

Brachyterapia – blaski i cienie na przestrzeni wieków

Janusz Skowronek

Zakład Brachyterapii,
Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań

Brachyterapia

Brachyterapia, curietherapia (*brachy*, z greckiego - z bliska) jest jedną z metod radioterapii nowotworów. Wykorzystuje się w niej energię fotonów lub cząstek pochodzącą z rozpadu izotopów promieniotwórczych umieszczanych w guzie lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie.



Historia – nadzieja i rozwój

Rozwój brachyterapii - koniec XIX wieku,
początek - nieomal równocześnie z odkryciem przez
Wilhelma Roentgena promieniowania X w 1895 roku.

1896 – odkrycie naturalnego promieniowania uranu (Becquerel),

1898 – odkrycie radu (Piotr i Maria Curie), Nobel 1903,

1901 – 1905 - pierwsze doniesienia o zastosowaniu radu –

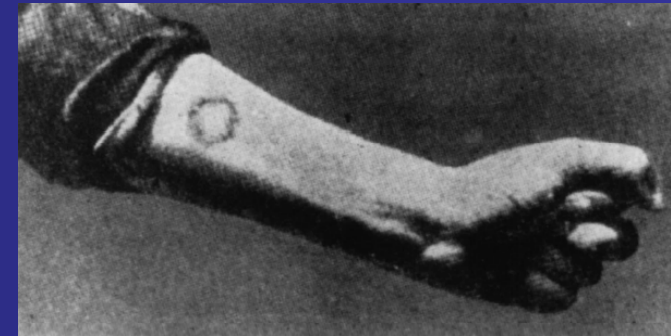
Danlos i Bloc (Paryż) – toczeń, Abbe (Nowy York) i Strebel
(Monachium) – rak skóry, keloid, Goldberg i London (St.
Petersburg) – rak skóry twarzy,

1905 – śródtkankowa curieterapia, założenie Instytutu Radowego w
Manchester,

1906 - Danne, Dominici, Degrais i Wickham - założenie „The Radium
Biological Laboratory” w Paryżu,

1908 - ziarna radonu, stosowane zamiast radu (koszty), przez
Stevensona w Dublinie, potem w Nowym Jorku,

Początek brachyterapii – jak to się stało



1. **Henri Becquerel** pierwszy zaobserwował reakcję skóry na napromienianie. W kwietniu 1901 roku, 10 dni po przeniesieniu niewielkiej ilości radu w kieszeni swojego płaszcza (przez 6 godzin) zauważył zaczerwienienie skóry, które wyleczyło się samo po kilku tygodniach, ale zostawiło odbarwioną bliznę. Zaczerwienienie (rumień) miało powierzchnię 6 cm², po około 20 dniach nastąpiło złuszczenie się naskórka, potem niewielka martwica.

2. **Pierre Curie** potwierdził te spostrzeżenia – na skórze przedramienia umieścił rad na 10 godzin (foto). Zaobserwował odczyn skórny podobny do opisywanego po promieniowaniu X.

Początek radiobiologii i brachyterapii.

4. **Henri Becquerel i Pierre Curie** przewlekłe cierpieli z powodu oparzeń końcówek palców ze względu na kontakt z radem.

5. **Marie Curie** również miała podobne objawy, częściowo jednak były one efektem zmian po promieniach X, na które była narażona w trakcie I Wojny Światowej.



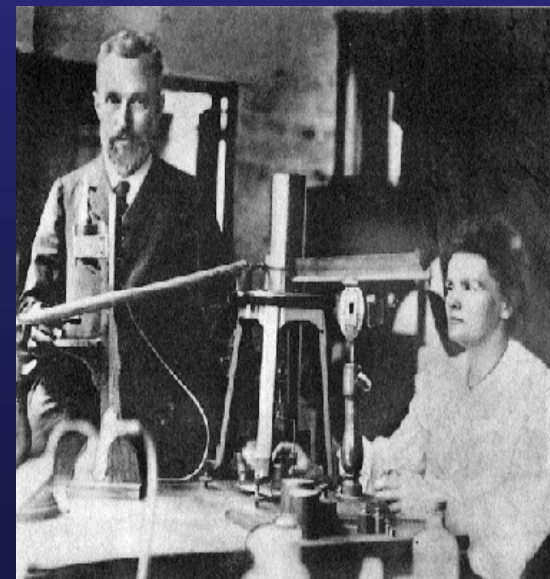
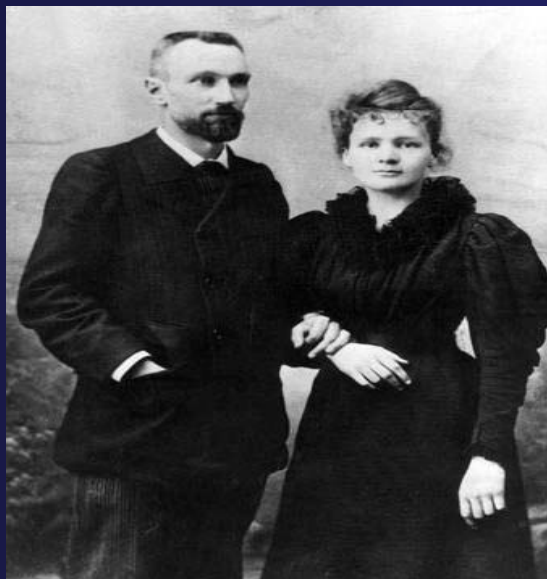
Dear Dr. Sowers:

I understand from you that the Röntgen rays, and the rays emitted by radium, have been found to have a marked curative effect upon external cancers, but that the effects upon deep-seated cancers have not thus far proved satisfactory.

It has occurred to me that one reason for the unsatisfactory nature of these latter experiments arises from the fact that the rays have been applied externally, thus having to pass through healthy tissues of various depths in order to reach the cancerous matter.

The Crookes' tube, from which the Röntgen rays are emitted, is of course too bulky to be admitted into the middle of a mass of cancer, but there is no reason why a tiny fragment of radium sealed up in a fine glass tube should not be inserted into the very heart of the cancer, thus acting directly upon the diseased material. Would it not be worth while making experiments along this line?

(Signed) Alexander Graham Bell



Historia – nadzieja i rozwój

1909 – tubki radowe w ginekologii,

1909 - pierwszy podręcznik, Wickham and Degrais,

1914 – 1918 – szkoły brachyterapii - Radium Hemmet (Sztokholm),
Memorial Hospital (Nowy York), Lacassagne Radium
Institute (Paryż),

1914 – system Sztokholmski) – zasady BT wewnątrzjamowej,

1919 – system Paryski - zasady BT wewnątrzjamowej,

1934 – system Manchesterski, zasady Patersona – Parkera:

- zasady implantacji izotopów śródkankowych,

- zasady obliczania dawek

(podstawowe zasady, które legły u podstaw współczesnej brachyterapii)

Historia - poszukiwania

1934 – **sztuczna promieniotwórczość** (Irena i Frederic Joliot-Curie)
- rozwój telekobaltoterapii, nowoczesnej brachyterapii, medycyny nuklearnej, przemysłu nuklearnego cywilnego i wojskowego,

1920 – 1955 – źródła radowe stosowane w ginekologii, przez chirurgów, patologów - brak technicznych możliwości obliczania dawki, niedoskonałe metody dozymetrii – wyniki leczenia dalekie od oczekiwań,

Lata 40-te – igły kobaltowe, Tantal, Złoto – mizerne efekty,

Lata 50-te – zastosowanie sztucznych izotopów promieniotwórczych – odkrycie Jodu, Cezu,

1953 – podstawy „afterloadingu” (Haenschke i Hilaris), źródła o wysokiej mocy dawki, komputeryzacja,

1956 – odkrycie Irydu-192 – Haenschke,

Lata 50-te, 60-te - Pierquin, Chassagne i Dutreix (Paryż) – nowe zasady implantacji i obliczeń dawek w BT śródtkankowej z użyciem Irydu (druty irydowe),

RAD

1. Pierwszym izotopem zastosowanym w radioterapii był rad, użyto go prawie natychmiast po jego odkryciu w 1898 roku,
2. Rad - tubki, igły radowe $T_{0,5} = 1626$ lat, energia efektywna – 1,24 MeV, energia emitowanego promieniowania - 0,19 do 2,43 MeV,
3. Aktywność źródeł - 300-2000 MBq - 5 do 50 mg czystego radu,
4. Zaletą radu - stała aktywność,
5. 1976 - zakończenie leczenia we Francji, 1992 - w Poznaniu.

Certyfikat, podpisany przez Marie Skłodowską - Curie, wysyłany wraz z radem kalibrowanym w Laboratoire Curie, Institut du Radium, Paris

INSTITUT DU RADIUM. Paris, le *17 juin* 1907.

LABORATOIRE CURIE.
1, rue Pierre-Curie, PARIS (5^e).

CERTIFICAT. *A.S. 609*

DOSAGE DE RADIUM PAR LE RAYONNEMENT T.

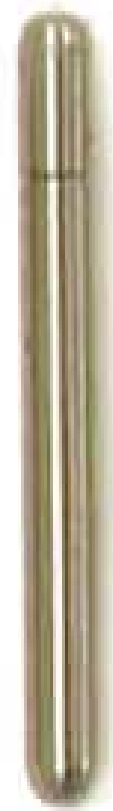
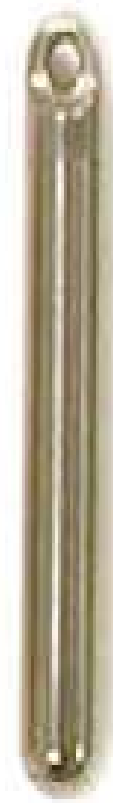
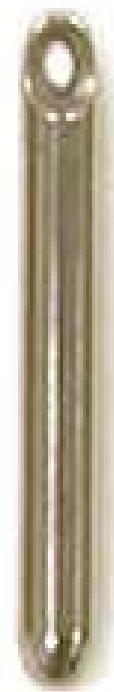
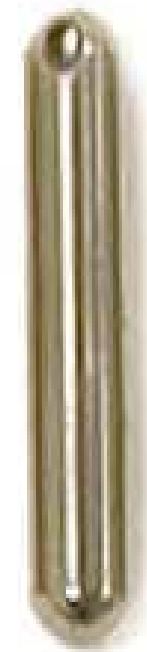
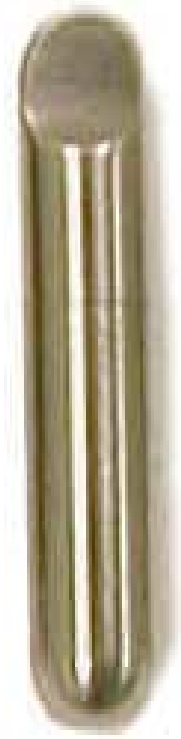
NATURE ET PROVENANCE DE L'APPAREIL.
Appareil à sel de Radium solide sur *de la platine* marque *A.S.*
Epaisseur *de mm.*
Diamètre *1 -*
Poids *0,408 g.*
apporté par *la Société Anonyme du Radium* le *7 juin 1907*
et rendu *à* le *17 - -*

CONDITIONS DE MESURES.
Le rayonnement T de l'appareil est comparé au rayonnement T de l'Étalon du Laboratoire
Si l'appareil n'a pas atteint son rayonnement limite, celui-ci est déduit des mesures par le calcul.
L'appareil qui fait l'objet de ce Certificat - *avait* - atteint son rayonnement limite.

RÉSULTAT DES MESURES.
Le rayonnement T limite émis à l'extérieur de l'appareil est équivalent à celui de
0,07 Milligrammes de radium élément.

