

Sugárzás a gyógyítás szolgálatában

Fröhlich Georgina^{1,2}

¹Országos Onkológiai Intézet, Sugárterápiás Központ, Budapest

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Biofizikai Tanszék, Budapest

[HTTPS://WWW.LINKEDIN.COM/IN/GEORGINA-FRÖHLICH](https://www.linkedin.com/in/georgina-froehlich)

Az atomoktól a csillagokig
ELTE TTK, Budapest
2023. november 23.



Sugárzások

nem ionizáló

- rádióhullámok
- mikrohullámok
- fény



ionizáló

közvetetten

- (semleges részecskék)
- fotonok (RTG, gamma)
 - neutronok

közvetlenül

- (töltött részecskék)
- elektronok
 - protonok
 - α -részecskék
 - nehézionok

Sugárzások

részecske

- elektronok
- protonok
- neutronok
- α -részecskék
- nehézionok

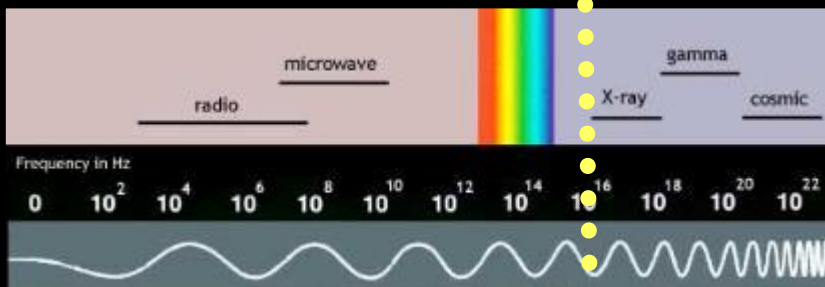
elektromágneses* (fotonsugárzás)

röntgensugárzás

- (atommagon kívül keletkezik)
- RTG-készülékek, CT
 - lineáris gyorsítók (fékezési)

gamma-sugárzás

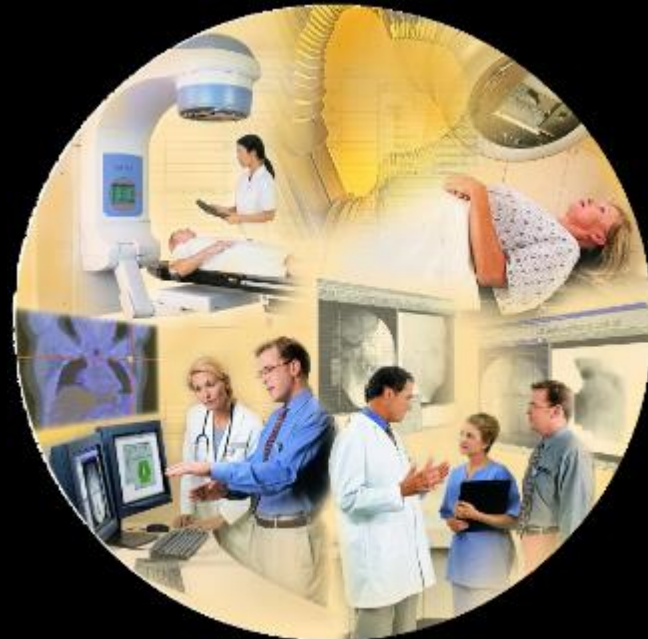
- (magsugárzás)
- radioaktív izotópok
(Ra-226, Co-60, Ir-192)



*Csak megfelelő nagyságú energia esetén hoznak létre ionizációt.

Ionizáló sugárzások a gyógyításban

- Diagnosztikus **képalkotó** eszközök (RTG, CT, MRI, UH, PET,...)
- **Izotópos** leképezések (SPECT, PET) és -terápia
- **Sugárterápia** (lineáris gyorsítóval végzett besugárzás, gamma-kés, proton- és nehézion-terápia és izotóppal végzett testen belüli besugárzások)

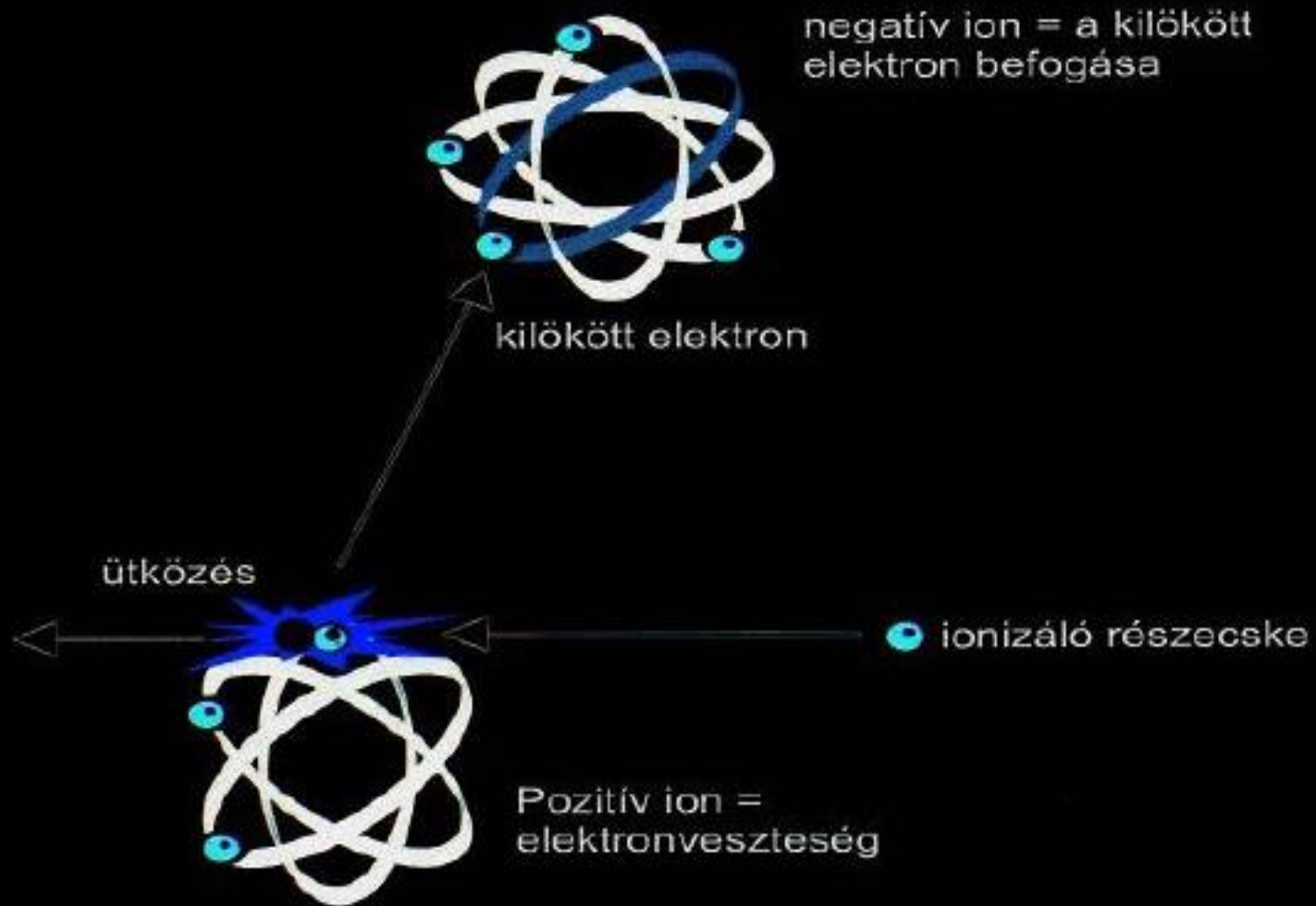


Ionizáló sugárzások a gyógyításban

- Diagnosztikus **képalkotó** eszközök (RTG, CT, MRI, UH, PET,...)
- **Izotópos** leképezések (SPECT, PET) és -terápia
- **Sugárterápia** (lineáris gyorsítóval végzett besugárzás, gamma-kés, proton- és nehézion-terápia és izotóppal végzett testen belüli besugárzások)



