

# A sugárvédelem a sugárterápiában

Hócza Gergely



**DEBRECENI  
EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA



# Sugárvédelem feladata,

**hogy, biztosítsa az ionizáló sugárzás alkalmazását a jelen és jövő nemzedékek károsítása nélkül.**



**DEBRECENI  
EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# Orvosi alkalmazás

- Az orvosi alkalmazásból származó sugárterhelésre (páciens dózisra) a korlátozás nem vonatkozik.
- Az orvosok megítélésére tartozik a diagnosztikai, illetve terápiás célt szolgáló sugárzás típusának és dózisának megválasztása.
- A betegek sugárvédelme érdekében az ICRP (International Commission on Radiological Protection) IRÁNYADÓ dózisokat és aktivitásokat adott meg a különböző vizsgálatokra.



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# Sugárvédelem

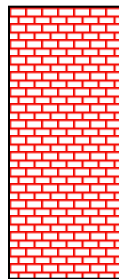
- Távolság



- Idő



- Abszorbens



# Védekezés a szimulátorban, CT szimulátorban

- Ólom tartalmú gumikötény (0,5 mm Pb)
- Pajzsmirigy-védő gallérral
- Ólom tartalmú kesztyű, szemüveg

csak elöl



körkörösén pajzsmirigy

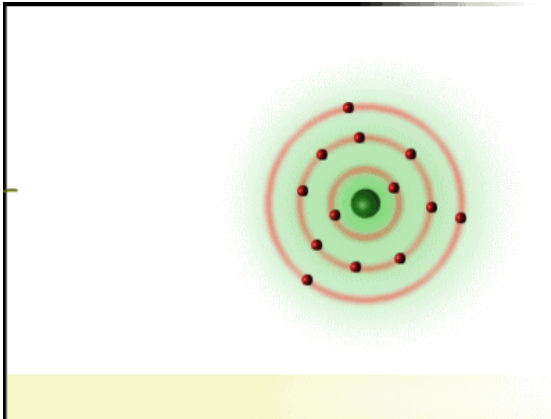


# Védekezés a Co-ágyú ill. linac bunkerében

- Kezelés közben csak a beteg tartózkodhat a bunkerben
- Betegrögzítő rendszerek
- Nagy energia  $\Rightarrow$  Compton effektus
- Ólom tartalmú gumikötény TILOS



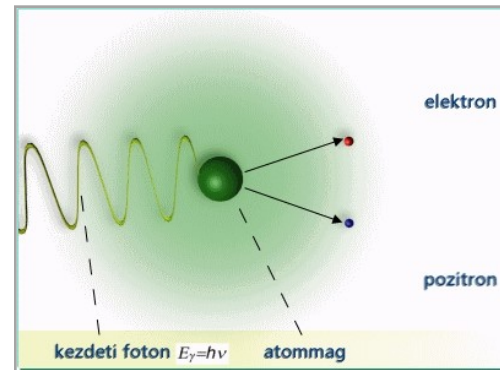
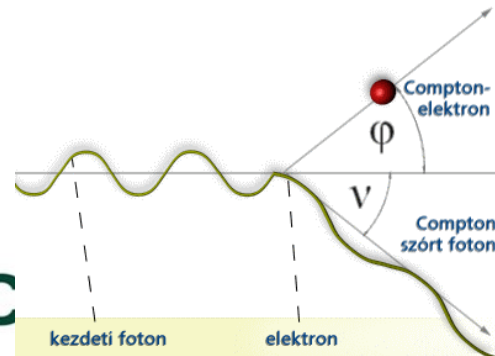
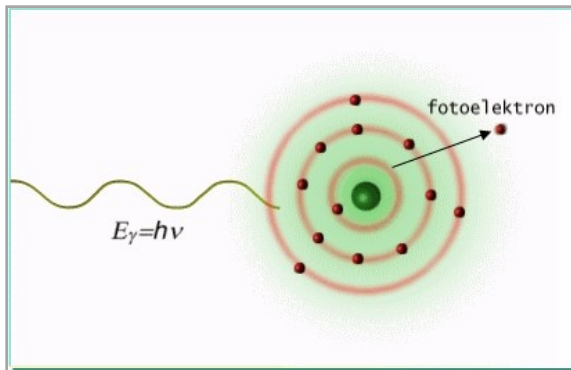
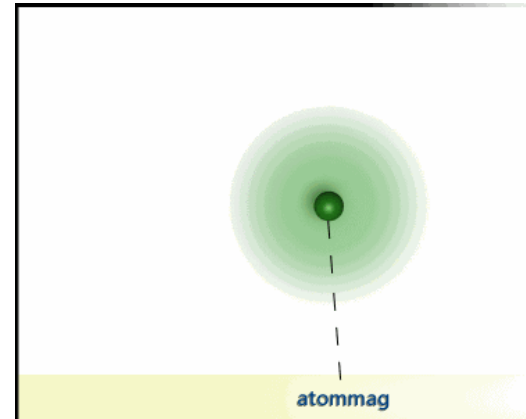
# Fotoeffektus



# Compton szórás

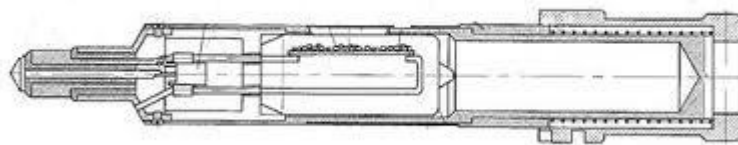


# Párképződés



# Személyzet védelme, ellenőrzése

- Átnéző ablak: ólomüveg
- Ablak nélküli bunker, labirintus
- Film doziméterek (már nem használatos)
- TLD (2013-tól csak ez) szívtájékon
- Digitális doziméterek (azonnal leolvasható)





# Sugárterápia, szabványok

- Munkahely mérete
- Sugárzások:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , rtg, n, p, ...
- Teleterápia
- Brachyterápia
- Minőségbiztosítás
- stb



# Feladat

- **Sugárterápia: megfelelő tumor kontroll mellett minimális komplikáció (mellékhatás) legyen**
- **Modern berendezések alkalmazása**
- **Optimális kezelési technika megválasztása**
- **ICRP ajánlások betartása,  
a kritikus szervek tolerancia dózisa  
(táblázatok)**



# Beleegyező nyilatkozat

- **A beteget tájékoztatni kell  
a sugárzáskezelés folyamatáról  
a várható eredményről  
a lehetséges komplikációkról**
- **A betegnek nyilatkozni kell a kockázatok  
elfogadásáról**



# Terápiás laborok

- **Teleterápia**      felületi terápia (Chaoul)  
                         félmély terápia (Orthovolt)  
                         mélyterápia (Co-ágyú, linac)
- **Gamma-kés**      árnyékolás, kollimálás
- **Brachyterápia**  
    ma már csak afterloading lehet (kézi NEM)



# Berendezések

- Szimulátor 30-150 kV
- CT szimulátor 80-140 kV
- Chaoul 10- 60 kV
- Orthovoltos rtg 50-250 kV
- Kobaltágyú ( $^{60}\text{Co}$ ) 1.25 MeV
- Lineáris gyorsító 6, 10, 15 MV foton  
4,6,8,10,12,15,18 MeV  $e^-$
- Afterloading ( $^{192}\text{Ir}$ ) 317 keV (HDR)



# Nagy aktivitású zárt sugárforrások biztonságnövelő jelölései

A gyártó vagy forgalmazó köteles gondoskodni arról, hogy:

- a sugárforrásnak és a sugárforrás tartónak *egyedi azonosító* sorszama legyen,
- a sorszám a sugárforrásra és a sugárforrás tartóra legyen vésve vagy bélyegezve. Amennyiben ez nem lehetséges, vagy a szállító tartály többször használatos a sugárforrás tartó legalább a sugárforrás jellegéről adjon tájékoztatást
- a sugárforrás tartó és, ha lehetséges, a sugárforrás a sugárveszély jelzésével legyen ellátva



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

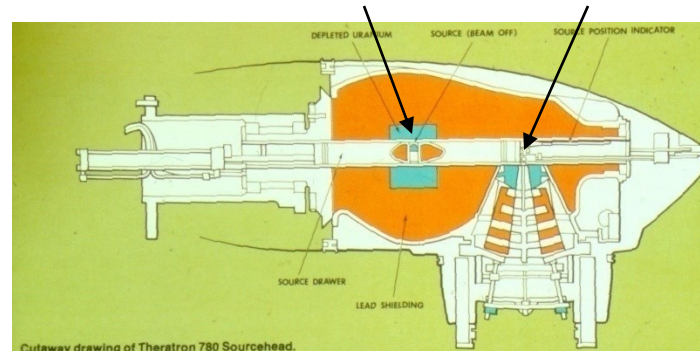
# Nagy aktivitású zárt sugárforrások működése

- Tároló helyzet
  - Besugárzó helyzet
  - Üzemzavar esetén a forrás jusson vissza tároló helyzetébe
- akkumulátor  
kézi erővel



Forrás  
(tároló)

Forrás  
(besug.)



