

# *Sugárterápiás besugárzás-tervezés*

**Dr. Fröhlich Georgina**

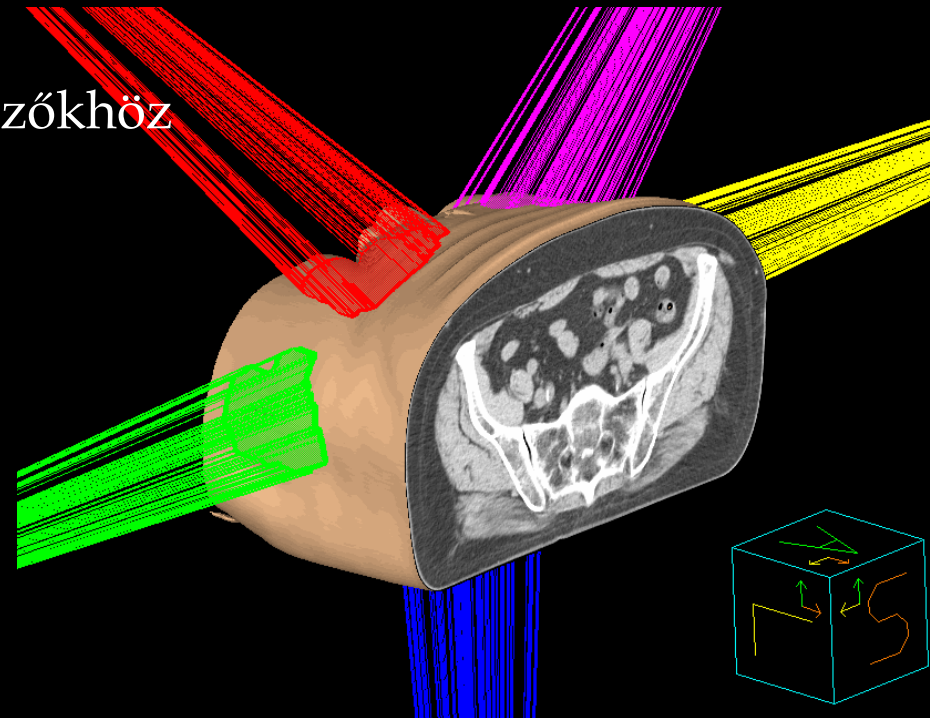
Országos Onkológiai Intézet  
Sugárterápiás Központ  
Budapest



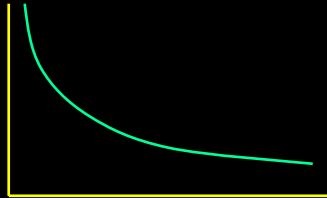
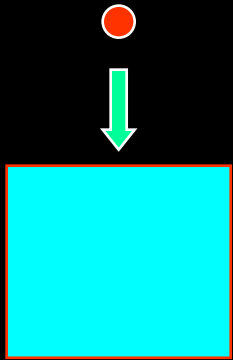
*Ionizáló sugárzások a gyógyításban  
ELTE TTK, Budapest*

# Tervezőrendszerek (TPS) adatszükséglete

- Besugárzókészülék geometriai adatai
- Mélydózis-görbék és dózisprofilok
- Mezőmódosító eszközök (ékek, blokkok, kompenzátorok) fizikai és geometriai paraméterei
- Monitoregységek nyílt és ékelt mezőkhöz a dózisteljesítmény jellemzésére



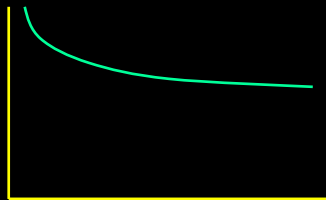
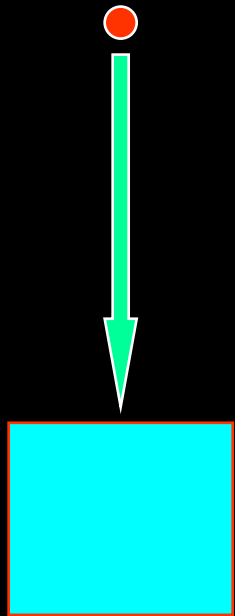
# Dozimetria



Szkennelhető vízfantom:

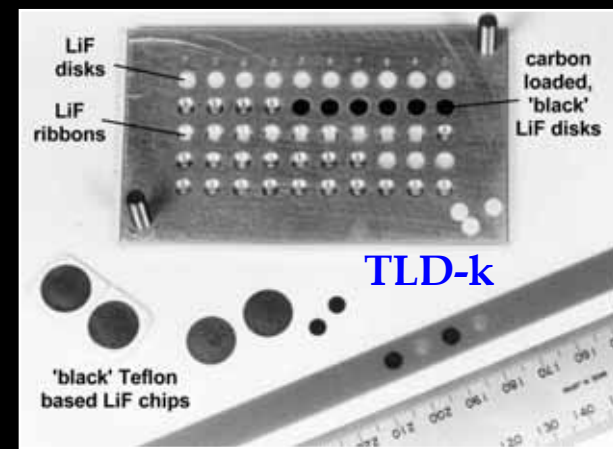


← fordított négyzetes tv.

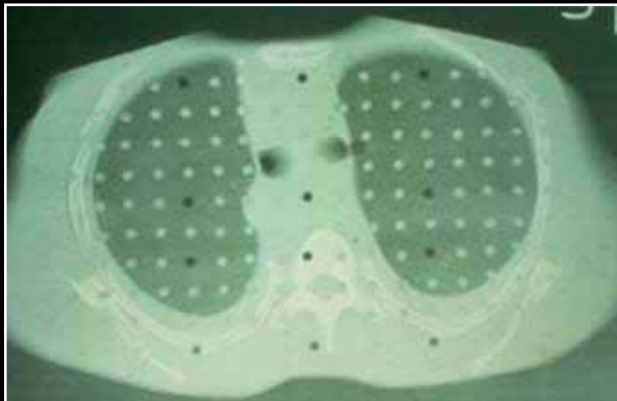


# Dozimetria

Szövetekvivalens lapfantom:  
polisztrén/perspex (PMMA, plexiüveg)

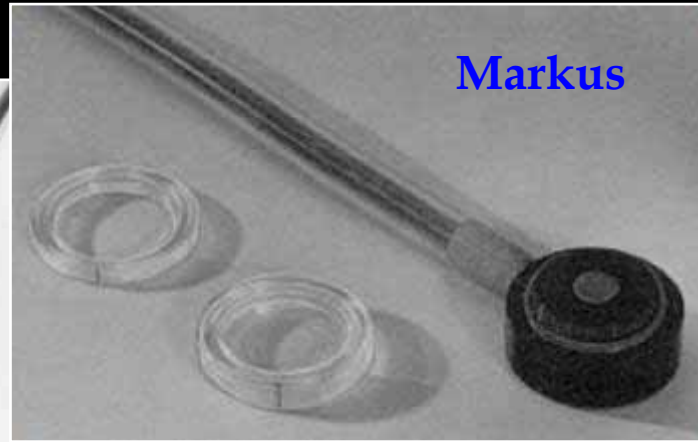


Antropomorf fantom:  
Alderson Rando

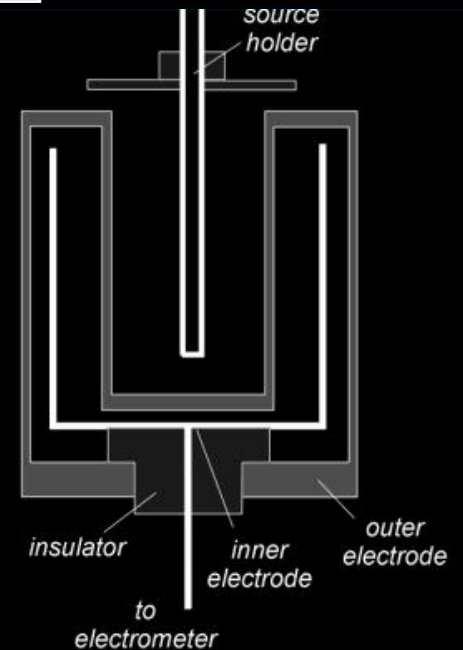
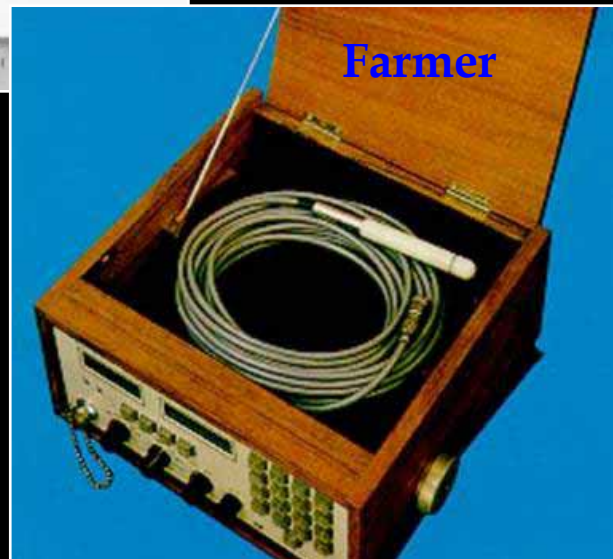


# Dozimetria

## Ionkamrák



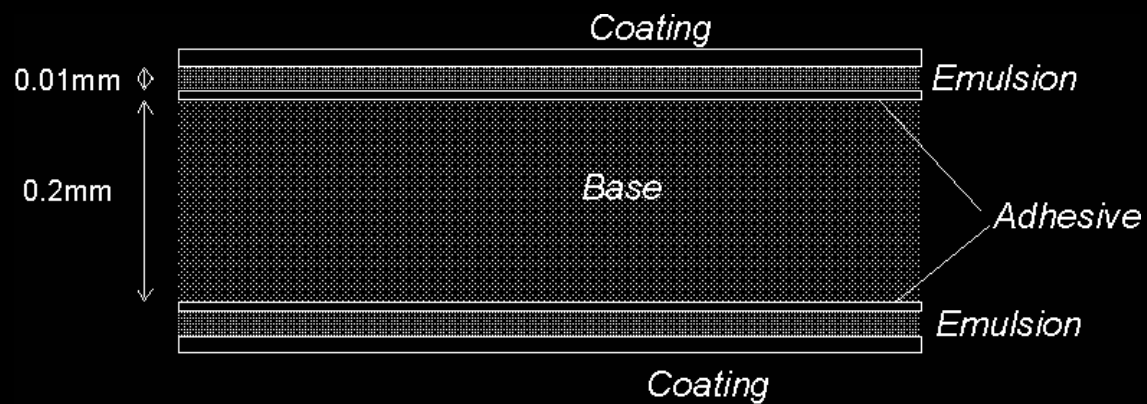
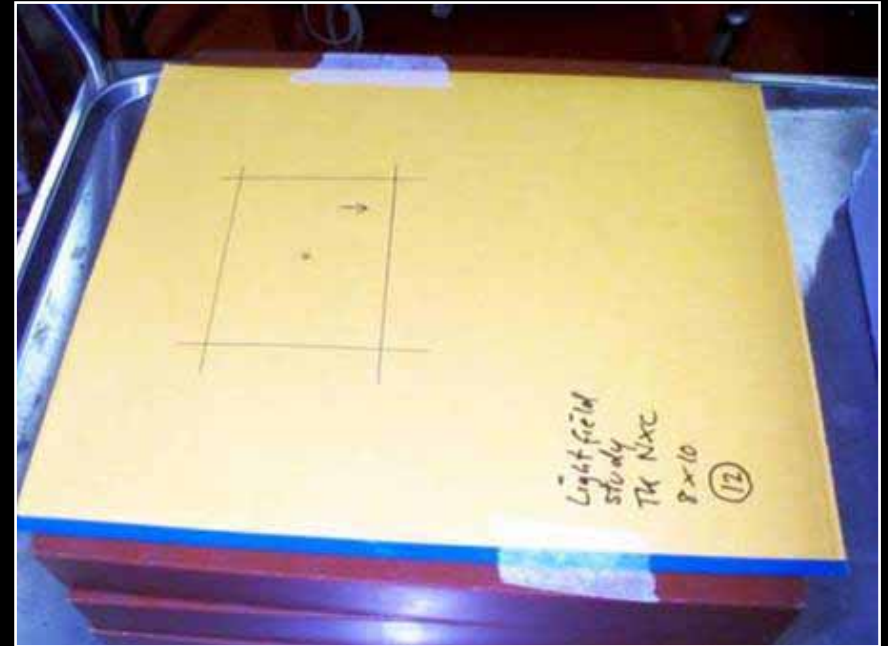
**Well-type  
→ BT**





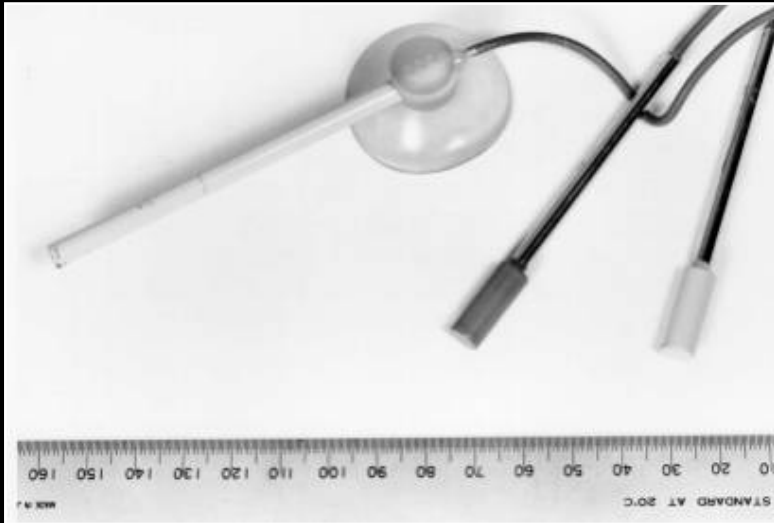
# Dozimetria

## RTG-film



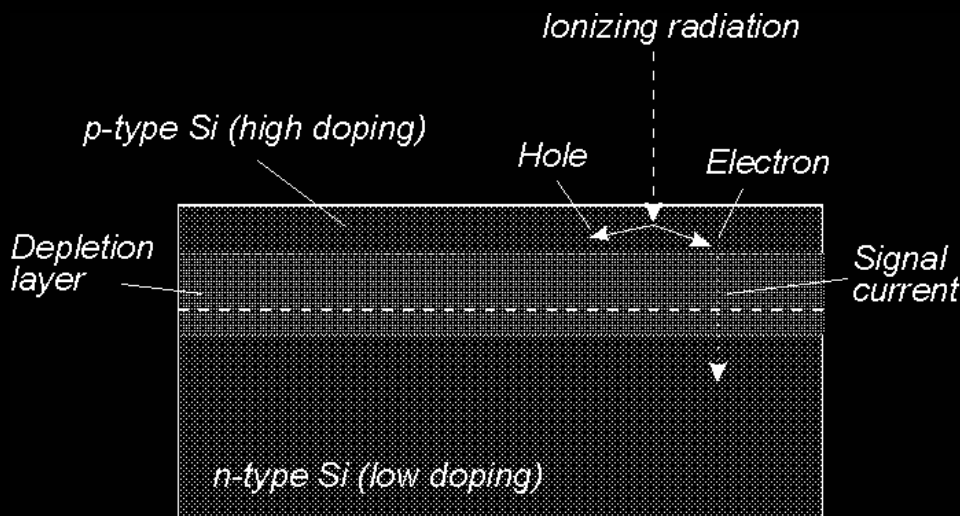
# Dozimetria

## Félvezető eszközök



diódák

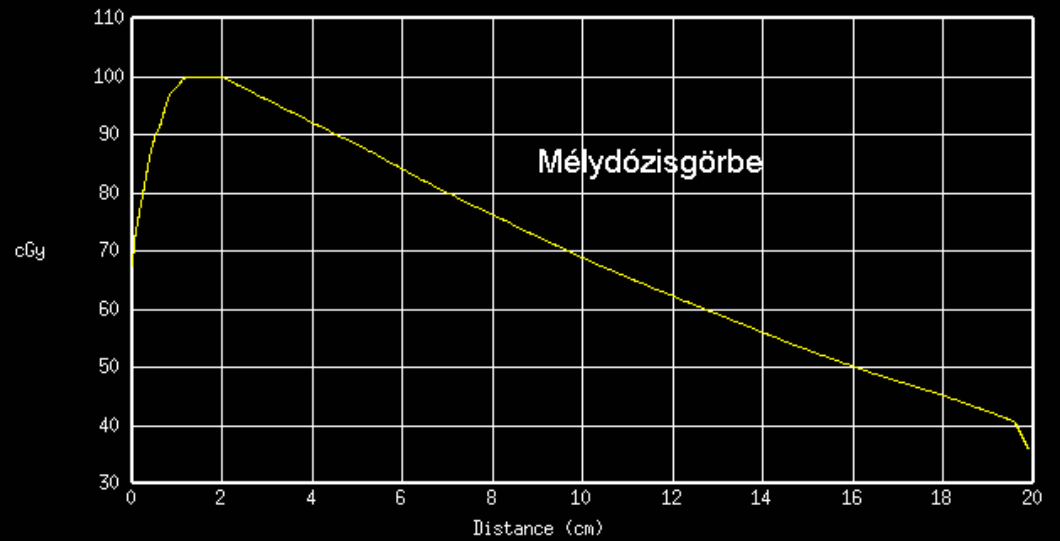
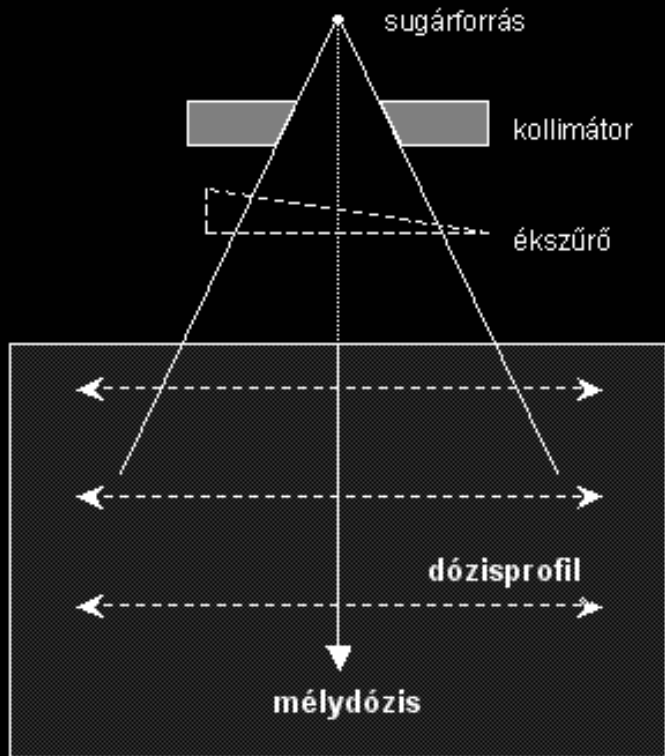
MOSFET detektorok  
(Metal Oxide  
Semiconductor Field  
Effect Transistor)