Ionizáció

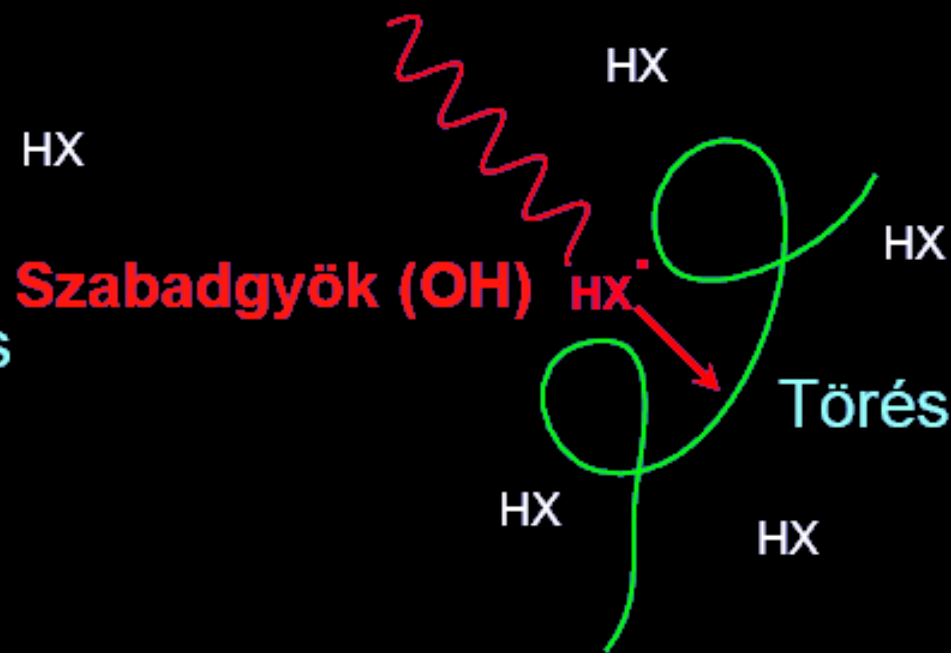


Biológiai hatás

Közvetlen hatás



Közvetett hatás

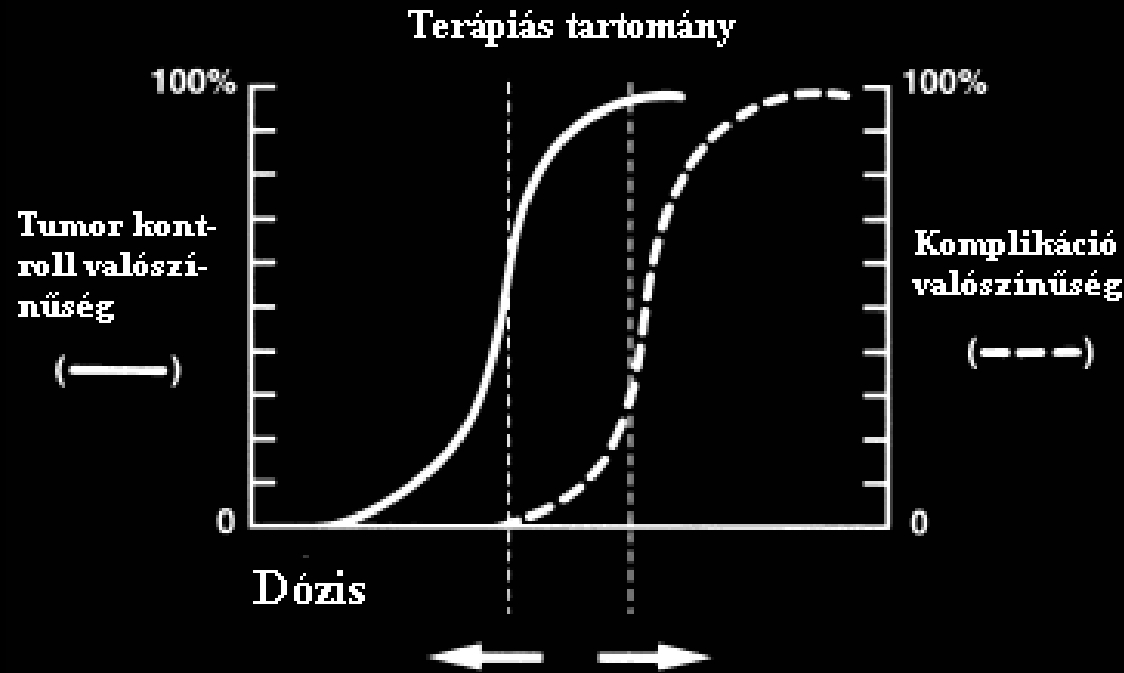


Kölcsönhatás: a sugárzás energiájának az elnyelődése → biológiai hatás

Elnyelt dózis: egységnyi tömeg által elnyelt energia

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Sugárérzékenység



Terápiás tartomány változásai

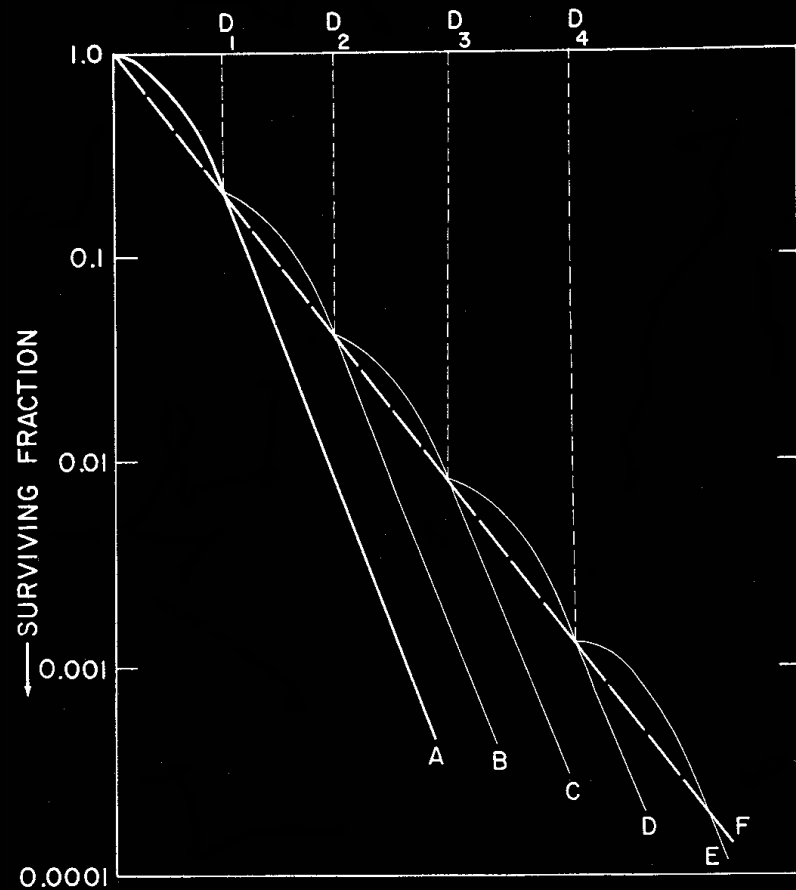
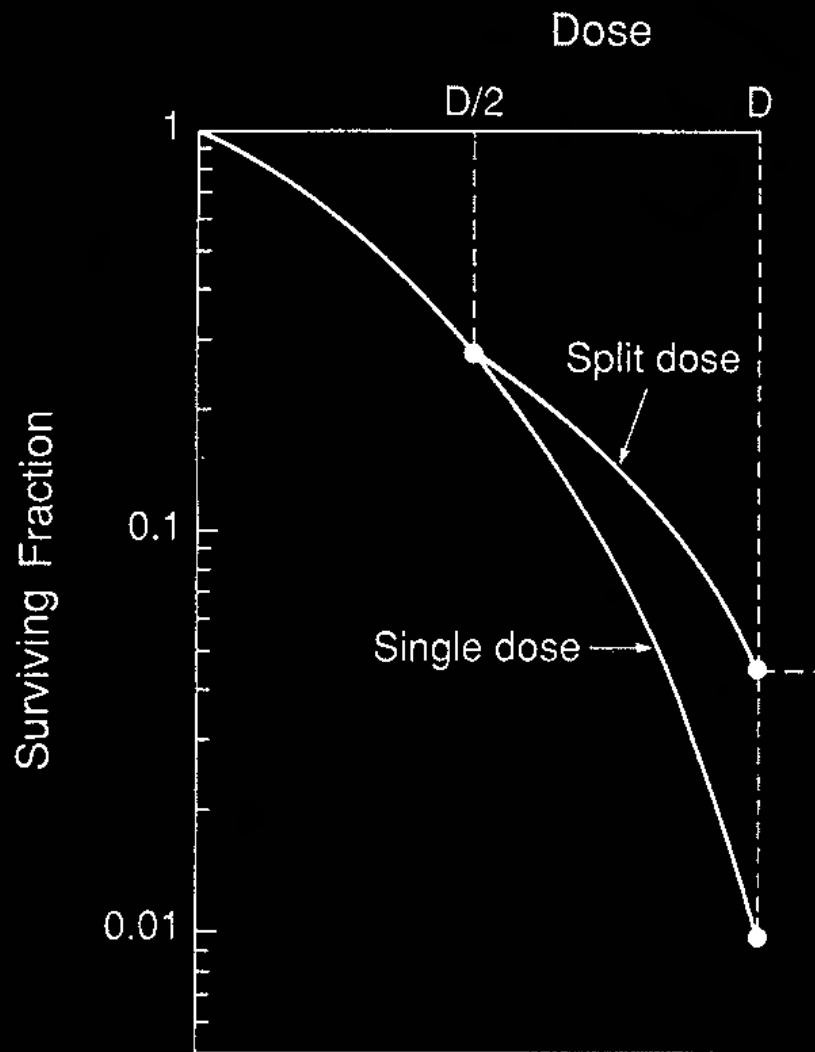
Érzékenyítés

Oxygen
Hypoxiás sejt érzékenyítők
Bioreduktív anyagok
Pirimidin analógok
PLDR inhibitorok
Kemoterápiás szerek
Thiol tartalom változtatás
Hyperthermia

Védelem

WR-2721
Thiol-tartalom változtatás
Glutathioneszterek

Frakcionált besugárzások



Teleterápia: sugárzás forrása a betegen kívül van
(RTG-, γ -foton, nagy-E e^-)

- LinAc/ Co-ágyú
- egésztest-besugárzás
- teljes bőr besugárzás
- tomoterápia
- sztereotaxia
- Gamma-kés
- Cyberknife
- RTG-terápia
- proton-, nehézion-terápia

Brachyterápia: radioaktív izotóp a beteg testében
(γ -foton)



Kobalt-ágyú



nagyon magas aktivitás:

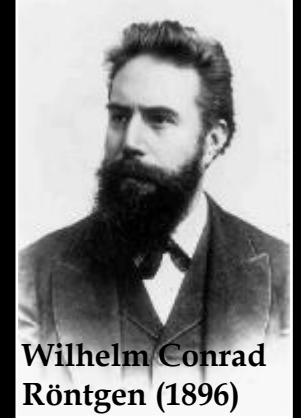
$> 1.000 \text{ Ci}$

$E_{\text{foton}} \sim 1,25 \text{ MeV}$

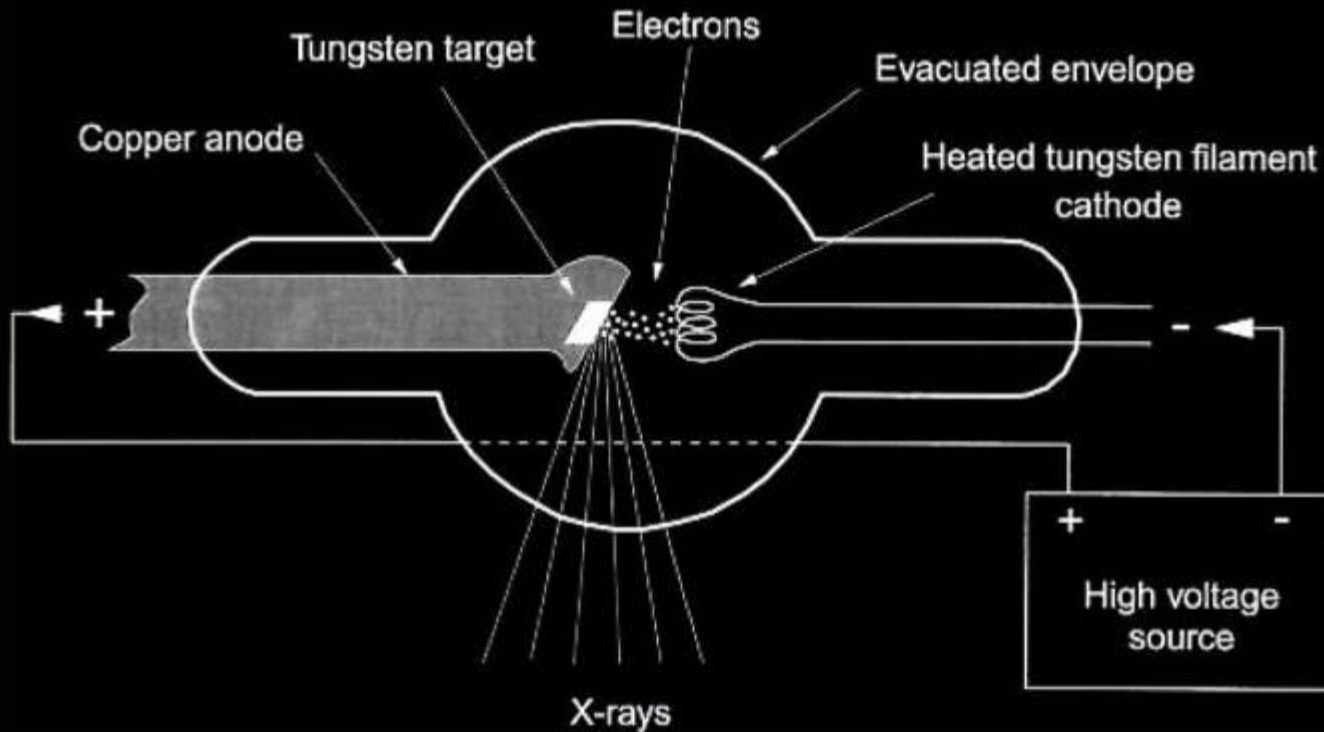


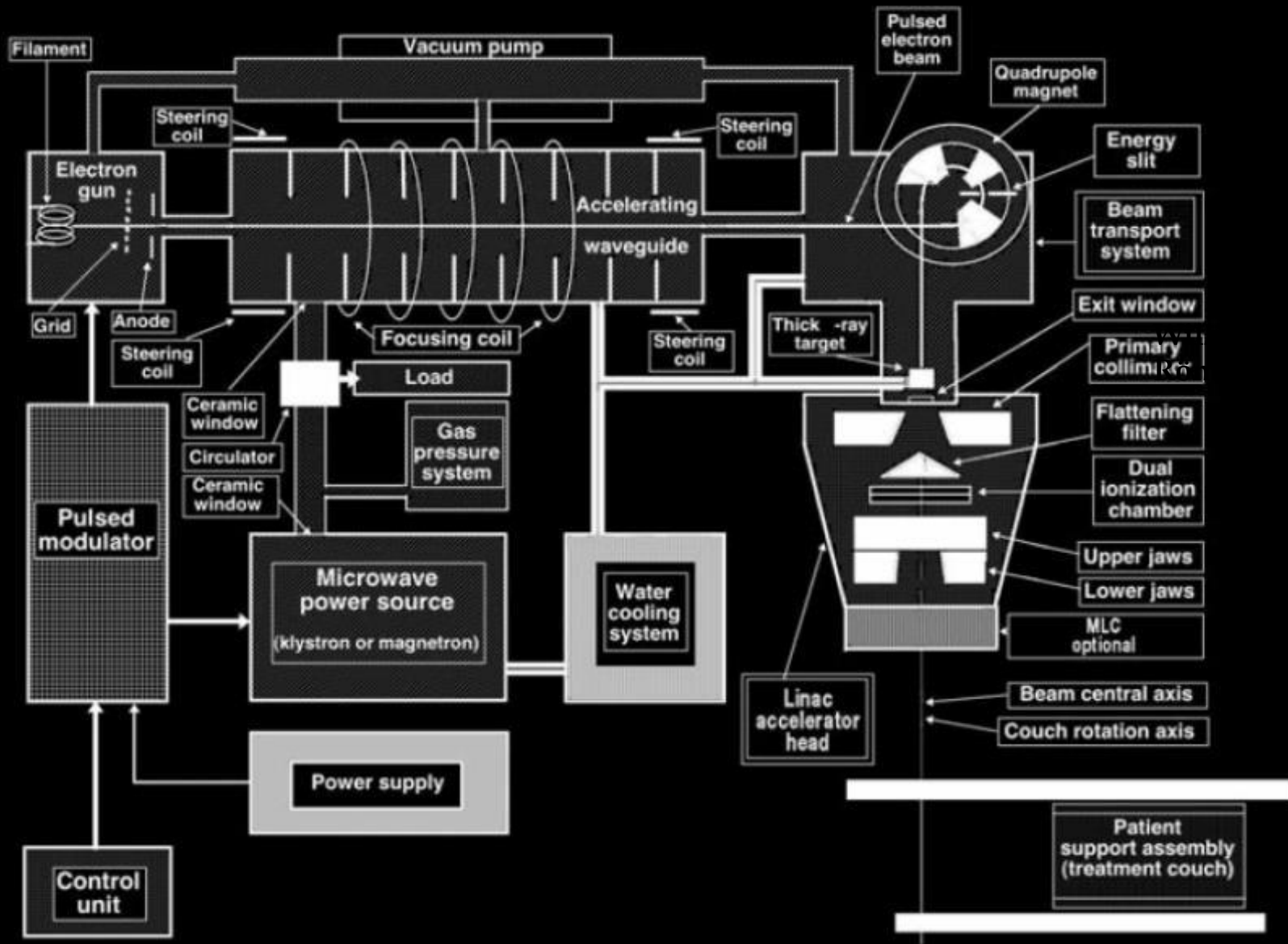


RTG



Wilhelm Conrad Röntgen (1896)





Nagyenergiás elektronok céltárgynak (fém - Au, W) ütköznek → energiájuk egy része sugárzássá alakul: fékezési + karakterisztikus

LinAc - Lineáris gyorsító



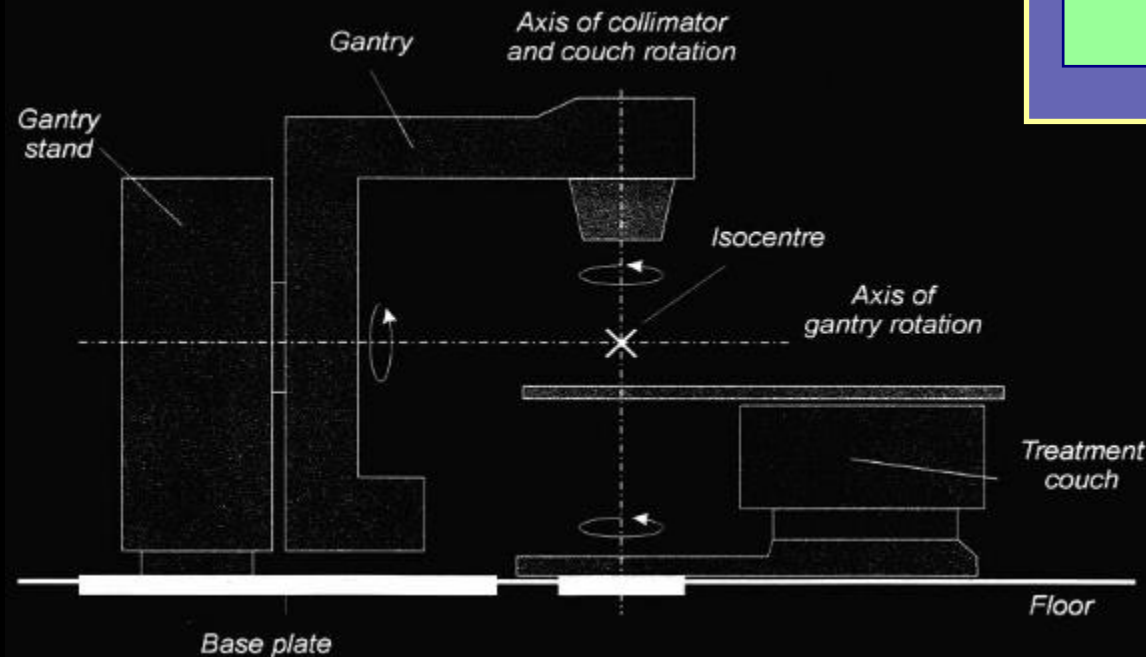
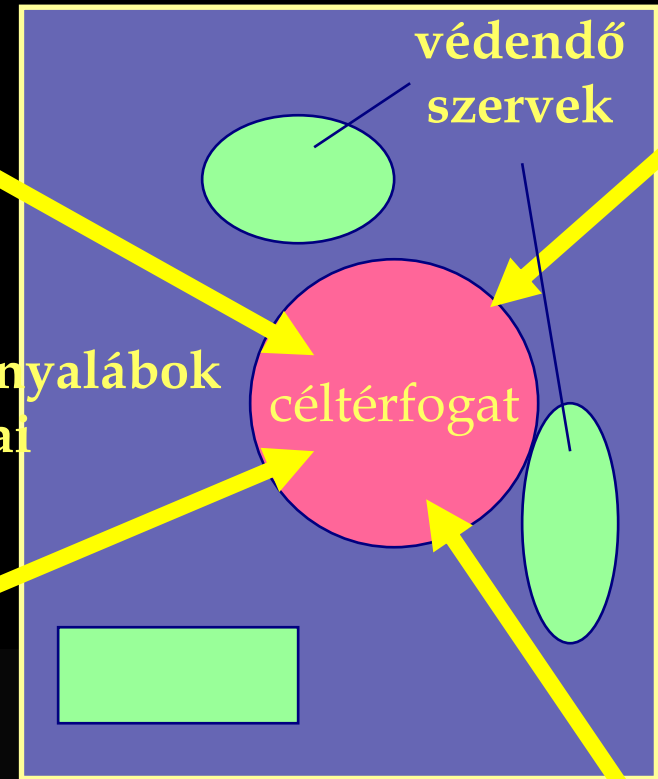
LinAc – Lineáris gyorsító