QUANTITÉ DE RADIUM CONTENUE DANS L'APPAREIL.
Cette quantité est évaluée en tenant compte de l'absorption du rayonnement T par la paroi
de l'appareil, conformément à l'épaisseur de celle-ci et à son coefficient d'absorption.
L'épaisseur indiquée par *la Société Anonyme du Radium* est *mm. 1,*
La correction qui en résulte est évaluée à *10%*
du rayonnement T qui émane de la substance.
La quantité de radium contenue dans l'appareil est donc :

MILLIGRAMMES DE RADIUM ÉLÉMENT *0,07*
soit millegrammes, cinq centièmes



Stosowanie źródeł radu – przed opracowaniem systemu Paryskiego i poznaniem zasad rozkładu dawki (Murdoch, Brussels 1933)



Kołnierz ze źródłami radowymi





15.11.2006

13



15.11.2006

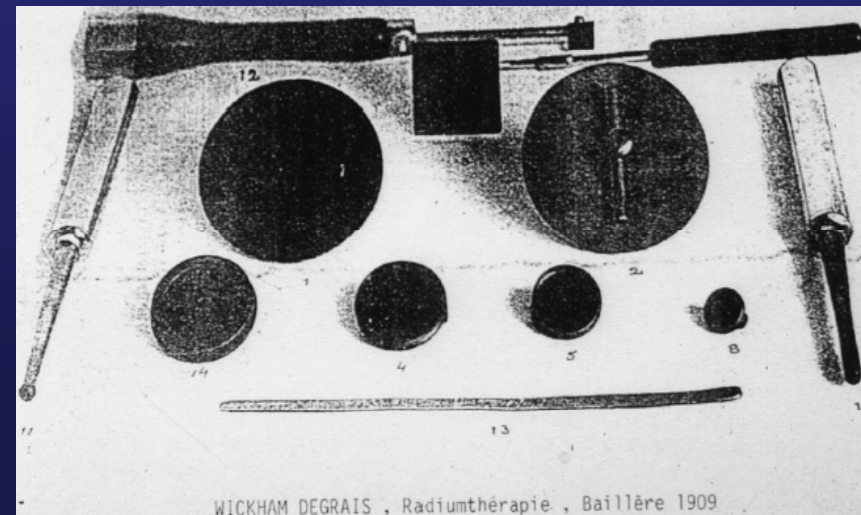
14



Pielęgniarka trzyma powierzchniowy aplikator radowy na skórze pacjentki.

Efekt przy krótkim czasie ekspozycji osiągnano przy pomocy promieniowania β emitowanego przez aplikator (nieznacznie przenikliwy aplikator).

Tylna strona aplikatora w niewielkim stopniu chroniła przed promieniowaniem gamma.



WICKHAM DEGRAIS, Radiumthérapie, Baillière 1909

Leczenie hemangioma przy pomocy powierzchniowego aplikatora radowego. Średnica aplikatora - 1.1 cm (2.5 mg radium). Promieniowanie: β - 90%, gamma -10%. Czas każdej aplikacji - 45 min, w ciągu 3 miesięcy zastosowano 22 aplikacje. Regresję guza zaobserwowano po 2 miesiącach, pełną remisję – po 6 miesiącach.





15.11.2006

17

Historia - wątpliwości

Początek lat 50 - tych XX wieku - spadek zainteresowania brachyterapią. Przez blisko pół wieku głównymi pierwiastkami promieniotwórczymi stosowanymi w brachyterapii były **rad i radon**.

Czasami - dobre wyniki leczenia, ale:

- narażenie personelu na promieniowanie jonizujące,
- pracochłonność i złożoność technik - odwrót od brachyterapii

Postęp technologiczny w dziedzinie **teleradioterapii** - zapewnił bezpieczeństwo pracy personelu, umożliwił leczenie w warunkach ambulatoryjnych.

Ponadto – leczenie stało się mniej obciążające dla pacjenta.

Zabiegi napromieniania nie wymagały znieczulenia ogólnego czy długotrwałej izolacji chorego.

Brachyterapia straciła na znaczeniu.

15.11.2006



18

Historia – powrót

- Wykrycie nowych izotopów promieniotwórczych,
- rozwój technik „afterloadingu”,
- doskonalenie systemów komputerowych,
- znaczne zmniejszenie narażenia personelu na promieniowanie



renesans brachyterapii w latach 70-tych, 80-tych, kiedy to nastąpił szybki wzrost liczby leczonych chorych oraz rozszerzenie wskazań do brachyterapii nowotworów złośliwych i innych chorób.

Wprowadzanie do leczenia kolejnych generacji aparatów do brachyterapii opartych o systemy „afterloadingu”:

- 1964 - Cathetron (Co-60),
- 1964 - Gammamed I (Iryd-192), II (1976),
- 1979 - Gammamed [High Dose Rate],
- 1983 - Gammamed III - 12 kanałów,
- 1991 - Gammamed 12i [Pulsed Dose Rate]
- 2006 – Microselectron HDR/PDR – 30 kanałów



1. Źródła są ładowane ręcznie, zwykle przez fizyka,
2. Źródła są usuwane na końcu leczenia.

1. Aplikator implantowany bez źródeł,
2. Weryfikacja pozycji źródeł przy pomocy markerów, zwykle przy pomocy rtg,
3. Komputerowy plan leczenia,
4. Źródła są ładowane automatycznie przez aparat,
5. Źródła są wycofywane do sejfu w każdym przypadku wejścia do pomieszczenia.



