

Külső sugárforrások elleni védekezés

Dr. Dobos Erik

Feladat

„Az ionizáló és nem ionizáló sugárzások hatásának megismerése az emberi szervezetben, annak érdekében, hogy kellő sugárvédelmet lehessen megvalósítani a sugárterheléssel járó hasznos tevékenységek indokolatlan korlátozása nélkül.”

(Dr. Köteles György)

Sugárvédelem alapelvei és gyakorlata

- A korszerű sugárvédelem preventív, megelőző jellegű.
- **Cél:**
 - Determinisztikus hatások teljes kiküszöbölése, a sztochasztikus hatások kockázatának olyan szintre csökkentése, amit az egyén és a társadalom már elfogad.
 - Annak biztosítása, hogy a sugárveszélyes munkakörben dolgozók foglalkozási kockázata ne legyen nagyobb, mint más foglalkozásoknál.
- Nem cél a már kialakult sugárkárosodások korrekciója.

Hogyan alakul ki az emberi sugárterhelés?

Hol helyezkedik el a sugárforrás?

- Külső sugárterhelés
- Belső sugárterhelés (belélegezve, lenyelve, bőrön át felszívódva)

Milyen sugárforrás idézi elő?

- Természetes eredetű (földkéreg, világűr) 67.7%
- Mesterséges eredetű (orvosi, ipari, katonai,..) 32.3%

Hol helyezkedik el a sugárforrás?

Külső sugárterhelés

- A sugárforrás a testen kívül van.
- Pontszerű sugárforrás esetén a sugárzás dózisteljesítménye a távolság négyzetével fordítottan arányos.
- Kiterjedt forrásnál a csökkenés lassabb.

Belső sugárterhelés

- A sugárzó anyag bekerül a szervezetbe, részt vesz az anyagcsere folyamatokban, közben bomlik és a bomlás során keletkező sugárzás közvetlenül az élő sejteket éri.

Természetes sugárforrások

Természetben előforduló sugárzásból (háttérsugárzás) származó sugárterhelés népeséggel súlyozott világátlaga: 2.4 mSv/év:

- Földkéregből származó (primordiális) radioizotópok sugárzása.
- Kozmikus sugárzás.

Természetes eredetű sugárterhelés (földkéreg)

Izotóp	Felezési idő (év)
^{40}K	$1.28 \cdot 10^9$
^{87}Rb	$47.00 \cdot 10^9$
^{238}U (^{222}Rn)	$4.49 \cdot 10^9$
^{235}U	$7.04 \cdot 10^8$
^{232}Th (^{220}Rn)	$14.10 \cdot 10^9$

Radon okozza a természetes sugárterhelés felét köszönhetően,
hogy a lakóhelyiségekben feldúsul ($40\text{-}50 \text{ Bq/m}^3$)

Egyes országok lakásainak levegőjében éves átlagban mért aktivitáskoncentrációk középértéke



A radon veszélyei

- Zárt terekben feldúsult radon tehető felelőssé a tüdőrákos esetek 9%-áért és az összes rákos megbetegedés 2%-áért, sőt, a dohányosoknál a radon 25-szörös (!) kockázatot jelent.
- Egy, az Egyesült Államokban készült tanulmány szerint a megbetegedések száma csaknem tízszeres a dohányzók körében.

Védekezés

- Megfelelő szigetelés mellett gépi szellőzés segítségével meg kell növelni a légnyomást, így a radon kevésbé fog az épületbe jutni.
- Megfelelő szigetelés mellett a padló alatti teret kell átszellőztetni természetes módon, illetve, ha szükséges, ventilátorral.
- Utólagosan is lehet védekezni a radon ellen, ún. radonkút kialakításával. Az épület mellé 1-2 m távolságban 4-5 m mély kutat kell fúrni, amibe perforált csövet helyeznek és a cső és a kút fala közti részt kaviccsal töltik ki. A radon itt is a kisebb ellenállást követve a cső felé diffundál.

Kozmikus sugárzás

Népességgel súlyozott világátlag: **0.38 mSv**

Mértéke függ:

- Tengerszint feletti magasság
 - Tengerszinten: 0.27 mSv/év
 - La Pazban (4000m): 2.02 mSv/év
 - Repülőgépen: 3-10 μ Sv/óra, intenzív naptevékenység esetén akár 40 μ Sv/óra
- Földrajzi szélesség
- Árnyékolás

Természetes eredetű sugárterhelést növelő tevékenységek

- Repülőgépen 10 km magasan 30 óra alatt 0.15 mSv járulékos dózisterhelést kapunk.
- Dohányzó emberek tüdejében ~ 300%-kal magasabb a ^{210}Pb és ~ 200%-kal magasabb a ^{210}Po tartalom, mint a nemdohányzókéban. A csontok ^{210}Pb tartalmában ~ 75%-os növekedést idéz elő a dohányzás, ezért a vérképző rendszert is károsítja.
- A kőszén pernyéjében az urán és az ólom lényegesen feldúsul. Minden megtermelt MW/év villamos energiára 11 MBq aktivitás kibocsátása jut.

Mesterséges eredetű sugárterhelés megoszlása

- Orvosi eredetű (diagnosztikus és terápiás): 95%.
Maradék 5%:
- Főként a légköri kísérleti atomrobbantások máig tartó hatása (majdnem 5%)
- Nukleáris technológiák (pl. atomerőművek)
(Magyarországon az elektromos energia 40%-át állítjuk elő)
- Radioizotópok előállítása, felhasználása
- Radioaktív hulladékok
- Sugár- és nukleáris balesetek

Mesterséges sugárforrásoktól származó sugárterhelések

- **Professzionális:** ionizáló sugárzásokat hivatás-szerűen alkalmazó személyzet sugárterhelése.
- **Lakossági :** az alkalmazott sugárforrásokból származó összes terhelés egy főre vonatkoz-tatott világátlaga.
- **Orvosi alkalmazásból származó:** a páciensek sugárterhelése (mérlegelni kell a haszon/kár arányát).

