

Betegek sugárvédelme sugárterápia során

Dr. Dobos Erik

Sugárvédelem feladata

Biztosítsa az ionizáló sugárzás alkalmazását a jelen és jövő nemzedékek károsítása nélkül.

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.

Sugárvédelem

- Idővédelem
- Távolságvédelem
- Sugárvédő rétegek alkalmazása

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

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 viselése **TILOS!**

Személyzet védelme, ellenőrzése

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



Sugárterápia, szabványok

- Munkahely mérete
- Sugárzások: α , β , γ , 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:
 - Sugárzáskezelés folyamatáról.
 - Várható eredményről.
 - 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}Co)** 1.25 MeV
- **Lineáris gyorsító** 6, 15, 18 MV foton
4, 6, 8, 10, 12, 15, 18 MeV e^-
- **Afterloading (^{192}Ir)** 317 keV (HDR)

THX250 (50 - 250kV Al, Cu)

Rtg cső
(olaj tartály)



Szűrő

Tubus

Nagy aktivitású zárt sugárforrások biztonságnövelő jelölései

A gyártó vagy forgalmazó köteles gondoskodni arról, hogy:

- Sugárforrásnak és a sugárforrás tartónak *egyedi azonosító* sorszáma legyen.
- *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.
- Sugárforrás tartó és, ha lehetséges, a sugárforrás a *sugárveszély jelzésével* legyen ellátva.

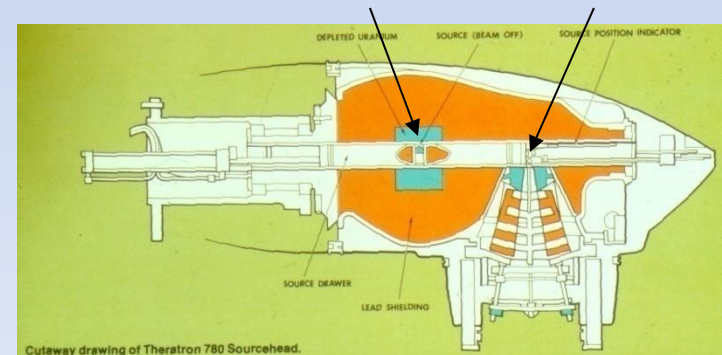
Nagy aktivitású zárt sugárforrások működése

- 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	
			β^- MeV	γ MeV
^{60}Co	5,27 év	β^-, γ	0,312	1,173
				1,333
^{192}Ir	74 nap	β^-, γ	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}Co	6,1	20,3	2,0	6,7	1,2	4,0
^{137}Cs	4,9	16,3	1,5	5,0	0,7	2,2
^{192}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

- Besugárzó berendezés mérje a leadott dózist.
- Besugárzás álljon le a megfelelő dózis elérésekor.
- Besugárzás álljon le, ha a nyaláb homogenitása, dózisteljesítménye, bármely paramétere nem megfelelő.
- Besugárzás ne induljon el, ha valamelyik paraméter az előírttól eltér.

Alapvető követelmények I.

- Áramkimaradás esetén a sugárforrásnak tárolóhelyzetbe kell kerülnie.
- Két egymástól független időmérő szerkezet, lineáris 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 minimum 24 óráig az egyik kijelzőnek meg kell őrizni.

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.**

Alapvető követelmények IV.

- Besugárzó helyiség: **ellenőrzött terület.**
- Többi helyiség: **felügyelt terület.**
- Felügyelt terület határa: „Sugárveszély” felirat.
- Vezérlő pult külön helyiségben, feliratokkal ellátva, jelzőlámpák.
- Helyszíni sugárvédelmi kéziműszer.
- Hő- és füstdetektálás, szellőzés min. 5-szörös.
- 500 TBq felett az automatikák jelzésére a sugárforrásnak automatikusan tárolóhelyzetbe kell kerülnie.

Alapelvek

- **Indokoltság**
- **Dóziskorlátozás**
- **Optimalizálás**

Megvalósítás

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

Neutron (linac)

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

Ballay L., Barczy J., Pellet S., Juhász L., Motoc A.M.

Sugárvédelmi mérések orvosi lineáris gyorsítók környezetében

Izotóptechnika 36 (1993) 119-122.

Másodlagos sugárzások I.

- **Szórt sugárzás:** a készüléken, betegen, asztalon, falakon szóródik.
- **Számítása:** bonyolult.
- **Mérése:**
 - Legnagyobb mezőmérettel.
 - Kisebb foton energiával.
 - Szóró-közeg alkalmazásával (víz).
 - Különböző besugárzási irányokkal.

Másodlagos sugárzások II.

- Szivárgó sugárzás: készülék kialakításától függ \Rightarrow irányonként különböző.
- Multileaf collimator (MLC) lemezei között.
Mérése:
 - Legnagyobb mezőmérettel.
 - Gyártó ajánlásának megfelelően.
 - Filmmel.
 - Denzitométerrel.