HDR



PDR

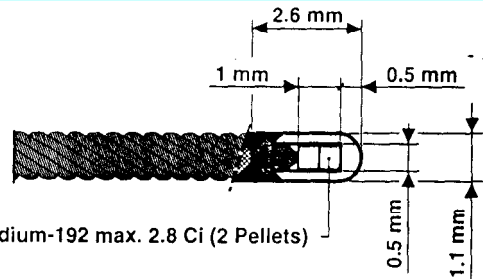


Hipertermia

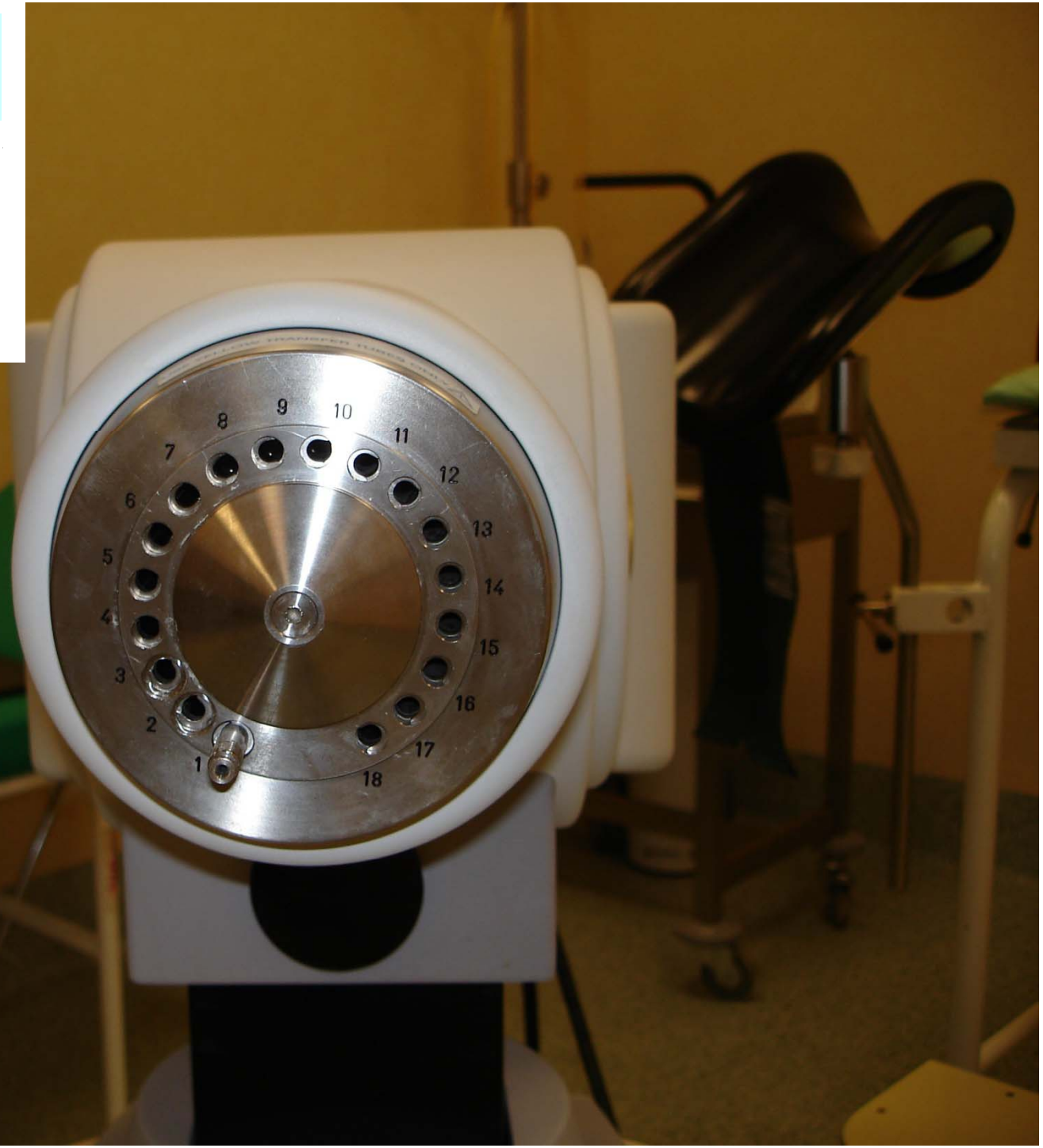


IBU

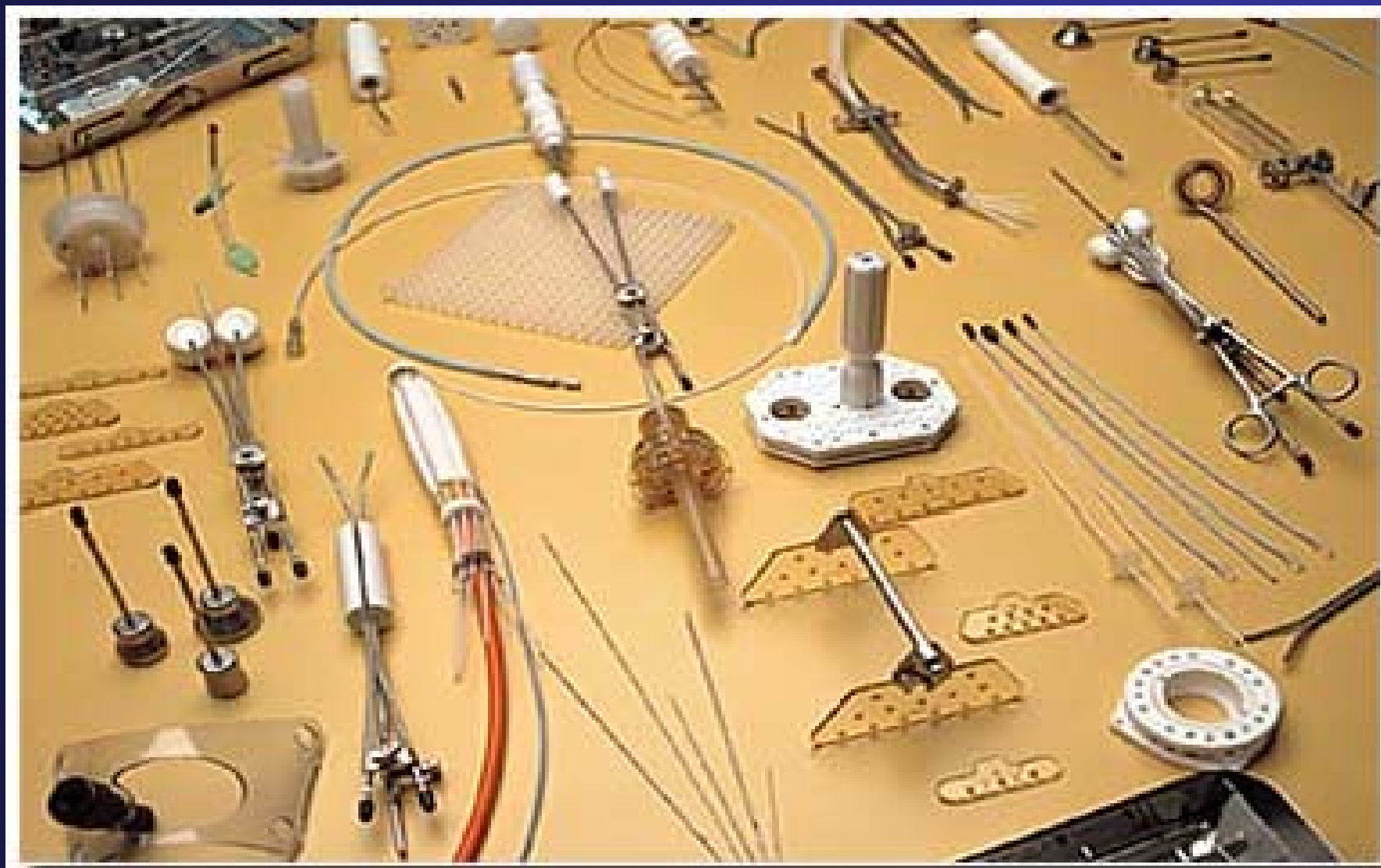
Izotop Iryd-192



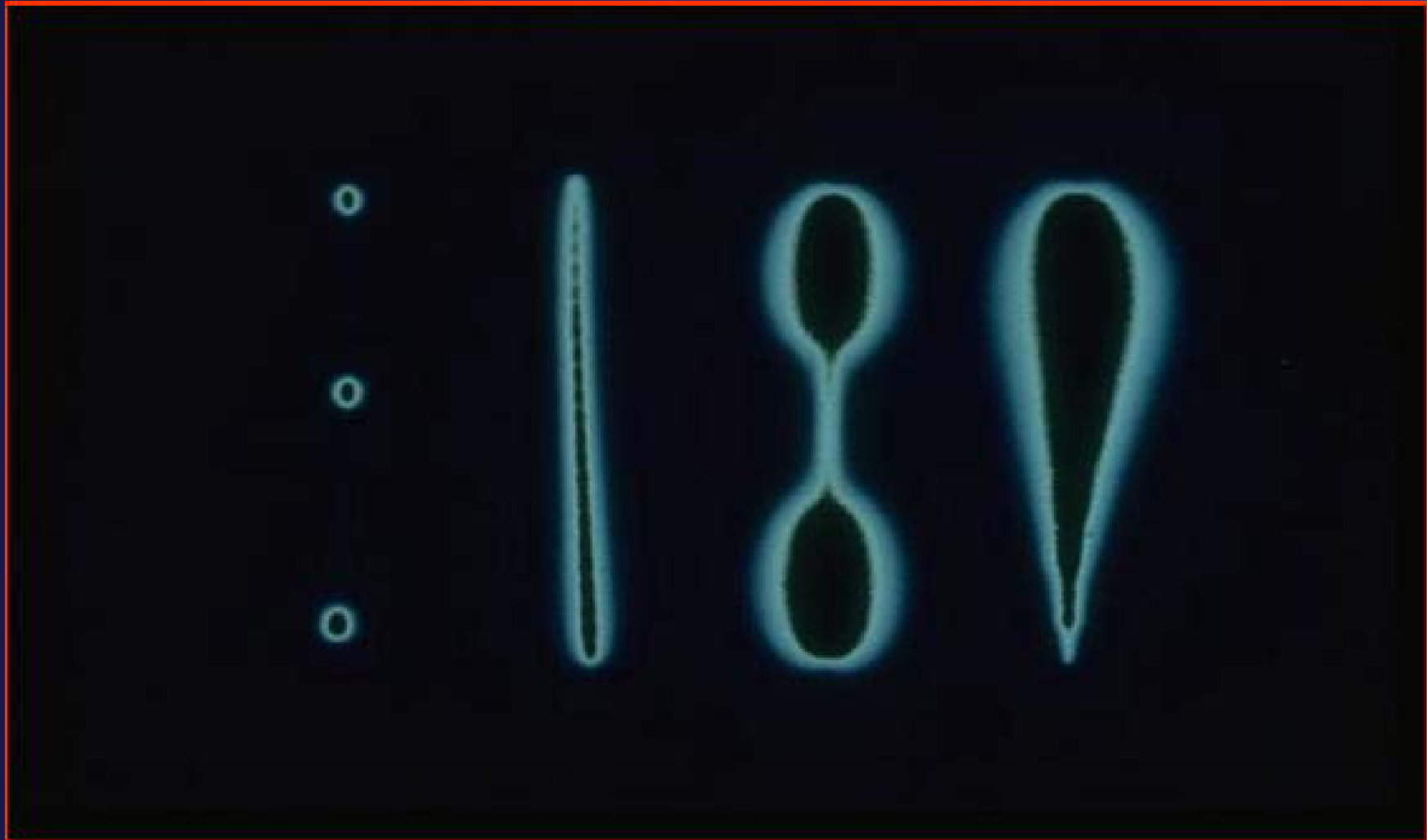
Iridium-192 max. 2.8 Ci (2 Pellets)



Aplikatory



Optymalizacja



Pierwiastki promieniotwórcze stosowane w brachyterapii:

- 1. naturalne (rad)**
- 2. sztuczne (pozostałe)**

**Najważniejsze właściwości opisujące przydatność
izotopów promieniotwórczych to:**

- 1. czas połowicznego rozpadu,**
- 2. aktywność pierwiastka,**
- 3. energia promieniowania.**

Pierwiastki promieniotwórcze stosowane w brachyterapii:

1/ Ir-192	druty, igły, ziarna 0,397 MeV	(PDR, HDR - czasowe) T = 73,8 dni
2/ Co-60	igły, tuby, płytki oczne 1,25 MeV	(HDR – czasowe) T = 5,26 lat
3/ Cs-137	tubka, igły, ziarna 0,662 MeV	(LDR – czasowe) T = 30,3 lat
4/ Tantal-182	druty, tuby 0,07-1,23 MeV	(czasowe) T = 115 dni
5/ Rad-226	tubka, igły 0,19-2,43 MeV (0,83)	(LDR – czasowe) T = 1626 lat
6/ Itr-90	ziarna 2,24 MeV	(czasowe) T = 2,5 dnia

7/ J-131

roztwór
0,61 MeV (beta) 0,35 MeV (gamma)

T = 8 dni

8/ P-32

roztwór, koloid
1,7 MeV (beta)

T = 14,3 dni

9/ Stront 89

roztwór
1,46 MeV (beta)

T = 50,6 dni

10/ J-125

ziarna (implanty stałe)
0,028 MeV

T = 59,6 dni

11/ Paladium 103

ziarna (implanty stałe)
0,02 MeV

T = 17 dni

12/ Au-198

ziarna, druty (implanty stałe)
0,412 MeV

T = 2,7 dnia

13/ Ruthenium 106 płytki, nowotwory oczodołu
2,07 – 3,63 MeV (beta)

T = 368 dni

14/ Ytterbium-169 (próby kliniczne)

15/ Samarium-145 (próby kliniczne)

16/ Americium-241 (próby kliniczne)

17/ Cez – 131 (próby kliniczne) implanty stałe
0,029 MeV

T = 9,7 dnia

18/ Californ-252 nisko energetyczne neutrony

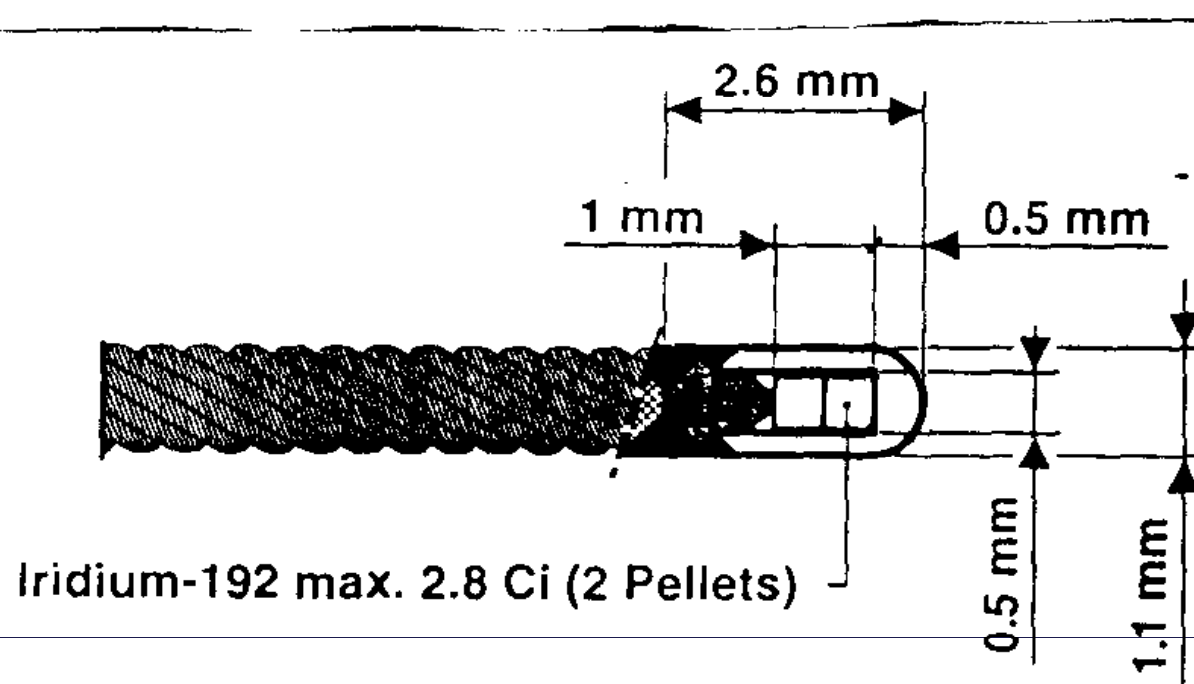
IRYD - 192

1. Podstawowymi cechami izotopu Irydu 192 są:
 - 1.1. niewielkie, cienkie źródła
 - 1.2. krótki okres półrozpadu (ok.74 dni)
 - 1.3. stosowany w systemie "afterloading" zwiększającym ochronę personelu i zapewniającym lepsze geometryczne odzwierciedlenie dawki.

2. Warstwa platyny (grubości 0,1 lub 0,5 mm) pokrywa (zabezpiecza) źródło i stanowi filtr emitowanego przez izotop promieniowania korpuskularnego (cząstki alfa, beta).

