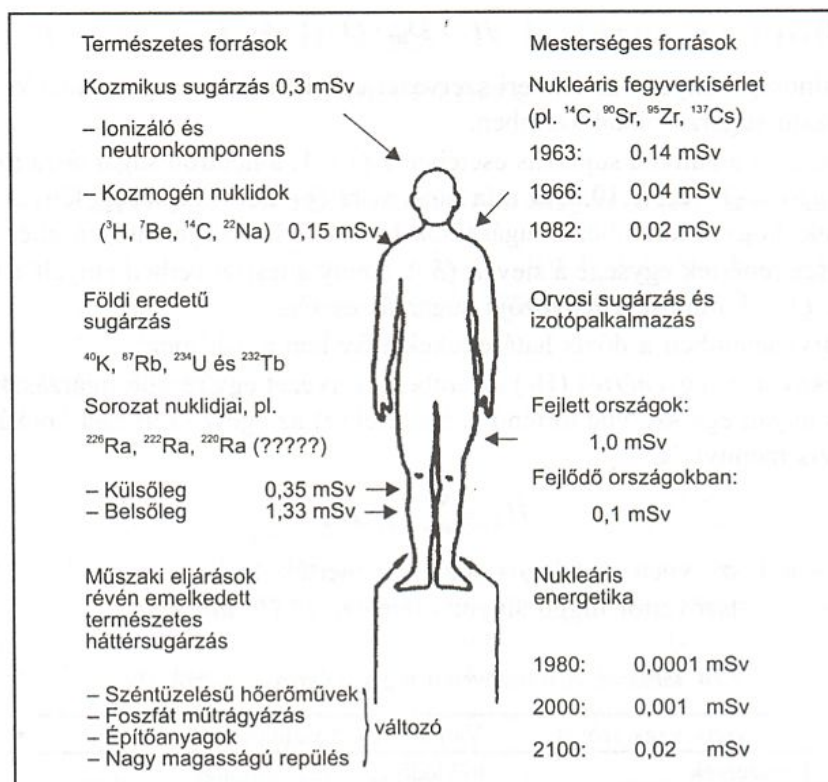


1. A radioaktív sugárzás hatásai az emberi szervezetre

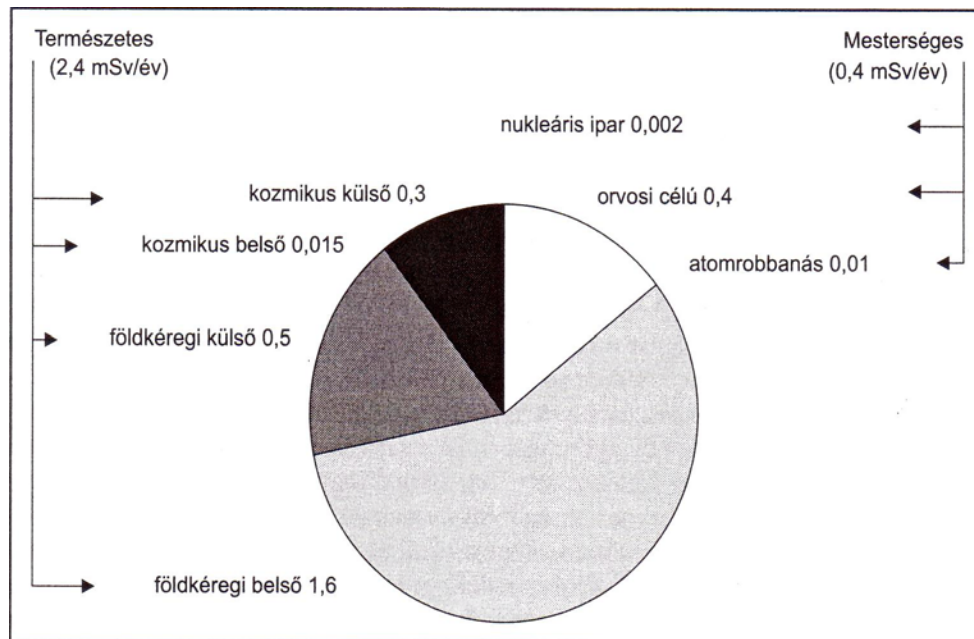
Az ember állandóan ki van téve a különböző természetes, vagy mesterséges eredetű ionizáló sugárzások hatásának. Ez a szervezetet érő sugárterhelés származhat külső és belső, valamint természetes és mesterséges forrásból. Az embert érő sugárterhelés forrásait szemlélteti a I. ábra. A külső sugárterhelés a külső forrásokból származó sugárterhelés. A belső sugárterhelés a táplálékláncon keresztül, vagy beléggzéssel az ember szervezetébe bejutott (inkorporált) radioaktív izotópok sugárzásából származó sugárterhelés.