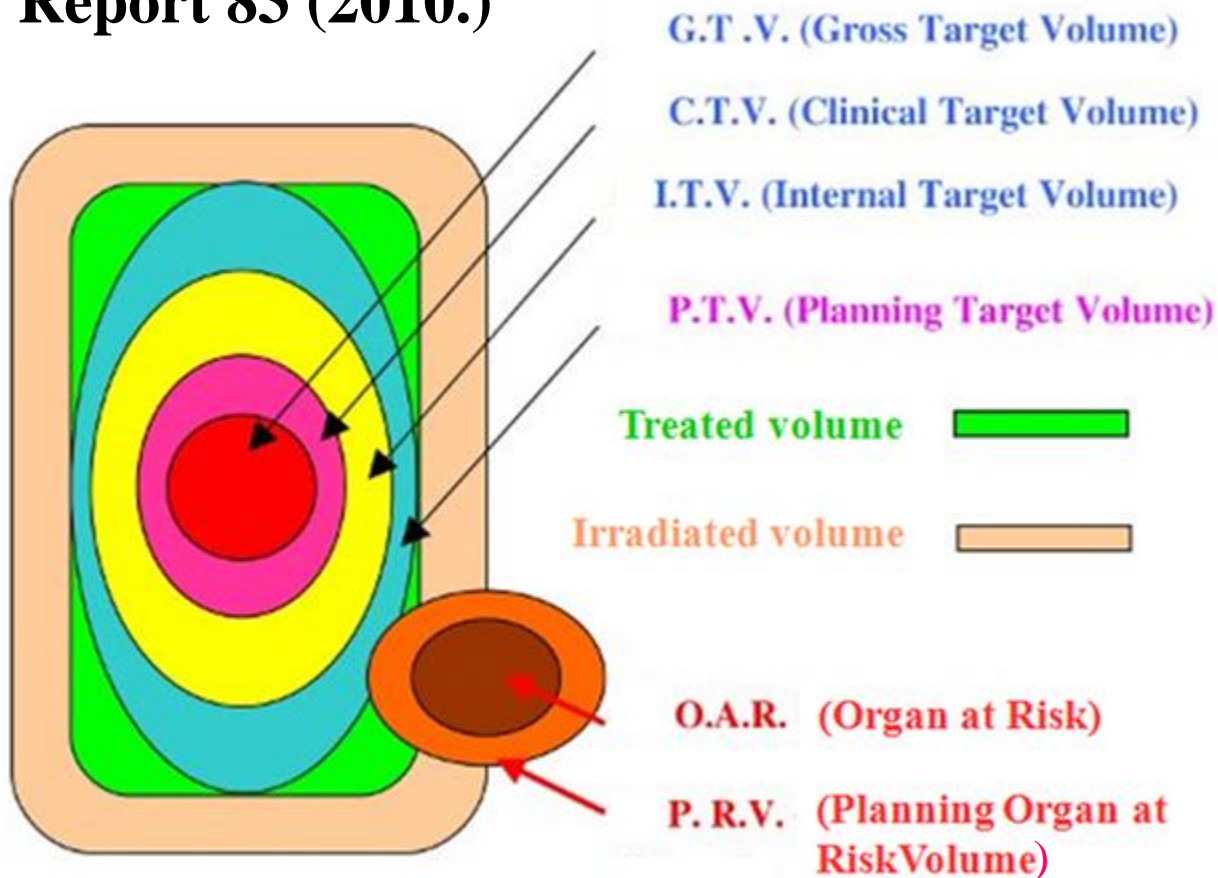
Besugárzástervezés

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

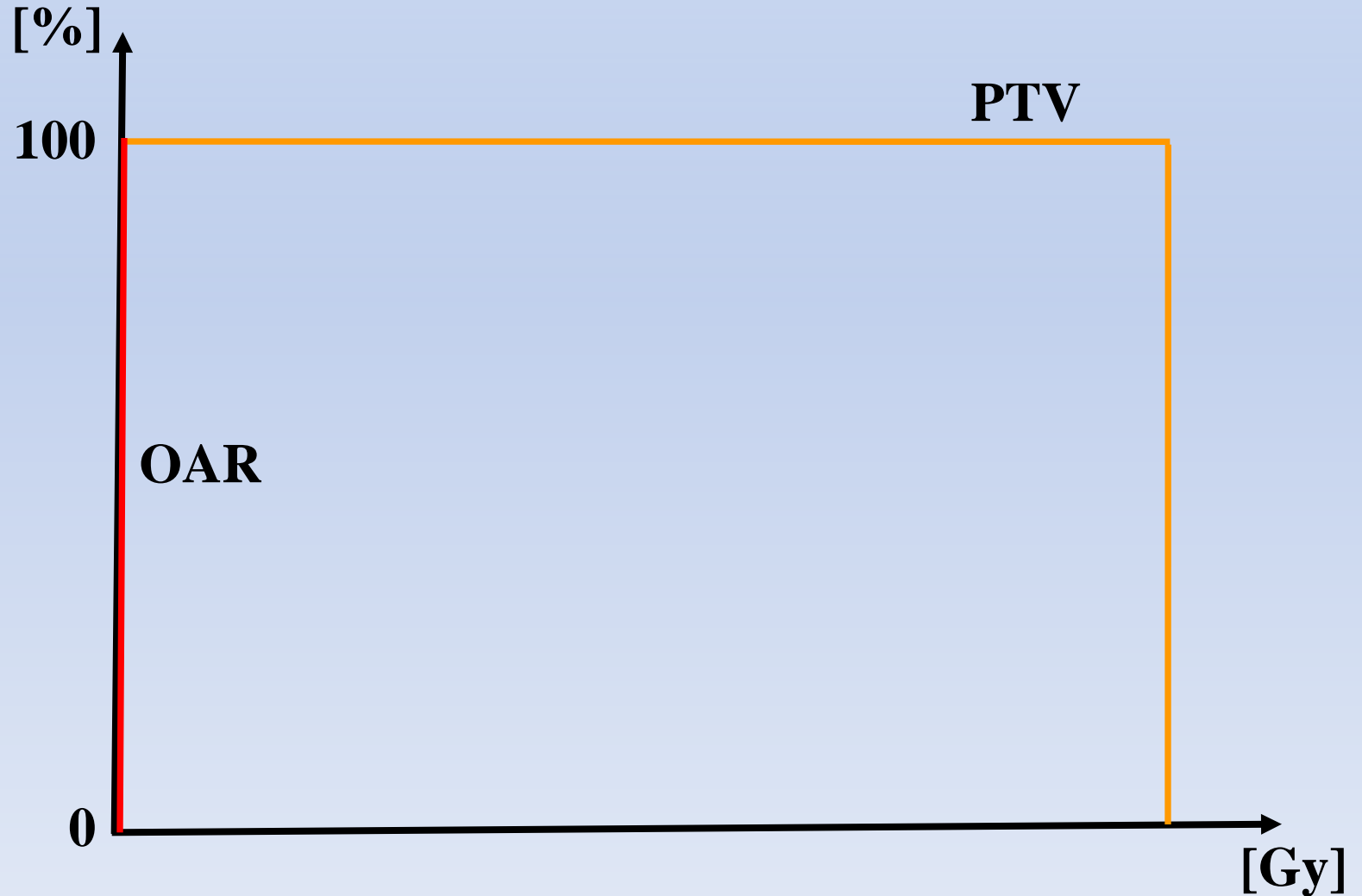
Védendő térfogat

International Commission on Radiation Units and Measures (ICRU)

Report 83 (2010.)



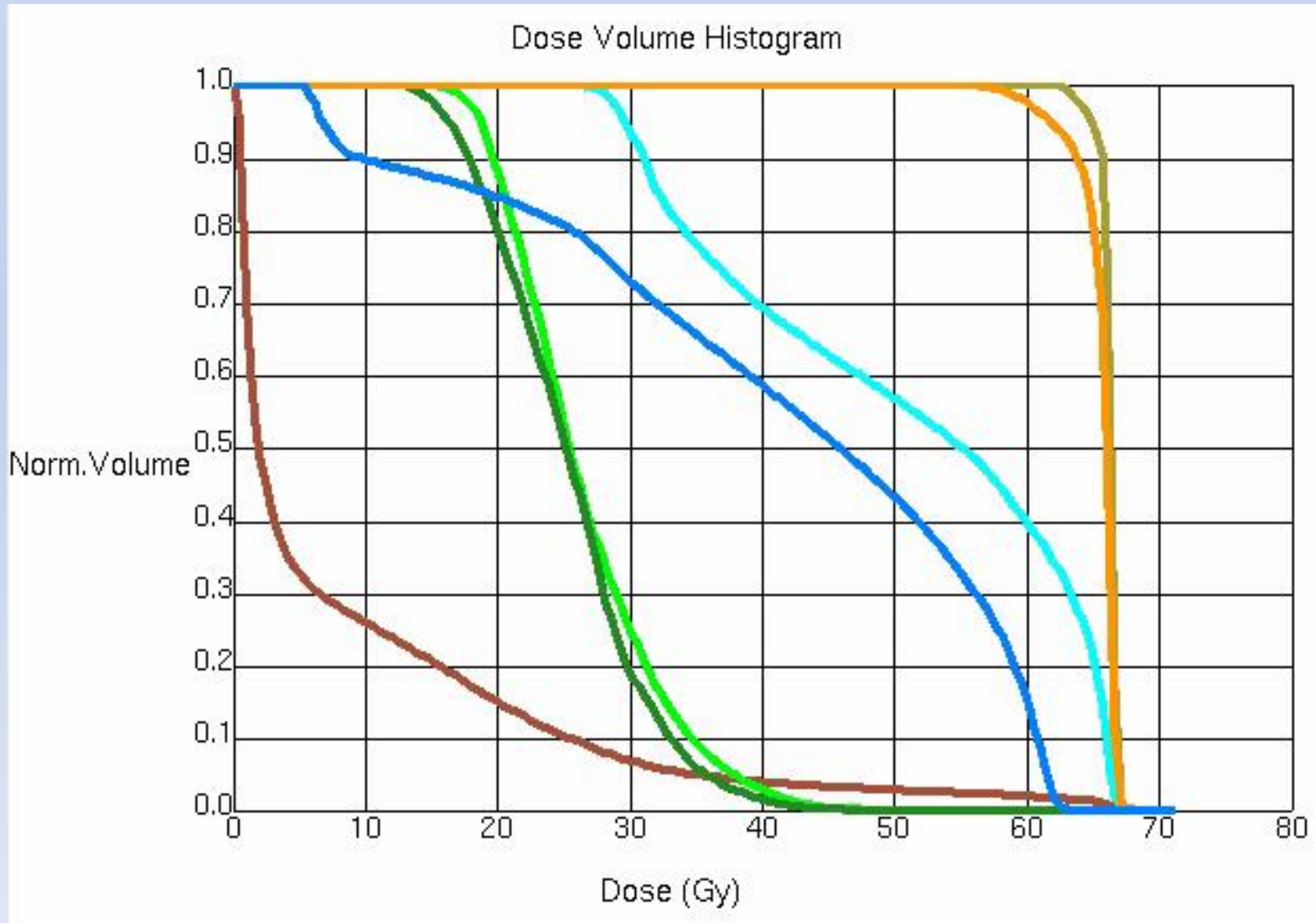
Dose Volume Histogram (DVH)



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.