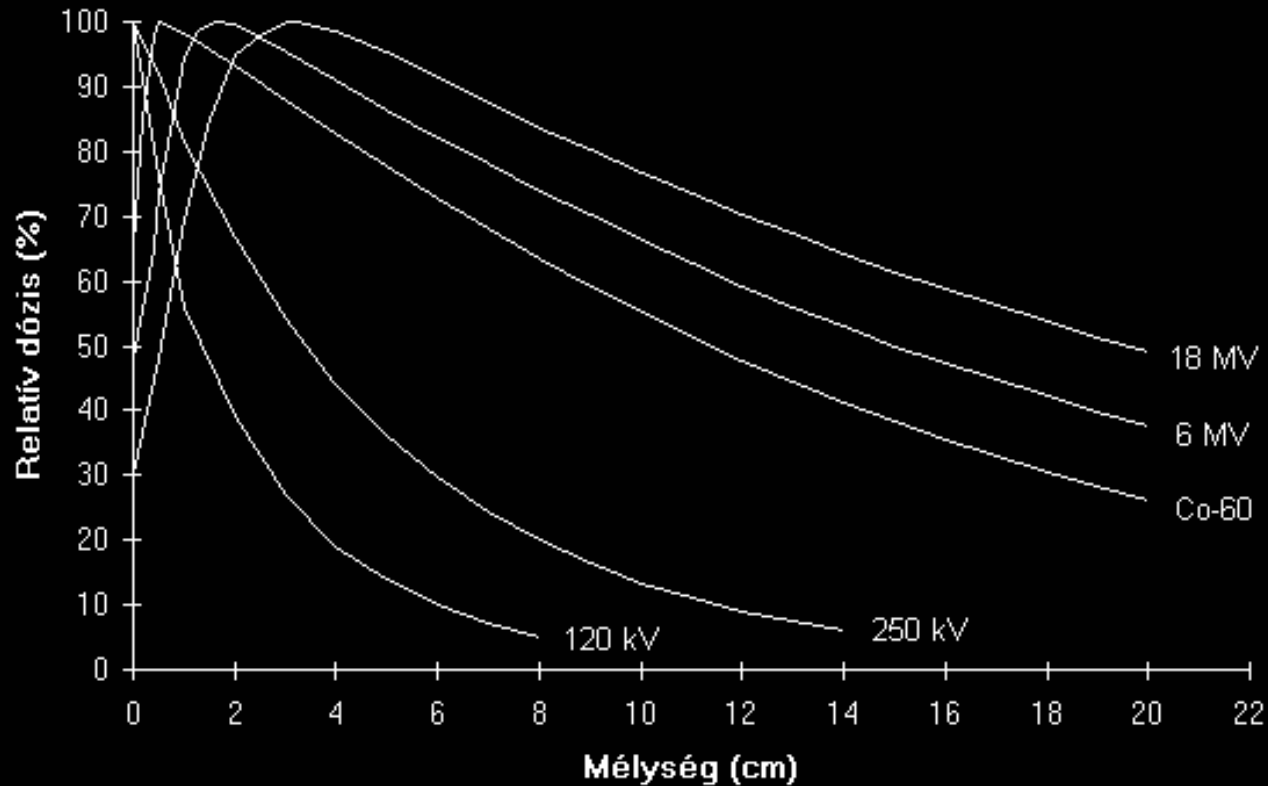
# Dozimetria

	<b>Ionkamrák</b>	<b>Félvezetők</b>	<b>TLD-k</b>	<b>Film</b>
<b>Előnyök</b>	Jól értett, pontos, sokféle alakú	Kicsi, robosztus	Kicsi, nem kell kábel	2D-s, könnyű használni
<b>Hátrányok</b>	Nagy, nagyfesz. kell	Hőmérséklet-függő	Késleltetett kiolvasás, bonyolult kezelés	Nem szövetekvivalens, nem reprodukálható
<b>Használat</b>	Referencia-dozimetria, nyaláb-pásztázás	Nyaláb-pásztázás, in vivo dozimetria	D-verifikáció, in vivo dozimetria	QA, dózis-eloszlás becslése
<b>Egyéb</b>	Leggyakoribb, fontos technika	MOSFET-ek újak, jobban használhatóak	Dozimetriai összehasonlítások (audit)	Új fejlesztések: radiokróm filmek -> jobban használhatóak



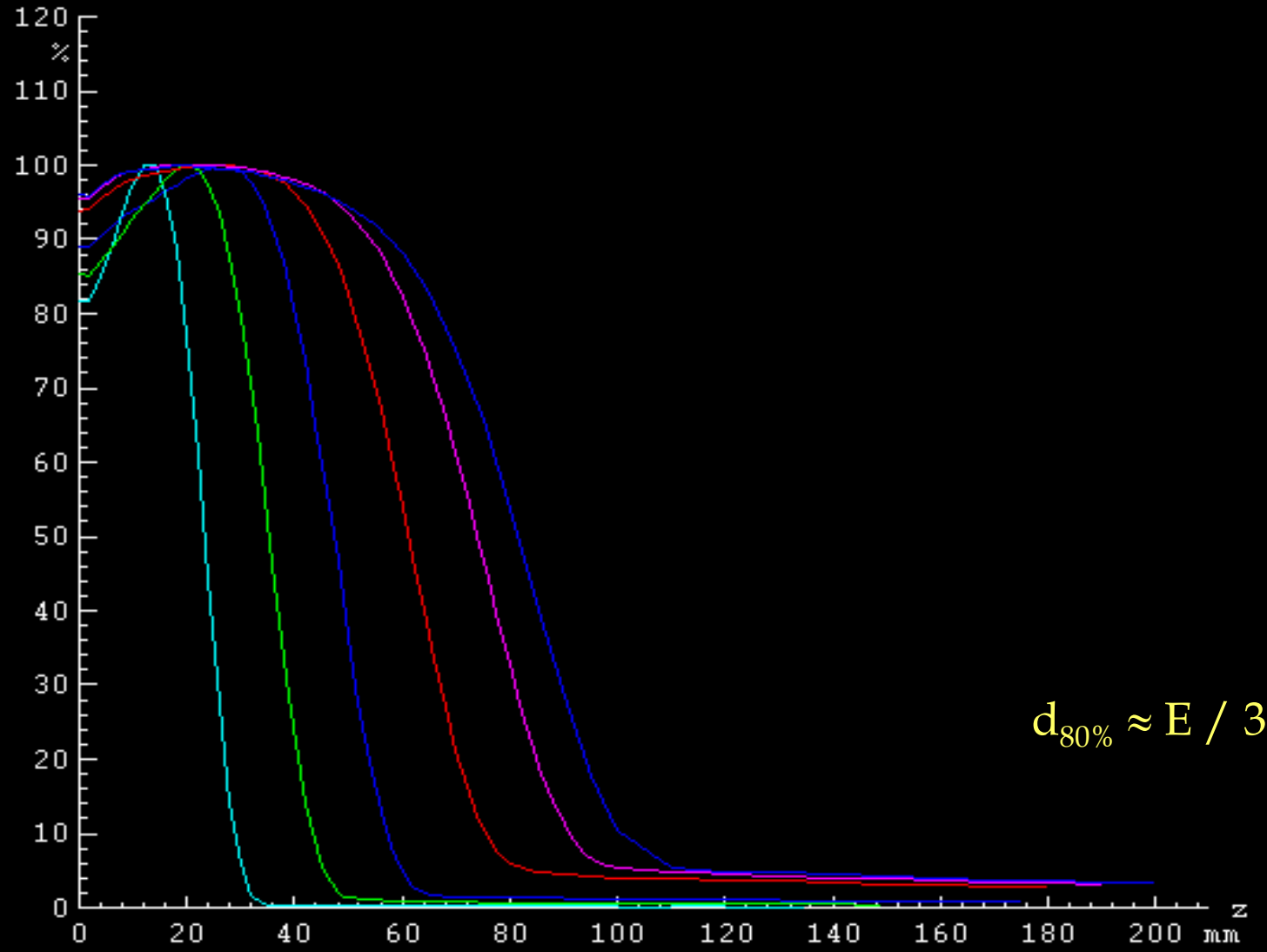


# Különböző energiájú fotonsugárzások mélydózis-görbéi



	Superficial	Orthovoltage	Co-60	4 MV	6 MV	10 MV	18 MV	25 MV
$z_{\max}$ (cm)	0	0	0.5	1	1.5	2.5	3.5	5

# Elektronsugárzás mélydózis-görbéi



# Különböző energiájú fotonmezők dózisprofiljai

Absolute

95,0 cGy

90,0 cGy

80,0 cGy

70,0 cGy

60,0 cGy

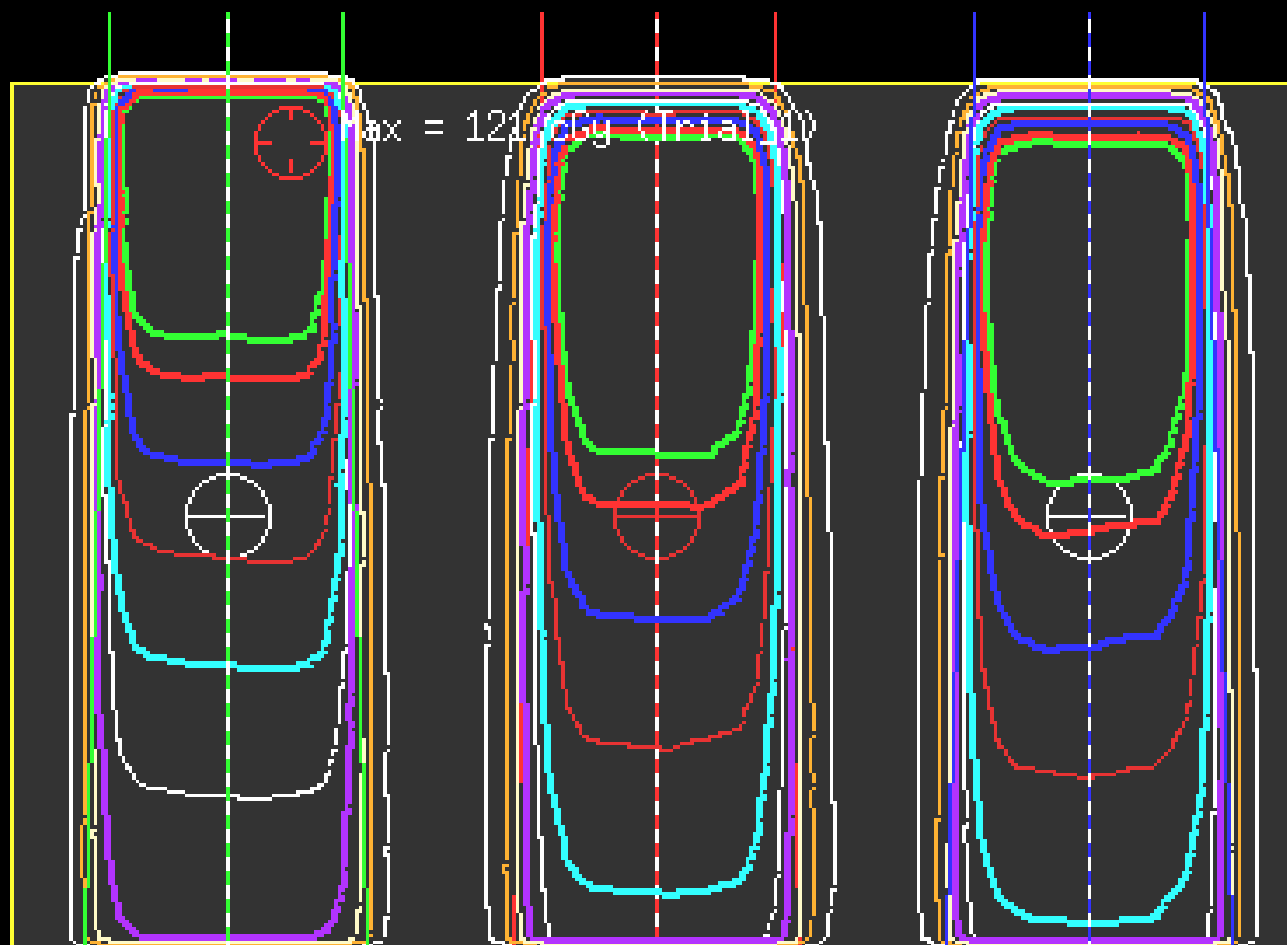
50,0 cGy

40,0 cGy

30,0 cGy

20,0 cGy

10,0 cGy



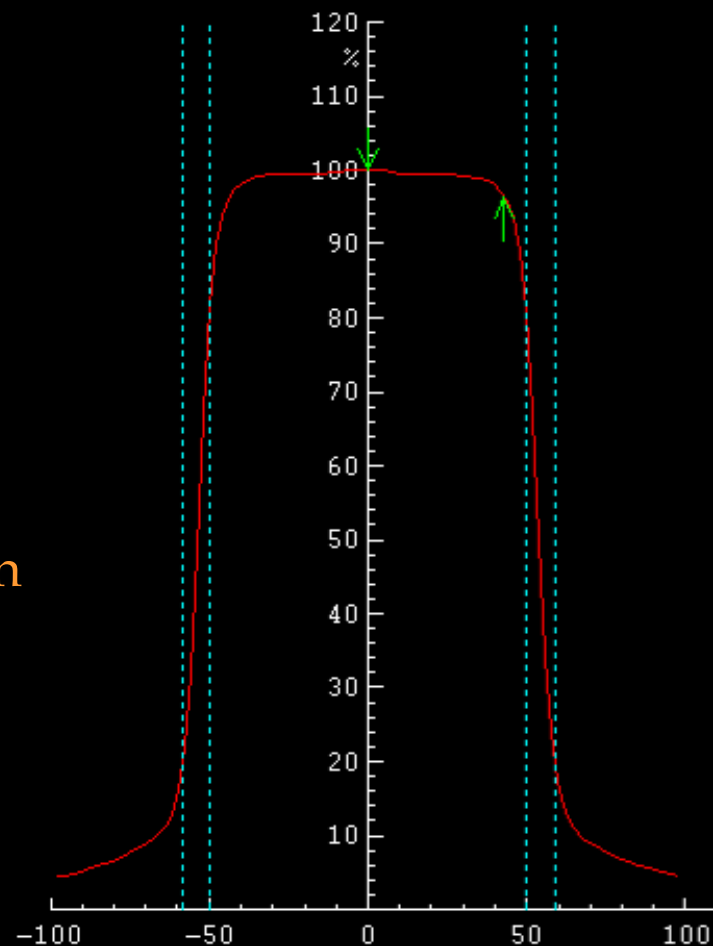
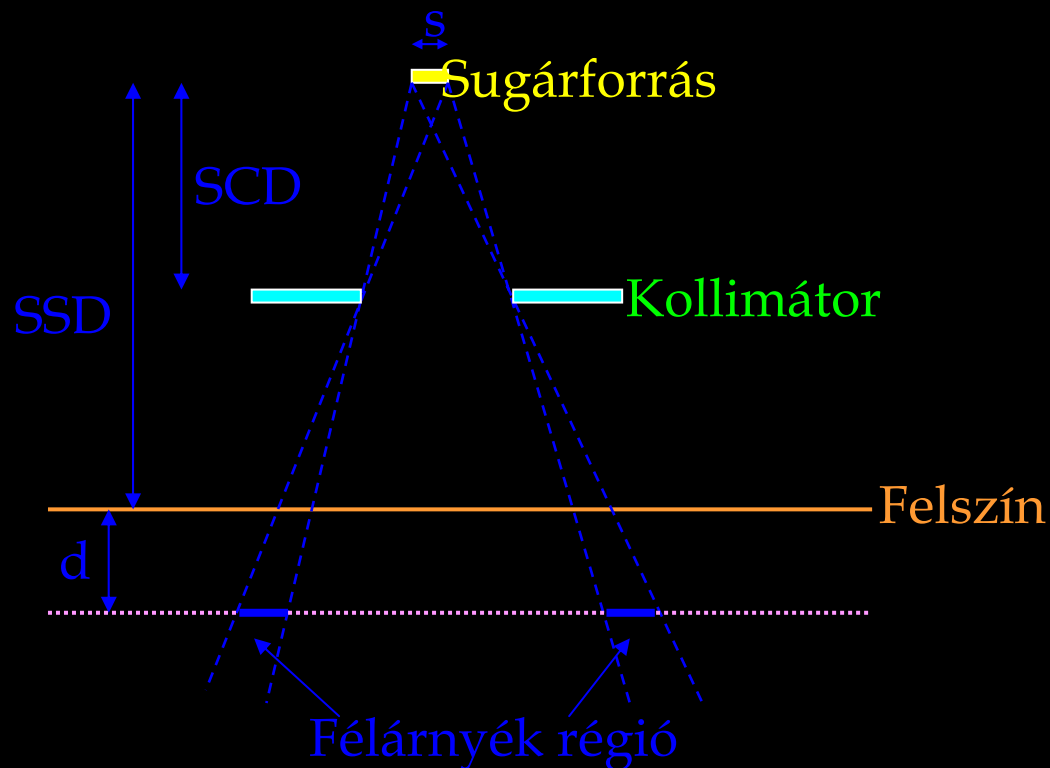
6 MV

