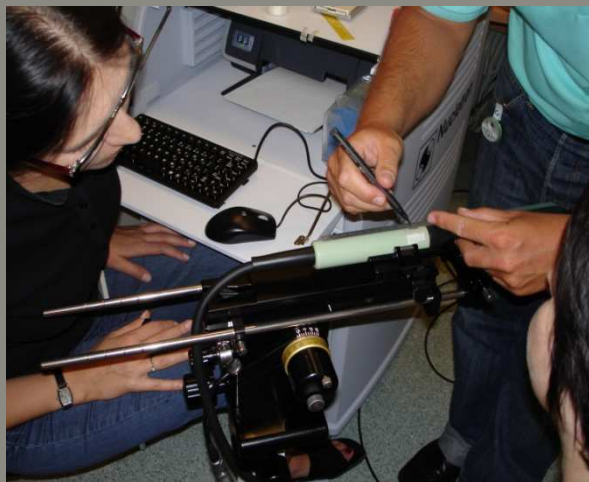


# Jak przerwać klincz - ocena i optymalizacja dawek w narządach krytycznych w brachyterapii prostaty, algorytmy obliczeniowe i metody aplikacji izotopu

**Grzegorz Zwierzchowski.**

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Wydział Nauk o Zdrowiu, Katedra i Zakład Elektryki Medycznej  
Wielkopolskie Centrum Onkologii im. Marii Skłodowskiej – Curie, Zakład Fizyki Medycznej.

## „Wirtualny” plan leczenia





Virtual Plan Live Plan Post Plan

DB

Y-Value = 52.13 mm

Cruciform 3D Mode DVH Mode

Prostate Urethra

Contouring

Set Contour

Draw

Segmental Continuous

Define Radius 3.65 [mm]

Manual Auto Margin

Edit Contour

Copy Paste

Modify Clear Current

Use Interpolated

Edit VOI

Modify Clear Current

Clear All

Export VOIs

Define VOI

\* Prostate

\* Urethra

Rectum

New

Options

Delete

VOI Intersections

Check Intersections

Prostate - Urethra

Z-Value = -16.56 mm

X-Value = 38.23 mm

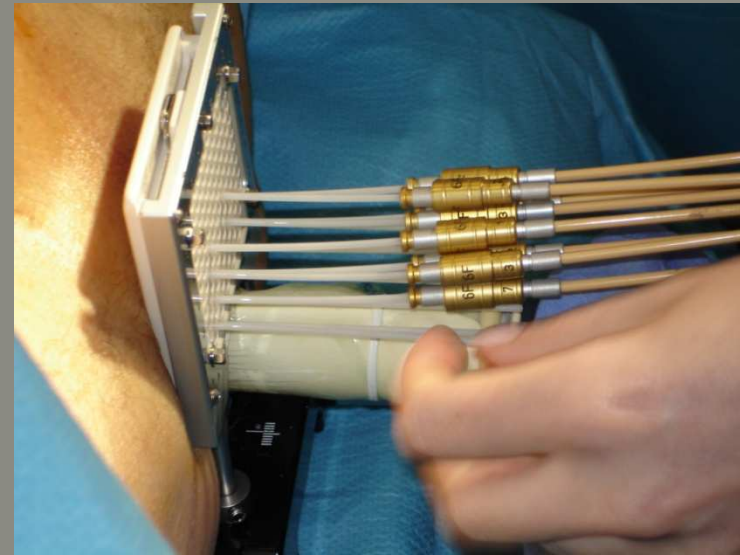
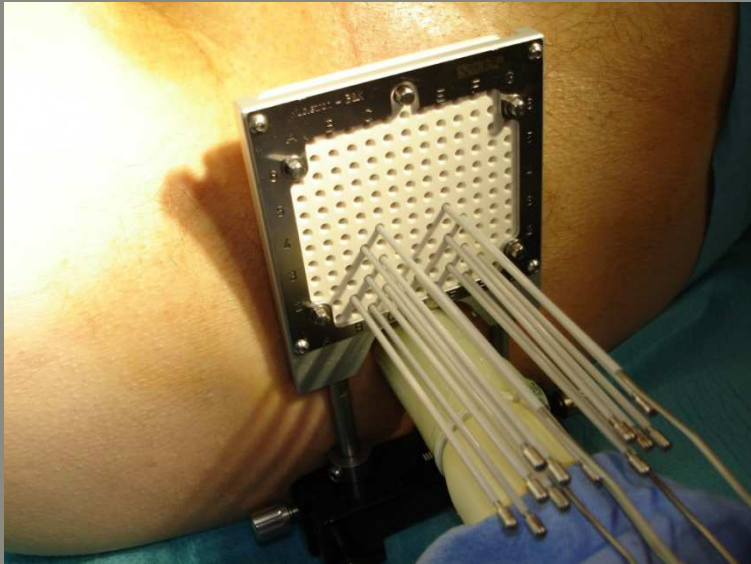
REFERENCE PLANE

Prostate Urethra

#	Column	Row	Indexer[mm]	Depth[mm]	Free Len.[mm]	Offset[mm]	Tip-1stSDP[mm]	Layout
V1	C	3	1408.00	0.25	104.75	-9.75	10.00	
V2	E	3	1408.00	0.25	104.75	-9.75	10.00	

x: 38.23 y: 52.13 z: -16.56 val: 89 01/08/2007 - 08:06

start SWIFT 2.11.8: Pati... EN 08:06





Virtual Plan **Live Plan** Post Plan

DB SET about Swift

27 1.1

**Y-Value = 42.90 mm**

**Z-Value = -19.00 mm**

**Cruciform** 3D Mode DVH Mode

**X-Value = 36.70 mm**

**Prescription**

Normalisation Mode  
 MDPTV  MPD  MTD  
 Abs. Dose  On Box

Dose Prescription  
 F-Factor  
 PD [Gy]

Actual Source Strength  
 Strength [U] [ $\text{cGy} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ]  
 App. Activity [mCi]  
 App. Activity [MBq]  
 Air Kerma Rate Constant [ $\text{U} \cdot \text{mCi}^{-1}$ ]

Date  
 Month:  / Day:  / Year:

Time  
 Hour:  : Min:  : Sec:

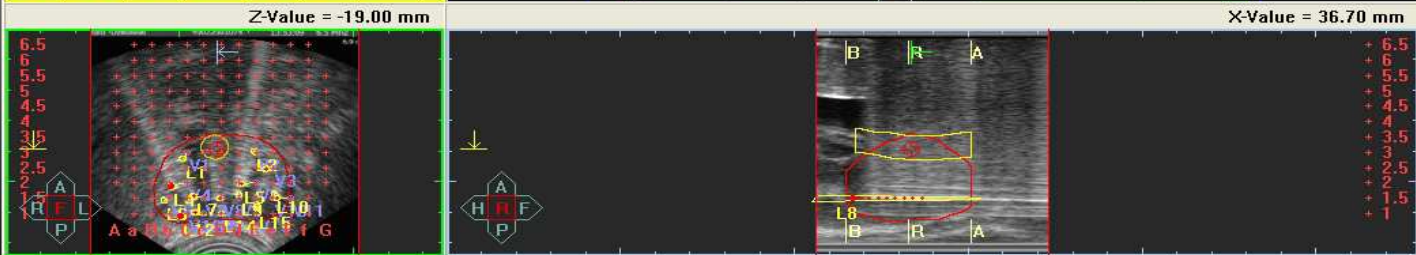
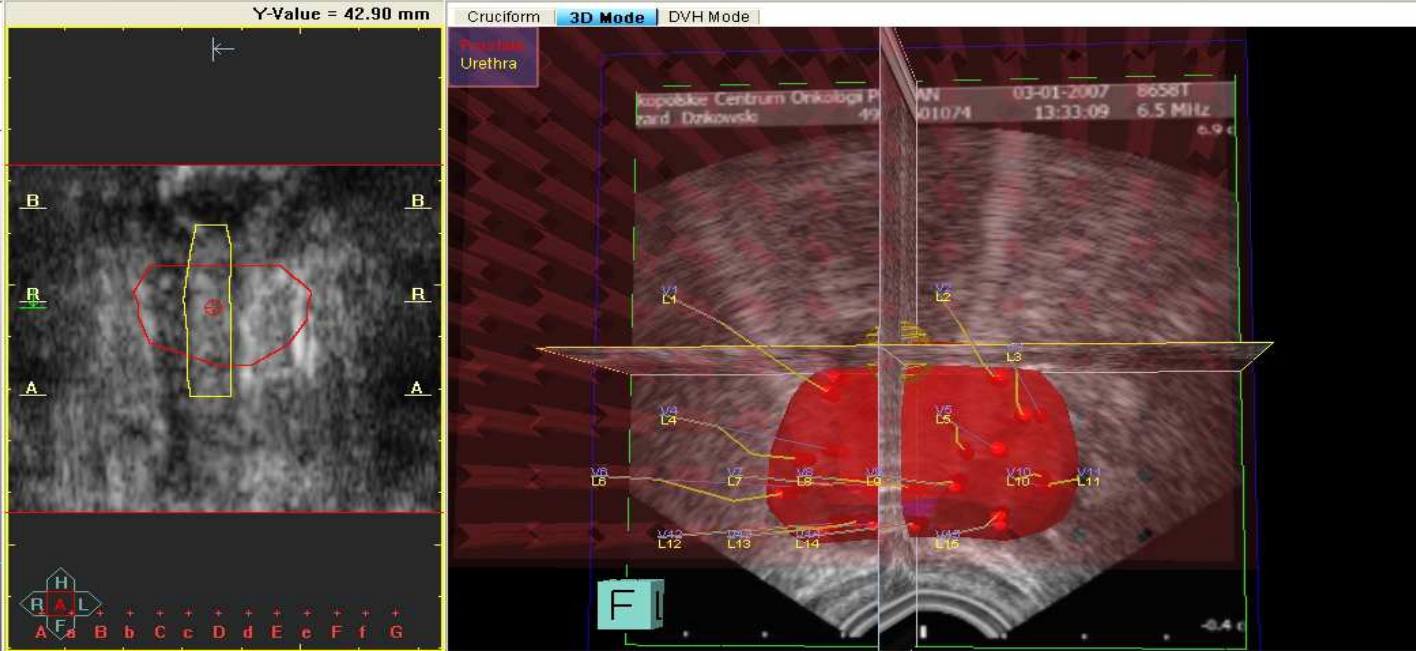
x: 36.70 y: 42.90 z: -19.00 val: 101 01/08/2007 - 08:24

start SWIFT 2.11.6: Pati... EN 08:24

Virtual Plan Live Plan Post Plan

DB SFT update update about Swift

2.6



#	Column	Row	Indexer[mm]	Depth[mm]	Free Len.[mm]	Offset[mm]	Tip-1stSDP[mm]	Layout
L1	C	3	1408.00	-0.22	84.16	-10.22	10.00	
L2	E	3	1408.00	-11.22	95.19	-21.22	10.00	

### Prescription

Normalisation Mode

MDPTV  MPD  MTD

Abs. Dose  On Box

Show Normalisation Point

Dose Prescription

F-Factor: 1.00

PD [Gy]: 15.0000

Apply

Actual Source Strength

Strength [U] (cGy\*cm<sup>2</sup>\*h<sup>-1</sup>): 21911.26

App. Activity [mCi]: 5367.78

App. Activity [MBq]: 198607.72

Air Kerma Rate Constant [U\*mCi<sup>-1</sup>]: 4.082

Apply

Date

Month: 01 / Day: 08 / Year: 07

Time

Hour: 08 / Min: 25 / Sec: 10

Change Reset

x: 36.70 y: 42.90 z: -19.00 val: 101 01/08/2007 - 08:25





### Dose Settings

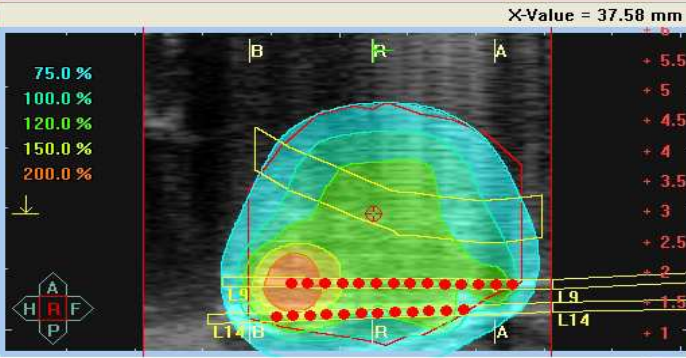
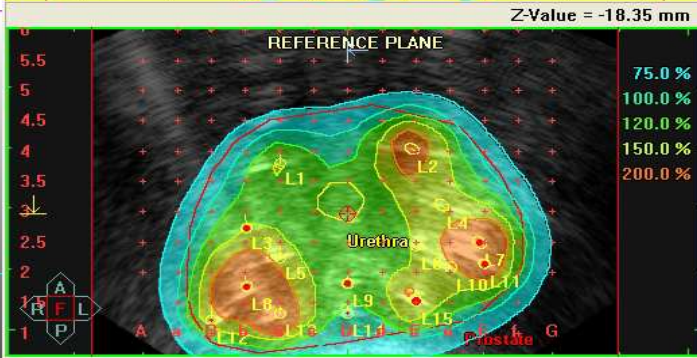
TG 43 Dosimetry Protocol  
 Line Source  Point Source

Dose Calculation  
 On Slices  On Volume

Dose Grid Resolution  
 High  Medium  Preview

Dose Colors  
Visualize 2D  Visualize 3D   
Colorwash  Mixing 0.5

2D	3D	Abs.[Gy]	Rel.[%]
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.50	25.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.00	50.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.50	75.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.00	100.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12.00	120.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15.00	150.00
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	17.50	175.00
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20.00	200.00
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	22.50	225.00
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	25.00	250.00



#	Column	Row	Indexer[mm]	Depth[mm]	Free Len.[mm]	Offset[mm]	Tip-1stSDP[mm]	Layout	5	10	15	20	25	30
L8	b	2	1408.00	3.87	96.04	-6.13	10.00							
L9	D	2	1408.00	3.87	96.07	-6.13	10.00							
L10	e	2	1408.00	3.20	96.78	-6.80	10.00							
L11	F	2	1408.00	3.87	96.06	-6.12	10.00							
L12	B	1.5	1408.00	4.71	95.13	-5.29	10.00							
L13	C	1.5	1408.00	5.04	94.92	-4.96	10.00							
L14	D	1.5	1408.00	6.05	93.91	-3.94	10.00							
L15	E	1.5	1408.00	4.04	95.96	-5.96	10.00							