Cél:

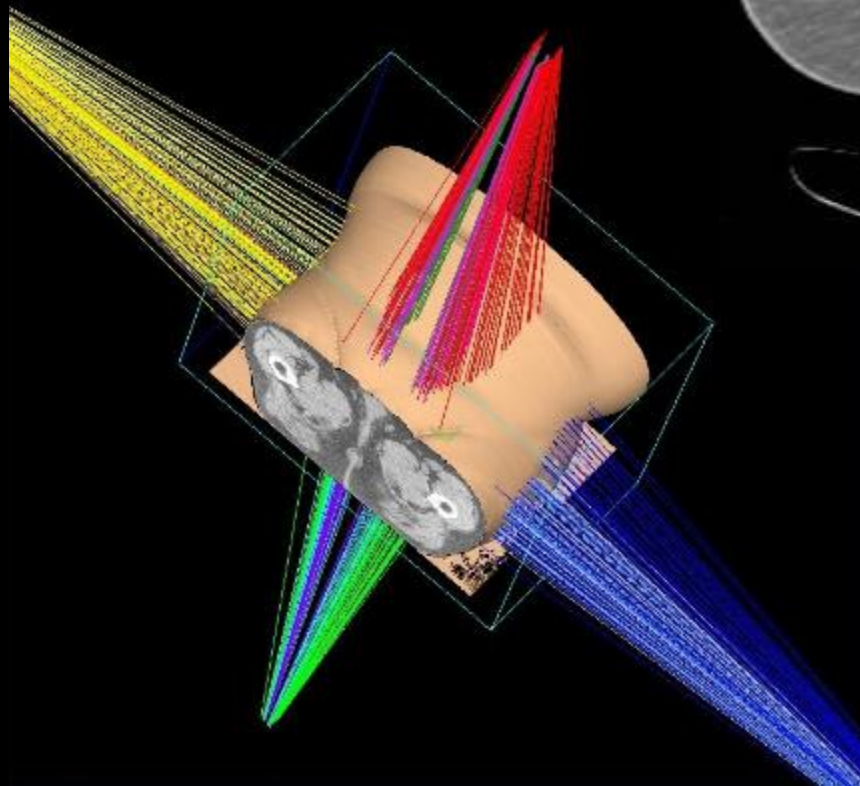
- az összes tumorsejt elpusztítása
- minél nagyobb D a céltérfogatnak, miközben az egészséges szövetek D-a minimális

sugárnyalábok
irányai

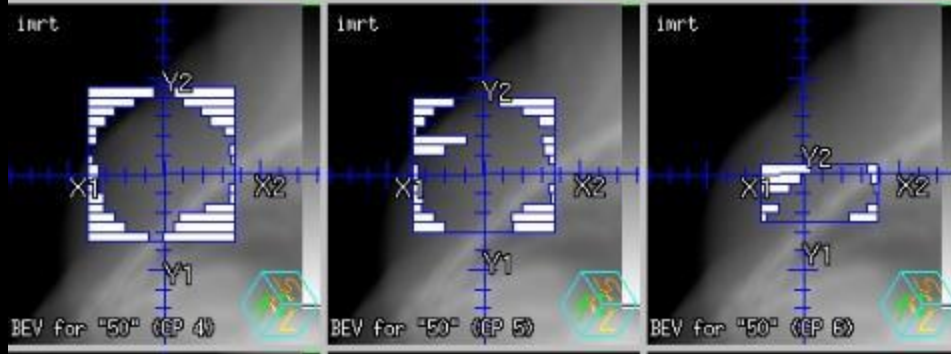
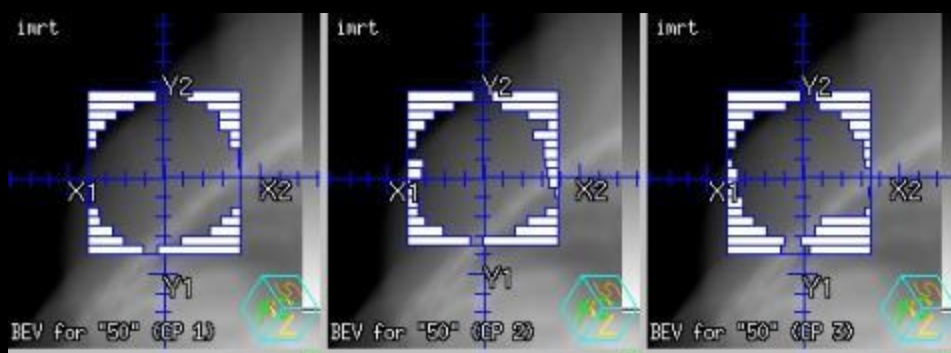


CT:

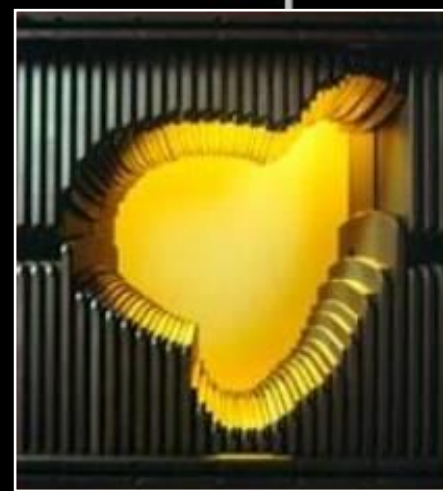
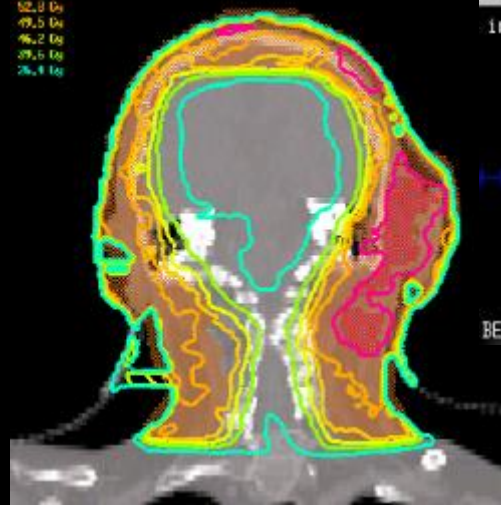
- kontúrok (célterfogat, védendő)
- besugárzási terv (optimalizálás, DVH)



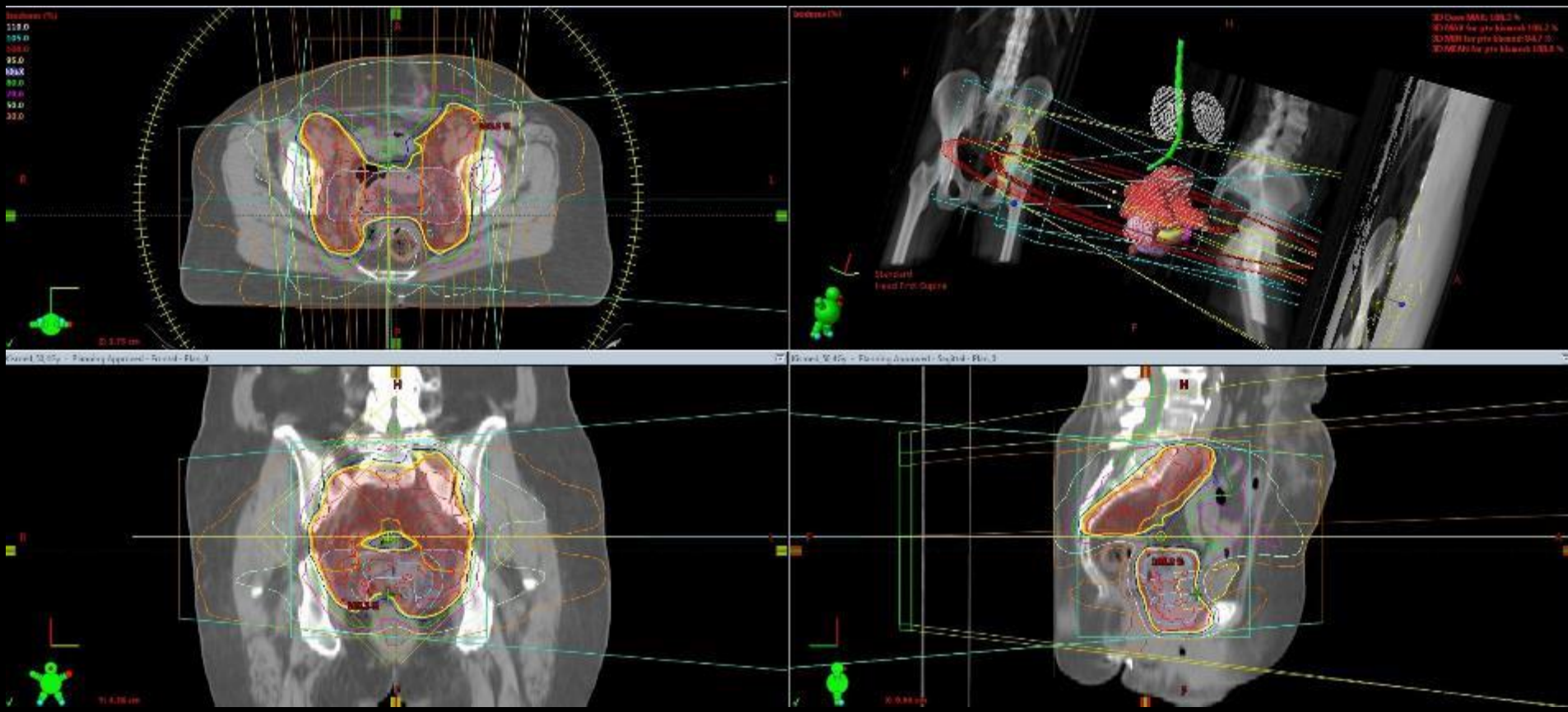
IMRT (Intenzitásmodulált besugárzás)



68.4 Gy
52.0 Gy
49.0 Gy
46.2 Gy
39.0 Gy
26.4 Gy



VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy - ívbesugárzás)

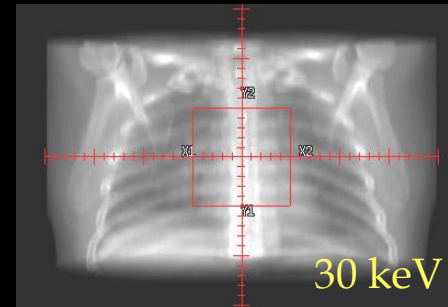


IGRT - Képvezérelt sugárterápia

Képképzés: - elektronikus mezőellenőrző rendszer (2D)

