

# ***Brachyterápia***

**Dr. Fröhlich Georgina**

Országos Onkológiai Intézet  
Sugárterápiás Központ  
Budapest



*Ionizáló sugárzások a gyógyításban  
ELTE TTK, Budapest*

# Bevezetés

**teleterápia:** sugárzás forrása a betegen kívül van (RTG-,  $\gamma$ -foton, nagy-E  $e^-$ )

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

→ **brachyterápia:** radioaktív izotóp a beteg testében ( $\gamma$ -foton) – „közelterápia”

→ **kis térfogat nagy D-ú besugárzása** → radikális kezelés, normál szövetek védelme, kevesebb mellékhatás, nincs biztonsági zóna (CTV = PTV)

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

csak kis céltérfogatok

(+ technikai limitációk)

sugaras műtő, gyakorlat kell hozzá

# Brachyterápiás dozimetriai alapfogalmak

## Aktivitás (A)

Időegység alatt (1 s) elbomlott atommagok száma

Mértékegysége: becquerel

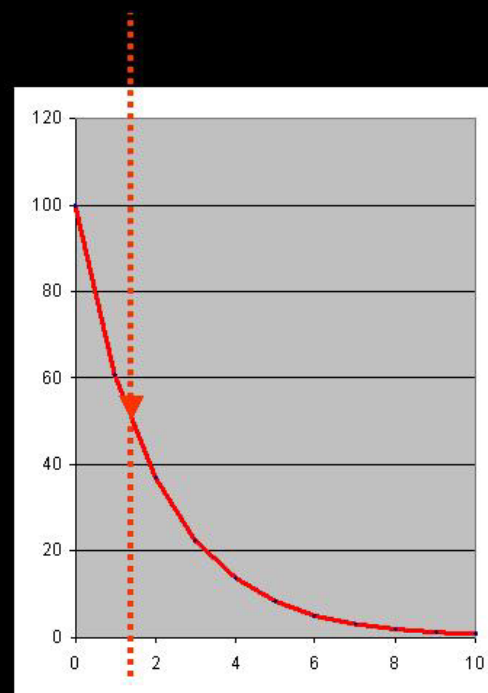
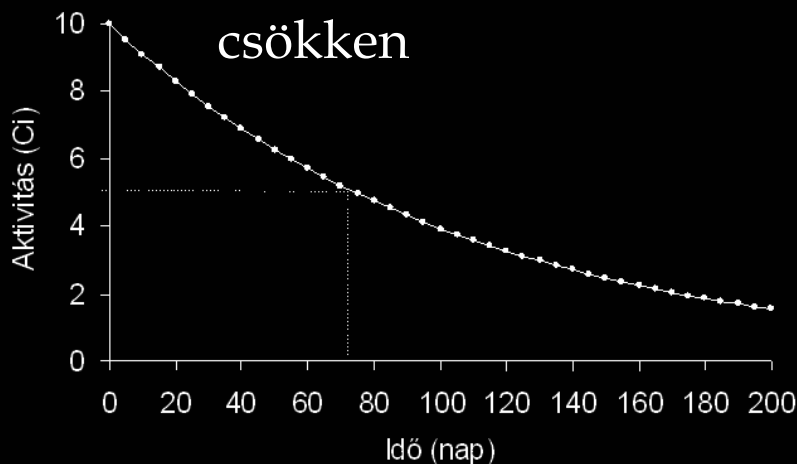
$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ bomlás / s}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$A = A_0 2^{-t/T_{1/2}}$$

## Felezési idő ( $T_{1/2}$ )

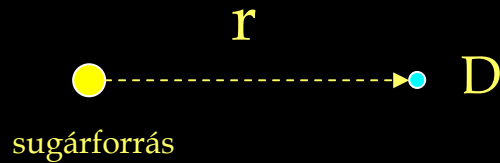
Azt az időtartamot jelenti, amely alatt a kezdeti aktivitás a felére csökken



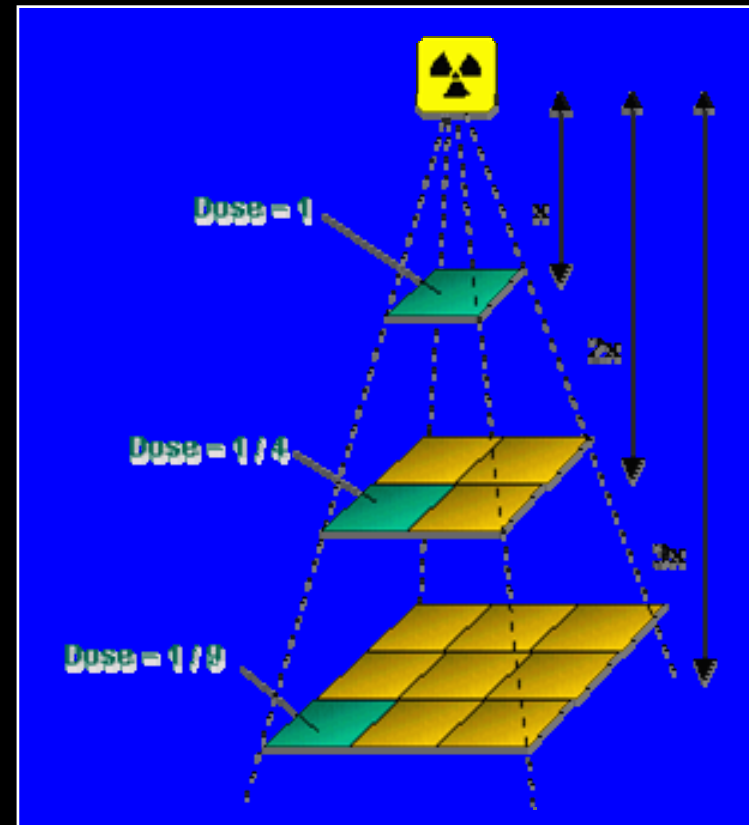
# Pontforrás körüli dózis számolása

$$D = f \frac{A\Gamma}{r^2} S(r)t$$

$$I \approx \frac{1}{r^2}$$



- D = elnyelt dózis
- f = átváltási faktor
- A = aktivitás
- $\Gamma$  = gamma konstans
- r = távolság
- S(r) = szöveti korrekció (elnyelés, szóródás)
- t = idő



# Brachyterápiás izotópok (foton)

## Ra-226

sok klinikai tapasztalat, hosszú felezési idő, jelentős sugárvédelem, veszélyes izotóp

## Co-60

nagy fajlagos aktivitás, nagy energia, jelentős sugárvédelem

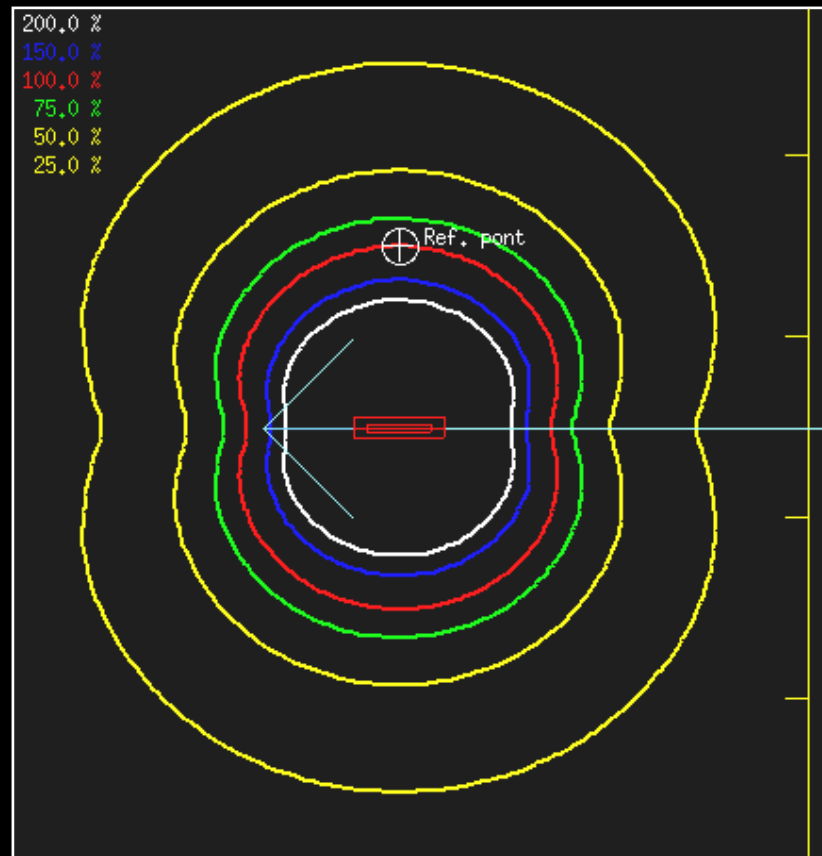
## Ir-192

kisebbs sugárvédelem, nagy fajlagos aktivitás, gyakori forráscsere, huzal, HDR afterloading

## I-125

lokális sugárvédelem, alacsony dózisteljesítmény, jelentős szöveti korrekció, „seed”

# HDR Ir-192 sugárforrás körüli relatív dóziseloszlás



# Dózisteljesítmény

**LDR** (low dose rate): 0,4-2 Gy/h

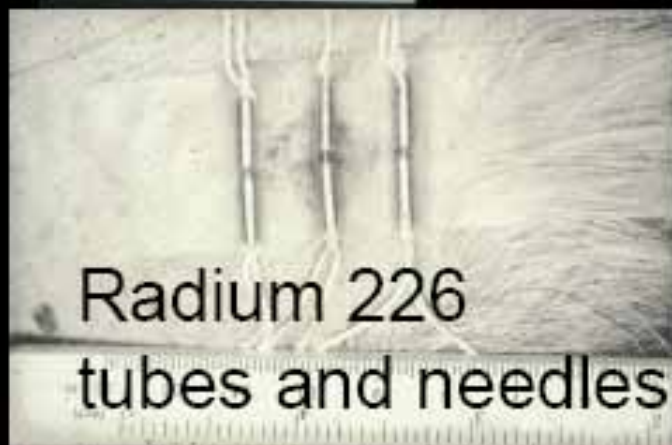
**MDR** (medium dose rate): 2-12 Gy/h

**HDR** (high dose rate): >12 Gy/h

**PDR** (pulsed dose rate): 0,5-2 Gy/h

permanens beültetések: **VLDR** (very low dose rate)

# BT-s történelem



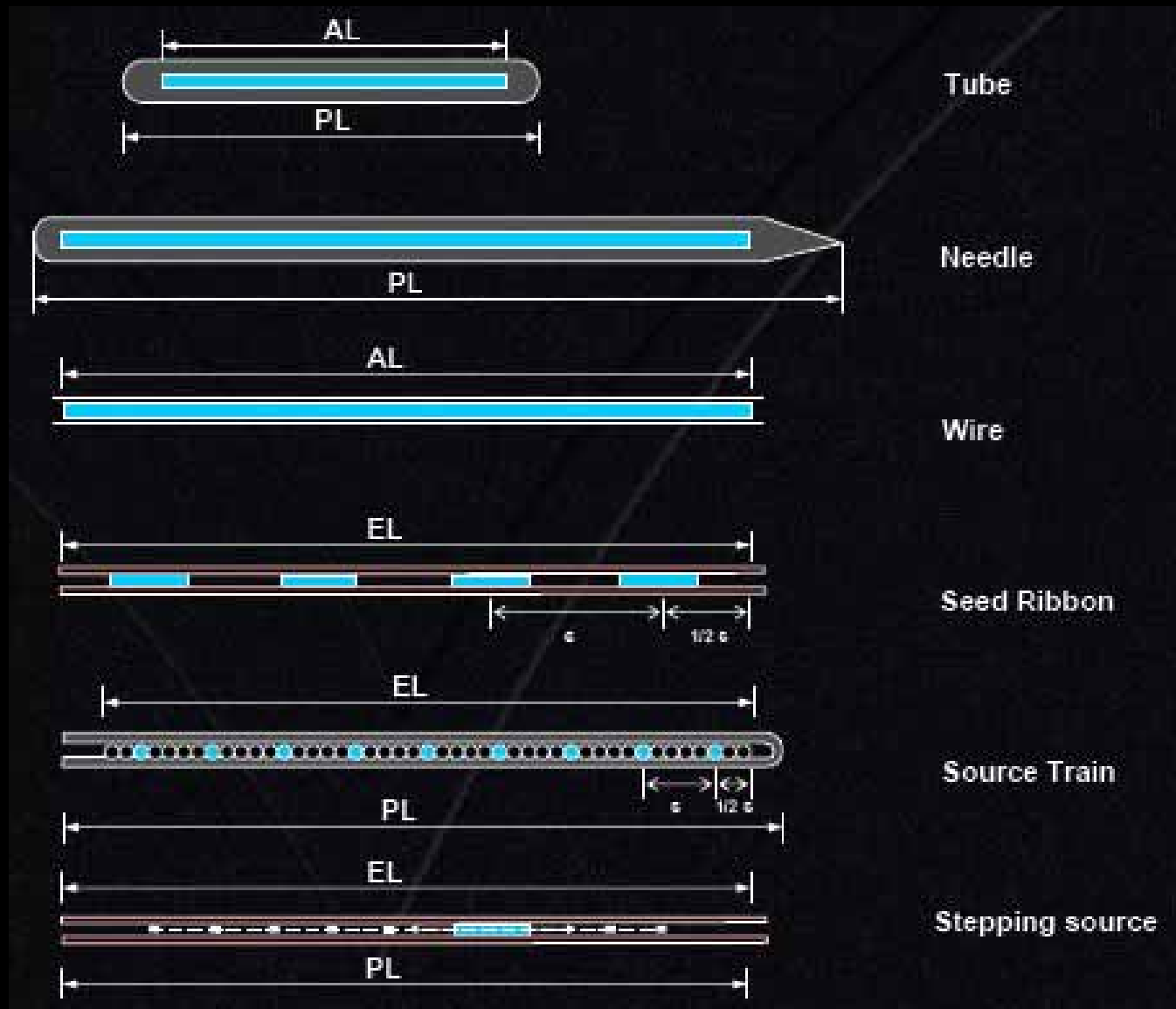


# BT-s történelem



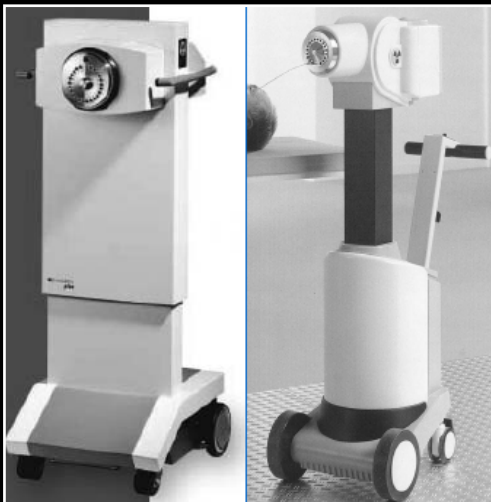
20.4] Radium plaques being applied in the Skin Department, St. Vincent's Hospital, Melbourne, Australia in 1905<sup>19</sup>