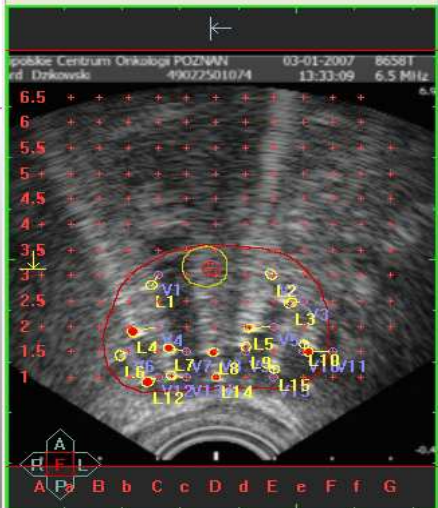
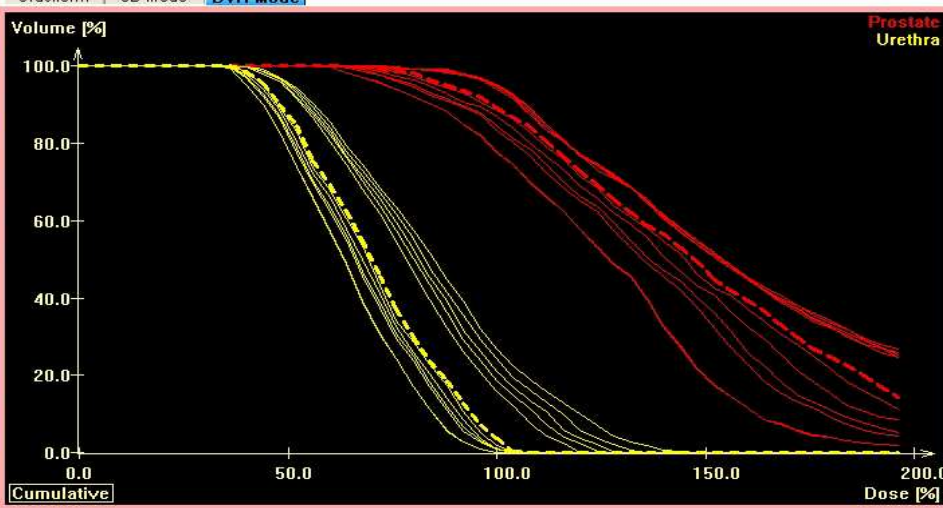
# Parametry oceny planu leczenia

Virtual Plan | Live Plan | Post Plan

DB | D=? | S | C | T | 2.6

Z-Value = -19.00 mm | Cruciform | 3D Mode | DVH Mode

głównie Centrum Onkologii POZNAŃ 03-01-2007 8658T  
 ul. Dzikowska 49072501074 13:33:09 6.5 MHz

Volume [%] vs Dose [%] (Cumulative)

No.	PTV-IF Surface	PTV-IF Volume	Urethra-IF	PTV-V200[%]	PTV-D90[%]	PTV-Dmax[%]	Urethra-D10[%]	Urethra-Dmax[%]
1	1.000	0.000	0.000	25.300	107.000	3138.797	120.000	145.752
3	0.750	0.000	0.250	24.700	106.703	3064.685	115.543	136.478
6	0.500	0.000	0.500	24.300	106.200	2846.479	112.435	130.306
10	0.250	0.000	0.750	23.400	105.787	2852.059	109.300	125.508
15	0.001	0.000	1.000	23.400	105.395	2205.153	106.000	119.796
2	0.750	0.250	0.000	12.600	98.815	561.838	94.000	106.936
5	0.500	0.250	0.250	9.900	97.143	501.743	92.519	105.805
4	0.500	0.500	0.000	7.000	94.462	423.673	90.857	104.550
9	0.250	0.250	0.500	7.000	94.462	423.676	90.857	104.550
8	0.250	0.500	0.250	4.600	91.750	371.861	89.434	104.123
7	0.250	0.750	0.000	3.100	90.444	355.971	88.800	103.972
11	0.001	1.000	0.000	1.500	84.870	308.266	84.842	100.169
12	0.001	0.750	0.250	1.500	84.870	308.335	84.857	100.184
13	0.001	0.500	0.500	1.500	84.870	308.474	84.857	100.212
14	0.001	0.250	0.750	1.400	84.870	308.880	84.945	100.296

Constraints | Show selected only | Remove | Cancel | Select

#	Column	Row	Indexer[mm]	Depth[mm]	Free Len.[mm]	Offset[mm]	Tip-1stSDP[mm]	Layout	5	10	15	20	25	30
L1	C	3	1408.00	-0.22	84.16	-10.22	10.00							
L7	E	3	1408.00	-11.22	95.19	-21.22	10.00							

Optimization

Multi Inverse Optimization

- Geometrical
- Inverse Plan
- Manual
- Graphical
- Inverse Optimization
- Inverse Optimization

Deterministic  Evolutionary

Dose Sampling Settings

Optimization Settings

Decision Settings

Optimize

History

Activate

Undo

x: 36.70 y: 42.90 z: -19.00 val: 101 01/08/2007 - 08:28

start | SWIFT 2.11.8: Pati... | EN | 08:28



## Parametry oceny planu leczenia

Najczęściej ocenie podlegają objętości otrzymujące 75%, 150% i 200% dawki referencyjnej oraz względne położenie objętości tarczowej (CTV) i położenie narządów krytycznych.

**Aby ocenić otrzymany rozkład dawki analizuje się również wielkości procentowe  $V_x$  ,  $D_x$  - mogą być one rozpatrywane dla objętości tarczowej i narządów krytycznych  
przykładowo:**

**$V_{100}[\%]$**  – parametr określający jaki procent danej objętości otrzyma 100% zaplanowanej dawki;

**$V_{150}[\%]$**  – parametr określający jaki procent danej objętości otrzyma 150% zaplanowanej dawki;

**$V_{200}[\%]$**  – parametr określający jaki procent danej objętości otrzyma 200% zaplanowanej dawki;

**$D_{100} [\%]$**  – parametr określający jaką część dawki otrzyma 100% danej objętości (najczęściej objętości tarczowej);

**$D_{90} [\%]$**  – parametr określający jaką część dawkę otrzyma 90% rozpatrywanej objętości

**$D_{max} [\%]$**  – parametr określający dawkę maksymalną;

**$D_{0,1ccm} [\%]$**  – parametr określający dawkę jaką otrzyma np. 0,1 cm<sup>3</sup> narządu krytycznego



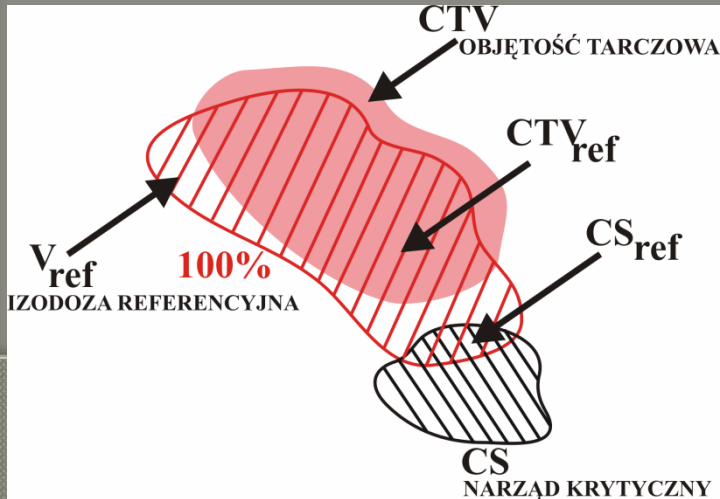
**CI** – *coverage index* (parametr pokrycia) iloraz objętości CTV która otrzymuje dawkę nie mniejszą niż dawka terapeutyczna do całej objętości CTV;

**CF** – *conformity factor* (parametr dopasowania) iloraz całej objętości otrzymującej dawkę nie mniejszą niż dawka terapeutyczna do objętości CTV otrzymującej dawkę nie mniejszą niż zaplanowana;

**DNR** – *dose nonuniformity ratio* – jest to stosunek objętości które otrzymują 150% i 100% zadanej dawki (dla objętości tarczowych)



**COIN** – *conformal index* (Baltas, 1998) – parametr opisujący zgodność izodozy referencyjnej z CTV



$$\text{COIN} = c_1 c_2 c_3$$

$c_1$  – miara pokrycia CTV dawką referencyjną  $D_{\text{ref}}$ :

$$c_1 = \frac{\text{CTV}_{\text{ref}}}{\text{CTV}}$$

W idealnej sytuacji  $c_1=1$ , natomiast w sytuacji rzeczywistej współczynnik  $c_1$  jest określony jako wartość DVH dla CTV dla wartości dawki referencyjnej:  $\text{CTV}_{\text{ref}}=c_1\text{CTV}$ .

$c_3$  – współczynnik określający obecność objętości krytycznych wewnątrz izodozy referencyjnej:

$$c_3 = \prod_{i=1}^N \left[ 1 - \frac{\text{CV}_{\text{ref},i}}{\text{CV}_i} \right]$$

Gdzie:  $N$  jest liczbą narządów krytycznych,  $\text{CV}$  objętością narządów krytycznych,  $\text{CV}_{\text{ref}}$  objętością narządu krytycznego objętą izodozą referencyjną.

$c_2$  – współczynnik określający jaka część CTV objętego izodozą referencyjną zawiera się w całkowitej objętości tkanek objętych izodozą referencyjną, jest to jednocześnie miara pokrycia dawką referencyjną tkanek znajdujących się na zewnątrz CTV:

$$c_2 = \frac{\text{CTV}_{\text{ref}}}{V_{\text{ref}}}$$



**Idealny rozkład dawki jest więc scharakteryzowany następująco:**

**COIN = 1 dla  $D=D_{ref}$** , co oznacza, że izodoza dawki referencyjnej obejmuje CTV.

**Dla  $D < D_{ref}$**  występuje gwałtowny spadek wartości COIN, który odpowiada szybkiemu spadkowi dawki na zewnątrz CTV (w otaczających, zdrowych tkankach),

**COIN  $\approx 0$  dla  $D > D_{ref}$** , co oznacza występowanie pomijalnie małych objętości narządów krytycznych, w których wartość dawki jest większa niż  $D_{ref}$ .

**Według powyższych warunków głównym celem optymalizacji opartej na wartości COIN jest maksymalizacja wartości tego wskaźnika dla  $D=D_{ref}$ .**

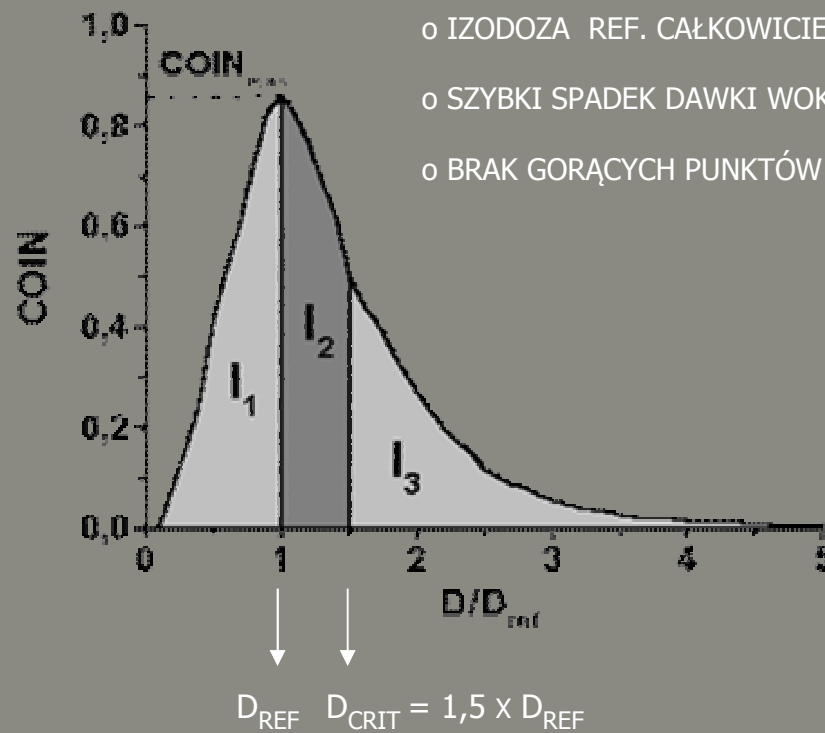


# PLANOWANIE LECZENIA

## PARAMETRY OCENY

### IDEALNY ROZKŁAD DAWKI

- o IZODOZA REF. CAŁKOWICIE POKRYWA PTV →  $\text{COIN} = 1$  DLA  $D = D_{\text{REF}}$
- o SZYBKI SPADEK DAWKI WOKÓŁ PTV →  $\text{COIN} \rightarrow 0$  DLA  $D < D_{\text{REF}}$
- o BRAK GORĄCYCH PUNKTÓW →  $\text{COIN} \rightarrow 0$  DLA  $D > D_{\text{REF}}$



## Proponowane parametry oceny i raportowania planu leczenia dla brachyterapii prostaty z wykorzystaniem implantów stałych:

<p>GEC ESTRO - <i>Groupe Européen de Curiothérapie (GEC) and the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO).</i></p>	<p>ABS - <i>American Brachytherapy Society.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Objętość prostaty</li> <li>•Liczba źródeł</li> <li>•Liczba wykorzystanych igieł</li> <li>•Całkowita zaimplantowana aktywność</li> <li>•Dawka</li> <li>•<math>D_{90}</math> dla CTV</li> <li>•<math>V_{100}</math> dla CTV</li> <li>•<math>V_{150}</math> dla CTV</li> <li>•Dawki w narządach krytycznych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•<math>D_{90}</math> dla CTV</li> <li>•<math>V_{100}</math> dla CTV</li> <li>•<math>V_{150}</math> dla CTV</li> <li>•<math>V_{200}</math> dla CTV</li> <li>•<math>V_{125}</math> dla cewki moczowej</li> <li>•<math>V_{150}</math> dla cewki moczowej</li> <li>•<math>D_{50}</math> dla cewki moczowej</li> <li>•<math>D_{30}</math> dla cewki moczowej</li> <li>•<math>D_5</math> dla cewki moczowej</li> <li>•<math>V_{100ccm}</math> odbytnicy(cc)</li> </ul>

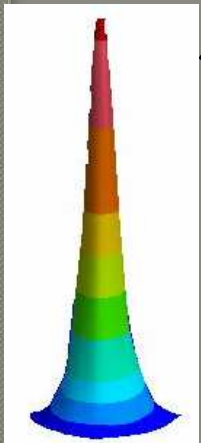


## Proponowane parametry oceny i raportowania planu leczenia dla brachyterapii prostaty z wykorzystaniem brachyterapii HDR:

<p>GEC ESTRO - <i>Groupe Européen de Curiethérapie (GEC) and the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO).</i></p>	<p>ABS - <i>American Brachytherapy Society.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"><li>•D90</li><li>•D100</li><li>•V100</li><li>•V150</li><li>•V200</li><li>•D2 odbytnica</li><li>•D2 pęcherz</li><li>•D0.1 cewka</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•<math>V_{100} &gt; 90\%</math></li><li>•<math>V_{75}</math> dla odbytnicy <math>&lt; 1\text{cc}</math></li><li>•<math>V_{75}</math> dla pęcherza <math>&lt; 1\text{cc}</math></li><li>•<math>V_{125}</math> dla cewki moczowej <math>&lt; 1\text{cc}</math></li><li>•DVH na co najmniej 5000 punktów</li></ul>

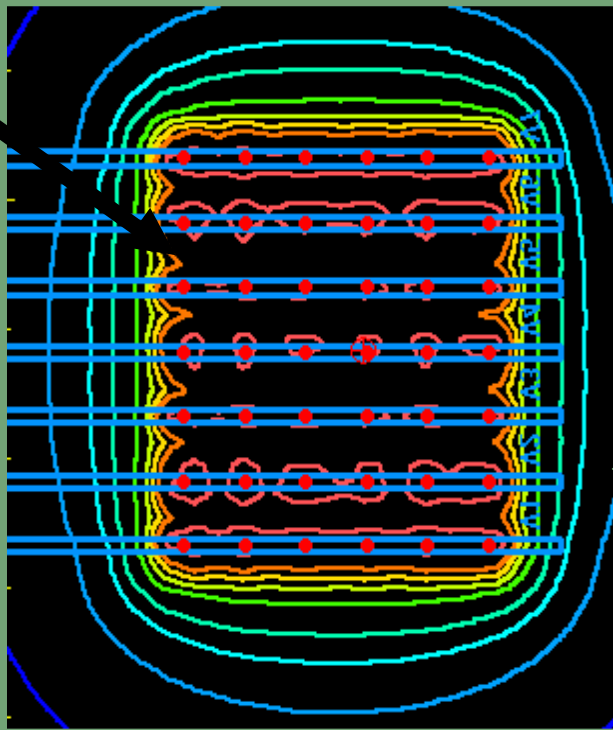
# Planowanie – proste i odwrotne w brachyterapii IMBRT z wykorzystaniem techniki Step & Shot

Kernel

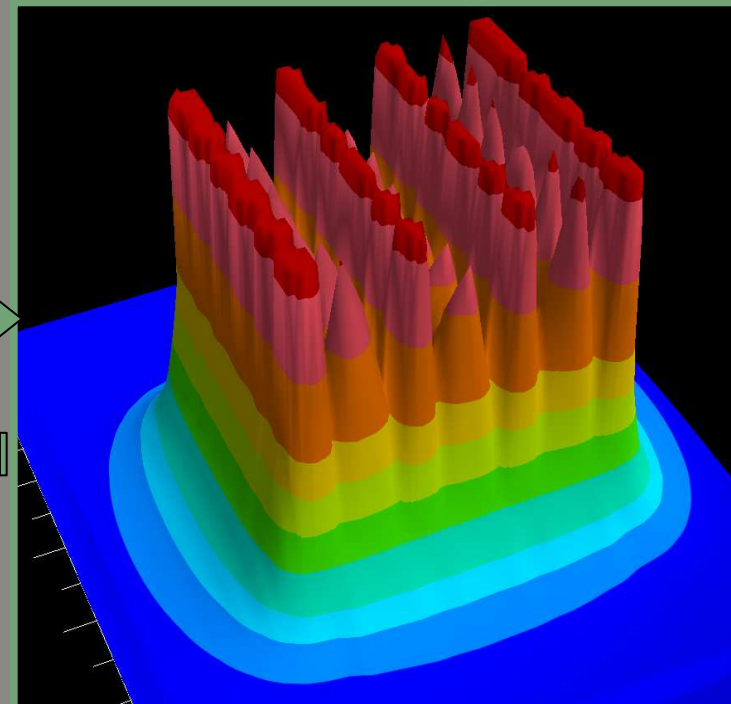


$^{192}\text{Ir}$   
 $^{60}\text{Co}$   
 $^{169}\text{Yb}$

Funkcja propagacji  
(Predictor):  $F(\{r\}, \{t\})$

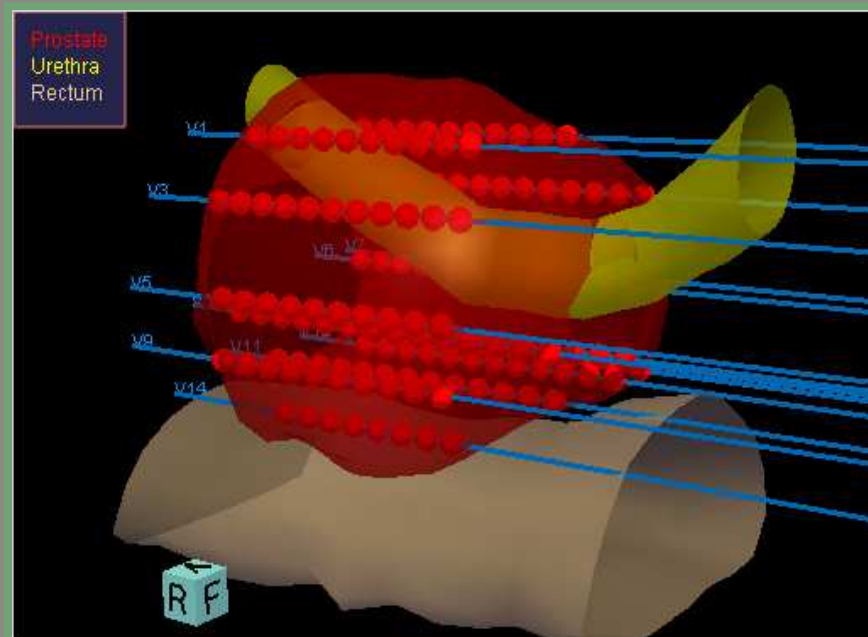
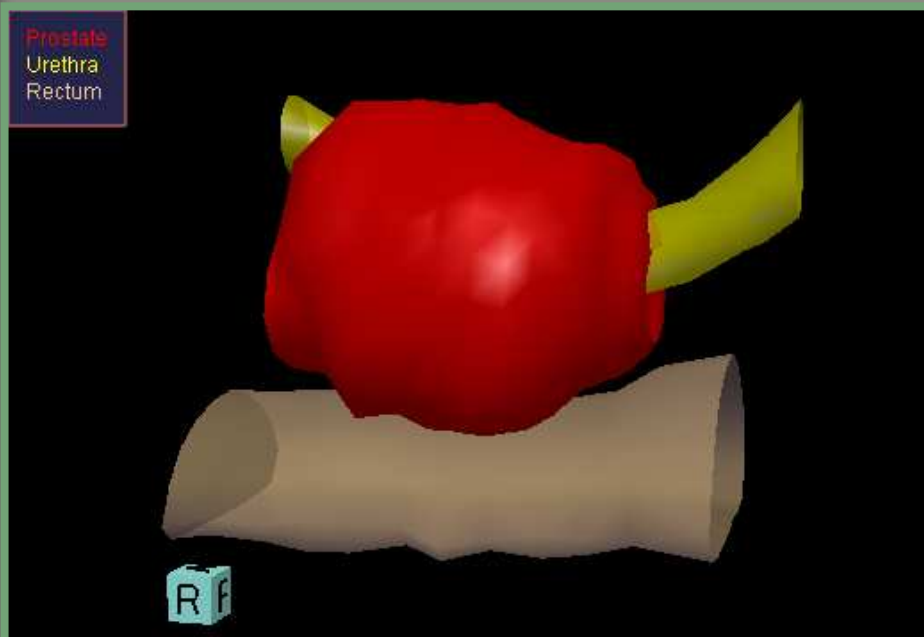


