték dózis meghatározásra

- Valaki a következő besugárzásokat szenvedte el: 0.1Gy röntgen foton, 0.05Gy gyors neutron, 0.2Gy alfa részecske mi az egyen érték dózis?

Sugárzás típusa	D(Gy)	W_R	EqD (Sv)
Röntgen foton	0,1Gy*	1=	0,1
Gyors neutron	0,05Gy*	20=	1,0
Alfa részecske	0,2Gy*	20=	4,0
		Összesen Σ	5,1Sv

2 Sugárzási súlytényező (w_R) **neutronok** esetén (ICRP-2007) (International Committee on Radiological Protection)



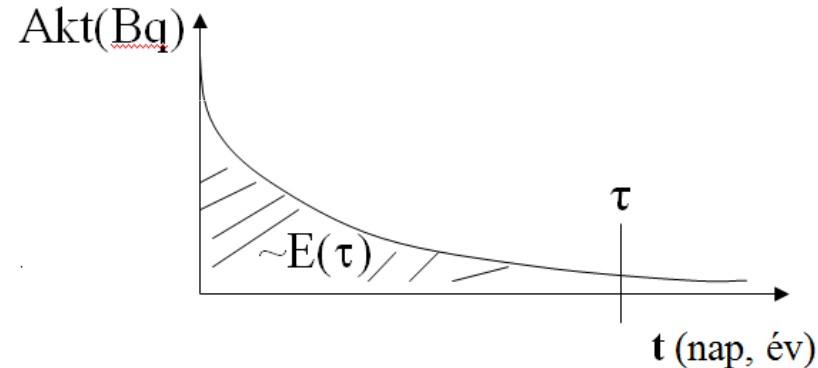
Nemzetközi ajánlások között is van eltérés

4 *Ha a testben bekerült és bomló izotópról van szó: Lekötött egyenérték és lekötött effektív dózis*

- Szervezetbe került radioaktív anyagtól!
- A τ időtartamig összegezett (integrált) dózis:

$$E(\tau) = \int_{\text{teljesítmény}}(t) dt,$$

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$



- ahol: $E_{\text{teljesítmény}}(t)$ a t időpontban a dózisteljesítmény.
- *Sugárvédelmi céllal:*
- Felnőtt: $\tau = 50$ év
- Gyermekeknél: 70 év.
- **Dózislekötés:** $\tau = \infty$.
- *ICRP kiadvánokban szereplő dózis állnók tartalmazzák az integrálási időszakra vonatkozó korrekciókat*

Tételezzük fel hogy 10^6 db. Pu-239 atom bomlik el egy májban 50 év alatt.

Mi a lekötött effektív dózis?

(Pu-239 5MeV alfa fotont bocsát ki bomlása során, máj tömege 1800g, konverziós tényező $1,602 \times 10^{-13} \text{J/MeV}$, máj szöveti szorzó tényezője 0,05)

- Elnyelt dózis $DT = (10^6 * 5 \text{MeV} * 1,602 * 10^{-13}) / 1,8 \text{kg} = 0,445 \text{mikroGy}$
- Egyenérték dózis $HT = 0,455 \text{ mikroGy} * 20 = 8,9 \text{mikroSv}$
- Lekötött effektív dózis $E = 8,9 * 0,05 = 0,45 \text{mikroSv}$

3 Ha azt szeretnénk, hogy az dozimetriai mennyiség tartalmazza a besugárzott szövetben kialakult ártalom hatását:

- **Effektív dózis (Jele: E)**

Egész testre, sztochasztikus hatások jellemzésére használjuk!

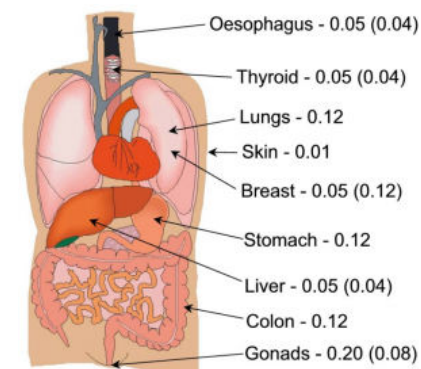
$$E = \sum_T W_T \cdot H_T , \quad (\text{számolt érték!})$$

- ahol W_T a szöveti súlyozó tényező (dimenzió nélküli).
- $W_T < 1$ és $\sum_T W_T = 1$.
- **Mértékegysége:** sievert, Sv. $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.
- A definíció alapján az effektív dózis megegyezik azzal az egésztestben egyenletes eloszlásban kapott dózissal, mely a késői sugárhatások (daganatos betegségek, öröklődő ártalmak stb.) ugyanakkora kockázatával jár mint a szövetek külön-külön besugárzásával kapott szöveti dózisok együttesen.
- Ezért egésztest dózis alatt rendszerint effektív dózist értünk.

3. melléklet a 487/2015. (XII. 30.) Korm. Rendelet alapján:

1. Sugárzási súlytényezők

Testszövet	W _T
Csontvelő	0,12
Vastagbél	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Emlő	0,12
Egyéb szövetek (a)	0,12
Ivarmirigyek	0,08
Hólyag	0,04
Nyelőcső	0,04
Máj	0,04
Pajzsmirigy	0,04
Csontfelszín	0,01
Agy	0,01
Nyálmirigyek	0,01
Bőr	0,01



Tissue or organ	ICRP-1990/ IBSS-1996	ICRP-2007
Gonads	0.20	0.08
Bone marrow, red	0.12	0.12
Colon	0.12	0.12
Lung	0.12	0.12
Stomach	0.12	0.12
Bladder	0.05	0.04
Breast	0.05	0.12
Liver	0.05	0.04
Esophagus	0.05	0.04
Thyroid	0.05	0.04
Skin	0.01	0.01
Bone surface	0.01	0.01
Brain	-	0.01
Salivary glands	-	0.01
Remainder	0.05	0.12
Total	1.00	1.00

Megjegyzések az effektív dózis használatához:

- embriónál, ahol nem beszélhetünk kialakult szövetekről, nem használható az effektív dózis, ott elnyelt dózist (D , egység: Gy) célszerű használni,
- determinisztikus hatás rendszerint egy-egy szövet esetén alakul ki, ezért ott sem az effektív dózis, hanem az elnyelt dózis (D , Gy), vagy az egyenérték dózis (H , Sv) használatos. (szem, kéz bőr dozimetria)
- OSSKI TLD: külső sugárterhelést okozó röntgen-fotonsugárzásból származó személyi dózisegyenérték, $H_p(10)$ adat szolgál
- A dózis teljesítmény mérőkön H^*10 környezeti dózis egyenérték olvasható le nem azonos a $H_p(10)$ személyi dózissal

Mekkora az elnyelt dózis, egyenérték dózis, effektív dózis?