# BT-s történelem

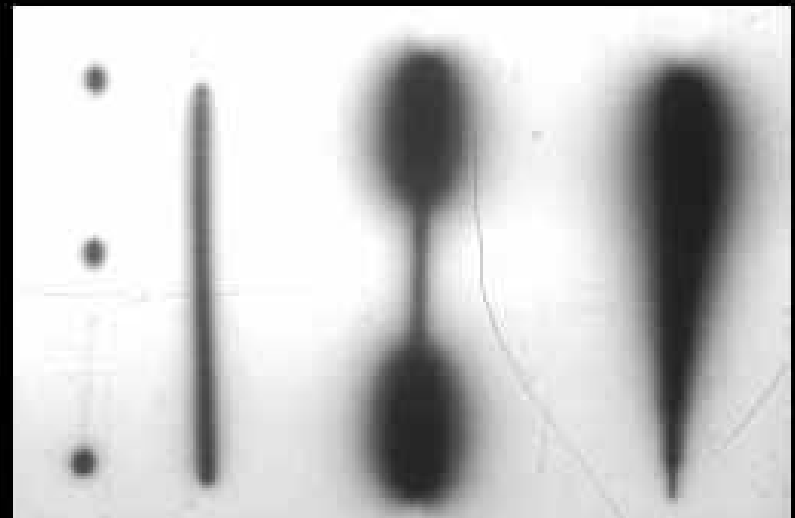
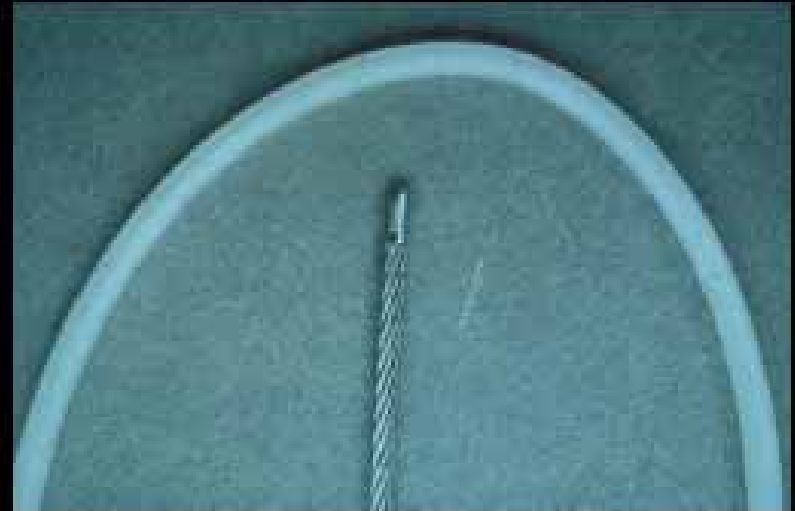
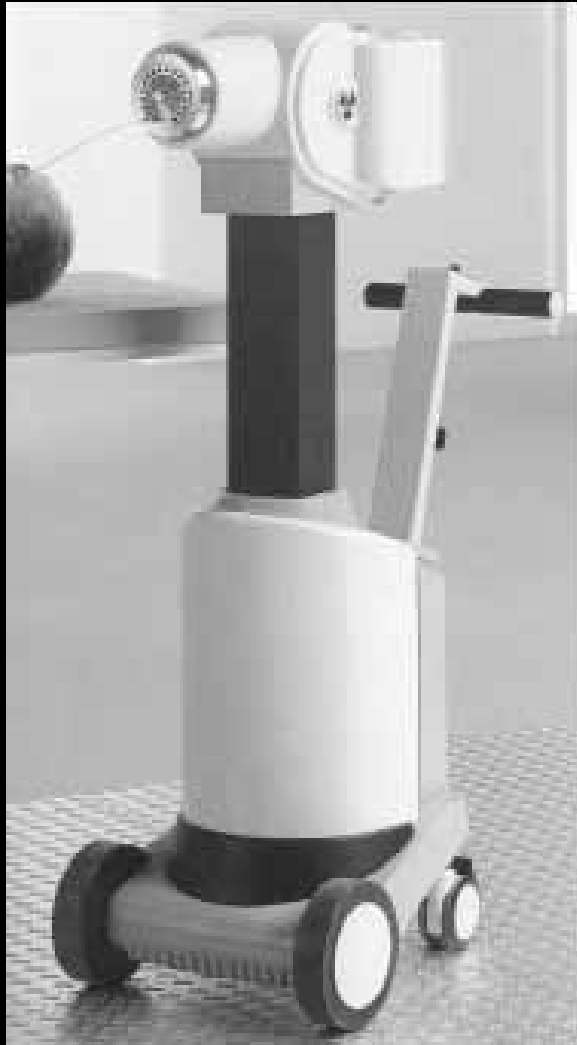


# BT-s történelem

- mesterséges radioaktív izotópok felfedezése (1934. Irene Curie, 1958. Ir-192: U. Henschke)
- **Afterloading** (utántöltéses) technika (1958. U. Henschke, D. Chassagne)
- **dozimetria** alapvető szabályai (1965. B. Pierquin, D. Chassagne, A. Dutreix)

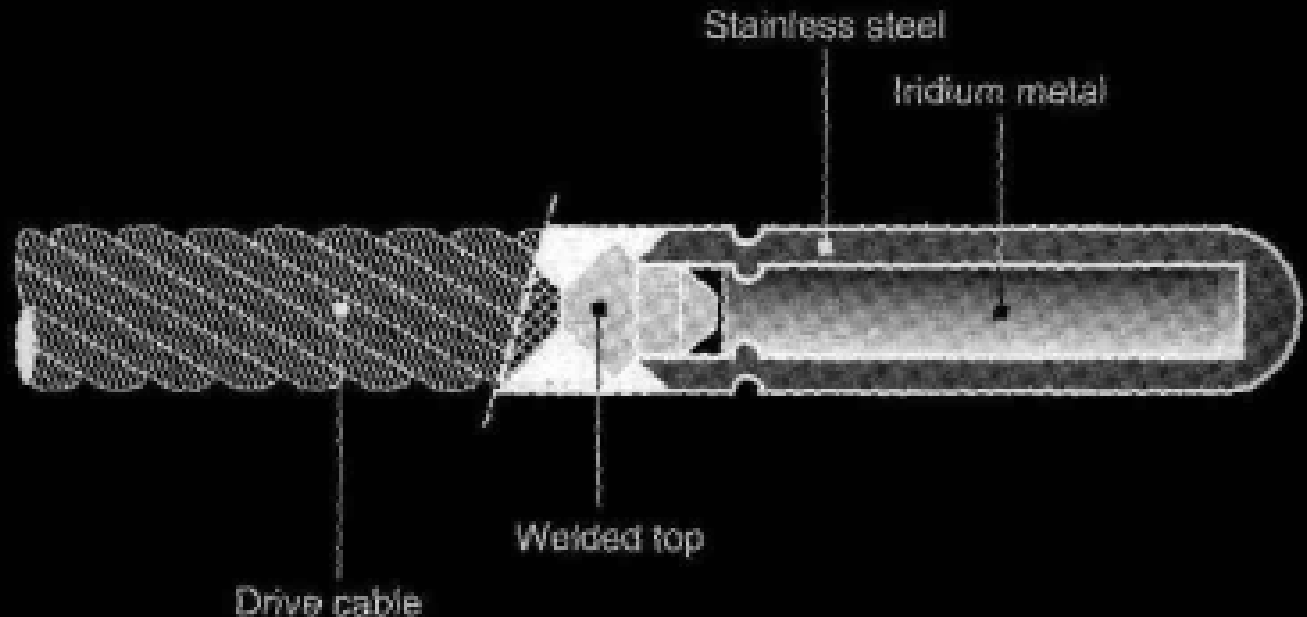


# Stepping Source technika



# Stepping Source technika

- teljes sugárvédelem
- csak egy forrást kell cserélni
- könnyű személyre szabott adaptáció
- optimalizálási lehetőségek
- HDR, PDR



# Jövő?

miniatűr elektromos RTG-forrás



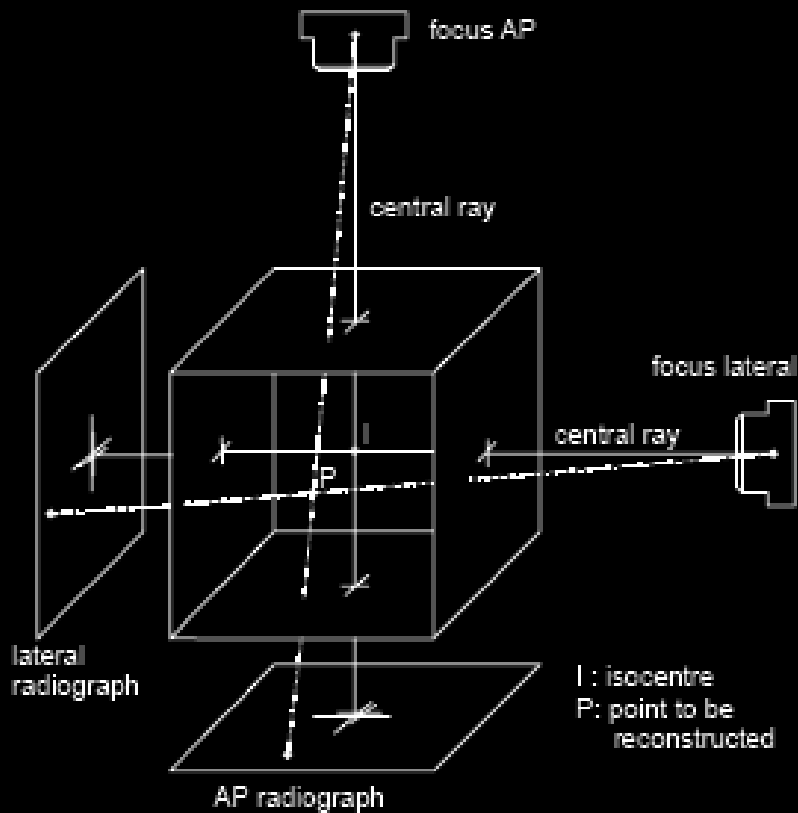
RTG-cső hűtött katéterben

# A brachyterápiás kezelés folyamata

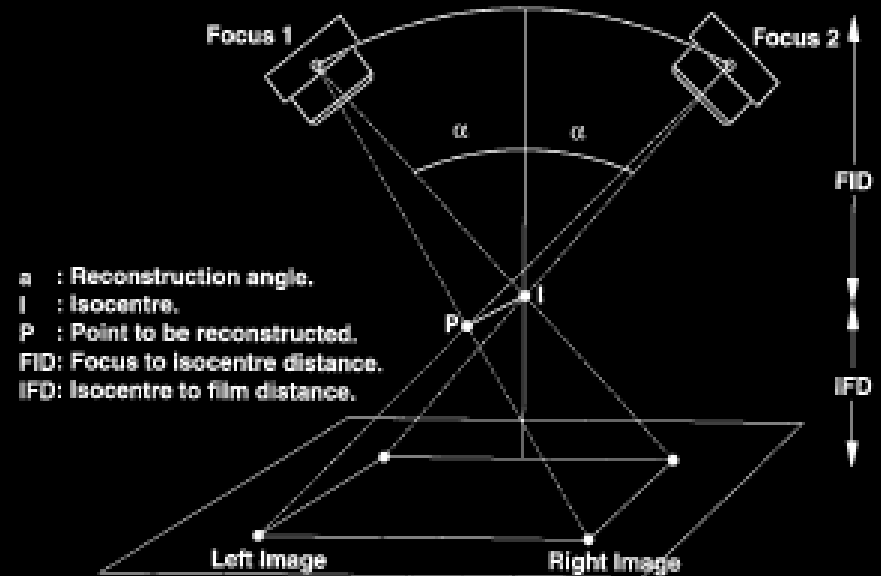
- **Premedikáció** (beteg érzéstelenítése, szedáció)
- **Implantáció** (aplikátorok, tűk)
- **Képalkotás** (RTG, CT, MR, UH)
- Anatómiai szervek berajzolása (**kontúrozás**)
- Céltérfogat(ok) meghatározása (CTV = PTV!)
- Aplikátor-rekonstrukció, számítógépes **dózisterv** elkészítése
- **Kezelési paraméterek** (forrás pozíciói + megállási idők) →  
Afterloader egység
- Kezelés **ellenőrzése** (in vivo dozimetria)

# Aplikátor-rekonstrukció

## ortogonális RTG-képek

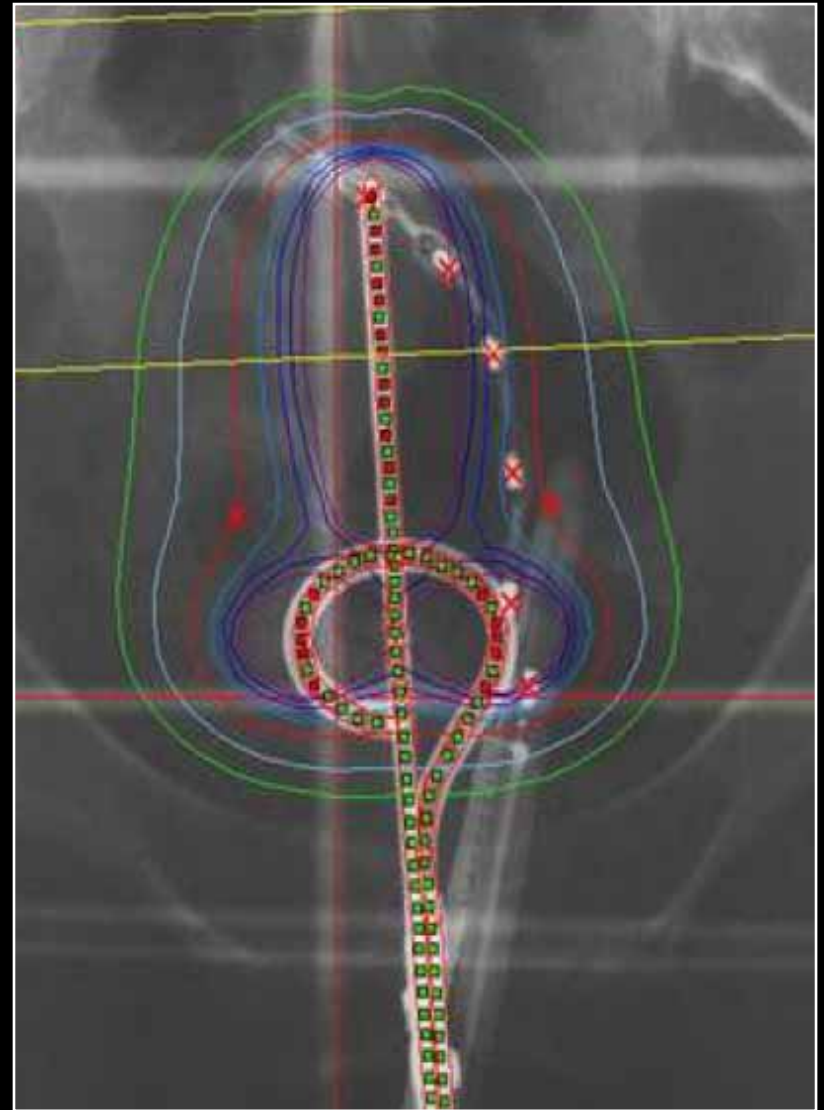
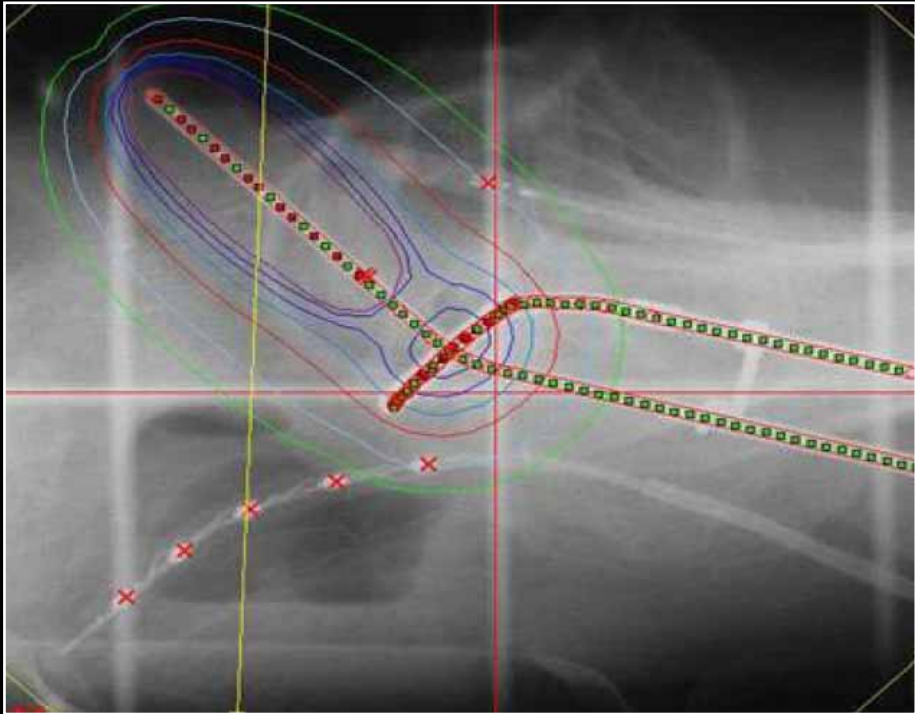