Przewidywanie wyniku  
-Vector Scanning

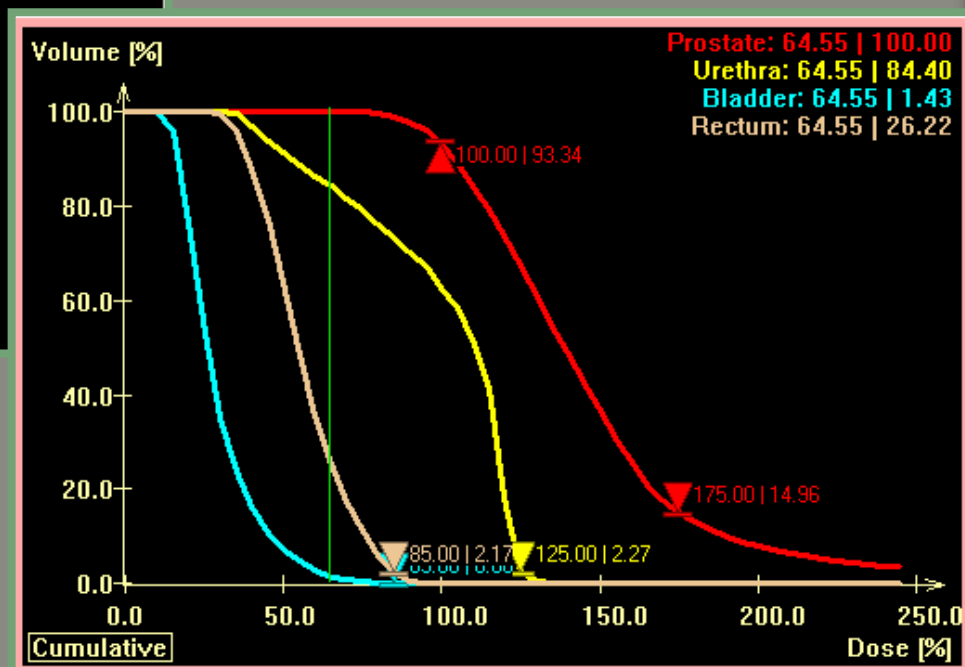




# SETUP w brachyterapii

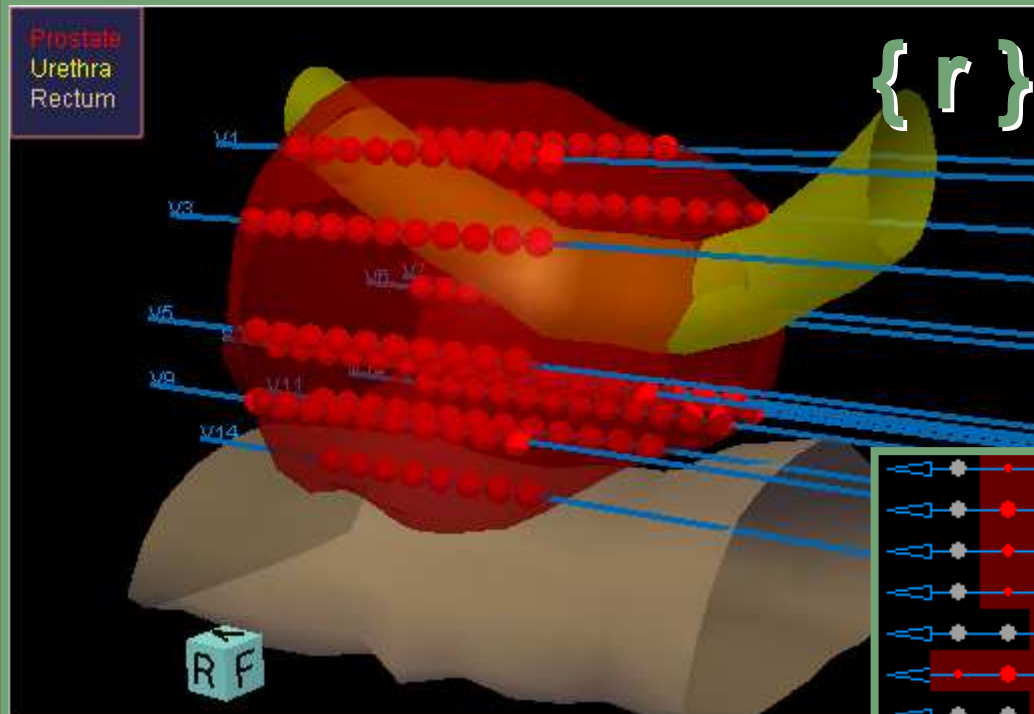


# PRODUKT w brachyterapii

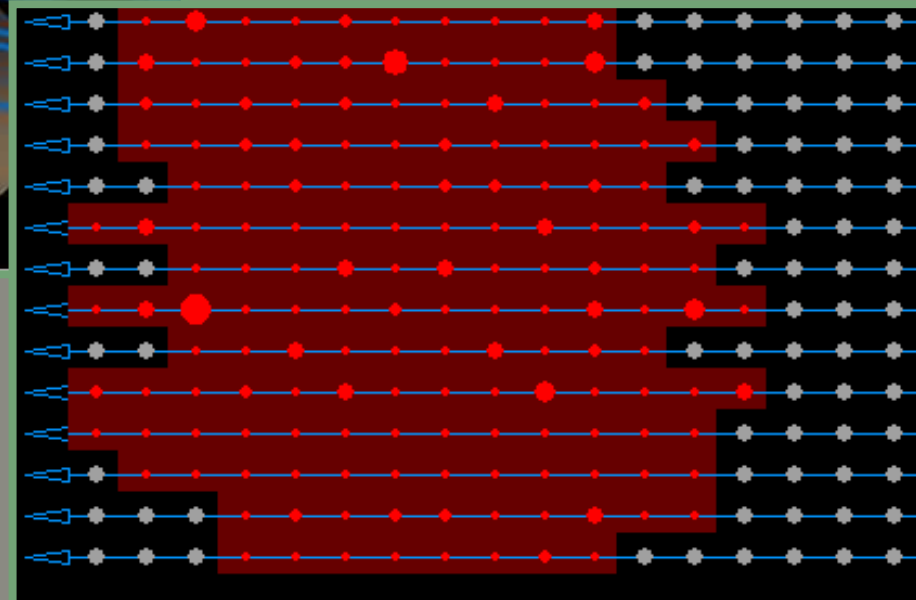




# PARAMETRY w brachyterapii

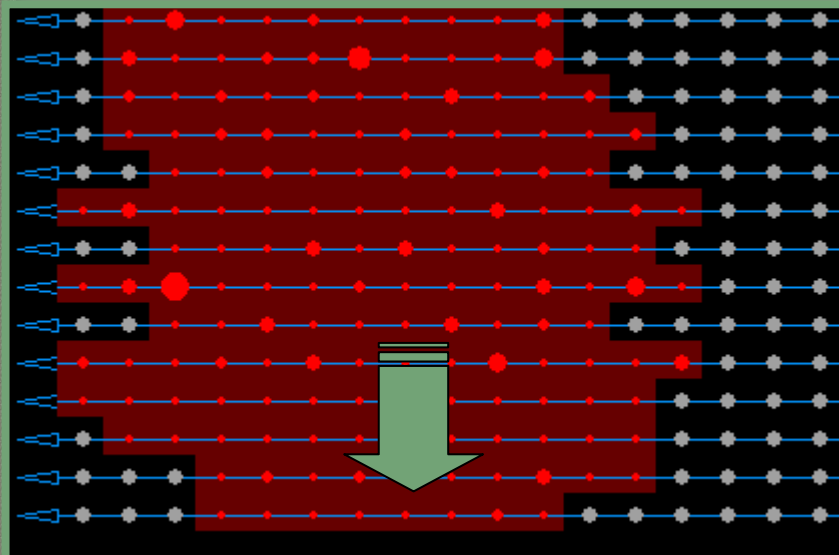


$\{t\}$



# FORWARD PROBLEM w brachyterapii

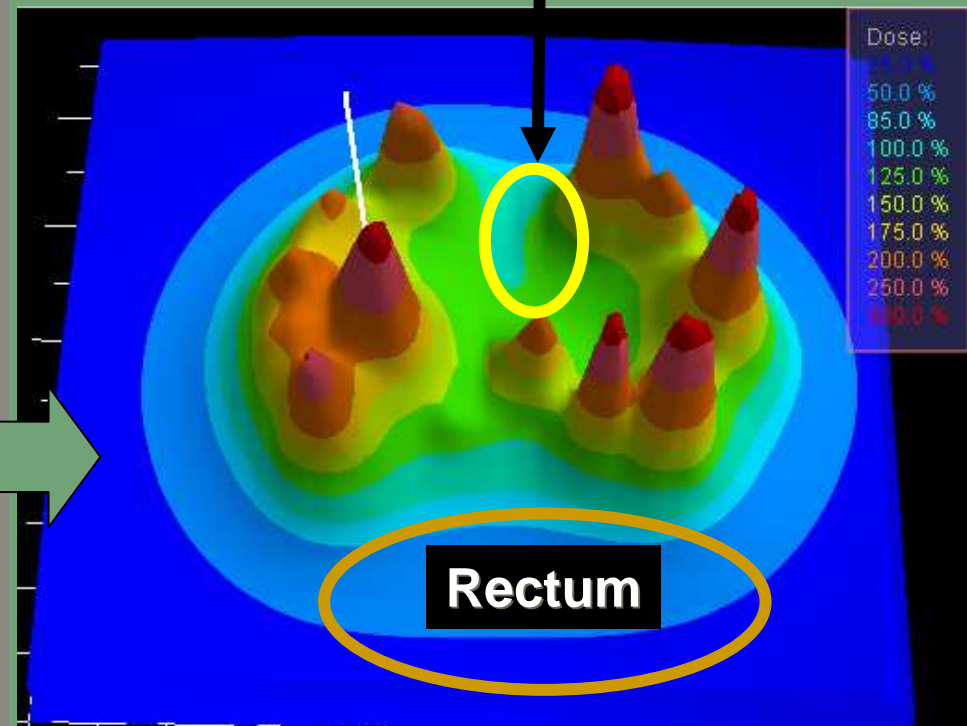
Ustawienie wartości parametrów  
funkcji propagacji



Funkcja Propagacji  
(Predykcja):  
 $F(\{r\}, \{t\})$

DOZYMETRIA

Urethra





# FORWARD PROBLEM w brachyterapii

- manualna
- geometryczna
- dose points



**FORWARD  
OPTIMIZATION**

Ustaw wartości  
czasów postoju {t}

Prognozuj wynik:  
Wartosci dawki  
{D} = { F({ r }, { t }) }

Wynik  
zadowalajacy  
?

NIE

TAK

KONIEC



# INVERSE PROBLEM w brachyterapii

---

Funkcja propagacji:

$$F(\{r\}, \{t\})$$

- Optymalizacja odwrotna:  
dla danego  $\{\vec{r}\}$  znajdź właściwe  $\{t\}$

- Planowanie odwrotne:  
znajdź właściwe  $\{\vec{r}\}$  and  $\{t\}$

Rozkład dawki  
spełnia kryteria  
dozymetryczne



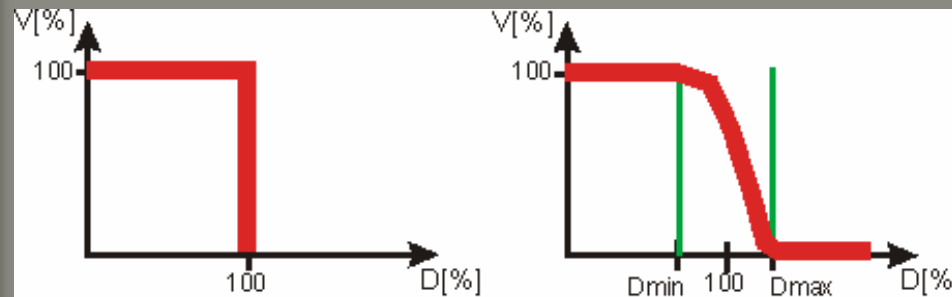
# CEL działań

Optymalizacja (minimalizacja) jednocześnie czterech funkcji:

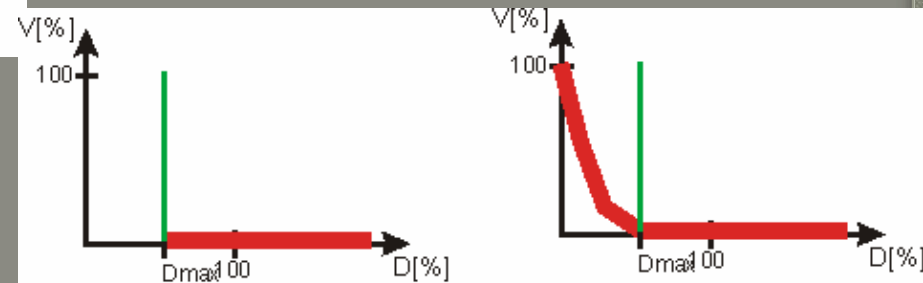
**PTV:**  $f_L, PTV(x)$  oraz  $f_H, PTV(x)$  z dwoma limitami dawki;

**OAR - urethra:**  $f_H, urethra(x)$  z limitem od strony wysokich dawek  $D_H$ ;

**OAR - rectum:**  $f_H, rectum(x)$  z limitem od strony wysokich dawek  $D_H$ ;



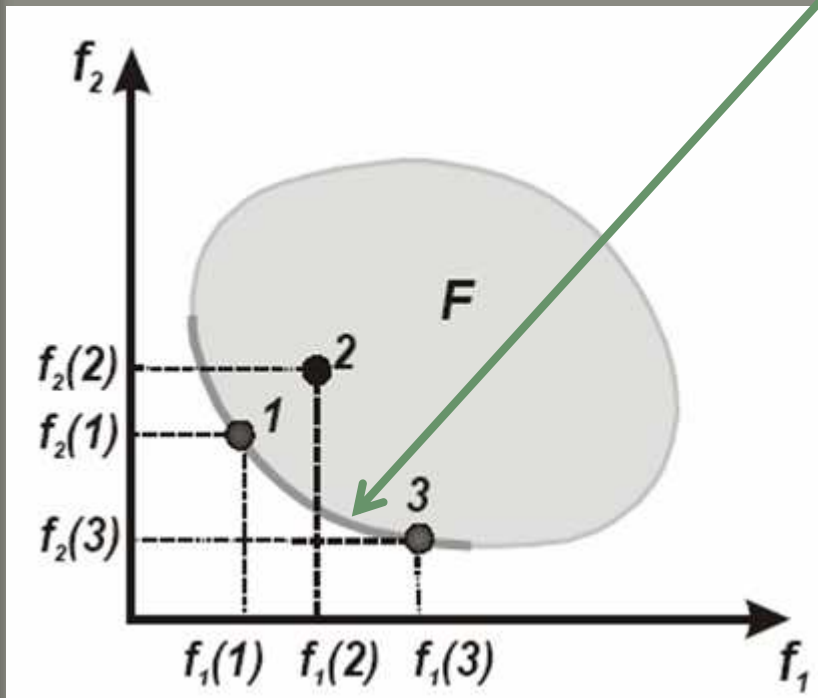
GTV/CTV/PTV



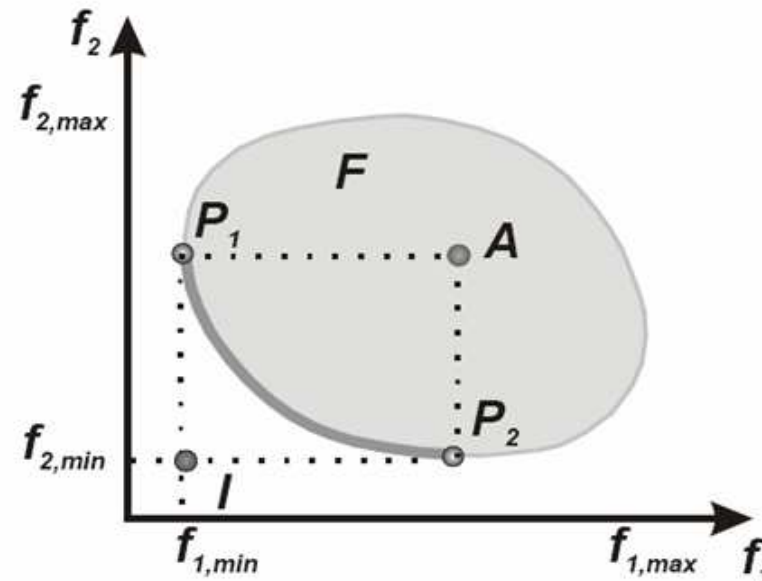
OAR

OAR

# TRAFNA decyzja – FRONT PARETO



$F$  – dostępna przestrzeń rozwiązań problemu wielokryterialnego  
 $f_1$ - pierwsza funkcja celu  
 $f_2$ - druga funkcja celu  
1, 3 – niezdominowane rozwiązania pareto- optymalne





Virtual Plan Live Plan Post Plan

DB SET

122 1.0

Slice Mode OBC Mode Y-Value = 40.76 mm



**Optimization**

**MDVHOE**

- Geometrical
- Manual
- Graphical
- Inverse Optimization
- Blind Inverse Optimization

Mode

MVBO  MDVHO

MDVHOE

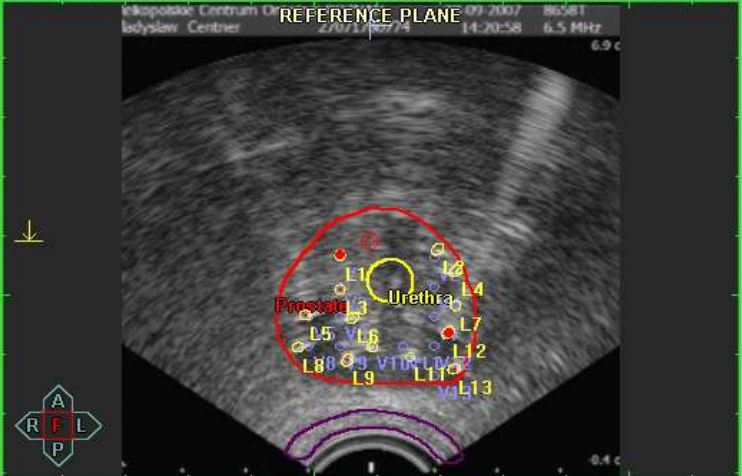
Settings

Dose sampling settings

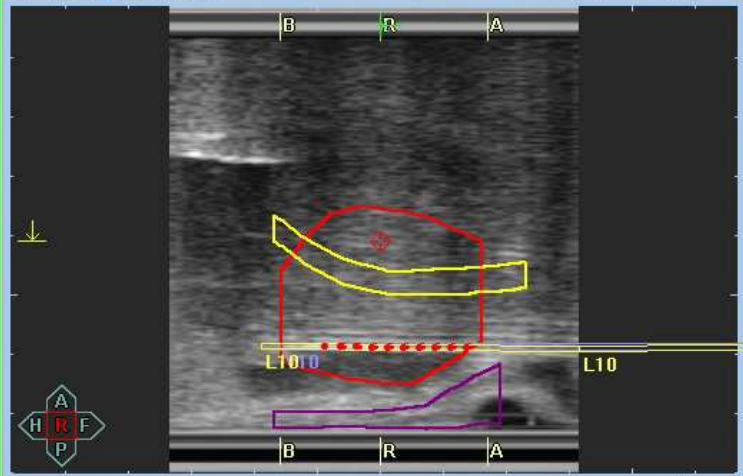
Optimization settings

Decision Settings

Slice Mode OBC Mode Z-Value = -16.00 mm



Slice Mode OBC Mode X-Value = 39.52 mm



Optimize

History

Activate

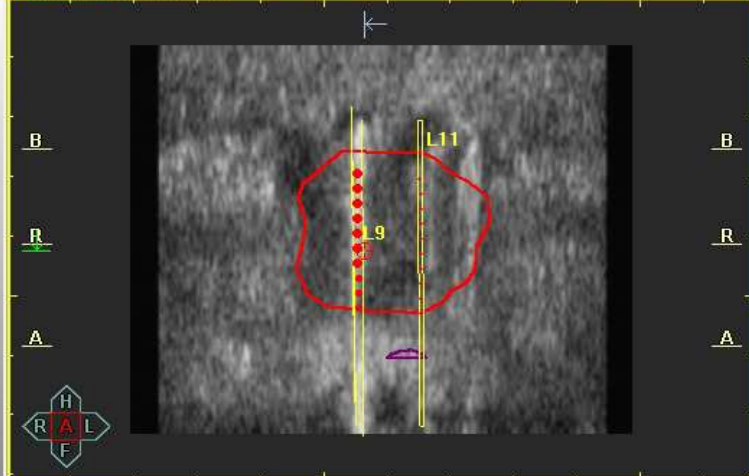
Undo

#	Column	Row	Indexer[mm]	Depth[mm]	Free Len.[mm]	Lock	Offset[mm]	Tip-1stSDP[mm]
L1	c	3	1408.00	9.00	80.00	<input type="checkbox"/>	-1.00	10.00
L2	E	3	1408.00	4.98	84.00	<input type="checkbox"/>	-5.02	10.00