T=60 min, pl: 1 kg test, nagyon le-egyszerűsített példa

Részecske típus				bojlás/perc	E(MeV)
	bojlás/perc	E(MeV)	W_R	m=65kg	
alfa	5,70E+05	3,7	20	t=1 óra	
béta	1,20E+06	0,7	1	W_T gyomor	0,12
gamma	8,00E+04	2,8	1	MeV->J átváltás	1,60E-13

$$D_t = (((5,7E5 * 3,7 \text{ MeV}) + (1,2E6 * (0,7 \text{ MeV})) + (8E4 * (2,8 \text{ MeV}))) * 60 \text{ min} * 1,6E-13 (\text{J/kg}))/1 = 2,0 \text{ J/kg} \sim \text{Gy}$$

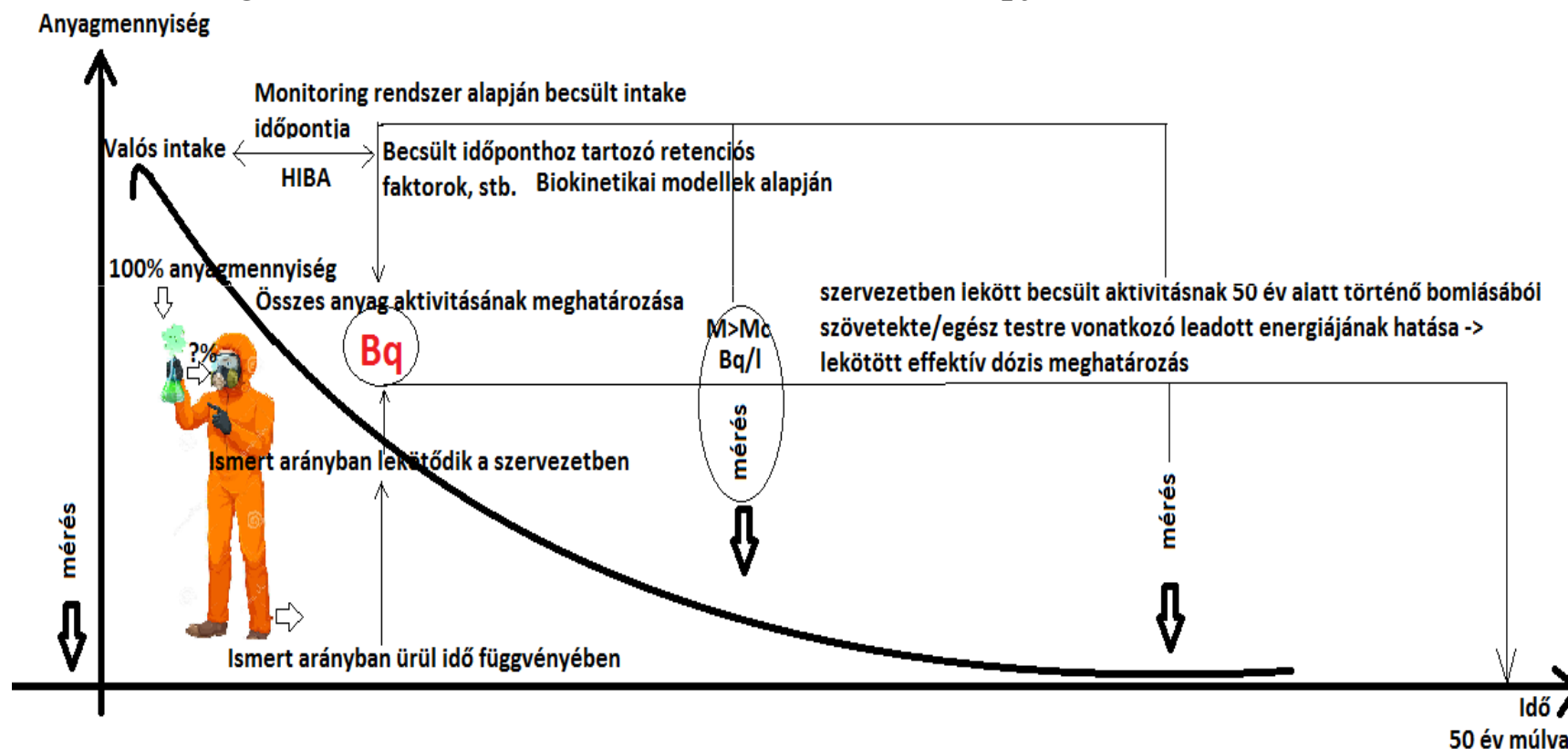
$$H_t = (((5,7E5 * 3,7 \text{ MeV} * 20) + (1,2E6 * 0,7 \text{ MeV} * 1) + (8E4 * 2,8 \text{ MeV} * 1)) * 60 \text{ min} * 1,6E-13 (\text{J/kg}))/1 = 4,15E-4 \text{ Sv}$$

$$E_t = 4,15E-4 * 0,12 = 4,9E-5 \text{ Sv} = 50 \mu\text{Sv}$$

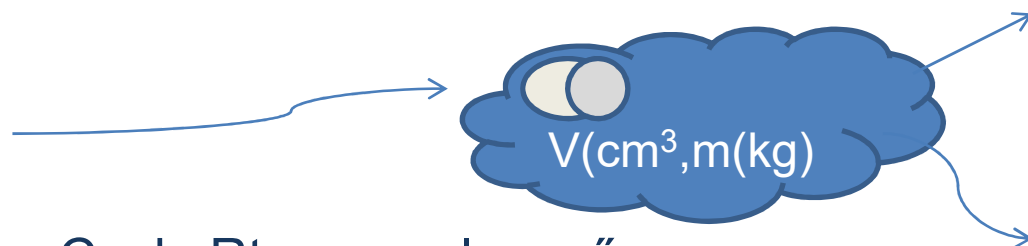
Ezt a gyakorlatban nem kell kiszámolnunk! Hanem az ICRP táblázatokban lévő dózis állandóval kell beszoroznunk a testbe jutó radioaktív anyagot!

4 A lekötött effektív dózis sematikus meghatározásának menete monitoring rendszeren belül

Ha a lekötött effektív dózis nagyobb mint 1mSv/év MONITORING rendszert kell alkalmazni a munkavállaló ellenőrzésére. (izotóp gyártás, pajzsmirigy terápia, atomerőmű)
A monitoring rendszert az OIR, ICRP Ideas Gudline alapján kell összeállítani.



Besugárzás, expozíció (besugárzási dózis)



- Csak: Rtg, γ levegő

- $X = Q / m$,

ahol Q az m tömegű levegőben keltett elektromos töltések, ionok mennyisége.

- SI egysége: $C \cdot kg^{-1}$ (C: coulomb), korábban a röntgen (**R**) volt és
- Lágyszövetekben 1 R-nek kb. 0,0088 Gy elnyelt dózis felel meg, csontszöveteknél ennél 20-30 %-kal nagyobb.