DVH valóságban

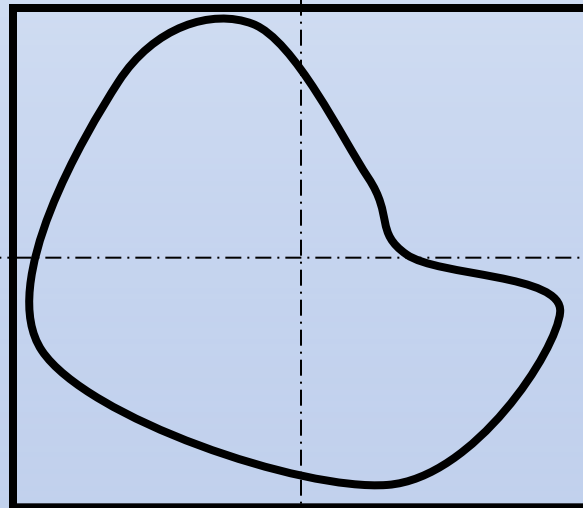


Besugárzástervezés

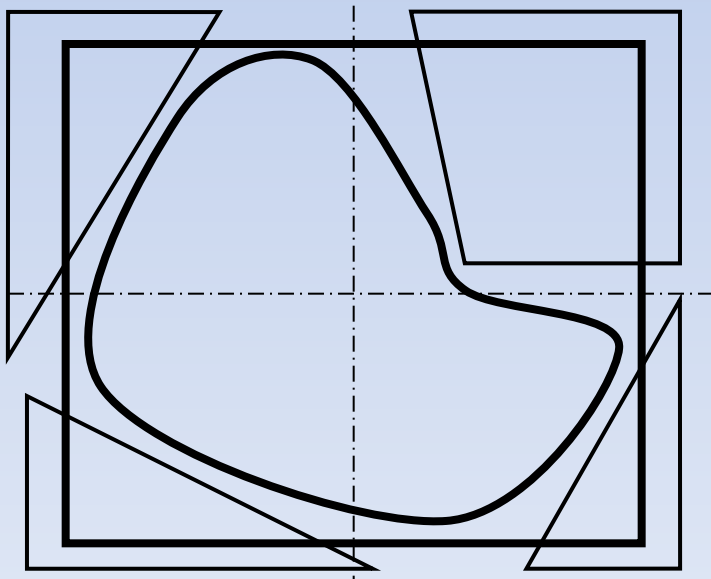
- A dóziseloszlás a betegen belül az egyes besugárzási mezők összegzésével alakul ki.
- Treatment Planning System (TPS):
 - Linac dozimetriai, geometriai adatai:
 - Relatív (mélydózis, profil).
 - Abszolút (output faktor, wedge faktor).
 - Mező, gantry, kollimátor, asztal.
 - Beteg adatai
 - Testkontúr.
 - Szöveti inhomogenitások módosító hatása (CT szeletek, MR, PET).

Takarások kialakítása

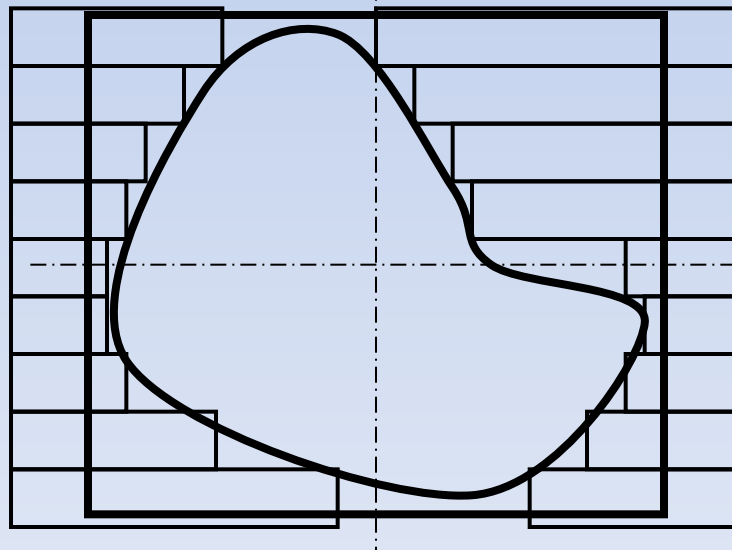
Nyílt mező



Blokkok

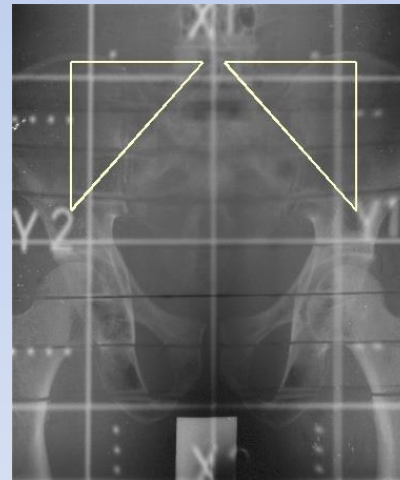
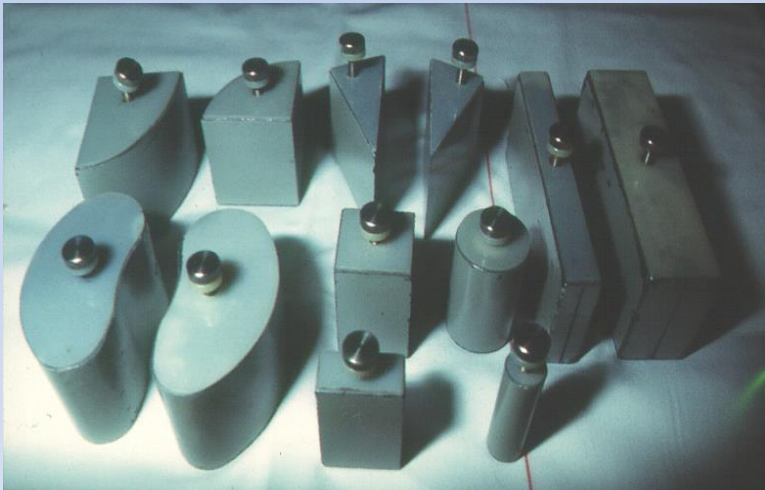


MLC

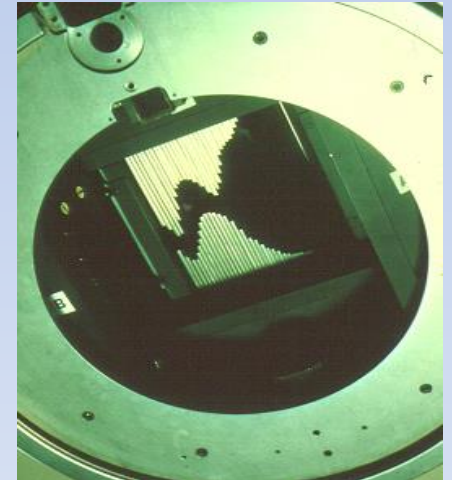


Kritikus szervek sugárvédelme (takarások)