## izocentrikus



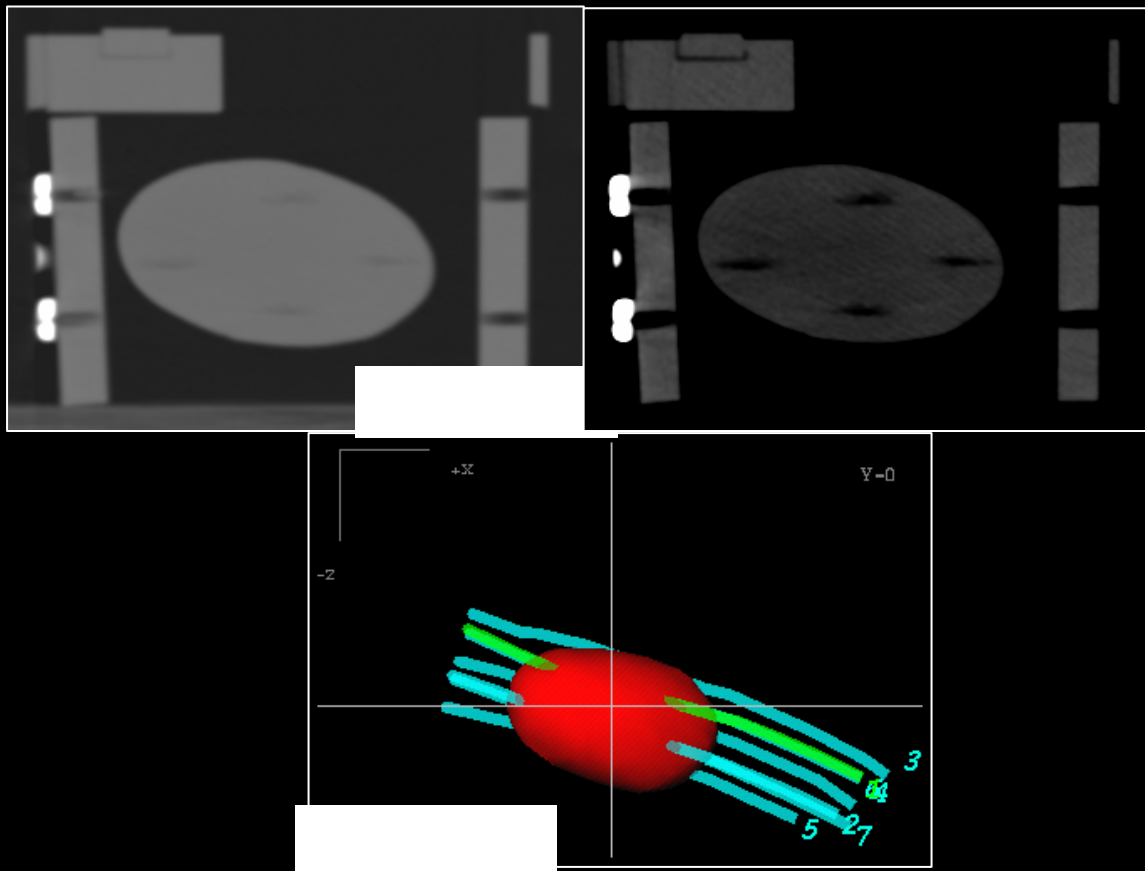


# Aplikátor-rekonstrukció



# Aplikátor-rekonstrukció

CT, MR, UH alapján

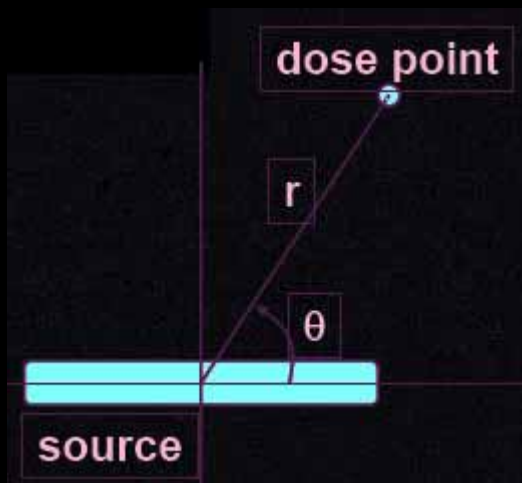


# Dózis-számítás

-AAPM-TG43 formalizmus:

dózisteljesítmény vízben, szimmetrikus hengeres forrás körül

$$\dot{D}(r, \theta) = S_k \cdot \Lambda \cdot g(r) \cdot \frac{G(r, \theta)}{G(r_0, \theta_0)} \cdot F(r, \theta)$$



$S_k$ : levegő KERMA (forrás erősség)

$\Lambda$ : dózis-telj. áll.

$g(r)$ : radiális dózis-fv. (elnyelés, szórás)

$\frac{G(r, \theta)}{G(r_0, \theta_0)}$  : geometriai faktor (forrás alakja)

$F(r, \theta)$ : anizotrópia-fv. (elnyelés, szórás a forrás anyagában)

# Dózis-optimalizálás

- **Manuális optimalizálás:** az egyes megállási pozíciókban manuálisan változtatjuk a forrás megállási idejét.
- **Geometriai optimalizálás (GO):** nincs szükség dózis referenciapontokra, mert a sugárforrás megállási pozícióit használjuk optimalizációs pontokként, melyek követik a katéterek geometriáját. Az algoritmus alapja, hogy a megállási idők minden pozícióban fordítottan arányosak az adott pont összes többi ponttól való távolságának reciproknégyzet-összegével.
- **Grafikus optimalizálás (GRO):** az egyes izodózis-vonalak alakját a képernyőn az egérrel grafikusán változtatjuk, a számolási algoritmus pedig ennek megfelelően változtatja a megállási időket.

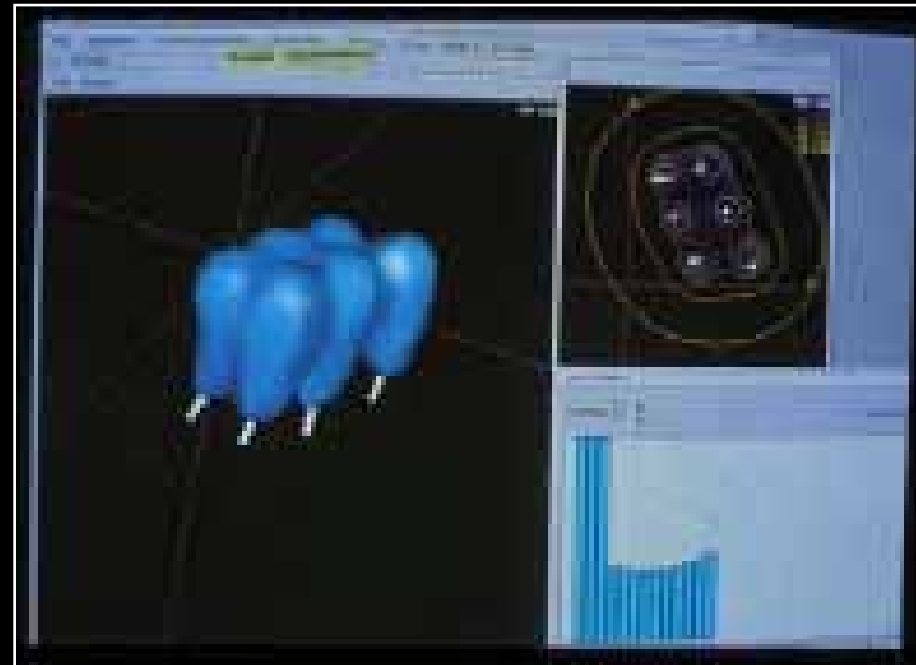
# Dózis-optimalizálás

- **Dózispont optimalizálás (DPO)**: a referencia dózispontok térbeli helyzete határozza meg az optimalizálási feltételeket, melyeket általában a céltérfogat felszínén vagy egy katéter tengelyétől adott távolságra helyezünk el.
- **Hybrid Inverse Planning Optimization (HIPO)**: dózis-térfogat alapú inverz optimalizálási módszer, mely a megadott DVH-megszorításokat több célfüggvény egyidejű minimalizálásával igyekszik megvalósítani.
- **Inverse Planning Simulated Annealing (IPSA)**: anatómia-alapú inverz optimalizációs módszer, egy célfüggvény (ún. „cost function”) határozza meg, amely tükrözi a dóziselőírást és a dóziskorlátokat.

# Dózis-optimalizálás



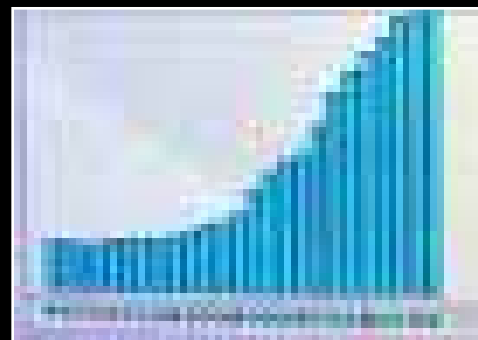
geometriai



manuális

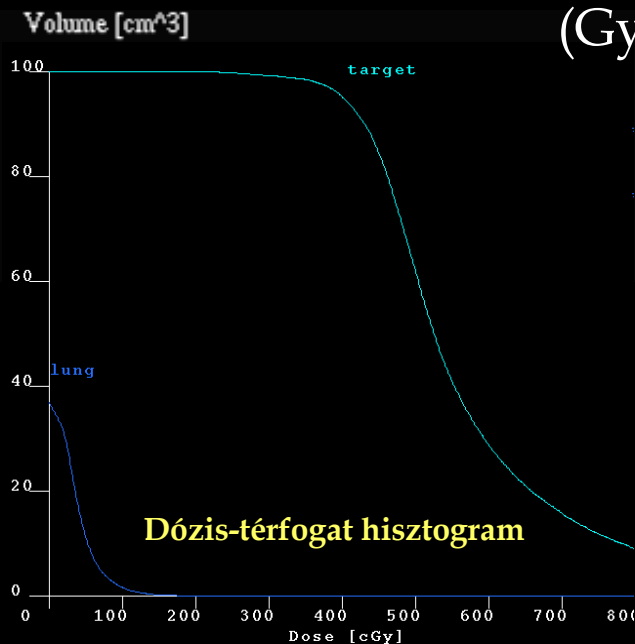
# Dózis-optimalizálás

rossz beültetést **nem lehet helyrehozni** optimalizálással!



# Térfogati- és dózisparaméterek

- **MCD** (Mean Central Dose) (Gy)
- $V_{ref}$ ,  $V_{1.5 \times ref}$ ,  $V_{1.5 \times MCD}$ ,  $V_{PTV}$ : 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 ( $cm^3$ )
- $D_2(x)$ : x védendő szerv legnagyobb dózist kapott 2  $cm^3$ -ének dózisa (%)
- $D_{10}(x)$ : x védendő szerv legnagyobb dózist kapott 10%-ának dózisa (%)



# 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

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

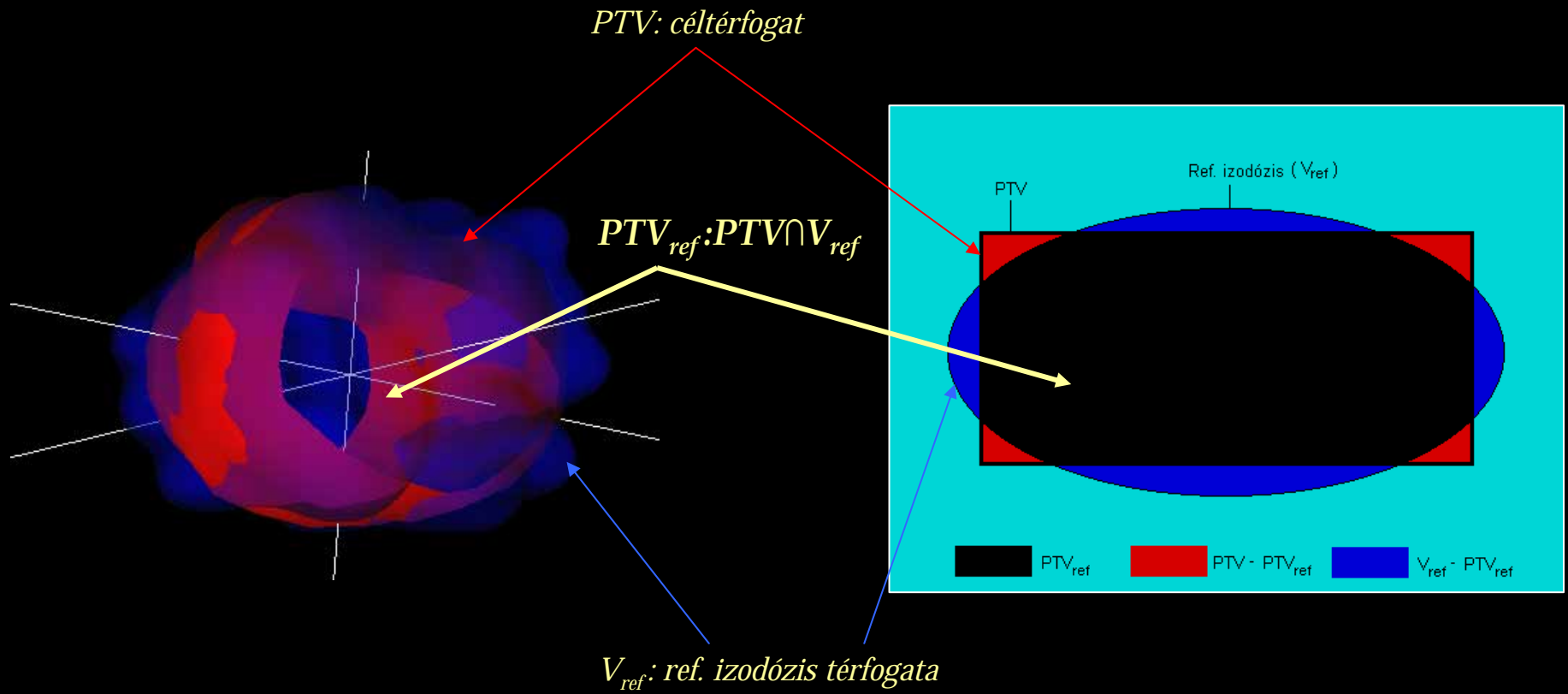
- **COIN** (Conformal Index): konformalitás

- **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 $PTV_{ref}$

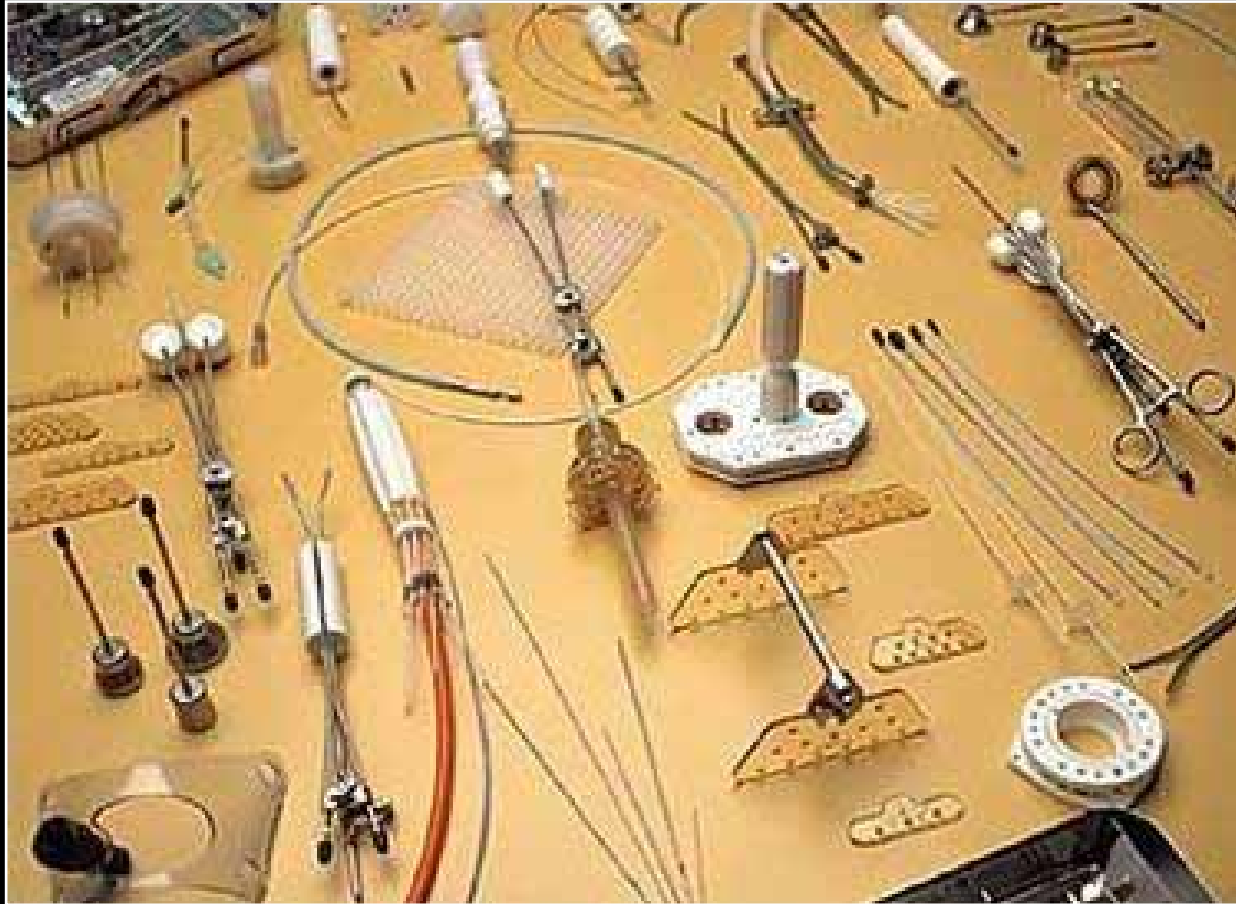


# BT típusai

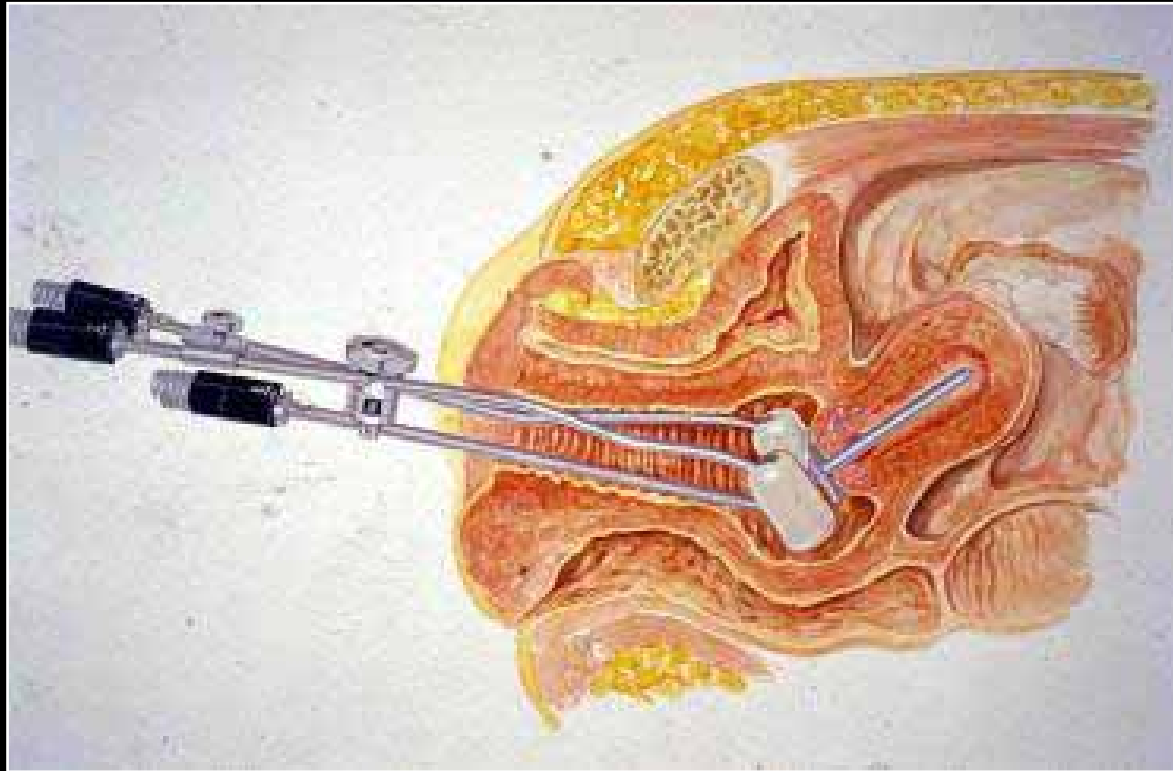
- **intrakavitális BT:** gyn, rektum, orrmelléküreg, orrgaratüreg,...
- **intraluminális:** légcső, nyelőcső
- **felszíni mould:** bőr, szem plakkok
- **(intravaszkuláris)**
- **intersticiális:** emlő, prosztata, H&N, agy, gyn, lágyrész szarkómák,...
- **ideiglenes beültetések:** HDR izotópok (Ir-192)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