Sugárterhelésnek kitett munkavállaló

Az a munkavállaló, aki munkavégzése során olyan szintű sugárterhelésnek van kitéve, amely a népesség tagjaira vonatkozó valamely korlátot meghaladó dózist eredményezhet



ALARA ELV

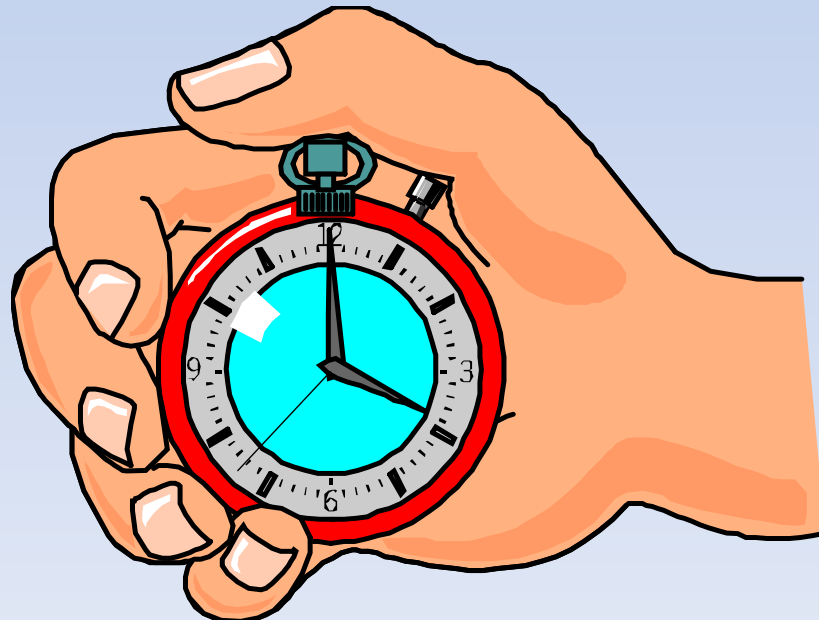
Sugárterhelést a dóziskorlátokon belül is a mindenkori társadalmi és gazdasági tényezők figyelembe vételével az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten kell tartani.

Külső sugárforrásokból eredő terhelések elleni védelem

- Idővédelem
- Távolságvédelem
- Sugárvédő rétegek alkalmazása

Idő

- $Dózis = Dózisteljesítmény \times Idő$
- Állandó sugártérben az emberi szövetek sugárterhelése az eltöltött idővel arányos.



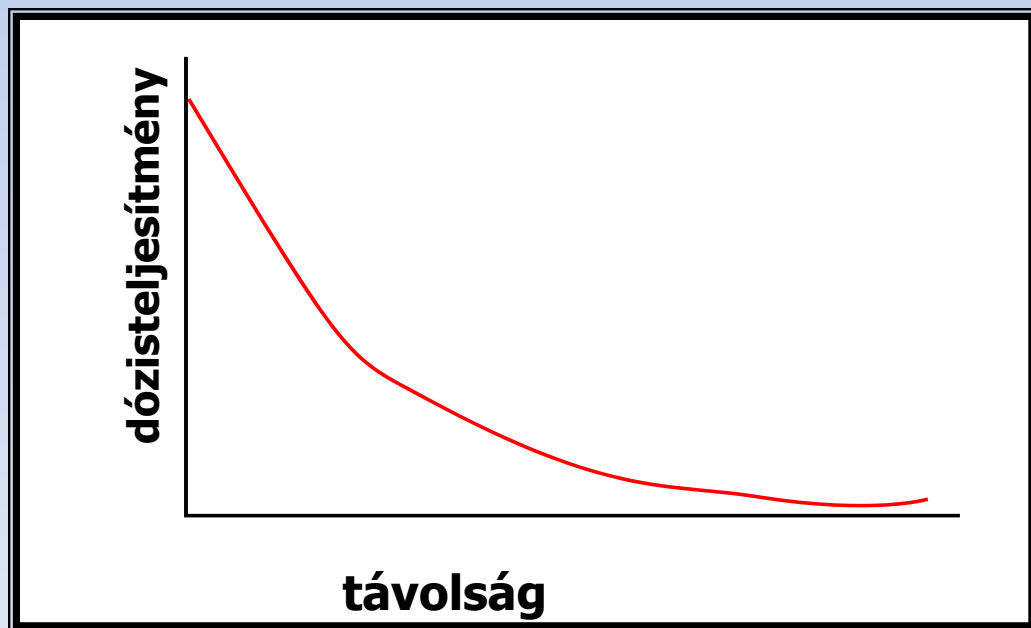
Idővédelem

Cél: a sugárveszélyes munkafeladatok minél gyorsabb elvégzése, ennek feltételei:

- Sugaras munkahelyen csak sugaras tevékenységet szabad folytatni.
- A munkahelyre belépni (kíséret és felügyelet nélkül) azoknak, akik nem ott dolgoznak szigorúan tilos.
- Szakmai felkészültség, gyakorlati tapasztalat, előzetes tervezettség, folyamatos képzés.
- A lehető legkevesebb számú munkavégző jelenléte.

Távolságvédelem

- Pontszerű sugárforrás esetén a sugárzás energiája gömbfelületen ($4\pi r^2$) oszlik el, ezért a sugárzás intenzitása a távolság négyzetével fordítottan arányos.



Távolságvédelem

Röntgendiagnosztika, sugárerápia:

- Direkt sugárnyalábba belépni, benyúlni szigorúan **TILOS!**
- Ezt az e célokra rendszeresített eszközökkel kell megtenni.
- Beteg nem tarthat ionizáló sugárzásnak kitett munkavállaló!
- Beteg mentése elsődleges, de ekkor is a lehető leginkább kerülni kell a direkt nyalábot!

Távolságvédelem

Röntgendiagnosztika:

- Hosszú exponáló zsinór
- Nagyméretű helyiség az ionizáló sugárzást kibocsátó berendezések működtetésére (szórt sugárzás csökkentése).