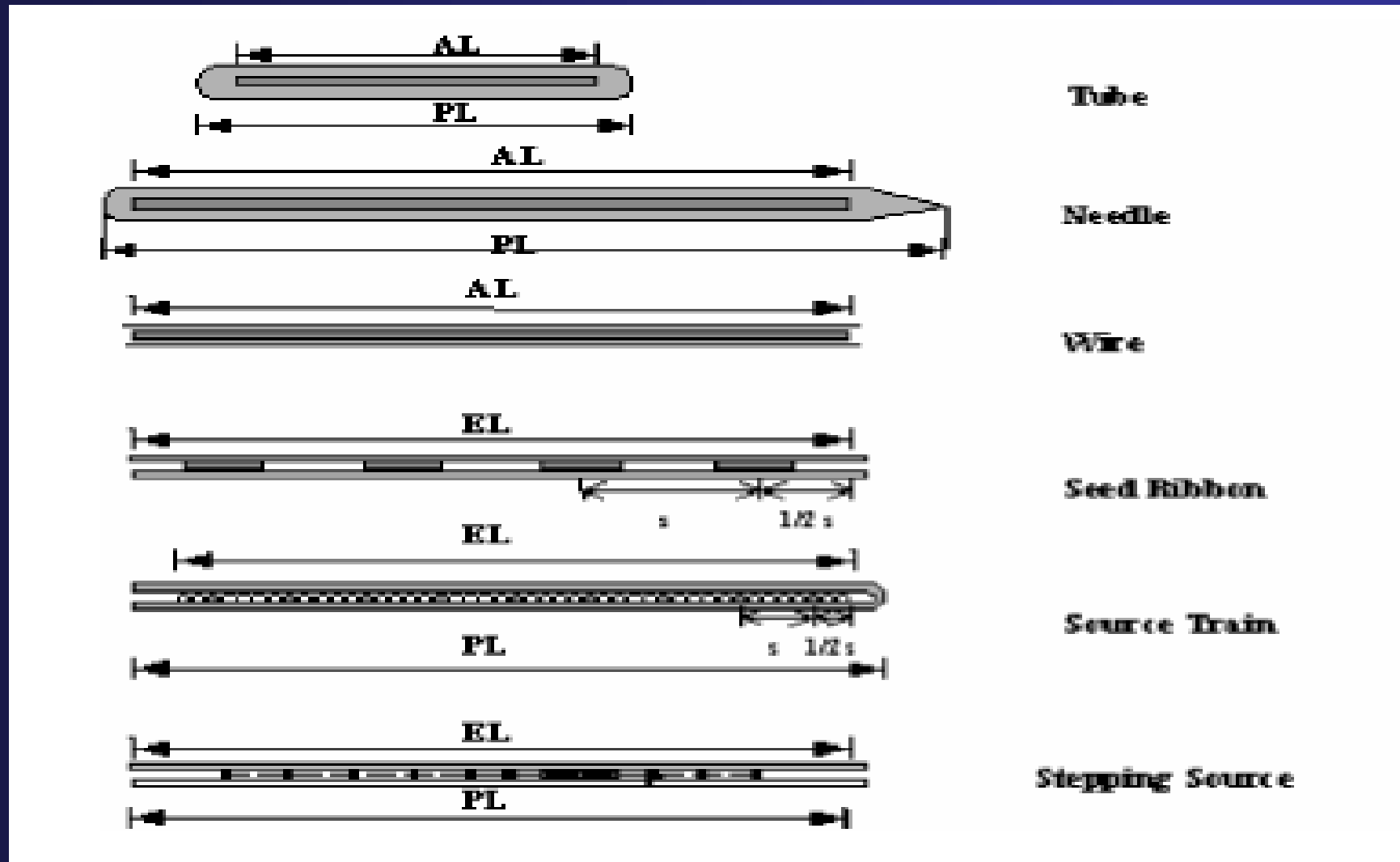
Budowa źródła Irydu 192

RYCINA 1

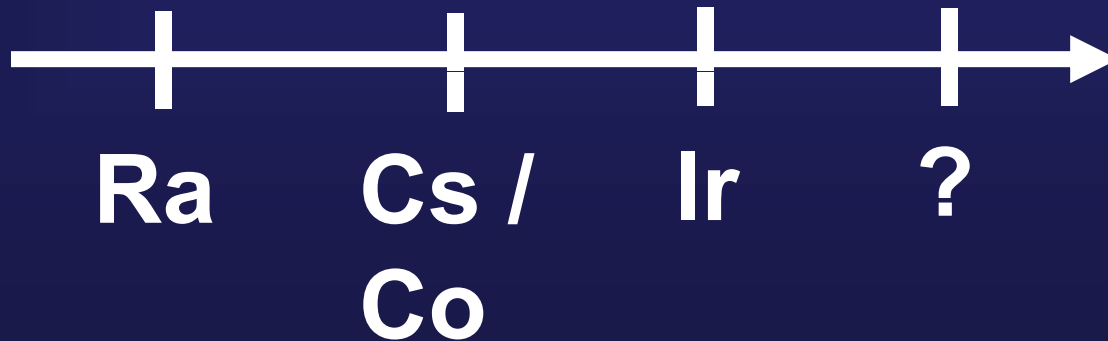
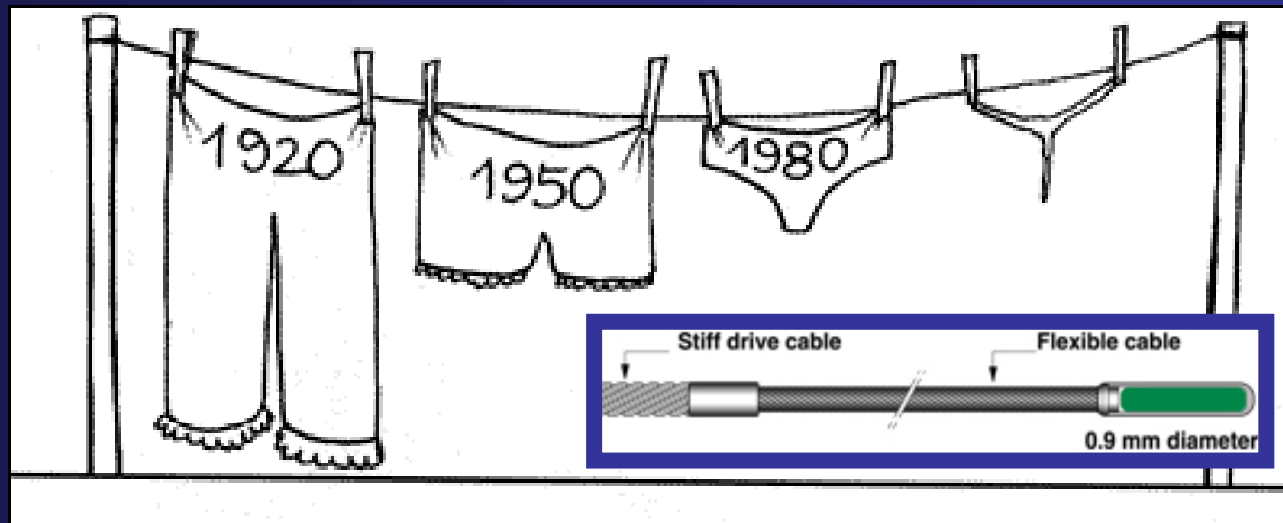


Rodzaje źródeł promieniotwórczych

AL: active length, PL: physical length, EL: equivalent active length, s: spacing between the centres of seeds.



Ewolucja miniaturyzacji w brachyterapii...



Gdzie jest dzisiaj nowoczesna brachyterapia?

**Czy jest miejsce dla brachyterapii w czasach konformalnej,
„3D Conformal Image Guided and Adaptive Radiotherapy” ?**


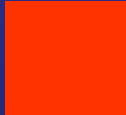





Czas radioterapii adaptacyjnej

- **IGRT (Image Guided ...)**
- **VGRT (Volume Guided ...)**
- **DGRT (Dose Guided ...)**
- **ART (Adaptive ...)**
- **DART (Dynamic Adaptive ...)**
- **BIG-ART (Biological ...)**

Radioterapia adaptacyjna: Postępy i nowe technologie

Koszty

- **IMRT (X-rays)** 
- **Cyberknife (X-rays)** 
- **Tomotherapy (X-Rays)** 
- **Protons (p⁺)** 
- **Heavy Ions (He, Li, C, ???)** 

**Tak, jest miejsce,
ponieważ radioterapia konformalna
3D może być stosowana jako:**

- **Teleradioterapia, radioterapia z użyciem wiązek zewnętrznych (3D CFERT)**
- **Brachyterapia (3D CFBRT)**

ERT

BRT

BRT:

Niewielkie wymiary - miniaturyzacja

Niewielkie odległości - leczenie interwencyjne

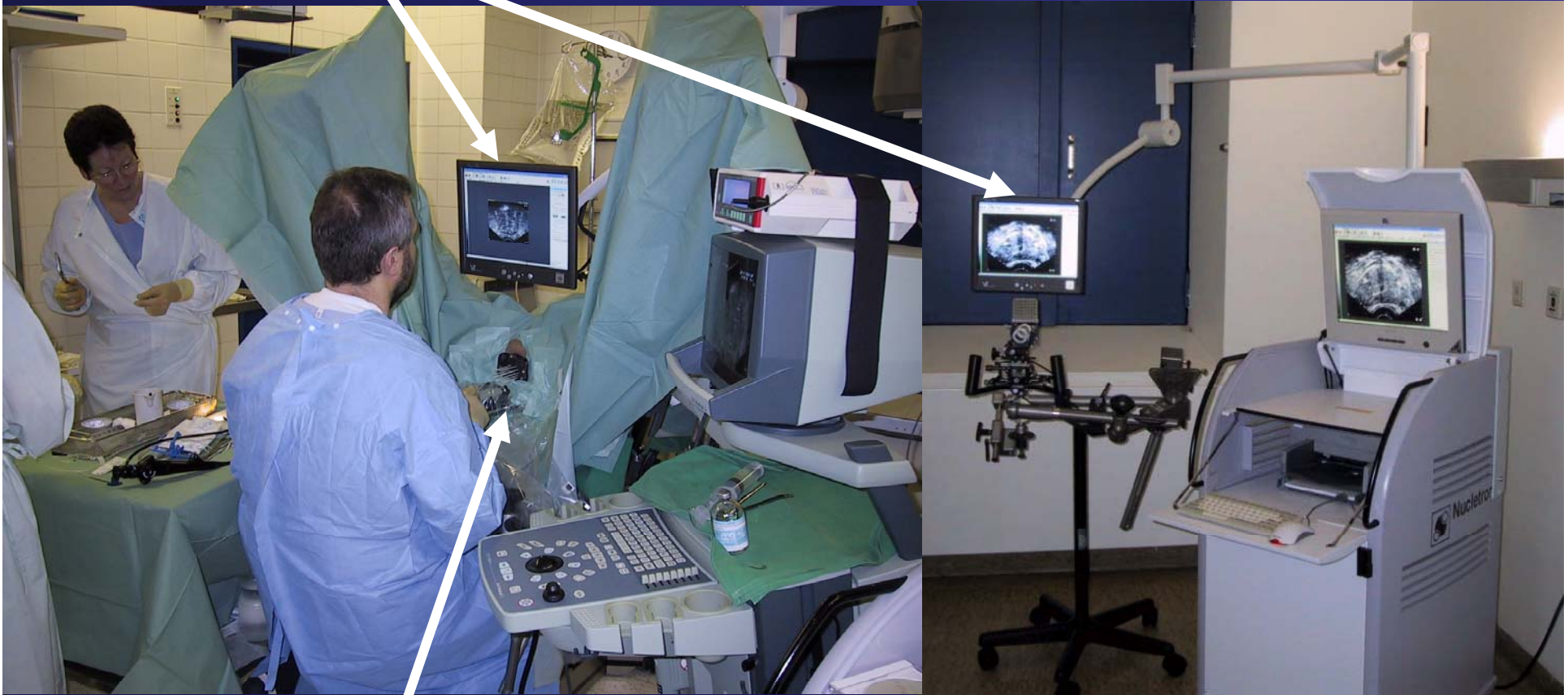


Brachyterapia konformalna 3D (3D CFBRT):

Jak można osiągnąć konformalność ?

- -
 -
 -
- Intensywna modulacja -
The Step & Shot
Technology:
IMBRT**
- omii

Lokalizacja i nawigacja - SWIFT™ Monitory



Obrazowanie 2D i 3D przy użyciu USG

Brachyterapia konformalna 3D (3D CFBRT/IMBRT)

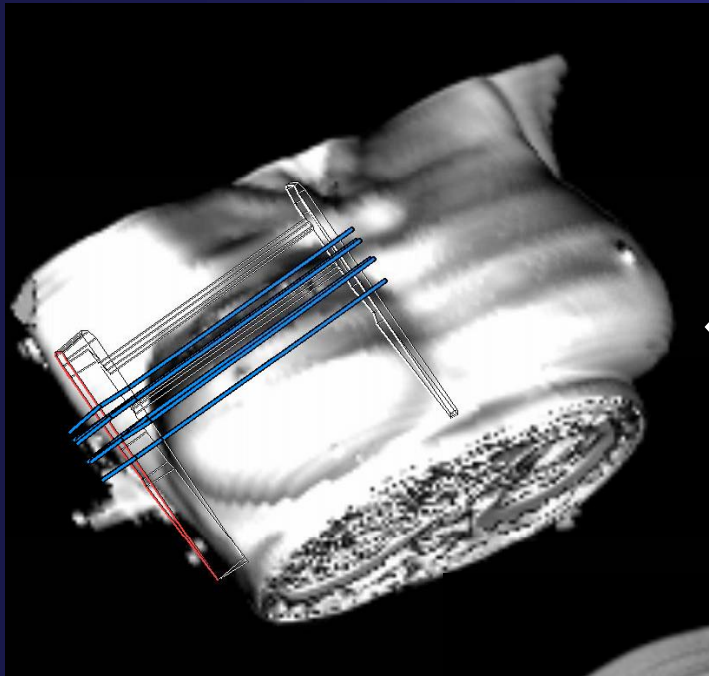
Ograniczenia

- **Metoda inwazyjna**
(Interventional Radiation Oncology)
 - **Wysoce wyspecjalizowany personel**
(lekarze, fizycy, dozymetryści, pielęgniarki)
 - **Jakość zależy od intuicji, doświadczenia**
(*Expert's Charisma*)
-
- **Ograniczenia związane z ochroną zdrowych tkanek**