A röntgen sugárzás különböző energián történő test besugárzását ICRP táblázatokból vett korrekciós faktorokkal számoljuk át Gy-é és onnan a számítás hasonló mint a korábbi példákban. Van hogy méréssel határozzák meg a leadott energia mennyiséget. (gépekbe szerelt dózis mérők)

Közölt-dózis(kerma)

- A közölt dózis, ill. a "levegő-kerma dózis" mennyiség elsősorban foton sugárzási tér jellemzésére használatos (a "kerma" angol mozaikszó: kinetic energy released to material), mértékegysége megegyezik az elnyelt dózis egységével, azaz J.kg^{-1} , ill. Gy.
- A közvetlen ionizáló töltetlen részecskék (foton, neutron) által keltett kezdeti kinetikus energiájának az összege a m tömegű anyagban. $K = dE_{tr}/dm \Rightarrow K_a$ (Kerma a levegőben) *(ez kell a környezeti dózis egyenérték meghatározáshoz)* **(Ebből számítják a $H^*(10)$ környezeti dózis egyenértéket, amit leolvassunk a műszerről)**
- Ez esetben a sugárzás által kiváltott részecskéknek a kezdeti kinetikus energiáját használjuk dózismennyiségként. ($E_{közölt} < E_{elnyelt}$)

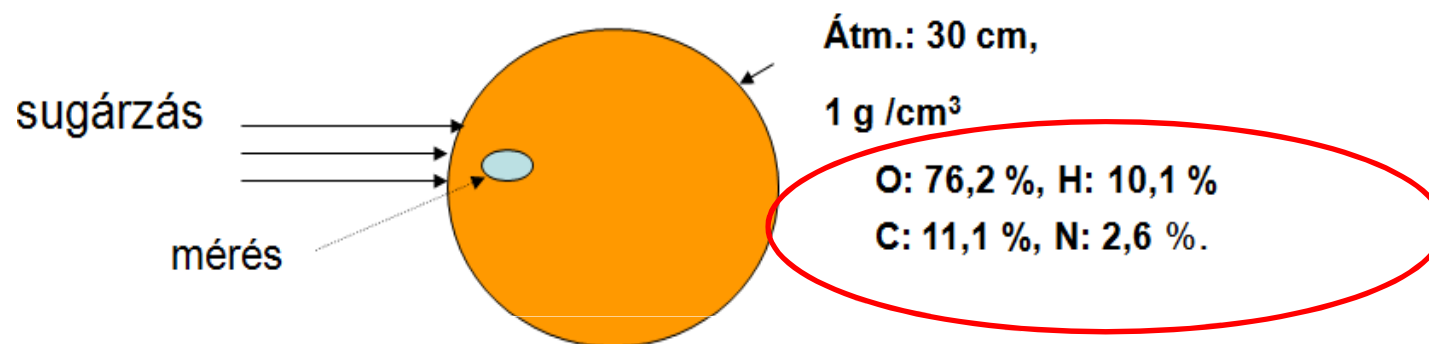
Kollektív dózis (Jele: S)

- Egy kollektíva, vagy akár a népesség egészének a sugárterhelése $S =$ a sugárterhelést elszenvedett egyedek egyéni dózisának összege (ill. az átlagos érték szorozva az egyedek számával). „Társadalmi szempontból” fontos lehet.
- Mértékegysége: személy.Sv .



Méréssel kapcsolatos megközelítés

- *Dózismérések reprodukálhatósága, kalibrálás,*
- ICRU (International Committee on Radiation Units and Measurements) **gömb/henger fantom:**



- ICRU gömb fantom különböző (d) mélységű helyén, akár különböző irányból, különböző típusú sugárzással végzett besugárzások mellett kapott dózis- ill. dózisteljesítmény értékekkel lehet kalibrálni, hitelesíteni a mérőeszközöket. Az így definiált mennyiségek a **dózisegyenértékek**, ezek egysége is Sv (ill. J.kg⁻¹).
- Az emberi test (vagy az azt utánzó fantom) adott pontjára vonatkozó dózisegyenértékre, a sugárzás típusának és energiájának figyelembevételére épül.

- A területellenőrzésnél, akár munkahelyen is használatos a **környezeti dózisegyenérték - jele: $H^*(d)$** - amely a sugárzási tér egy adott pontjában elhelyezett ICRU-fantom d mélységében mért dózist jelenti, ha egyirányú a sugárzás, akkor a sugárzás irányával ellentétes oldalon. Erősen áthatoló (γ -) sugárzás esetén $d=10$ mm, gyengén áthatoló (β -) sugárzásnál $d=0,07$ mm .
- Mérőeszközöknél figyelni kell hogy $H^*(10)$ környezeti dózisegyenértékben legyen hitelesíthető
- Közölt dózis a levegőben K_a -ból ($Kerma=dE_{rt}/dm$) meghatározható f konverziós faktorra (MSZ14341:1991 sz.sz. 6 táblázata)
A személyi ellenőrzés esetén ajánlott az un. ***személyi dózisegyenérték – jele $H_p(d)$*** –
 $d=10$ mm, lágy szövetekre jellemző dózis,
 $d=3$ mm a szemlencse dózis,
 $d=0,07$ mm a bőr dózis.



Mérési módszerek szempontjából: Fizikai
dozimetria/kémiai dozimetria/biológiai dozimetria

Dózisfogalmak használatának kiterjesztéséről

Általában mondható, amennyiben **más élőlények** (non-human biota) esetén hasonló fogalmakat akarunk használni mint az embernél, akkor az eddig bevezetett W_R , és W_T súlytényező értékeket - különösen az utóbbit - módosítani kell. További nehézséget jelent, hogy a vizsgálandó dózistartomány sokkal nagyobb mint embernél, azaz a súlytényezők dózistól való függését mindenképpen figyelembe kell venni.

$$W_T^{\text{🐭}} \neq W_T^{\text{👶}}$$



Ionizáló sugárzás hatása

- A sztochasztikus sugárhatás nominális károsodási együtthatói 1 Sv effektív dózis esetén, a dolgozókra és a teljes lakosságra külön-külön, az ICRP 103 2007-ben megjelent ajánlásai szerint.(0,005%/mSv, tehát 1mSv esetén 1:20000, 20mSv esetén 1:1000)

Populáció	Végzetes rosszindulatú daganat	Nem végzetes rosszindulatú daganat	Súlyos örökletes hatások	Összesen
Felnőtt dolgozók	0,041	0,008	0,01	0,042 korábban 0,056)
Teljes népesség	0,055	0,01	0,02	0,057 korábban 0,073)

Sugaras kockázat

A kockázat (risk), mint számolt mennyiség:

$$R = w \cdot K,$$

ahol:

w : az esemény (expozíció) bekövetkezésének valószínűsége (max 1)

K: az eseménnyel (expozícióval) járó károsodás, ártalom súlyossága (max 1, mely haláleseteket jelent).