Távolságvédelem

Nukleáris medicina:

- Szabad, védelem nélküli kézzel **TILOS** a radioaktív készítményt megfogni!
- Hosszúszárú csipeszt, távfogót, manipulátorokat kell alkalmazni.



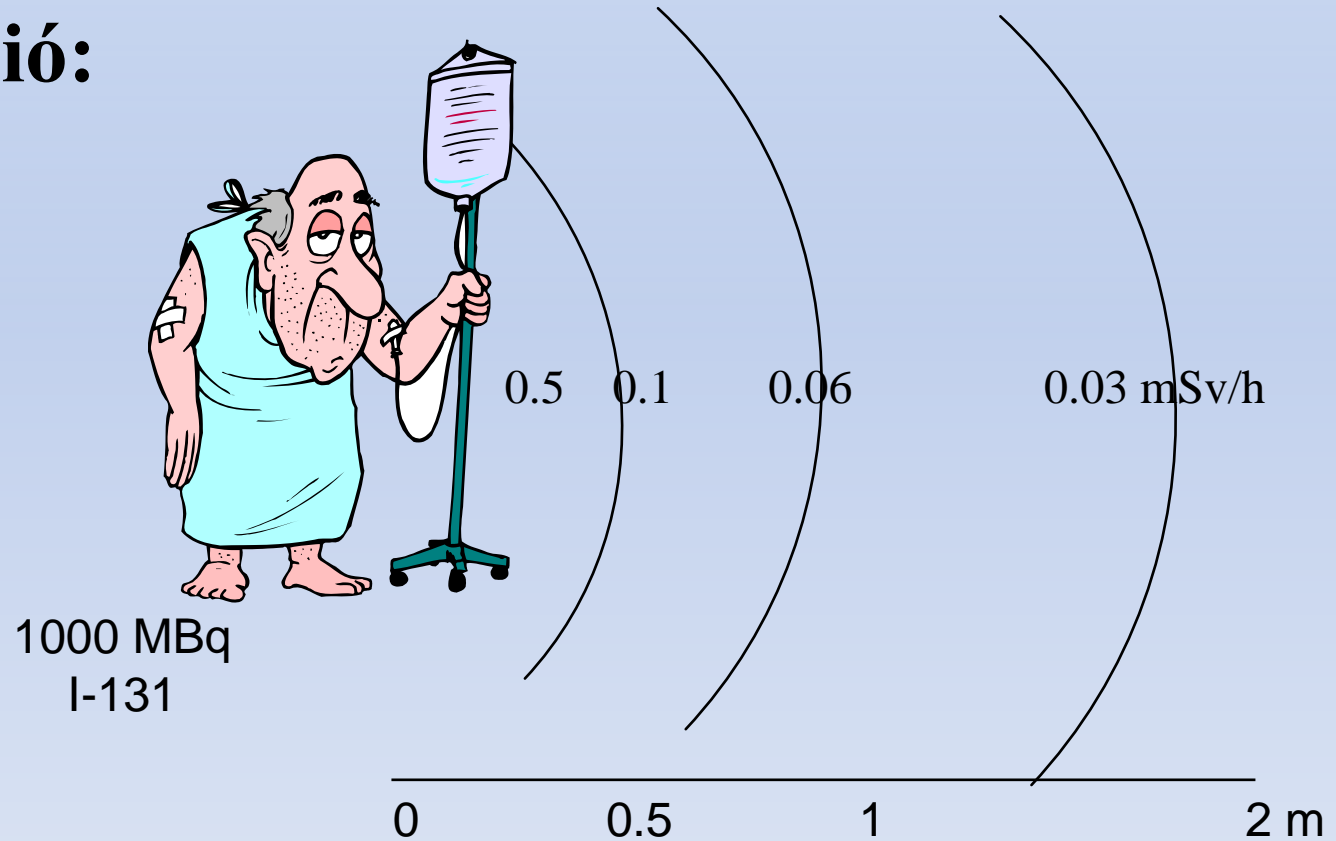
Távolságvédelem

- Nagy aktivitású sugárforrásokkal (pl. Co-60) csak távirányítással szabad dolgozni.
- Nagy aktivitású forrásoknál egyedi műveleteket csak részletes előírás és hatósági engedélyezés alapján végezhetünk.

Radioaktív beteg

Kontamináció:

- Nyál
- Veríték
- Lélegzet
- Vizelet



Távolságvédelem

Tisztelettel kérjük kedves betegeinket, hogy a csontkamera (IZOTÓP) vizsgálat napján ne jelentkezzenek szakrendelésünkön, mert nem áll módunkban fogadni Önöket!

Sugárvédő rétegek

- $I = I_0 e^{-\mu x}$
- I_0 a sugárzás intenzitása az anyagon való áthaladás előtt.
- I a sugárzás intenzitása az anyagban való x távolság megtétele után.
- μ a sugárzásra és az anyagra jellemző állandó, függ a sugárzás minőségétől, energiájától, valamint az elnyelő anyag rendszámától és sűrűségétől.

Árnyékoló anyagok

Ólom:

- Nagy sűrűség, kis helyet foglal el.
- Nagy rendszám, jó védelmet nyújt kis energiájú röntgensugárzásnál.
- Aránylag drága.
- Nehéz vele dolgozni.

Árnyékoló anyagok

Vas, acél:

- Aránylag nagy sűrűség
- Elfogadható méret
- Önmegtartó szerkezet
- Könnyű felszerelni
- Viszonylag drága

Árnyékoló anyagok

Beton:

- Olcsó (nem utólagos felszerelés).
- Önmegtartó.
- Könnyű elkészíteni.
- Viszonylag vastag betonfal szükséges a megavoltos sugárzások esetén.
- Sűrűsége változó, (a normál beton sűrűsége 2.3 g/cm^3) ellenőrzést igényel.