18 MV

23 MV



# Geometriai félárnyék (penumbra) kialakulása

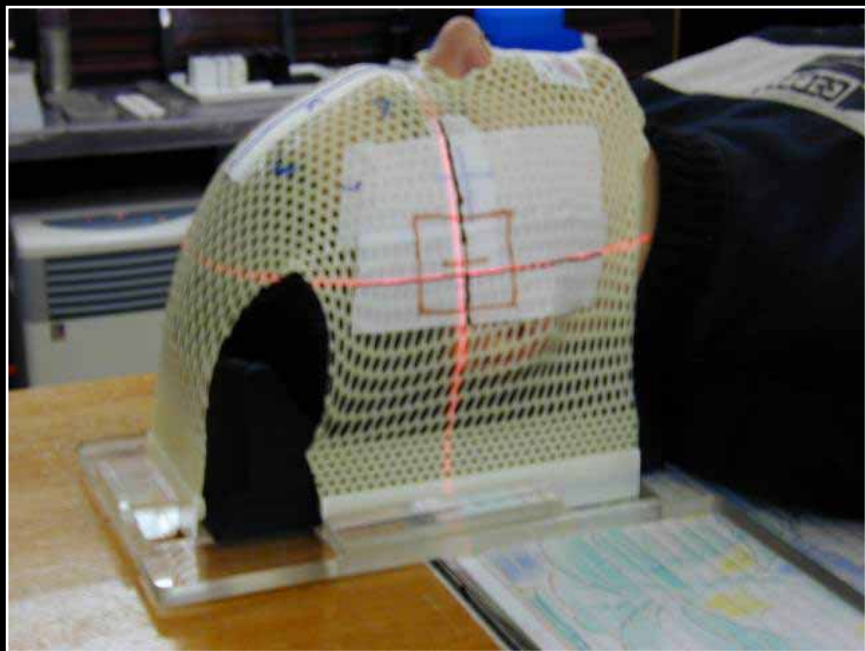
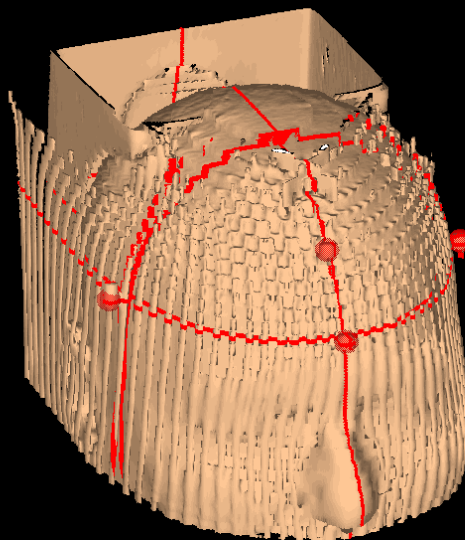




# A besugárzástervezés folyamata

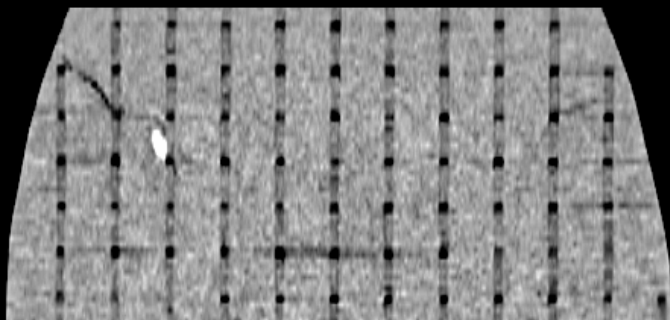
- Beteg fektetése és rögzítése
- Képalkotás (CT, MRI, UH, PET, SPECT)
- Anatómiai szervek berajzolása (kontúrozás)
- Céltérfogat(ok) meghatározása
- Számítógépes dózisterv elkészítése
- Kezelési paraméterek → besugárzókészülék
- Terv ellenőrzése (szimuláció)
- Kezelés ellenőrzése (verifikáció)

# Betegrögzítés

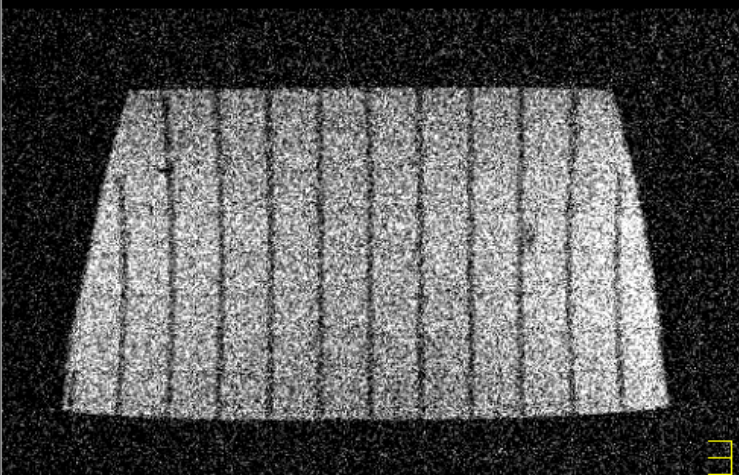


# A képalkotás

- Geometriailag pontosan adja vissza a beteg anatómia viszonyait
- Nyújtson információt a szöveteken belüli elektronsűrűségről (inhomogenitás korrekció)



CT



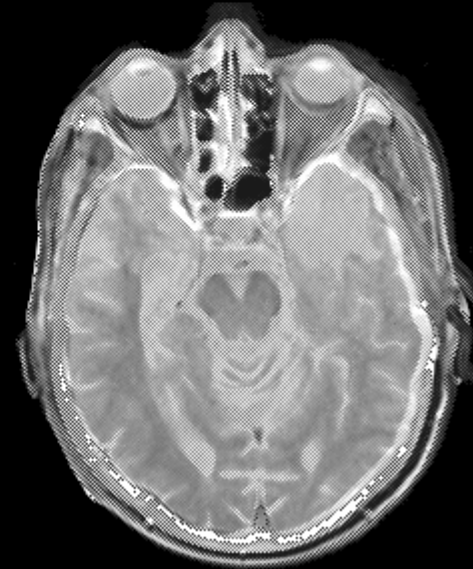
MRI



# CT besugárzás-tervezéshez

- Az asztal felületének egyenesnek kell lennie
- Reprodukálható beteg fektetés (rögzítés)
- Külső jelölések (markerek) használata
- A vizsgálati tartomány > daganat kiterjedése
- Teljes térfogati információ (illeszkedő szeletek)
- Anatómia viszonyoktól függő szeletvastagság
- Hálózati képátvitel a tervezőrendszerhez (DICOM)

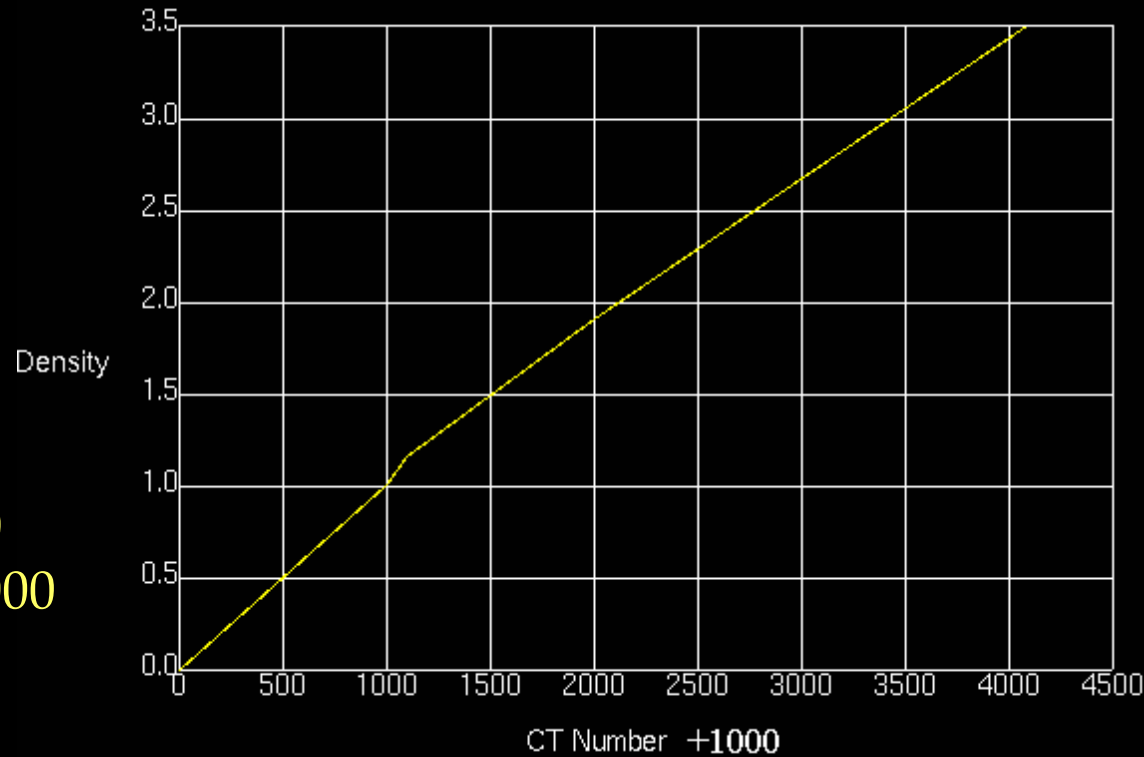
# CT besugárzás-tervezéshez





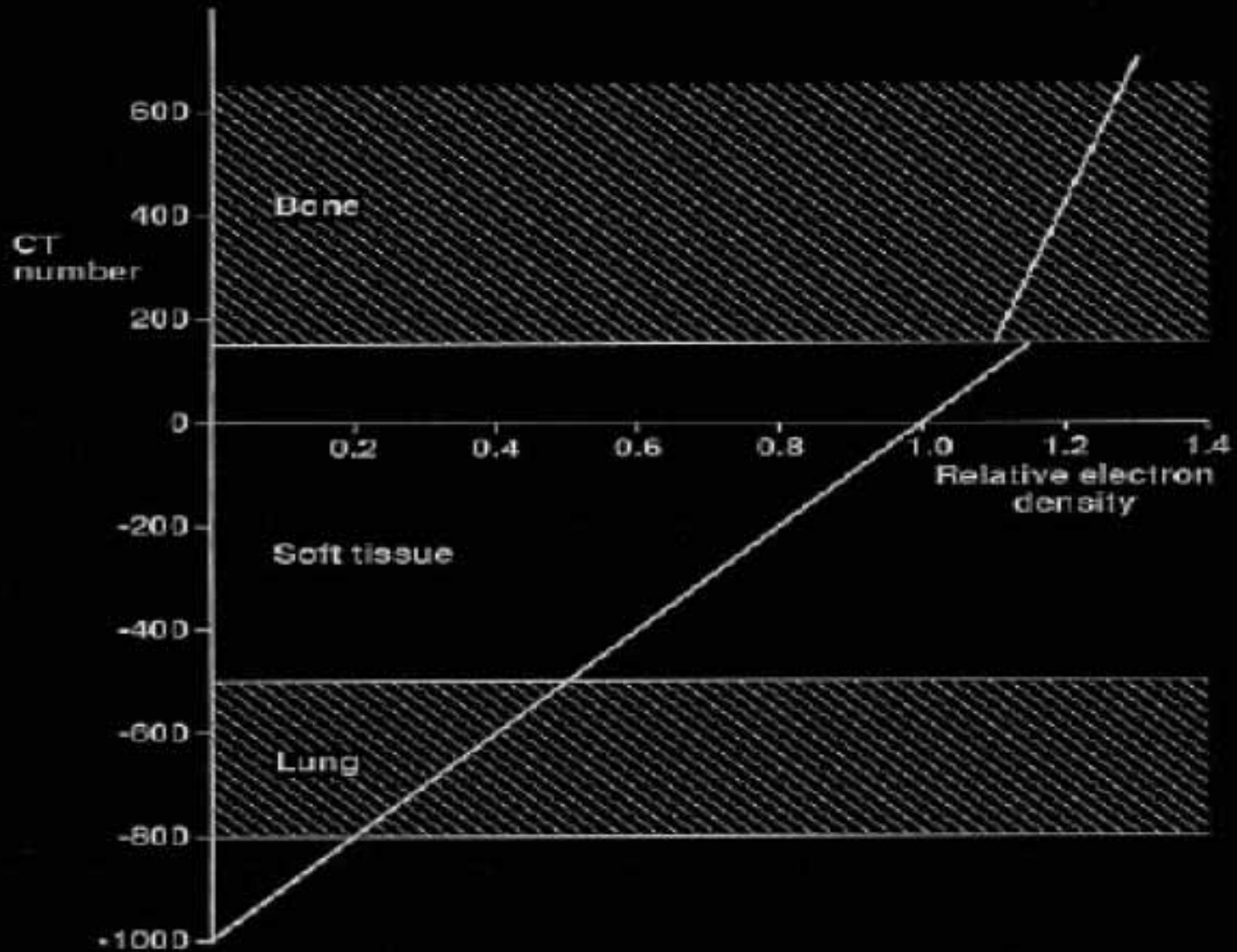
# CT besugárzás-tervezéshez

Levegő	-1000
Víz	0
Zsír	- 80 → - 40
Lágyszövet	+ 30 → + 60
Csont	+100 → +3000



$$\text{CT number (HU)} = 1000 \cdot \frac{\mu_{\text{anyag}} - \mu_{\text{víz}}}{\mu_{\text{víz}}}$$