ólom-takarások



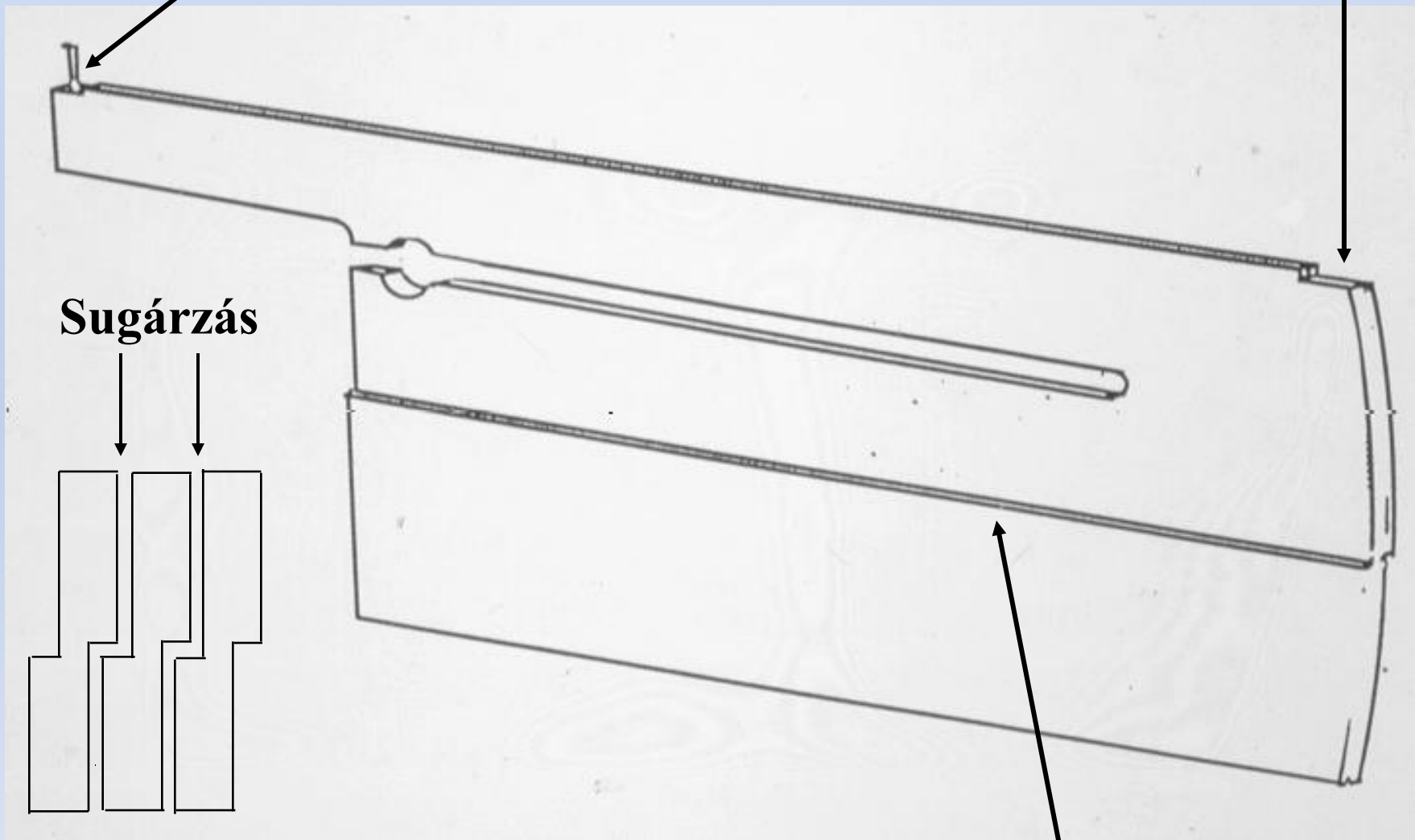
MLC



Végálláskapcsoló

Leaf

Tükör



Lépcső

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 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)

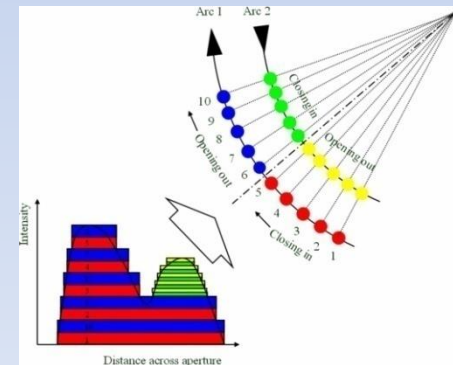
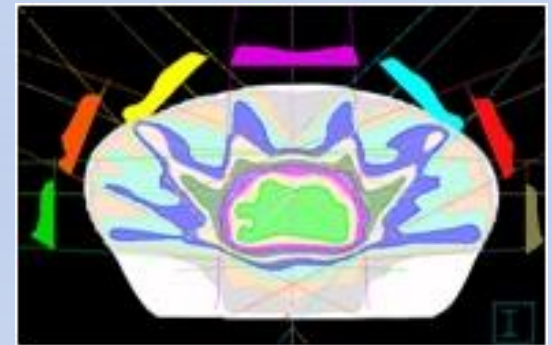
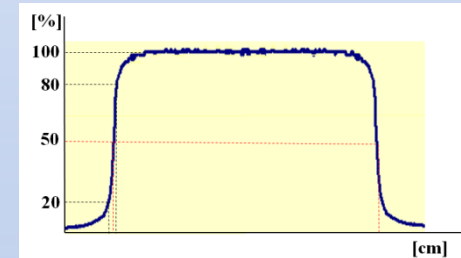
IMAT (arc therapy)

- IMRT

VMAT/RapidArc

(Volumetric Intensity

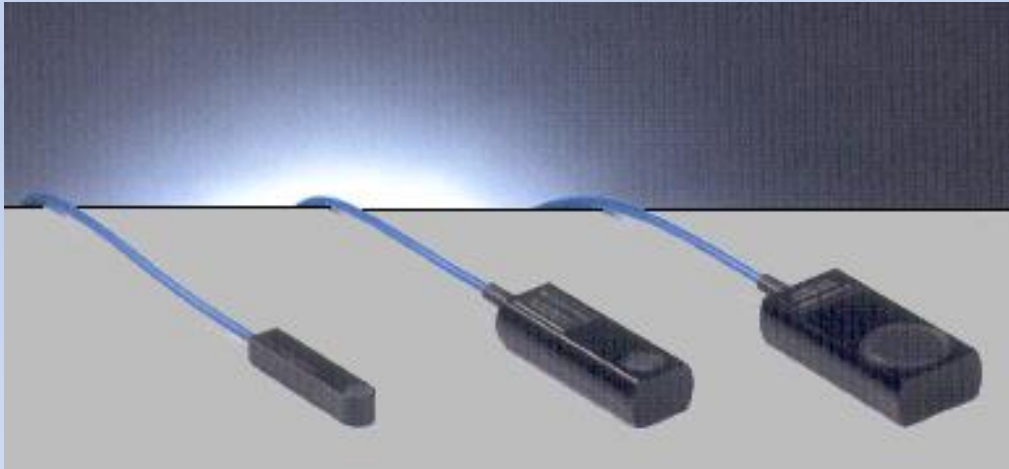
Modulated Arc Therapy)



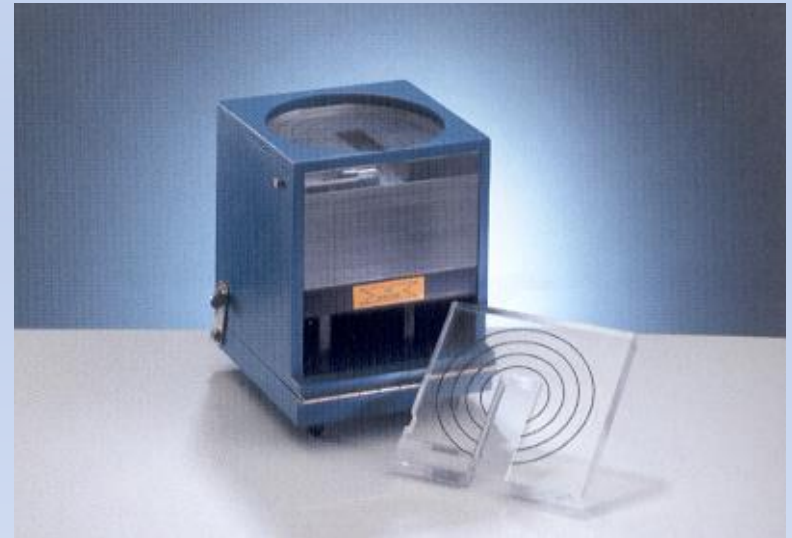
In vivo dozimetria

- 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

Dózismérők



Farmer kamra (foton)