Foton sugárzás elleni védelem

- Alacsony energiájú gamma és röntgen sugárzás: **ólom.**
- Nagy energiájú (>500 keV) gamma és röntgen sugárzás: nagy sűrűségű beton és vaslemezek (olcsóbb mint az ólom és önmegtartó).

Béta sugárzás elleni védelem

- Védekezni a béta sugárzás és a béta sugárzás által az árnyékoló anyagban keltett fékezési röntgensugárzás ellen kell.
- A béta sugárzás hatótávolsága a sugárzás energiájától függ.
- Hatótávolság 1-4 MeV energiájú sugárzásnál:
 - Vízben, testszövetben: néhány mm.
 - Ólomüveg, plexi: még kevesebb, mint vízben.
 - Levegőben: 10-15 m.

Neutronsugárzás elleni védelem

- Alacsony rendszámú anyagok (víz, bór, paraffin), amelyeknek atommagja képes a termikus neutronok befogására (nagy hatáskeresztmetszet a termikus neutronok esetében).
- Közepes és gyors neutronoknál deutérium, trícium, vagy grafit lassító anyagot alkalmazva, már termikus neutronként viselkednek és alacsony rendszámú anyaggal befoghatók.

Árnyékolás alapelvei

Cél: a dolgozó, a beteg, a látogató, a lakosság sugárterhelésének elfogadható szintre csökkentése a védelem optimalizálása mellett.

- Különböző árnyékolási eljárások szükségesek:
 - Röntgendiagnosztika
 - Sugárterápia
 - Nukleáris medicina

Röntgendiagnosztika

- Átvilágítás
- Felvételezés
- Mobil röntgenberendezések
- Mammográfia
- CT
- Intervenciós radiológia
- Gyermekradiológia
- Fogászati röntgen

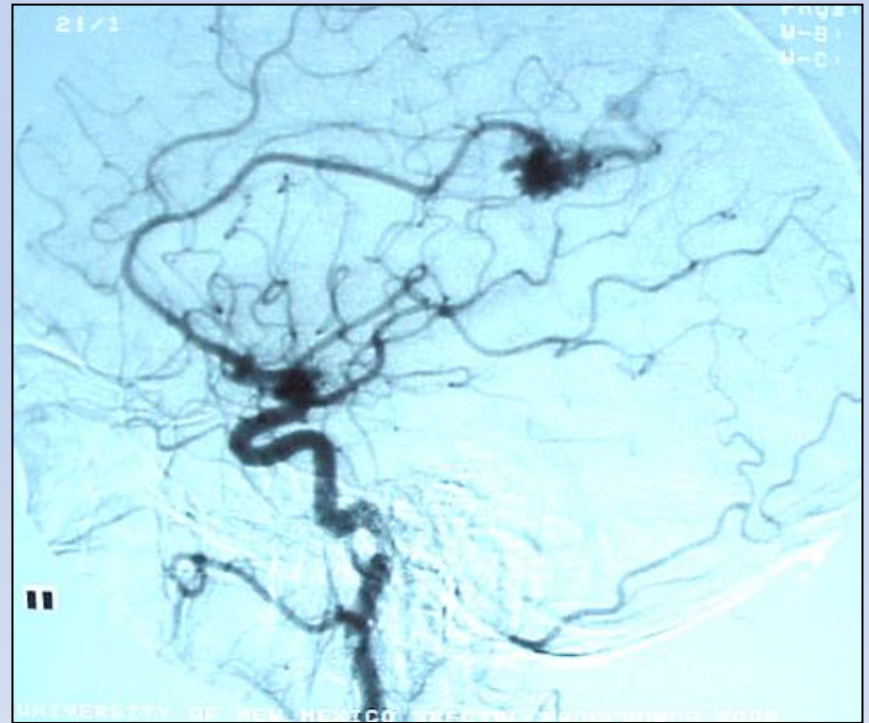
Röntgendiagnosztika

- Kapcsolófülke (a heti összdózis nem haladhatja meg az 50 μGy -t).
- Ólomüveg ablak (ólomegyenérték legalább 1 mm).
- Ólomkötény (0.35 mm ólomegyenérték a röntgen-csőtől 1 m távolságon belül tartózkodva, azon kívül: 0.25 mm).
- Védőkesztyű, védőszemüveg (0.1 mm Pb).

**Primer nyalábba benyúlni, belépni szigorúan
TILOS!**

Intervenciós radiológia

Hagyományos műtéti beavatkozás nélkül végez sejt-, vagy szövetmintavételt, hajt végre diagnosztikus és terápiás beavatkozásokat valamely képalkotó eljárás (fluoroszkópia, CT, MR, UH) irányítása alatt.



Intervenciós radiológia

- Több beavatkozás esetén a beteg bőrdózisa megközelíti egy terápiás frakciódózis értékét (~2000 - 3000 mGy).
- A beteg sugárvédelme a személyzet sugárvédelmét is jelenti.
- 0.5 mm Pb egyenértékű ólomkötény, védőkesztyű, védőszemüveg.
- Gyors, összehangolt, begyakorolt munkavégzés, korszerű berendezések.

Védőeszköz betegeknek



félkötények



**kétoldalas
kötény**



**fogászati
ólomkötény**

Védőeszköz betegeknek



**petefészekvédők
nőknek, kislányoknak**



**scrotumvédők
különböző méretekben**

Védőeszközök dolgozóknak



félköpeny



**ólomtartalmú
gumikesztyű**



**sebészeti
kesztyű**

Védőeszközök dolgozóknak



pajzsmirigyvédő

0.25 – 0.5 mm



védőszemüveg

Szimulátor

- Digitális, távvezérléses, univerzális röntgenberendezés, amely még ennél is többet tud.
- Sugárvédelem: mint a röntgenberendezések esetén:
 - ólomüveg ablak
 - ajtó interlock
 - egyéni védőeszközök (védőkötény, védőkesztyű), bár ez nagyon ritkán kell.



CT-szimulátor

- Egy térbeli lokalizálásra alkalmas lézer-pozícionáló rendszerrel kiegészített CT-berendezés.
- Besugárzás-tervezéshez szükséges CT-képek elkészítésén kívül, alkalmas a későbbi besugárzás referencia-pontjainak CT-szimulációjára is.