I. ábra: Az emberi szervezetet érő sugárhatások

Az emberi szervezetet érő természetes külső forrásból származó sugárterhelés legjelentősebb komponense a talaj és az épületek gamma-sugárzása. Az épületekben a kapott dózis mértéke a házak szerkezetétől, és anyagától is függ, ugyanis az épületek egyrészt védik az embert a külső sugárzástól (a földi és kisebb mértékben a kozmikus sugárzástól) másrészt az épületek belső terének radioaktivitását az építőanyagok ^{226}Ra - és ^{232}Th -tartalma határozza meg. Jelentős sugárterhelést okozhat zárt, rosszul szellőztetett épületekben az α -sugárzó ^{222}Rn és a ^{220}Rn . Koncentrációjuk többszöröse lehet a jól szellőztetett épületek koncentrációjának. Az egész testre vonatkoztatva a legnagyobb dózist a ^{40}K , valamint a ^{222}Rn és leányelemei aktivitása jelenti. A többi természetes eredetű radioaktív izotóp (pl. a ^{87}Rb , a ^{14}C stb.) együttes sugárterhelése ennél kisebb. Ezek a megállapítások a teljes testre vonatkoznak, és átlagos sugárterhelést jelentenek, az egyes szervek ill. szövetek ennél nagyobb, vagy kisebb sugárdózist kaphatnak. Így pl a ^{226}Ra jelentős része a csontokban akkumulálódik, és a csontozatot érő ettől az izotóptól eredő sugárterhelés nagyobb, átlagosan 0,5 mSv. Az ENSZ Atomsugárzásokat Vizsgáló Tudományos Bizottság (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ; UNSCEAR) 1988. évi felmérése szerint a

Föld népességének átlagos sugárterhelése 2,8 mSv/a. Ennek nagyobb része (2,4 mSv/a) a természetes háttérsugárzásból származik, amelynek 2/3 része belső, 1/3 része külső forrásokból ered (2. ábra).



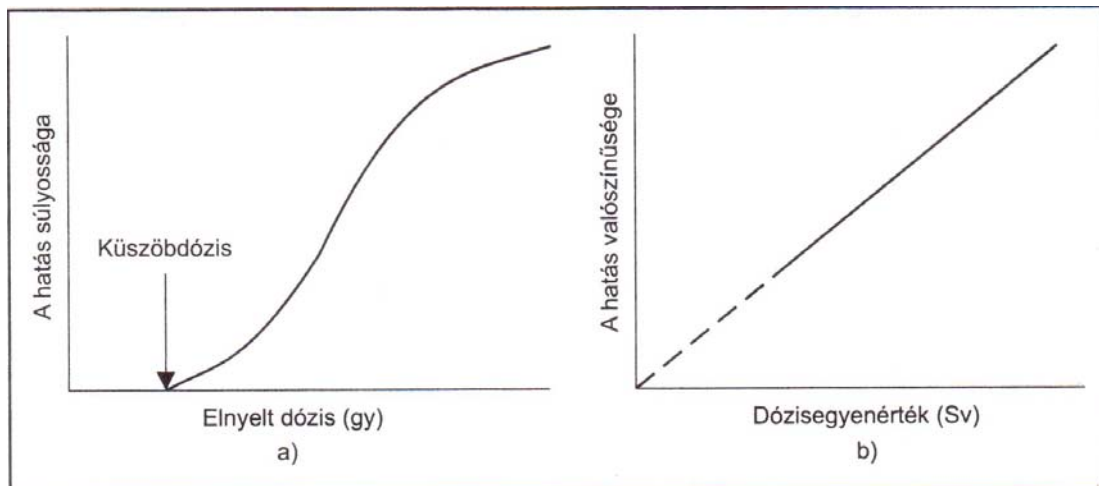
2. ábra: Az emberiséget érő sugárzások megoszlása