Példák

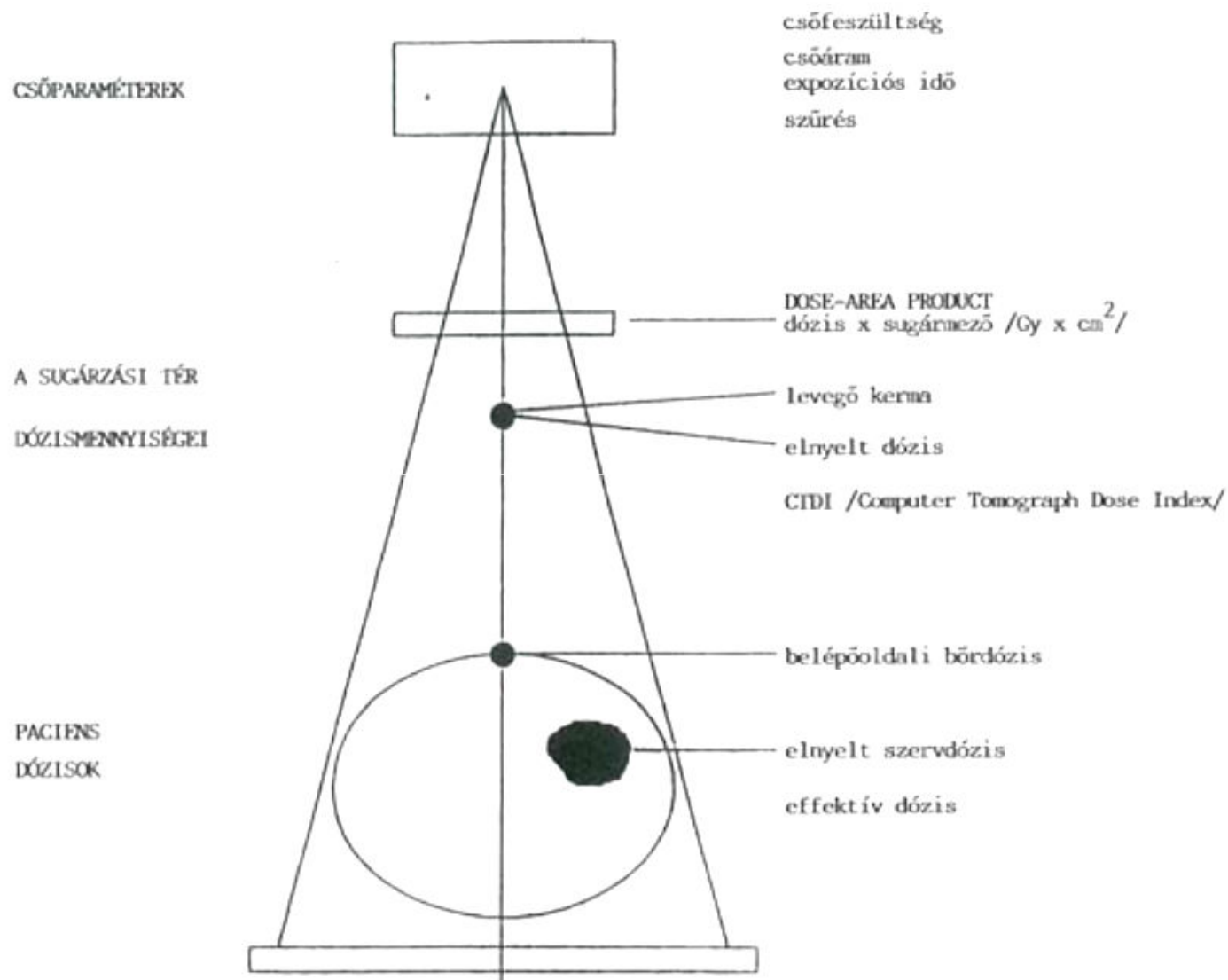
- a) ha az $E=1$ Sv effektív dózisú akut expozíció bekövetkezésének valószínűsége 0,1 és a következmény súlyossága $K=0,05$, akkor a kockázat $R=0,1 \cdot 0,05 = 0,005$.
- b) Ha a $H=5$ Sv egyenérték dózisú pajzsmirigy expozíció bekövetkezésének valószínűsége 0,001 és az ebből eredő következmény súlyossága 0,0008, akkor a kockázat: $K = 0,001 \cdot 0,0008 = 8 \cdot 10^{-7}$, „laborszlangben” 0,8 mikrorizikó.

A sugárvédelemben általában a $\approx 10^{-7}$ -nél kisebb kockázattal járó eseményeket elhanyagoljuk, azok értékének pontosítása szükségtelen.

Esemény	K	w	R
CT felvétel közben valaki a szobában marad és 10mSv személyi egyenérték dózist szenved el.	(1Sv esetén 0,05) akkor 10mSv esetén K=0,0005	0,0001	5×10^{-8}
Tűszűrásos baleset	K=0,00001	0,01	1×10^{-7}
Tc-99m izotóp, 10MBq véráramba jutása, $eg=2 \times 10^{-11}$, effektív dózis 0,0002Sv,			
I-123 izotóp belélegzése 1MBq (5mikron AMAD, F) $eg=1,1 \times 10^{-10}$ Sv/Bq esetén	$K=5 \times 10^{-7}$	0,001	5×10^{-10}

Páciensre vonatkozó dózis fogalmak

Gy



A röntgendiagnosztikai sugárterhelés jellemzésére használható mennyiségek

Dózismennyiségek összehasonlítása

A sugárdózis mérésével, becslésével éppen arra kívánunk ismereteket szerezni, hogy mekkora hatás várható hetekkel, hónapokkal, esetleg évekkel később rosszindulatú daganat formájában, hogy a szükséges védelmi intézkedést, akár a gyógyítást a lehető legkorábban elkezdhessük.

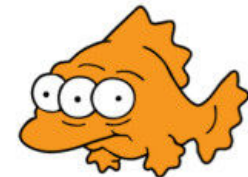
SIMPSONS GUIDE TO RADIATION



Bequerel [Bq]
How brightly your
Cesium glows



Gray [Gy]
How brightly
Cesium will make
you glow



Sieverts [Sv]
How many extra
eyes will you have
after glowing?