# Aplikátorok

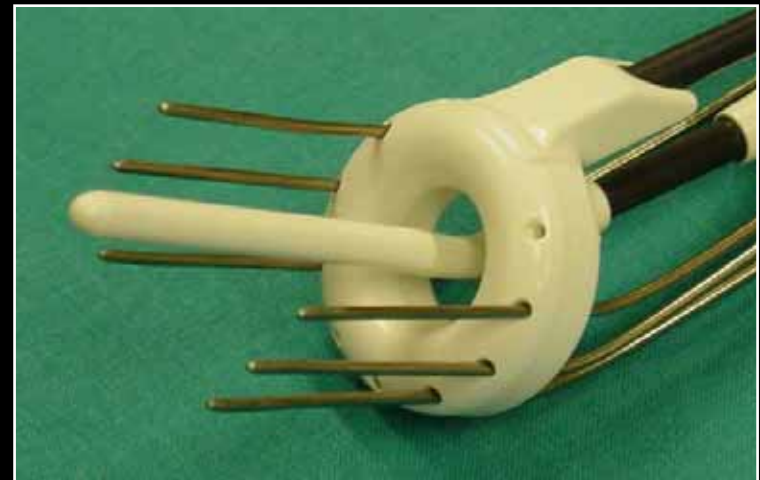
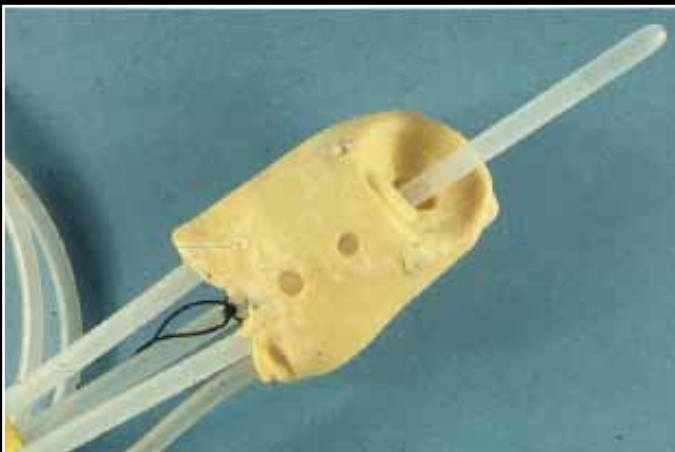
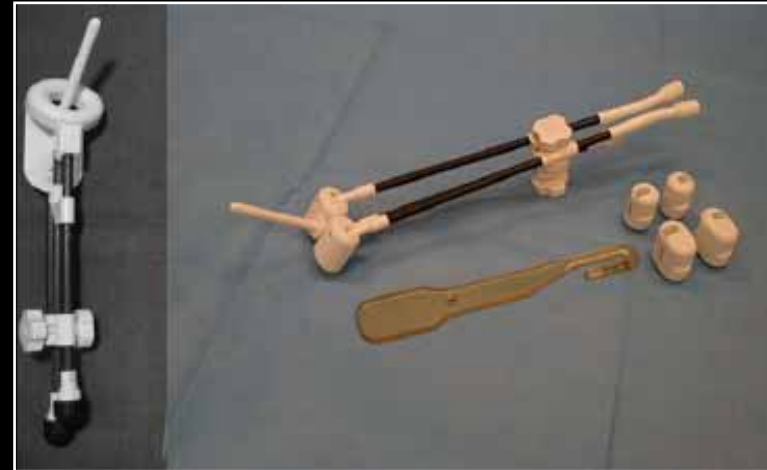


# Nőgyógyászati BT - cervix

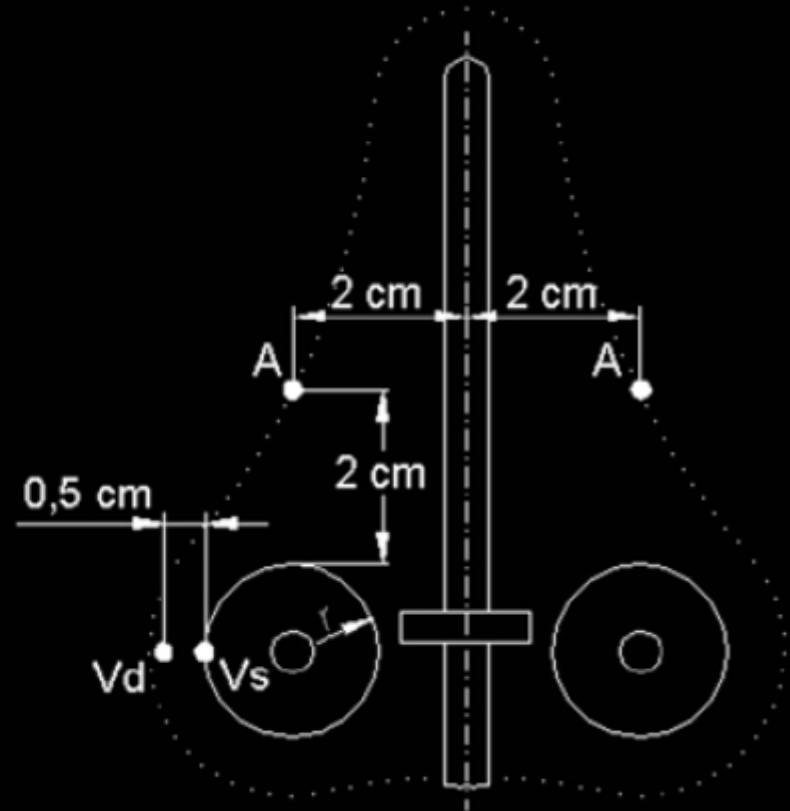
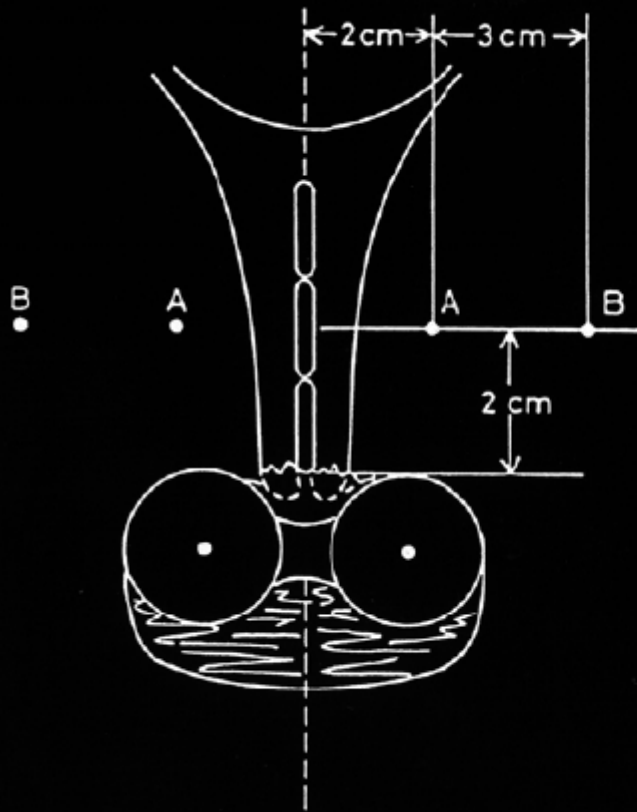


# Nőgyógyászati BT - cervix

- Fletcher-applikátor (tandem+ovoidok)
- Stockholm (tandem+gyűrű)
- Vienna (ring+tűk)
- személyre szabott mould

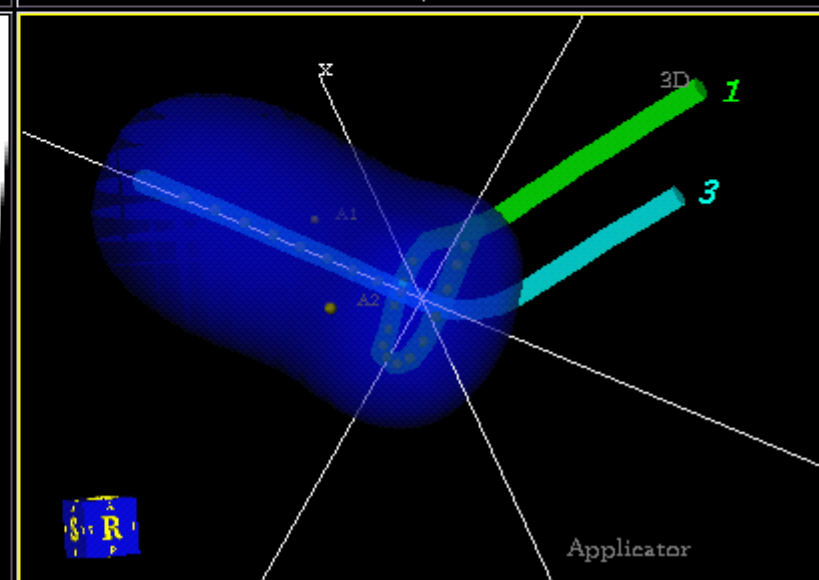
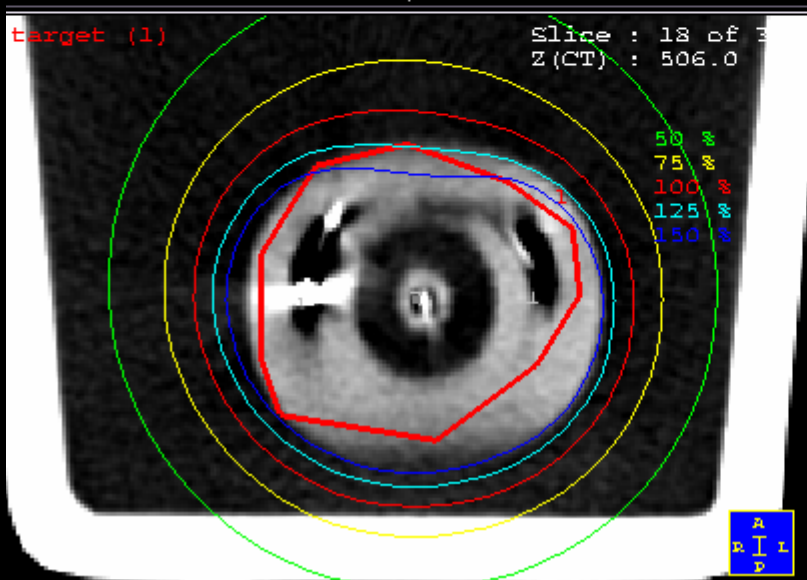
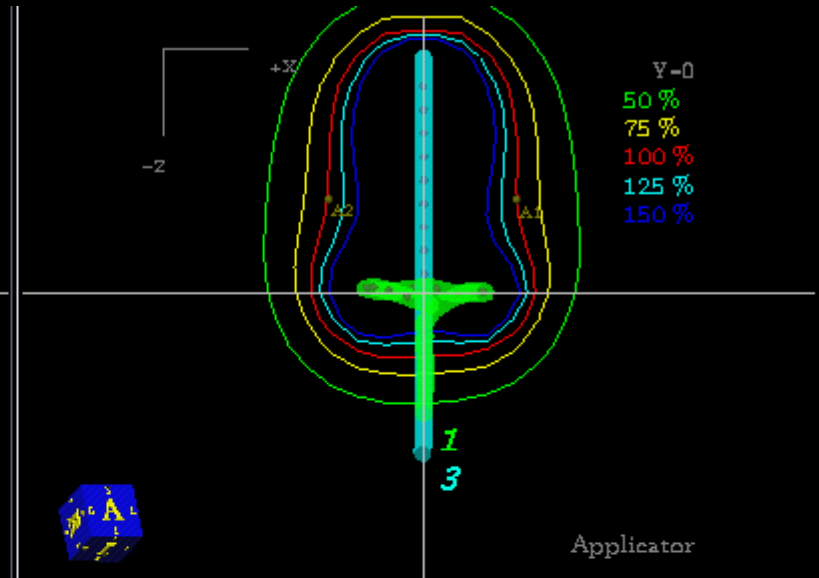
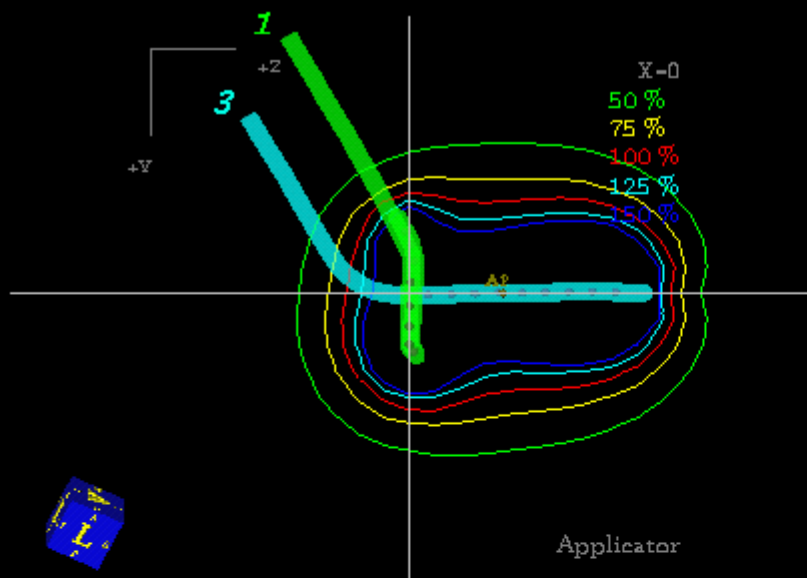


# Nőgyógyászati BT - cervix



**D-előírás: A pontra** → D-eloszlás aplikátortól függetlenül körte alakú  
(meredek lat. D-esés → **B-pont** – apl. dőlésétől független)

# Nőgyógyászati BT - cervix





# Nőgyógyászati BT - cervix

- **2D**: aplikátor-alapú BT (csak A-pont)
- **3D**: anatómia-alapú BT (nincs szükség pontokra, de az összehasonlíthatóság kedvéért használják néha) → optimalizálás (megállási időkre)
- **intersticiális cervix BT**: kezdetben A-pont alapú volt!  
DE: A-pont nem lehet közel tűhöz (← D-grad.)  
→ GTV, HR-CTV (high risk), MR-CTV, LR-CTV

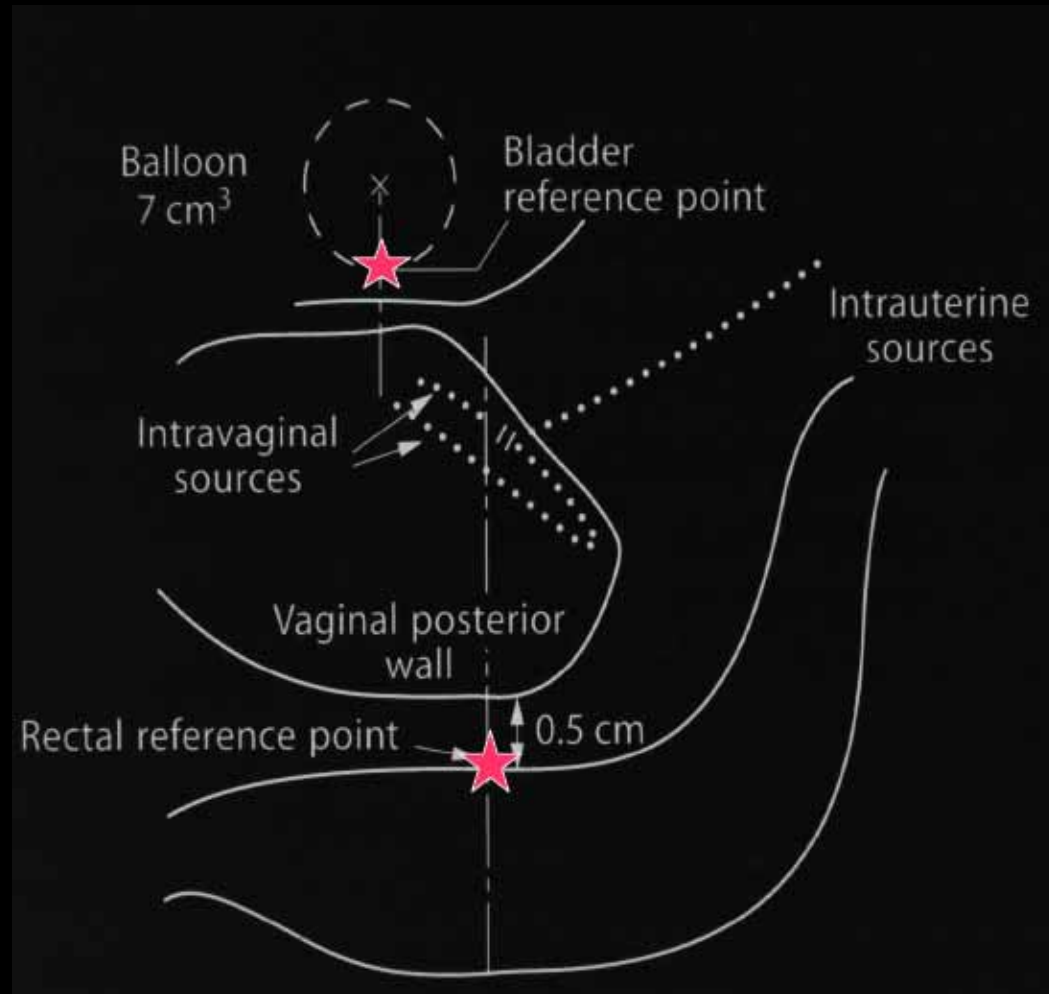
# Nőgyógyászati BT - cervix

ICRU 38

(1985.)