A sugárzás szervezetre gyakorolt elsődleges hatása az ionizáció. Mai tudásunk szerint a szervezetben lévő vegyületek, sejtek, szövetek, szervek és a szervezet végső károsodása kétféle módon következhet be:

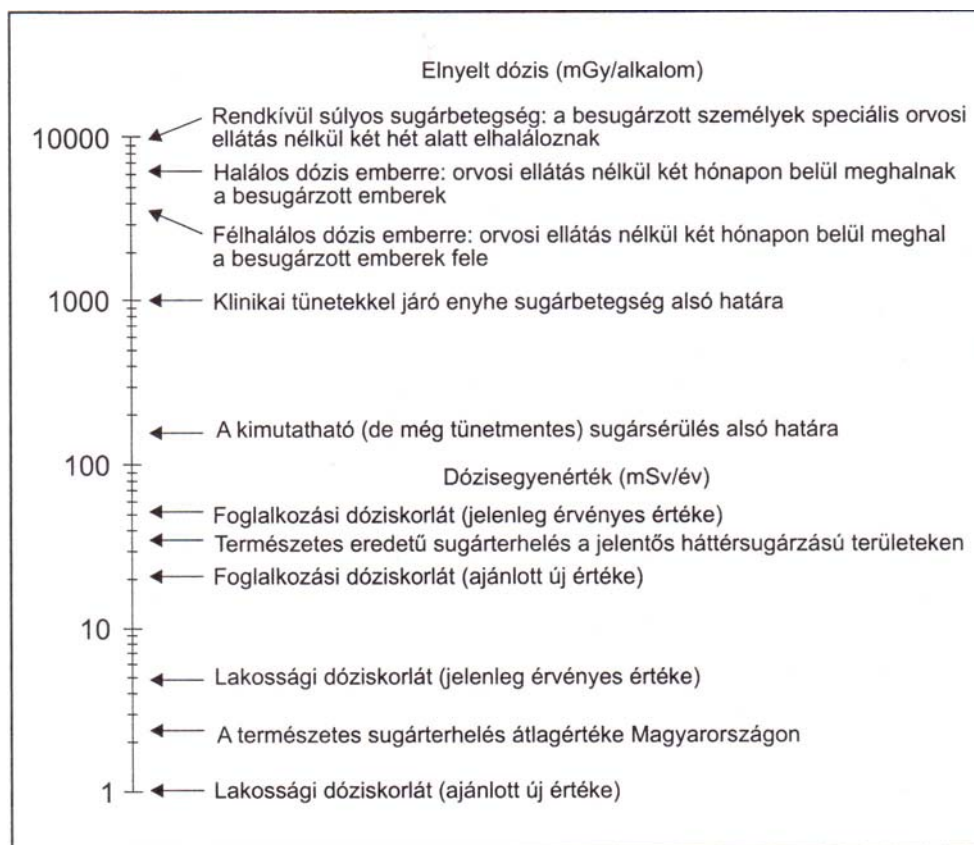
1. a részecskéket, illetve kvantumokat elnyelő molekulák közvetlenül károsodnak ionok, esetleg gyökök képződése folytán;
2. elsődlegesen a szervezetben mindig nagy mennyiségben jelen levő víz molekulái ionizálódnak, és a további károsodás ennek másodlagos következménye.

