

Biológiai kockázatok a sugárártalom kapcsán.

Dr. Kiss Balázs

2026. 02. 17.

IONIZÁLÓ SUGÁRZÁS: az a sugárzás, mely az anyagban való elnyelődés során elegendő energiával rendelkezik közvetlenül, ill. közvetett módon ionpárok (+ ion, – szabad elektron) keltéséhez.

Ilyenek a korpuszkuláris (α , β , neutron, stb.) sugárzások és az elektromágneses sugárzások közül a röntgen-, ill. a γ -sugárzás.

AZ IONIZÁCIÓ

Direkt: Coulomb-kölcsönhatás; alfa, béta (- and +), proton, maghasadási termékek, stb.

MECHANIZMUSA

Indirekt: fotoeffektus, Compton szórás, párképződés; n_0 , gamma-, röntgensugárzás

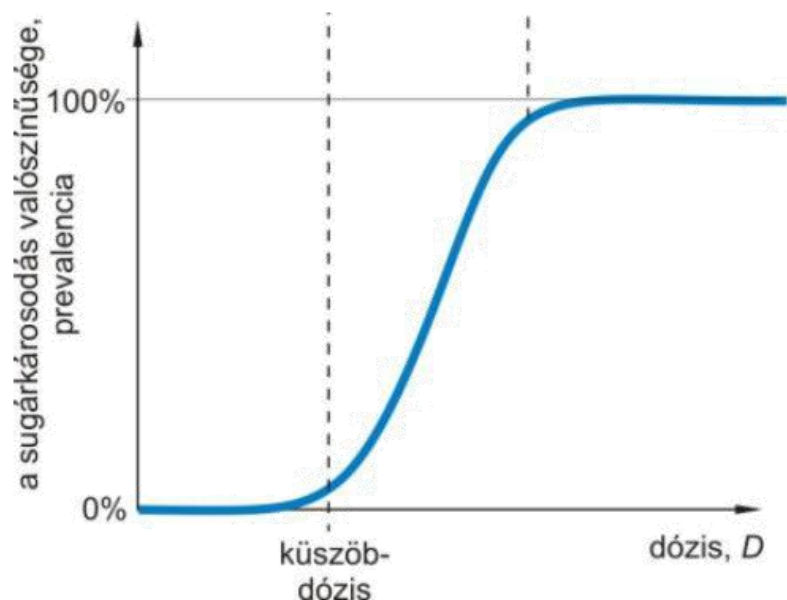
KÖZVETLEN HATÁS: az ionizáló sugárzás biológiailag fontos makromolekulákban (pl. a DNS) nyelődik el, így ott sérülést okoz.

KÖZVETETT HATÁS: az ionizáló sugárzás a szervezet, ill. a sejt állományának nagy részét kitevő víztartalomban nyelődik el, ott kémiai változást okoz, ún. szabad gyököket ($\bullet\text{H}$, $\bullet\text{OH}$, stb.) hoz létre. Ezek lépnek kölcsönhatásba és károsítják a biológiailag fontos makromolekulákat.

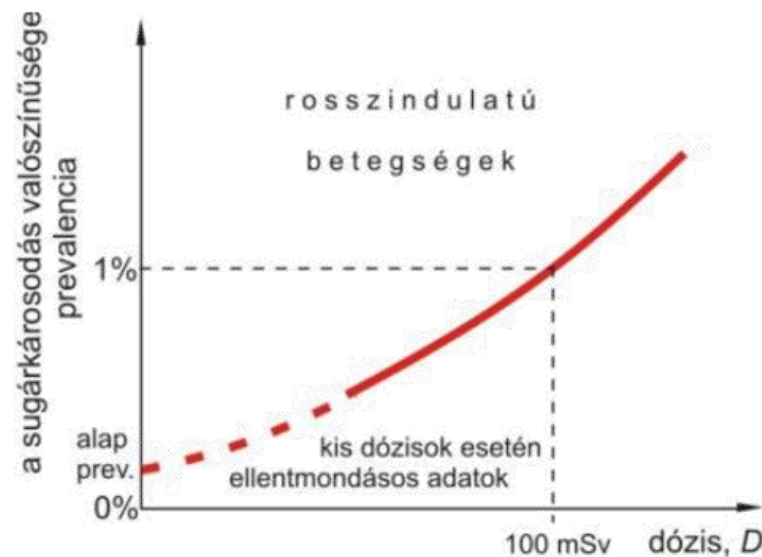
DETERMINISZTIKUS HATÁS: a károsodás valószínűsége egy bizonyos dózisinál (küszöbdózis) ugrásszerűen megnő. Efelőtt a károsodás súlyossága arányos a dózissal. A bőrpír, vagy a szemlencse károsodása tipikusan determinisztikus hatások.