**hólyag** (Foley-kat.  
+ ballon  
kontraszttal)

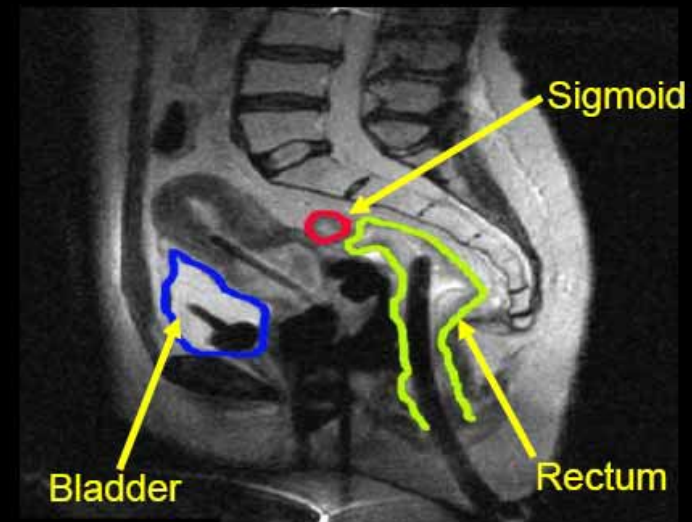
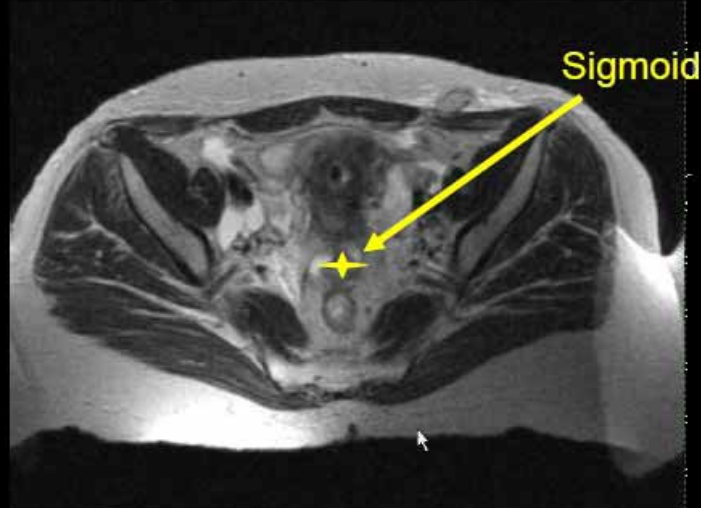
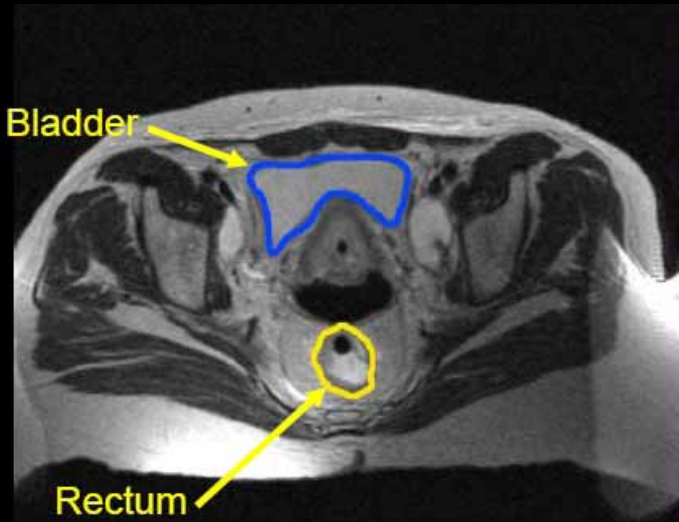
**rektum** (posterior  
hüvelyfal gézzel)



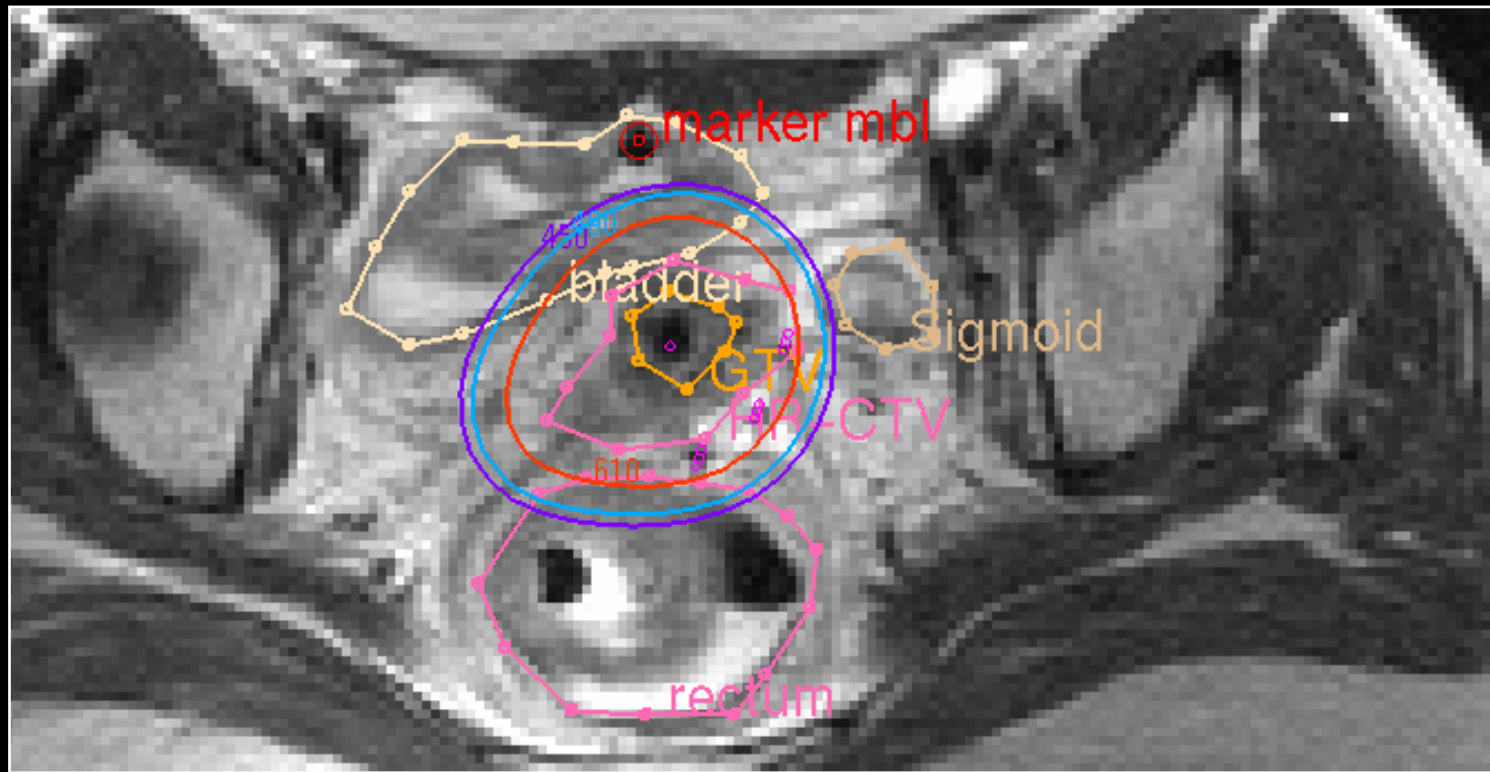
# Nőgyógyászati BT - cervix

GEC-ESTRO Gyn WG:

hólyag  
rektum  
szigmabél  
hüvely

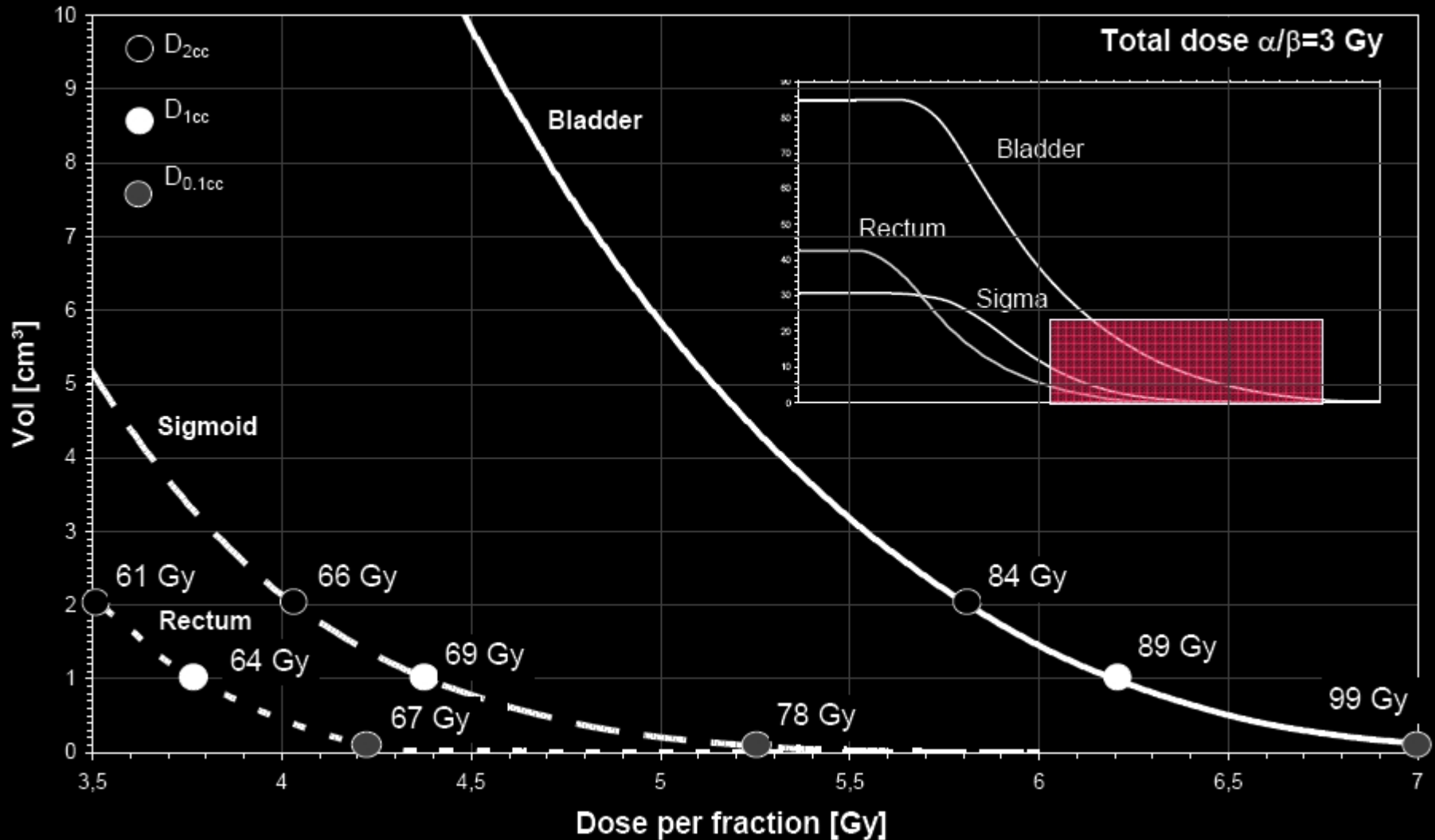


# Nőgyógyászati BT - cervix

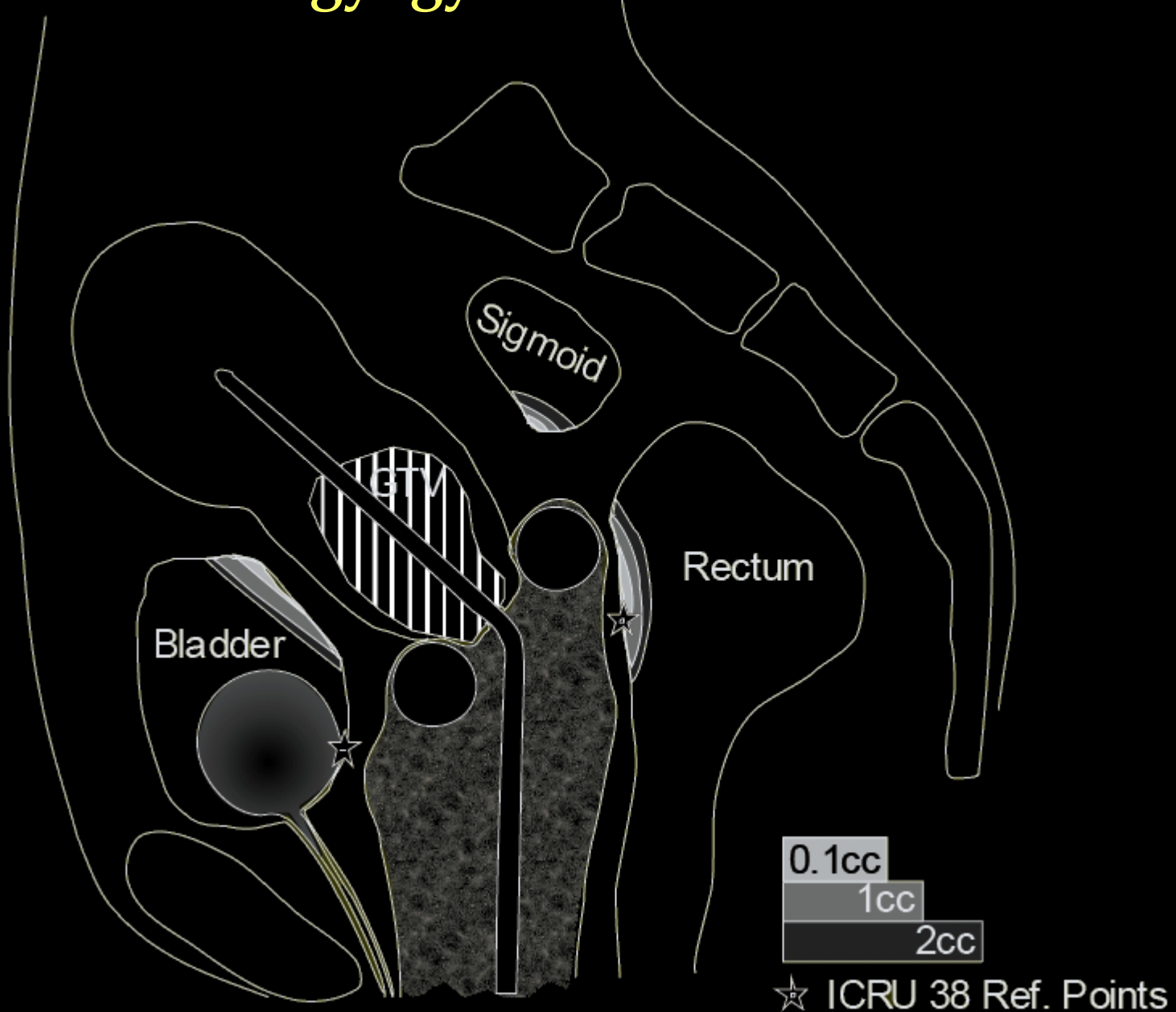


# Nőgyógyászati BT - cervix

Védendőik:  $D_{2cc}$ ,  $D_{1cc}$ ,  $D_{0,1cc}$



# Nőgyógyászati BT - cervix

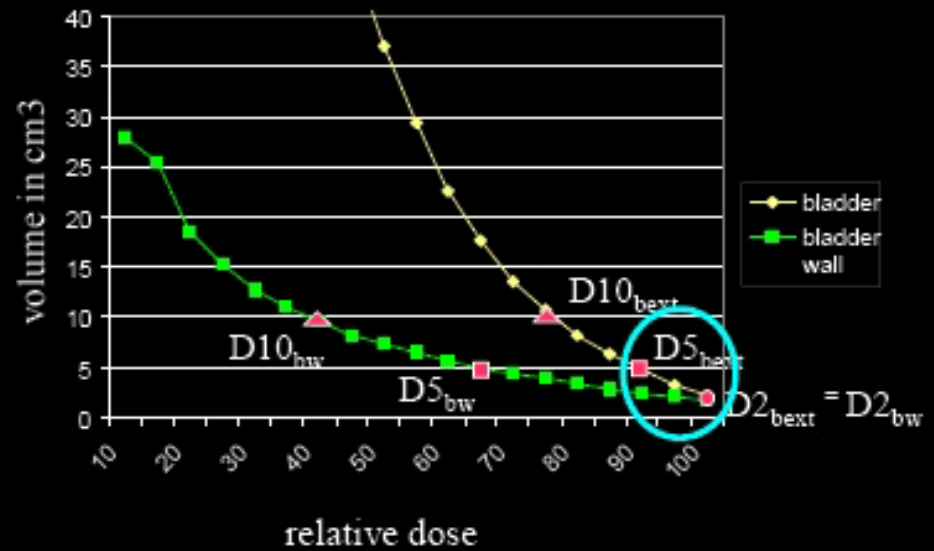


# Nőgyógyászati BT - cervix

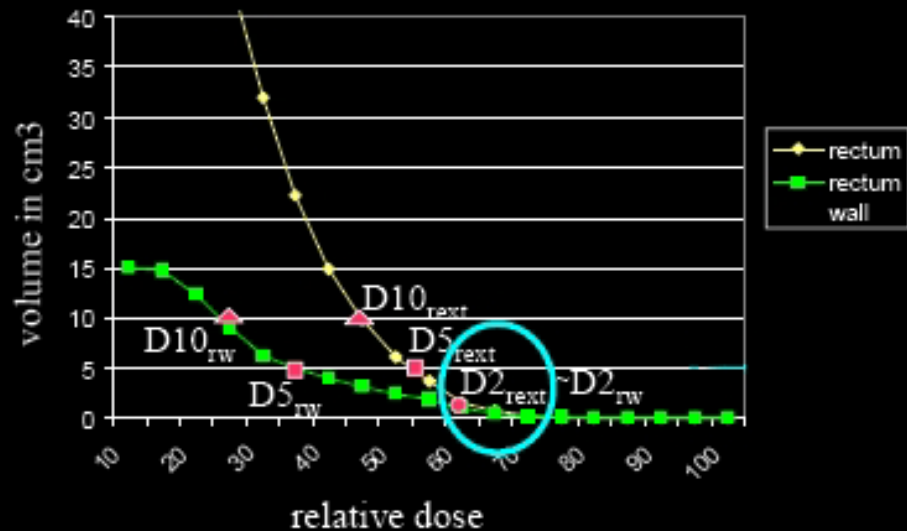
a szervek külső  
kontúrja

vs.

a szervek fala?



kis térfogatok dózisa  
kb. egyforma

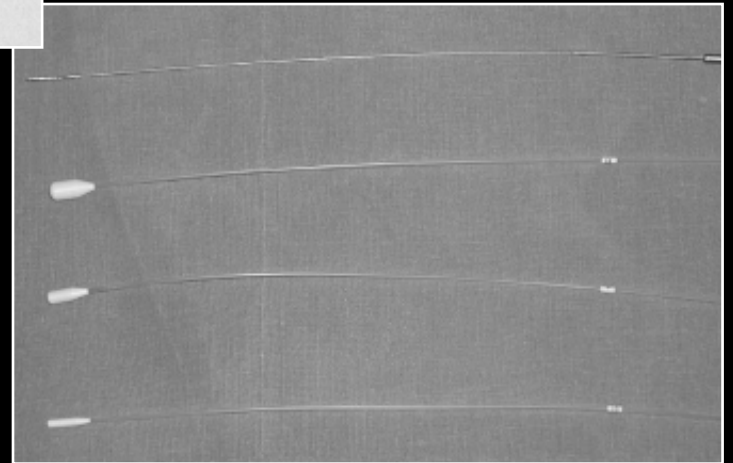
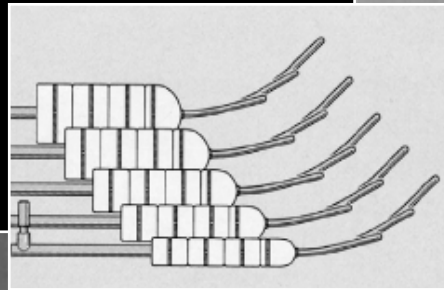
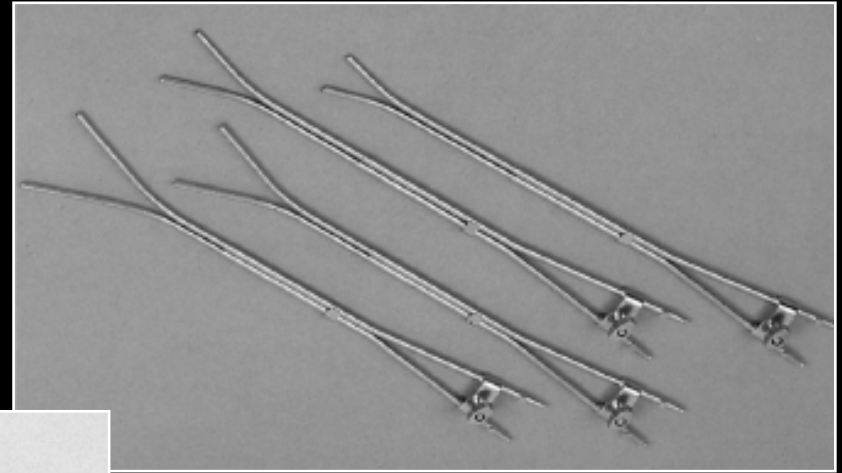


A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	<b>PHYSICAL - BIOLOGICAL DOCUMENTATION OF GYNAECOLOGICAL HDR BT</b>									
2										
3	PATIENT . ID-number	[REDACTED] st06/1114					tumour entity	n.cerv.uteri		
4										
5	<b>EXTERNAL BEAM THERAPY</b>			<b>TUMOUR</b>		<b>OAR</b>		FIGO, TNM	IIAB	
6	dose per fraction	1,8		D <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]		D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]				
7	fractions without central shield	25		44,3		43,2				
8	fractions with central shield			0,0		0,0		GTV at diag.	cm <sup>3</sup>	
9	<b>total dose</b>	<b>45,0</b>		<b>44,3</b>		<b>43,2</b>		chemoth.		
10										
11	<b>BRACHY THERAPY</b>									
12	<b>date</b>	17.8.06	18.8.06	22.8.06	23.8.06			dose values in Gy		
13	<b>physicist</b>	Kinisits	Kinisits	Lang	Lang					
14	<b>MR / CT</b>	MR		MR				<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	
15	<b>applicator(s): type</b>	SR +3 N		SR +3N				<b>BT</b>	<b>BT + EBT</b>	
16	<b>applicator(s): dimensions</b>	r34#60		r30#60	hyper			<b>mean</b>	<b>stddev</b>	
17	<b>eval plan, remarks</b>	eval2	hyper	e3, Nucletronapplicator + Plastiknadeln						
18										
19										
20	<b>TRAK [cGy at 1m]</b>	0,42	0,42	0,41	0,41			1,66		
21										
22	<b>prescribed dose PD</b>	7	7,00	7	7					
23	PD <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	9,9	9,9	9,9	9,9	0,0	0,0	39,7	83,9	
24	<b>volume of PD [cm<sup>3</sup>]</b>	84,55	84,55	78,8	78,8			81,7	2,9	
25	PDx2	14,0	14,0	14,0	14,0	0,0	0,0			
26	PDx2 <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	28,0	28,0	28,0	28,0	0,0	0,0	112,0	156,3	
27	volume of PDx2 [cm <sup>3</sup> ]	24,82	24,82	24,8	24,8			24,8	0,0	
28	pres. point level (A / My / [mm])	A	A	A	A					
29	pres. point [mm left / mm right]	-17	-17	-17	-17					
30										
31	<b>dose to + A left</b>	x	x	x	x					
32	A <sub>left</sub> - D <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	0,0	0,0	#ERTEKI	#ERTEKI	
33	<b>dose to - A right</b>	x	x	x	x					
34	A <sub>right</sub> - D <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	0,0	0,0	#ERTEKI	#ERTEKI	
35	<b>dose to A mean</b>	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	0,0	0,0	#ERTEKI	#ERTEKI	
36	A <sub>mean</sub> - D <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	#ERTEKI	0,0	0,0	#ERTEKI	#ERTEKI	
37										
38	<b>GTV [cm<sup>3</sup>]</b>			3,9	3,9			3,9	0,0	
39	<b>D 100 = MTD</b>			8,9	8,9					
40	D 100 <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	0,0	0,0	14,0	14,0	0,0	0,0	28,0	72,3	
41	<b>D 90</b>			11,8	11,8					
42	D 90 <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	0,0	0,0	21,4	21,4	0,0	0,0	42,9	87,1	
43	<b>V 100 = volume of PD [%]</b>			100,0%	100,0%			100,0%	0,0%	
44										
45	<b>HR CTV [cm<sup>3</sup>]</b>	25,8	25,80	21,9	21,9			23,9	1,9	
46	<b>D 100 = MTD</b>	4,6	4,60	6,3	6,3					
47	D 100 <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	5,6	5,6	8,6	8,6	0,0	0,0	28,3	72,6	
48	<b>D 90</b>	9,3	9,30	10,3	10,3					
49	D 90 <sub>iso</sub> [α/β=10Gy]	15,0	15,0	17,4	17,4	0,0	0,0	64,8	109,0	
50	<b>V 100 = volume of PD [%]</b>	98,6%	98,6%	99,6%	99,6%			99,7%	0,5%	
51	volume of mean A-dose [%]	x	x	x	x			#####	#####	
52										
53	<b>BLADDER [cm<sup>3</sup>]</b>	100,9	100,90	34,3	34,3			67,6	33,3	
54	<b>ICRU - dose</b>	2,8	2,83	4,4	4,4					
55	ICRU - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	3,3	3,3	6,5	6,5	0,0	0,0	19,6	62,8	
56	<b>ICRUcr1,5cm - dose</b>	4,0	3,97	7,4	7,4					
57	ICRUcr1,5cm - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	5,5	5,5	15,4	15,4	0,0	0,0	41,9	85,1	
58	<b>ICRUcr2,0cm - dose</b>	4,2	4,22	9,0	9,0					
59	ICRUcr2,0cm - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	6,1	6,1	21,6	21,6	0,0	0,0	55,4	98,6	
60	<b>0,1cm<sup>2</sup> - dose</b>	8,4	8,40	7,8	7,8					
61	0,1cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	19,2	19,2	16,8	16,8	0,0	0,0	72,0	115,2	
62	<b>1cm<sup>2</sup> - dose</b>	7,0	7,00	6,3	6,3					
63	1cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	14,0	14,0	11,7	11,7	0,0	0,0	51,4	94,6	
64	<b>2cm<sup>2</sup> - dose</b>	6,5	6,50	5,8	5,8					
65	2cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	12,4	12,4	10,2	10,2	0,0	0,0	45,1	88,3	
66										
67	<b>RECTUM [cm<sup>3</sup>]</b>	24	24,00	43,6	43,6			33,8	9,8	
68	<b>ICRU - dose</b>	3,7	3,68	2,1	2,1					
69	ICRU - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	4,9	4,9	2,1	2,1	0,0	0,0	14,1	57,3	
70	<b>ICRUprobe - dose</b>	3,3	3,28	2,0	2,0					
71	ICRUprobe - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	4,1	4,1	2,0	2,0	0,0	0,0	12,2	55,4	
72	<b>0,1cm<sup>2</sup> - dose</b>	3,9	3,90	5,3	5,3					
73	0,1cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	5,4	5,4	8,8	8,8	0,0	0,0	28,4	71,6	
74	<b>1cm<sup>2</sup> - dose</b>	3,1	3,10	4,2	4,2					
75	1cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	3,8	3,8	6,0	6,0	0,0	0,0	19,7	62,9	
76	<b>2cm<sup>2</sup> - dose</b>	3,0	3,00	3,7	3,7					
77	2cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	3,6	3,6	5,0	5,0	0,0	0,0	17,1	60,3	
78										
79	<b>SIGMOID [cm<sup>3</sup>]</b>	88,3	88,30	102,6	102,6			95,5	7,2	
80	<b>0,1cm<sup>2</sup> - dose</b>	5,4	5,40	6,7	6,7					
81	0,1cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	9,1	9,1	13,0	13,0	0,0	0,0	44,1	87,3	
82	<b>1cm<sup>2</sup> - dose</b>	4,1	4,10	5,6	5,6					
83	1cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	5,8	5,8	9,6	9,6	0,0	0,0	30,9	74,1	
84	<b>2cm<sup>2</sup> - dose</b>	3,9	3,90	5,0	5,0					
85	2cm <sup>2</sup> - D <sub>iso</sub> [α/β=3Gy]	5,4	5,4	8,0	8,0	0,0	0,0	26,8	70,0	
86										

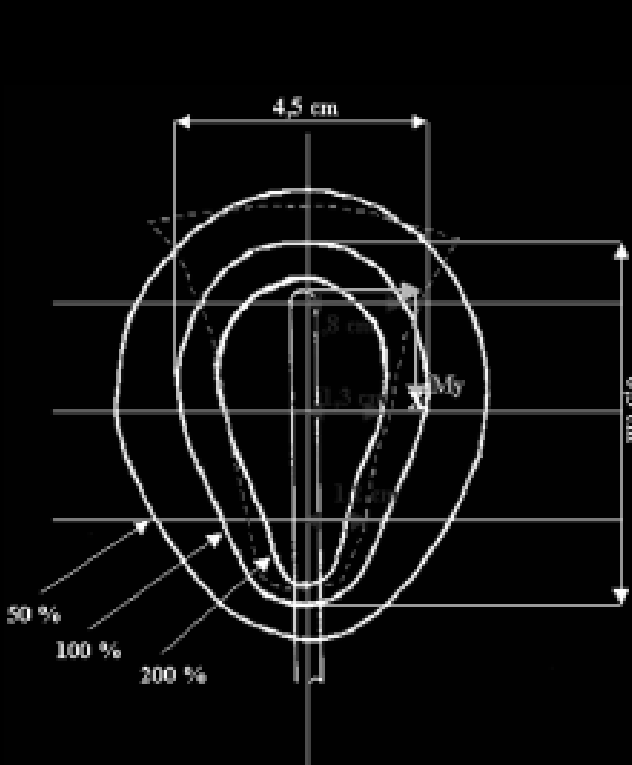


# Nőgyógyászati BT – endometrium

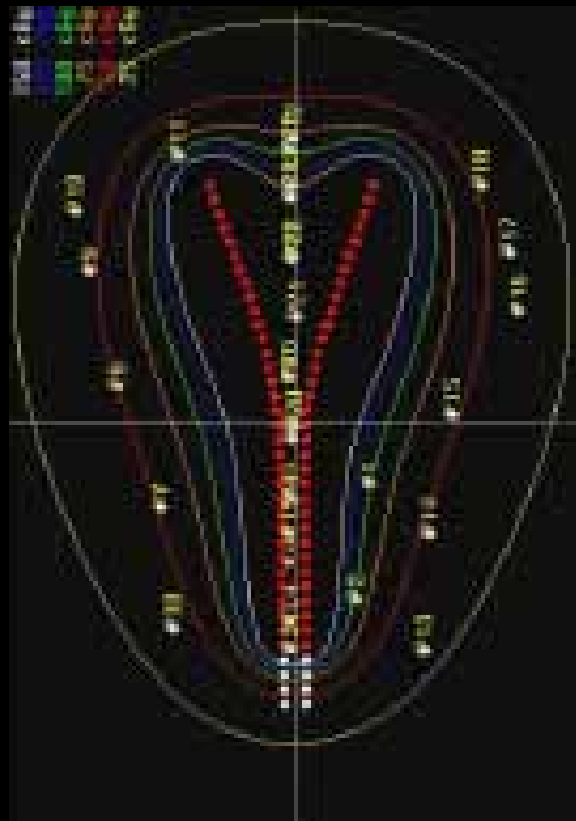
- 1 utas aplikátor
- 2-3 utas
- Heymann-apl.
- esernyő-technika



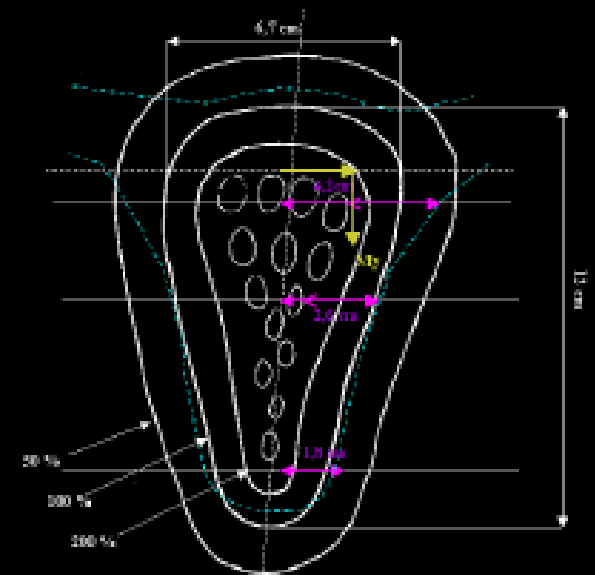
# Nőgyógyászati BT – endometrium



1 utas apl.