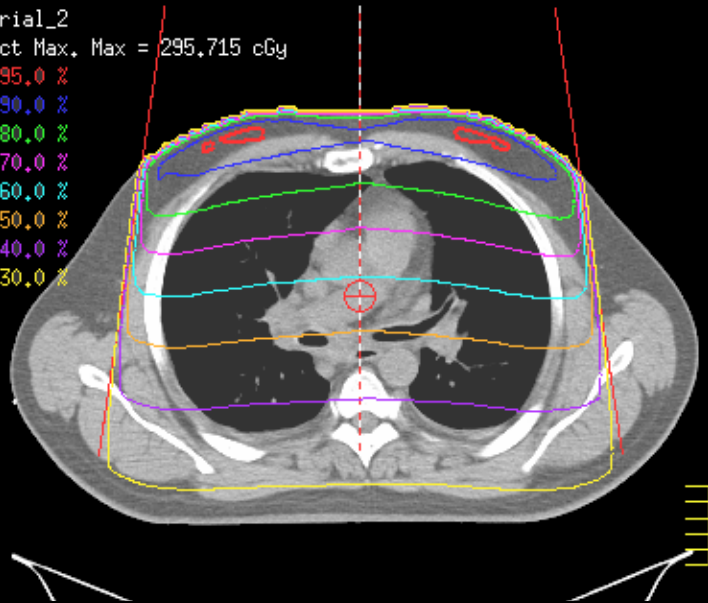
# CT besugárzás-tervezéshez



# CT besugárzás-tervezéshez

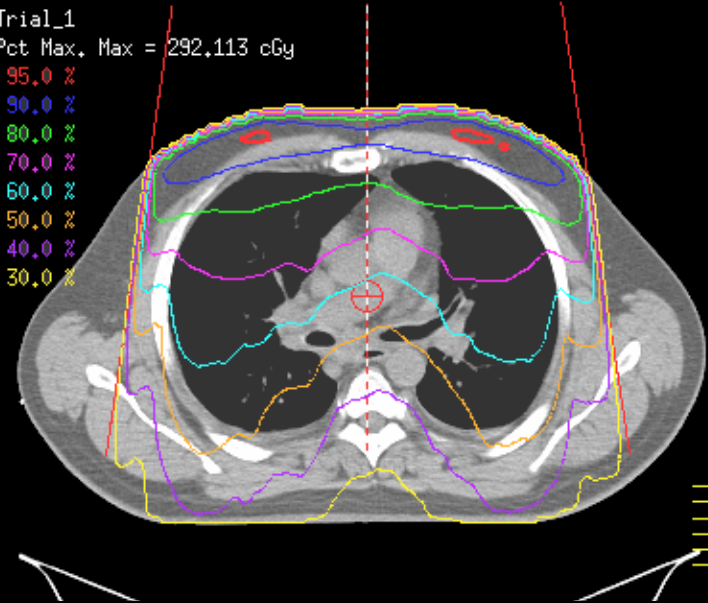
Trial\_2  
Pct Max, Max = 295,715 cGy

95,0 %  
90,0 %  
80,0 %  
70,0 %  
60,0 %  
50,0 %  
40,0 %  
30,0 %



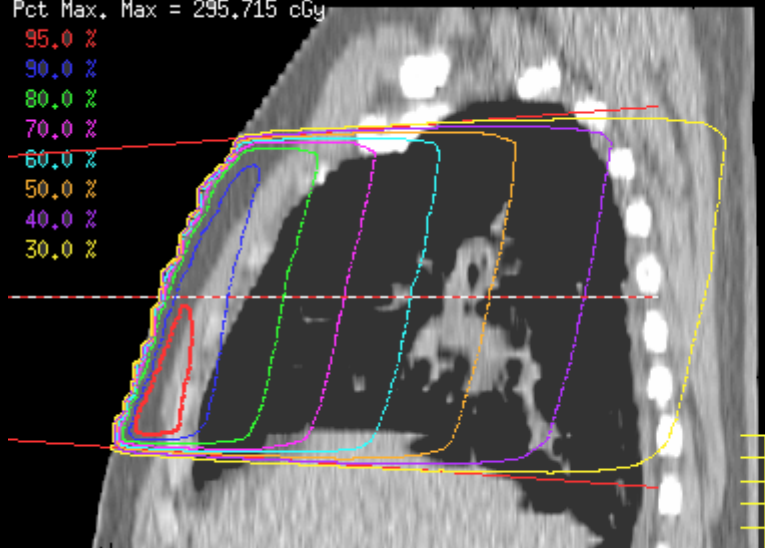
Trial\_1  
Pct Max, Max = 292,113 cGy

95,0 %  
90,0 %  
80,0 %  
70,0 %  
60,0 %  
50,0 %  
40,0 %  
30,0 %



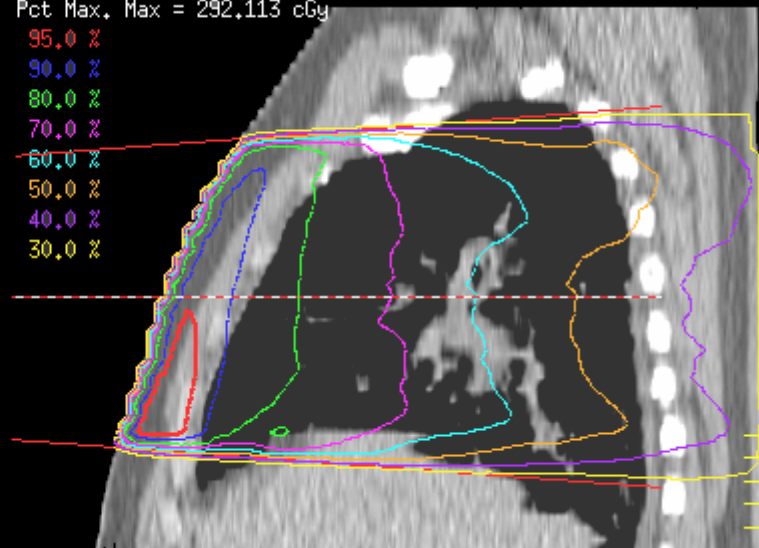
Trial\_2  
Pct Max, Max = 295,715 cGy

95,0 %  
90,0 %  
80,0 %  
70,0 %  
60,0 %  
50,0 %  
40,0 %  
30,0 %

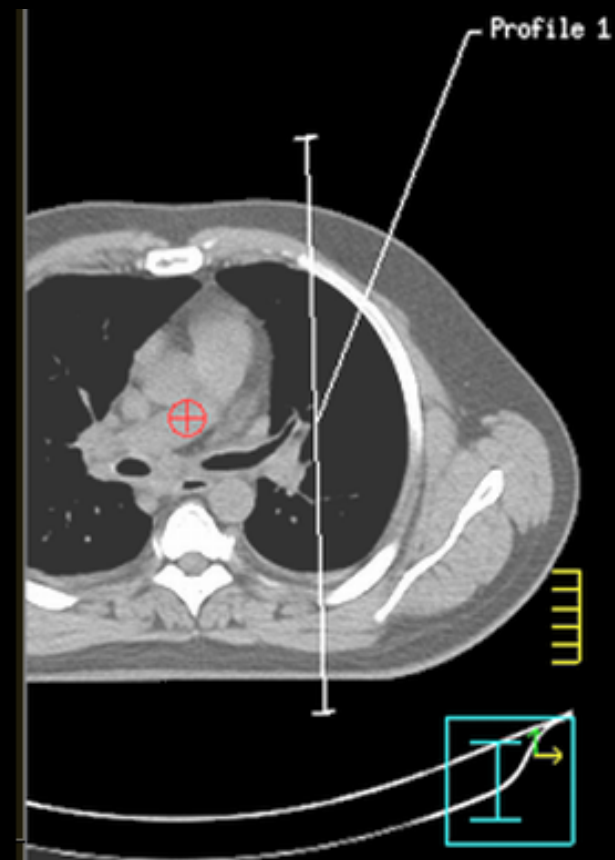
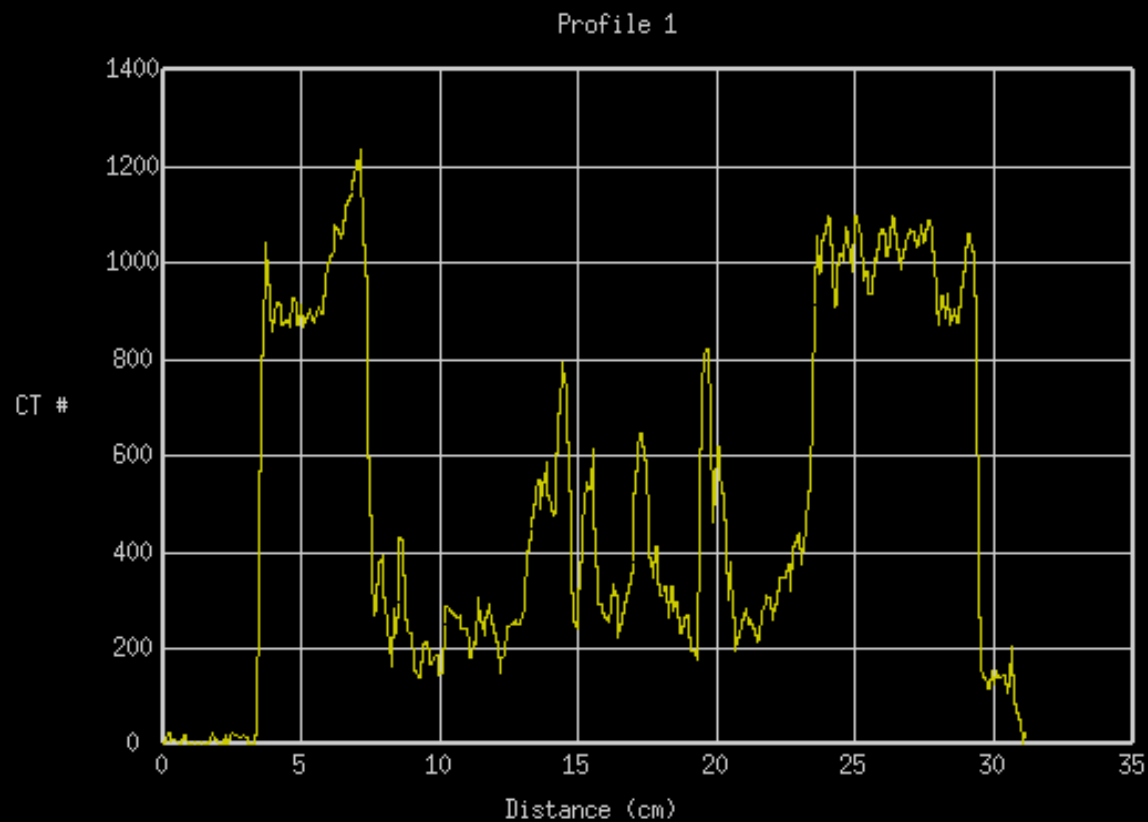


Trial\_1  
Pct Max, Max = 292,113 cGy

95,0 %  
90,0 %  
80,0 %  
70,0 %  
60,0 %  
50,0 %  
40,0 %  
30,0 %



# CT besugárzás-tervezéshez



# 2D/3D-s besugárzás-tervezés

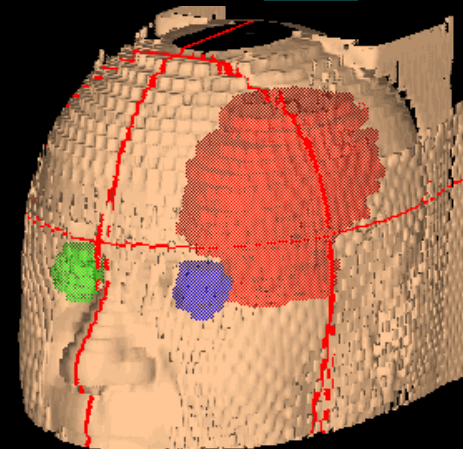
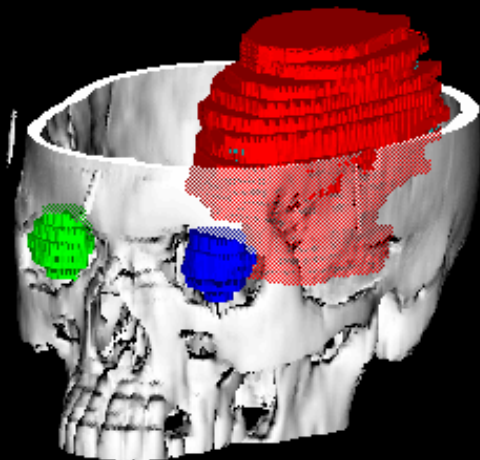
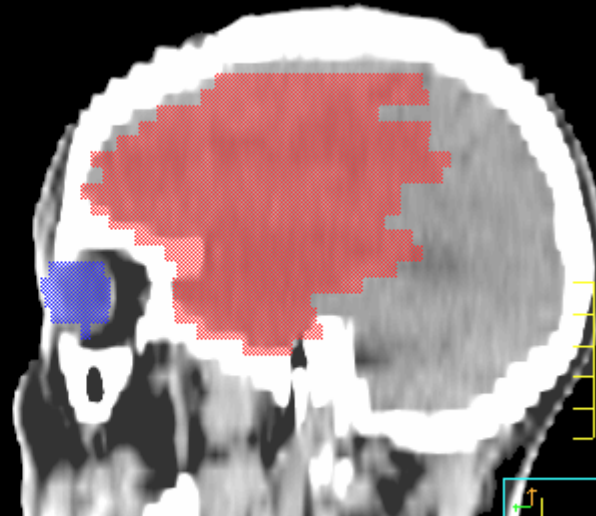
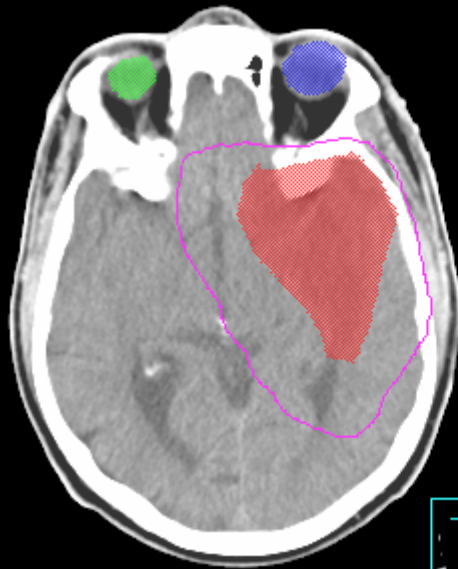
- **2D**: beteg – transzverzális bőrkontúr a középső tengely mentén
- **2,5D**: + korrekciók az ismert inhomogenitásokra
- **3D**: a dózis-eloszlás optimalizálása metszetképalkotó eljárás alapján, 3D-s anatómiai, inhomogenitási információkkal



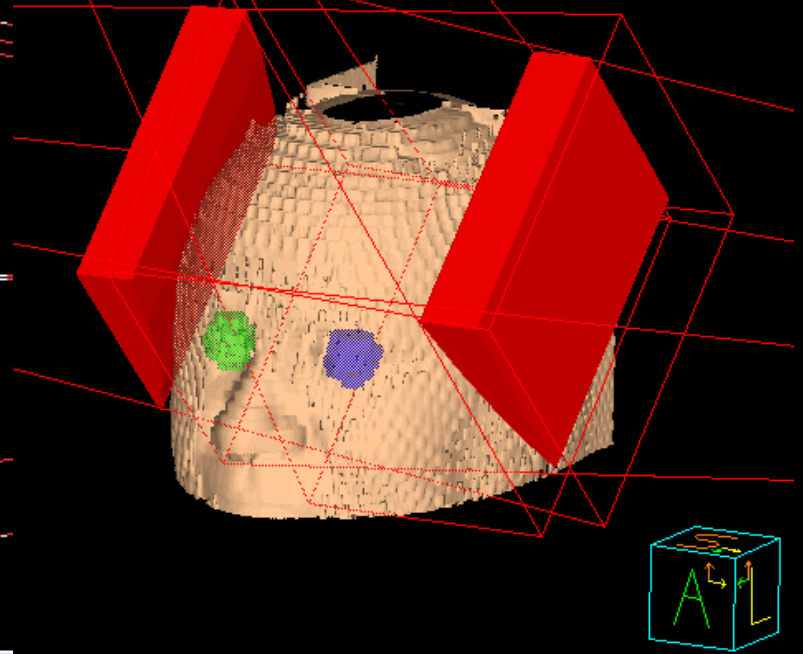
# Számítógépes dózistervezés (teleterápia)

- Védendő szervek, céltérfogat **berajzolása** (orvos)
- **Mezőparaméterek** felvétele, optimalizálása
- Térfogati **dózisszámolás** végrehajtása
- **Tervkiértékelés** izodózisok, pontdózisok, és dózis-térfogat hisztogramok (DVH) segítségével
- **Ellenőrzés**
- Kezelési paraméterek **kinyomtatása**, ill. a kezelő készülékhez történő **adatátvitel**

# Kontúrozás



# Mezők felvétele és beállítása



Slice 13: Z = -1.500

CT

Beam Angles

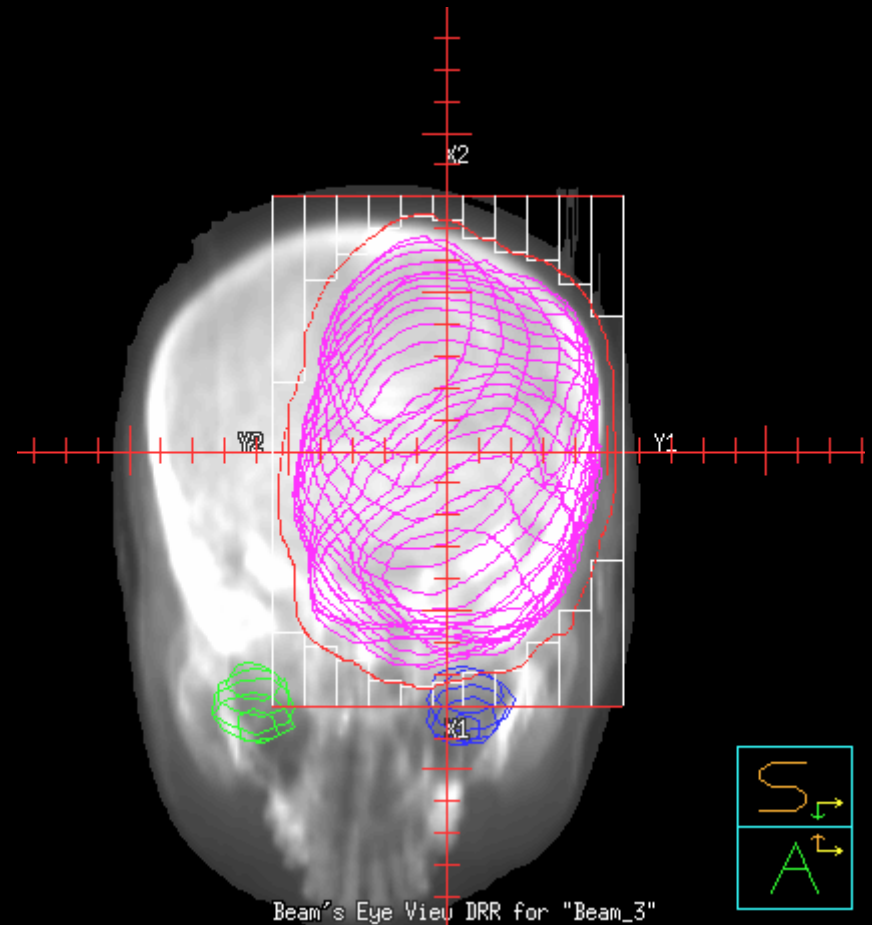
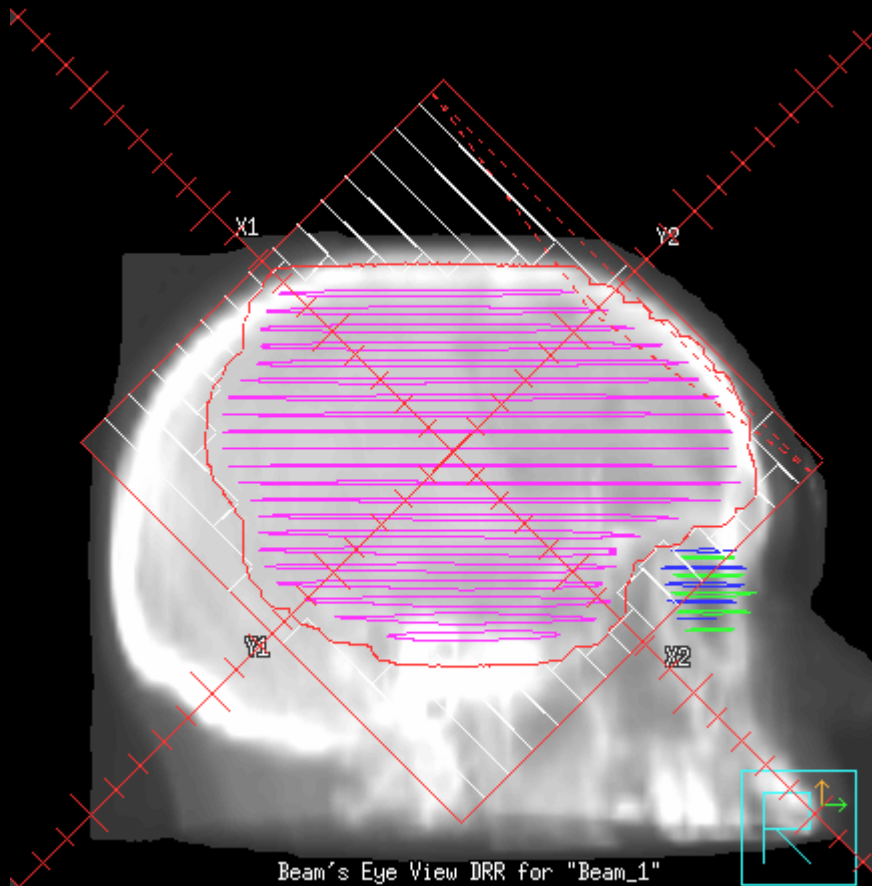
Trial: Trial\_1      Beam: Beam\_1