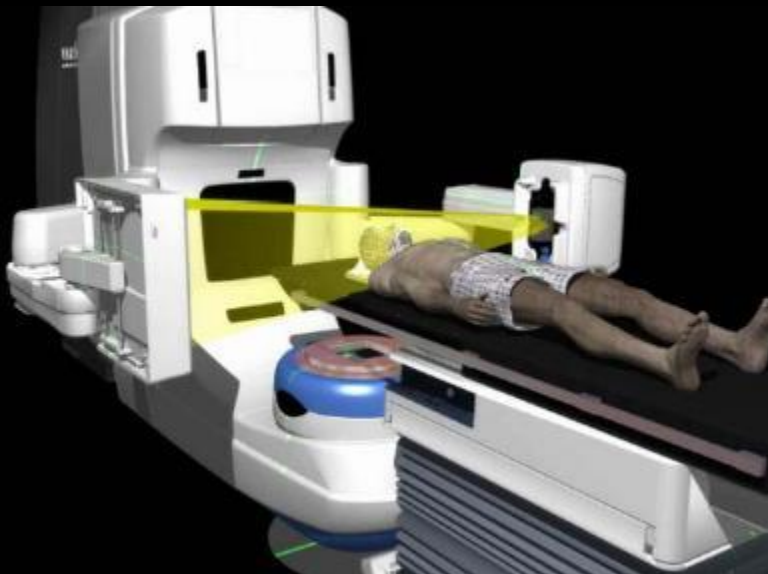


- CT (3D): LinAc-ba integrált

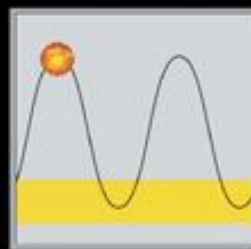
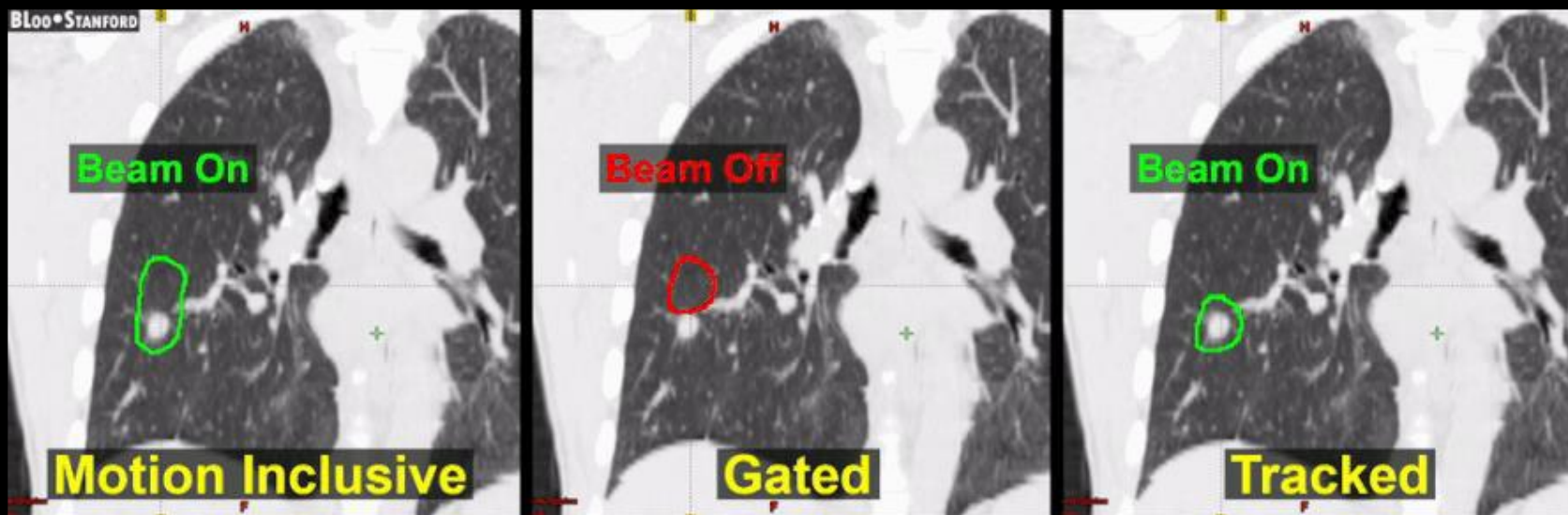


Compton-szórás $\sim Z$
(párkeltés $\sim Z^2$)

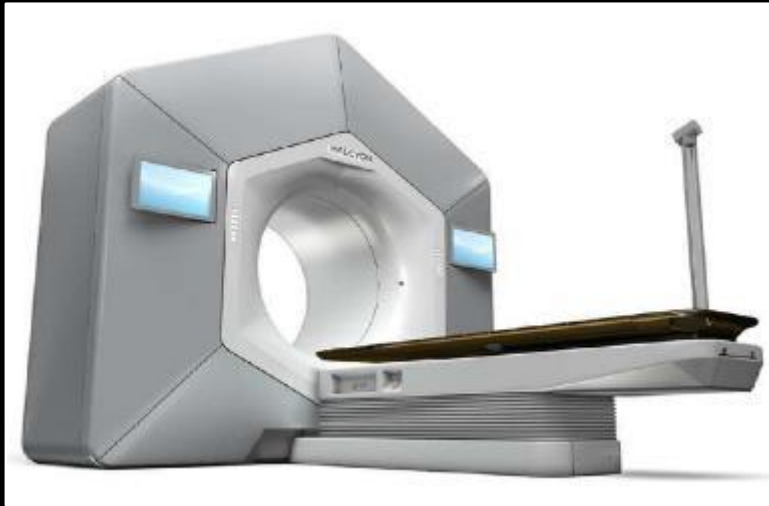
foto-eff. $\sim Z^5$



IGRT - Képvezérelt sugárterápia

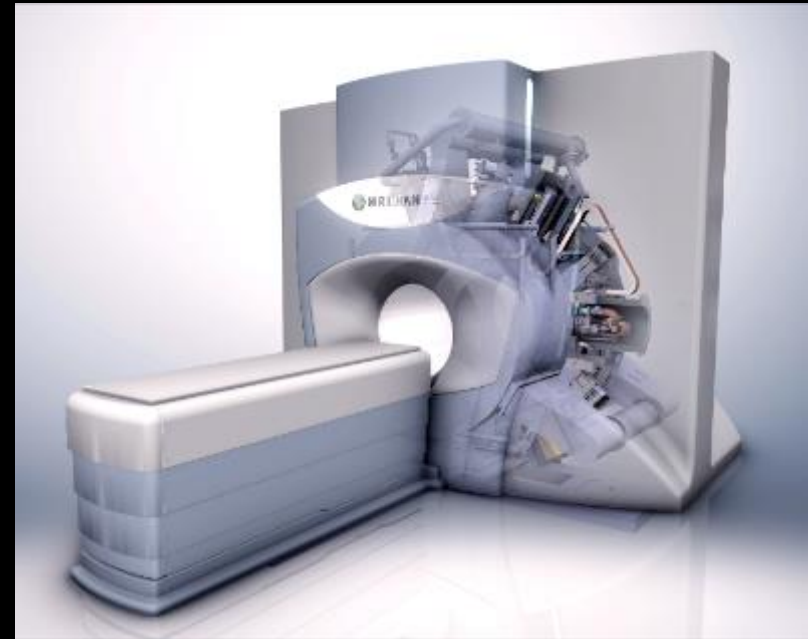


IGRT - Képvezérelt sugárterápia



- Halcyon (3D): CT-s LinAc

- MR-LinAc (3D)



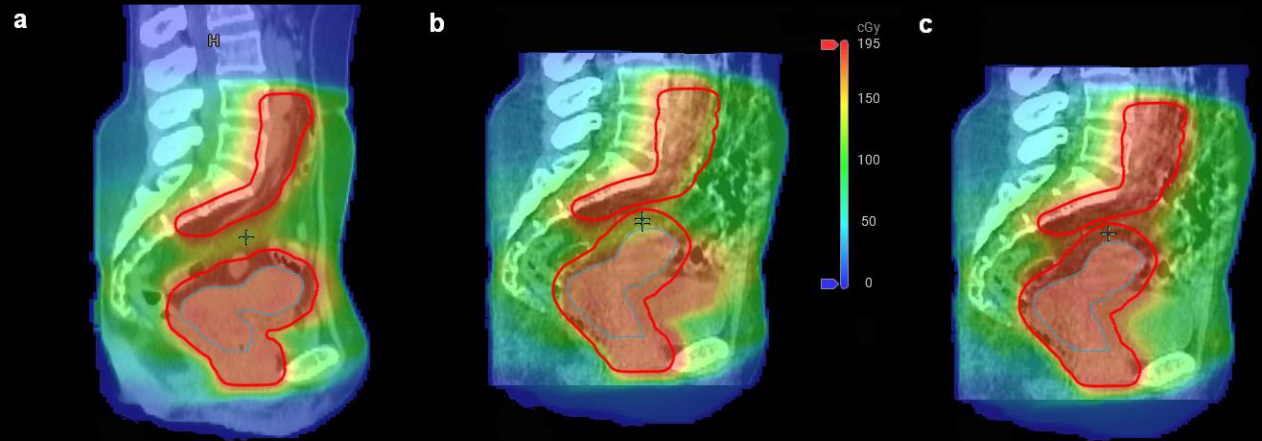
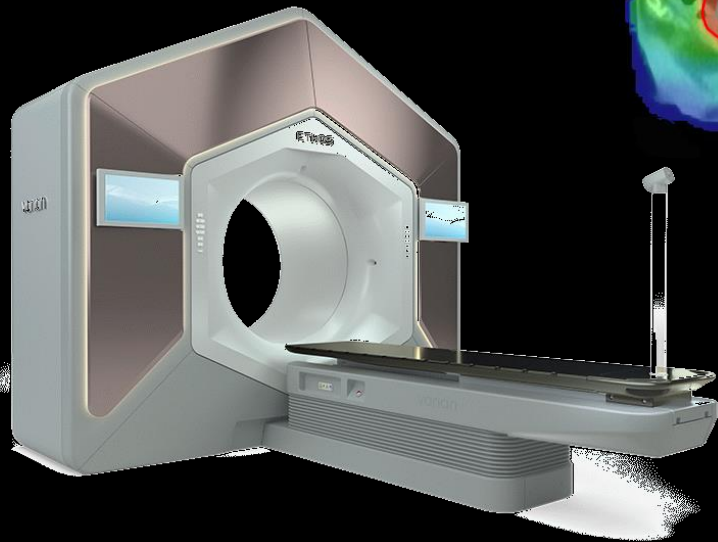
→ pontosabb betegbeállítás

→ leadandó dózis növelése

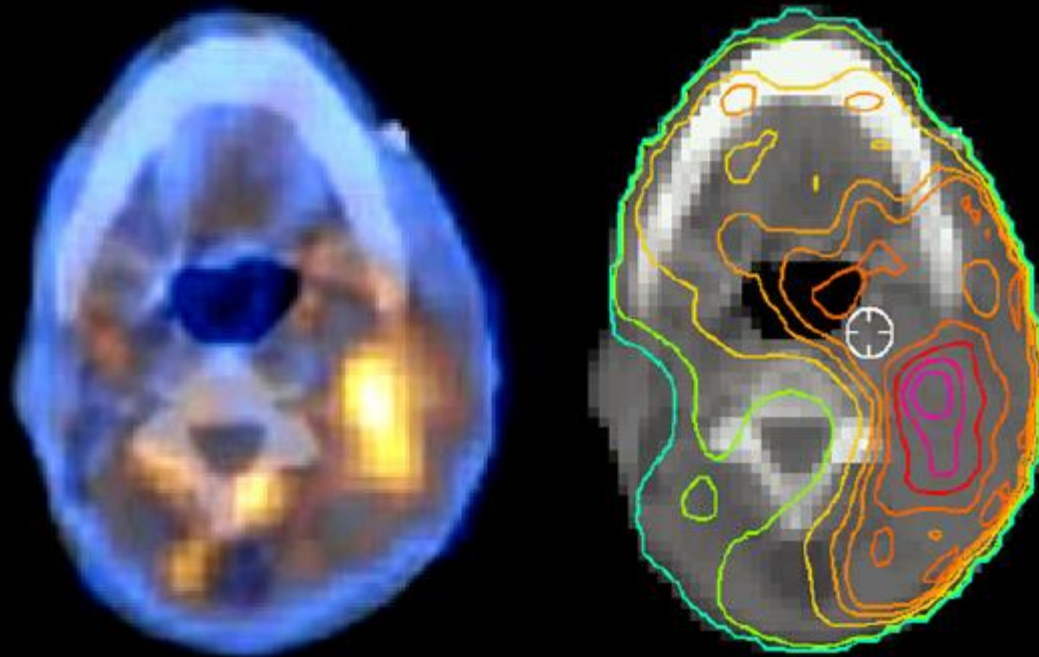
→ normálszövetek és védendő szervek dózisterhelésének a csökkentése

Adaptív sugárterápia:

- szervmozgások, tumor változása → adaptív IGRT (online képalkotás + setup kontroll)
- 4. dimenzió → 4D-IGRT (intrafractional variability)



- biológiai jellemzők → funkcionális IGRT
(PET-CT, fMRI) → „Dose Painting”)



Egésztest-besugárzás (ETB)

Ötlet: Csernobil (?)

csontvelő-átültetés előtt (nyirokrendszeri daganatoknál)

Cél: teljes csontvelő

PD: 10-12 Gy (LD_{100} !), több frakcióban (4-5)

tüdők időleges takarása

1 Co-forrás a „mennyezetben” (Co-ágyúból) \rightarrow FSD = 340 cm

\rightarrow beteg utána steril szobában, ASB azonnali agresszív kezelése

Sztereotaxia

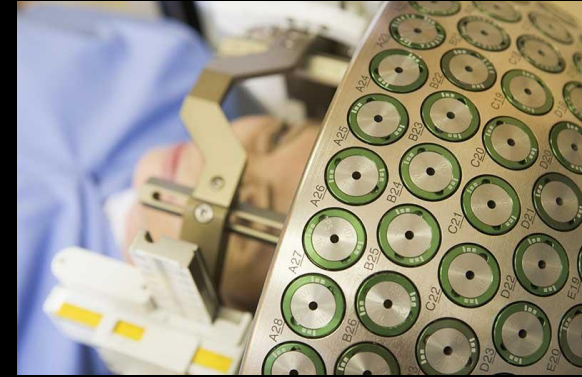


- „Sugársebészet”
- cél: általában agyi átétek
- LinAc fotonnal + spec. kollimátorok / μ MLC

- külső fejkeret → pontos betegrögzítés
- invazív! (idegseb. műtőben koponyacsontba fúrják)
- újra felhelyezhető