SZTOCHASZTIKUS HATÁS: a károsodás valószínűsége arányos az elszenvedett dózissal (itt nem definiálható küszöbdózis). Ilyen „véletlen” hatás következtében lépnek fel a genetikai károsodások, ill. a rák egyes fajtái.

DETERMINISZTIKUS

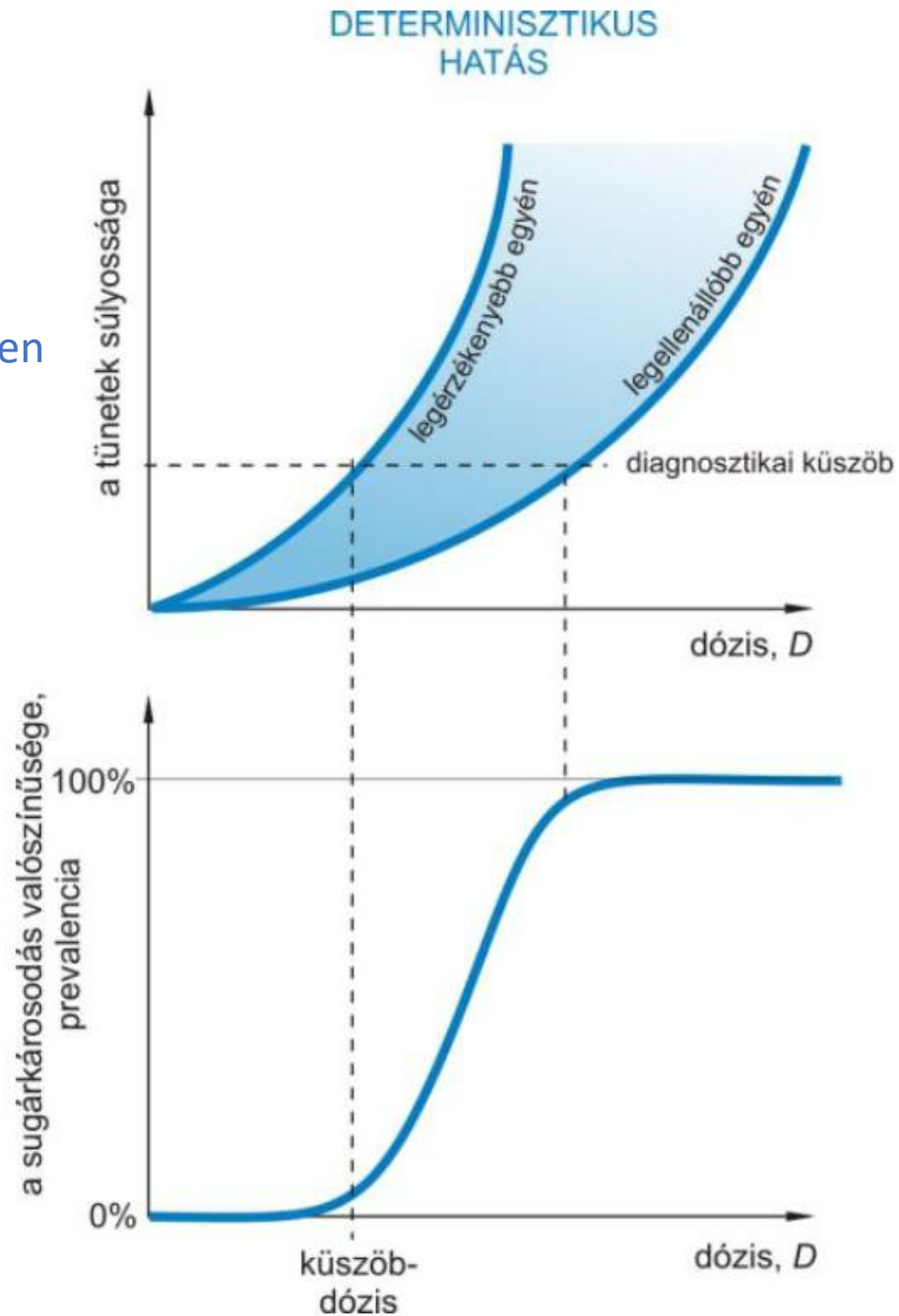


SZTOCHASZTIKUS



Nincs egyértelmű információ,
mérési adatok illetve kísérletek
alacsony dózisok esetén

egyéni
különbségek
a
sugárérzékenységben



Problémák:

- Hogyan mérhető a súlyosság?
- egyértelmű összefüggés a tünettan és a sugárbaletet vagy dózisterhelés között
- sztochasztikus sugárhatás súlyossága: tényleg független a dózistól?