Couch	Gantry	Collimator (from above)
180	0	90
0	180	270
0	Start 270 270 Stop	-45

Icons: Aim 2D, Aim 3D



# Mezők felvétele és beállítása

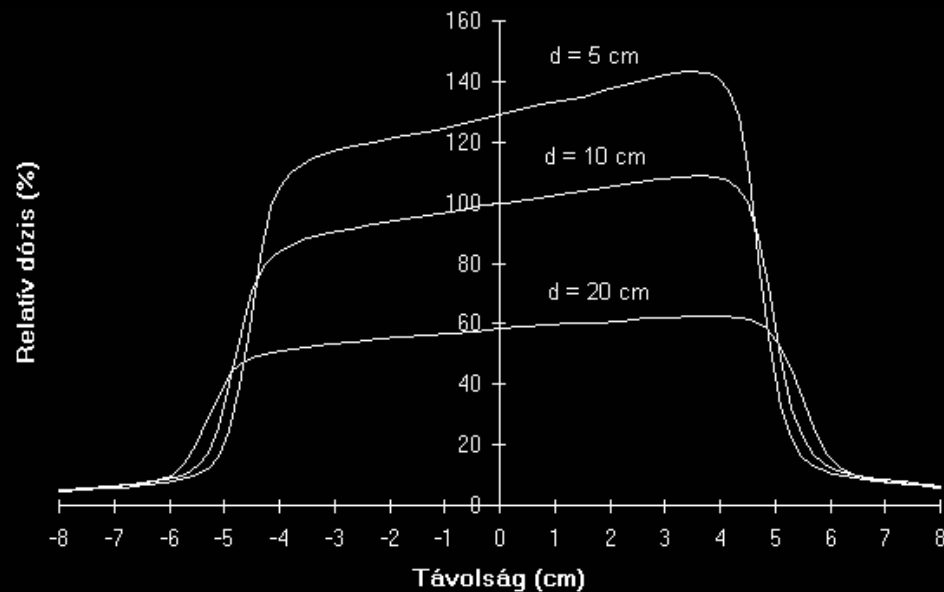
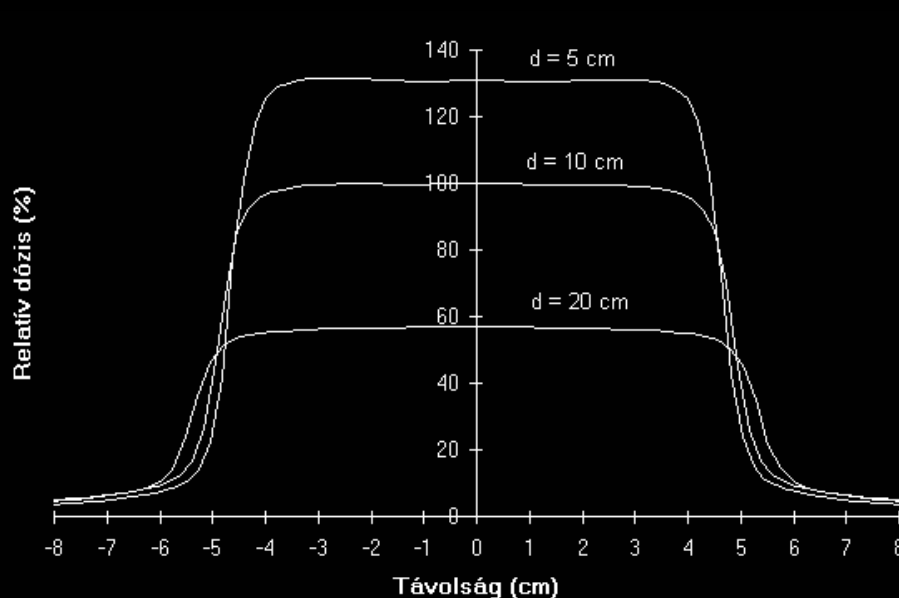


# Profilmódosító eszközök

- **ék:** fizikai/ dinamikus

- **bólus:** szövet-ekvivalens anyag a bőrre → bőrdózis növelése (izodózisok közelebb kerülnek a felszínhez)

- **szöveti kompenzátorok:** 15-20 cm-re a bőrfelszíntől → bőr védelme, cerrobend/ Al-ötvözet

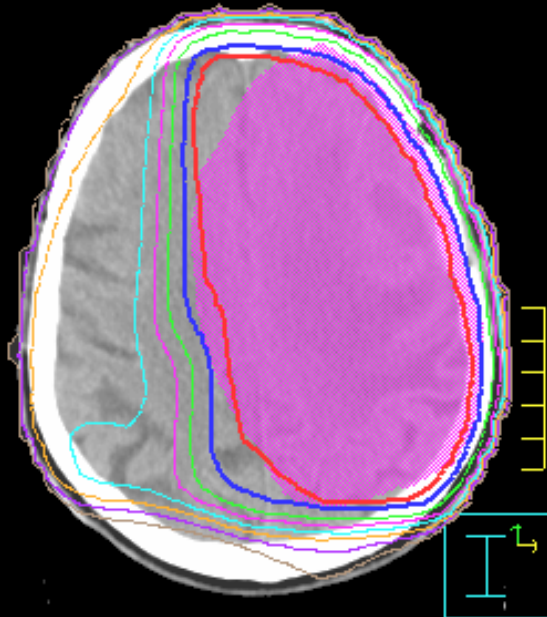




# Térfogati dózisszámítás

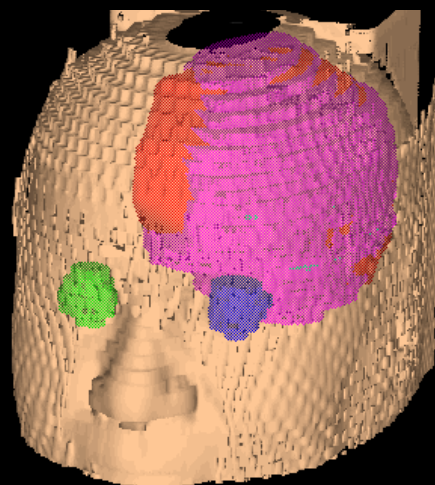
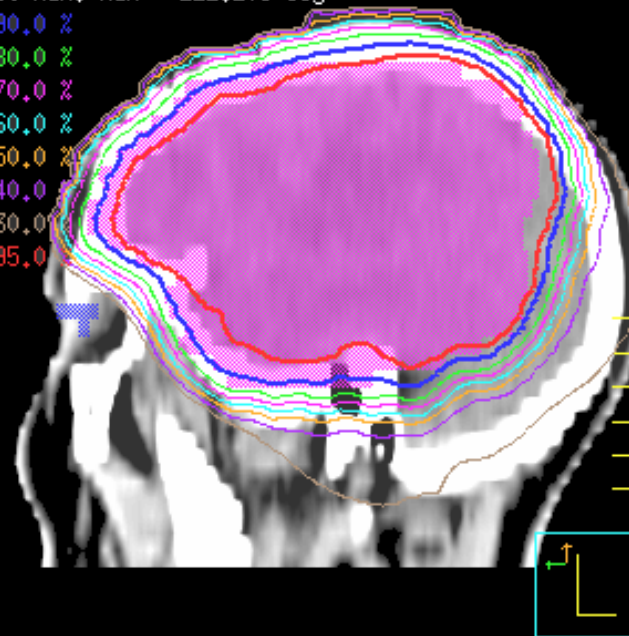
Pct Max, Max = 222,108 cGy

- 90,0 %
- 80,0 %
- 70,0 %
- 60,0 %
- 50,0 %
- 40,0 %
- 30,0 %
- 95,0 %



Pct Max, Max = 222,108 cGy

- 90,0 %
- 80,0 %
- 70,0 %
- 60,0 %
- 50,0 %
- 40,0 %
- 30,0 %
- 95,0 %



# Térfogati dózisszámítás

„A dose error of 5% may lead to a change in tumour control probability of 10 to 20% and to an even larger change in normal tissue complication probability.”

Study by: Vanderstraeten B et al., Ghent Univ., Belgium

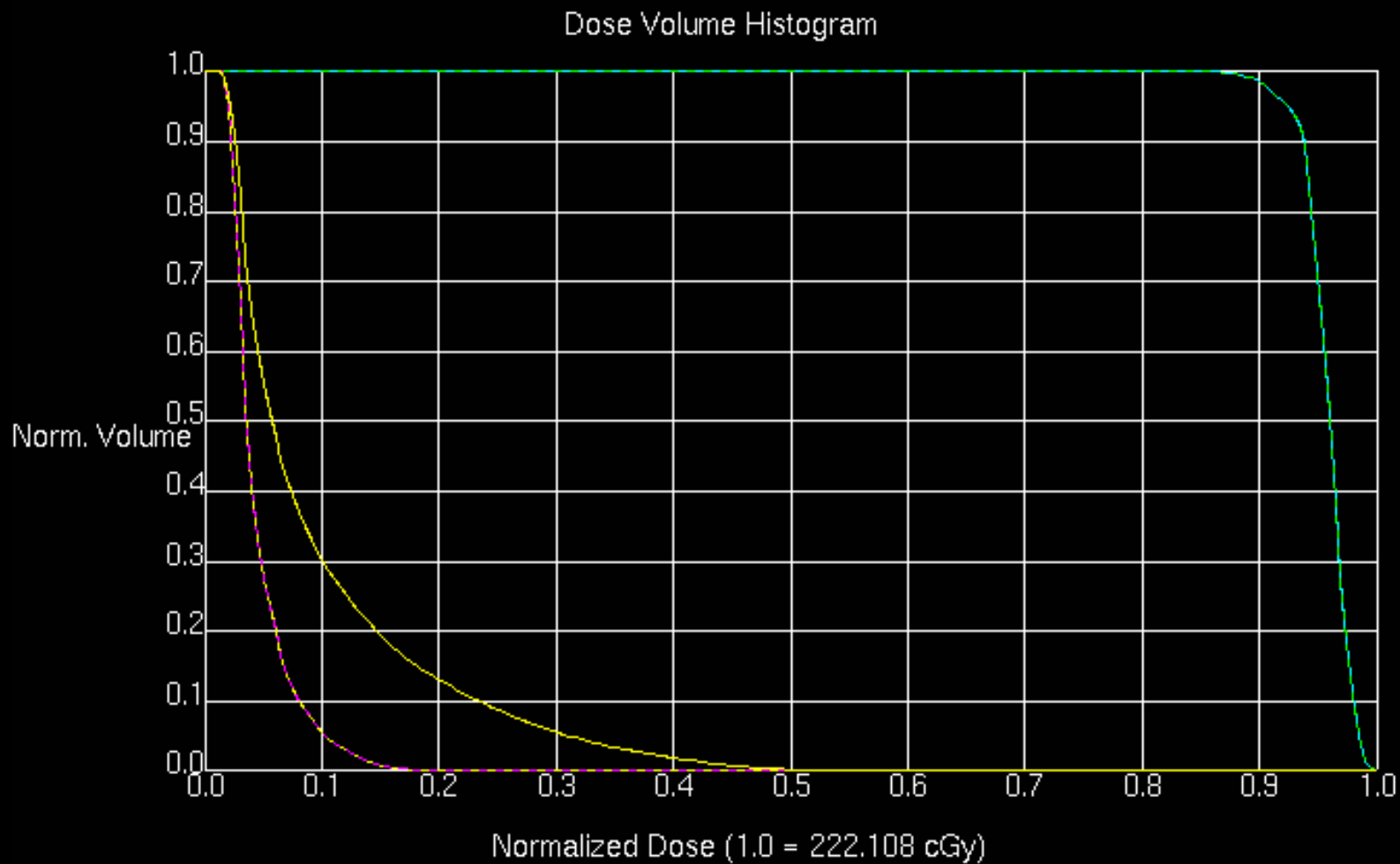


# Dózis-számítási algoritmusok

- **Clarkson-modell:** 2D mérések alapján, homogén beteg
- **Monte-Carlo szimulációk:** extrém pontos – főleg kontrasztos anyagok találkozásánál (pl. protézis), DE idő-, CPU-igényes
- **Konvolúció/szuperpozíció:** modell-alapú (nem mérés), némi MC-t használ, TERMA-t (Total E....) használja
- **Pencil Beam:** általános, modell-alapú, némi MC, sűrűség-korrekció csak 1D-ban, D-t pontra számolja, kp.-i tengely mentén a forrástól
- **Collapsed Cone:** általános, 3D sűrűség-infók alapján, legpontosabb MC után

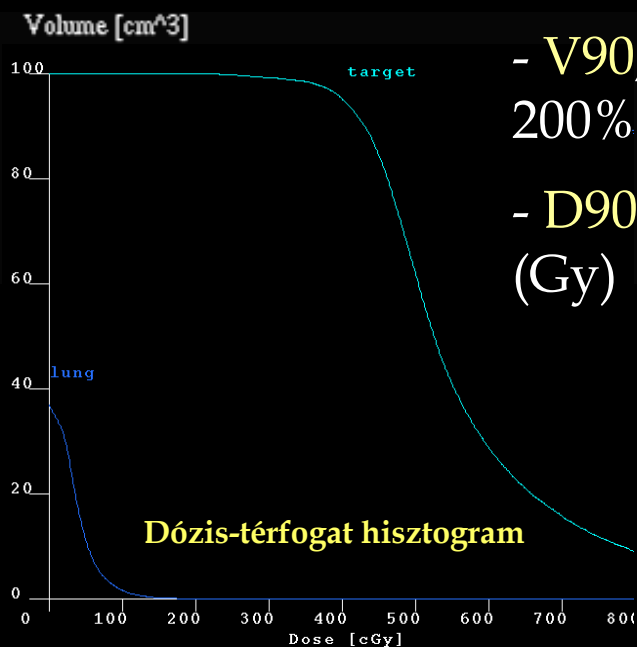
dóziseloszlás → MU (Monitor Unit) – monitoregység!

# Dózis-térfogat hisztogram (DVH)



# DVH-paraméterek

- **MCD** (Mean Central Dose) (Gy)
- $V_{ref}$ ,  $V_{1.5xref}$ ,  $V_{1.5xMCD}$ ,  $V_{PTV}$ : a referenciadózis, a referenciadózis 1,5-szerese, a MCD 1,5-szerese által lefedett térfogat, illetve a PTV térfogata ( $cm^3$ )



-  $V_{90}$ ,  $V_{100}$ ,  $V_{150}$ ,  $V_{200}$ : a PTV a ref.D 90, 100, 150, 200%-át kapott térfogata (%)

-  $D_{90}$ ,  $D_{100}$ : a PTV 90 illetve 100%-át besugárzott D (Gy)

-  $D_{max}$ : a védendő szervek ref. pontjainak max. D-a (%)

-  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{15}$ : a védendő szervek legalább 5, 10 és 15 Gy-t kapott térfogata ( $cm^3$ )

# Minőségi indexek

$$CI = \frac{V_{100}}{100}$$

- **CI** (Coverage Index): a PTV ref.D általi lefedettsége ( $\leq 1$ )

- **DHI** (Dose Homogeneity Index): dózishomogenitás

$$DHI = \frac{V_{100} - V_{150}}{V_{100}}$$

- **DNR** (Dose Non-uniformity Ratio): dózis-egyenetlenség

$$DNR = \frac{V_{150}}{V_{100}}$$

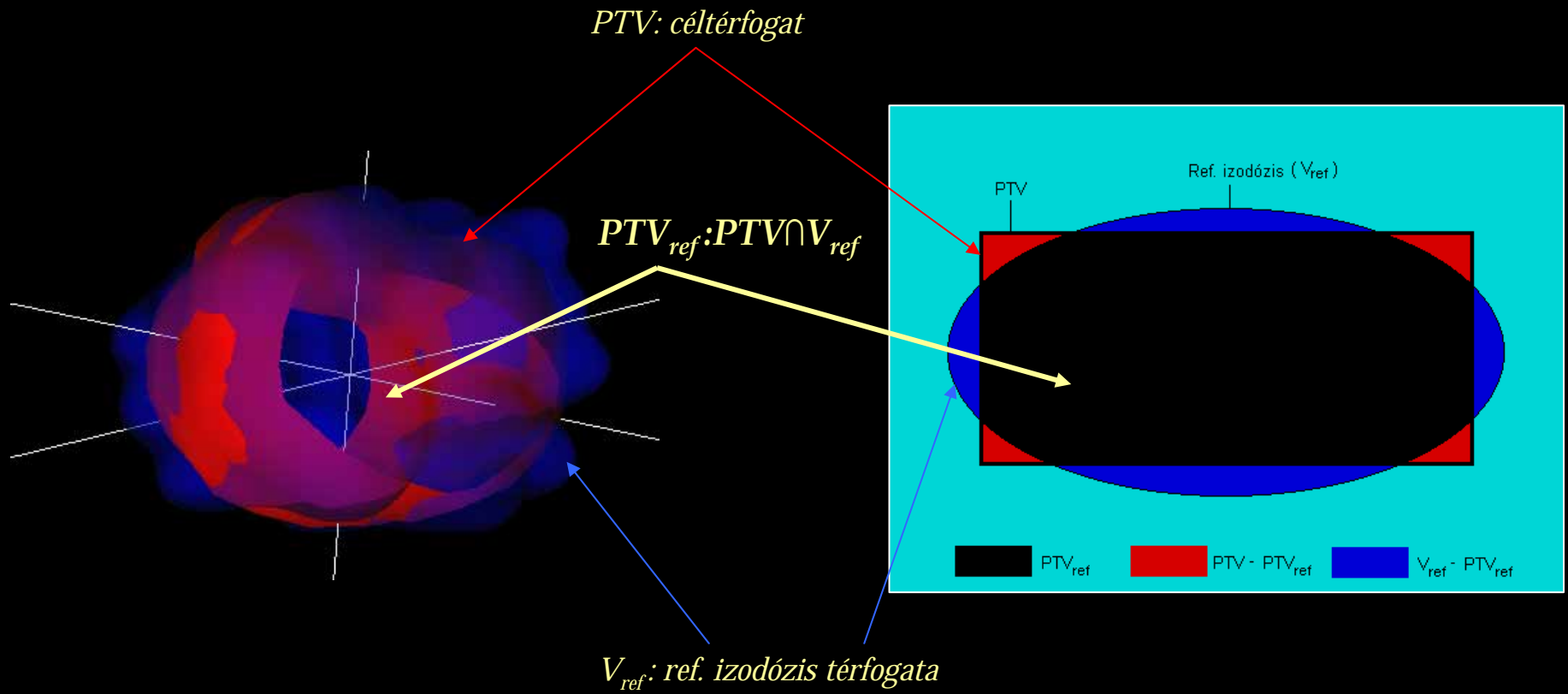
- **COIN** (Conformal Index): konformalitás