# Izotópok

Nuklid	Felezési- idő	Sugárzás fajtája	Sugárzás energiája	
			$\beta^-$ MeV	$\gamma$ MeV
$^{60}\text{Co}$	5,27 év	$\beta^-, \gamma$	0,312	1,173
				1,333
$^{192}\text{Ir}$	74 nap	$\beta^-, \gamma$	0,535	0,316
			0,669	0,468





# Felező és tizedelő rétegvastagság

Anyag	Beton		Vas		Ólom	
	felező	tizedelő	felező	tizedelő	felező	tizedelő
	réteg (cm)		réteg (cm)		réteg (cm)	
$^{60}\text{Co}$	6,1	20,3	2,0	6,7	1,2	4,0
$^{137}\text{Cs}$	4,9	16,3	1,5	5,0	0,7	2,2
$^{192}\text{Ir}$	4,1	13,5	1,3	4,3	0,6	1,9



# Elvárások

- **Jól kollimált nyaláb, kis félárnyék**  
⇒ **ép szövetek védelme**
- **Nagy forrás - felület távolság**  
⇒ **nagy százalékos mélydózis**
- **Nagy dózisteljesítmény**  
⇒ **rövid kezelési idő**

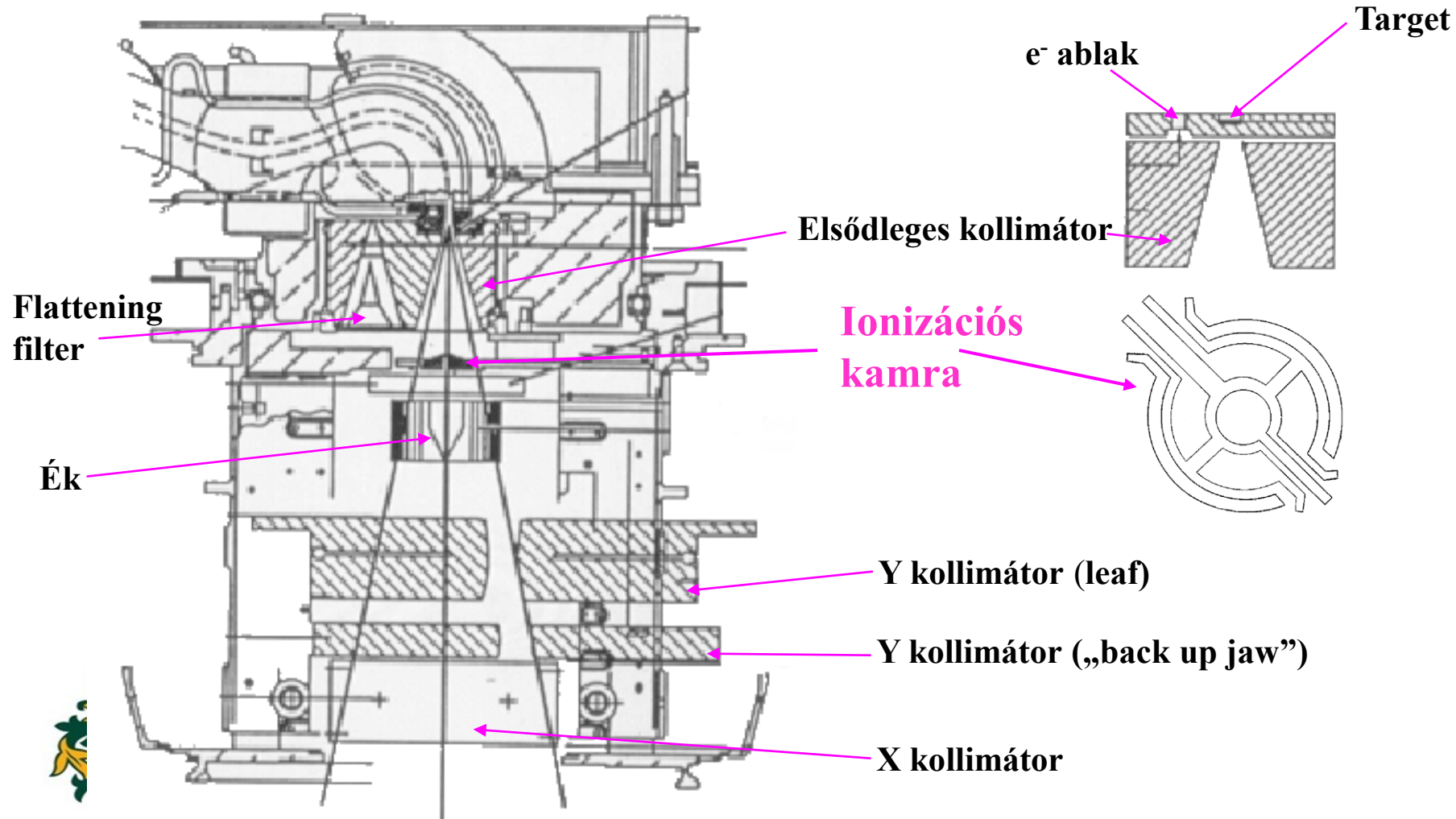


# Előírások

- **A besugárzó berendezés mérje a leadott dózist**
- **A besugárzás álljon le a megfelelő dózis elérésekor**
- **A besugárzás álljon le, ha a nyaláb homogenitása, dózisteljesítménye, bármely paramétere nem megfelelő**
- **A besugárzás ne induljon el, ha valamelyik paraméter az előírttól eltér**



# Lineáris gyorsító feje



# Alapvető követelmények I.

- **Áramkimaradás esetén a sugárforrásnak tárolóhelyzetbe kell kerülnie**
- **Két egymástól független időmérő szerkezet, lin. gyorsító esetén két egymástól független dózismonitor-rendszer**
- **Időmérő, dózismonitor: program végén megállítja a besugárzást, dózismonitor jelzi a fennmaradó MU-t**
- **Az utoljára leadott MU-ot, időt min. 24 óráig az egyik kijelzőnek meg kell őrzni**



# Alapvető követelmények II.

- Rálátás a bunker ajtajára
- **Ajtó - kényszerkapcsolat, az ajtó legyen kézzel (is) nyitható, belülről is (vészhelyzet esete)**
- Besugárzást jelző fények (fehér, zöld, sárga; zöld, piros) bejárati ajtó fölött, vezérlő pulton, besugárzó helyiségben
- Veszélyjelző feliratok (sugárveszély, ellenőrzött terület, engedély nélkül belépni tilos)
- Kezelőben:
  - sugárzás figyelő monitor, hangos riasztással
  - video kamera
  - kétoldalú beszédkapcsolat
  - vészvilágítás



# Alapvető követelmények III.

- **Vészleállítók:** piros vészgomb, ajtónyitás, asztalfék kioldása
- **Feliratok**
- **Nem egyező paraméterek:** gantry szöge, kollimátor szöge, mezőméret, MU (2 független dózismonitor), dózisteljesítmény, ... esetén nem indul el a kezelés
- **Besugárzó helyiség:** ellenőrzött terület



# Alapvető követelmények IV.

- **Többi helyiség: felügyelt terület**
- **Felügyelt terület határa: „Sugárveszély” felirat**
- **Vezérlő pult külön helyiségben, feliratokkal ellátva, jelzőlámpák**
- **Helyszíni sugárvédelmi kézi műszer**
- **Hő- és füstdetektálás, szellőzés min. 5-szörös**





# Alapelvek

- Indokoltság
- Dóziskorlátozás
- Optimalizálás



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# Megvalósítás

- **Megfelelő épület (bunker, zsilip, ajtó) berendezés biztonsági intézkedések minőségbiztosítás (QA/QC)**
- **Primer sugárzás, szórt sugárzás, szivárgó sugárzás, neutron termelés (>8 MV) ⇒ felaktiválódás (besugárzó berendezés feje, asztal)**



# Neutron (linac)

- X15 átlag: 120 cps (ajtónál, kívül, háttér: 0)
- X6 átlag: 1 cps (ajtónál, kívül, háttér: 0)
- $(\gamma, n)$  reakció > 8 MV



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# Másodlagos sugárzások I.

- **Szórt sugárzás: a készüléken, betegen, asztalon, falakon szóródik**
- **Számítása: bonyolult**
- **Mérése: legnagyobb mezőmérettel, a kisebb foton energiával, szóró-közeg alkalmazásával (víz), különböző besugárzási irányokkal**



# Másodlagos sugárzások II.

- **Szivárgó sugárzás: a készülék kialakításától függ  $\Rightarrow$  irányonként különböző**
- **Multileaf collimator (MLC) lemezei között**  
**Mérése: legnagyobb mezőmérettel, a gyártó ajánlásának megfelelően, filmmel, denzitométerrel**



# Besugárzástervezés

- Homogén dóziseloszlás a céltérfogaton belül
- Maximális dózis a céltérfogaton belül
- Ép szövetek, kritikus szervek védelme, takarás (blokk, MLC)



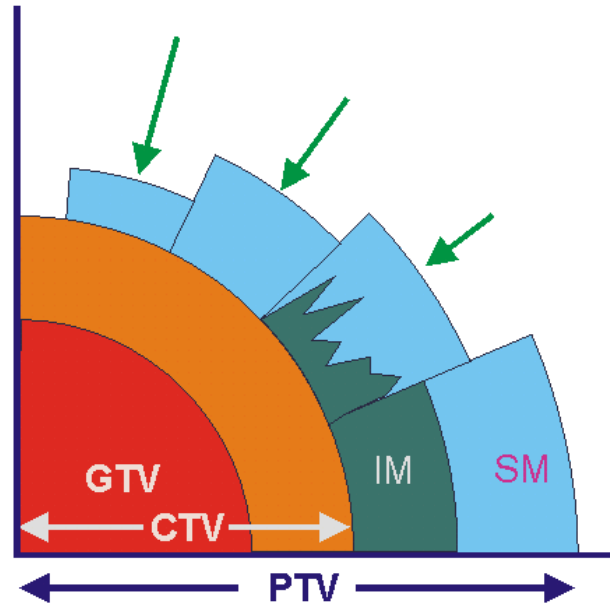
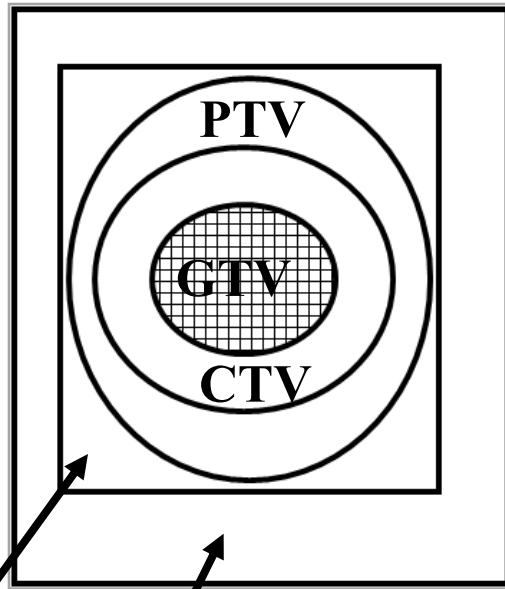
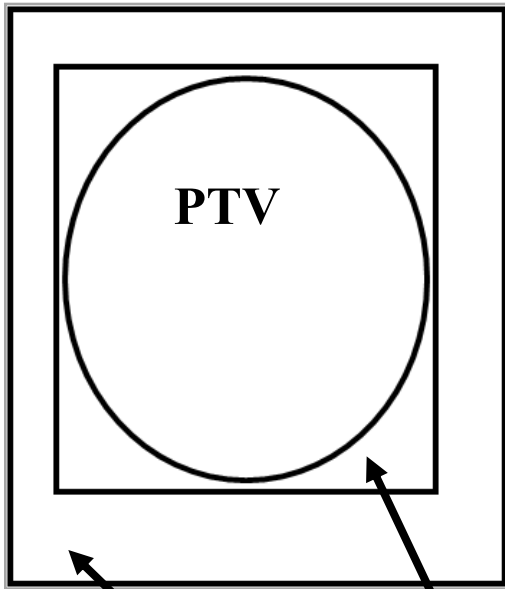
# Céltérfogat meghatározása