Gamma-kés

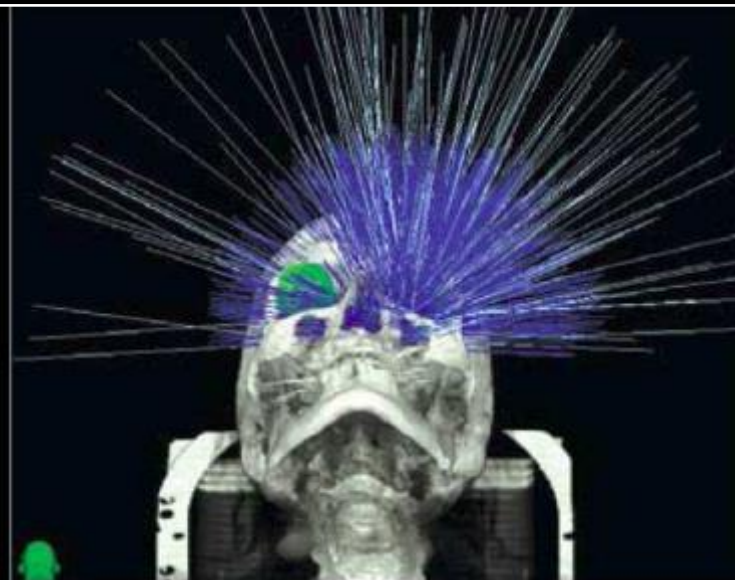
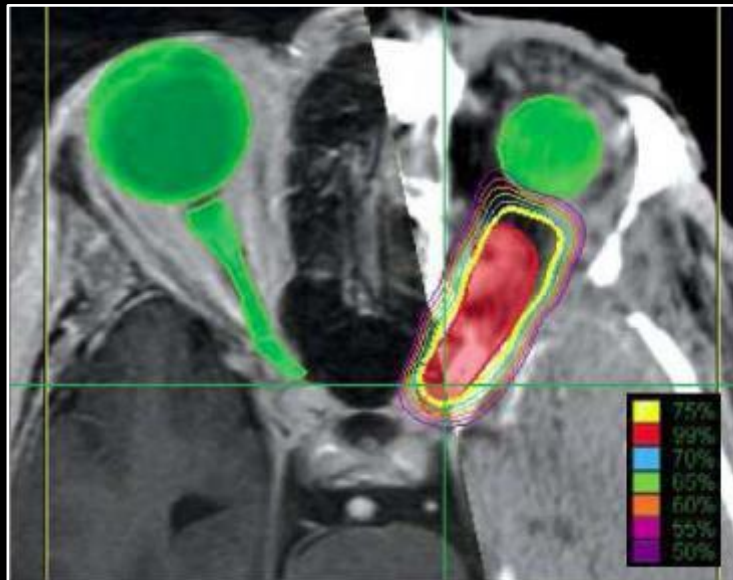
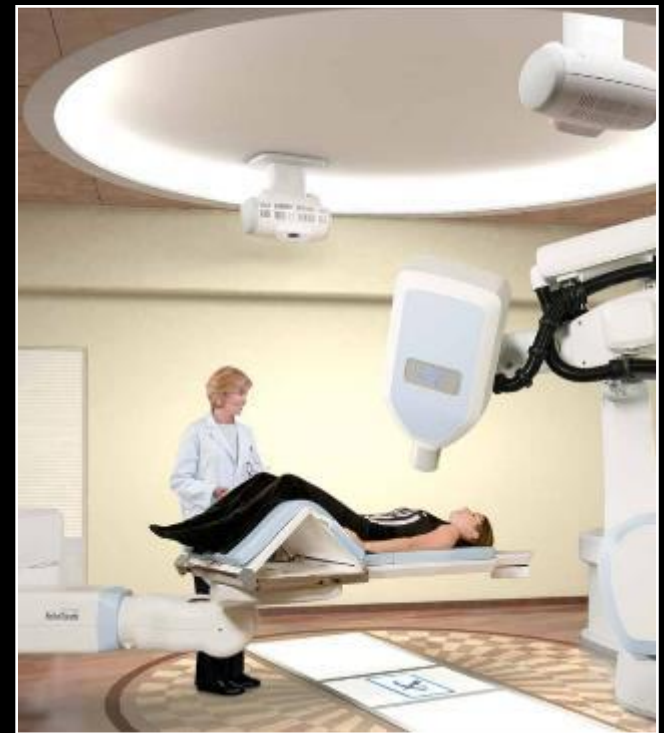


- Sztereotaxia alternatívája
- csak agy!
- 201 Co-60 forrás a beteg feje körüli „süvegben” → mindegyik előtt kis kollimátor
- forráscsere extrém költséges, források nem pontszerűek

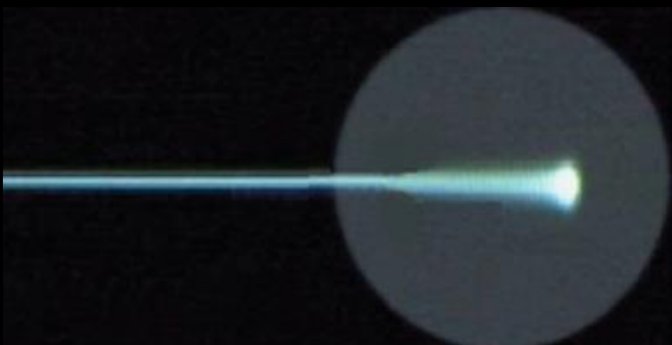


Cyberknife

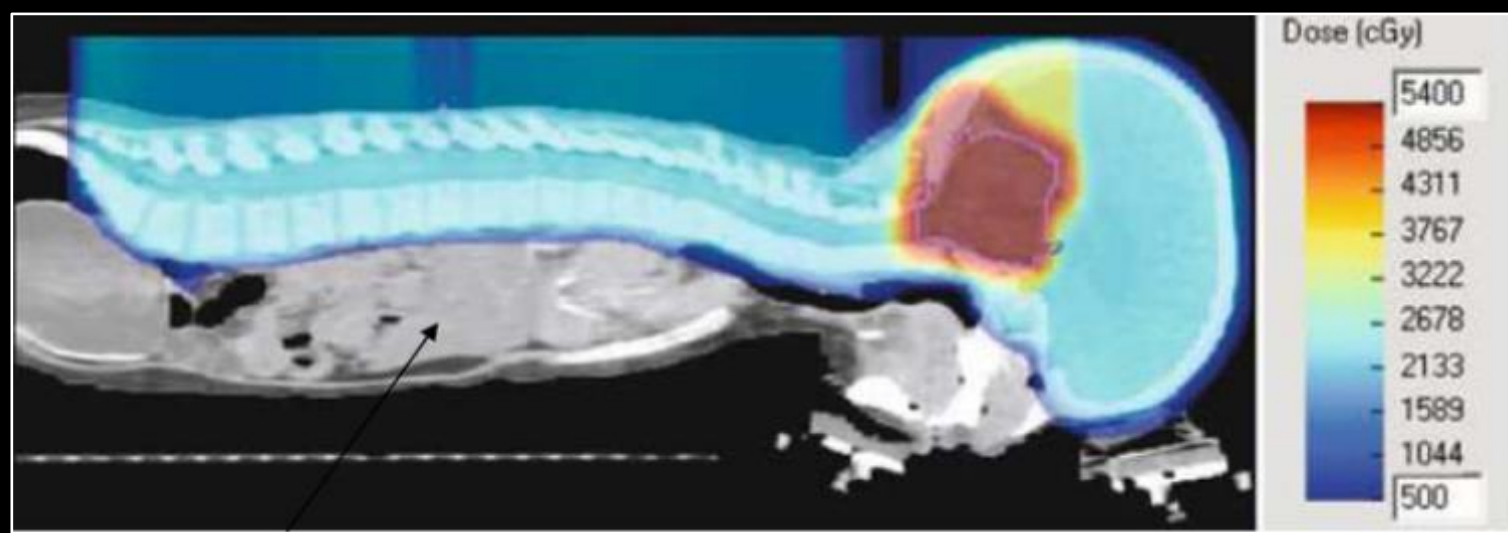
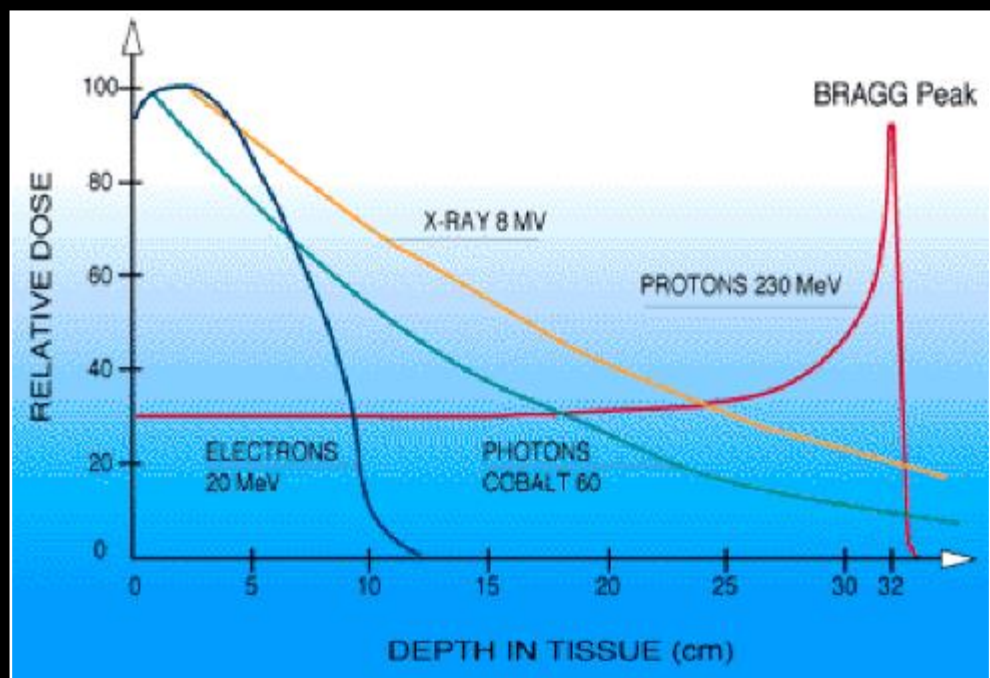
Kis E-s (6 MV-s foton) LinAc robotkaron
(kollimátorok kónuszok)



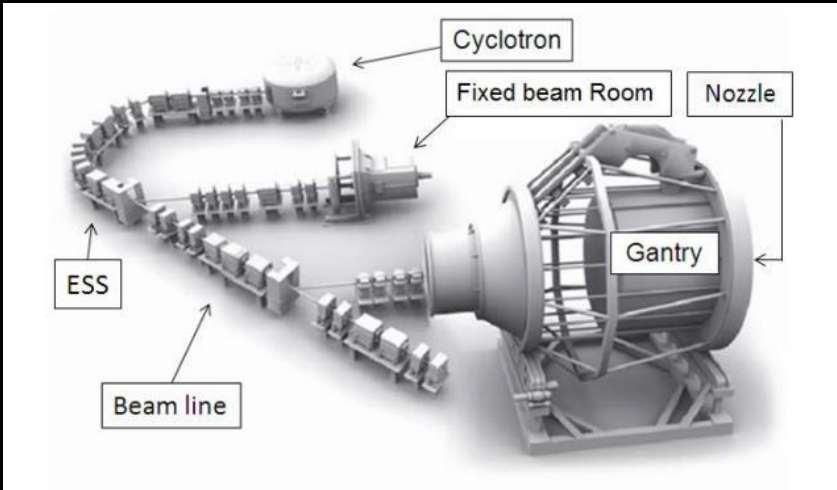
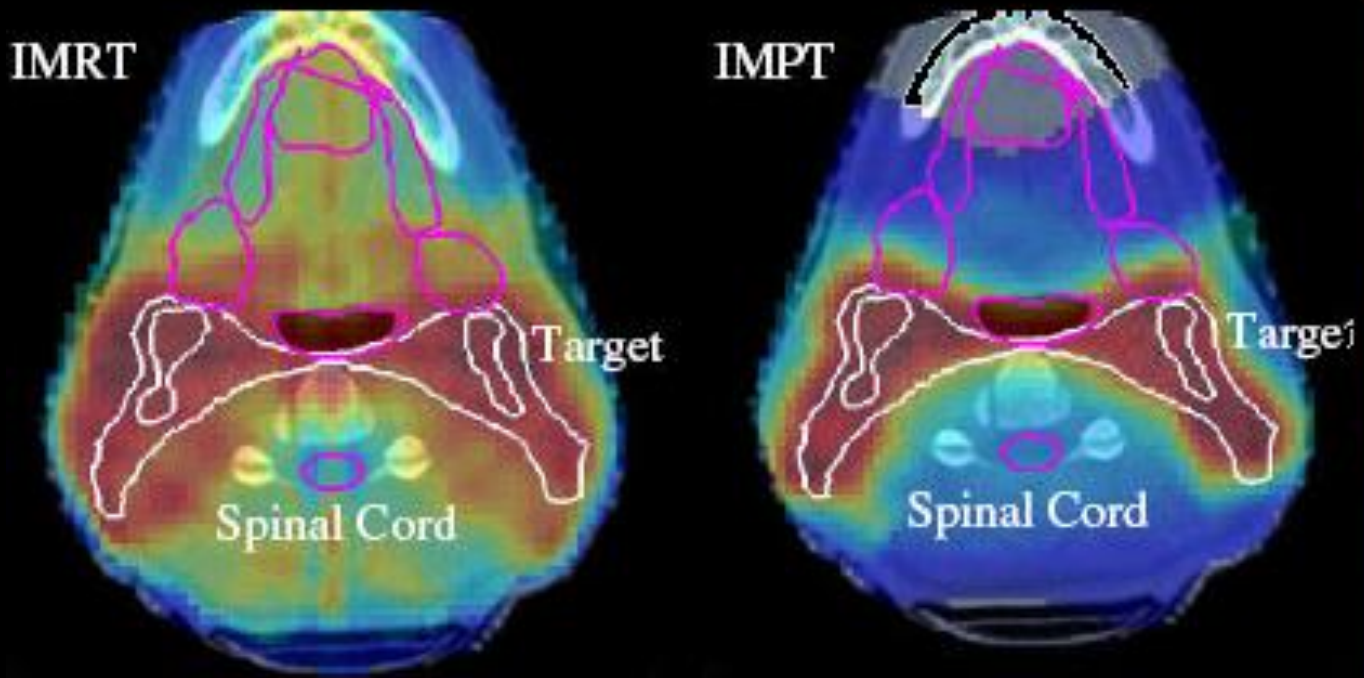
Protonterápia



- 1840x nehezebb e^- -nál →
- nehezebb irányítani
- drágább!!!