A sugárzás a sejtekben először, az energia-elnyelés következtében, fizikai változásokat okoz, majd ezek következményeként kialakul a szervezet biológiai elváltozása. Ezért a sugárzások várható biológiai hatásának jellemzésére ismerni kell a testszövetekben elnyelt energia mennyiségét. Erre alkalmazzák a dózismennyiségeket, amely alatt általánosságban valamely anyagban elnyelt sugárzási energiát kell érteni. A dozimetriai alapfogalmakat, valamint azok meghatározásait a későbbiekben részletezem.

A besugárzási dózis nagyságához mérten megkülönböztetünk sztochasztikus és determinisztikus hatásokat. Ezek jellemzői foglalják össze a következő (3. és 4.) ábrák:



3. ábra: A determinisztikus (a) sugárhatás az elnyelt dózistól és a sztochasztikus (b) sugárhatás az dózisegyenértéktől való függése



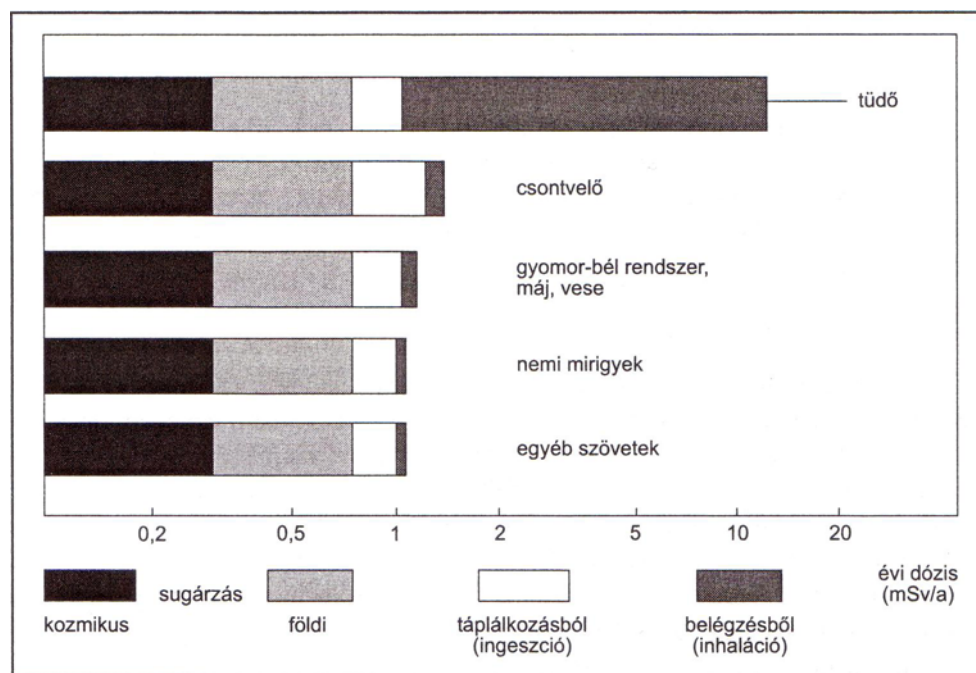
4. ábra: Az elnyelt dózis és a dózisegyenérték számszerű értéke és a kiváltott hatások

Ha egy besugárzott sejt nem pusztul el, hanem abban valami elváltozás jön létre, akkor az eredmény lehet sztochasztikus hatás. Az elváltozott sejt egy késleltetési idő után rákos sejté fejlődhet, azonban kis dózisok esetén a szervezet védelmi és javító mechanizmusai ezt nagyon kis valószínűséggel engedik meg. Arra nézve nincsen semmi bizonyíték, hogy bizonyos küszöbdózis alatt rákos elváltozás nem jöhet létre. Ha az ionizáló sugárzás miatt károsodott sejt egy ivarsejt, azaz amelynek a funkciója az, hogy a genetikai információt átvigye az utódba, akkor érthető, hogy a besugárzott személy leszármazottaiban különféle örökletes hatások jöhetnek létre. A sztochasztikus hatások valószínűsége feltételezhetően arányos a

kapott dózissal, és nem rendelkezik küszöbvel. Így a dózis-határ összefüggése lineárisnak tekinthető.