## International Commission on Radiation Units and Measures (ICRU)

Report 29 (1978.)

Report 50 (1993.)

Report 62 (1999.)



Kezelt térfogat  
Besugárzott térfogat  
**DEBRECENI**  
EGYETEM  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

IM: internal margin  
SM: set up margin

# Védendő térfogat International Commission on Radiation Units and Measures (ICRU)

Report 83 (2010.)





# Dose Volume Histogram (DVH)

[%]

100

PTV

OAR



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

[Gy]

# ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements)

**Planning Target Volume (PTV):**

**95%-107%**

**Besugárzási terv elemzése:**

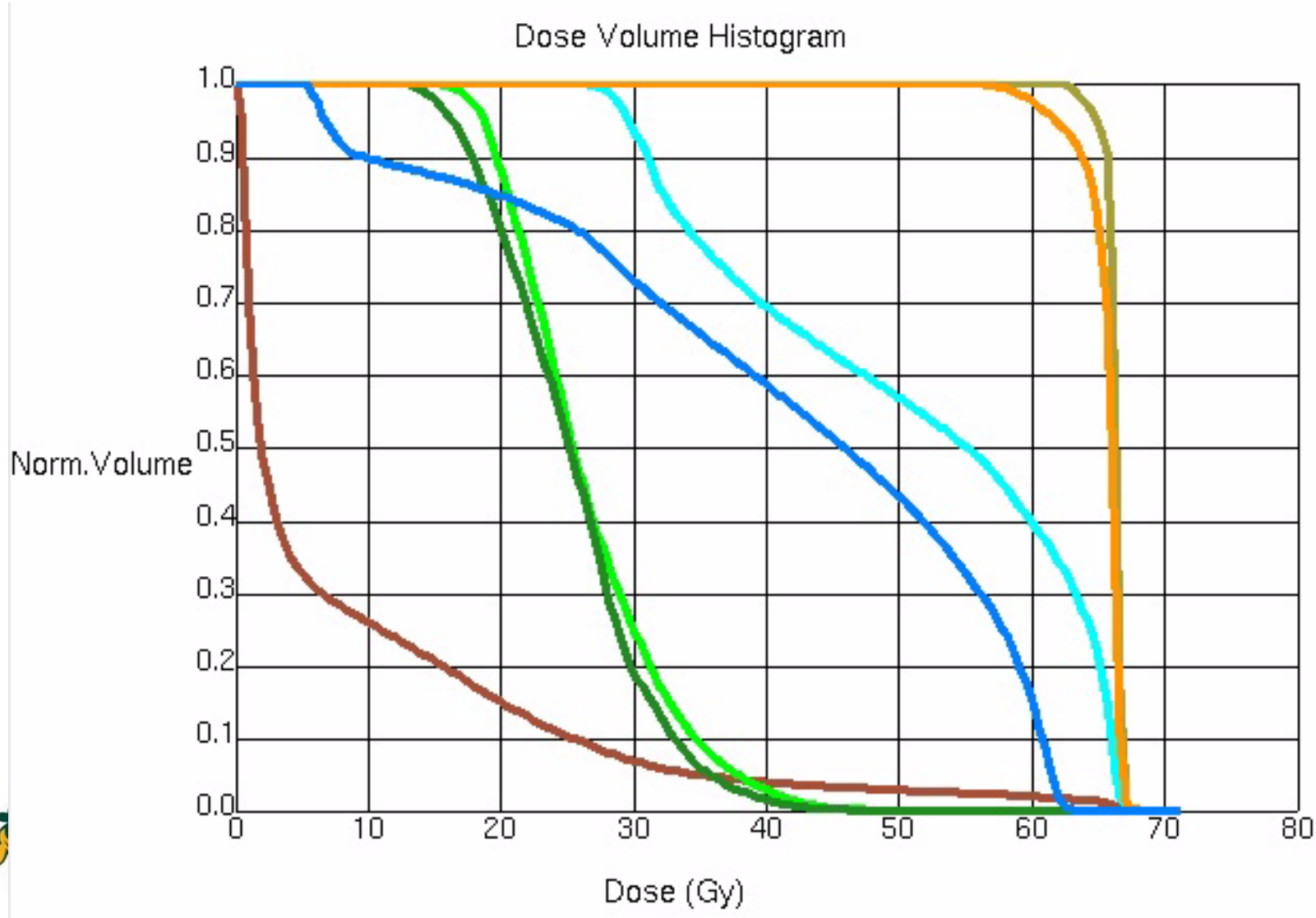
**Dose Volume Histogram (DVH):**

**Mekkora térfogat kap meg egy adott dózist**



**DEBRECENI  
EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# DVH valóságban



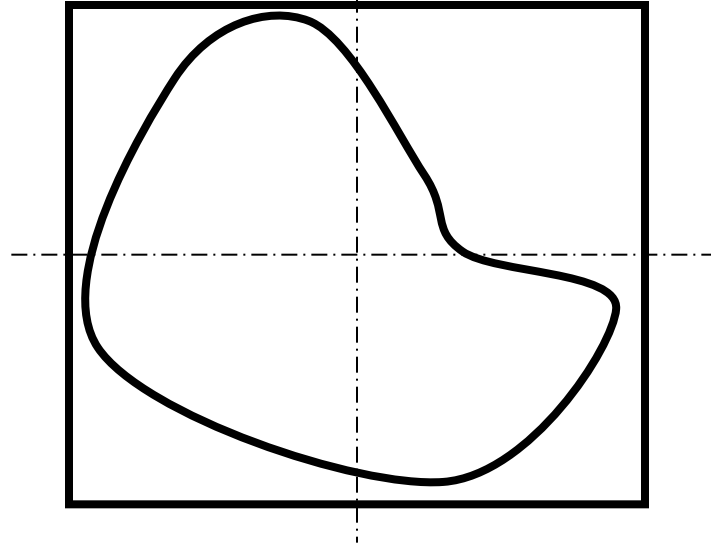
# Besugárzástervezés

- A dóziseloszlás a betegen belül az egyes besugárzási mezők összegzésével alakul ki
- Treatment Planning System (TPS)
  - linac dozimetriai, geometriai adatai
    - relatív (mélydózis, profil)
    - abszolút (output faktor, wedge faktor)
  - mező, gantry, kollimátor, asztal
  - beteg adatai
    - testkontúr, szöveti inhomogenitások
    - módosító hatása (CT szeletek, MR, PET)