Protonterápia





- (**neutron**: bonyolult sugbio., kh.-ok → nem terjedt el)

- legkönnyebb **nehézionok**at is használják (ritka):

C, Ne, Si, Ar

Teleterápia: sugárzás forrása a betegen kívül van
(RTG-, γ -foton, nagy-E e^-)

- LinAc/ Co-ágyú

- egésztest-besugárzás

- teljes bőr besugárzás

- tomoterápia

- sztereotaxia

- Gamma-kés

- Cyberknife

- RTG-terápia

- proton-, nehézion-terápia

→ normál szövetek besugárzása,
mellékhatások, +biztonsági
zónák → nagy céltérfogat

Teleterápia: sugárzás forrása a betegen kívül van
(RTG-, γ -foton, nagy-E e^-)

- LinAc/ Co-ágó

- egésztest-be sugárzás



- Cyberknife

- RTG-terápia

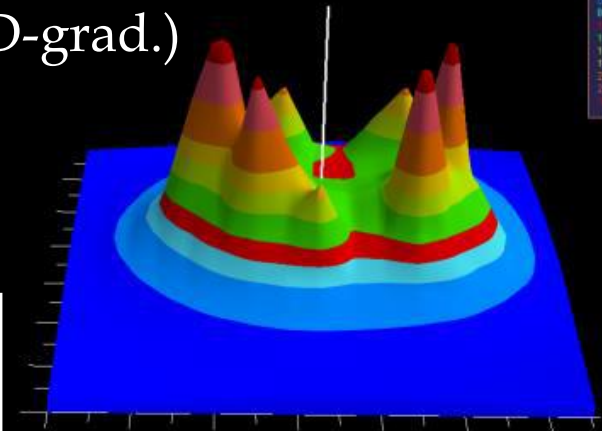
- proton-, nehézion-terápia



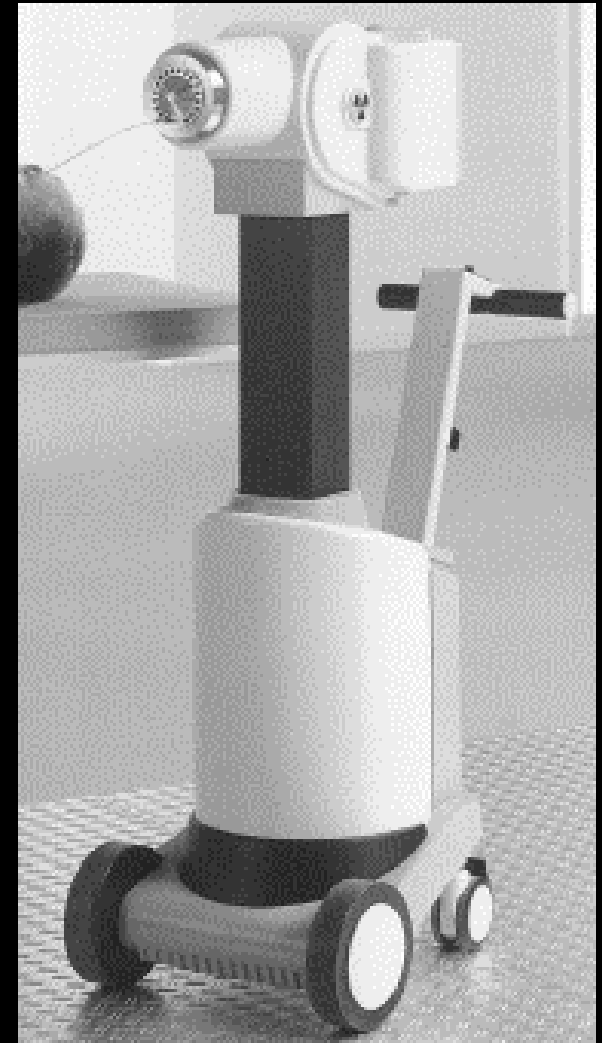
Brachyterápia

→ brachyterápia → kis térfogat nagy D-ú besugárzása → radikális kezelés, normál szövetek védelme, kevesebb mellékhatás, nincs biztonsági zóna

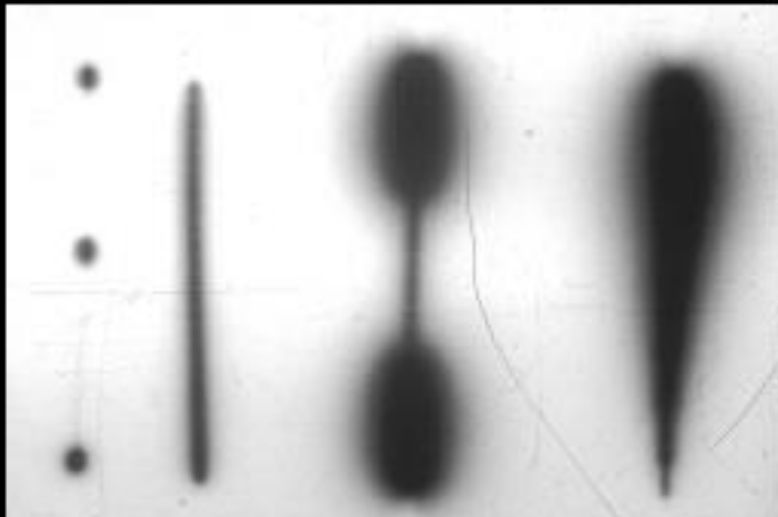
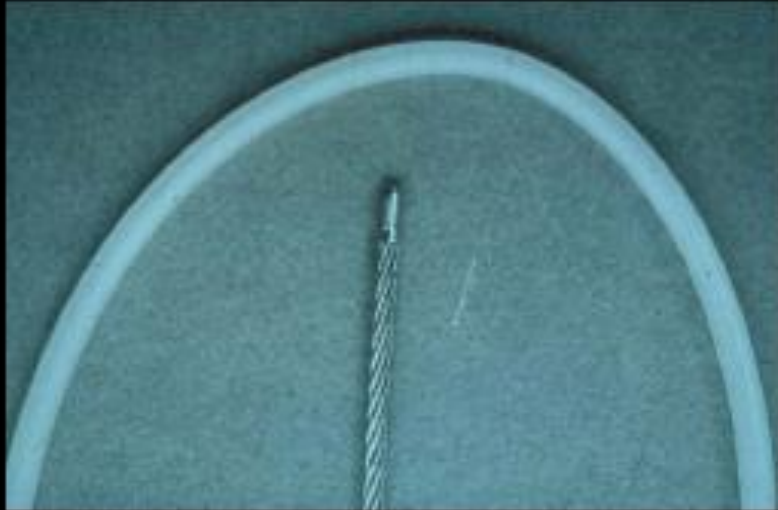
→ DE: kevésbé homogén D-eloszlás (nagy D-grad.)

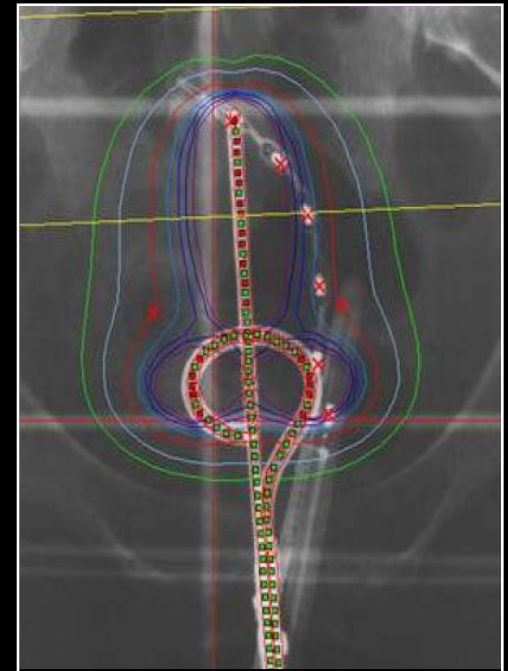


Stepping Source technika



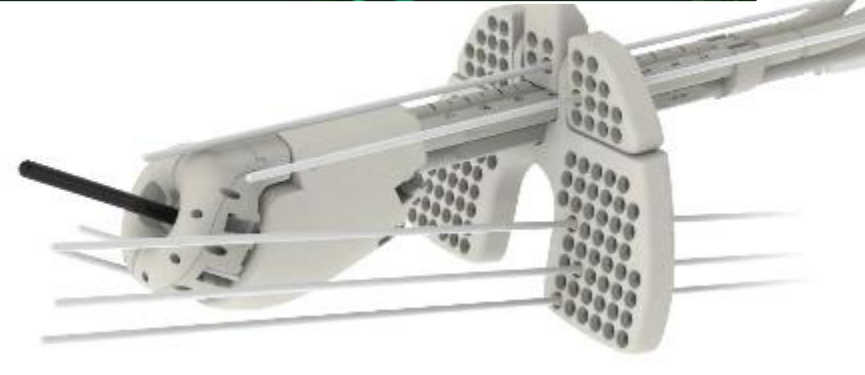
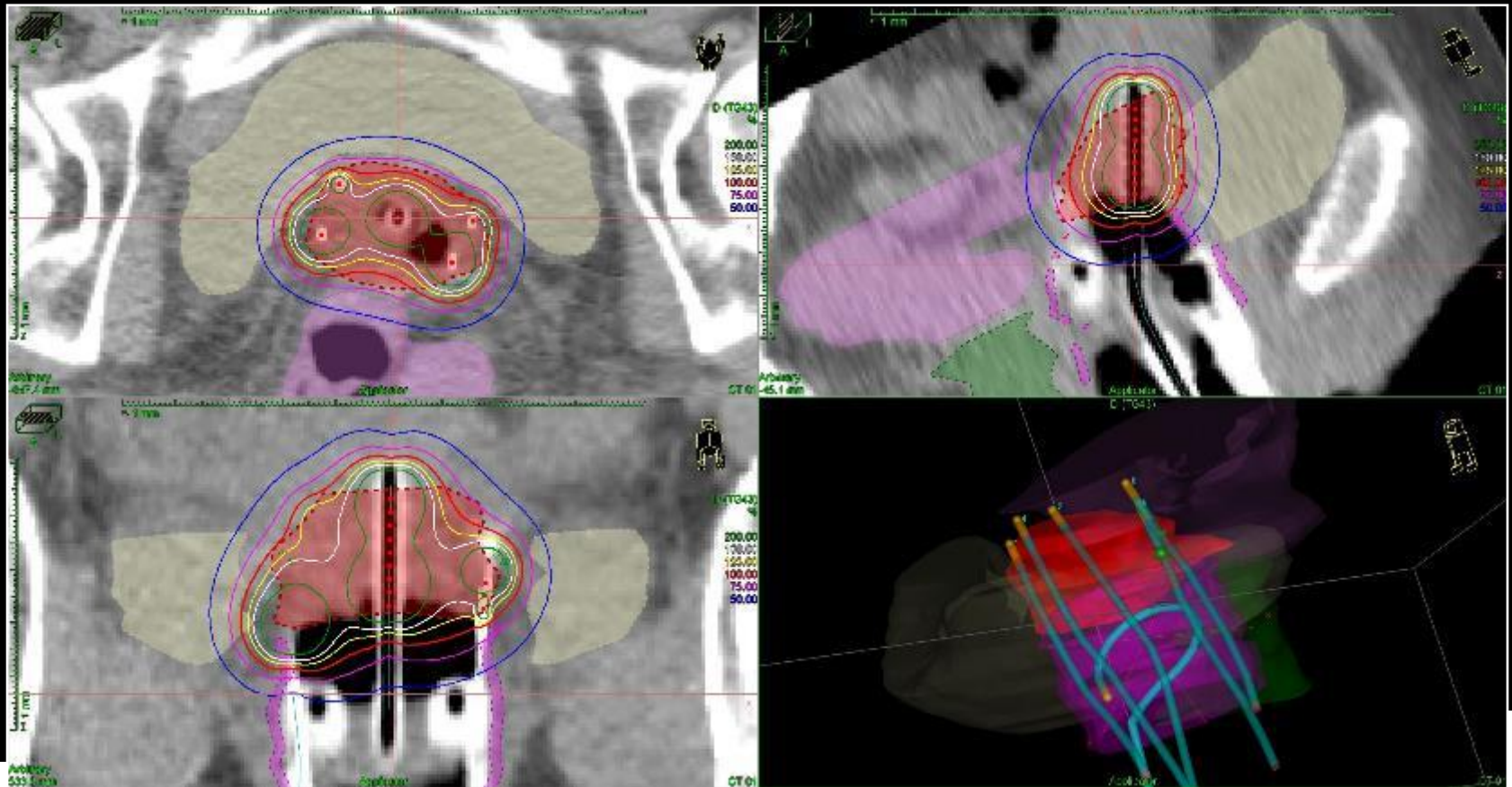
Stepping Source technika