- **EI** (External Index): a legalább ref.D-t kapott normál szövet/  $V_{PTV}$

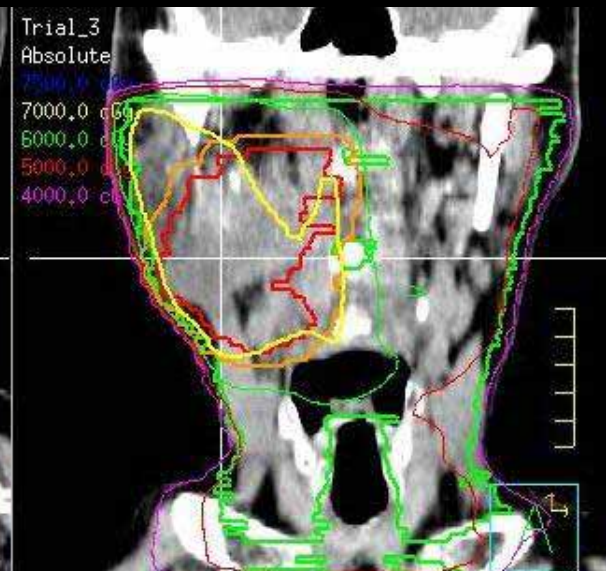
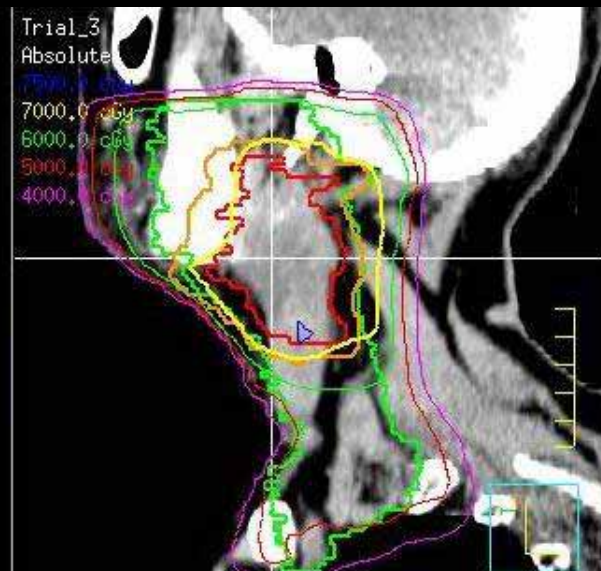
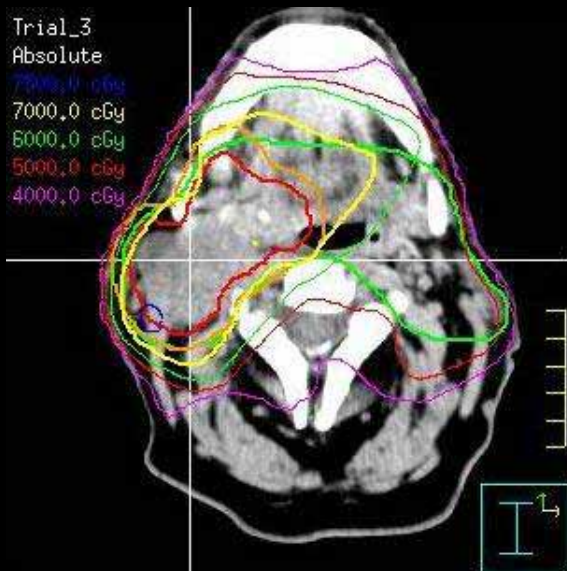
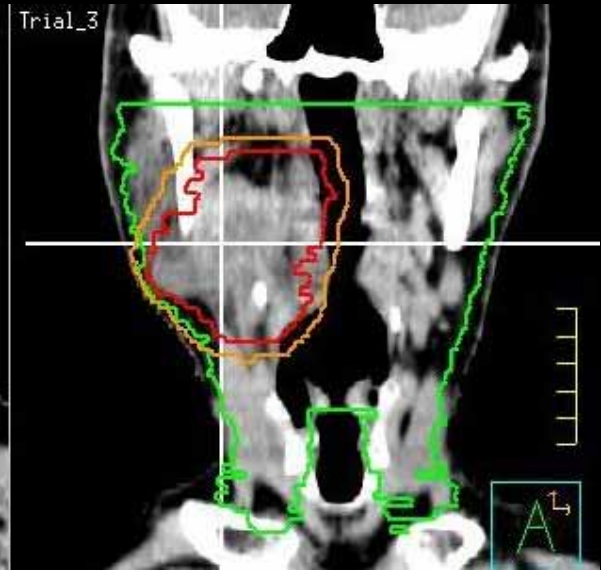
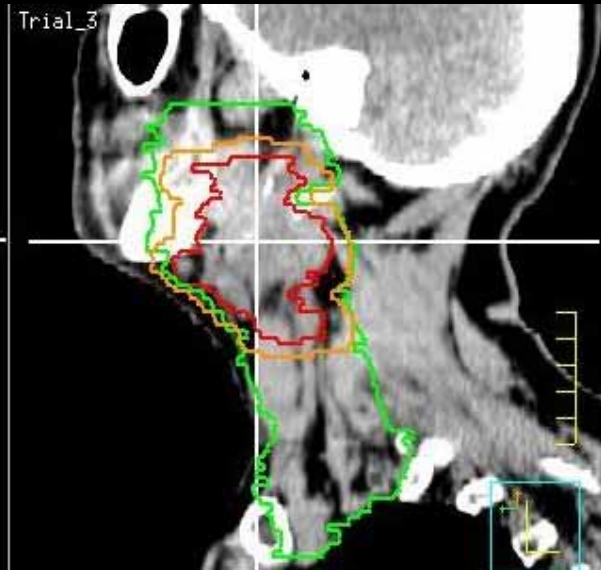
- **TRAK** (Total Reference Air Kerma): a ref. levegő Kerma és a besugárzási idők szorzatának összege minden besugárzási pozícióra (cGy/m)

$$\begin{aligned} COIN &= \frac{PTV_{ref}}{PTV} \cdot \frac{PTV_{ref}}{V_{ref}} = \\ &= CI \cdot \frac{PTV_{ref}}{V_{ref}} = \frac{V_{100}^{Organ}}{V_{100}^{Implant}} \end{aligned}$$

# A $PTV_{ref}$

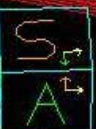
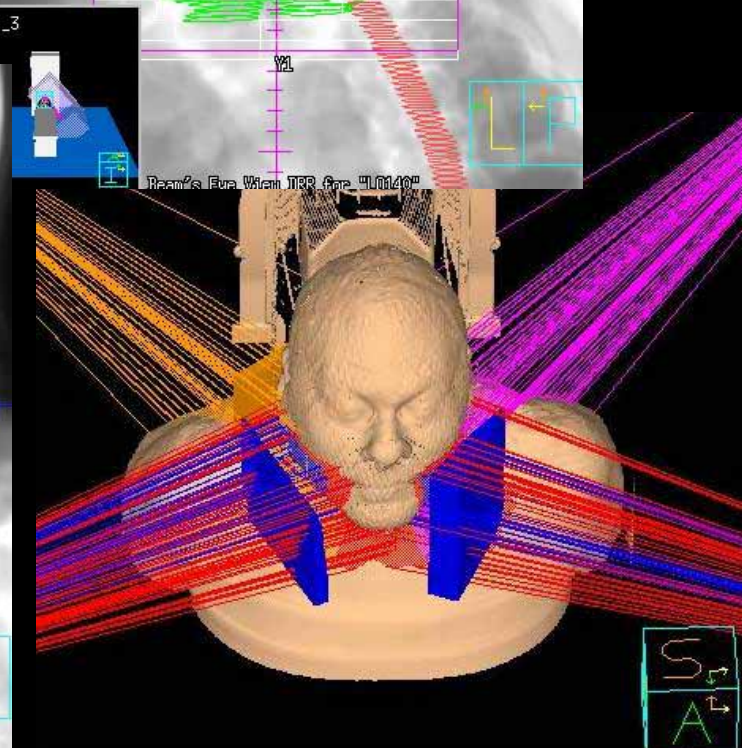
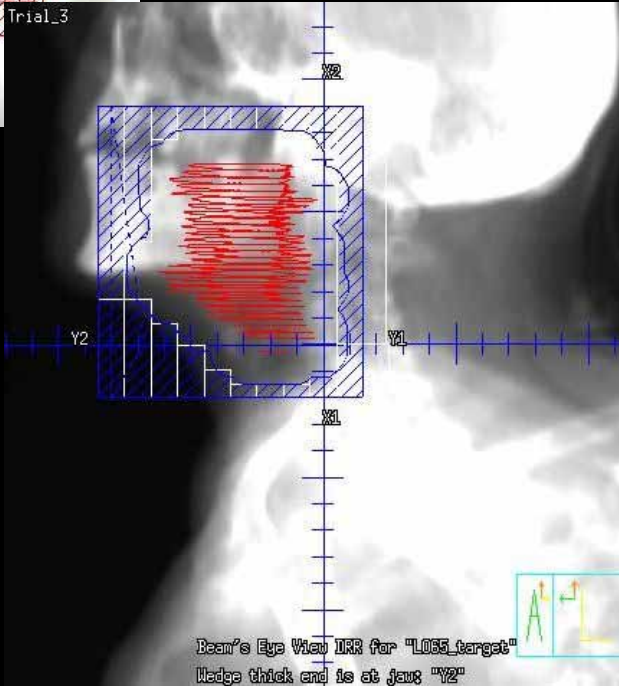
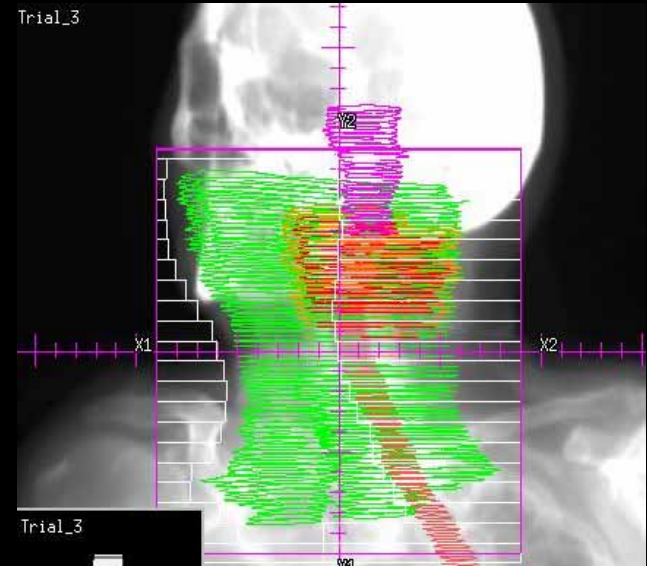
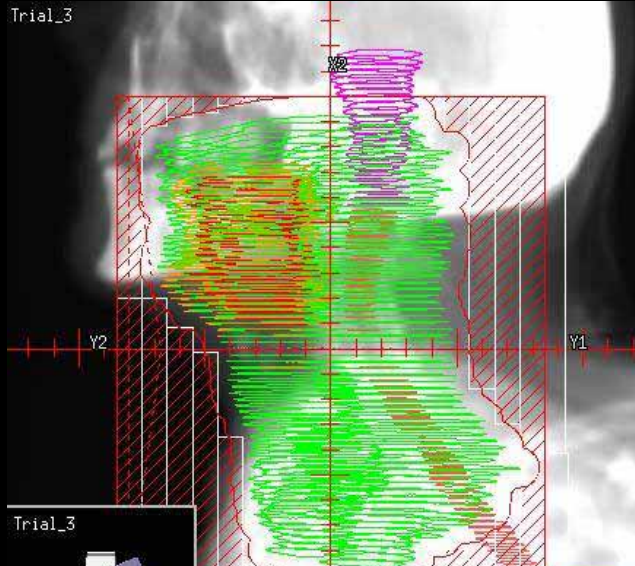


# Több céltérfogat





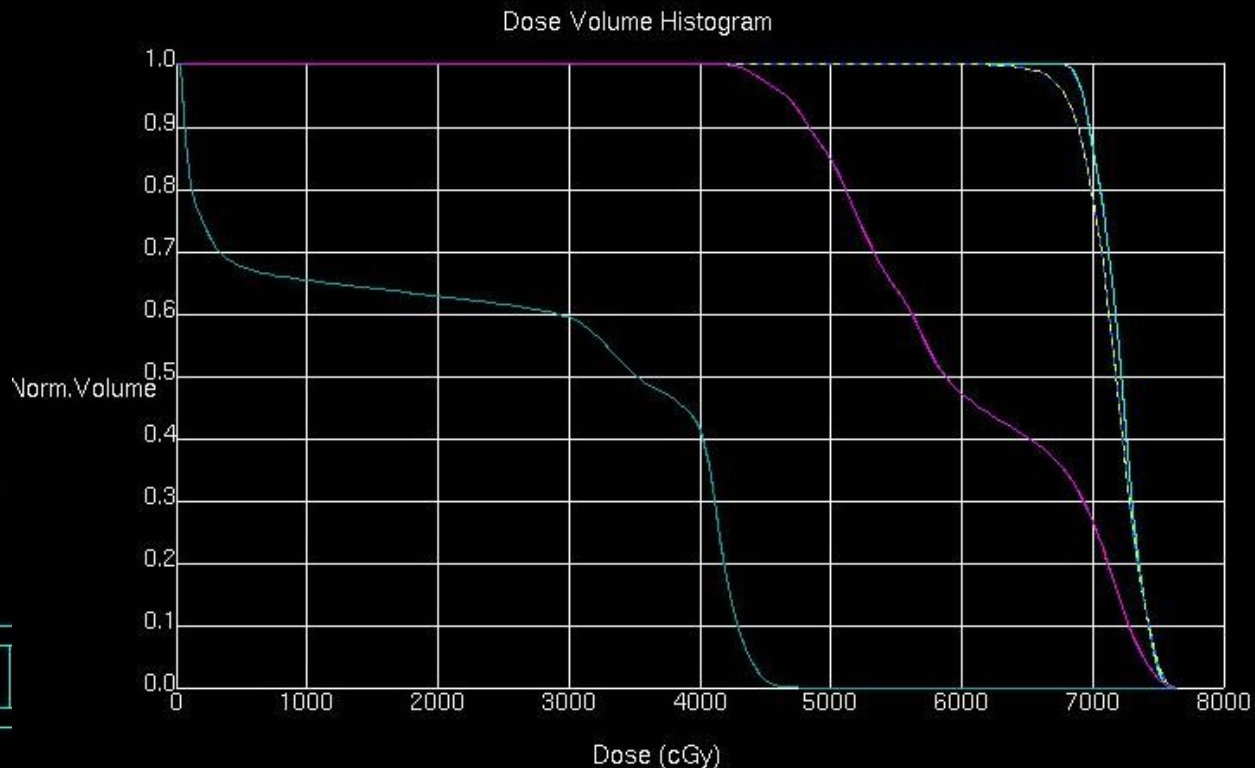
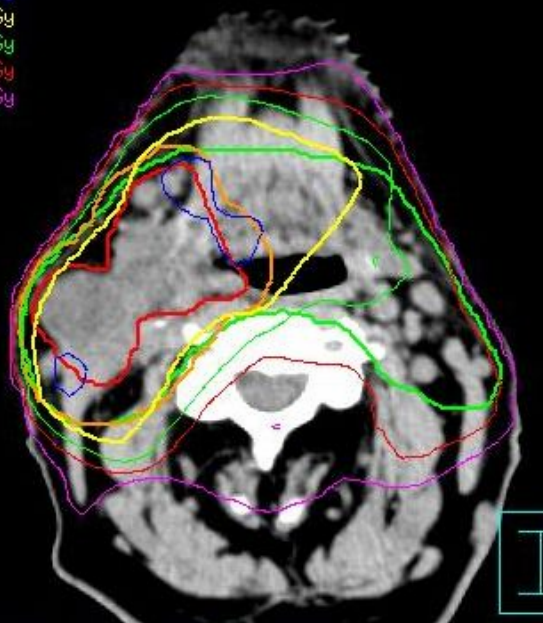
# Több céltérfogat





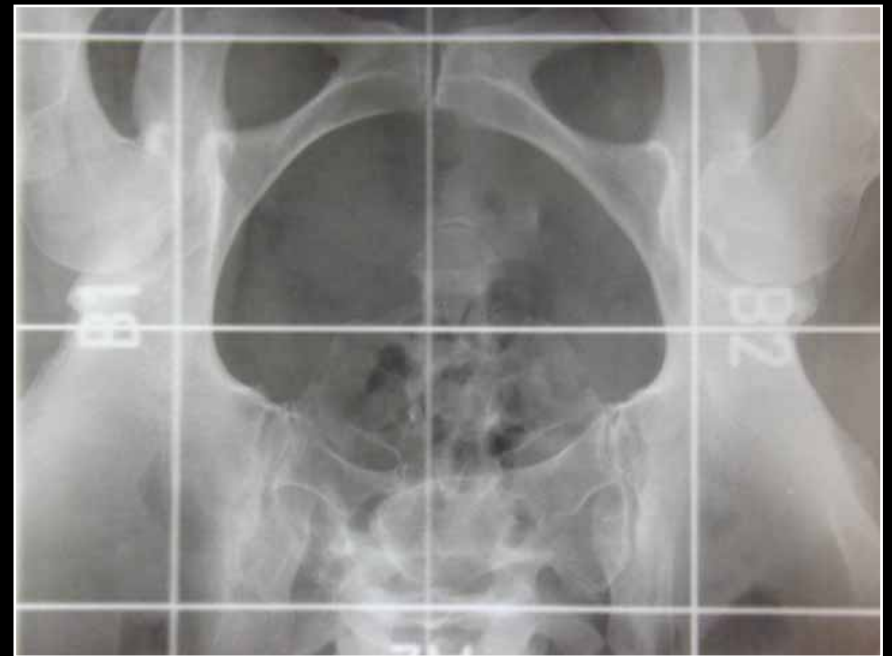
# Több céltérfogat

Trial\_3  
Absolute  
7500,0 cGy  
7000,0 cGy  
6000,0 cGy  
5000,0 cGy  
4000,0 cGy



Current	Region of Interest	Trial	Beam	Color	Dash Color	% Out
◆	GTV	Trial_3	All Beams/Sources	red	No Dash	0.0
◇	PTV2	Trial_3	All Beams/Sources	orange	blue	0.0
◇	PTV1	Trial_3	All Beams/Sources	green	No Dash	0.0
◇	spinal_cord	Trial_3	All Beams/Sources	tomato	No Dash	8.5