Orthovoltos berendezések

- Árnyékolásuk hasonló a diagnosztikus röntgen berendezésekéhez, de a védelem méretezésénél a nagyobb csőfeszültséget (250 kVp) figyelembe kell venni.
- Megfelelő vastagságú betonfal.
- Kiegészítő védelem: ólomlemez.
- Ólomüveg ablak.
- Ajtó interlock.



Nagyenergiájú besugárzók, Kobaltágyú

- Jelentősége ma már csökken
- Nagy aktivitású zárt sugárforrás (~200-300TBq)
- Töltet: acéltokba zárt Co-60 izotóp (felezési ideje: 5.26 év, β bomlás mellett 1.17 MeV és 1.33 MeV foton-sugárzás keletkezik).
- D_{\max} : 0.5 cm
- Szöveti felezőmélység: ~ 10 cm

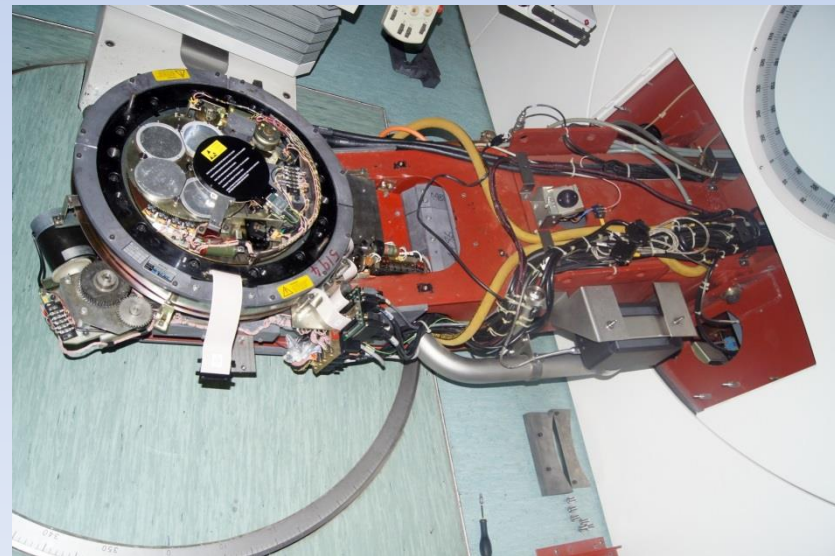


Lineáris gyorsítók



Lineáris gyorsítók

- Foton és elektron
- 2-15 MeV praktikus energiatartomány
- Jól kollimált nyaláb, kis félárnyék
- Nagy százalékos mélydózis
- Nagy dózisteljesítmény, rövid kezelési idő
- Nagy forrás-felület távolság



Védekezni a primer, a szivárgó és a szórt sugárzás ellen kell

- **Primer nyaláb:**

- Nagy része, vagy teljes egésze a beteg testén áthalad, ill. abban elnyelődik.