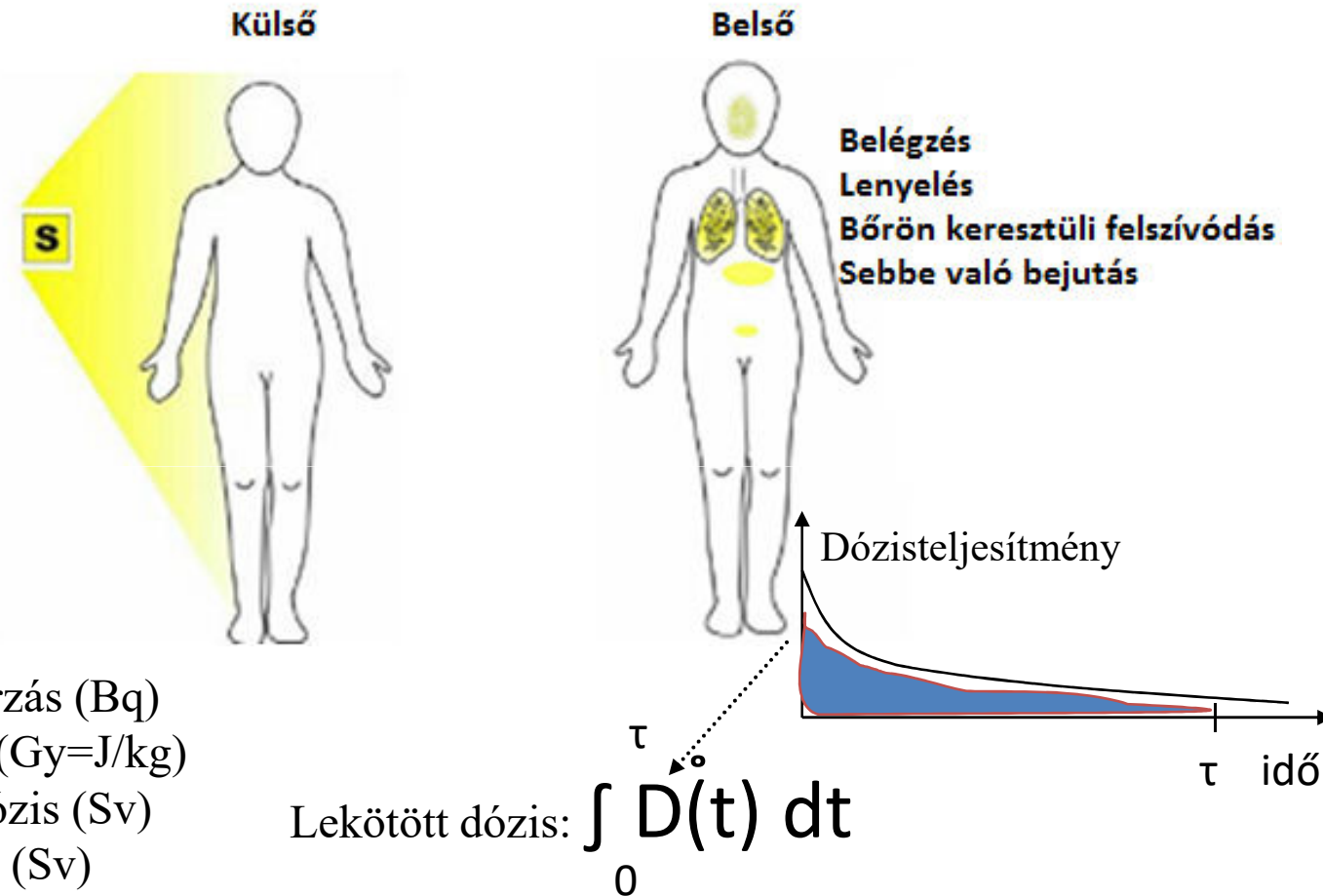
Megnevezés e és jele	Rövid meghatározása	Mértékegység	Érvényessége, megjegyzések
Elnyelt dózis, D	Sugárzás révén elnyelt energia osztva az elnyelő tömeggel	Gy ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Mindenfajta ionizáló (esetenként nem ionizáló) sugárzásra és mindenféle elnyelő anyagra (élettelenre is) értelmezhető. Egymagában nem jellemzi a biológiai hatás mértékét
Egyenérték dózis, H_T	Elnyelt dózis szorozva a sugárzás fajtájára jellemző súlytényezővel	Sv ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Elsősorban emberi szövetekre, szervekre, ≈ 1 Sv dózsig használható. Jellemző a szövetek, szervek biológiai, egészségkárosító hatására. Kiterjeszthető más élőlényekre is.
Effektív dózis, E	Egyenérték dózis és a szöveti súlytényezők szorzatának összege	Sv ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Emberi egésztestre, ≈ 1 Sv dózsig. A szöveti súlytényezők összege = 1. Megkötésekkel kiterjeszthető
Lekötött dózis	Szervezetbe került radioaktív anyagoktól, 70 ill. 50 év időtartamra integrálva	Gy, Sv	Csak belső dózisnál, értékét a radioaktív bomlás és a felszívódás ill. kiürülés sebessége határozza meg

Megnevezése és jele	Rövid meghatározása	Mértékegység	Érvényessége, megjegyzések
Környezeti dózisegyenérték, $H^*(d)$	ICRU-fantomban, különböző mélységben és irányban mért dózis	Sv	Terület- és munkahely ellenőrzésre, a H_T és E jellemzésére használt dózis
Személyi dózisegyenérték, $H_p(d)$	ICRU-fantomban, különböző mélységben és irányban mért dózis	Sv	Személyi sugárterhelésre, a H_T és E jellemzésére használt dózis
Besugárzási dózis	Levegőben keletkező elektromos töltés és tömeg hányadosa	R, röntgen($1 R = 2,6 \cdot 10^{-4} C \cdot kg^{-1} \approx 0,009 Gy$)	Csak γ - ill. röntgen sugárzás és levegő elnyelő közeg esetén érvényes. Könnyen mérhető, de nem illeszkedik a SI-ba, ezért használata nem ajánlatos
Lekötött dózis	Szervezetbe került radioaktív anyagoktól, 70 ill. 50 év időtartamra integrálva	Gy, Sv	Csak belső dózissnál, értékét a radioaktív bomlás és a felszívódás ill. kiürülés sebessége határozza meg
Kollektív dózis, S	Több személyre, egy populáció egyéni dózisainak összege	személyGy, személySv	Sztokasztikus sugárhatásnál, néhány mSv-től néhány 100 mSv-ig használatos, társadalmi kockázat jellemzésére
Dózis-lekötés	Szervezetbe került radioaktív anyagoktól, $t=\infty$ -ig integrálva	Elsősorban személyGy ill. személySv	Egy hirtelen szennyeződést követően, több generációra kiterjedő kollektív dózis

Sugárterhelések osztályozásának szempontjai

- Sugárforrás elhelyezkedése: külső, belső sugárzás (az emberi testhez viszonyítva)
- Sugárzás eredete, forrása: természetes, mesterséges
- Sugárzás fajtája: α -, β -, γ -, neutron,
- Sugárterhelés szabályozása, ellenőrzése (expozíciós fajták): tervezett, veszélyhelyzeti, meglévő
- Időtartam (akut: 1-2 nap alatt, krónikus: évek)
- **Exponált csoportok, személyek (expozíciós kategóriák):** foglalkozási, lakossági, orvosi, (bióták?)
- *Az elhatárolódás, kategorizálás, osztályozás több esetben nem egyértelmű!*

Külső és belső sugárterhelés



Integrálási időtartam szabályozáshoz: $\tau = 50$ év (felnőtt), 70 év (gyermek)

Dózis értékek, példák

•Sugár forrás	•Dózis
<p>Természetes háttér éves átlagértéke hazánkban, egyéni dózis</p> <ul style="list-style-type: none"> • ebből a Rn-leányelemek belégzése • (lekötött effektív dózis) 	<p>•2-3 mSv effektív dózis</p> <p>•1,0-1,5 mSv</p>
Egyéni dózis járulék a Paksi Atomerőműben dolgozóknál, éves átlag	•1,1 mSv effektív dózis
Ember félhalálos dózisa ($LD_{50/30}$), akut terhelés γ -sugárzástól	•4-5 Gy, elnyelt dózis
Orvosi, külső (elsősorban rtg diagn), éves	1,5 (0,1-5) mSv effektív dózis

Dózis korlátok szintén a kockázati elemzésekből vannak levezetve

Jelenleg ICRP 118 korábban az ICRP 103 adott ajánlást az alkalmazásnál használatos dózis korlátozásra.