Running DVH-based Multiobjective Optimization (Press ESC to stop) DCM ( 39.52| 40.76|-16.00) Int ( 39.52| 40.76|-16.00) val: 119 11/27/2007 - 12:24



Slice Mode OBC Mode Y-Value = 61.06 mm



**Optimization**

MDVHOE

- Geometrical
- Manual | Graphical
- Inverse Optimization
- Blind Inverse Optimization

Mode

MVBO  MDVHD  MDVHOE

Settings

Dose sampling settings

Optimization settings

Decision Settings

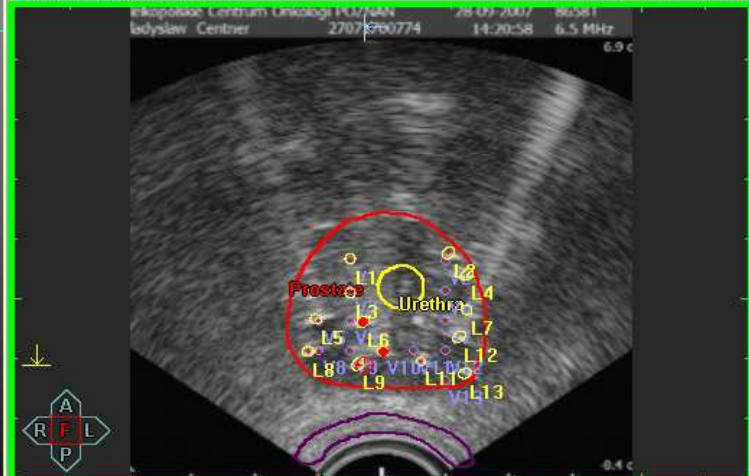
Optimize

History

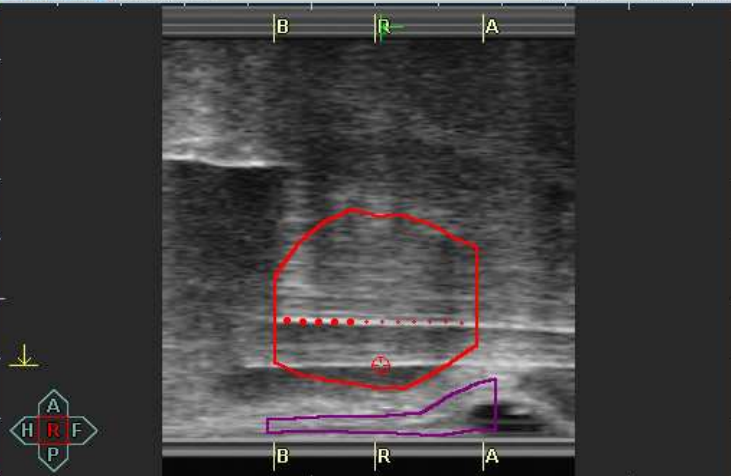
Activate

Undo

Slice Mode OBC Mode Z-Value = -17.00 mm



Slice Mode OBC Mode X-Value = 37.06 mm

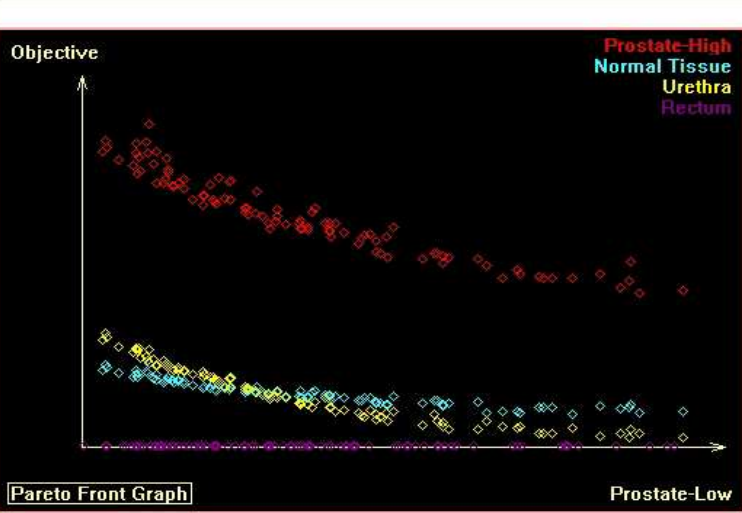


#	Column	Row	Indexer[mm]	Depth[mm]	Free Len.[mm]	Lock	Offset[mm]	Tip-1stSDP[mm]
L1	c	3	1408.00	9.00	80.00	<input type="checkbox"/>	-1.00	10.00
L2	E	3	1408.00	4.98	84.00	<input type="checkbox"/>	-5.02	10.00

Running DVH-based Multiobjective Optimization (Press ESC to stop) Catheter: L9 [c-1.5] - SDP: A6 DCM ( 37.06 | 61.06 | -17.00 ) Int ( 37.06 | 61.06 | -17.00 ) val: 145 11/27/2007 - 12:27



Virtual Plan Live Plan Post Plan



**Optimization**

**MDVHOE**

- Geometrical
- Manual Graphical
- Inverse Optimization
- Blind Inverse Optimization

Mode

MVBO  MDVHO  MDVHOE

Settings

Dose sampling settings

Optimization settings

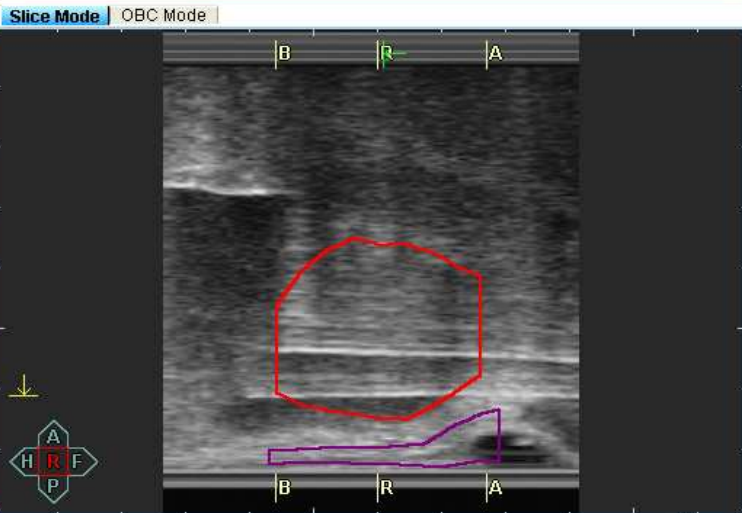
Decision Settings

Optimize

History

Activate

Undo



#	Column	Row	Indexer[mm]	Depth[mm]	Free Len.[mm]	Lock	Offset[mm]	Tip-1stSDP[mm]	5	10	15
L1	c	3	1408.00	9.00	80.00	<input type="checkbox"/>	-1.00	10.00	●	●	●
L2	E	3	1408.00	4.98	84.00	<input type="checkbox"/>	-5.02	10.00	●	●	●

Running DVH-based Multiobjective Optimization (Press ESC to stop) 30 %

Catheter: L9 [c-1.5] - SDP: A6

DCM ( 37.06 | 61.06|-17.00)

Int ( 37.06 | 61.06|-17.00) val: 145

11/27/2007 - 12:29

# TRAFNA decyzja

---

Świadomy użytkownik powinien identyfikować **dwa** konieczne do wykonania kroki:

Optymalizacja planu leczenia – wykonanie stosownych obliczeń i prezentacja alternatywnych rozwiązań, jako zbiór rozwiązań pareto-optimalnych

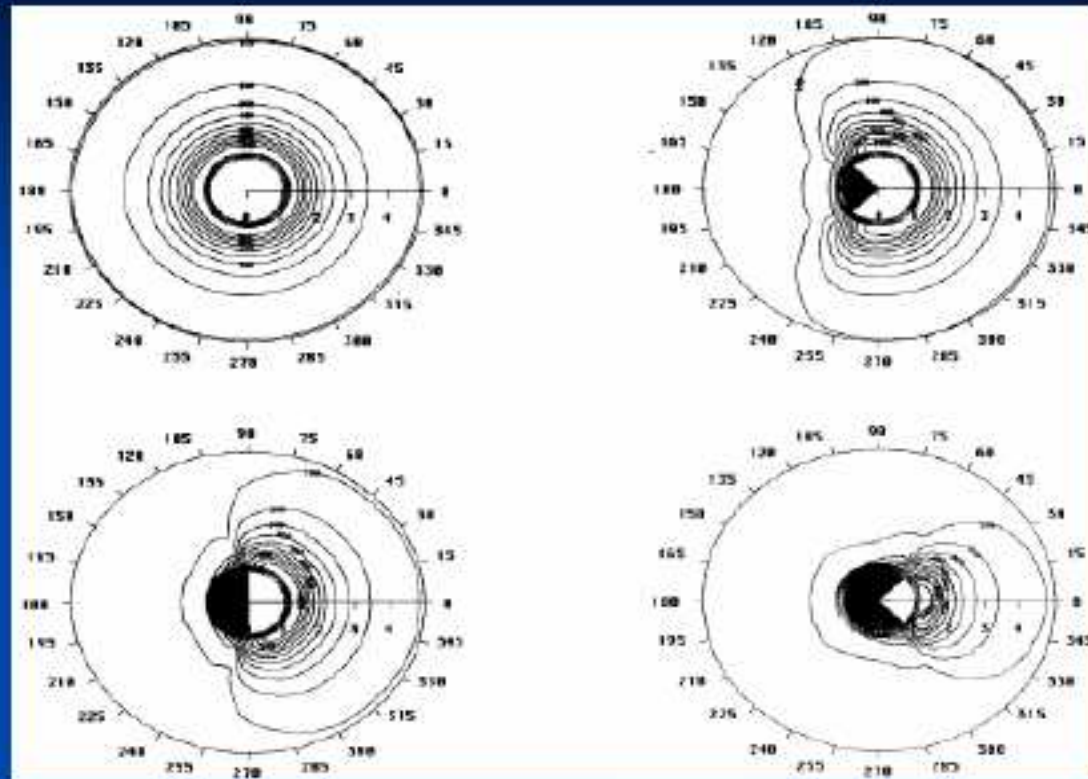
Decyzja o wyborze konkretnego planu leczenia - najkorzystniejszego z punktu widzenia klinicznego i spełniającego kryteria dozymetryczne nałożone przez fizyka planującego. Jest to wymagająca doświadczenia procedura opierająca się na „propozycjach algorytmu”, wykorzystująca w czasie rzeczywistym dostępne narzędzia do selekcji i oceny proponowanych rozwiązań



# Intensity-modulated Brachytherapy

- The term, IMBT, has been used by several authors but has not had a consistent definition.
- What it isn't:
  - Simply optimizing source strength or dwell times through an application. That is not special.
  - Nor simply using fixed shielding in an applicator, such as Fletcher-Suit applicator or a partially shielded cylinder.

## Related works



Tungsten shields in 2.5 cm diameter vaginal cylinder for  $^{192}\text{Ir}$  HDR. From Waterman et al



# Intensity-modulated Brachytherapy

- The term, IMBT, has been used by several authors but has not had a consistent definition.
- What it isn't:
  - Simply optimizing source strength or dwell times through an application. That is not special.
  - Nor simply using fixed shielding in an applicator, such as Fletcher-Suit applicator or a partially shielded cylinder.
  - Nor adding additional needles to conventional applicators.

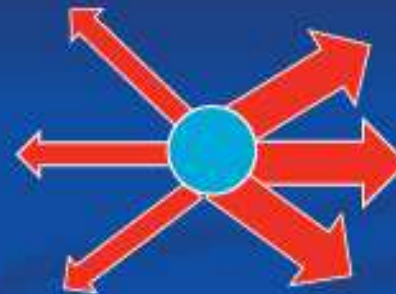
## Intensity-modulated Brachytherapy

- IMBT must have some *customizable* modification of the conventional distributions.
- It may have to do with some dynamic modifications.



## One Example of IMBT - Directionality

- Without defining exactly what constitutes IMBT, this presentation will look at one manifestation: *Directionally differential applications*.
- These approaches modulate the radiation emitted from sources in the azimuthal direction.
- There probably should be some time-related property, or at least not spatially static.



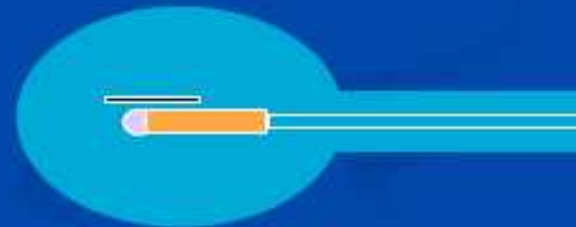
## Shielded Electronic Brachytherapy

- Several approaches to this have been proposed or tried.
- Some use electronic brachytherapy, because
  - these sources use tiny x-ray units passed through an intracavitary catheter,
  - and run at 50 kVp, the energy is low enough to partially shield.
- Pictures for the next two slides on electronic brachytherapy from Tom Rusch of Xofig.