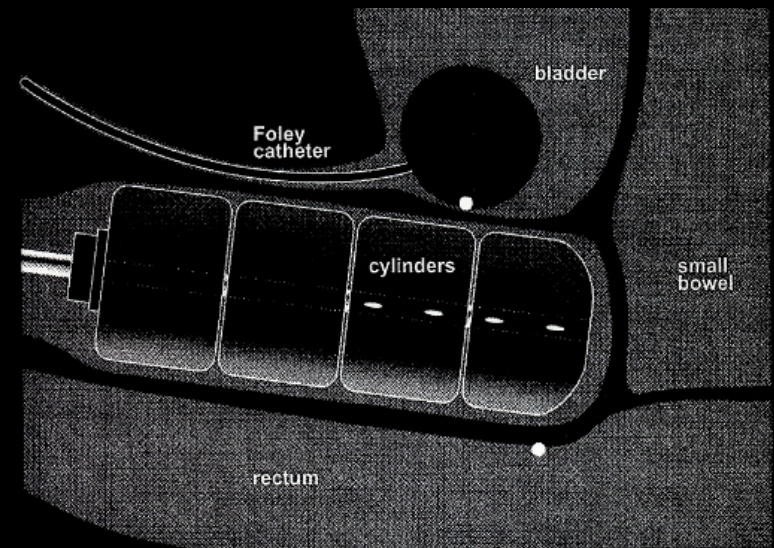
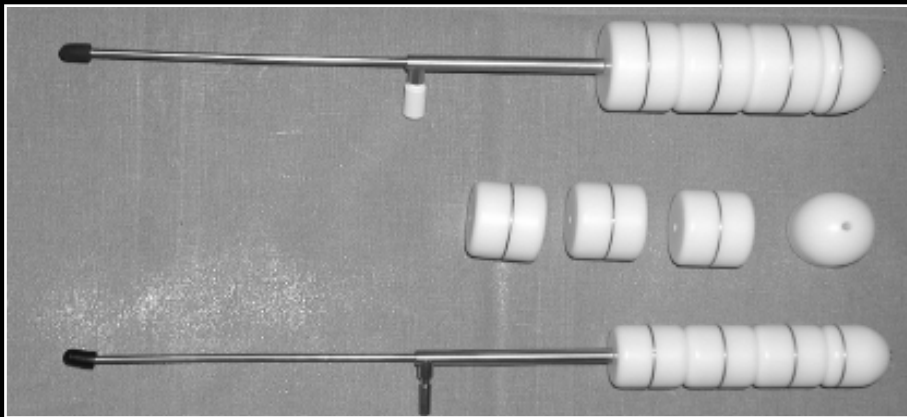
2 utas tandem apl.



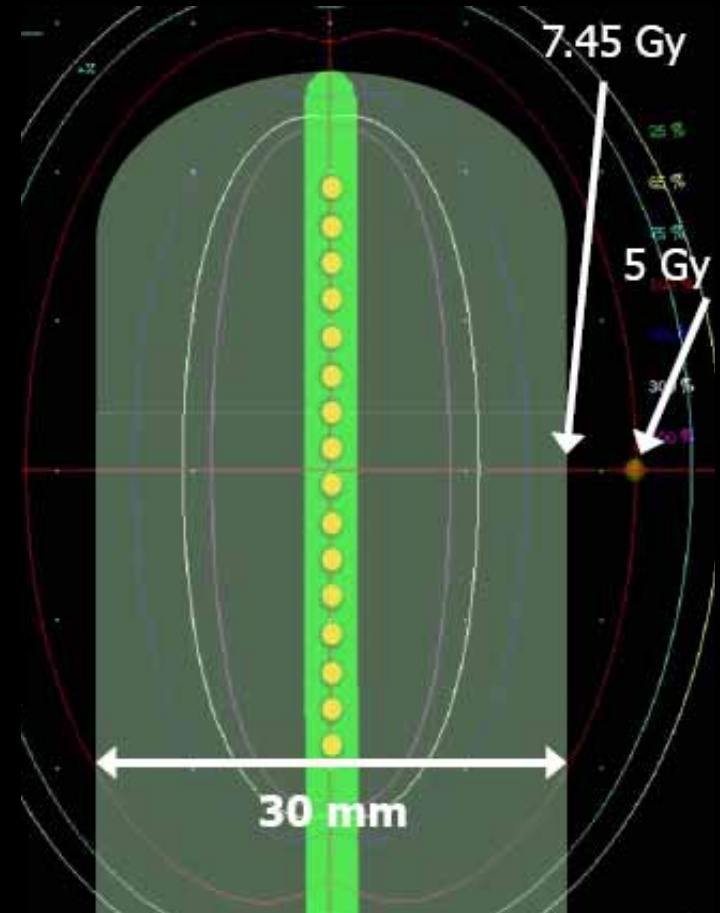
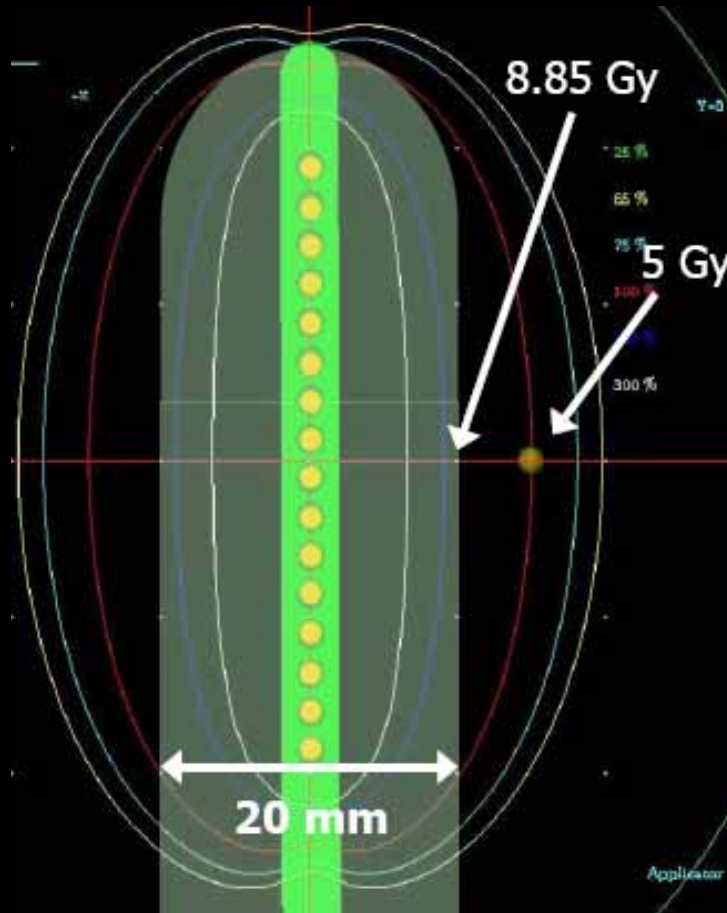
Heymann

# Nőgyógyászati BT – hüvely

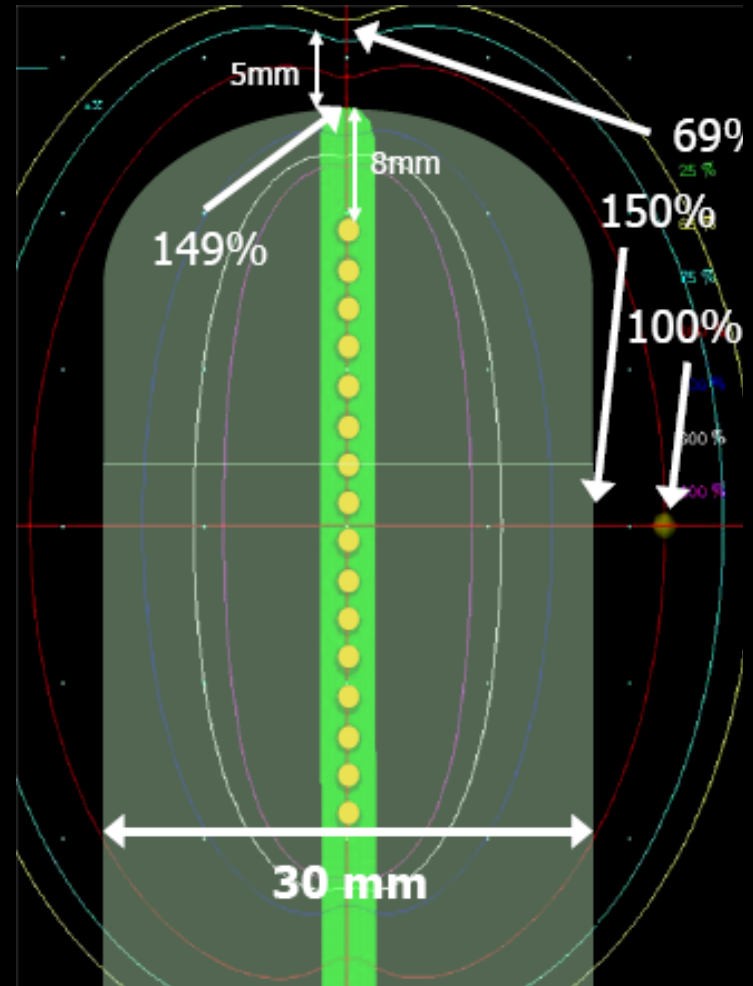
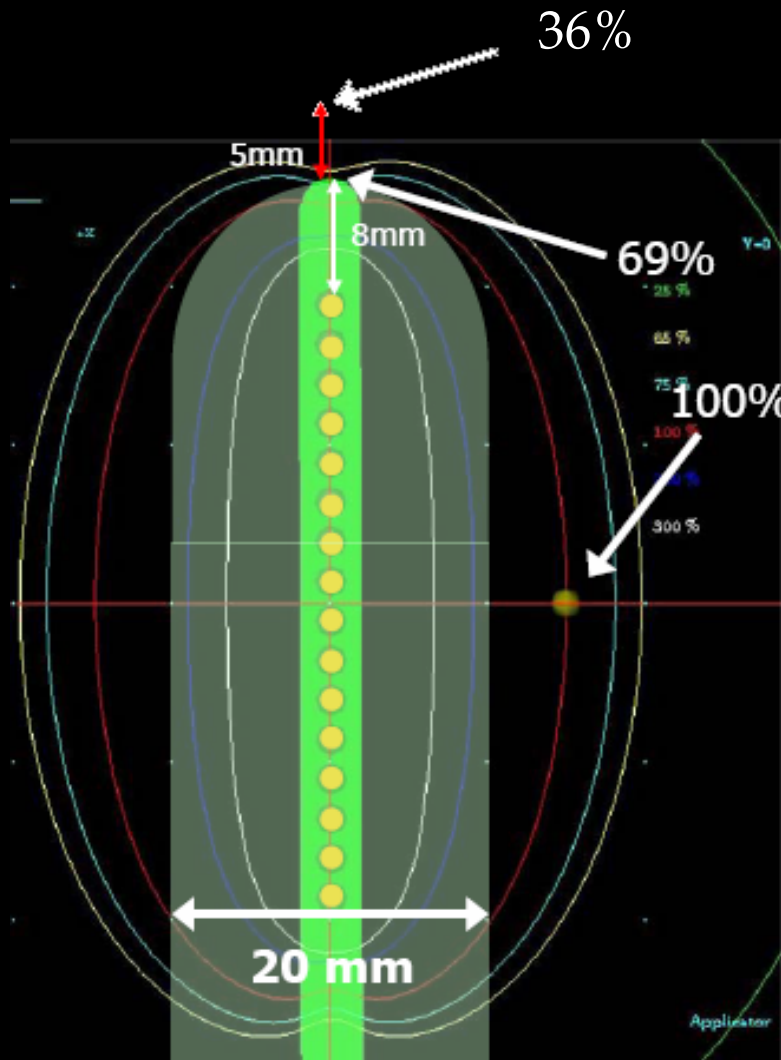
- hüvely daganatok / endometrium cc. postop kezelése
- 1 utas aplikátor variálható távtartókkal
- D-előírás: aplikátor felszínétől 5 mm-re
- +GO



# Nőgyógyászati BT - hüvely



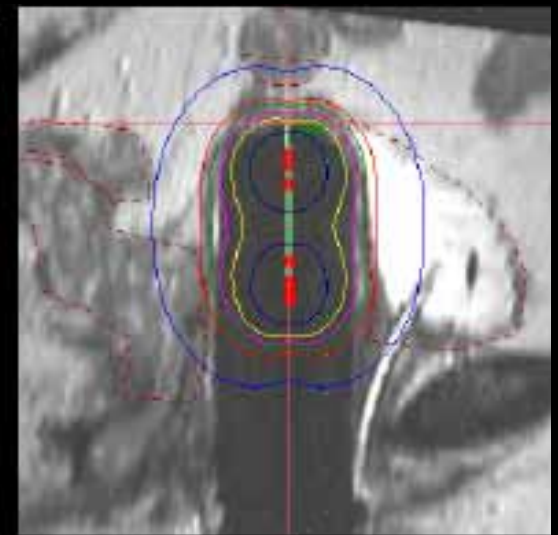
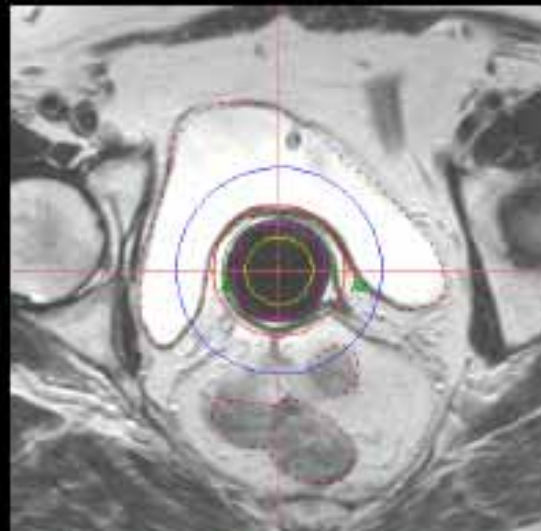
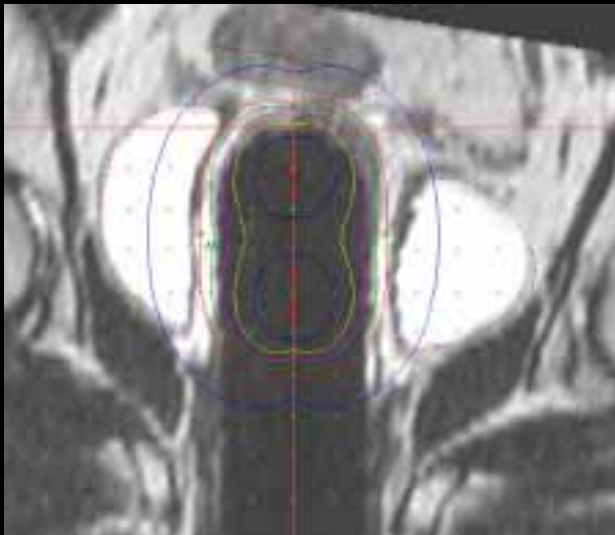
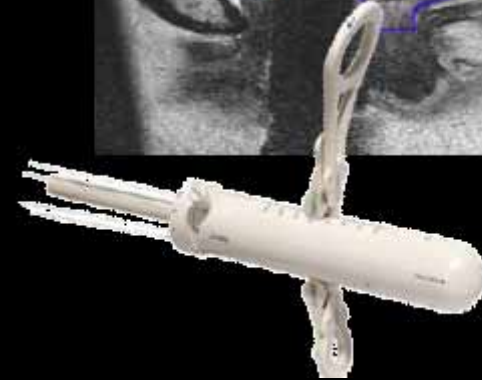
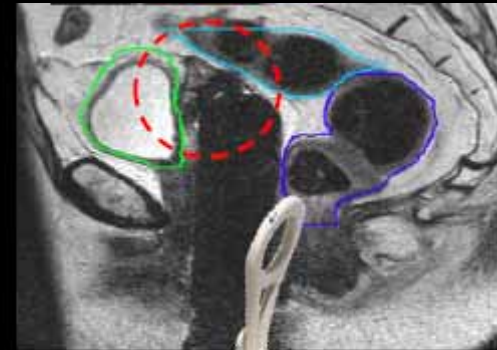
# Nőgyógyászati BT - hüvely