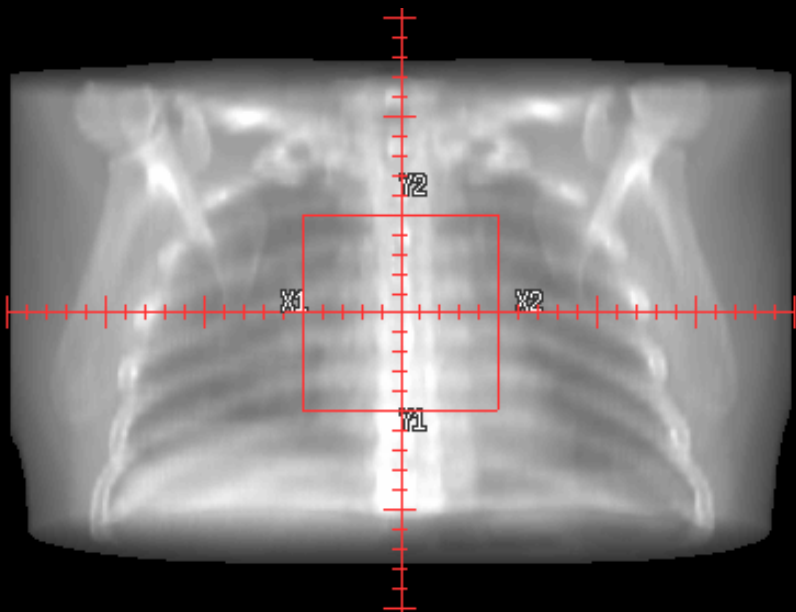
# Szimuláció



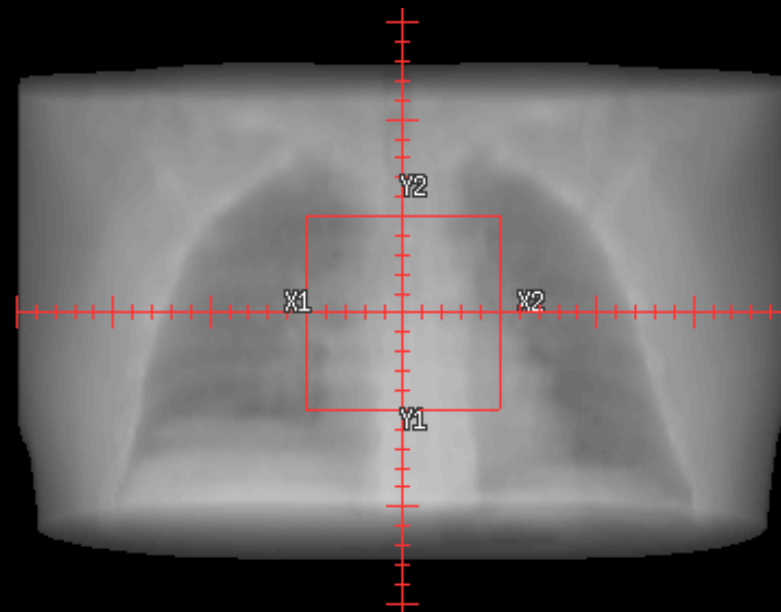
→ besug. terv ellenőrzése

# Verifikáció

TPS → DRR



LinAc → MV

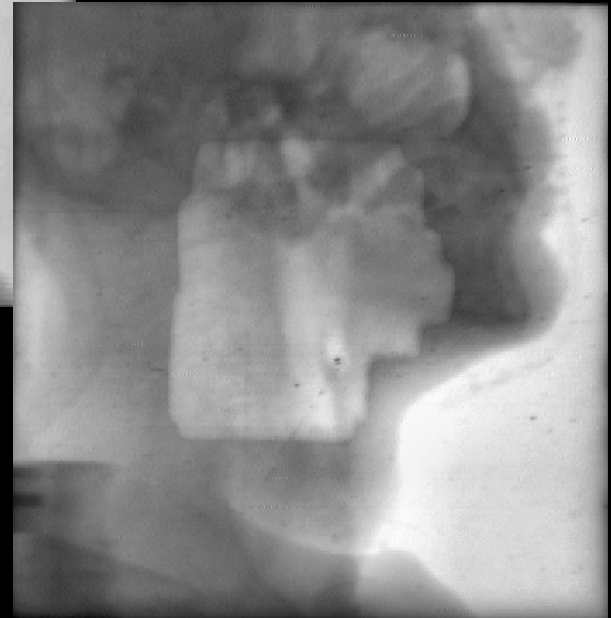


→ kezelés ellenőrzése

# Verifikáció



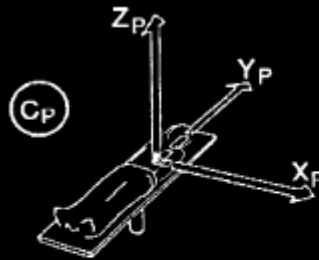
# Verifikáció



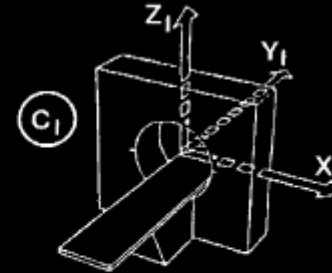
# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra



→ közös nyelv, kezelések összehasonlíthatók, ellenőrizhetők

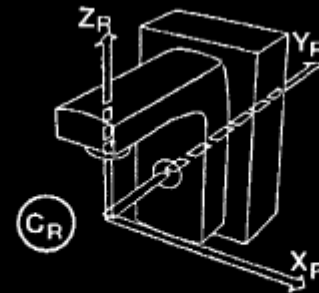


$C_P$  = Internal Reference Point and Coordinate System in the patient.



$C_I$  = Reference Point and Coordinate System of the imaging unit.

- koordináta-rsz.:



$C_R$  = External Reference Point and Coordinate System of radiation therapy unit.

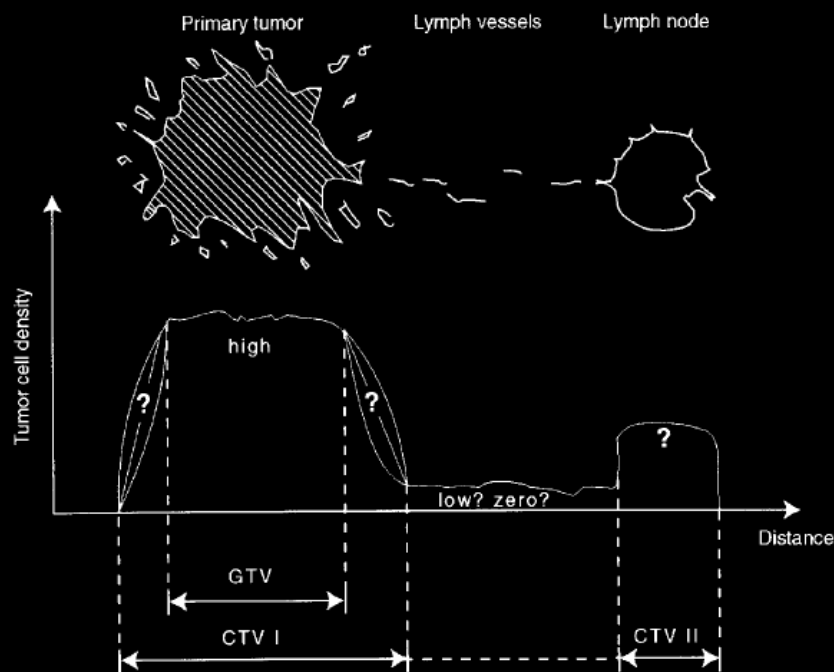
# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

## - Gross Tumour Volume – GTV:

kimutatható daganattömeg (elsődleges tumor, áttétes nyirokcsomók, távoli áttétek)

## - Clinical Target Volume – CTV:

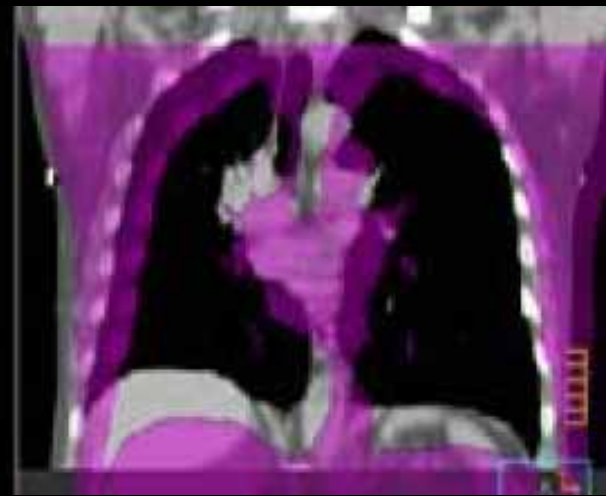
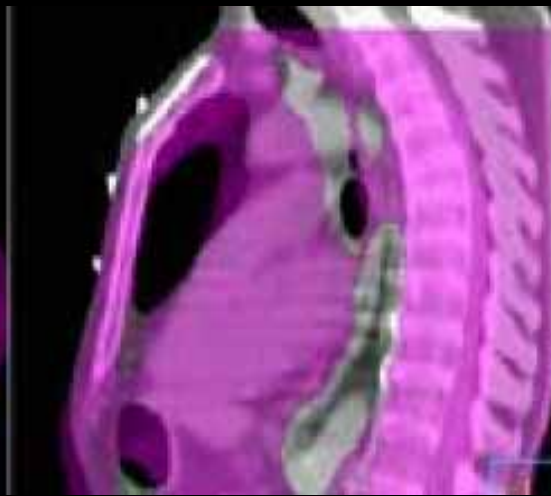
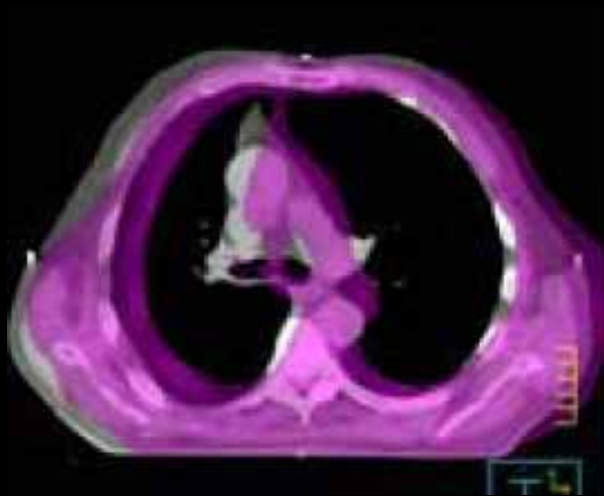
GTV + szubklinikai, mikroszkopikus tumorterjedés → ezt kell kezelni





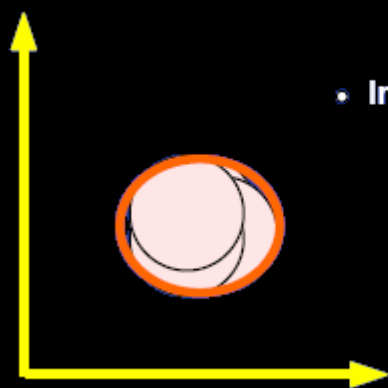
# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

tumor mozog ← légzés, szívverés, bélműködés, mocorgás,...



# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

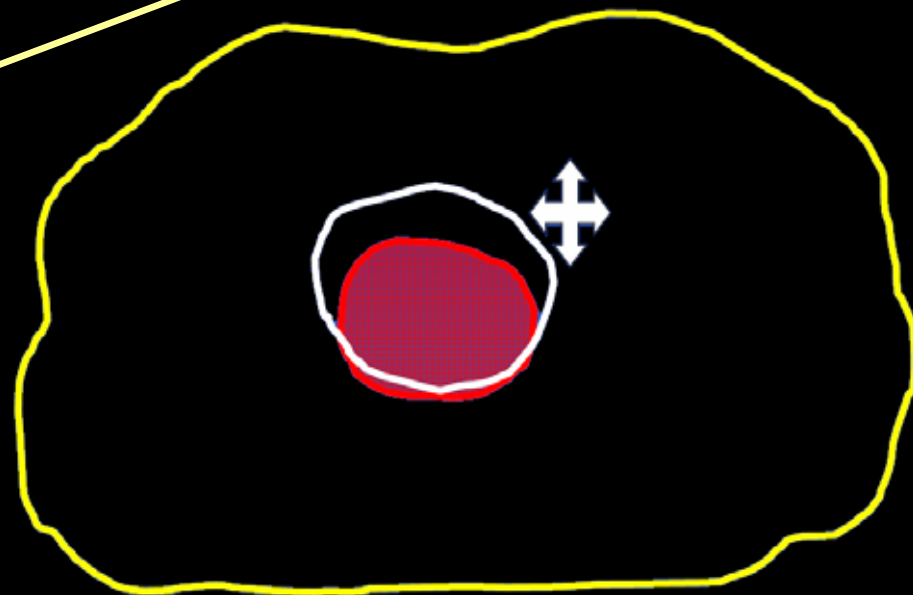
- Internal Target Volume – ITV: CTV + mozgás miatti margó



• Internal reference point

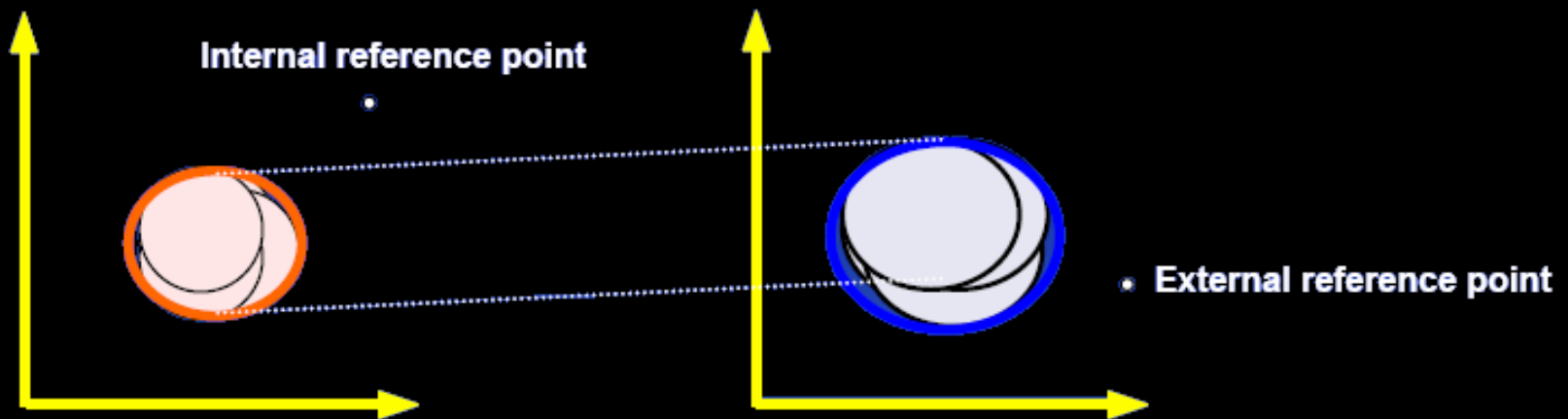
$$\Sigma_{\text{set-up}} + \sigma_{\text{set-up}}$$

DE: a dózis-eloszlás is mozog  
← napi betegbeállítás  
pontatlansága



# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

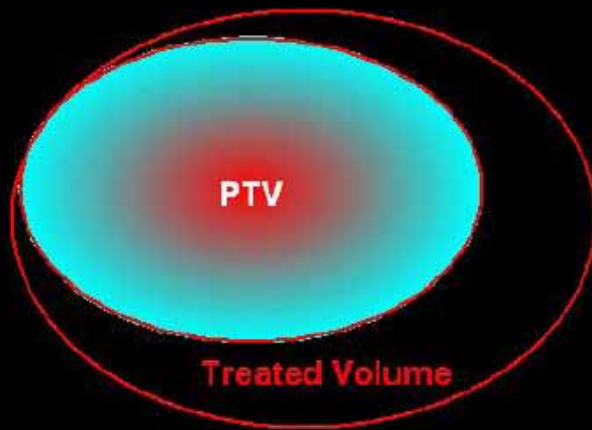
- Planning Target Volume – PTV: ITV + beállítás miatti margó



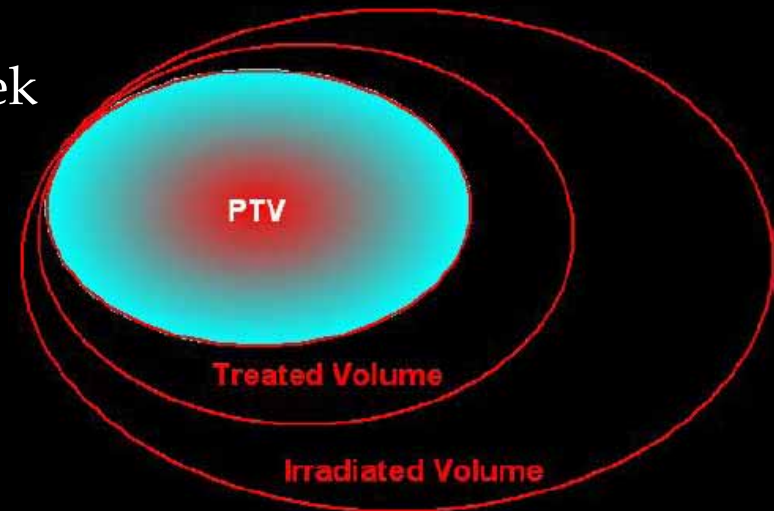
→ PTV (céltérfogat) -re írjuk elő a D-t!

# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

- Treated Volume – TV: térf., ami legalább az előírt D-t kapja

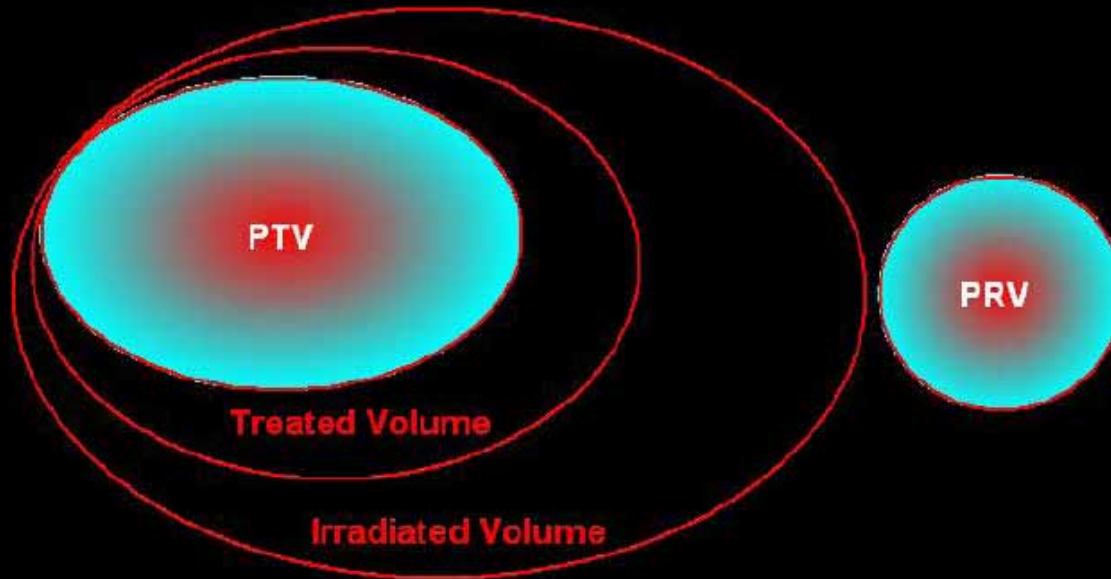


- Irradiated Volume – IV: normál szövetek toleranciaD-át kapott térf.



# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

- **Organ at Risk – OAR:** normál szövet, amelynek sugárérzékenysége hatással lehet a besug.-tervezésre / PD-ra
- **Planning Organ at Risk Volume – PRV:** OAR + beállítási margó



# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

D-t mire írjuk elő? → ICRU referenciapont:

- klinikailag releváns
- könnyen definiálható és reprodukálható
- D-a könnyen meghatározható
- ott nincs mély D-grad.

# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

## D-riport:

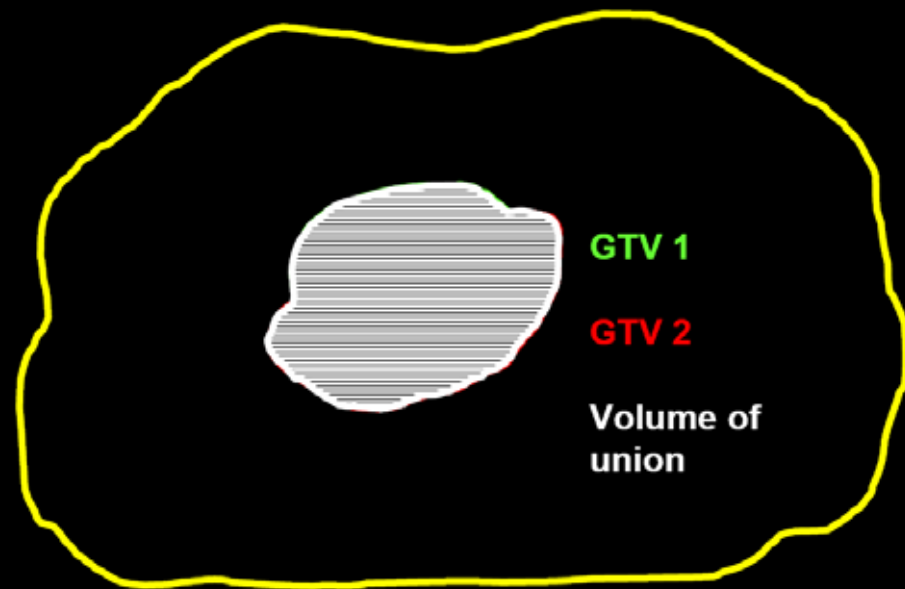
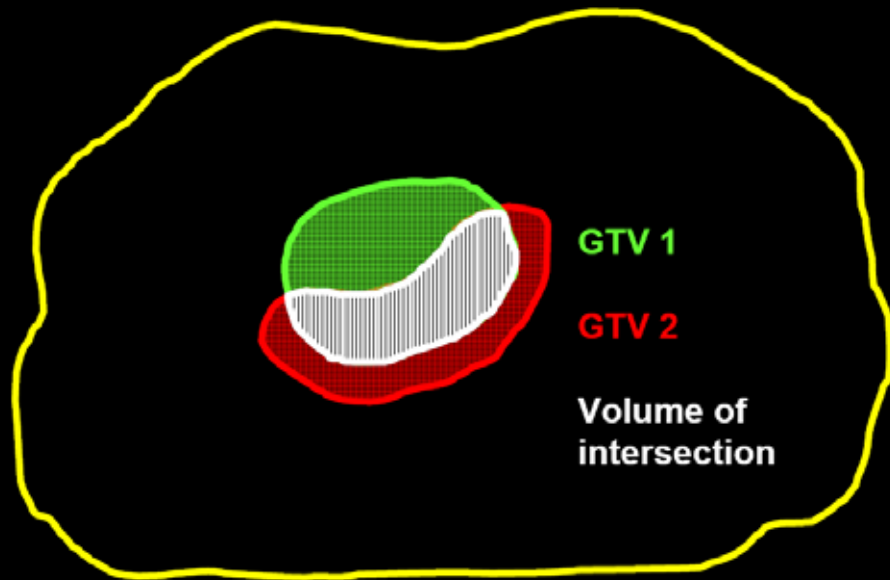
- D az ICRU ref.-pontban
- PTV min. D-a
- PTV max. D-a
- PRV-k max. D-a
- + több infó: dózis-eloszlások, DVH,...



# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

DE: különböző orvosok különböző GTV-t rajzolnak

→ konkordancia-index:  $V_{\text{metszet}}/V_{\text{unió}}$



CI=0,33

# ICRU-ajánlások a térfogatokra és D-okra

## VOLUME/MARGIN

## REFERENCE POINT AND COORDINATE SYSTEM (1)

Gross Tumor Volume  
GTV

Subclinical disease

Clinical Target Volume  
CTV

Internal Margin (2)  
IM

Internal Target Volume  
ITV  
(= CTV + IM)

Setup Margin (3)  
SM

Planning Target Volume (4)  
PTV  
(= CTV + combined IM and SM)

Organ at Risk (5)  
OR

Planning Organ  
at Risk Volume  
PRV

PTV and PRV for treatment  
planning purpose (6)

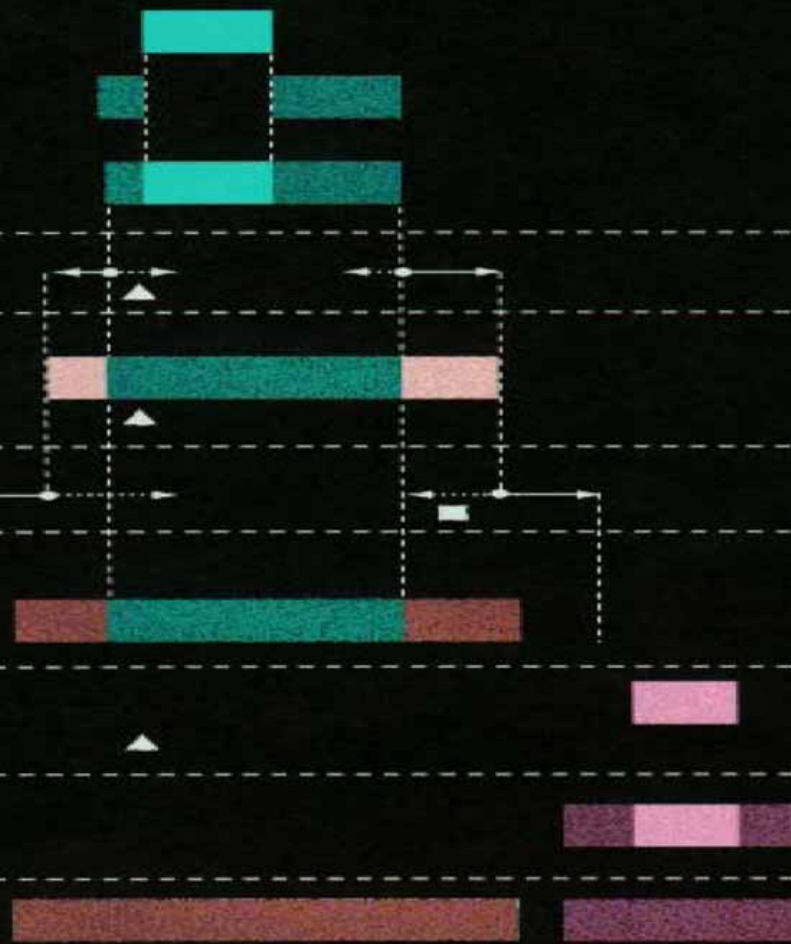
$C_I$   
for imaging procedures

$C_P$   
internal reference point

$C_P$   
internal reference point

$C_R$   
external reference point

$C_I$   
internal reference point



# Besugárzás-tervezési hibák

- pl. áttérés számítógépes D-számításra/új TPS → mindent ellenőrizni kell, előlről végigmenni a folyamaton
- pl. Co-ágyú: töltetcsere után minden eszköz adatbázisát frissíteni kell
- TPS fontos eleme a kezelésnek (nyelvét is ismerni kell)

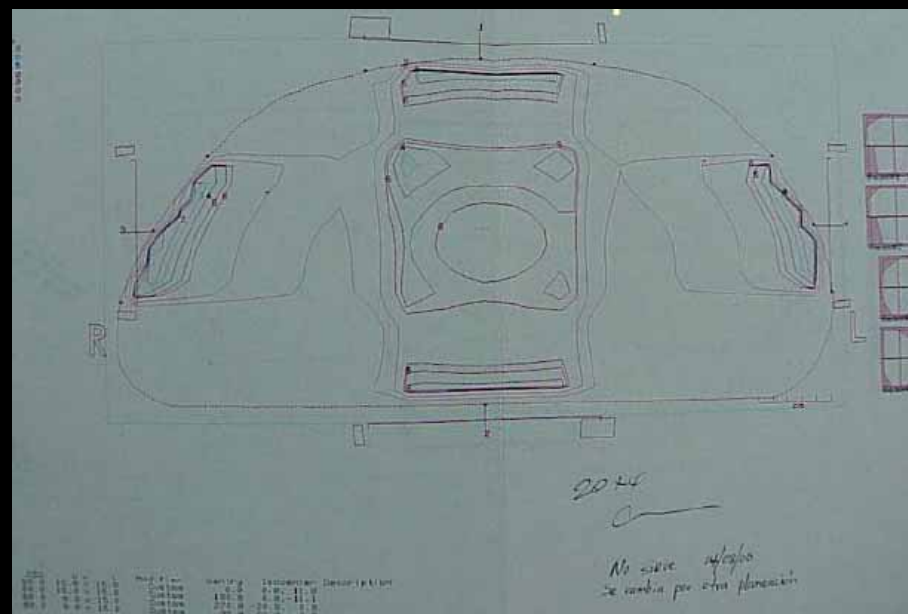
→ manuális számítások

→ in vivo dozimetria

→ részletes tervezési protokollok

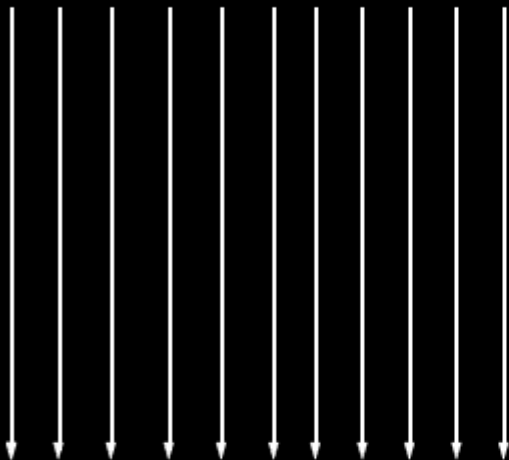
→ részletes adminisztráció

→ egymás ellenőrzése

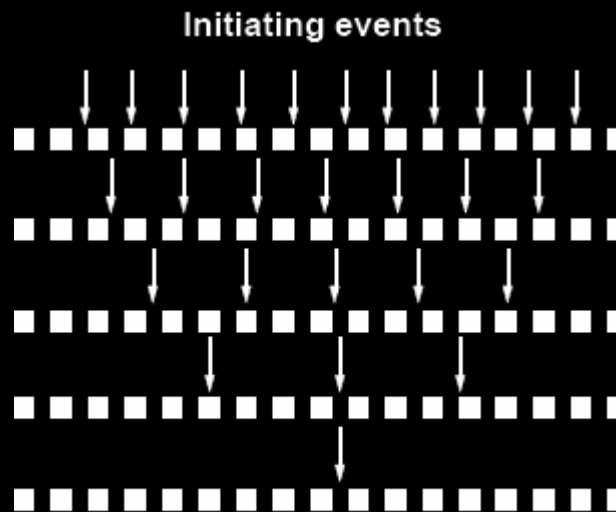


# Besugárzás-tervezési hibák

*Initiating events will happen many times in any clinic*



*If there are no layers of safety provision, these events will lead to accidental exposures*



*By having multiple independent layers of safety-provision, there is a much higher likelihood that accidental exposures are prevented.*

Accidental exposures

# QA/QC



- **Quality Assurance (QA)**: minőségbiztosítás, minőségellenőrzési folyamatok összessége

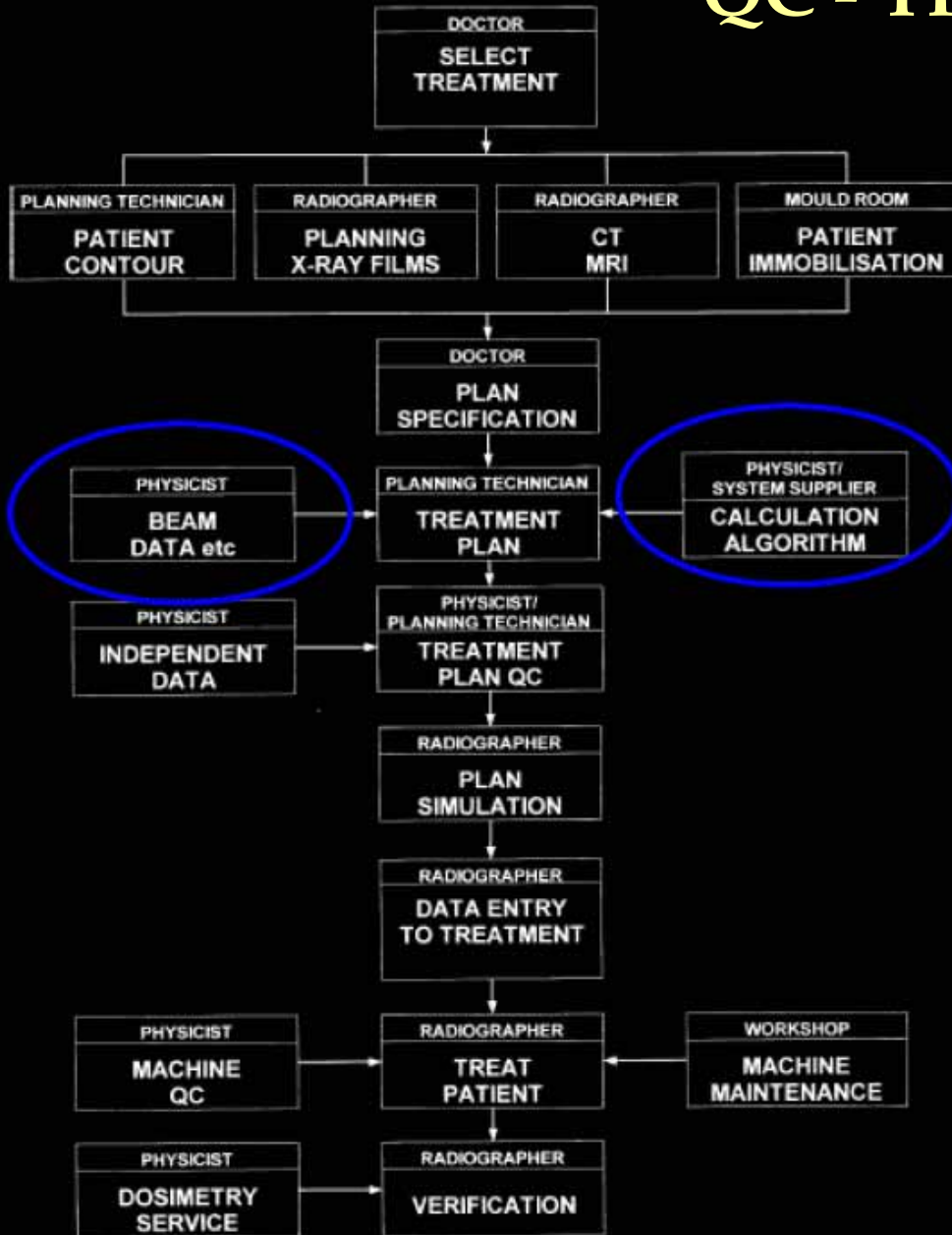
- **Quality Control (QC)**: minőség-ellenőrzés, aktuális mechanizmusok, folyamatok a minőség biztosítására

→ pontosság sugter folyamata során

→ hibák elkerülése



# QC - TPS



- „acceptance”
- napi mérések
- heti
- havi
- éves
- + ha hiba merül fel

# QC - TPS

“A modern planning system may be the result of 30–50 person-years of work and may consist of as many as a million lines of code. It is well known in the software engineering world that even well-designed and implemented software systems still usually contain at least one software error in every 100–1000 lines of code. Therefore, there will always be software errors, some of which will be significant in certain clinical situations.”

- ~10 000 új beteg/év

- 5 LinAc + Co-ágyú + ETB + RTG-terápia + BT

- 2 teleterápiás TPS + 3 BT-s TPS + manuális D-számolás





# QC - TPS

Elkövetett hibák típusai (10 327 tervből!):

*(A) Mistake during the act of manually transferring information to and from TPS / chart*

1. MU's to wrong fields	40	
2. ISO/SSD	23	
3. Field size	12	
4. Recording of wedge name	11	
5. Recording incomplete	11	
6. Recording of treatment unit	8	
7. Energy	6	
8. Collimator angle	6	
9. Bolus	6	
10. SSD	4	
11. Isocentric moves	3	
12. Offset	3	
13. Beam location	2	
14. Target position	2	
15. Isocentre position	2	
16. Phases switched at recording	2	
17. Cord position	1	
<b>TOTAL</b>	<b>Σ 142</b>	<b>1.4 %</b>

# QC - TPS

Elkövetett hibák típusai (10 327 tervből!):

*(B) Mistake during the act of manually creating new information for input into TPS*

1. Field name	14	
2. Volume matrix	8	
3. Patient orientation	4	
4. Wedge direction	1	
5. Isocentre position	1	
6. Dose plan addition	1	
<b>TOTAL</b>	<b>Σ 29</b>	<b>0.3 %</b>

*(C) Mistake during the act of doing manual calculations for TPS plan*

1. Arithmetic	110	
2. Tray factor	94	
3. Dose per fraction	30	
4. Isodose level	27	
5. Addition of open+wedged MU's	8	
6. Equivalent square	2	
<b>TOTAL</b>	<b>Σ 271</b>	<b>2.6 %</b>

***Köszönöm a figyelmet!***