DÓZISFOGALMAK

ELNYELT DÓZIS (D): $D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$, ahol ΔE a Δm tömeg által elnyelt energia (bármely ionizáló sugárzásra érvényes).

Egysége a gray, (1 Gy = 1 J/kg). Nehezen mérhető.

BESUGÁRZÁSI DÓZIS (X): $X = \frac{\Delta q}{\Delta m}$, ahol Δq az a pozitív töltésmennyiség, amely a Δm tömegű levegőben az ionizáció

következtében (elektronegyensúly esetén) felszabadul. (Röntgen-, vagy γ - sugárzás esetén, 3 MeV alatt érvényes.)

Egysége a C/kg (coulomb/kg).

EGYENÉRTÉK DÓZIS (H_T): a különböző típusú sugárzások különböző mértékű biológiai károsító hatással rendelkeznek. Ezért az **elnyelt dózist** a sugárzás fajtájára és energiájára jellemző ún. sugárzási súlytényezővel (w_R) súlyozzuk. $H_T = D_{T,R} \cdot w_R$. Egysége a sievert (1 Sv = 1 J/kg).

EFFEKTÍV DÓZIS (E): a szövetet, ill. szervet ért — a biológiai károsodást kifejező — **effektív dózist** a szövetek sugárérzékenységre jellemző súlyfaktoral (w_T) súlyozva az **egyenérték dózisból** számítjuk ki: $E = H_T \cdot w_T$.
Egysége a sievert (1 Sv = 1 J/kg).

PROBLÉMÁK

- sugársérülések viszonylag ritkán fordulnak elő
- a károsodás a sugárhatáshoz képest későn következik be
- ezért az ok-okozati összefüggést nem lehet egyértelműen tisztázni
- minden embernek/egyénnek más biológiai tulajdonságai vannak
- ellenőrzött kísérletet nehéz megtervezni, mert a hosszú "lappangási idő" alatt az egyedre számos külső hatás éri, és ezek is egyénenként eltérőek

Mottó: „születni veszélyes”

Aki megszületik, egy napon meghal – valamiért.

Nincs olyan, hogy nulla kockázat, mint ahogy végtelenül hosszú élet sem létezik a Földön. Ezért a mai polgárok számára a valószínűségek és kockázatok mennyiségi megértésének a demokratikus döntések meghozatalához elengedhetetlen alapoktatás részévé kell válnia.

Kemény János

Az emberek kockázatvállalása eltérő...

- Egyénileg (kisgyerek: benyúl a konnektorba, mindent kipróbál, stb.)
- Életkor szerint (fiatalok)
- Nem szerint (Darwin-díj)
- Családi állapot szerint (szülők kontra gyerekek)

Mi az elfogadható kockázat?

- *Ha átmész egy úton (jobb oldalán), először nézz balra, majd az út közepére érvén jobbra...*

DE nem tesszük hozzá, hogy

- *Nézz fölfelé is, épp nem dől-e rád egy kémény vagy nem zuhan-e fejedre egy repülő.*

Az Egyesült Államokban például minden évben meghal egy-két ember a rázuhanó repülőgéptől, az ilyen halál kockázata (ott) $1 / 100\,000\,000$ év körül járhat. Ezt köznapi tapasztalat alapján elhanyagolhatónak (értsd: gyakorlatilag zérusnak) ítélik.

A kockázat (rizikó, riszk mint "reszkiroz") matematikai értelmezése a következő:

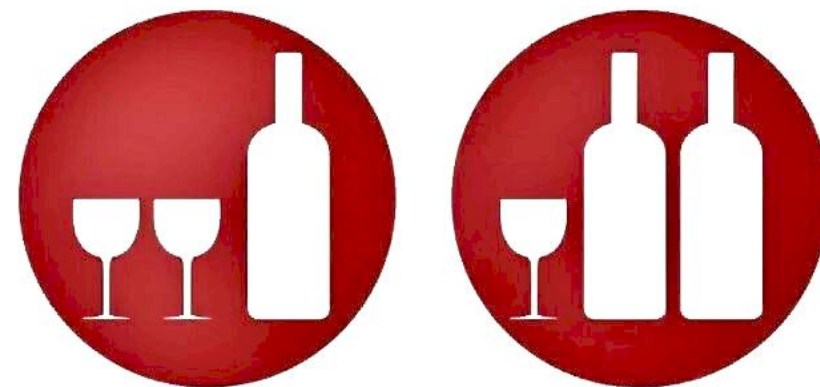
$$R = W \cdot K$$

ahol W a bekövetkezés valószínűsége, K pedig a következmény súlyossága. (Bizonyosság esetén $W = 1$. Halálesetben $K = 1$.)