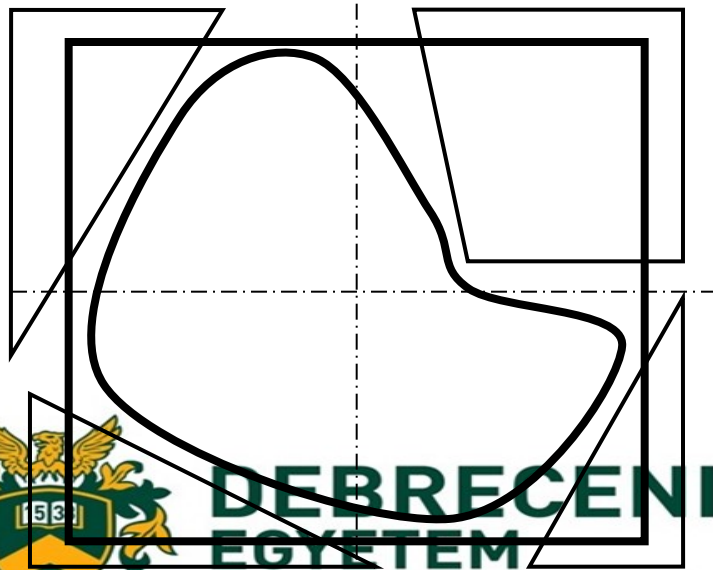


# Takarások kialakítása

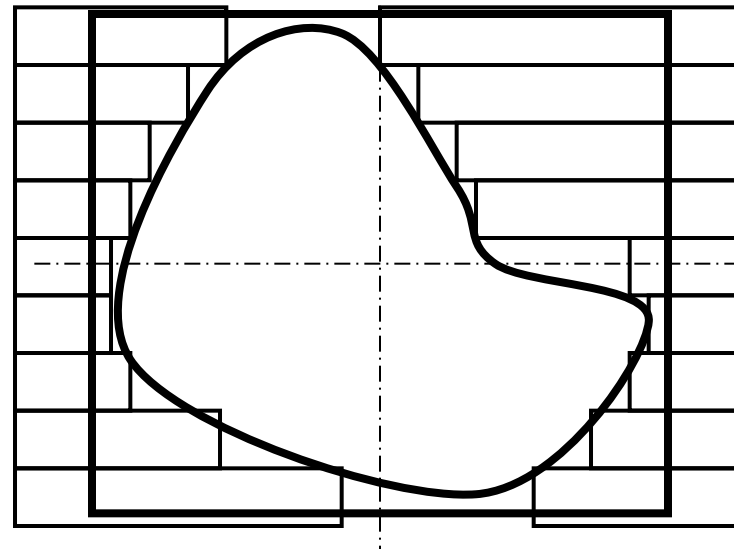
Nyílt mező



Blokkok

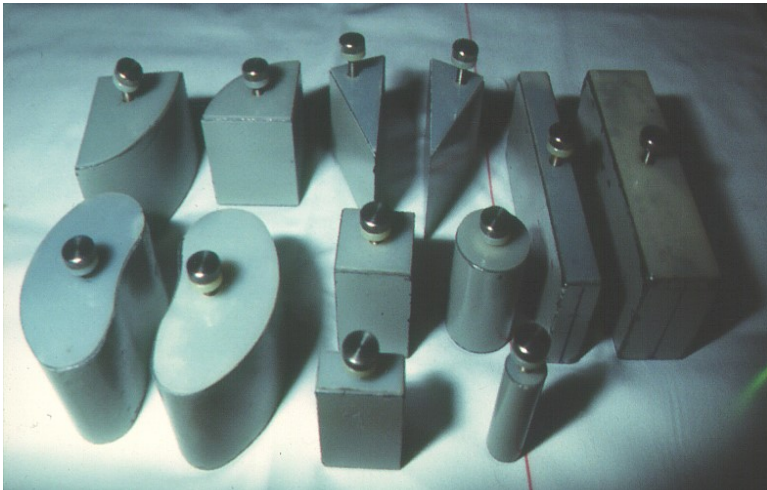


MLC

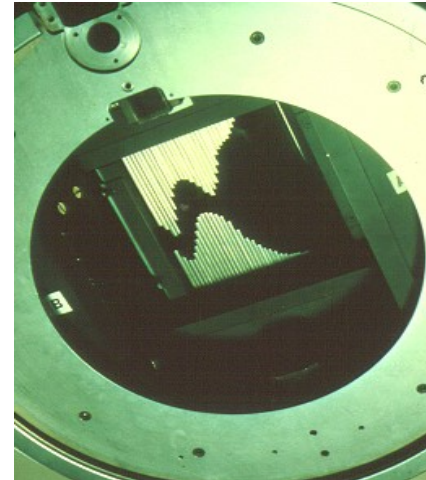
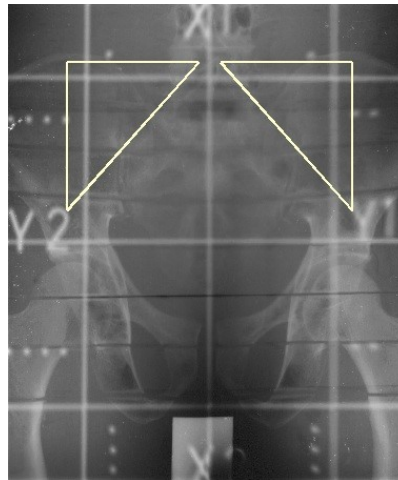


# Kritikus szervek sugárvédelme (takarások)

ólom-takarások



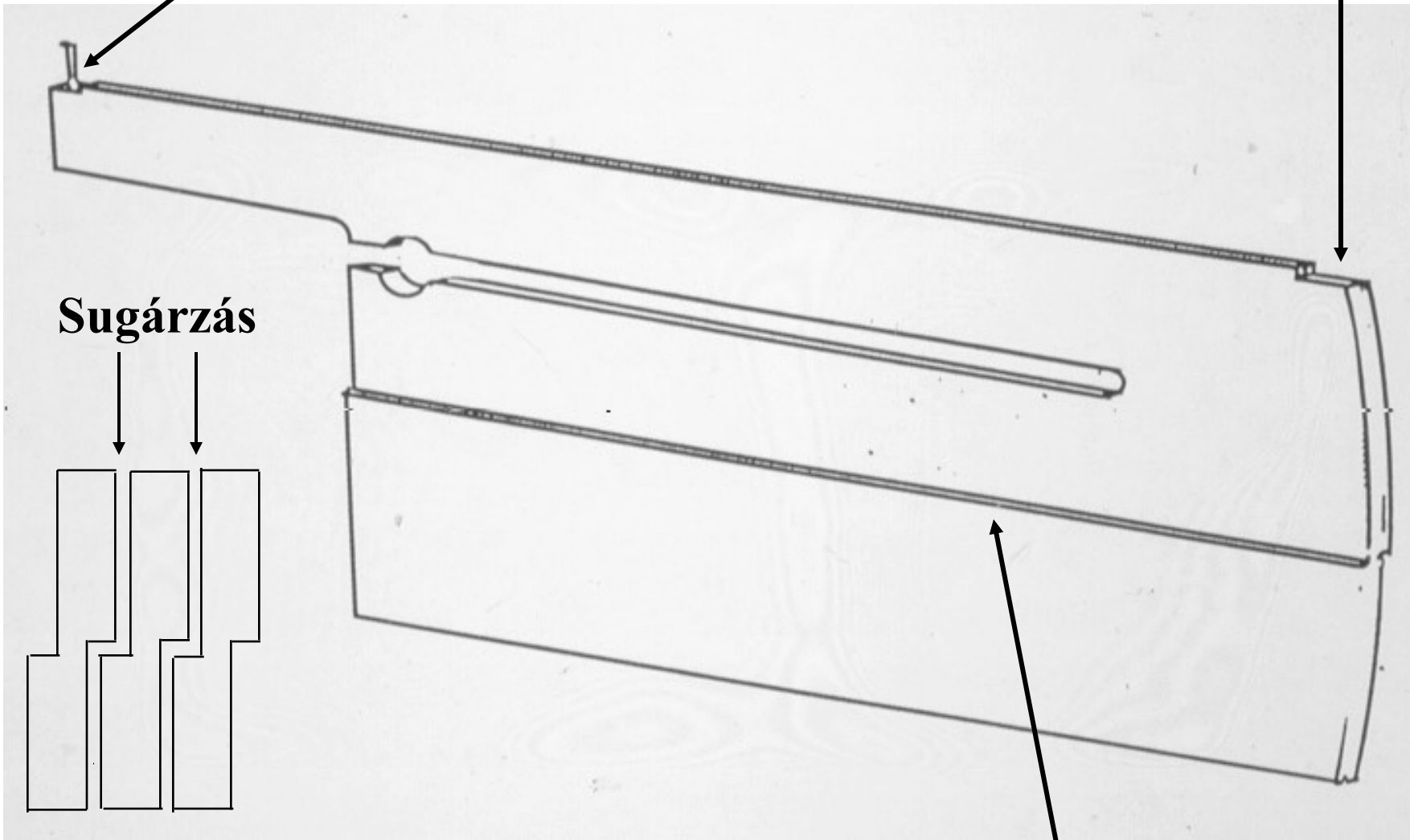
MLC



Végálláskapcsoló

Leaf

Tükör



Sugárzás

Lépcső



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# Berendezések

- **Feleljenek meg a szabvány előírásainak**
- **Átvételi teszt:**  
**Teljesülnek-e a gyártó által vállalt paraméterek?**  
**Megfelel-e a biztonsági előírásoknak?**
- **Rendszeres karbantartás, mérés:**  
**minőségbiztosítás (mechanikai,**  
**elektronikai, dozimetriai ellenőrzés)**





# Dozimetriai mérések

- **Relatív:** %-os mélydózisok, profilok
- **Abszolút:** output faktorok, ék faktor  
fantom-szórás, fej-szórás
- **Fantomok:** víz ( $1 \text{ g/cm}^3$ )  
szilárdtest (PMMA, „solid water”)  
homogén, inhomogén  
„ember” ekvivalens
- **Detektorok:** ionizációs kamra, dióda, TLD, stb

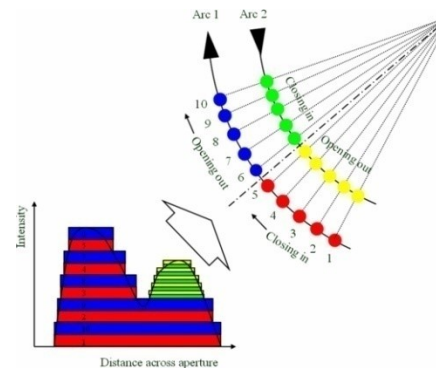
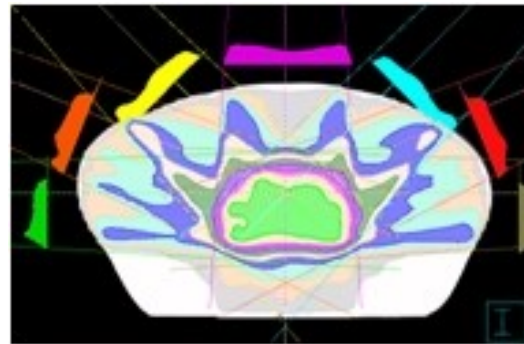
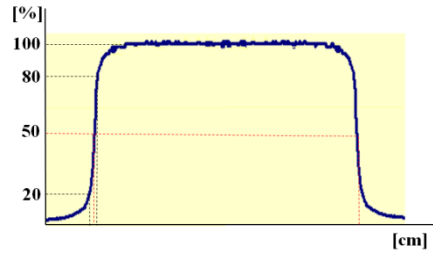


# Technikák

- 3D konformális
- IMRT
  - Step&Shoot
  - DMLC (Sliding Window, interdigitális mozgás)
  - IMAT (arc therapy)
- IMRT VMAT/RapidArc  
(Volumetric Intensity Modulated Arc Therapy)