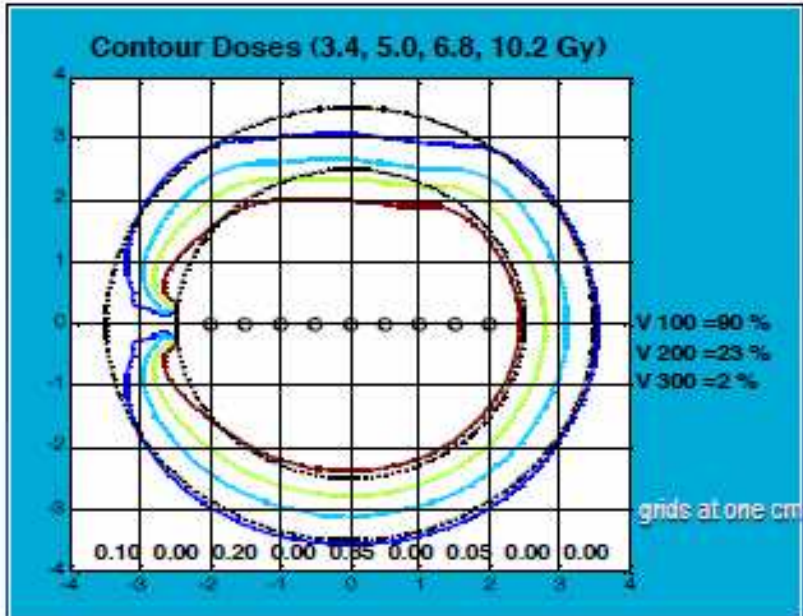


# Directional Application

- Directionality
  - Side shooting source
  - Current source with shielding/attenuation; on axis

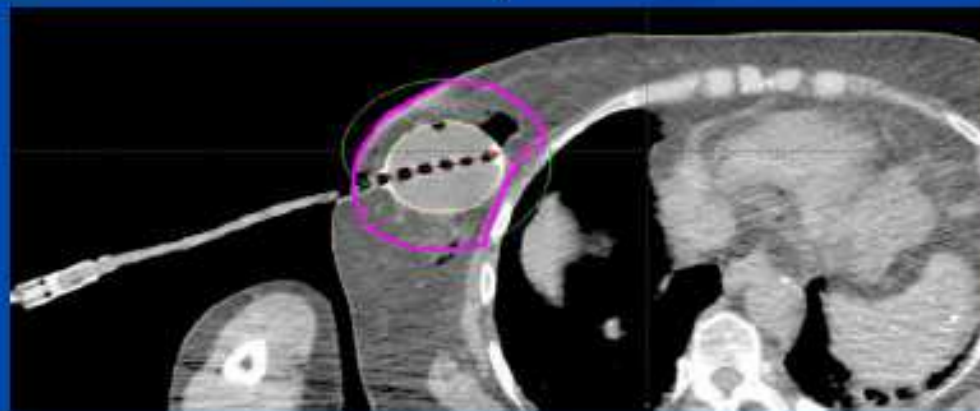


50 kV is easily shielded  
using silver foil



## Comparison of Dose Lines

- 50% transmission shield
- 5 Gy dose line moves by 4.3 mm





# Rotating Shield Brachytherapy (RSBT)

$^{192}\text{Ir}$  dose distributions, scatter ignored,  
with  $45^\circ$  emission at various shield  
transmission levels

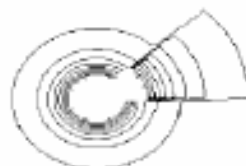
(a) No transmission



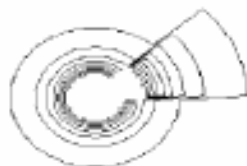
(b) 10% transmission



(c) 30% transmission



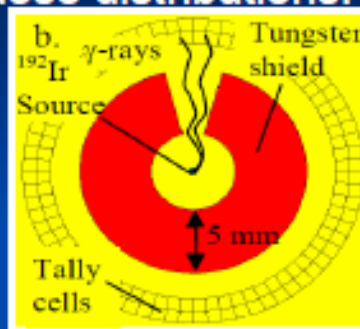
(d) 50% transmission



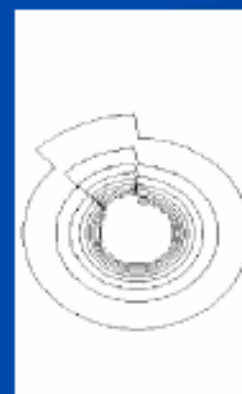
(e) 90% transmission



How to create these  
dose distributions:



$45^\circ \times 1$



$11.25^\circ \times 4$

Ebert, Phys Med Biol 47, 2495 (2002)

# RSeBT: Shield Angle is Important

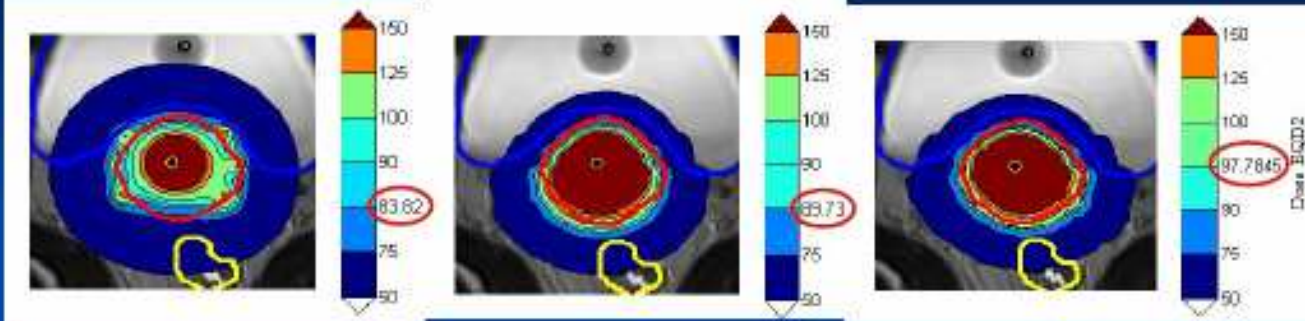
$D_{90}$

$^{192}\text{Ir}$  w/Interstitial

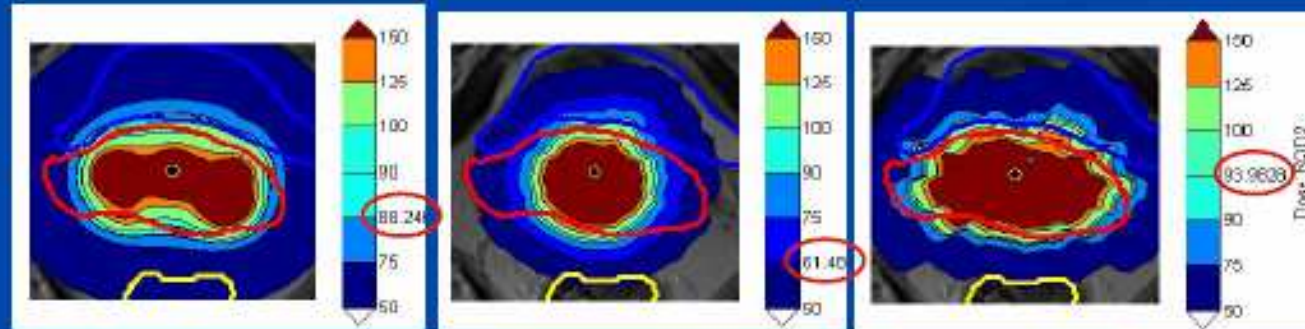
RSBT 180° Emission

RSBT 45° Emission

Patient 1



Patient 2



How do we select the proper emission angle?

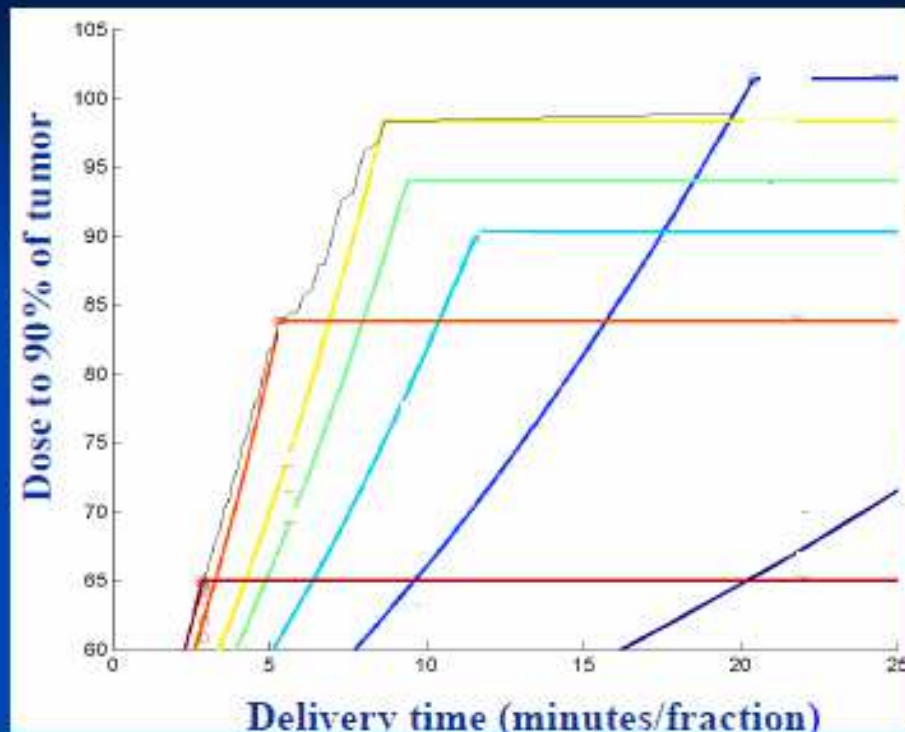
Yang W, Kim Y, ..., Flynn RT, Submitted to Phys Med Biol, Jan 2013



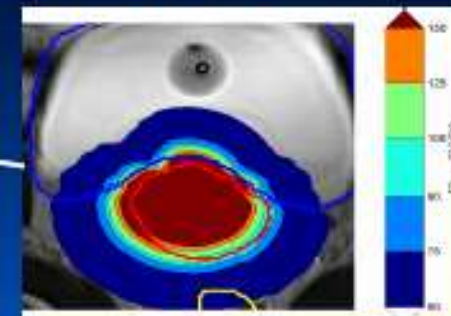
## RSBT Comes with a Price

- Increased high-dose volume and maximum dose.
- Increased treatment time.

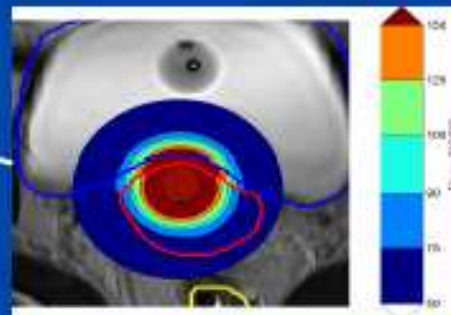
# How do we know which shield to use?



90°  
202.5°  
~~180°~~  
~~135°~~  
270°



~~45°~~  
360°



- Liu Y, Flynn RT, ..., Wu X, Submitted to Med Phys Oct. 2012, Under Revision
- Non-provisional patent application submitted March 15, 2013



# What if we use multiple shields?

## Multi-Shield Brachytherapy (MSBT)

- Long delivery times for complex tumor shapes
  - There are efficient and inefficient solutions to the IMBT problem.
  - Efficient solutions require shields of multiple sizes

Dose required  
in each direction



=



+



+



Efficient solution: 3 time units

=



+



+



+

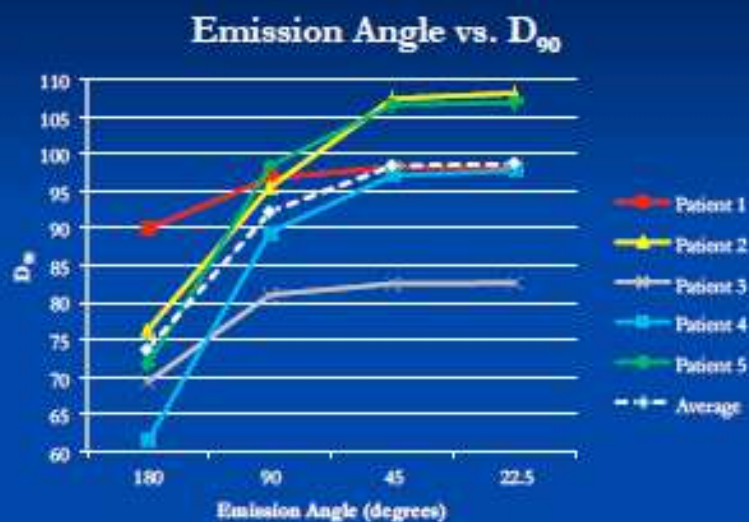


+...+



Inefficient solution: 12 time units

# Benefits of Multi-shield RSBT



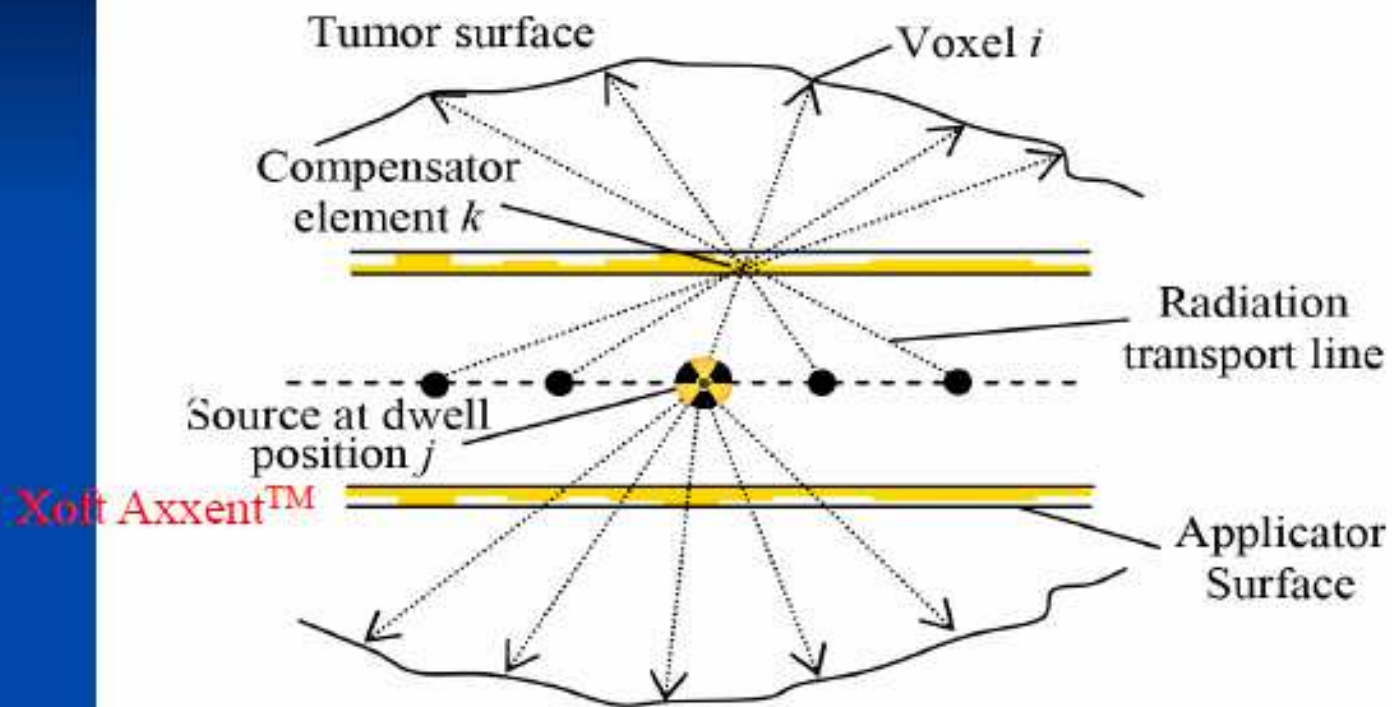
$D_{90}$  nearly maximized with 45° minimum emission angle