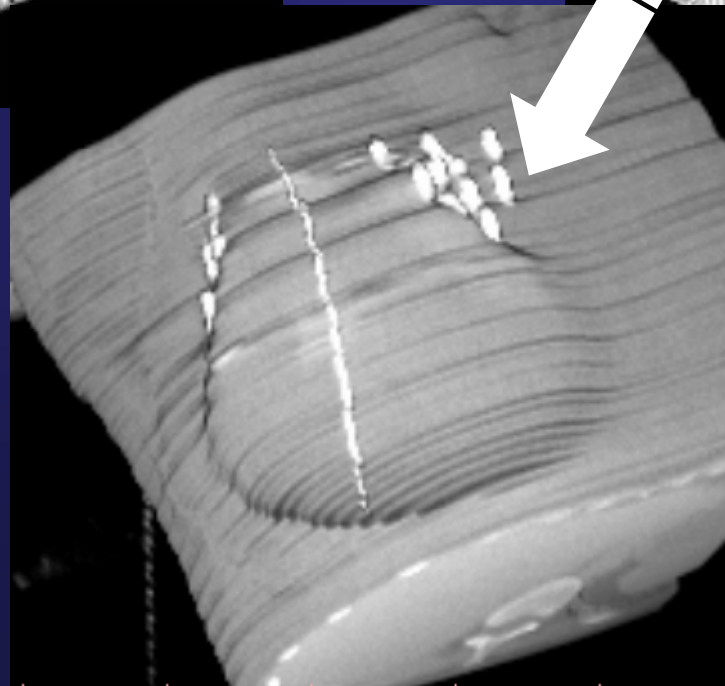
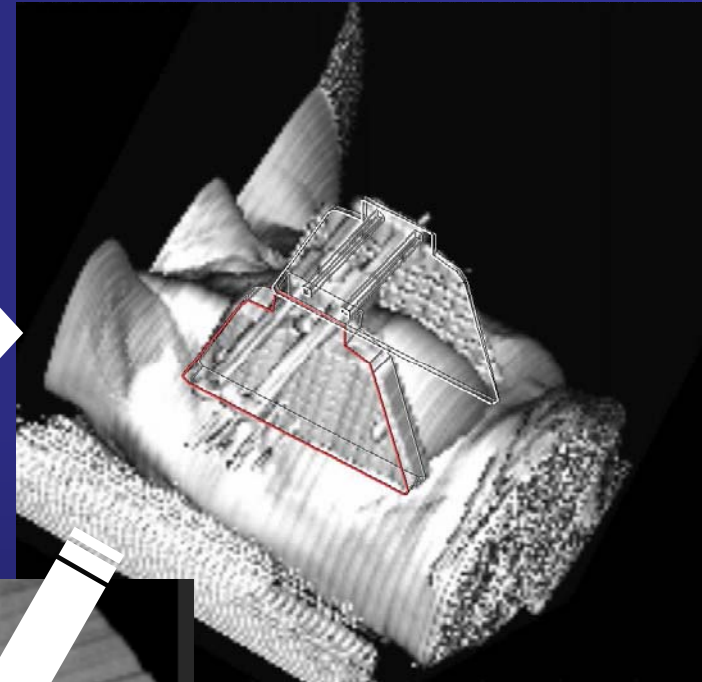
Rozwiązania technologiczne i perspektywy:

- **Planowanie przed - *Pre-Planning* / symulacja planu brachyterapii**
- **Zaawansowane obrazowanie / narzędzia**
- **Nawigacja pod kontrolą obrazu - technologie interaktywne**
- **Technologia adaptacyjna, dynamiczne planowanie**
- **Ćwiczenia - technologia symulatorów**

BRT wirtualna

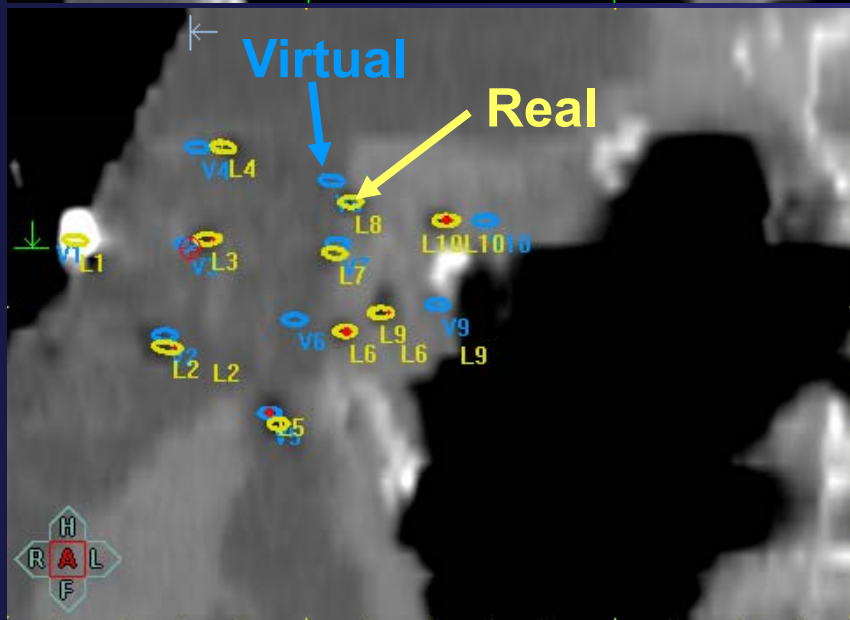
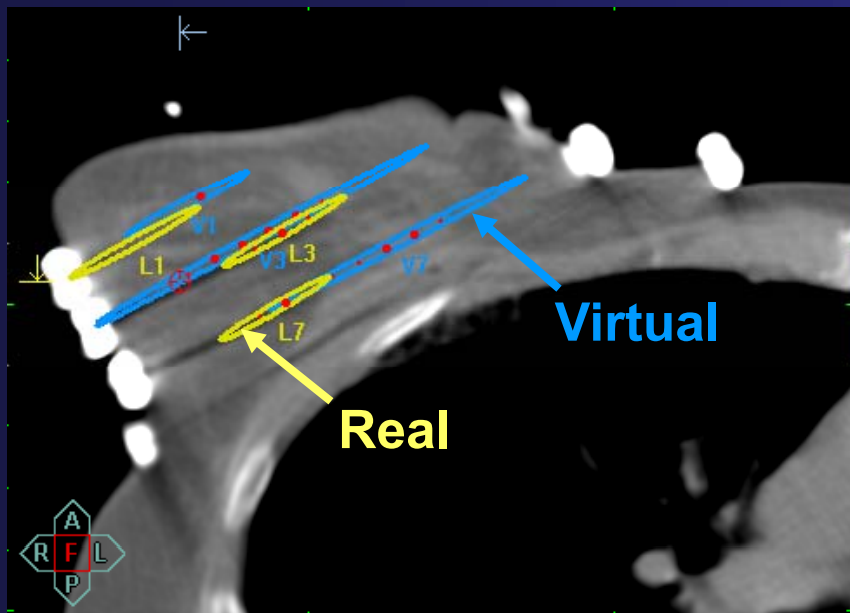


BRT adaptacyjna



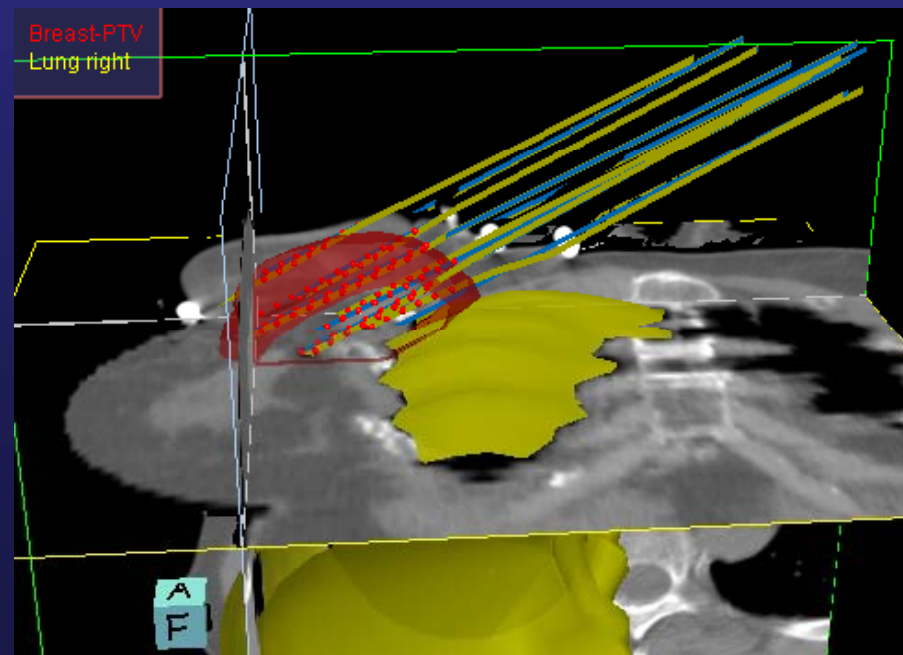
Ostateczny (real)
Implant

Symulacja BRT i planowanie adaptacyjne



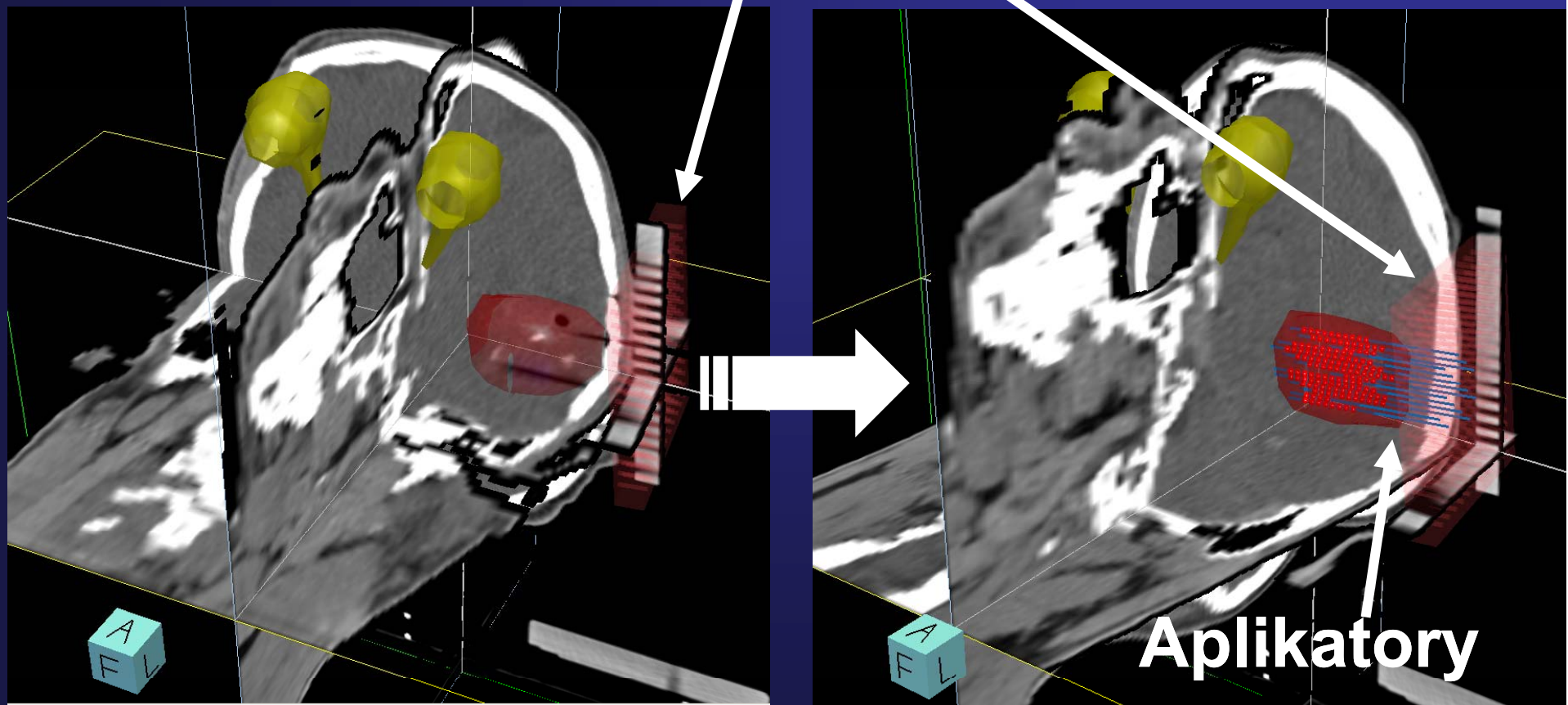
Adaptacja implantu do:

- zmian w anatomii
- zmian geometrii aplikatorów w trakcie implantacji

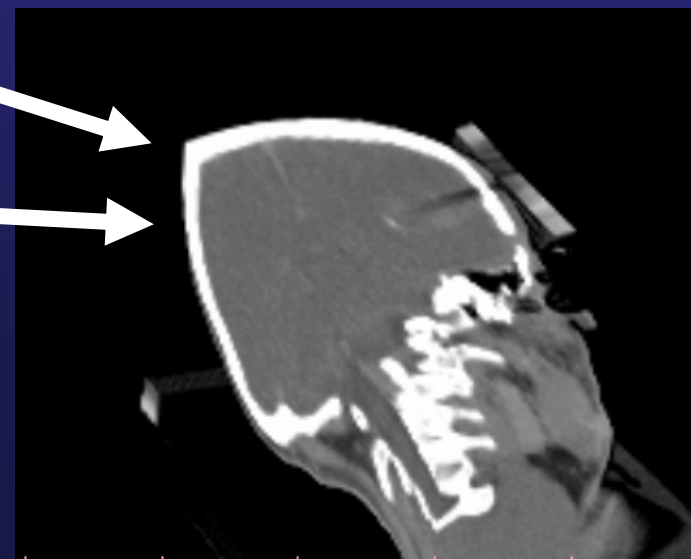
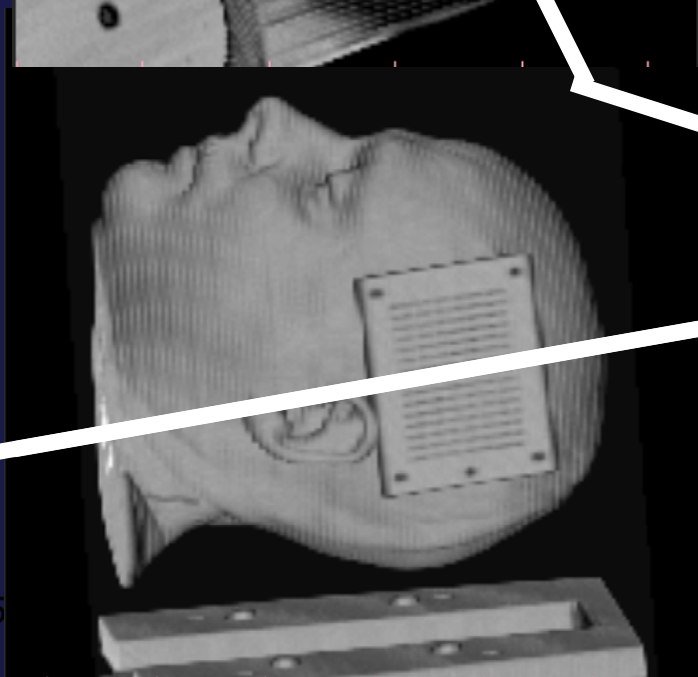
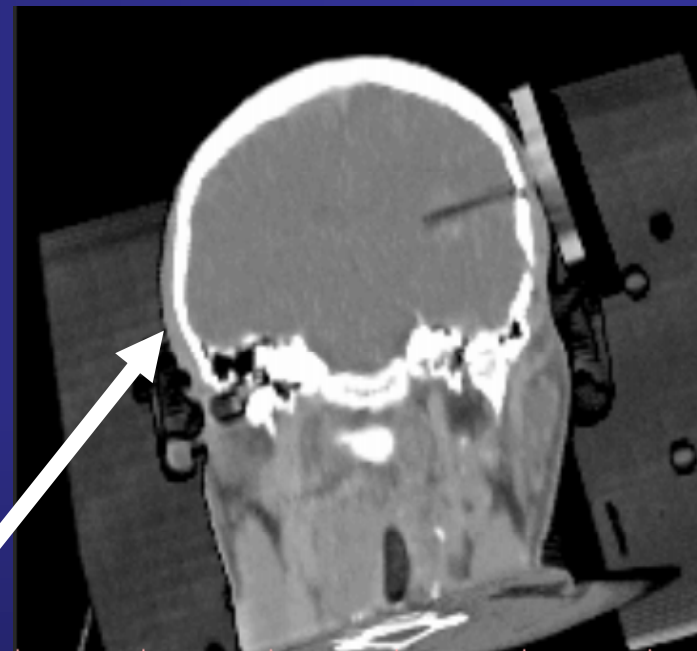
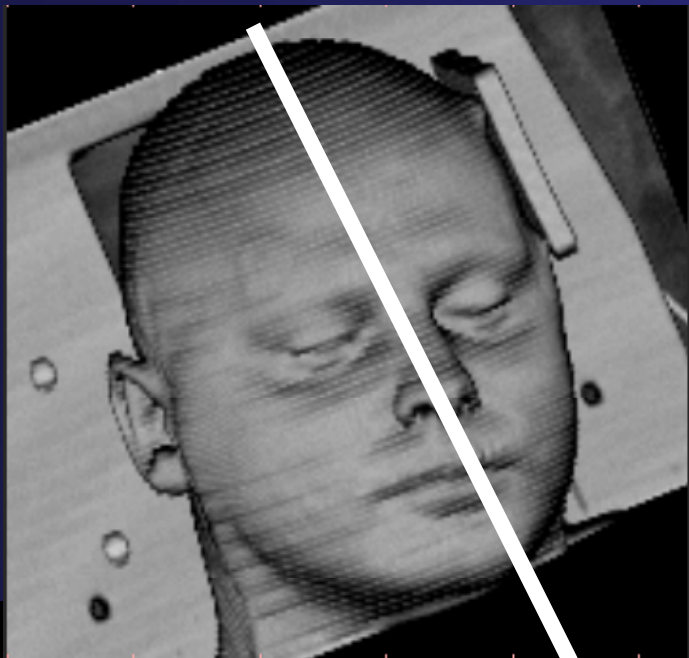