# Nőgyógyászati BT - hüvely

3D IGBT

→ többcsatornás aplikátor



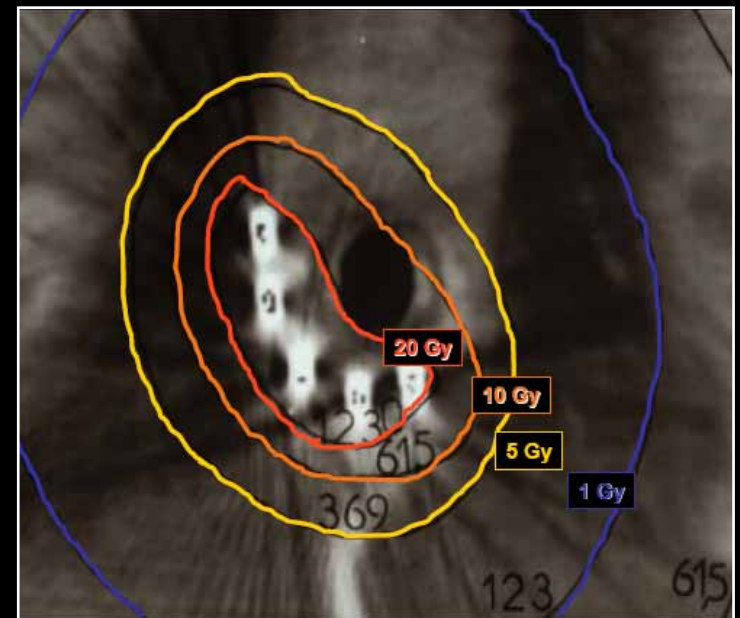
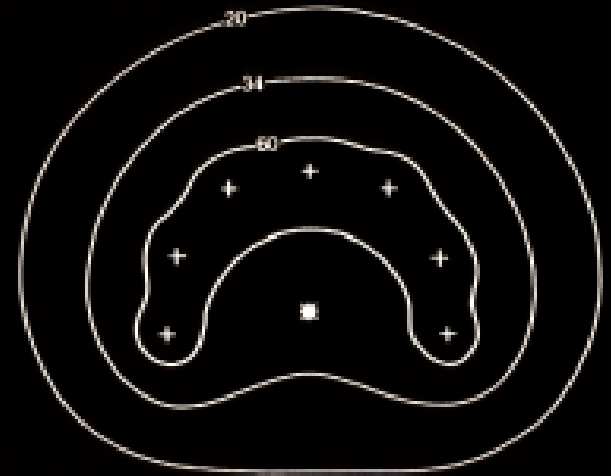
# Rektum BT

- hüvelyi tubus aplikátor / 3D tűzdelés

→ D növelése (boost)

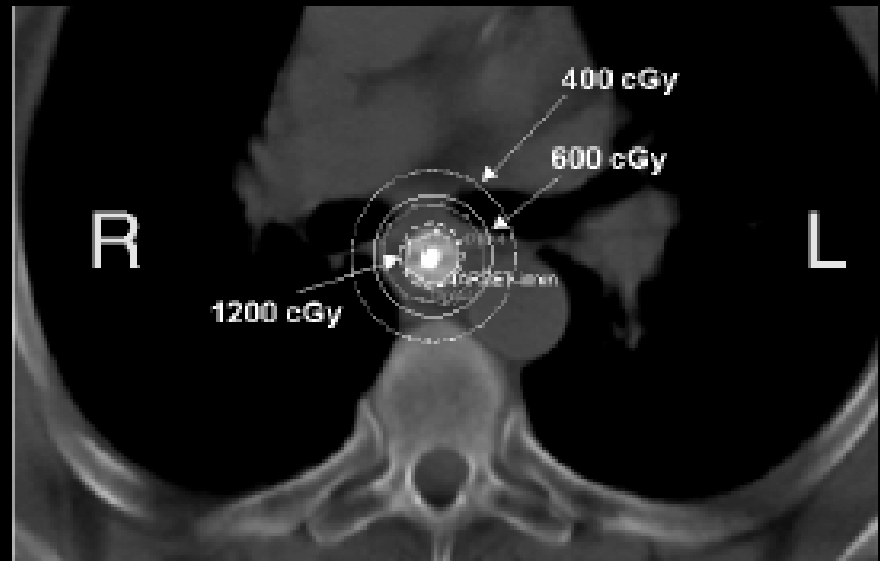
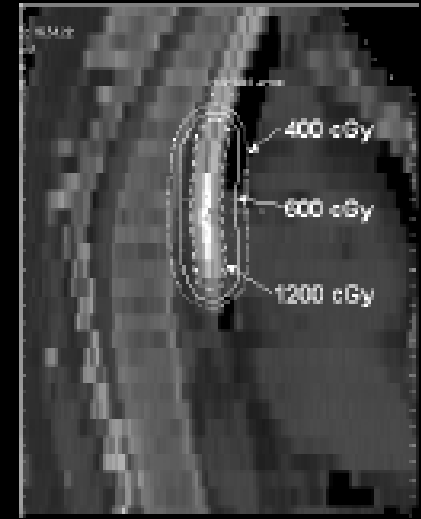
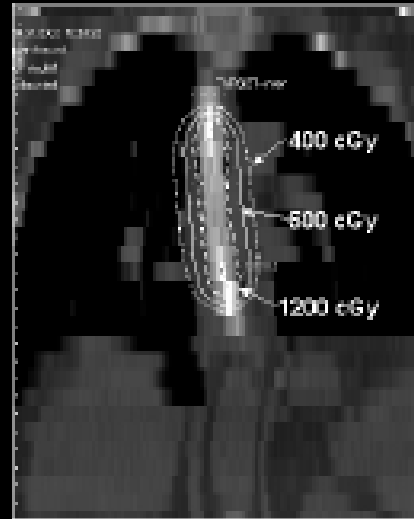
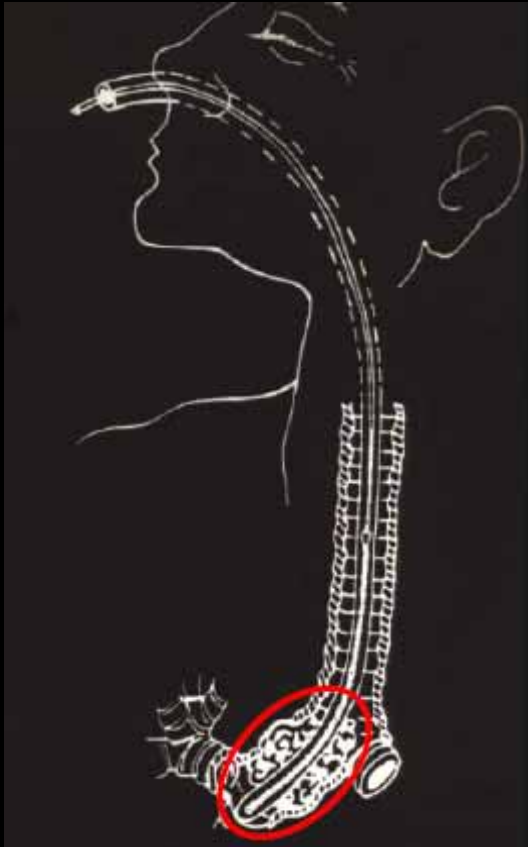
→ nekrozis esélyének csökkentése

→ sphincter funkció megőrzése



# Bronchus BT

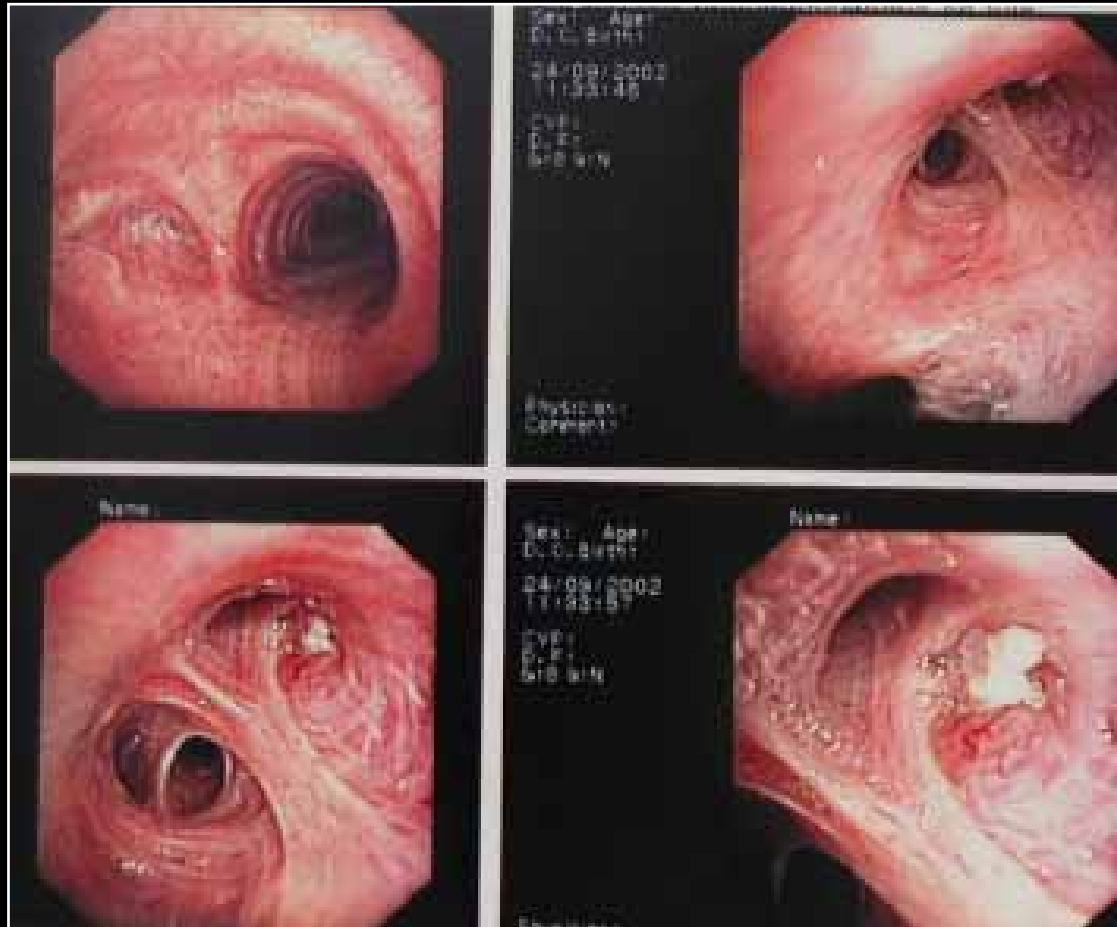
- 1, 2, 3-utas
- palliatív





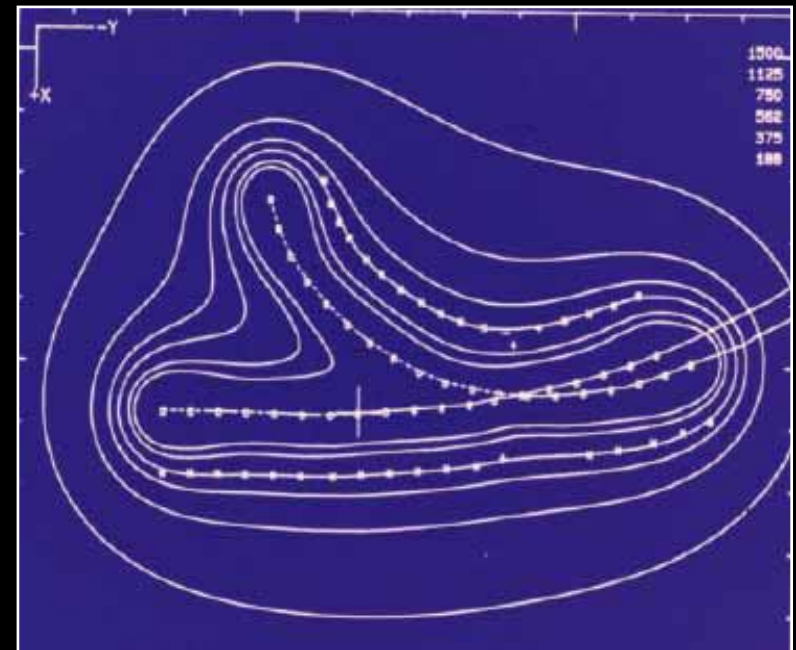
# Bronchus BT

bronchoscope, helyi érzéstelenítés



# Bronchus BT

D-t a katéter felszínétől 5 mm-re írjuk elő + GO



# Sugárvédelem



ALARA-elv (As Low As Reasonably Achievable):

- távolság (fordított négyzetes szabály)
- idő
- takarás



# Sugárvédelem



D-detektorok:

- fali
- személyi
- felületi szennyezettség



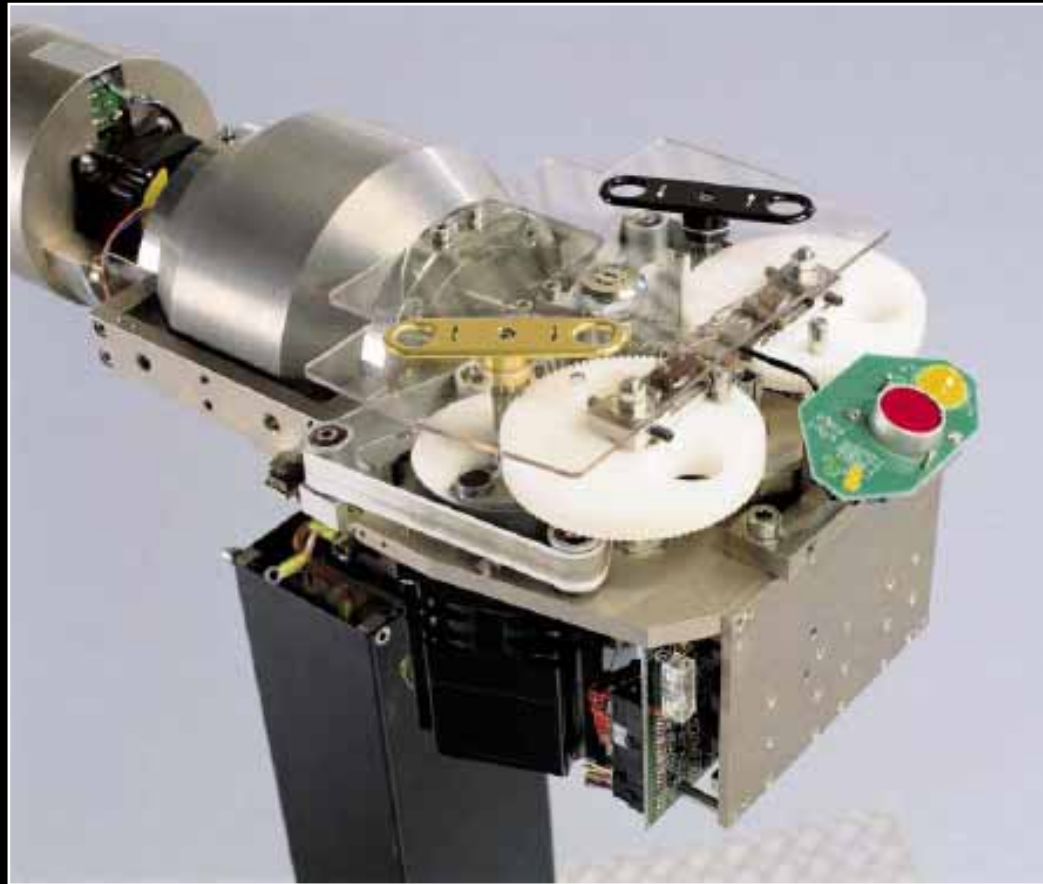
# Sugárvédelem



## Sugvéd. szabályok:

- besugárzáskor csak a beteg lehet a helyiségben
- → gyerekeket szedálni/altatni kell, ha szükséges
- redundáns biztonsági eljárások (pl. független sugármonitorok)
- interaktív interface (kamerák, mikrofon)
- indításhoz jelszó kell (csak fizikus)
- ellenőrző mechanizmusok (fény, hang besugárzáskor)
- ajtónyitás mindig megszakítja a besugárzást
- baleseti intézkedési terv (BEIT), értesítendők tetszámmal
- figyelmeztető jelzések (sugár, terhes/ szoptató nő nem léphet be,...)
- karbantartást, javítást csak szervízmérnök végezhet (kivéve: forráscsere)
- forrás bármilyen hiba esetén visszahúzódik a konténerbe (áramszünet, légnyomás-esés, akadályba ütk., nincs apl.,...)

# Sugárvédelem



radioaktív forrás mellett + „dummy source”

# In vivo dozimetria

## QC:

- kezelés verifikációja
- nem számítható D-ok (dózistervezés határai, beteg mozgása)
- D-verifikáció (védendő szervek, jogi szempontok, klin. vizsgálatok)

## Módszerek:

- félvezető diódák



***Köszönöm a figyelmet!***