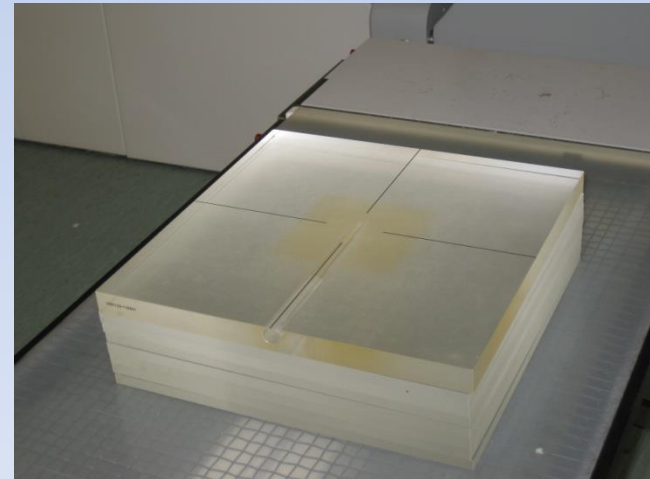
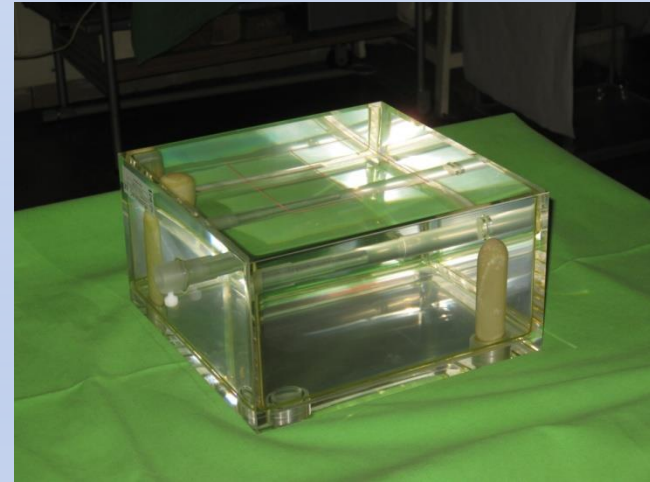
Markus kamra (e⁻)



Diódák (in vivo)

Fantomok

Zárt vízfantom



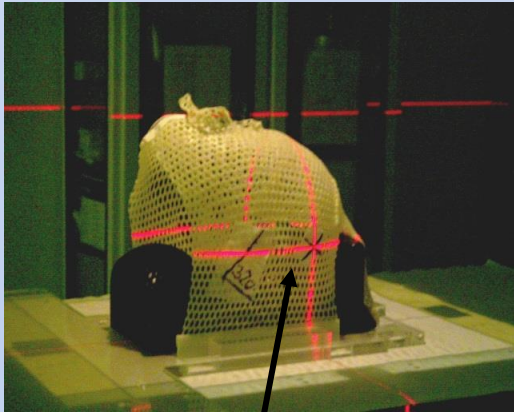
Vízfantom

Plexi fantom

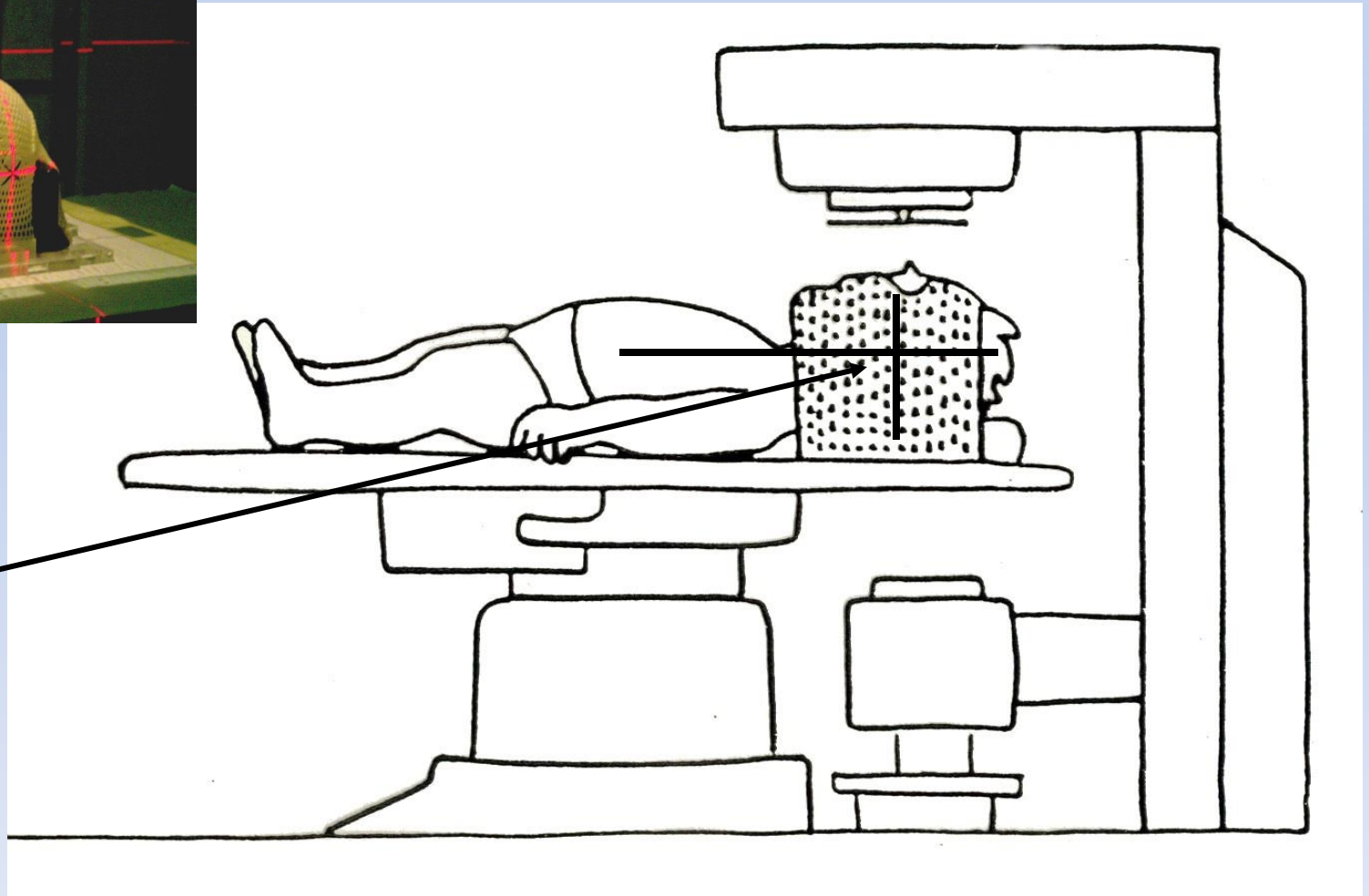
Bizonytalanságok

- Betegrendezés, fektetés:
 - Betegrögzítő rendszerek.
 - Karbonszálal, indexált asztallap.
 - Szervmozgások.
 - Fogadás, ödéma.
 - Berendezés beállítása:
 - Gantry-szög.
 - Kollimátor-szög.
 - Mezőméret.
- ⇒ Record and Verify (R&V) rendszer, beállító felvételek (film, portal imaging), in vivo dozimetria