Przed-planowanie / Brachy-Symulacja / Planowanie wirtualne / Symulacja wirtualna

Płytki

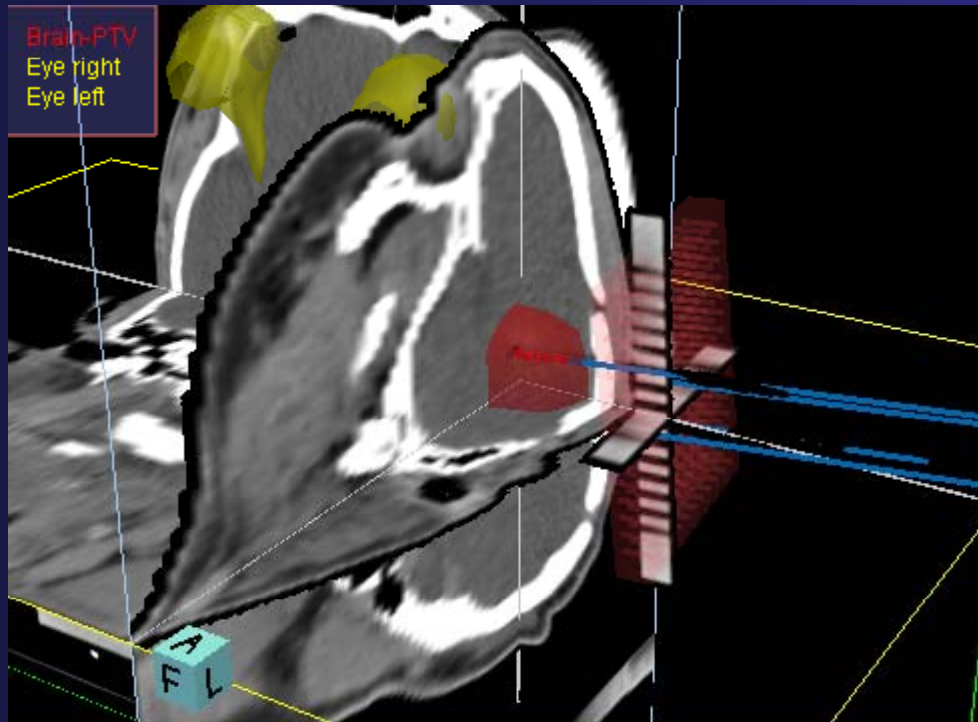


Zaawansowane narzędzia obrazowania 3D

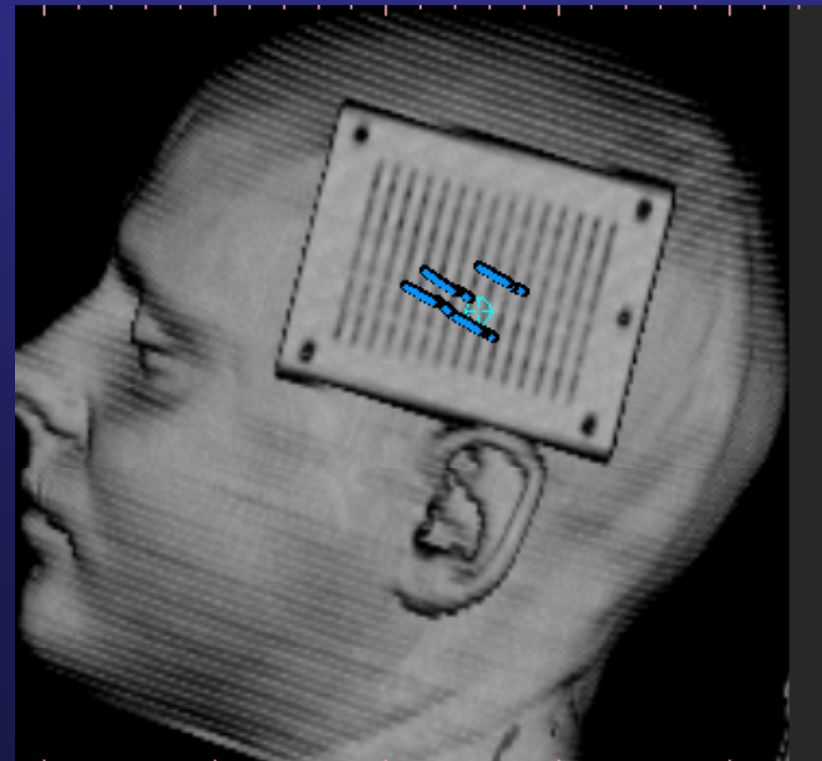


Zaawansowane narzędzia obrazowania 3D

Specialist-Eye-View

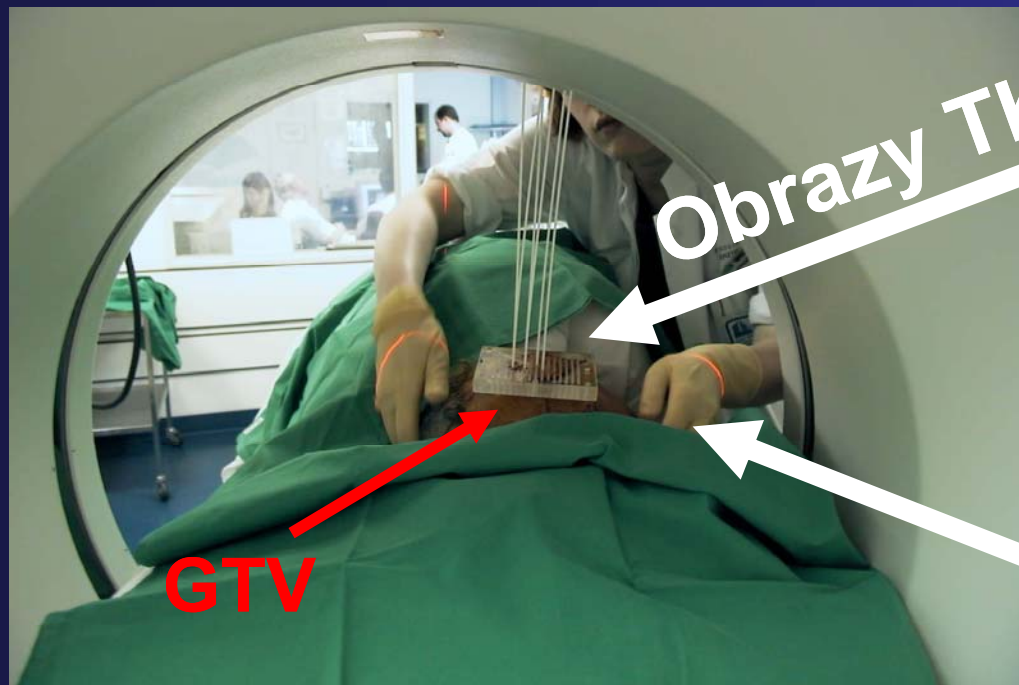


Everyone-Eye-View



15.11.2006

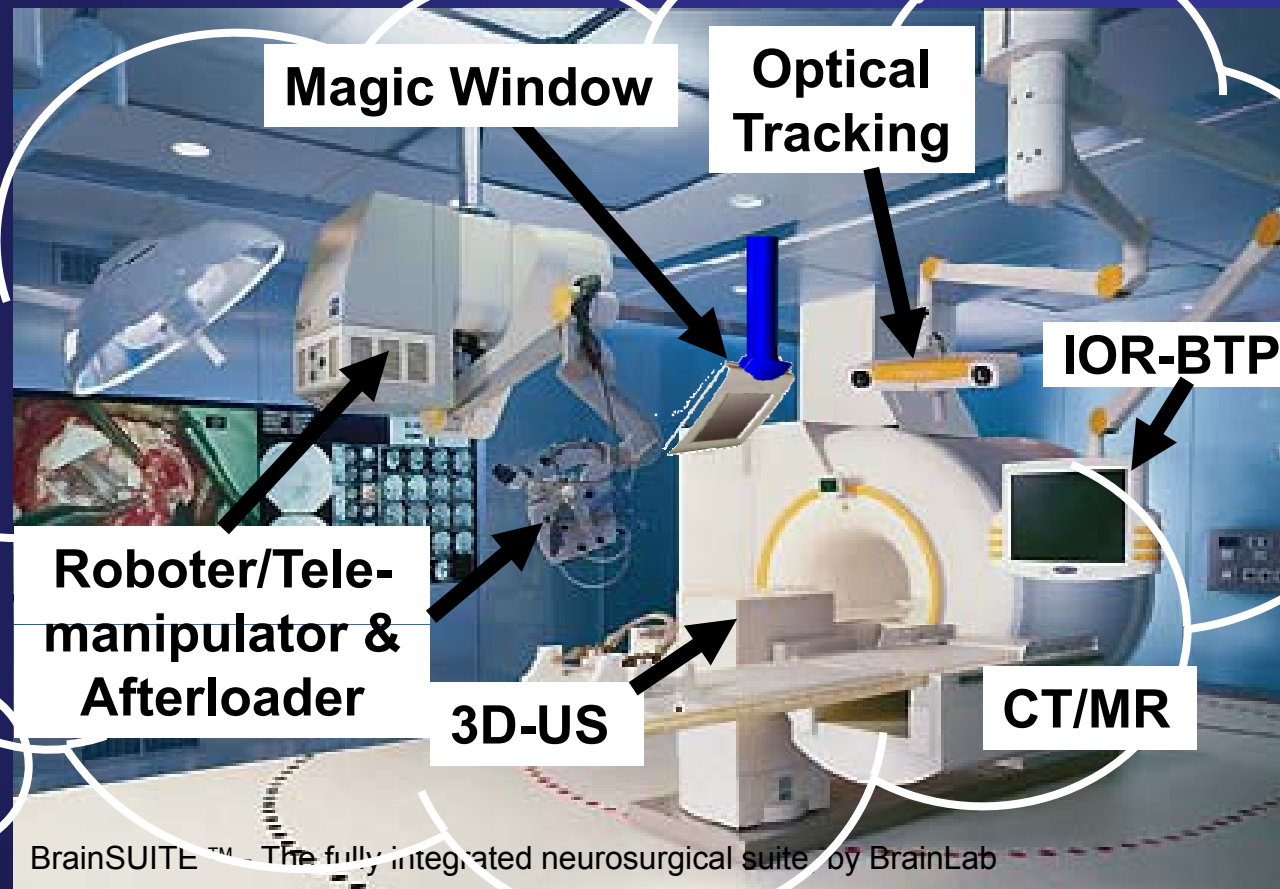
Nawigacja przy użyciu płytek :



Współczesna brachyterapia

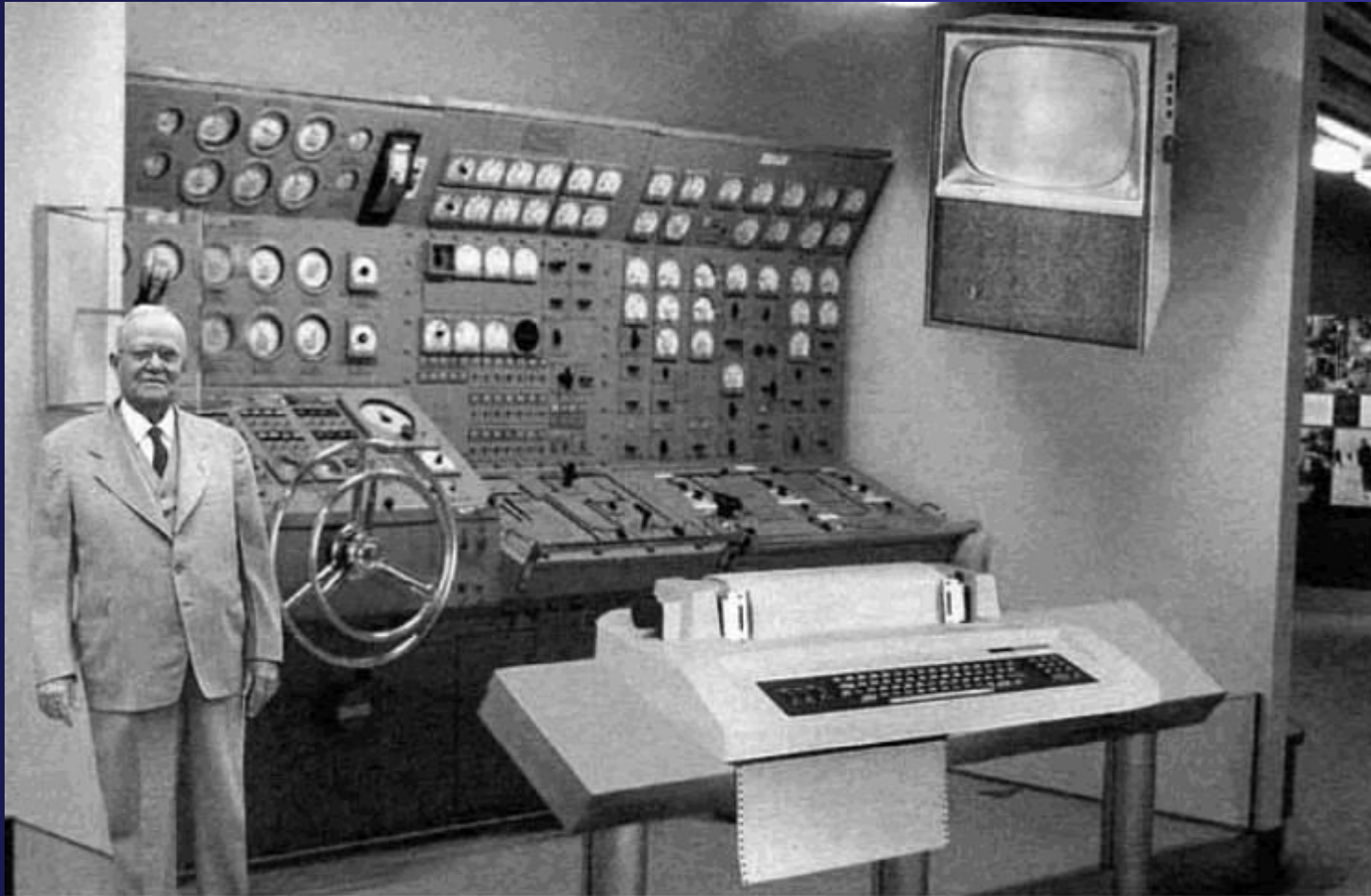
1. metody automatycznego ładowania izotopów promieniotwórczych („afterloading”),
2. systemy „kroczącego źródła”,
3. nowe izotopy promieniotwórcze,
4. komputerowe systemy planowania leczenia,
5. planowanie 3D - USG, RTG - IBU, KT, NMR,
6. leczenie skojarzone, interdyscyplinarne,
7. standardy obliczeń rozkładów dawek w obszarze leczonym i narządach krytycznych, procedury optymalizacji, audyt,
8. poprawa ochrony radiacyjnej personelu.

Perspektywa z punktu widzenia lekarza ...



Z punktu widzenia pacjenta “jednorazowa zabawa”

Krótki przegląd wizji i technologii ...



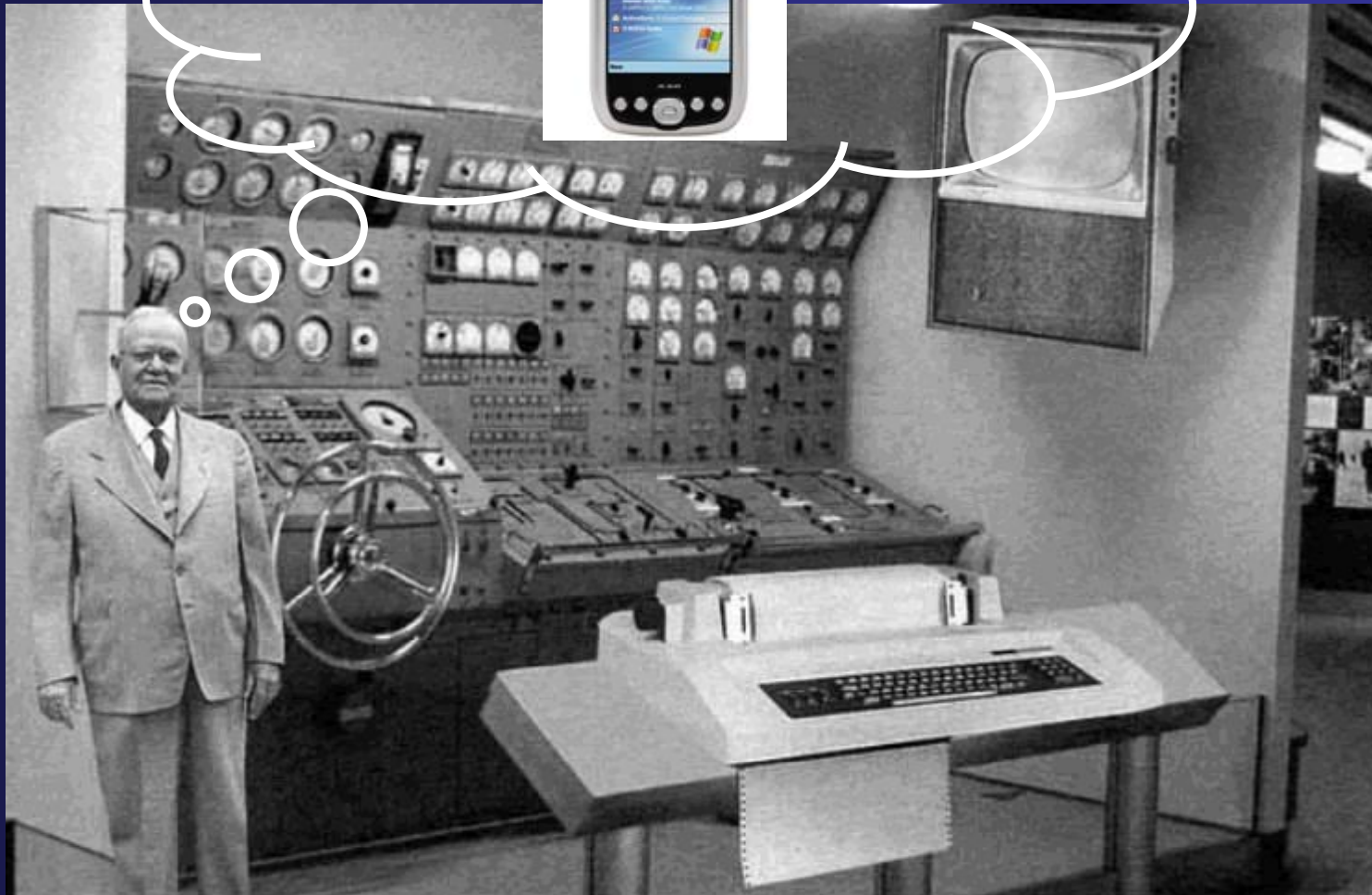
Scientists from the RAND Corporation have created this model to illustrate how a "home computer" could look like in the year 2004. However the needed technology will not be economically feasible for the average home. Also the scientists readily admit that the computer will require not yet invented technology to actually work, but 50 years from now scientific progress is expected to solve these problems. With teletype interface and the Fortran language, the computer will be easy to use.