Multi-shield approach reduces treatment time by >50% on average when minimum emission angle is 45°

- Edwards DE, Liu Y, ..., Flynn RT, Manuscript in preparation
- Provisional patent application submitted



## Compensator-based Brachytherapy (CBT)



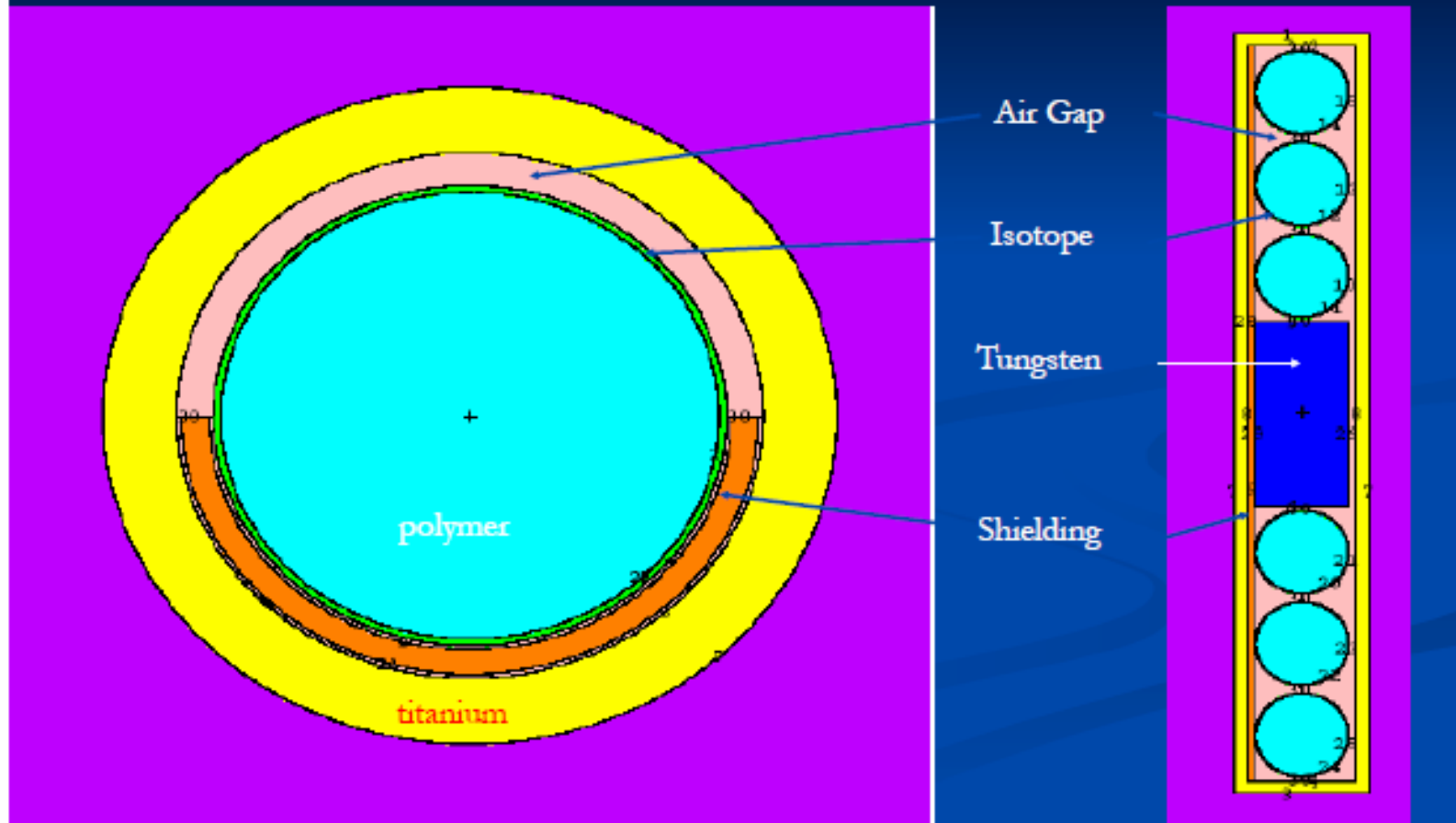
No moving parts during treatment!

## Let's Get to the Source Itself

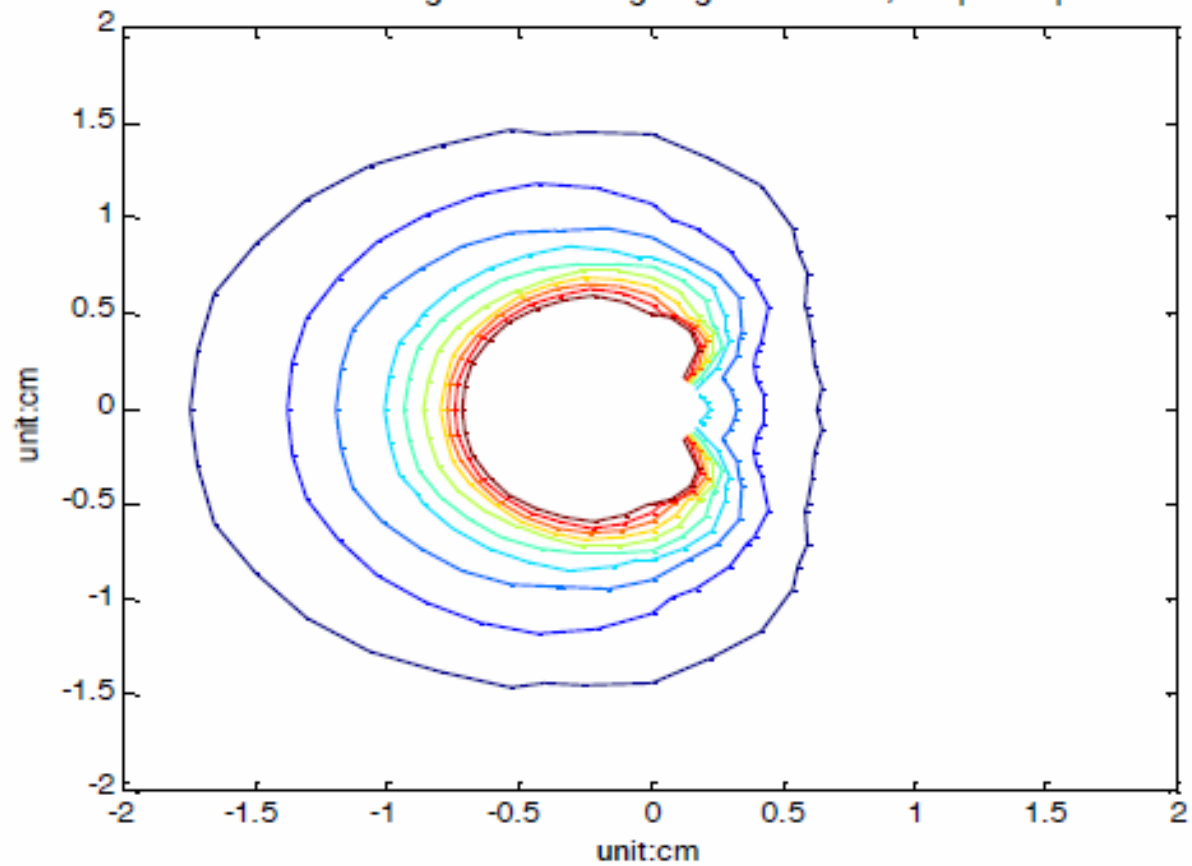
- Directional brachytherapy sources.
- Many of the following slides are from Liyong Lin.



# Circular Source and Shield Configuration

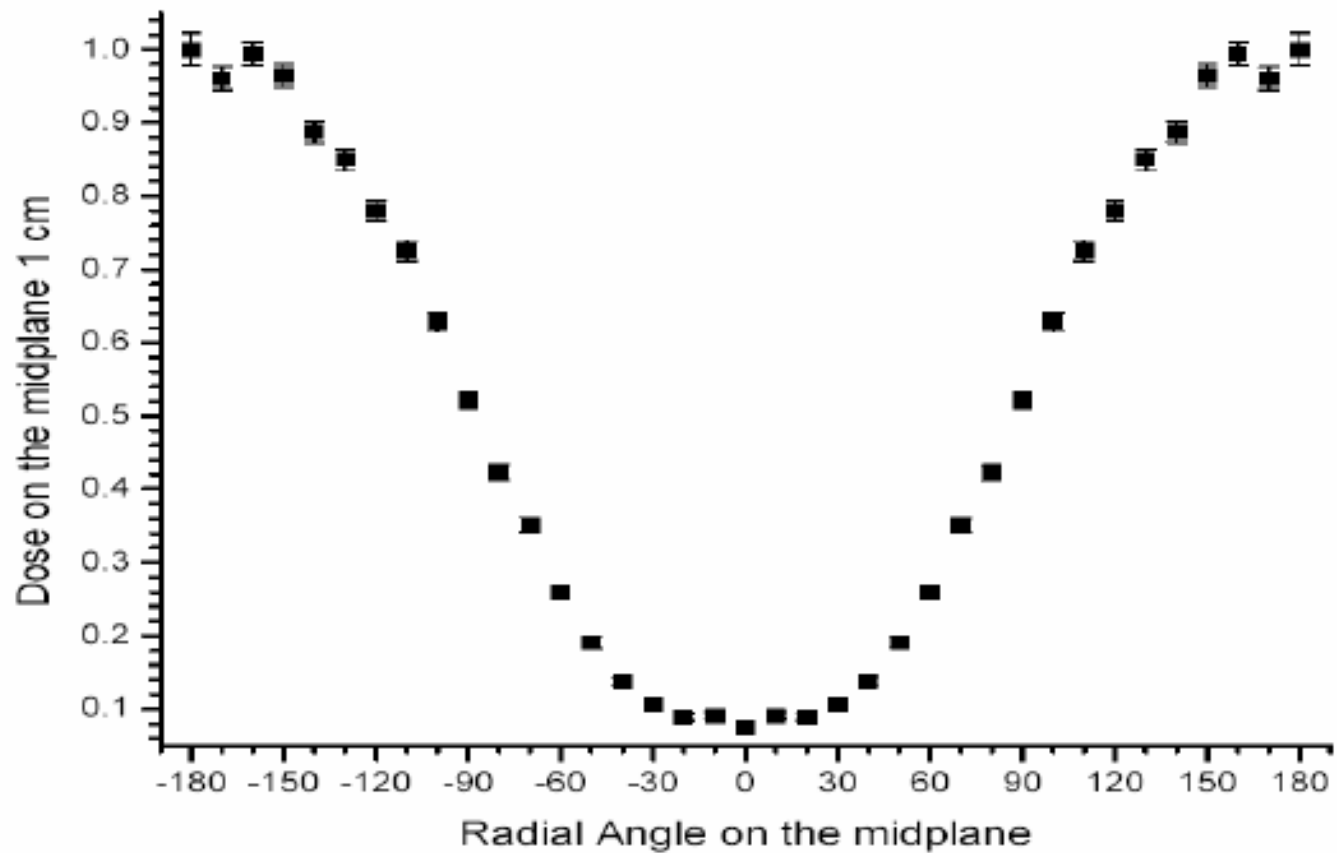


Circular coating Dose Treating Regions 0.2 to 2, 0.2 per step



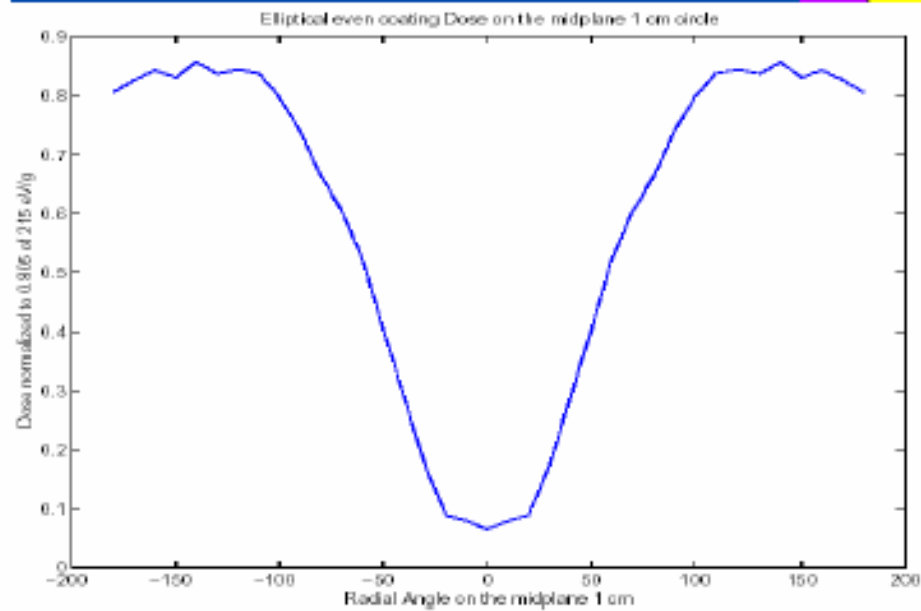
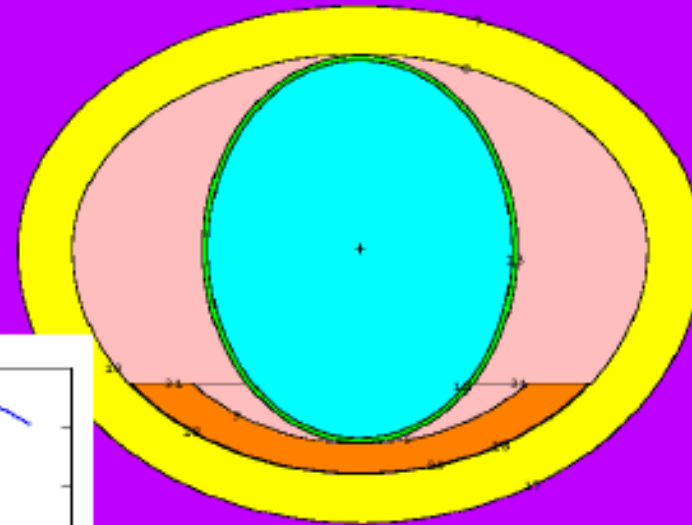
## Circular Source and Shield Dose at 1 cm