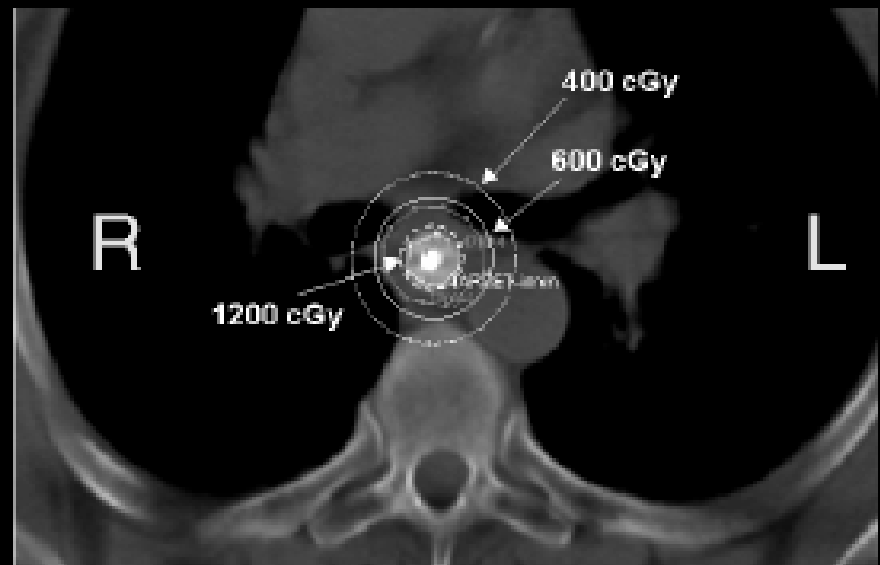
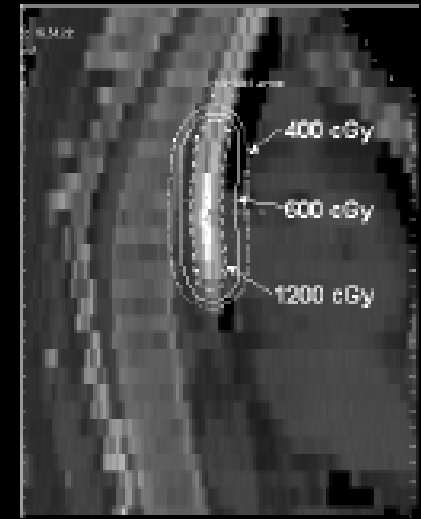
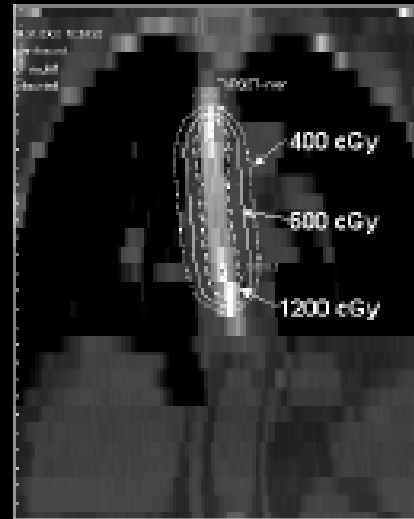
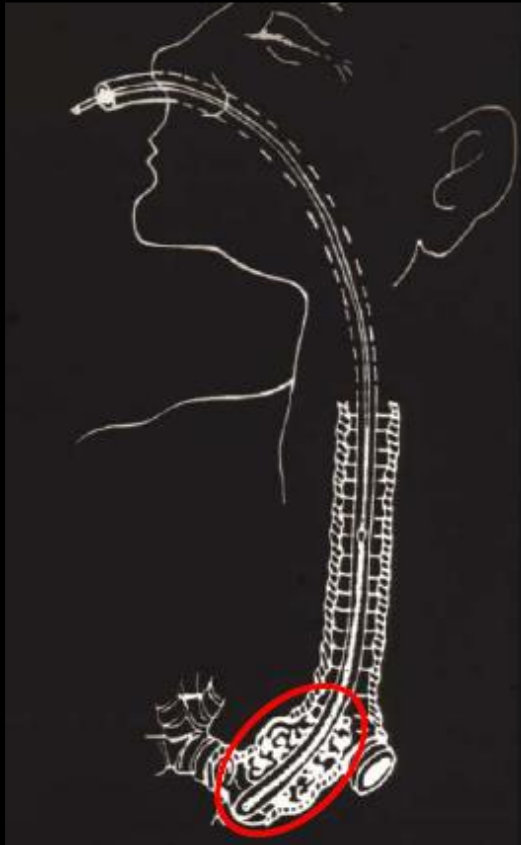
- **intrakavitális BT:** gyn, rektum, orrmelléküreg, orrgaratüreg,...
- **intraluminális:** légcső, nyelőcső
- **felszíni mould:** bőr, szem plakkok
- **intersticiális:** emlő, prosztata, H&N, agy, gyn, lágyrész szarkómák,...
- **ideiglenes beültetések:** HDR izotópok (Ir-192)
- **permanens beültetések:** Very LDR (I-125)

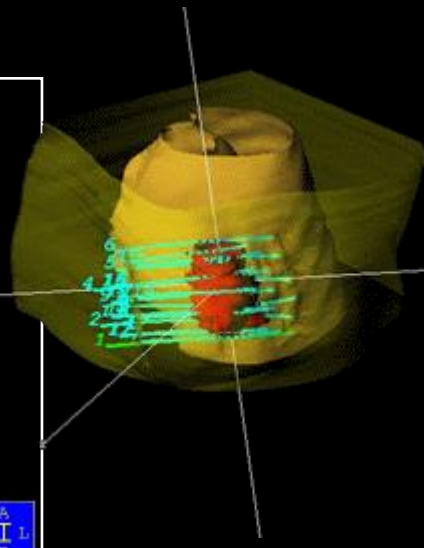
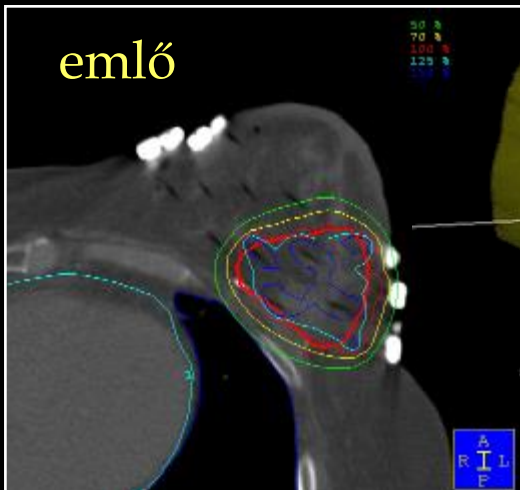
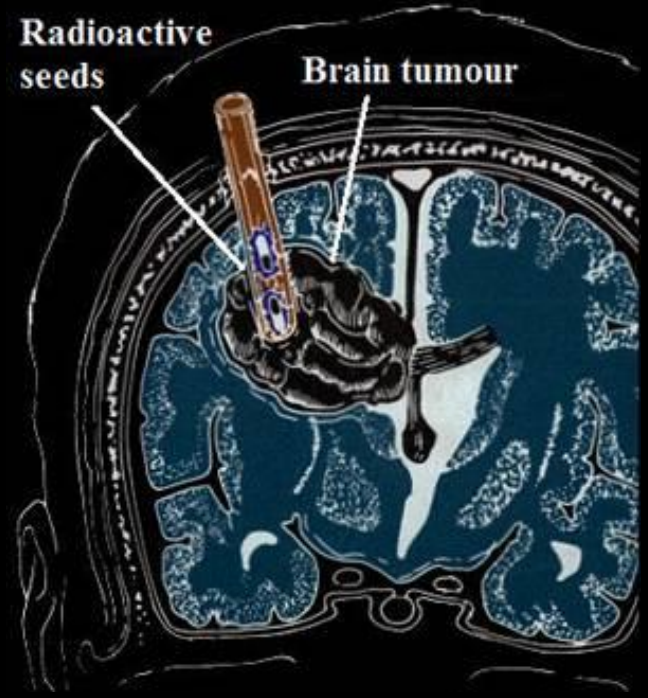
Nőgyógyászati BT - méhnyak



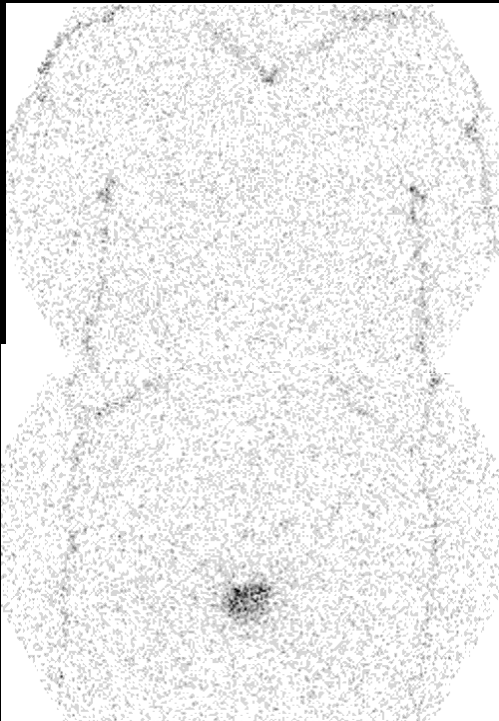
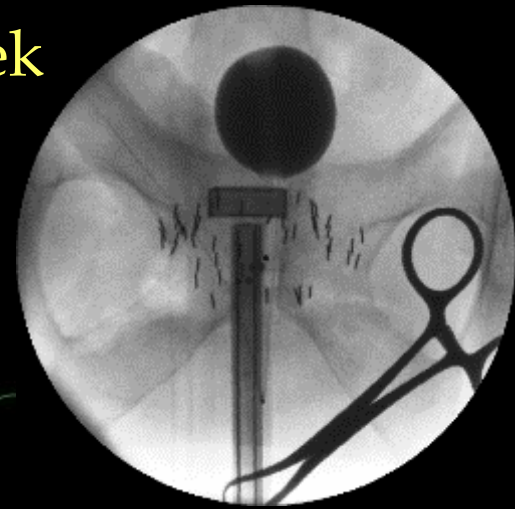
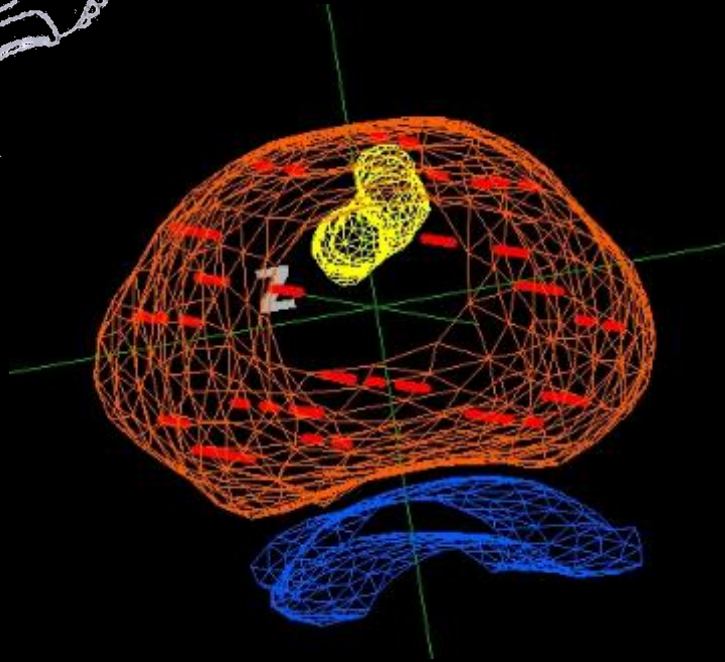
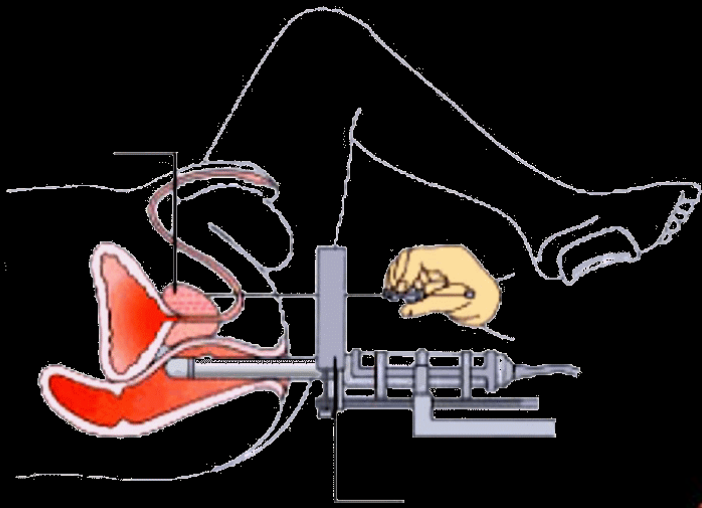
Légcső BT