Nagy dózisoknál a sugárhatásként megjelenő hányinger, bőrpír vagy súlyos esetben még jelentősebb heveny elváltozások már rövid idővel a besugárzás után klinikailag felismerhetőek az exponált személyeknél. Az ilyen hatásokat nevezzük determinisztikusnak, mert bizonyosan megjelennek, ha a dózis meghalad egy küszöbértéket. A determinisztikus hatásokat különböző folyamatok eredményezik, főként a nagy sugárszintek esetén bekövetkező sejtpusztulás és a késleltetett sejtosztódás. Ha ez jelentős méretű, akkor kárt okoz a szóban forgó szövet működésében. Egy adott determinisztikus hatás súlyossága egy besugárzott személy esetén növekszik az adott hatás kiváltásához szükséges küszöbdózis feletti dózissal.

A különböző testrészeket érő átlagos természetes sugárterheléseket a 5. ábrán szemléltetem.



3.5. ábra: A különböző testrészeket érő természetes sugárhatások

1.1. Dózisfogalmak, dozimetria

Az ionizáló sugárzások károsító hatásainak számszerű jellemzésére használjuk a dózismennyiségeket. A szervezet biológiai elváltozásának várható mértéke összefüggésben van a szervezetet ért dózissal. Mivel bonyolult élettani folyamatokról van szó, érthető, hogy a sugárvédelem gyakorlatában több dózismennyiség terjedt el. Ezen mennyiségek egy része a fizikai hatások alapján értelmezhető (elnyelt, közölt és besugárzási dózis), míg vannak, amelyek a szervezetben végbemenő bonyolult biológiai folyamatokat is igyekeznek figyelembe venni (dózis egyenérték, amely a sugárvédelemben elsődleges jelentőséggel bíró dózismennyiség).

A sugárzás és az anyag kölcsönhatása során a sugárzásból energia nyelődik el az anyagban. Ennek megfelelően definiáljuk az elnyelt dózist, amely a tömegegységben elnyelt sugárzás mennyiségét hivatott jellemezni:

$$D = \frac{dW_e}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dW_e}{dV}$$

ahol

D az elnyelt dózis;
W_e a sugárzásból elnyelt energia;
m az elnyelő anyag tömege.

Az elnyelt dózis SI mértékegysége: Gy (Gray)

Az elnyelt dózis időegységre jutó értékét, más szóval az idő szerinti differenciálhányadosát elnyelt dózisteljesítménynek nevezzük:

$$D' = \frac{dD}{dt}$$

Ennek SI egysége: Gy/s

A Gy/s meglehetősen nagy egység, így a sugárvédelem gyakorlatában a mGy/h, µGy/h használatos.

A dozimetria gyakorlatában elsősorban ionizációs detektorok (ionizációs kamrák, GM-számlálócsövek) használatosak, ezekkel közvetett módon határozhatjuk meg valamely anyagban az elnyelt dózist a besugárzási dózis segítségével, amely a levegő-ionizáción alapul és csak fotonsugárzásokra értelmezzük (pl. röntgen- és γ-sugárzás). A sugárveszélyes munkahelyek nagy hányadában vagy kizárólagosan vagy részben fotonsugárzásoktól ered a külső sugárterhelés, ezért lehet jelentős a γ-dozimetria.

Fotonsugárzásokra - ha bekövetkezik a szekunder elektron-egyensúly - értelmezhetjük a besugárzási dózist:

$$X = \frac{dQ}{dm_{lev}} = \frac{dQ}{\rho_{lev} \cdot V_{lev}}$$

ahol

X a besugárzási dózis;
Q a levegőben keletkezett töltések nagysága;
m_{lev} a levegő tömege, ami kifejezhető a sűrűség és a térfogat szorzatával.