Half Circular 0.03 mm lead shield



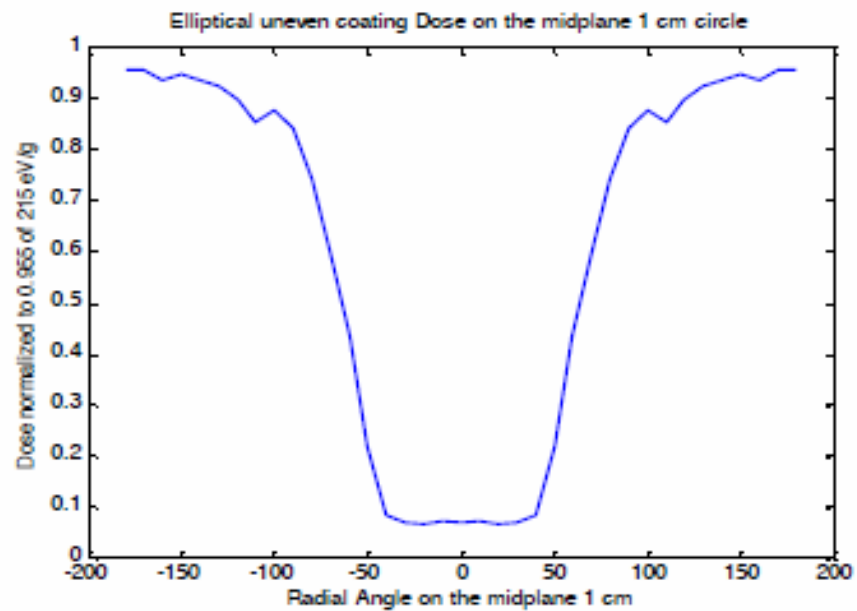
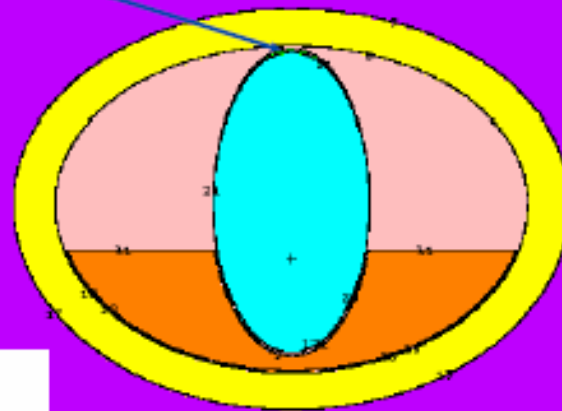


# Uniform Elliptical Source and Shield Configuration

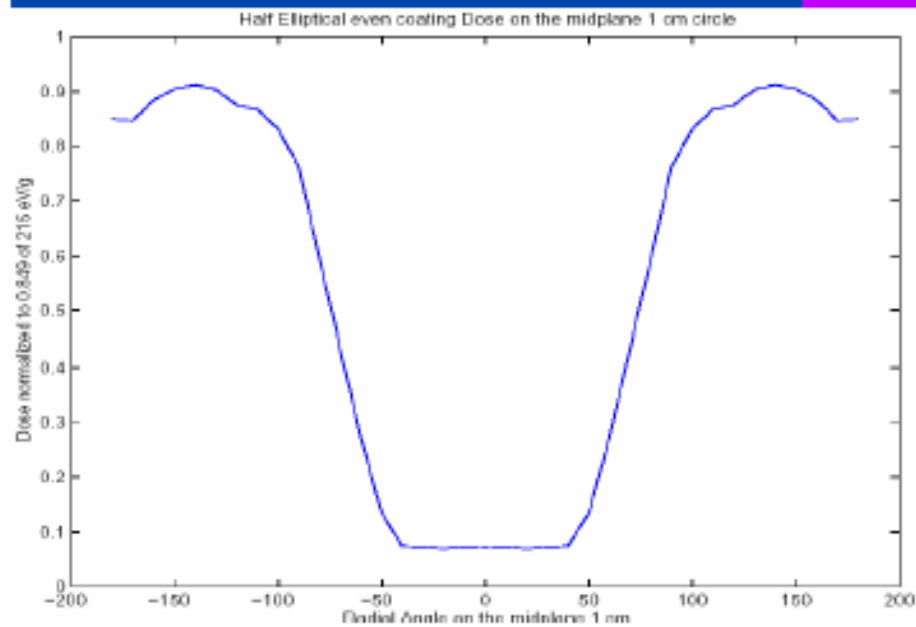
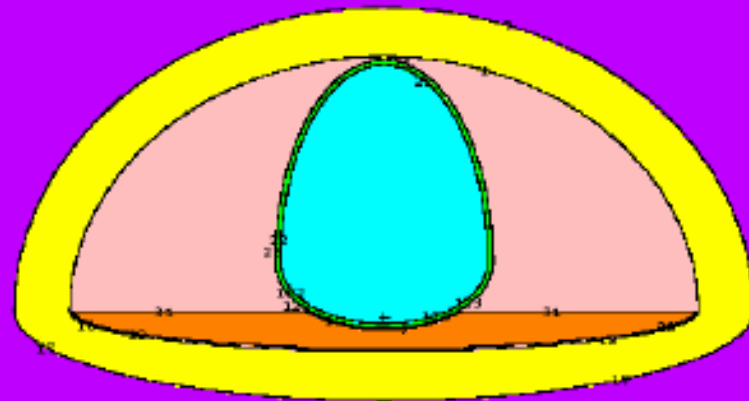


# Non-Uniform Elliptical Source and Shield Configuration

Isotope coating

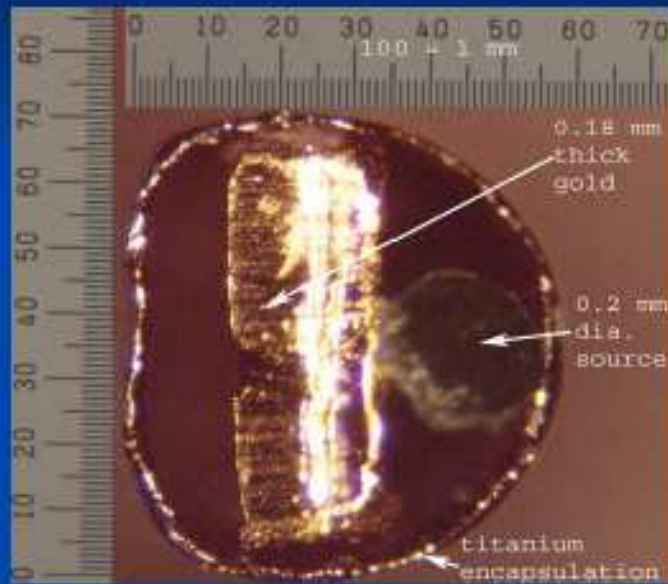


# Two Compensatory Elliptical Half Source and Shield Configuration



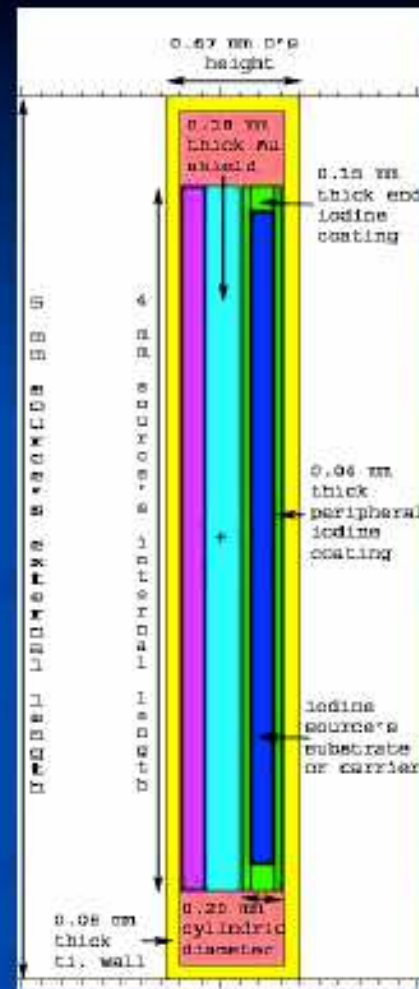


# The First Directional Interstitial Source



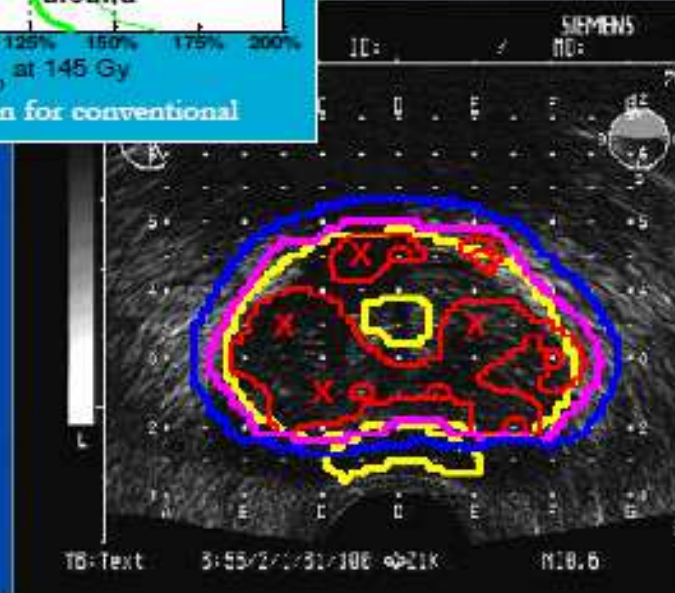
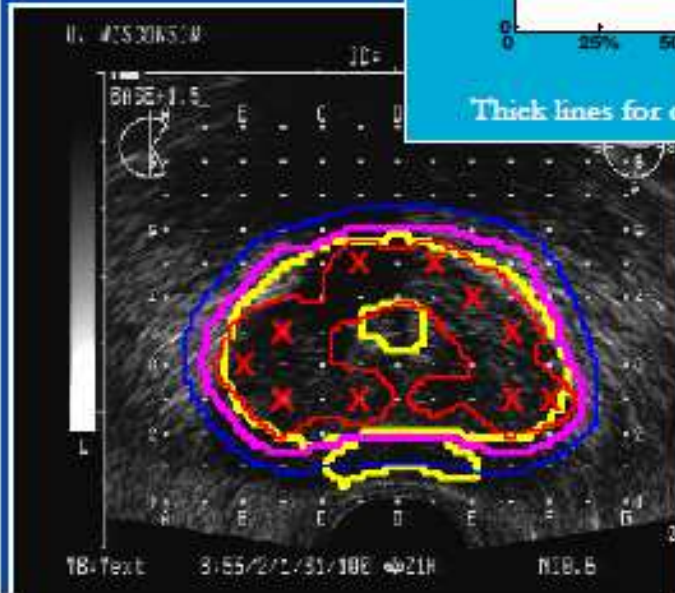
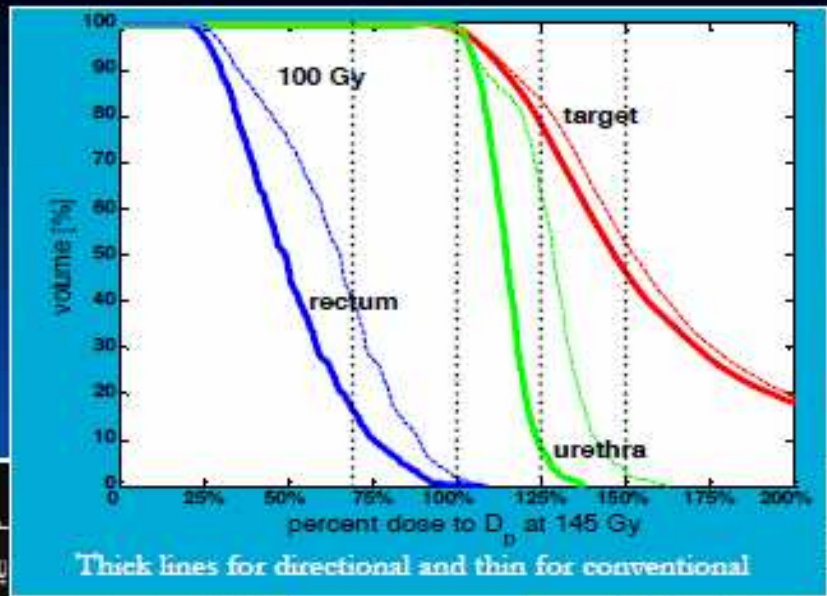
Trans axial cross section

Lin et al. 2005



## Describe the design

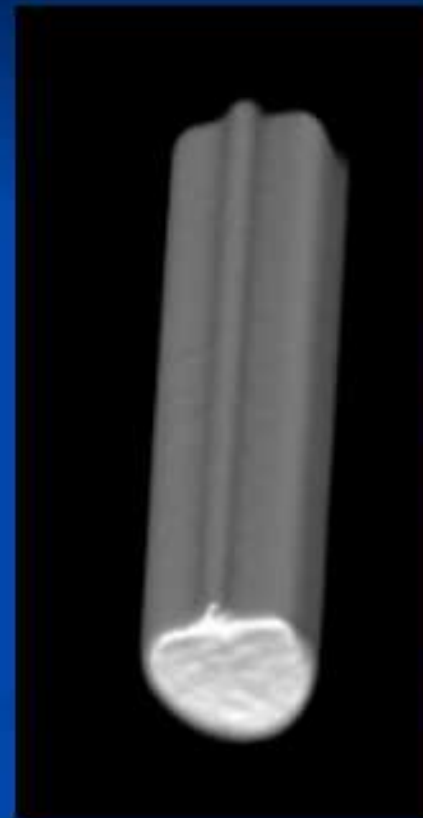
- Low-Z substrate to carry  $^{125}\text{I}$ , less self absorption
- 0.2 mm carrier diameter vs. 0.6 mm wide shield, 1/3 ratio
- Shield material should be high Z, high density
- Gold shield  $> 0.16$  mm thickness





## Stabilization

To hold the orientation, a keel is added on the shielded side.



## A Directional HDR Source?

- This poses some serious different challenges.
  - Low enough energy for internal shielding.
  - High enough specific activity and sufficient emissions to keep total diameter  $\leq 1$  mm.
  - Inexpensive to produce (abundance, production, separation).
  - Long enough half-life (whatever that means).
- Some of the slides that follow are from Athena Heredia.

**Dziękuję za uwagę ...**