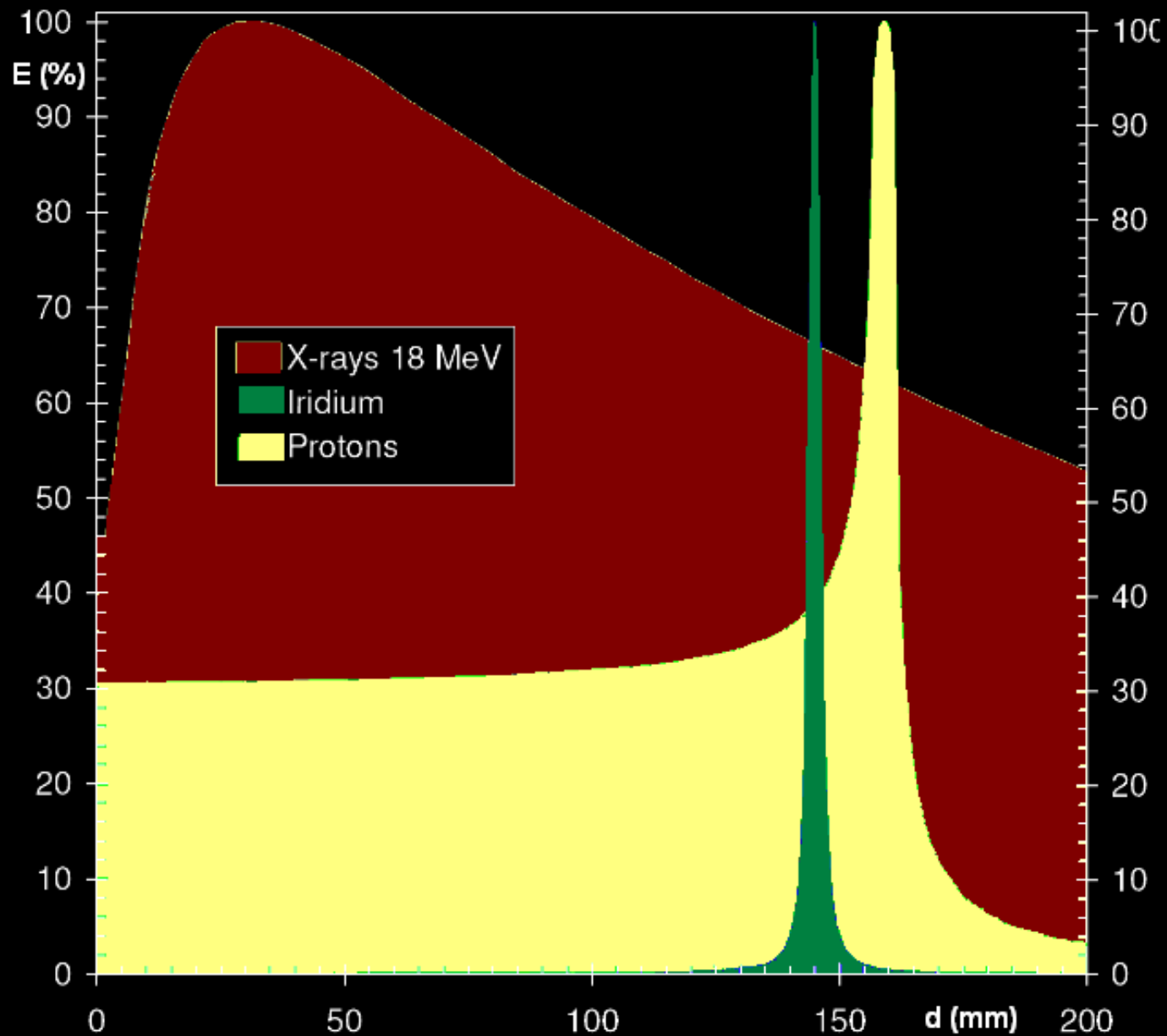
- 1, 2, 3-utas
- palliatív

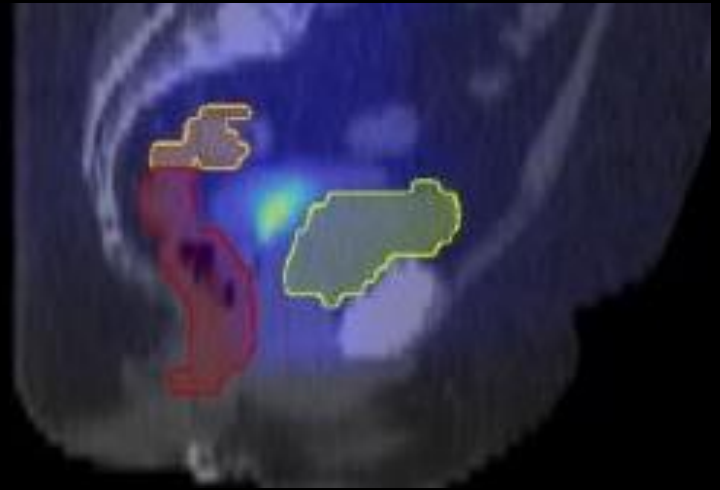
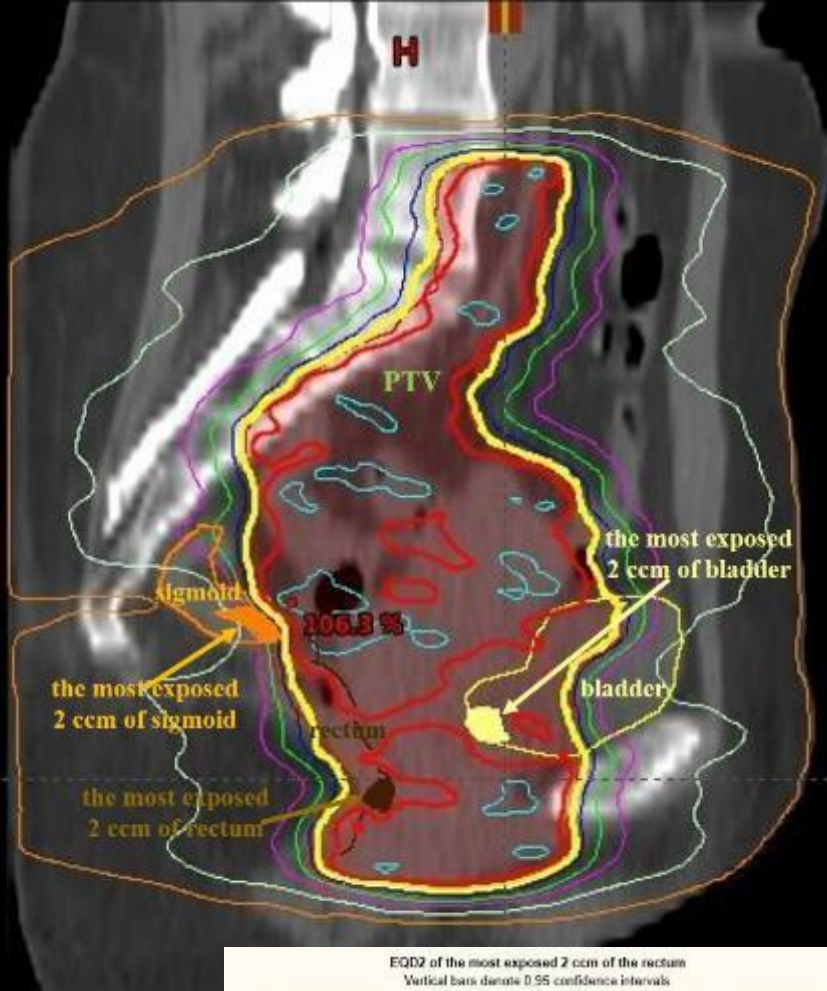




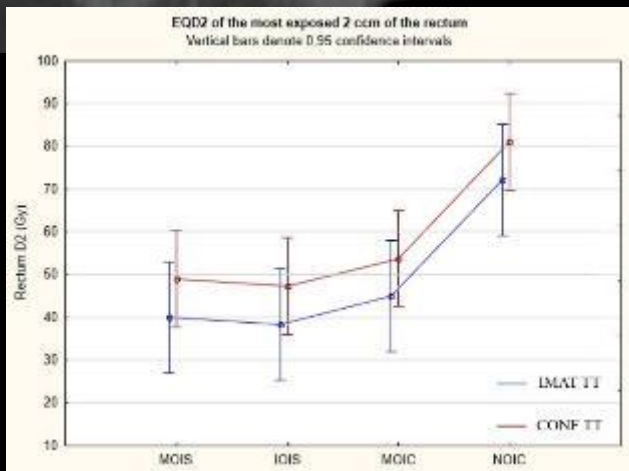
Prosztatatűzdelések







Sagittal
 2022-11-15
 CT Thorax 3.00 Or40 S3
 2023-02-03
 MR t2_space_AXI_288_32.0
 Nav_DoseSum_03



BÁTOR KÜLDETÉSE

Daganatos gyermekeket támogató projekt

Dr. Fröhlich Georgina¹,
Tasnádi Bendegúz², Luca², Hunor²,
Dr. Vízkeleti Júlia¹, dr. Tolvaj Enikő¹

¹Országos Onkológiai Intézet
Sugárterápiás Központ
Budapest

²Dr. Fröhlich Georgina





teva

Emberarcú Egészségért
Díj

<https://onkol.hu/bator-kuldetese/lego-film/>



BÁTOR KÜLDETÉSE

Fontos, hogy egy izgalmas kalanddal könnyebbé tegyük a sugárterápiás kezelést a gyerekek számára.

ÉVENTE
80-100*
DAGANATOS
GYERMEK
KERÜL
SUGÁR-
KEZELÉSRE

A KICSIK SZÁMÁRA FÉELMETES
KÖZEG MEGNEHEZÍTI A
GYÓGYÍTÁST...

LEGYEN
EGY
IZGALMAS
KALAND IS!

~ 10 500 gyermek világszerte (≤ 14 év) / év**

<https://onkol.hu/bator-kuldetese/>

RICHTER ANNA DÍJ
Szívügyünk a fejlődés

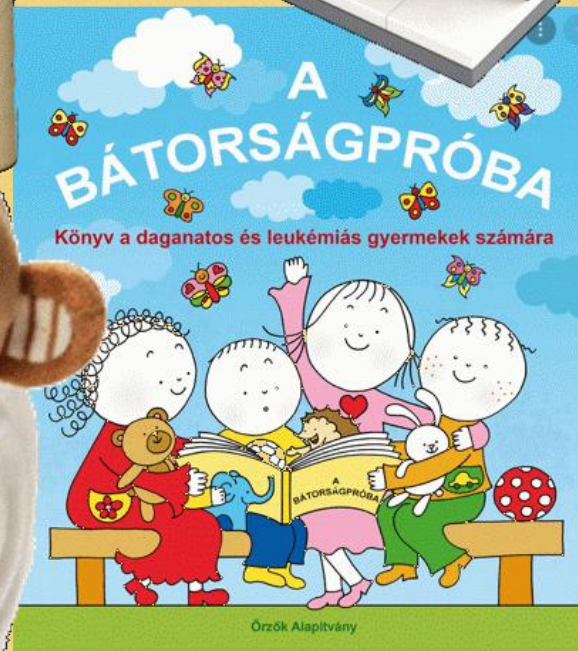
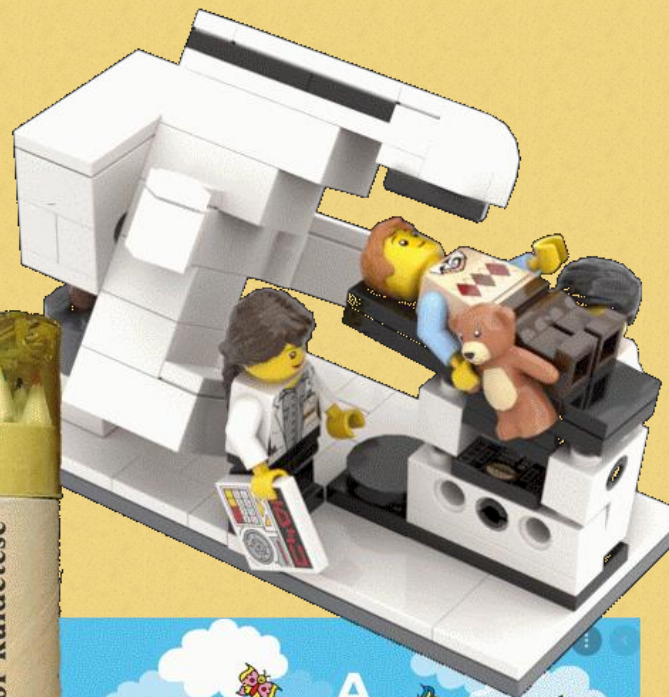
*Mo. -on

**<https://www.childrenscancercause.org/facts>

Az ajándékdohoz



BÁTOR KÜLDETÉSE



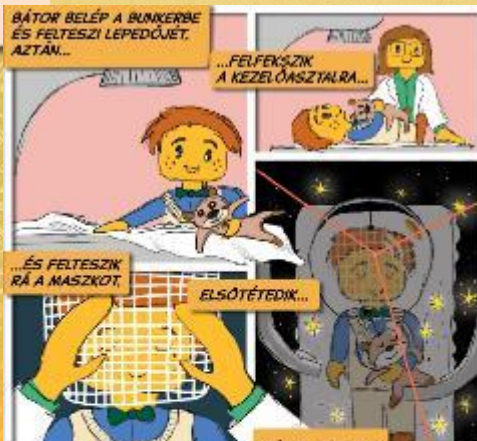
Az ajándékok



BÁTOR KÜLDETÉSE

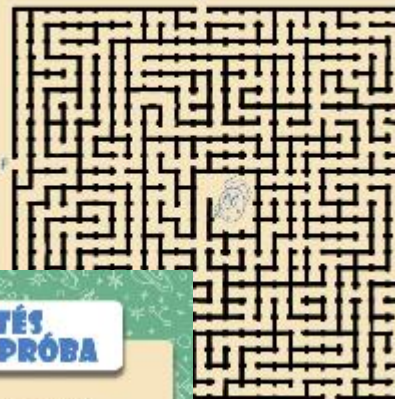


Küldetésfüzet



1. KÜLDETÉS ELEKTRON-LABIRINTUS

MERRE SZÖKHEK KI AZ ELEKTRON A BUNKERBŐL?



4. KÜLDETÉS FEJTSD MEG!

EGY ELEKTRON ÉS EGY FOTON BESZÉLGET A BUNKERBEN. MÉRŐK BESZÉLNEK?
(A FELTÉTEL A RADIÓAKTÍVITÁST AZŰR JELKÖZELÉS VALÓTÍTEL)



Dr. György Kocsis: Helyettesítéskészítő 1. (gyakorló) - Győr-Ménfőcsanak

5. KÜLDETÉS NEVESS!

-MIÉRT ZAVARTÁK KI A PROTONT A BUNKERBŐL?
- MERT TÁRSZÍTOTTA A TÖBBIEKET.

-MIVEL HŐDÍT A LINEÁRIS GYORSÍTÓ?
- A KISUGÁRZÁSÁVAL.

-MI AZ, AMIT HIÁBA KÉRSZ EGY RADIOAKTÍV ANYAGTÓL?
- NE BOMOLJ!

KÉT ELEKTRON TALÁLKOZIK EGY SUGÁRNYALÁBban. AZ EGYIK AZT MONDJA A MÁSIKNAK:
- MIVEN TÖLTÖTT VAGY!
MIRE A MÁSIK:
- HÁT TE SEM VAGY COULOMB!

JEAN, AZONNAL KAPCSOLJA BE A LINEÁRIS GYORSÍTÓT! SAJNOS KÉSÉSBEN VAGYOK...



6. KÜLDETÉS BÖLCSESSÉG-PRÓBA

- HOGY NÉVŰ AZ AGGUSZTINUS, AKI KEZEL TÉGED?
(K) _____
- MI VOLT BÁTOR KÜLDETÉSE?
(A) MEGMÉRTEM A FOTON-ÁRNYÉKOT
(B) MEGMENTEM A MACSKAJÁT
(C) LEGYŐZTEM A BOLYGÓ MESTÁRADÓT
- ADJ NEVET BÁTOR NŐS MACSKAJÁNAK!
(L) COULOMB
(M) MEG
(N) FOTON
(O) _____
- MILYEN RÉSZEGESNÉVEL ZAJLIK A BESUGÁRZÁS?
(B) CUKOR
(D) FOTON
(P) POR
- MIFELÉ KELL CÖMÖLNÖM SUGÁRKEZELÉS KÖZBEN?
(A) LEGŐZNI
(D) ÉNEKELNI
(E) MOZDULATLANUL FÉKEDNI

7. KÜLDETÉS ÜTLEVEL

PECSÉTFYŰJTŐ

1. ültetvély	2. ültetvély	3. ültetvély	4. ültetvély	5. ültetvély
6. ültetvély	7. ültetvély	8. ültetvély	9. ültetvély	10. ültetvély
11. ültetvély	12. ültetvély	13. ültetvély	14. ültetvély	15. ültetvély
16. ültetvély	17. ültetvély	18. ültetvély	19. ültetvély	20. ültetvély
21. ültetvély	22. ültetvély	23. ültetvély	24. ültetvély	25. ültetvély
26. ültetvély	27. ültetvély	28. ültetvély	29. ültetvély	30. ültetvély
31. ültetvély	32. ültetvély	33. ültetvély	34. ültetvély	35. ültetvély

HA TELJESÍTETTED A KÜLDETÉST,
MUTASD BE EZT A LEPECSÉTELT ÜTLEVELET
A KEZELŐORVOSODNAK!



Letölthető:

<https://onkol.hu/bator-kuldetese/>



Aranyérem





Fényfestés



Fényfestés





Köszönöm a
figyelmet!