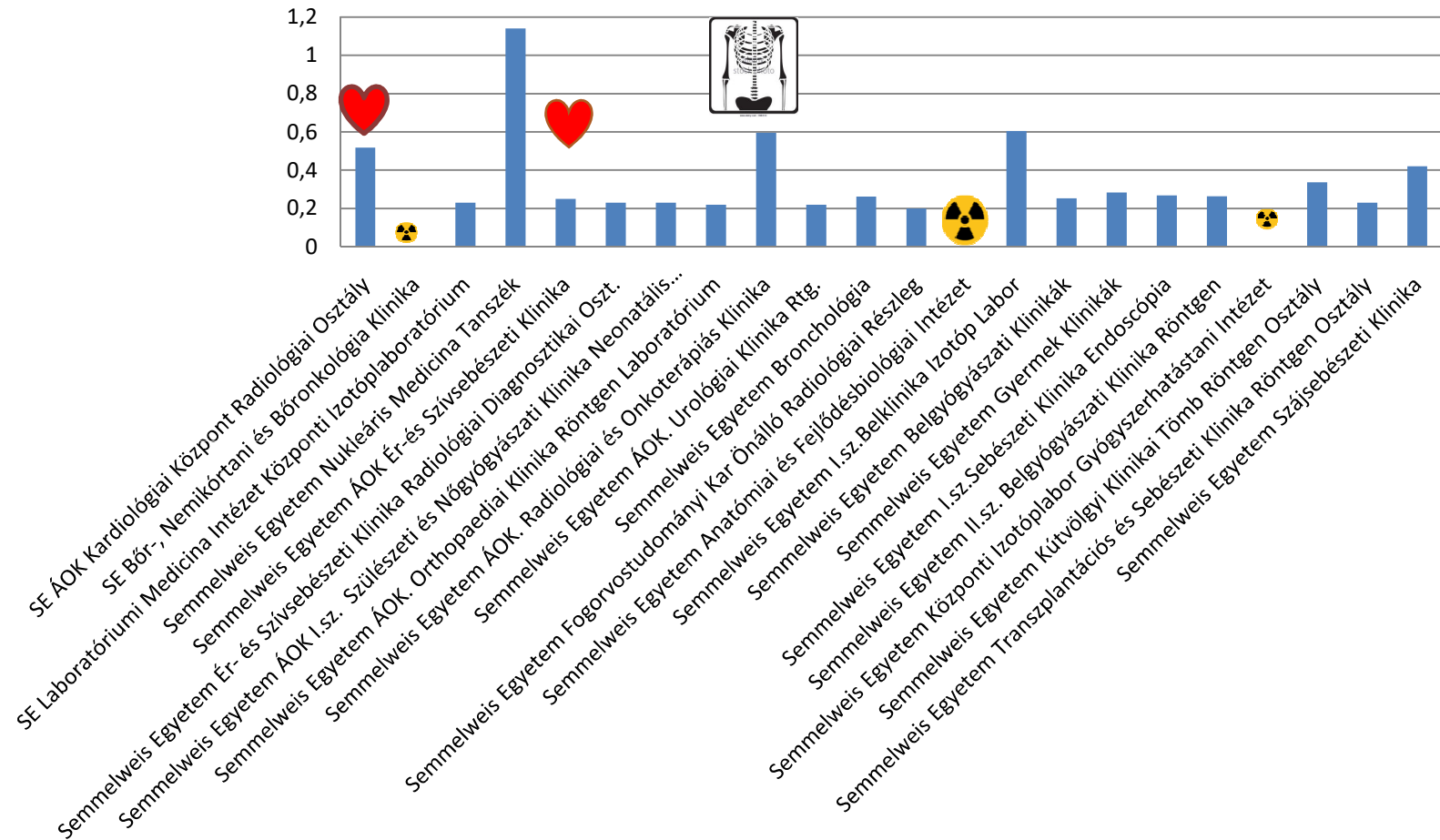
/ Effektív dózis (külső+belső) egész testre vonatkozó dózis korlát 20mSv/év munkavállalókra és lakosságra 1mSv.

487/2015Korm rendeletről:

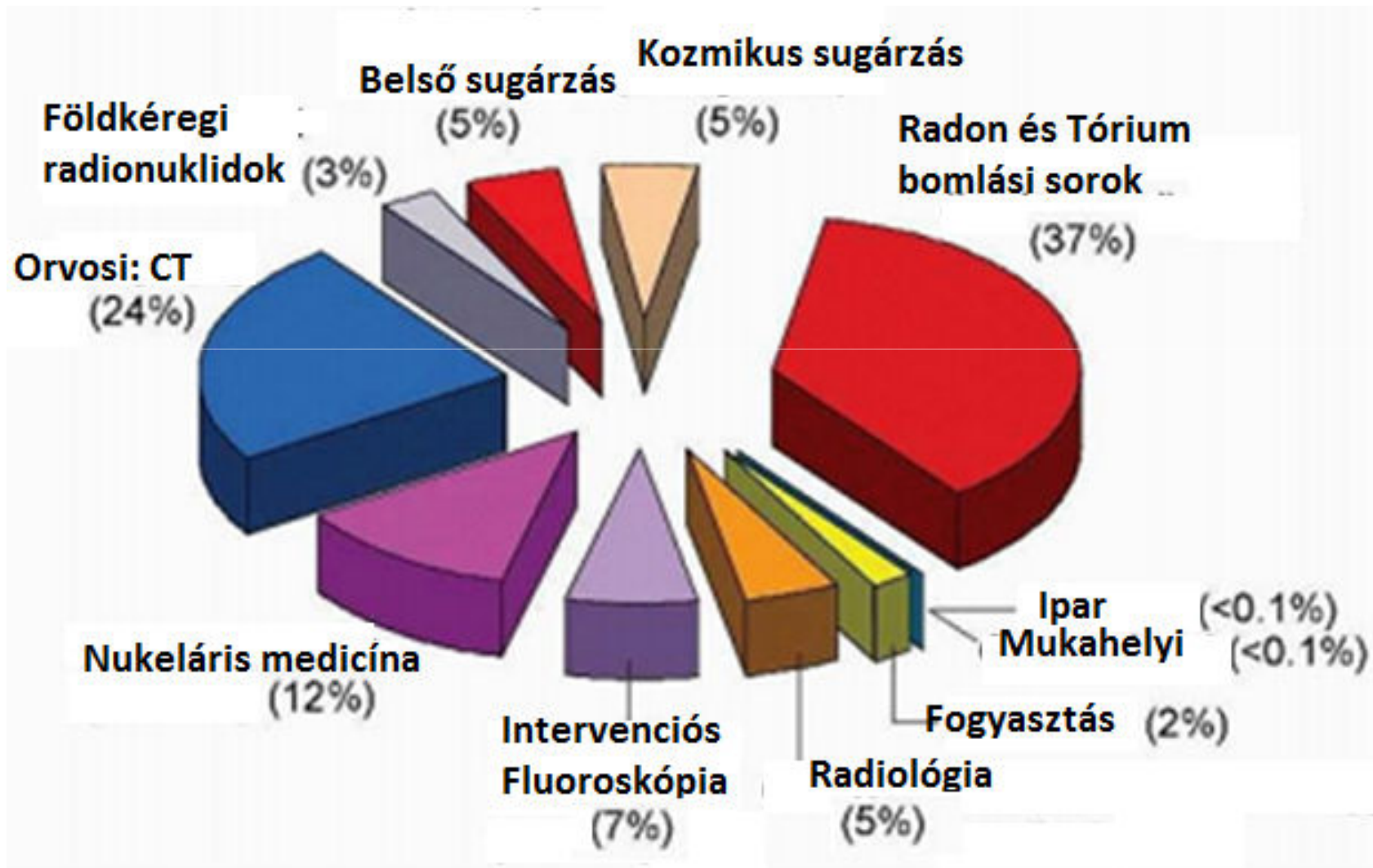
- A foglalkozási sugárterhelésre vonatkozó effektívdózis-korlát évi 20 mSv. Indokolt körülmények között az OAH egy-egy évben ennél nagyobb, de legfeljebb 50 mSv nagyságú effektív dózist is engedélyezhet, amennyiben bármely egymást követő öt évben – azokat az éveket is ideértve, amikor a korlátot meghaladták – az éves átlagos dózis nem haladja meg a 20 mSv értéket.
- Az effektívdózis-korlátok mellett az egyenértékdózisokra a következő korlátokat kell alkalmazni:
 - a szemlencse egyenértékdózis korlátja évi 20 mSv,
 - a bőrfelületre meghatározott egyenértékdózis korlátja évi 500 mSv, amely a bőrfelület tetszőleges 1 cm²-es területére számított átlagos dózissal vonatkozik, a sugárzásnak kitett teljes felület nagyságától függetlenül,
 - a végtagok egyenértékdózis korlátja évi 500 mSv.

Éves Effektív dózisok átlaga ionizáló sugárzást alkalmazó munkaterületekre leosztva

■ Éves effektív dózis átlag (mSv)



NCRP tanulmány 160 USA Lakosság effektív dózis eloszlása sugár források szerint (2006)



DÓZISSZÁMÍTÁSOK

(ismert izotóp, ismert aktivitás)

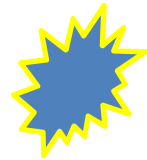
Tipikus expozíciós útvonalak

- pontforrás
- felszíni forrás (szennyezett talaj)
- térfogati forrás (fél-végtelen felhő)

- inhaláció
- lenyelés

- MIRD (Medical Internal Radiation Dose)
forrásszerv - célszerv

Pontforrás



SL, MSSZ

- $D = \Gamma \cdot A \cdot t / r^2$
- ahol:
- D: Elnyelt dózis [μGy], t idő [h] alatt,
- r távolságban [m]
- Γ : külső- γ dózisállandó [$\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1} / \text{GBq}\cdot\text{m}^{-2}$]
- A: pontforrás aktivitása [GBq]

Pl. I-131 esetén: $\Gamma = 50 [\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1} / \text{GBq}\cdot\text{m}^{-2}]$

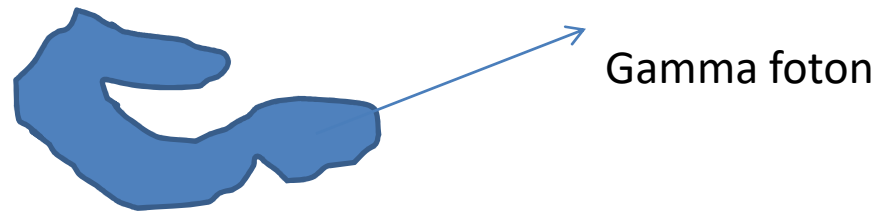
pontforrásra vonatkozva/levegőre I-131 esetén:

távolság (cm)	aktivitás (MBq)	elméleti dózis teljesítmény (mikroSv/h)
100	785	42,5

Felszíni és térfogati szennyeződés

- Térfogati és felületi gamma –, ill. beta-sugárzástól (külső dózis levegőben, ill. felülettől)

- $S = K_{\gamma} \cdot C \cdot t$



- S: effektív dózis, v. egyenérték dózis [Sv]
- C: radionuklid koncentráció [térfogati: Bq.m⁻³; felszíni: Bq.m⁻²]
- K_{γ} : külső gamma- (ill. béta) dózisegyüttható
- [térfogati: (Sv.m³)/(Bq.s); felszíni: (Sv.m²)/(Bq.s)]
- a beta-sugárzás esetén bőrdózist kell számolni (K_{β})

Belső (inhal.+lenyelési) dózis

$$S = K \cdot A$$

ahol:

- S: effektív, vagy egyenérték dózis [Sv]
- A: belélegzett, ill. lenyelt aktivitás [Bq]
- K_h , K_l : inhalációs, ill. lenyelési dózisállandó [Sv/Bq],

korfüggőek!

Amennyiben a belélegzett levegő, ill. a fogyasztott élelmiszer szennyezettsége ismert, akkor

- $A = C_l \cdot R_h \cdot t$ (C_l : levegő konc., Bq/m³, R_h : légzésteljes., m³/h)
- $A = C_f \cdot I_f \cdot t$ (C_f : élelm. akt.konc., Bq/kg, I_f : fogyasztás, kg/nap)
- t: ott-tartózkodás, ill. fogyasztás időtartama [h, ill. nap]

2013/59/EURATOM alapján EC RP 188 „Internal Dosimetric Service” ezt a tagországra bízta, nálunk 1mSv felett kötelező, nincsenek szakmai képzések, hiányos analitika.