Testhelyzet rögzítés a szimulátorban



lézer

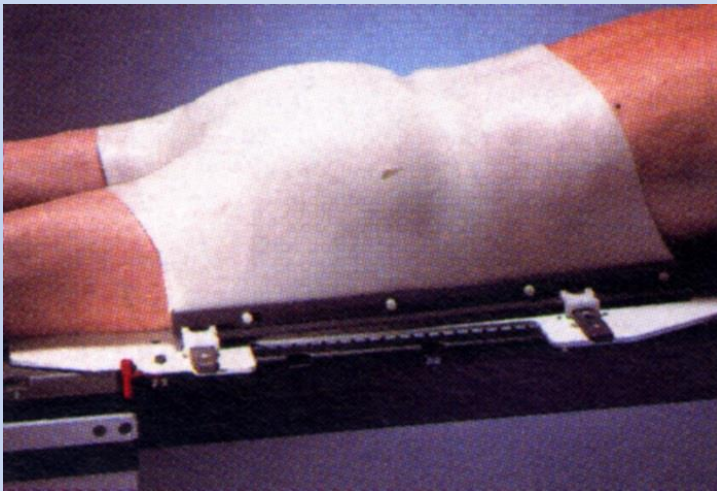


Testhelyzet rögzítés a CT szimulátorban



Testhelyzet rögzítők

Medence rögzítés



Hascsapda



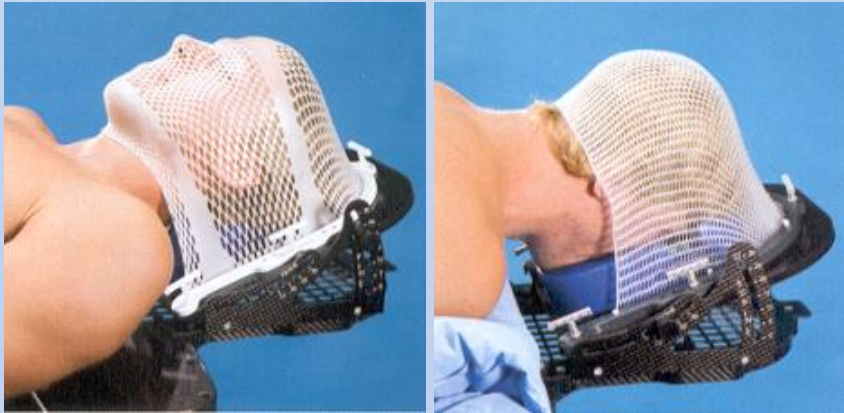
Kéztartó



Vákuum matrac

Segédeszközök

Fejrögztítő maszk, háton, hason



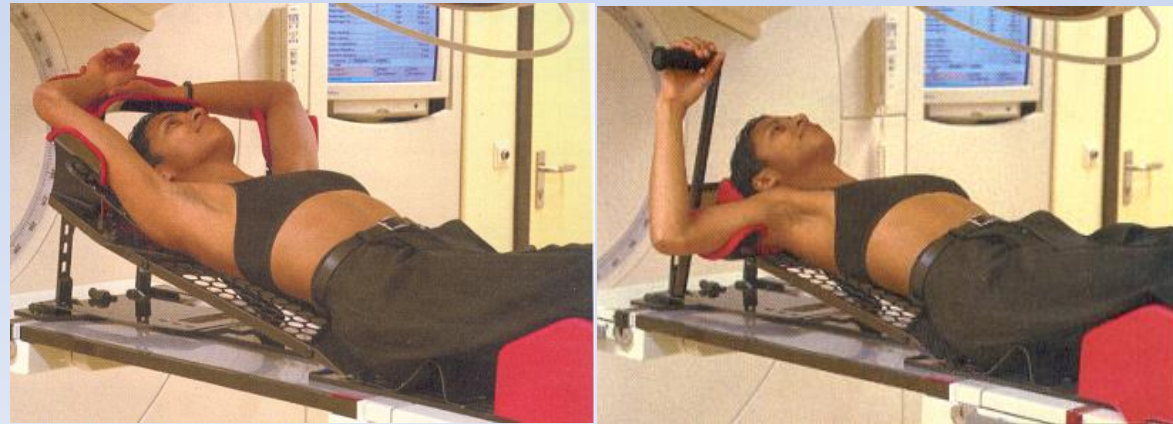
Teströgztítés



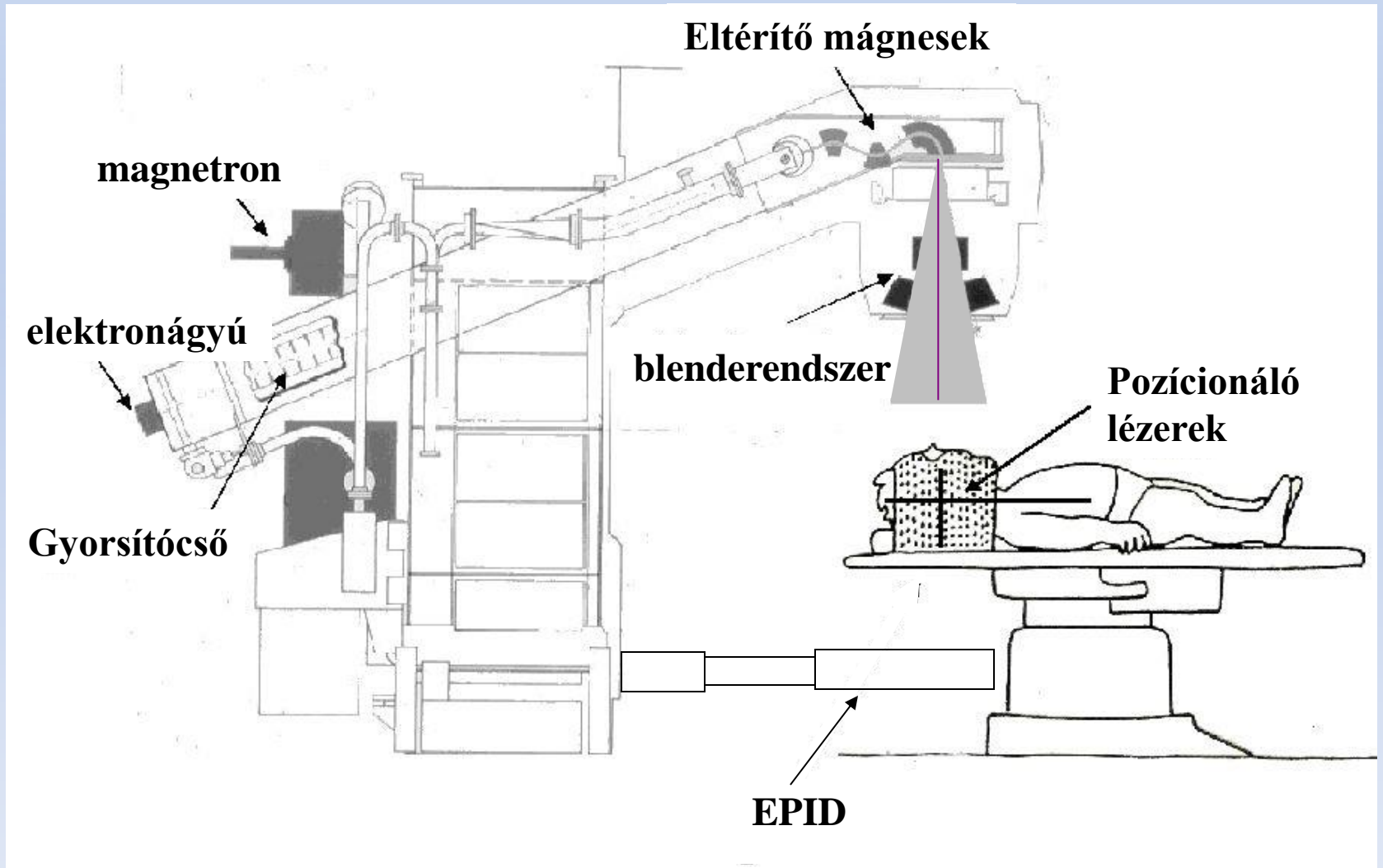
Váll-lehúzó



Kéztartók



Kezelés

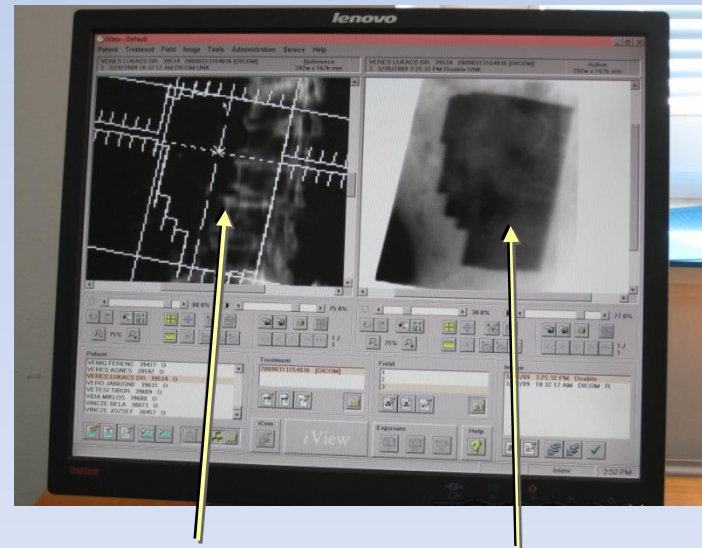