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

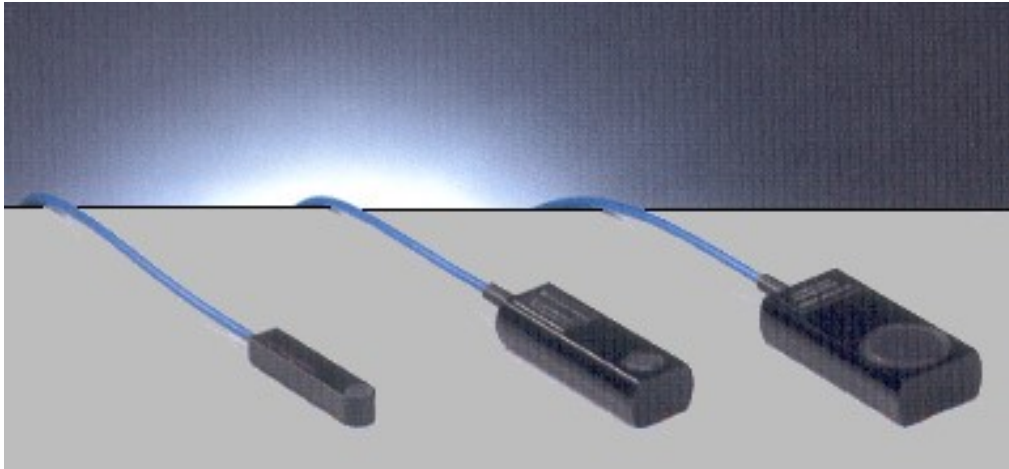


# In vivo dozimetria

- **Kezelés közbeni ellenőrzés**
  - film (mező elhelyezkedése, dózisa)
  - dióda (sokcsatornás, azonnali eredmény)
  - TLD (eredmény később)
- **Speciális technikáknál (IMRT, sztereo, TBI)**
  - kezelés előtti mérés, speciális fantomban



# Lágsugár kamra és fantom



Ionizációs kamra



Plexi fantom



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# Dózismérők



**Farmer kamra (foton)**



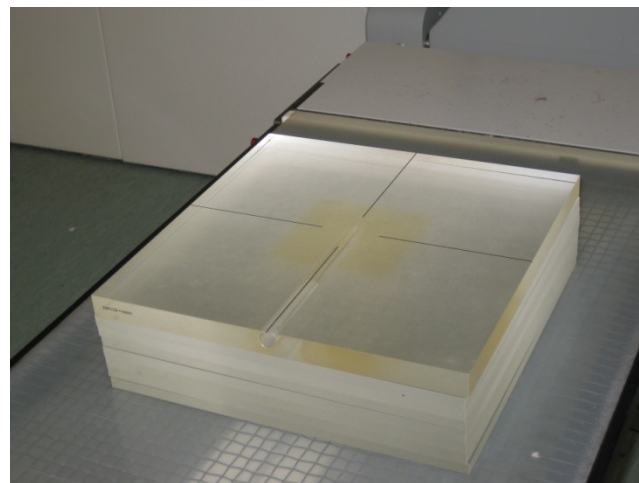
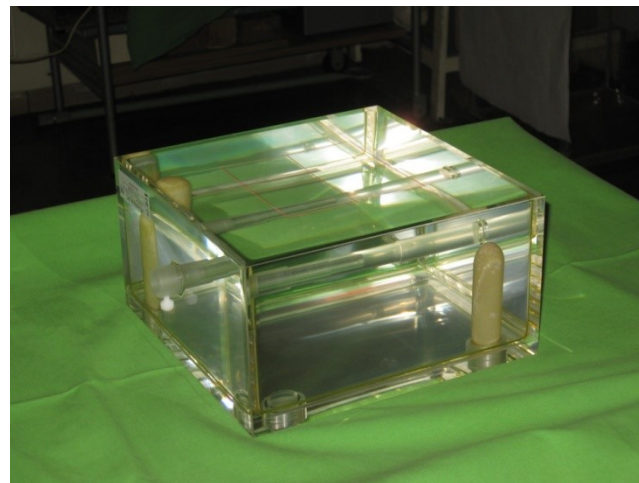
**Markus kamra (e<sup>-</sup>)**



**Diódák (in vivo)**

# Fantomok

Zárt vízfantom



Plexi fantom

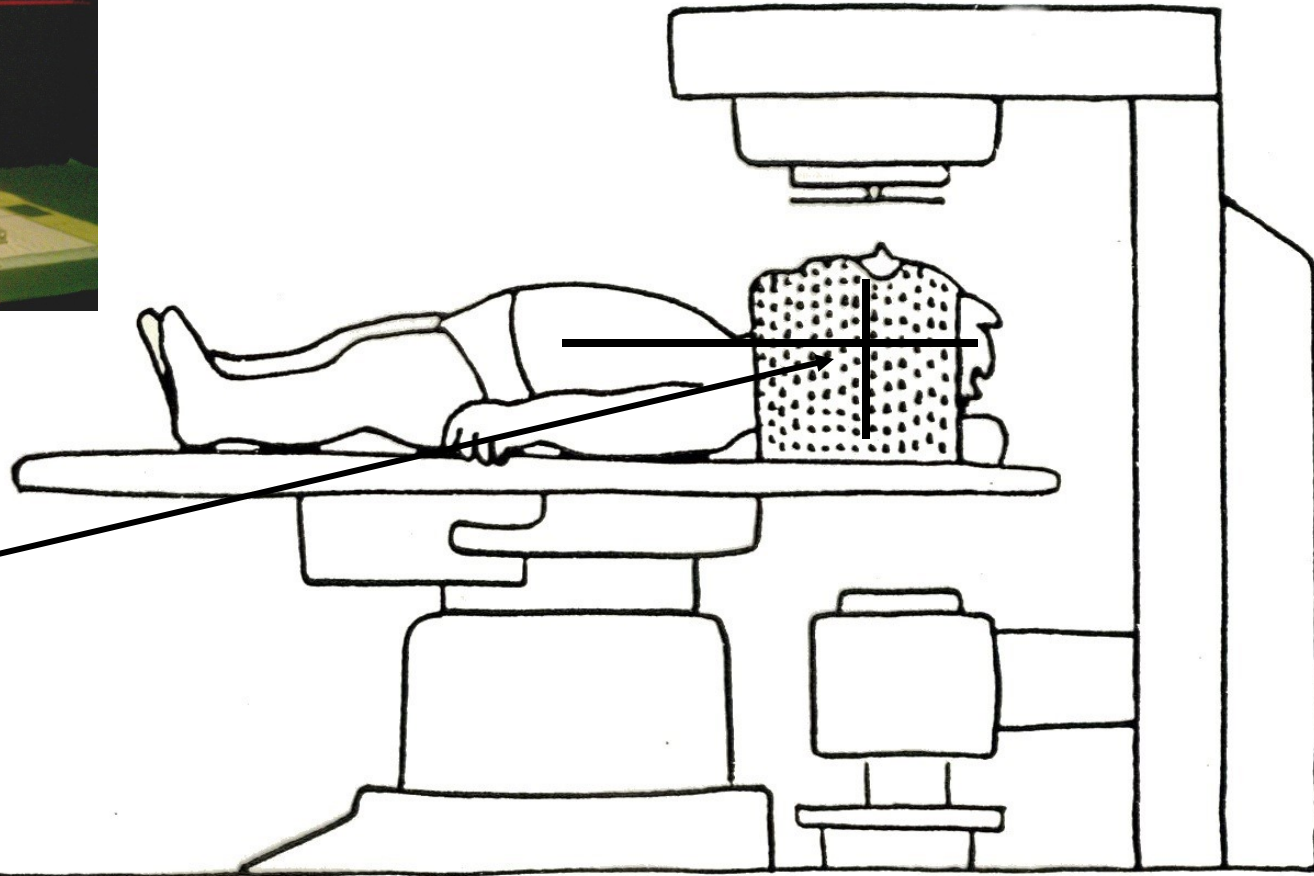
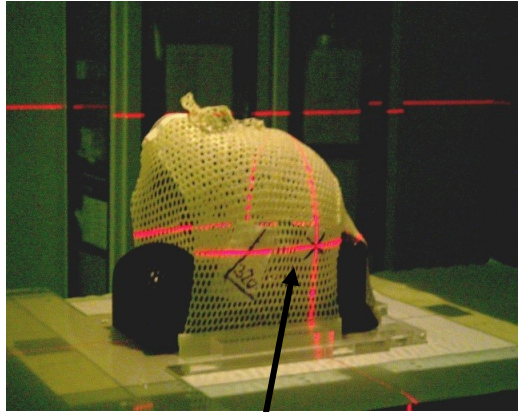


# Bizonytalanságok

- **Betegelrendezés, fektetés  
betegrögzítő rendszerek  
karbonszálas, indexált asztallap**
  - **Szervmozgások**
  - **Fogyás, ödéma**
  - **Berendezés beállítása  
gantry-, kollimátor-szög, mezőméret**
- ⇒ **Record and Verify (R&V) rendszer,  
beállító felvételek (film, portal imaging)  
in vivo dozimetria**