Belső sugárterhelés számítás vizeletből

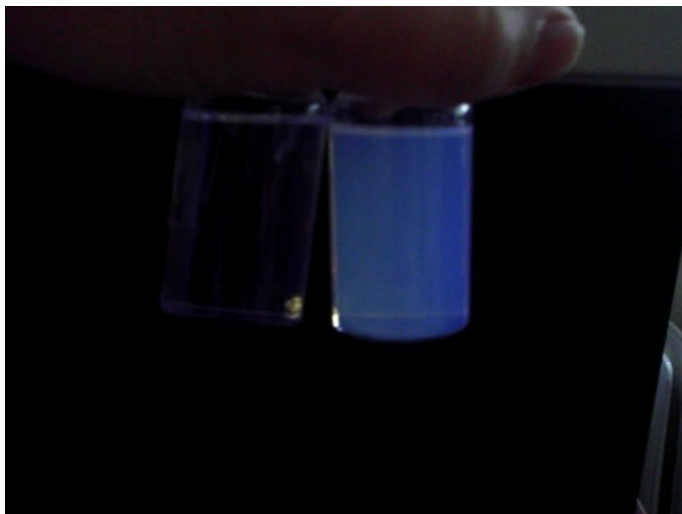
$$I_0(Bq) = \frac{a_t(Bq/l)}{f_t}$$

$$H_t(Sv) = I_0(Bq) \cdot e_{ff}(Sv/Bq)$$

a_t vizelet aktivitás koncentrációja t-napon;

f_t t naphoz tartozó exrékciós hányados;

e_{ff} effektív dózis koefficiens



*Technical Recommendations
for Monitoring Individuals for
Occupational Intakes of
Radionuclides*



[ISO 20553:2006](#). Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material

[ISO 28218:2010](#). Performance criteria for radio-bioassay

[ISO 27048:2011](#). Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure

[ISO 16638-1:2015](#). Monitoring and internal dosimetry for specific materials. Part 1: Uranium

[ISO 16637:2016](#). Monitoring and internal dosimetry for staff exposed to medical radionuclides as unsealed sources

C.M. Castellani, J.W. Marsh, C. Hurtgen, E. Blanchardon, P. Bérard, A. Giussani, M.A. Lopez (2013). [IDEAS Guidelines](#) (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data. EURADOS Report 2013-01

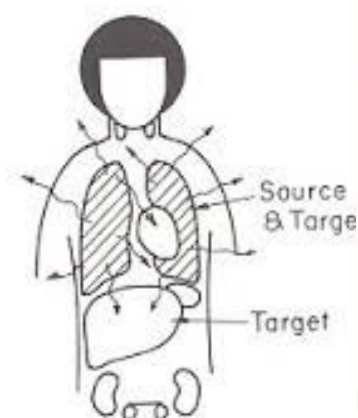
MIRD-eljárás elve

(Medical Internal Radiation Dose)

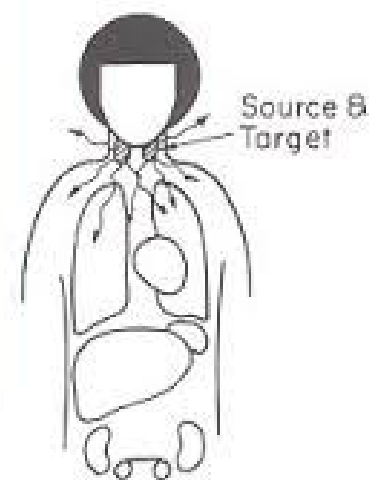
Ha egyik szervben van „A” aktivitás, az a másokban mekkora dózist ad?

Például:

- OLINDA
- DCAL
- ICRP adatbázisok



^{133}Xe - Saline



^{131}I - Iodide

Minden forrásszerv-célszerv, minden izotópra, emberi/szervi méretfüggő (standard man)!

Gyakorlatban hol találkozunk a dozimetriai fogalmakkal?

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

OSSKI TLD kiértékelő lapon

Éves jelentésekben

Programokban:

OLINDA,IMBA,IDEAS
SYSTEM,MONDAL

Farmakon használati
utasításában

Készülékek kézikönyvében

RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK (2002)

Thallium - 201

Half life: 3.04 days
Specific activity: $7.90E+15 \text{ Bq.g}^{-1}$

$^{201}\text{Tl}_{81}$






Risk group: 3
Risk colour: Yellow

Main emissions (keV)				
Gamma or X	Beta (Emax)	Electrons	Alpha	
E %	E %	E %	E %	
E1	71 47	16 10		
E2	135 3	84 16		
E3	167 10	153 3		
% omitted	94.1	28		

Exemption levels	
Quantity (Bq)	1E+06
Concentration (Bq.g ⁻¹)	1E+02

Transport (TBq)	
IAEA ST1 A ₁ value	1E+1
IAEA ST1 A ₂ value	4E+0

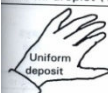
EXTERNAL EXPOSURE (mSv.h⁻¹) for an activity of 1 MBq or 1 MBq.m⁻² (as appropriate)


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) 0.00E+0 Gammas, X rays (deep tissue dose) 1.97E-4	 Betas, electrons (skin) 10 cm 1.4E-03 1 m 0.0E+00 Photons (skin) 10 cm 1.6E-03 1 m 1.3E-03 Photons (deep dose) 10 cm 1.6E-03 1 m 1.3E-03	 100 cm 1.85E-5	 6.27E-2	 2.85E-1

The values above do not include Bremsstrahlung radiation.

CONTAMINATION

Contamination skin dose (mSv.h ⁻¹)	
Uniform deposit (1kBq.cm ⁻²)	2.70E-1
0.05 ml droplet (1 kBq)	8.39E-3





* If no probes are indicated the recommended technique is to use a wipe test in association with a probe or liquid scintillation technique

Detection

Recommended probes*	
Alpha	
Beta	+
Gamma	+
X rays	++

Derived limits (Bq.cm⁻²)

Removable contamination

2E+2

Fixed contamination

3E+2

SHIELDING (mm)

Betas and electrons (Total absorption)

Glass	0.2
Plastic	0.3

Gamma and X rays (half and tenth value thickness)

	½	1/10
Lead	<1	1
Steel	3	12

INTERNAL EXPOSURE FOR WORKERS

COMMITTED EFFECTIVE DOSE PER UNIT INTAKE (Sv.Bq⁻¹)

Ingestion	f ₁	Inhalation	1 μm	5 μm
All compounds	1.000 9.5E-11	All compounds	F 4.7E-11	7.6E-11
			M	
			S	
highest dose organ	Lungs	20 mSv ALL _{ingestion} 2.1E+08 (Bq)	20 mSv ALL _{inhalation} 2.6E+08 (Bq)	

MAXIMUM RECOMMENDED ACTIVITIES IN LOW LEVEL OR INTERMEDIATE LEVEL LABORATORIES (Bq)

PHYSICOCHEMICAL STATE	Subject to external exposure requirements which may be more restrictive	Volatility factor (k)	Supervised area		Controlled area	
			Bench	Fume hood	Bench	Fume hood
All compounds	0.01		1E+07	1E+08	1E+07	1E+08

139

Köszönöm a figyelmet