Kezelés kivitelezése és ellenőrzése

- Testhelyzet: lézerek
- Verifikáció: iView

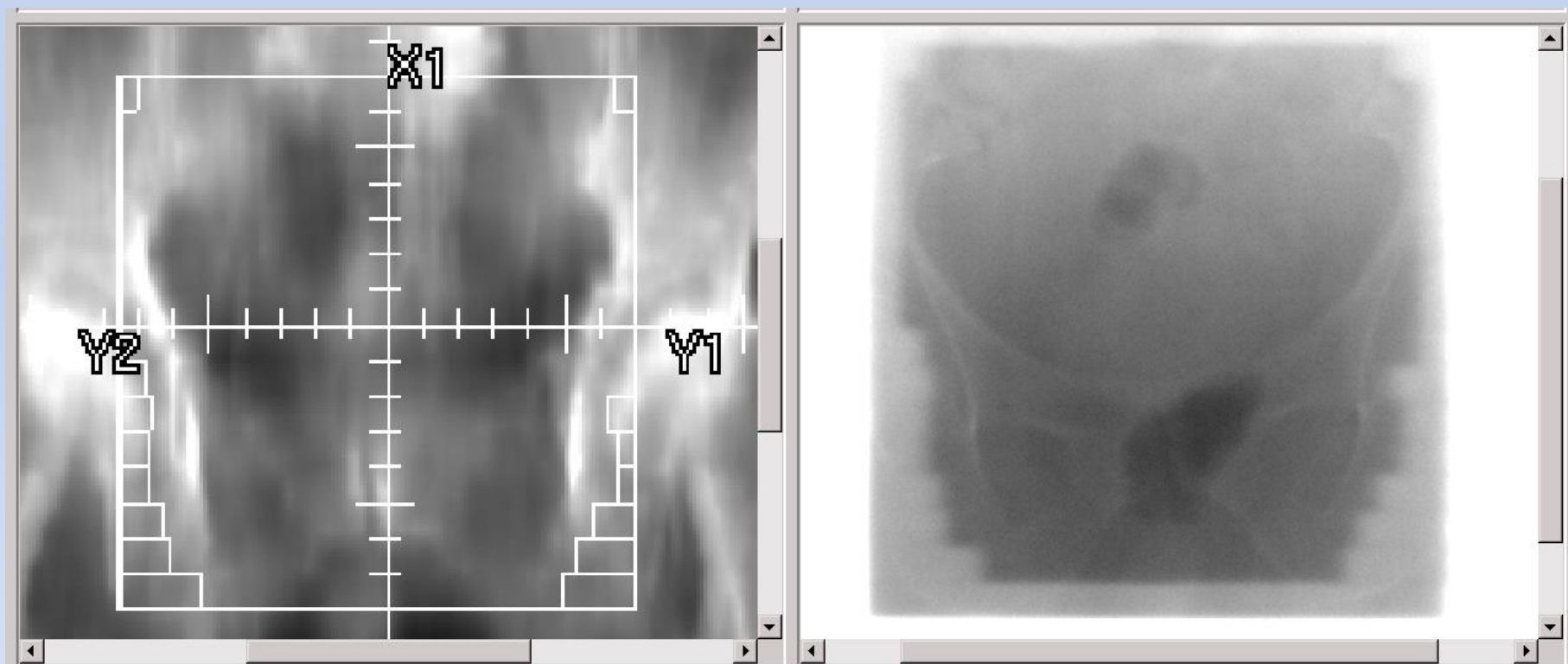


iView, amorf szilícium kristály detektor



BEV iView felvétel

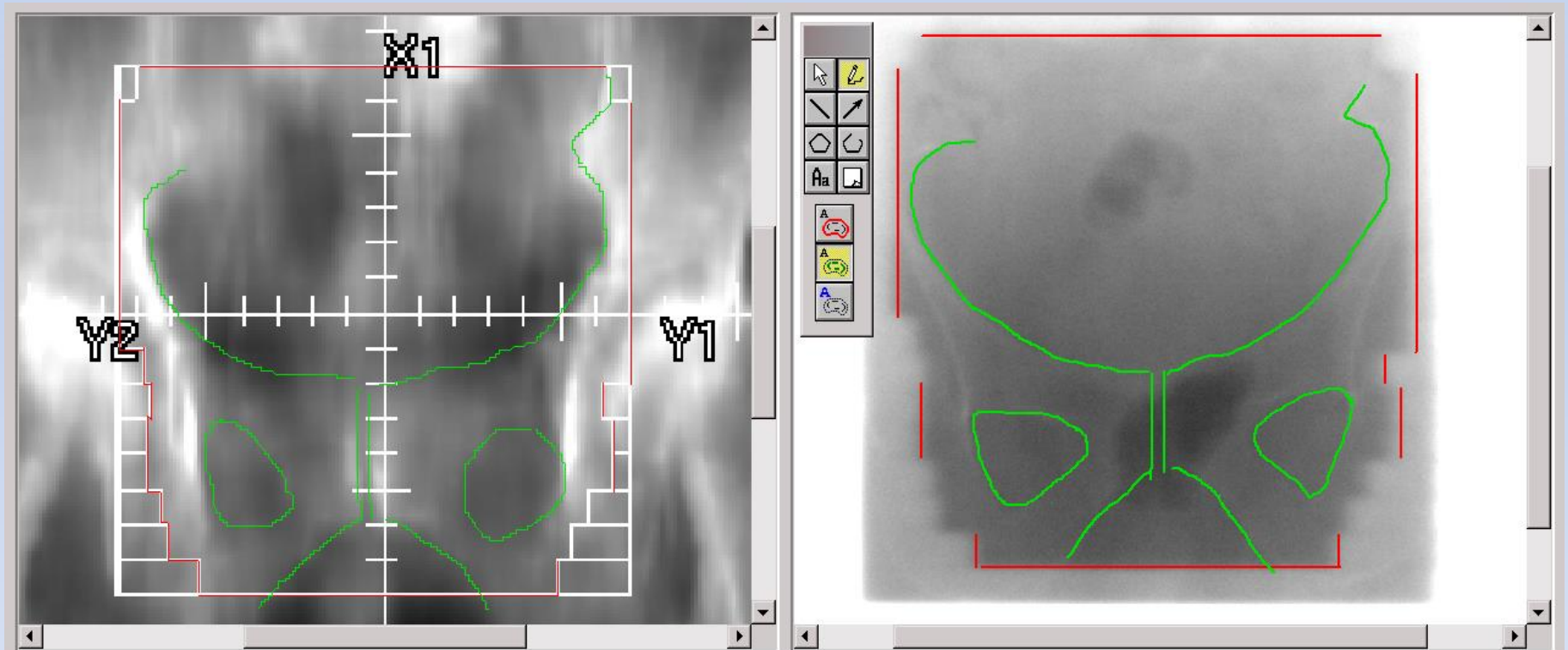
BEV - iView



BEV - tervezőrendszerből

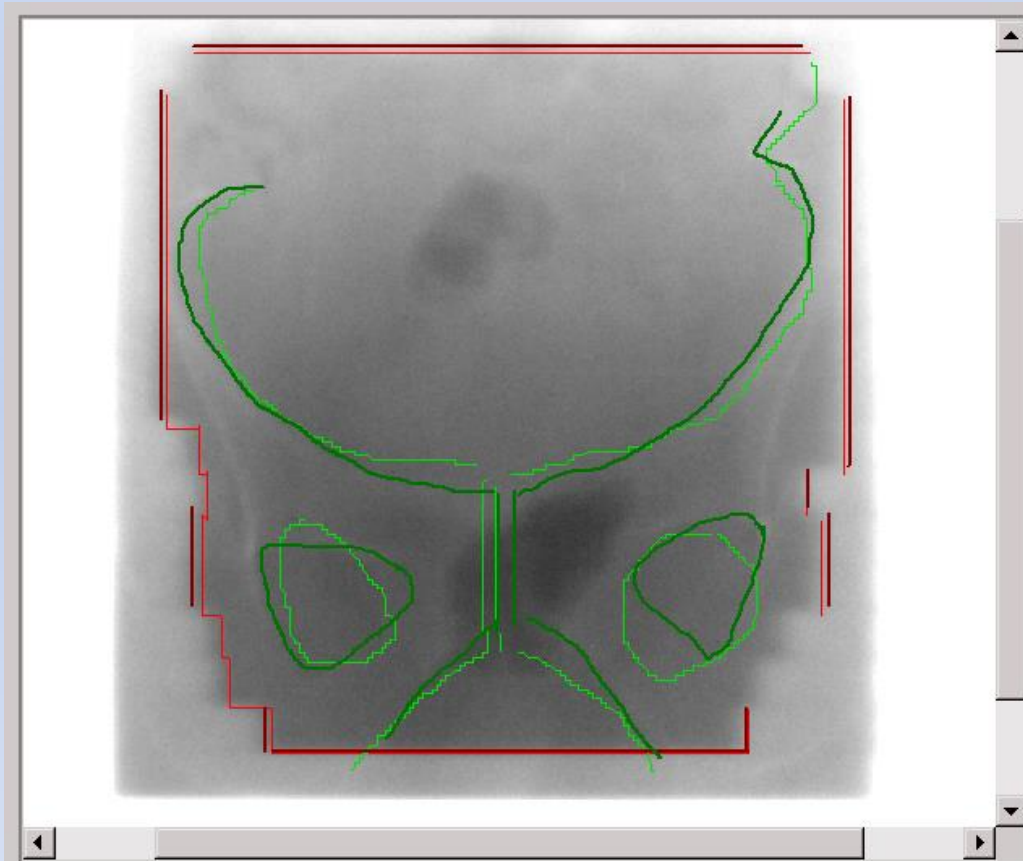
iView - kezelés közben

Mező, anatómia



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

Korrekción

Image Guided Radiation Therapy (IGRT)