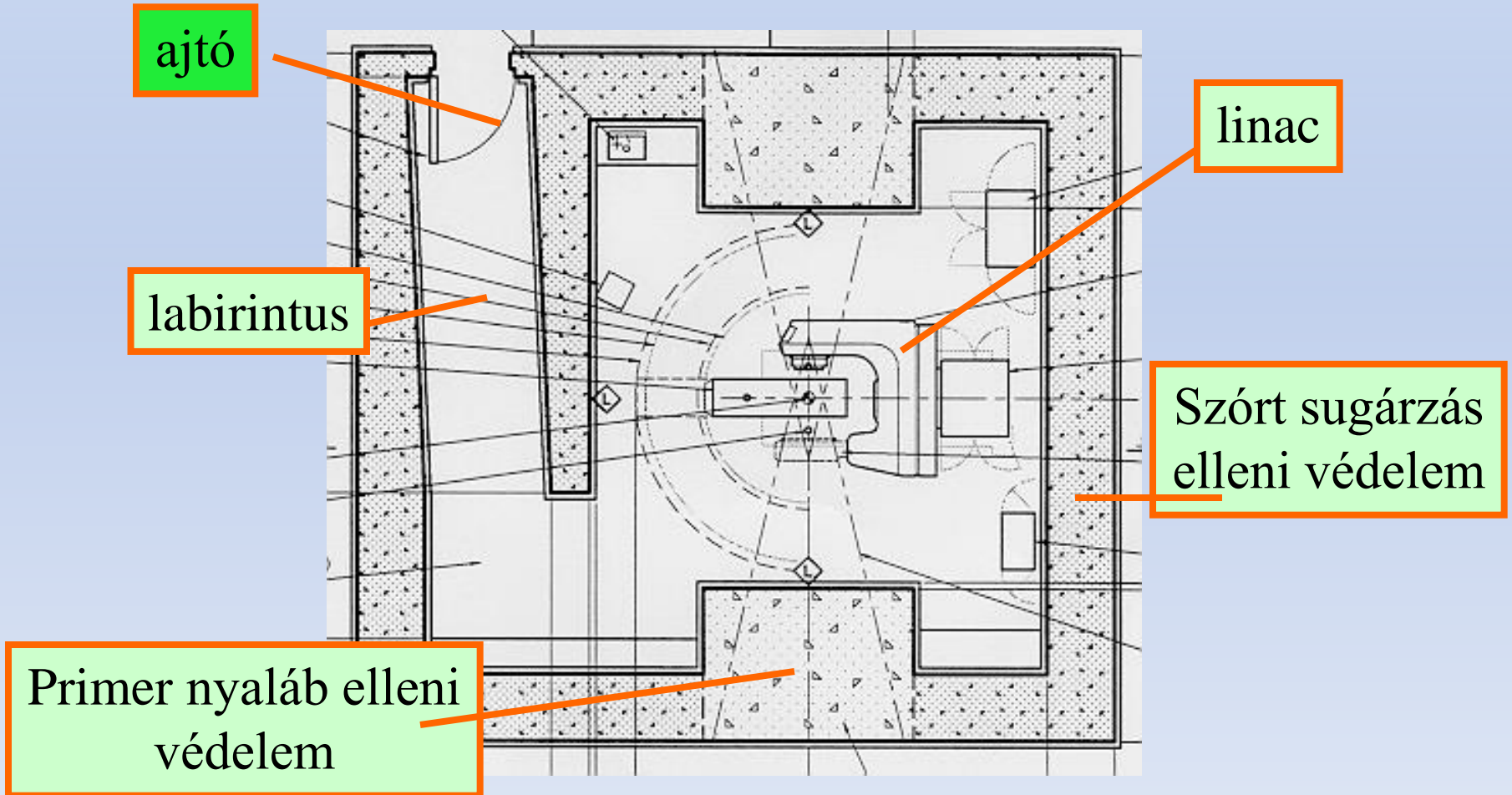
- **Szivárgó sugárzás**

- Energiája megegyezik a primer nyaláb energiájával.
- Primer nyaláb 0.1 – 0.2%-a.
- Szivárgó sugárzás elleni megfelelő védelem a szórt sugárzás ellen is megfelelő.

- **Szórt sugárzás:**

- Energiája széles spektrumú, és kisebb, mint a primer nyalábé.
- Betegből, a kollimátorokból, direkt nyaláb által érintett falakból, berendezési tárgyakkól származik.
- Nehéz számolni, mérni a legnagyobb mezőméret esetén kell.

Tipikus megavoltos besugárzó helyiség



Szivárgó sugárzás elleni védelem

- A sugárforrás tároló helyzetében, a sugárforrástól 1 m távolságra a szivárgó sugárzás levegőben elnyelt dózisteljesítménye semmilyen irányban nem lehet több, mint $20 \mu\text{Gy/h}$.

Lineáris gyorsítók

Különbség:

- Jóval nagyobb energia, jóval nagyobb védelem.
- A besugárzó fej felaktiválódik.
- 15 MV energia felett neutron sugárzás is létrejön.
- Szélesebb körű reteszelési rendszer.
- Kikapcsolás után nem sugároz!

Neutron sugárzás elleni védelem

- Hosszú labirintus – mert a neutron többszörösen szóródik.
- Ajtó – általában bórozott parafinnal töltve.
- ... azonban, a neutronok gamma sugárzást generálhatnak, ami egyéb árnyékoló anyagok alkalmazását igényelheti ismét...
- Ajánlatosabb hosszú és jól kialakított labirintussal csökkenteni a neutronok számát.

Aktiválás

- A neutronok felaktiválhatják az anyagot.
- Olyan anyagokat alkalmaznak a linac fejben, aminek hatáskeresztmetszete a keletkezett neutronokkal szemben kicsi.
- Azonban a besugárzási mező alakját módosító ékek, kompenzátorok, blokkok felaktiválódnak.
- Hosszan tartó nagyenergiájú foton sugárzás használata után ajánlatos több mint 10 perc után végezni bármilyen tevékenységet a fejben (javítás, szerelés), megvárva a felaktiválódás lecsengését.

Gammakés

- Nagyszámú ^{60}Co forrás.
- Magas sugárdózis előállítása a céltérfogatban, úgy, hogy a környező egészséges szövetek minimális dózisterhelést kapjanak:
 - Egyszeri beavatkozás
 - Precíz lokalizáció
 - Nagy szelektivitás(Figyelembe veszi a környező normál szövet sugárterhelését is)

Brachyterápia

- Manuális technika ^{226}Ra , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir
LDR (**Low Dose Rate**) < 2 Gy/h
- Afterloading technika ^{60}Co , ^{192}Ir
MDR (**Medium Dose Rate**) 2-12 Gy/h
HDR (**High Dose Rate**) > 12 Gy/h
PDR (**Pulsed Dose Rate**)

LDR (Low Dose Rate) kórterem

- A beteget egyágyas szobában kell elhelyezni, annak érdekében, hogy a kezelő személyzet, vagy más betegek dózisa a lehető legkisebb legyen.
- Legalkalmasabb ha a szoba az épület sarkán, és ha az épület több emeletes, annak legfelső szintjén van.

HDR (High Dose Rate) kezelő helyiség

- A kialakítása hasonló a nagybesugárzók bunkeréhez.
- Zárt TV lánc és interfon rendszer szükséges a beteggel való kommunikációhoz kezelés közben.
- Hasonló biztonsági rendszerek szükségesek, mint a nagybesugárzóknál (vészleállítás, ajtó-interlock, stb).

PDR (Pulse Dose Rate) kezelő helyiség

- A pillanatnyi dózisteljesítmény közel a HDR berendezések dózisteljesítményével azonos.
- A gyakorlatban a kezelés a LDR kezelésekkel azonos módon, kórtermekben történik. Ezért kötelező árnyékolást alkalmazni.
- A kórterem felszereléséhez hozzátartozik a reteszelési rendszer, valamint a beteg megfigyelésére a zárt láncú TV és a hang-kapcsolat.

Szükséges falvastagság (becslés!)