A valószínűség értelmezése szerint, ha N személy mindegyikét ugyanakkora R kockázatnak tesszük ki, akkor a kollektív kockázat (a várhatóan okozott halálesetek száma) $N \cdot R$. - Hogy egyszerűen beszélhessünk, vezessük be a **mikrorizikó** fogalmát: ez $R = 1 / 1\,000\,000$ kockázat. Ha egymillió embert egy mikrorizikó kockázatnak tesznek ki, akkor 1 halálos áldozat várható.

Ha 1 millió ember van kitéve mikrorizikónak, 1 haláleset várható. A nemzetközi vélemények szerint ez akkora kockázattal jár, mint

- 2500 km utazás vonaton
- 2000 km utazás repülőn
- 80 km autóbuszon
- 65 km autón
- 12 km kerékpáron
- 3 km motorkerékpáron
- egy cigarettát elszívni
- két hetet dohányossal együtt élni
- fél liter bort meginni
- tíz napot téglaházban lakni
- három napig Budapest belvárosában lélegezni
- két percig sziklát mászni
- öt éven belül méhcsípéstől szenvedni
- tíz éven belül villámcsapást kapni.



**Two different ways to
celebrate Valentine's Day**

Az adatokat szemlélve és a közvélekedéssel összevetve látható, hogy az emberek teljesen elfogadhatónak tartják a mikrorízikót. Ezt tükrözi pl. az amerikai kongresszus gyakorlata, hogy 1 mikrorízikó még nem tekinthető figyelemre méltónak.

Kalifornia állam 1987-ben 2/3-os többséggel elfogadta a Tudás jogáról szóló törvényt (*Right to Know law*), amely többek között kimondja, hogy

"No person shall be exposed, knowingly or unknowingly, to a chemical that causes cancer or genetic damage, without first having been informed of this risk." we would draw your attention..."

"Senki sem lehet tudatosan vagy tudatlanul kitéve olyan vegyi anyagnak, amely rákot vagy genetikai károsodást okoz, anélkül, hogy előzetesen tájékoztatták volna erről a kockázatról.

"felhívjuk a figyelmét..."

A **Three Mile Island-i baleset** a Three Mile Island 2-es blokk (TMI-2) reaktorának részleges zónaolvadása volt a Susquehanna folyón a pennsylvaniai Londonderry Townshipben, Pennsylvania fővárosa, Harrisburg közelében. 1979. március 28-án hajnali 4 órakor kezdődött. Ez az Egyesült Államok kereskedelmi atomerőművei történetének legjelentősebb balesete. A hétfokozatú **Nemzetközi Nukleáris Esemény Skála** szerint **5. szint** – **Szélesebb következményekkel járó baleset**.

A baleset a nem nukleáris másodlagos rendszer meghibásodásával kezdődött, majd az elsődleges rendszerben egy nyitott állapotban beragadt biztonsági szeleppel kezdődött, amely lehetővé tette nagy mennyiségű hűtővíz távozását. A mechanikai meghibásodásokat tetézte, hogy az üzem üzemeltetői kezdetben nem vették észre a hűtőfolyadék-veszteséget (LOCA = loss of coolant accident).



***A rák kockázatának növekedése nem több, mint ha egy alkalommal fél
cigarettát szívunk el.***

A technokrata felelőtlenség várhatóan két ártatlan állampolgár életébe kerül.

A harrisburgi reaktor meghibásodása során a radioaktivitás kijutását a megerősített árnyékoló épület akadályozta meg.

A használhatatlan reaktor tisztítása során azonban a kémiaiilag megfoghatatlan aktív nemesgázok a légkörbe kerültek.

Egy újság a következőképpen kommentálta a környező négymillió lakos további sugárterhelését:

A rák kockázatának növekedése nem több, mint ha egyszerre fél szál cigarettát szívunk el.

(Milyen megnyugtató, nem?)

Egy másik újság ezt írta:

A technokrata felelőtlenség várhatóan két ártatlan állampolgár életébe kerül.

(Milyen szörnyű, nem?)

Csak szorozni kell tudni: A két állítás matematikailag egyenértékű!

Mekkora a statisztikai rákkockázat 1 millisievert sugárdózis esetén?

R = 50 mikrorízikó.

Ezzel egyenértékű

- elszívni két és fél doboz cigarettát,
- 25 liter bort meginni,
- 600 km-t kerékpározni,
- 3000 km-t vezetni,
- egy éven keresztül naponta kétszer átkelni egy forgalmas úton,
- **veseműködési röntgenvizsgálatnak alávetni magunkat.**