# Testhelyzet rögzítés a szimulátorban



lézer



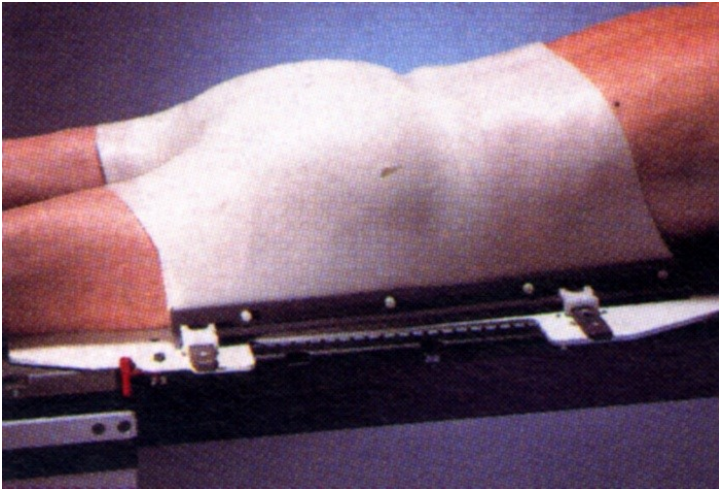


# Testhelyzet rögzítés a CT szimulátorban

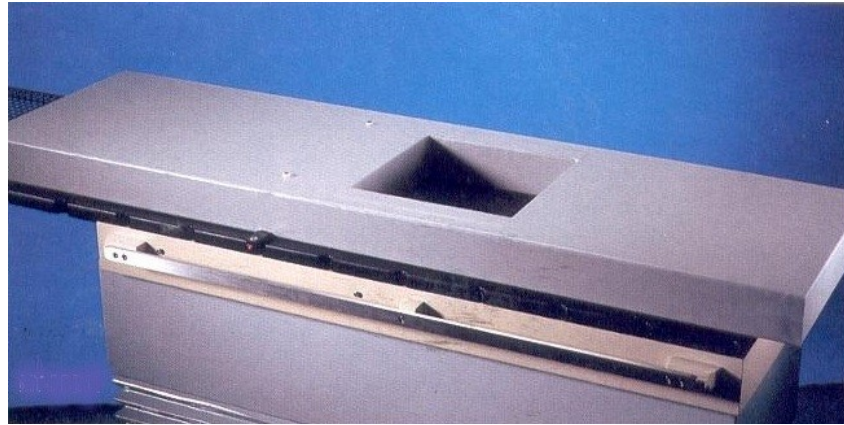


# Testhelyzet rögzítők

**Medence rögzítés**



**Hascsapda**



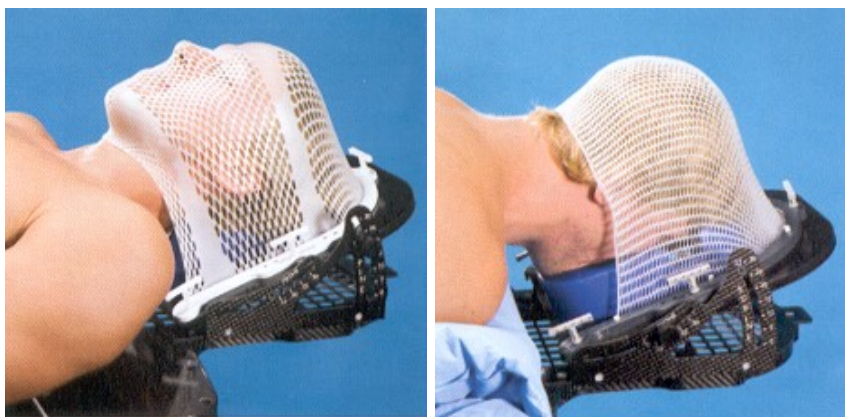
**Kéztartó**



**Vákuum matrac**

# Segédeszközök

**Fejrögztítő maszk, háton, hason**



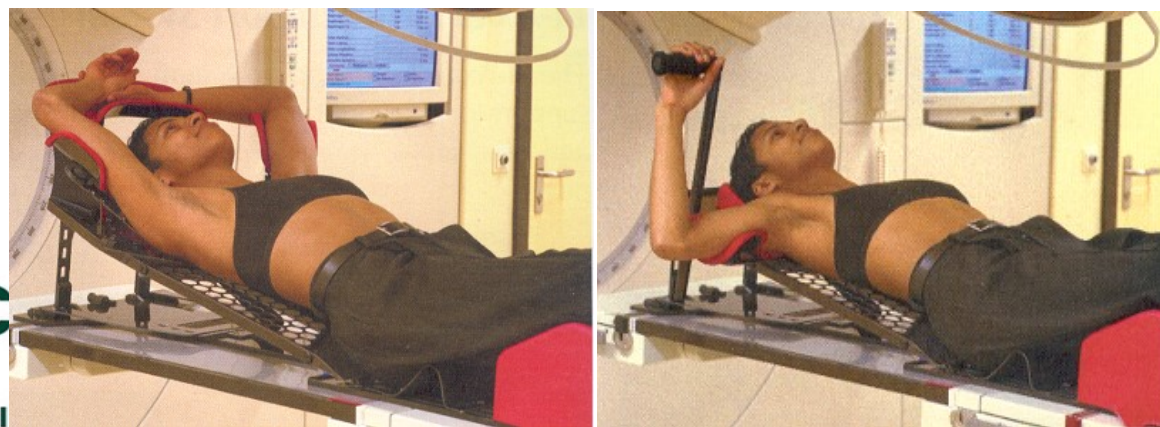
**Teströgztítés**



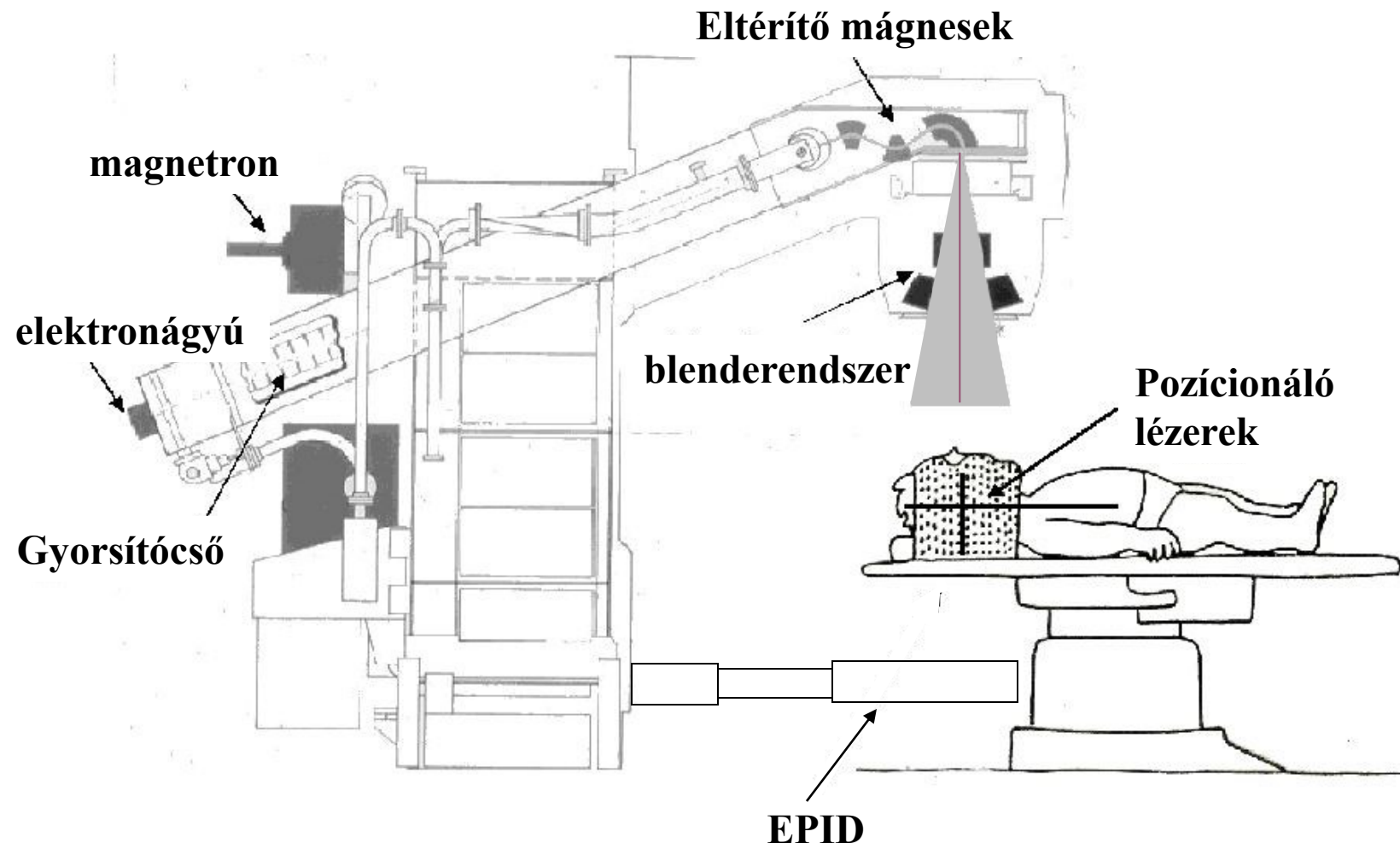
**Váll-lehúzó**



**Kéztartók**

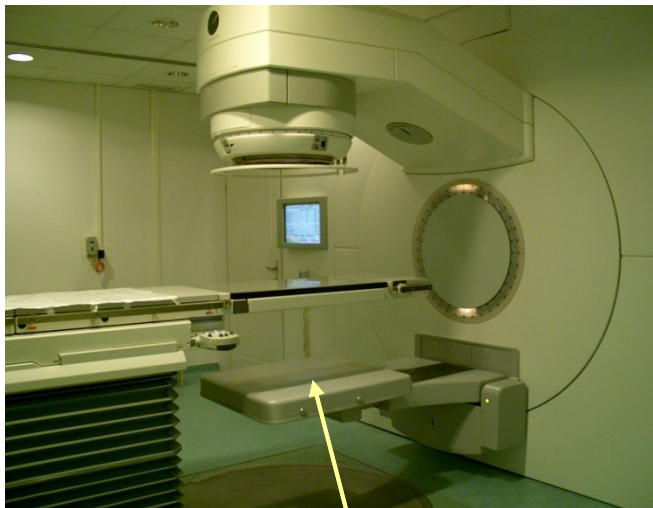


# Kezelés



# Kezelés kivitelezése és ellenőrzése

- Testhelyzet (lézerek)
- Verifikáció iView

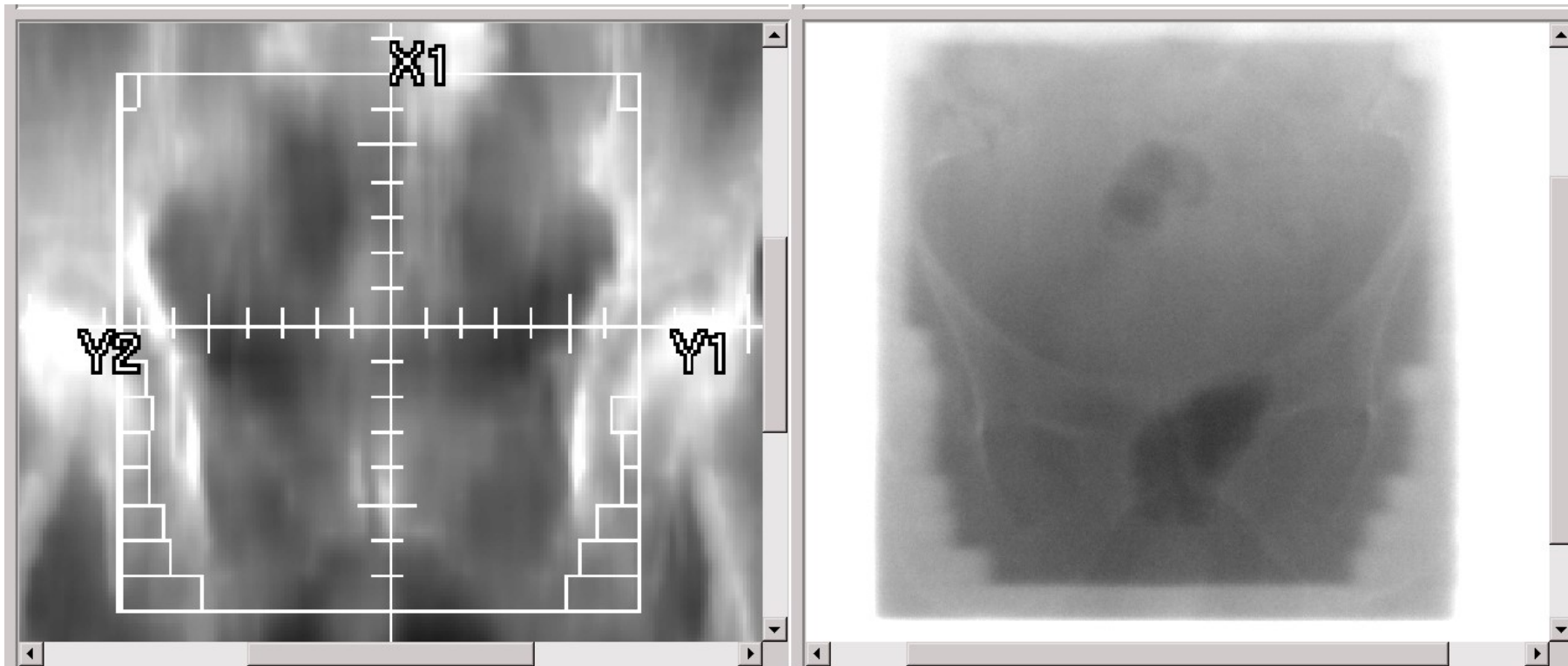


**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKÓRÁDIOLOGIAI KLINIKA

**iView, amorf szilícium  
kristály detektor**

**BEV iView felvétel**

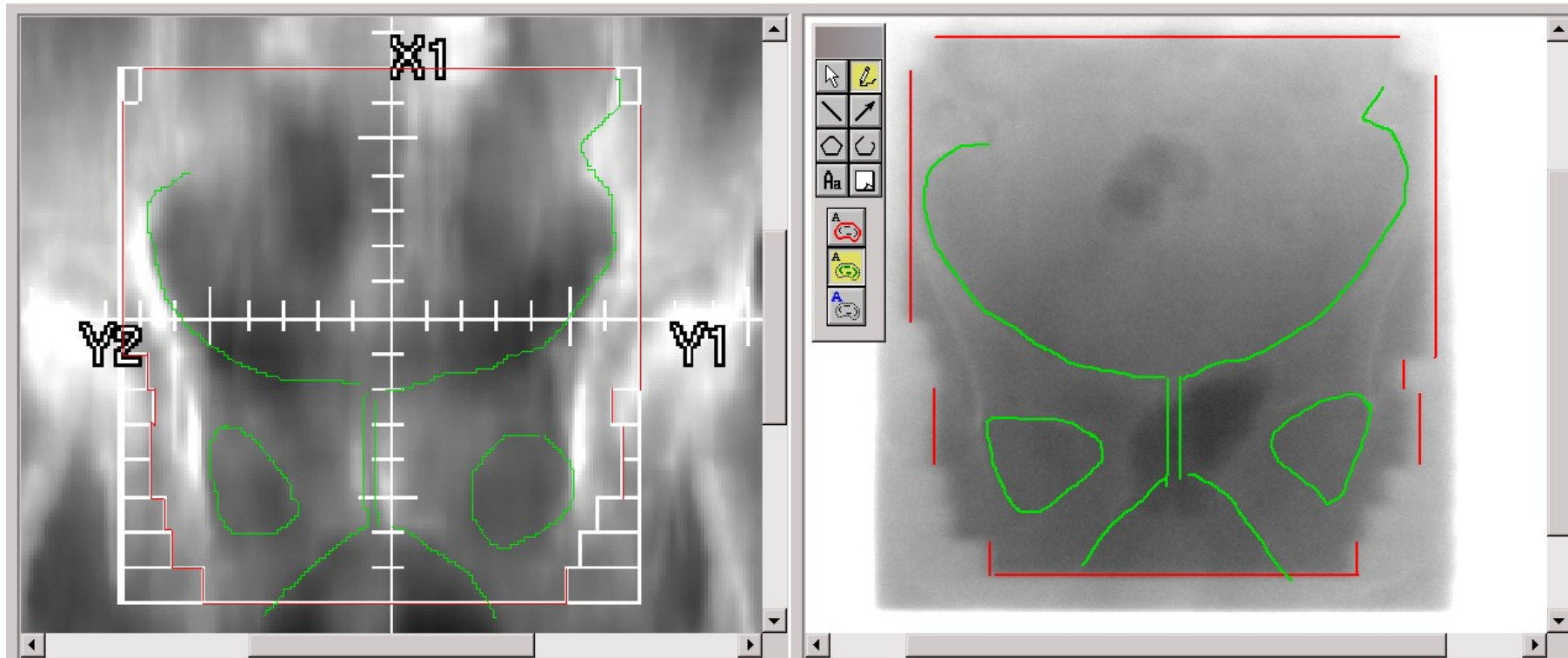