- $^{192}\text{-Ir}$ HDR - 70 cm
- LDR brachyterápia - 50 cm
- Felületi terápia - 50 cm
- Linac primer nyaláb - 200cm
- Kobaltágyú (szórt és szivárgó sugárzás) 100 cm

Izotóp laboratóriumok

- Kutatás
- Oktatás
- Izotópgyártás
- Nukleáris medicina (diagnosztika, terápia)
- Ipar

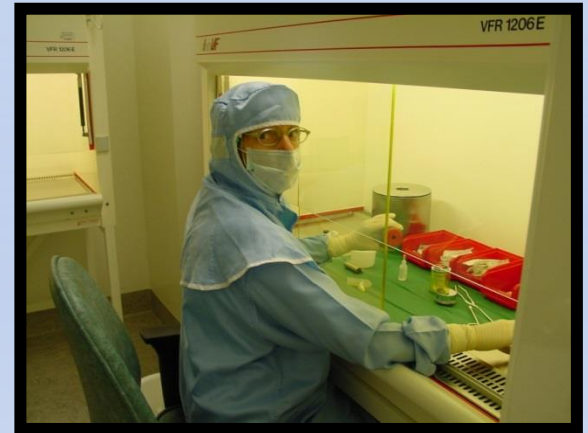
Dolgozó külső sugárterhelése a nukleáris medicinában

- Nyílt sugárforrások
- Aktivitás mérés
- A forrás tárolása
- A forrás szállítása
- Radiofarmakon előállítása
- A vizsgálat előkészítése
- A beteg vizsgálata
- A radioaktív beteg felügyelete
- A radioaktív hulladék kezelése
- Balesetek



Biztonsági felszerelések

- Takarások
- Védőruházat
- Távtartók, csipeszek
- Konténer a radioaktív hulladéknak
- Dózismérő (vészjelző funkcióval)
- Szennyezettség-mérő
- Dekontaminációs készlet
- Jelzés, feliratozás, nyilvántartás

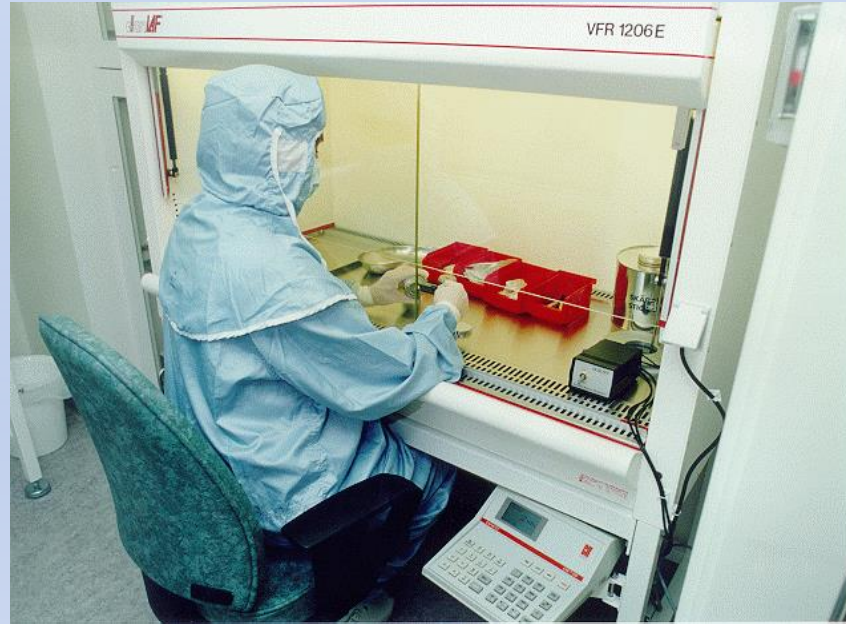


Védőruházat



**Porlódással, párolgással járó műveleteket
elszívófülkében kell végezni!**

Takarás



- Vértek
- Ampulla takarások
- Fecskendő vértek

Fecskendők

Védelem nélkül

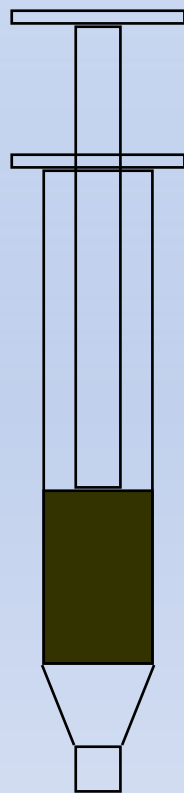
0.4 mSv/h

0.8 mSv/h

4.2 mSv/h

22 mSv/h

8 mSv/h



Védelemmel (2mm W)