Ennek SI mértékegysége: C/kg (Coulomb/kg)

Az elnyelt dózis analógiájára ebből is számítható a besugárzási dózisteljesítmény, de ezt a gyakorlatban nem alkalmazzák. A besugárzási dózis átszámítható elnyelt dózissá a megfelelő konstansok ismeretében attól függően, hogy a fotonsugárzás milyen közeggel lép kölcsönhatásba.

Ezek a dózismennyiségek a fotonsugárzás fizikai hatásaira vonatkoztak. A gyakorlati tapasztalatok azonban azt igazolják, hogy az emberi szervezet várható sugárkárosodásának mértéke nem kizárólag a testszövetben elnyelt dózis nagyságától függ. Azonos testszövetben (pl. γ-sugárzás és neutronsugárzásból) elnyelt dózis esetén nagyobb károsodás származik a neutronsugárzás hatására, tehát a szervezet érzékenysége eltérő más-más ionizáló sugárzásokkal szemben. Ezért szükséges a dózis-egyenérték fogalmának a bevezetése:

$$H = D \cdot Q$$

ahol

D a testszövetben elnyelt dózis;
Q pedig az ionizáló sugárzás fajtájától függő ún. minőségi tényező.

A Q minőségi tényező mértékegység nélküli szám, így ennek az egységnek külön nevet adtak: a dózis egyenérték SI-egysége a sievert (Sv).

Az eddigiekhez hasonlóan, definiálható a dózisteljesítmény egyenérték, az alábbi differenciálhányadossal:

A dózisteljesítmény egyenérték gyakorlati egységei mSv/h, μ Sv/h stb.

A Q minőségi tényező az emberi szervezet egy adott ionizáló sugárzásra vonatkozó relatív átlagérzékenységét fejezi ki, amelyet elsősorban megfigyelések, sugárbiológiai kísérletek alapján határoztak meg. Az összehasonlítás alapja a 200 keV átlagenergiájú röntgensugárzás biológiai hatása. A Q minőségi tényező számértékeit az egyes ionizáló sugárzásokra a 1. táblázat szemlélteti.

Ionizáló sugárzás fajtája	Q minőségi tényező értéke
Röntgen, γ -sugárzás, p-sugárzás (elektronok)	1
Protonok, egyszeresen töltött részecskék	10
α - ill. többszörösen töltött részecskék	20
Neutronok (energiától függően)	2,5 - 10,5

1. táblázat: A Q minőségi tényező értékei az egyes ionizáló sugárzások esetében [1]

A dózis egyenérték egy szervre, szövetre vagy az egész testre vonatkozó átlagos dózis egyenértéket jelenti. Az ICRP ajánlásaiban bevezette az effektív dózis egyenérték fogalmát. Eszerint a szervezet várható sugárkárosodásának mértéke szempontjából egy-egy szervnek vagy szövetnek a besugárzása kisebb vagy nagyobb jelentőséggel bír. Pl. azonos dózis egyenértékkel besugározva az ivarmirigyét ill. a pajzsmirigyét, a várható sugárkárosodás mértéke nagyobb lesz az ivarmirigyek besugárzása esetén. Az effektív dózis egyenérték a következőképpen számítható:

$$H_e = \sum_T w_T \cdot H_T$$

ahol

H_T a T szervben vagy szövetben az átlagos dózisegyenérték,

w_T súlyozó tényező, amely a T testszövetből származó sztochasztikus hatásokból eredő károsodásnak a test egyenletes besugárzása esetén fellépő sztochasztikus hatásokból eredő teljes károsodás hányadosa.

Felhasznált irodalom:

Barótfi István (szerk.): Környezettechnika; Mezőgazda kiadó, 2000.

Dr. Csóvári Mihály, Lendvainé Koleszár Zsuzsa, Dr. Várhegyi András: Radioaktív sugárzás; főiskolai jegyzet, PTE-PMMK;