# BEV - iView



**BEV - tervezőrendszerből**  
DEBRECENI  
EGYETEM  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

**iView - kezelés közben**

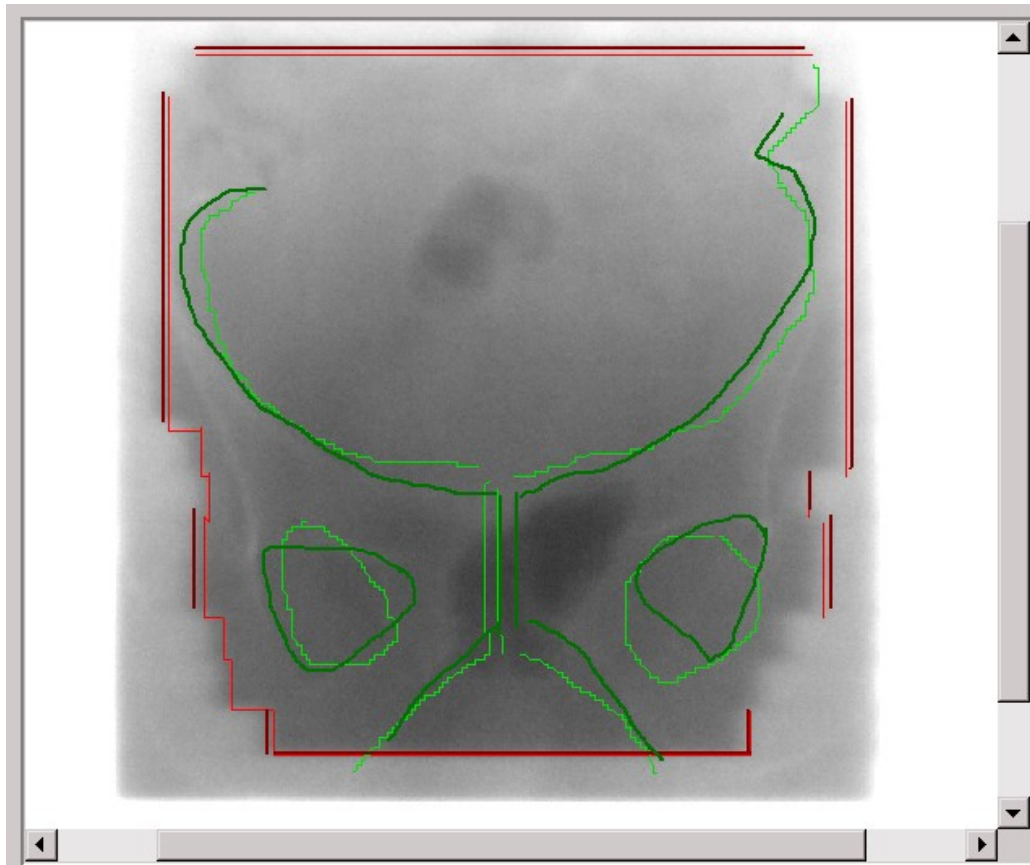
# Mező, anatómia



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

**Mező, leaf, anatómiai képletek**

# Illesztés, eltérés



**Template Matching**

Step 1

Match field edge

Use left mouse button to shift

Done

Step 2

Match anatomy

Use left mouse button to shift

Use right mouse button to rotate

Done

Results

**Anatomy displacement relative to the field edge**

Horizontal (mm):	+1.7	
Vertical (mm):	+0.0	
Rotation (degrees):	+0.0	

Help OK Cancel



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

Korrekción



# BEV - iView



**DEBRECENI**  
**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

**Mozgó kép**

# Image Guided Radiation Therapy (IGRT)

Linac  
kollimátora  
(MV)