**Linac
kollimátora
(MV)**

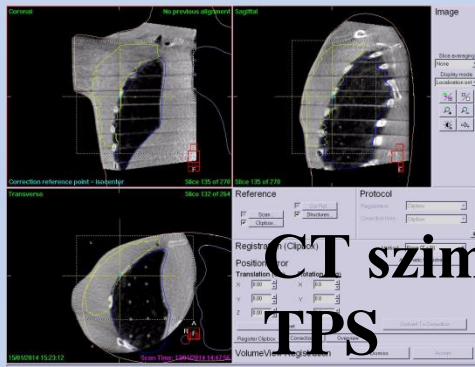
Rtg cső (kV CBCT)

Flat panel

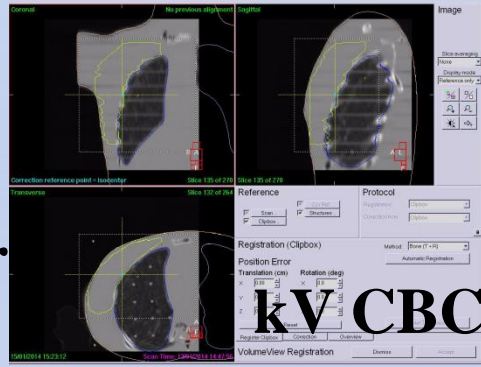


EPID

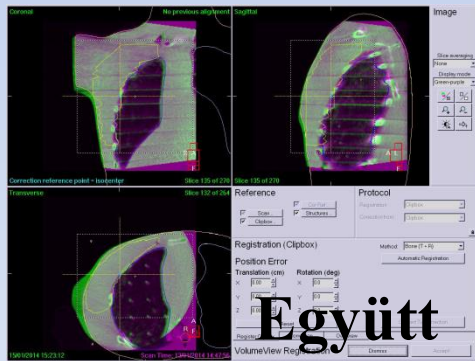
Image Guided Radiation Therapy (IGRT)



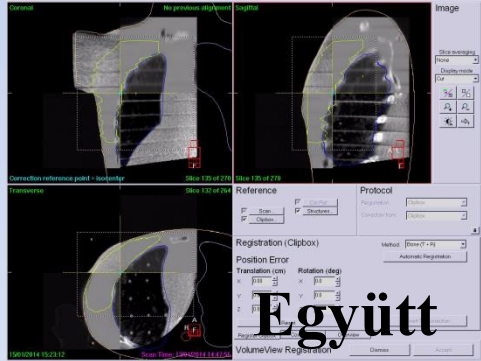
CT szimulátor
TPS



kV CBCT



Együtt



Együtt

MV fej kV CBCT



EPID
Flat panel

XVI: X-ray Volume Imaging

Korrekcio

kV CBCT → Mosaiq (R&V)

Course: 1 Status: Inactive Exclude OK
Site Name: kismedence Source: Cancel

Site / Image List

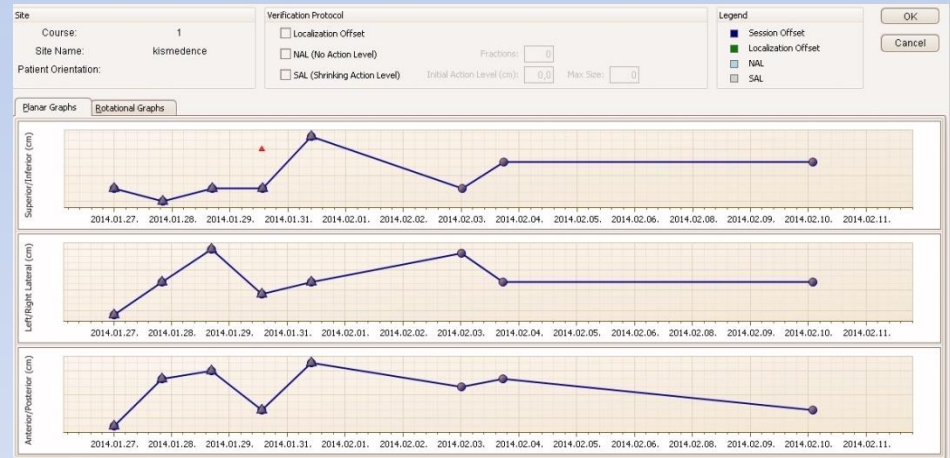
Sts	Description	Date	Time	Superior	Lateral	Anterior	Coronal	Sagittal	Transverse	Mag
				cm	cm	cm	deg	deg	deg	
	kismedence			Sup	Lt	Pos				0,2
	Localization (Current)	2014.01.31	12:20	Sup	Lt	Pos				0,2
	Third Party	2014.02.03	12:26	Inf	Lt	Ant				0,8
	Third Party	2014.02.04	8:17	Sup	Lt	Ant				0,2
	Third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

Localization Offset (Anatomy)

Derive Localization Offset

	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

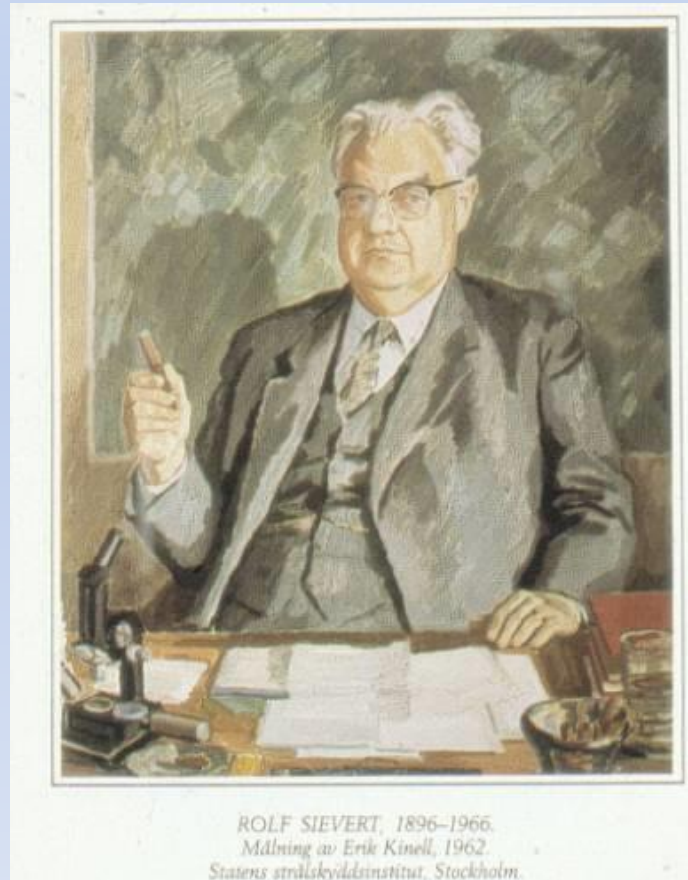


Grafikon

Eredmény

- Korszerű berendezés, megfelelő bunkerben.
 - Magas szintű dozimetria.
 - Szakszerű besugárzástervezés.
 - Gondos betegrögzítés
- ⇓
- Pontos kezelés \Rightarrow jó terápiás eredmény és minimális komplikáció.
 - Beteg sugárvédelve még sugárkezeléskor is!

Köszönöm szépen a figyelmet!



Rolf Sievert (1896-1966)