0.004 mSv/h

0.01 mSv/h

0.04 mSv/h

0.16 mSv/h

6 mSv/h

400 MBq Tc-99m 1 ml

Fiolák, üvegcsék, ampullák

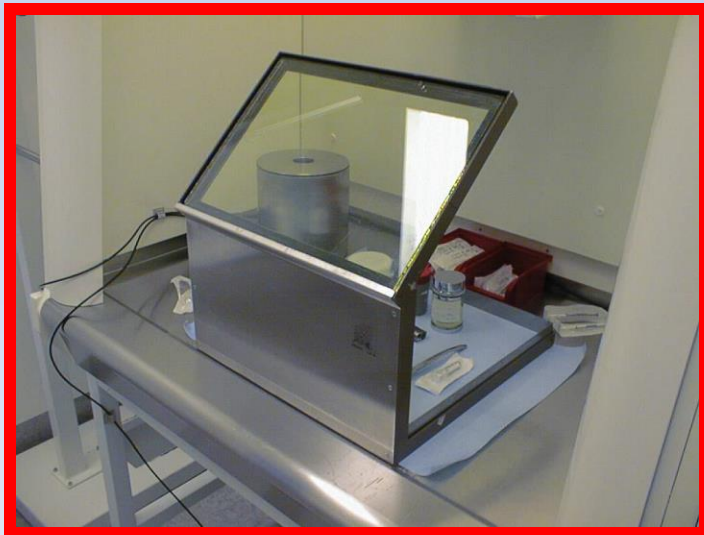


**A tároló külső felületén a maximális egyenérték
dózisteljesítmény $20\mu\text{Sv/h}$ lehet!**

Források árnyékolás

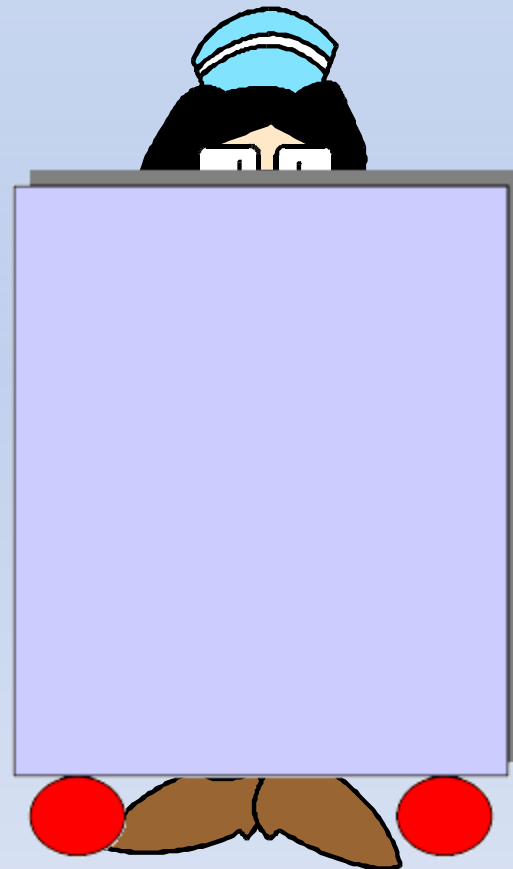
Az árnyékolás kialakítását befolyásolja:

- Radionuklid fajtája
- Aktivitása
- Árnyékolás anyaga



Betegvizsgálat

- Mozgatható vérték
- Ólomkötény

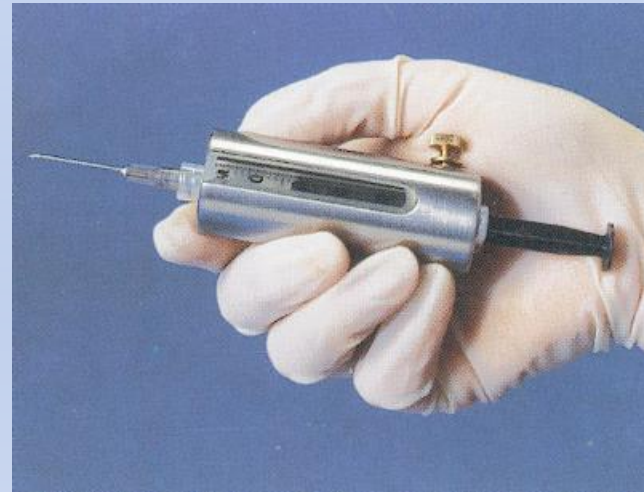


Ólomkötény

(0.3 mm ólomegyenérték)

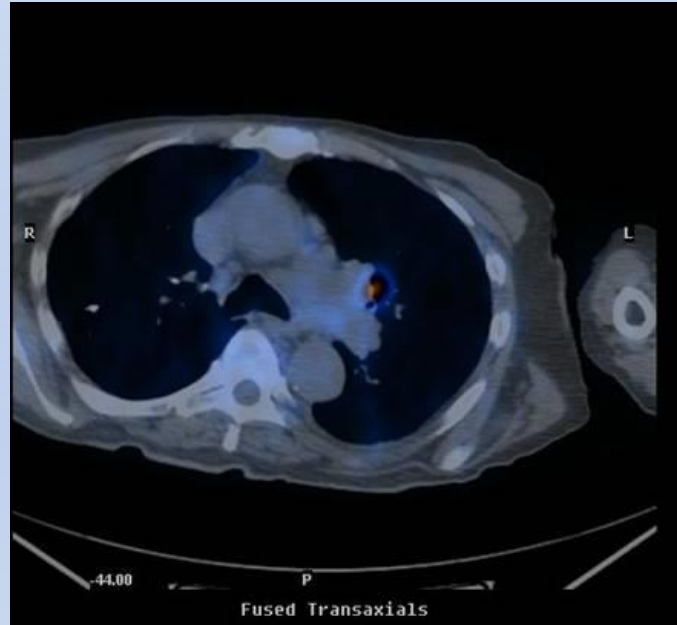
<i>Vizsgálat</i>	<i>Dózis (mSv)</i>	
	<i>kötény nélkül</i>	<i>köténnyel</i>
Csont (400 MBq, ^{99m}Tc)	2.2	1.0
CBF (1000 MBq, ^{99m}Tc)	12.0	5.0
Myocard (75 MBq, ^{201}Tl)	0.3	0.2
Blood pool (800 MBq, ^{99m}Tc)	4.7	2.2
Egyebek (100 MBq, ^{99m}Tc)	0.4	0.2

PET



Jelentős vastagságú ólomtakarást (~cm) kell használni a nagyenergiájú foton sugárzás ellen

PET-CT



- Működési állapot és anatómia megjelenítése egyszerre.
- Leggyakoribb radiofarmakon: fluoro-dezoxi-glükóz (FDG).
- Másfél óra alatt a veséken keresztül a beadott anyag fele kiválasztódik.

Mobil PET-CT



PET-CT és Ciklotron

Sugárvédelem

^{99m}Tc 140 keV foton

- HVL (felező rétegvastagság) Pb ~ 0.3mm
- TVL (tizedelő rétegvastagság) Pb ~0.99mm

PET radionuklid 511 keV foton

- HVL (Pb) 4mm (keskeny nyaláb) & 5mm (széles nyaláb)
- TVL (Pb) 13.2mm (keskeny nyaláb) & 16.5mm (széles nyaláb)

Összegezve

- Mivel az 511 keV energiájú foton sugárzás jóval nagyobb áthatolóképeségű, mint a nukleáris medicinában ugyancsak nagyon gyakran használt Tc-99m 140 keV-os sugárzása, ezért jóval szigorúbb sugárvédelmi mérésekre van szükség, mint a konvencionális nukleáris medicinában használatos berendezések esetén.
- A beteg esetében a PET és a CT sugárterhelése összegeződik.

Izotópterápia

- Beteggel töltött idő csökkentése előre megtervezett és hatékony munkával!
- Lehető legtávolabb kell dolgozni a betegtől!
- Védőöltözet használata (köpeny, kesztyű, cipővédő)!
- Betegszoba elhagyása előtt át kell öltözni!

Köszönöm szépen a figyelmet!