Rtg cső (kV CBCT)



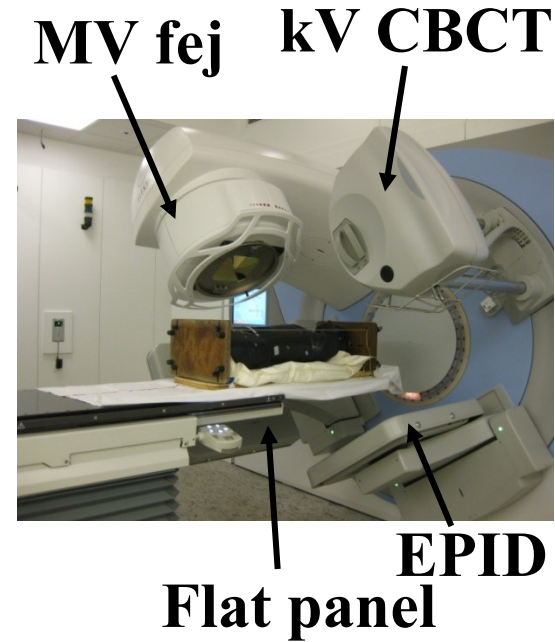
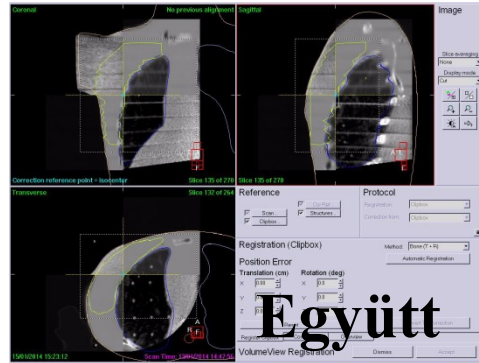
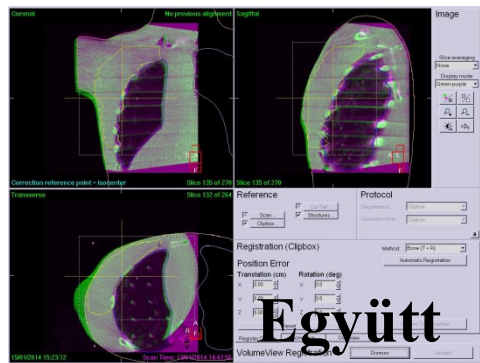
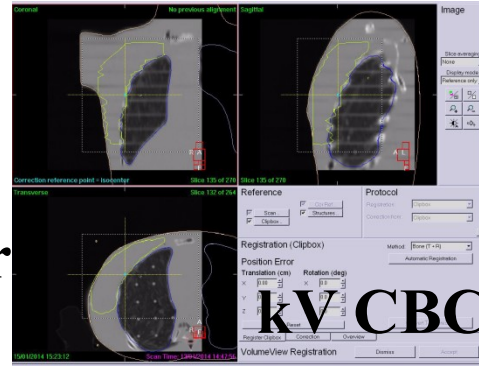
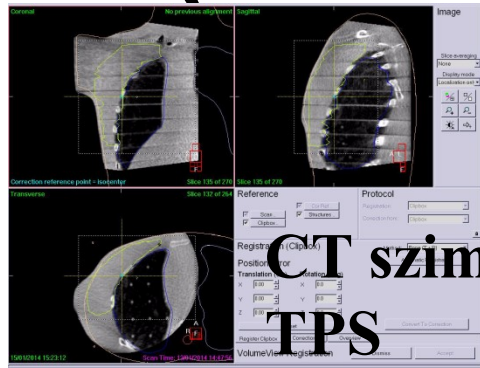
Flat panel



**EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

EPID

# Image Guided Radiation Therapy (IGRT)

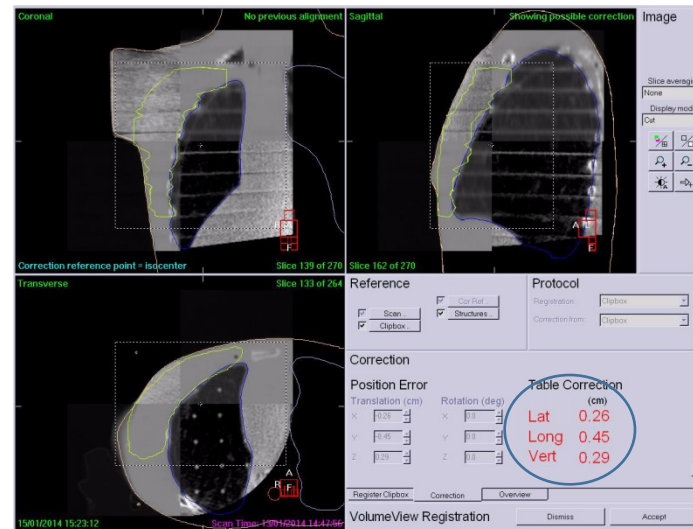
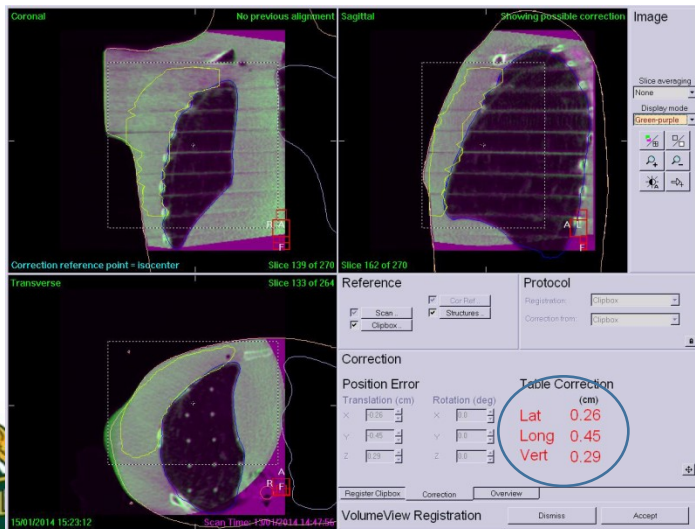


XVI. X-ray Volume Imaging

DEBRECENI  
EGYETEM  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

# Illesztés

- Clipbox
- Automatikusan (csontra, lágyrészre)  
transzláció, rotáció
- Manuálisan



# Korrekció

## kV CBCT → Mosaiq (R&V)

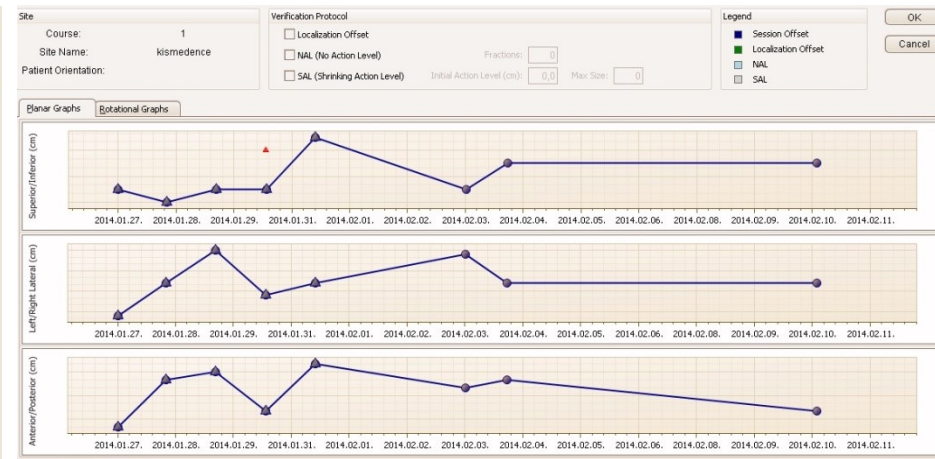
Course: 1 Status: Inactive Exclude  
Site Name: kismencede Source  
Patient Orientation:

Site / Image List

Sts	Description	Date	Time	Superior	Lateral	Anterior	Coronal	Sagittal	Transverse	Mag
				cm	cm	cm	deg	deg	deg	
	Localization (Current)	2014.01.31	12:20	Sup 0,0	LR 0,1	Pos 0,2				0,2
	Third Party	2014.02.03	12:26	Inf 0,1	LR 0,8	Ant 0,0				0,8
	Third Party	2014.02.04	8:17	Sup 0,1	LR 0,1	Ant 0,1				0,2
	Third Party: XVI	2014.02.10	12:51	Sup 0,1	LR 0,1	Pos 0,3				0,3

Localization Offset (Anatomy)

	Current (cm)	Additional (cm)	New (cm)
Superior/Inferior:	Superior 0,0	Superior 0,0	Superior 0,0
Right/Left:	Left 0,1	Left 0,0	Left 0,1
Anterior/Posterior:	Posterior 0,2	Anterior 0,0	Posterior 0,2



## Táblázat

**DEBRECENI  
EGYETEM**  
ONKORADIOLÓGIAI KLINIKA

## Grafikon

# Eredmény

- Korszerű berendezés, megfelelő bunkerben
- Magas szintű dozimetria
- Szakszerű besugárzástervezés
- Gondos betegrögzítés



- Pontos kezelés  $\Rightarrow$  jó terápiás eredmény  
minimális komplikáció
- Beteg sugárvédelve még sugárkezeléskor is!



**Köszönöm szépen a figyelmet!**