15.11.2

50

2004 ...



Scientists from the RAND Corporation have created this model to illustrate how a "home computer" could look like in the year 2004. However the needed technology will not be economically feasible for the average home. Also the scientists readily admit that the computer will require not yet invented technology to actually work, but 50 years from now scientific progress is expected to solve these problems. With teletype interface and the Fortran language, the computer will be easy to use.

fy boh an 7 ij
 Cuanon $\frac{1}{2}$ S
 Zuluay 3 ij
 rormentt ~~ra~~
 dipra. $\frac{1}{2}$ an 3 ij
 randaes $\frac{1}{2}$ ib
 fahup eboze
 ror $\frac{1}{2}$ an 31
 spody
 Arthe anoy 3 ij
 rorut all
 murganta $\frac{1}{2}$ an 31
 murgataz
 murgath
 rorut ruti $\frac{1}{2}$ an 31
 Zaphu
 Olet ror rui 31
 rorabe
 ror ror
 roritt rui $\frac{1}{2}$ an 31
 ror
 ror ror ror
 fure tt 5 ror q. / A² pult

Założenia ogólne:

1. Izotop - w obrębie guza lub jego otoczeniu - możliwość precyzyjnej koncentracji wysokiej dawki promieniowania w bezpośrednim sąsiedztwie izotopu – w większym stopniu niż przy użyciu napromieniania wiązkami zewnętrznymi,
2. ↑ odsetka kontroli miejscowej,
3. Ze względu na fizyczne właściwości promieniowania (spadek natężenia dawki proporcjonalnie z kwadratem odległości od źródła) umożliwia lepszą ochronę otaczających zdrowych tkanek, w tym narządów krytycznych,
4. Warunkiem uzyskania tego efektu jest dostępność guza oraz jego zdefiniowana, z reguły niewielka wielkość.

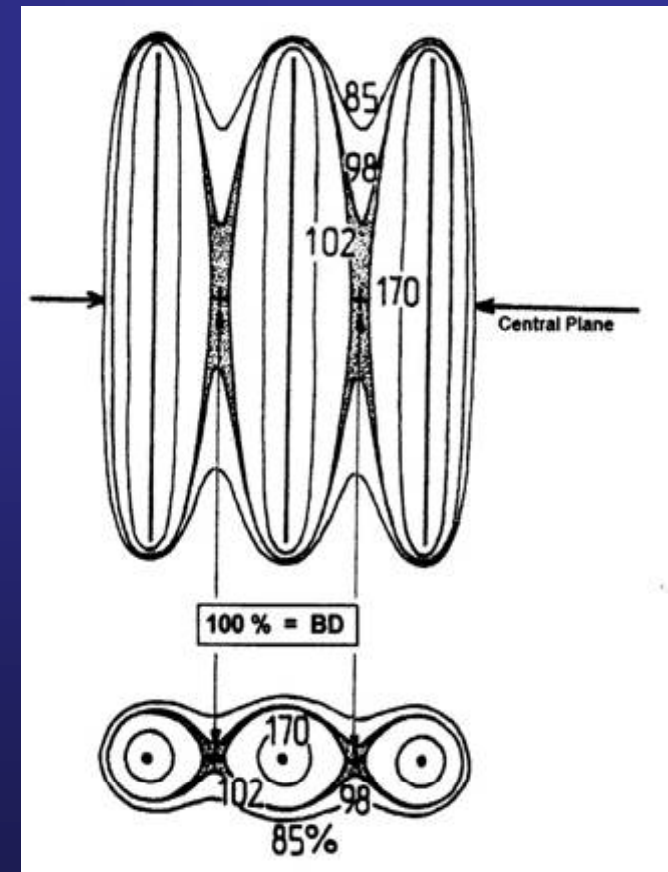
Założenia ogólne:

- 5. Implantacja aplikatorów - zabiegi, np. cytoredukcji lub resekcji guza, craniotomii, laparotomii połączonej z częściową resekcją guza, bronchoskopii, gastroskopii, cholangiografii.**
- 6. Metoda inwazyjna, często wymaga implantacji aplikatorów w znieczuleniu miejscowym lub ogólnym.**
- 7. Metoda interdyscyplinarna - specjaliści z różnych dziedzin.**

Zasady planowania - LDR

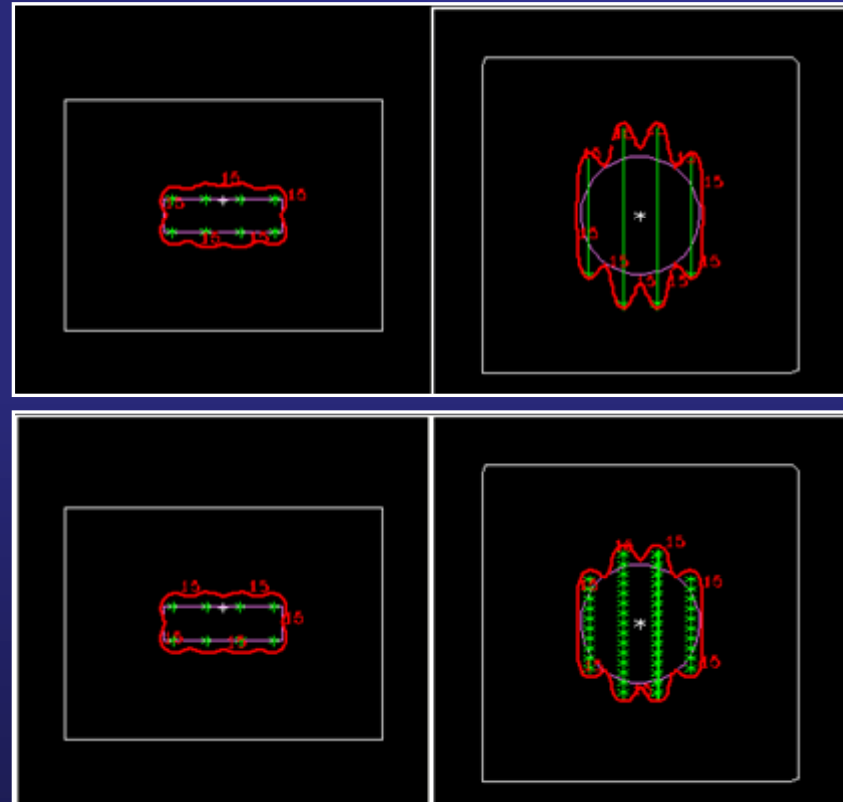
Tradycyjny system Paryski – technika LDR,
druty, np. irydowe

1. aktywność liniowa winna być taka sama wzdłuż osi oraz we wszystkich aplikatorach (liniach),
2. źródła winny być proste, równoległe założone i w równej odległości,
3. płaszczyzna centralna jest określona jako płaszczyzna zawierająca środkowe punkty wszystkich źródeł,
4. odległości pomiędzy źródłami mogą się różnić w zależności od rodzaju zastosowanego planu leczenia, natomiast w danym założeniu muszą być identyczne pomiędzy liniami.



Zasady planowania - PDR

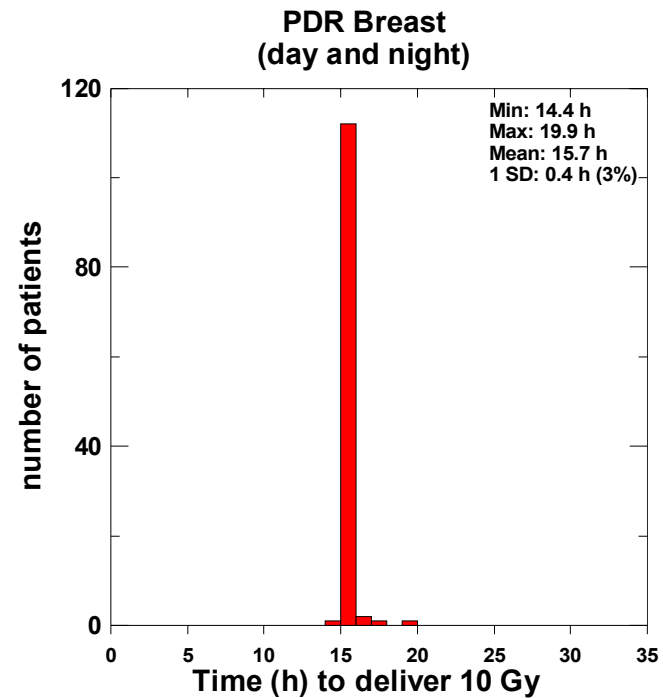
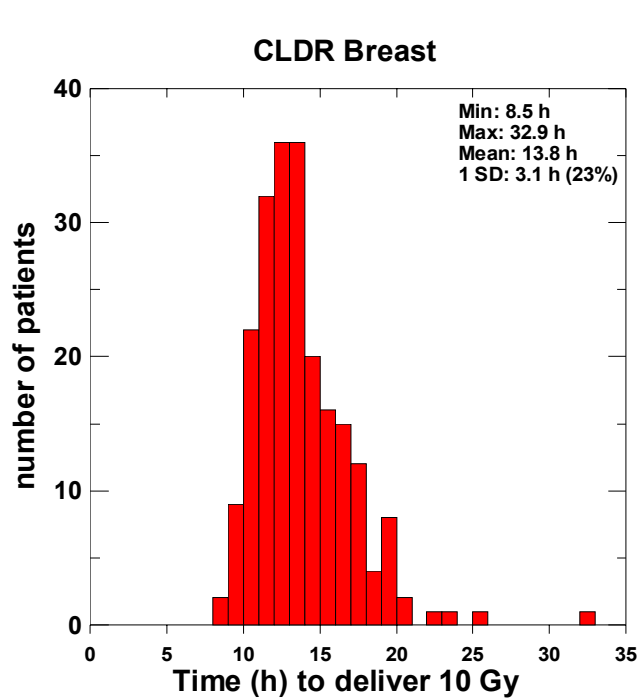
1. Różnica –
uwzględnienie techniki
„kroczącego,
pojedynczego źródła”,
2. Różne procedury
optymalizacji wpływają
na poprawę rozkładu
dawki,
3. Aplikatory w
dowolnych
płaszczyznach –
procedury 3D.



AMC. Amsterdam – The Netherlands

Efektywność dawkowania

Czas podania 10 Gy w piersi metodą LDR różni się znacznie w porównaniu z PDR



AMC. Amsterdam – The Netherlands

Koszty

AMC. Amsterdam – The Netherlands

Pojedyncze źródło stosowane w PDR prowadzi to:

- redukcji kosztów źródeł,
- redukcji kosztów pośrednich.

Doświadczenie AMC wskazuje na redukcję kosztów źródeł o 38%.

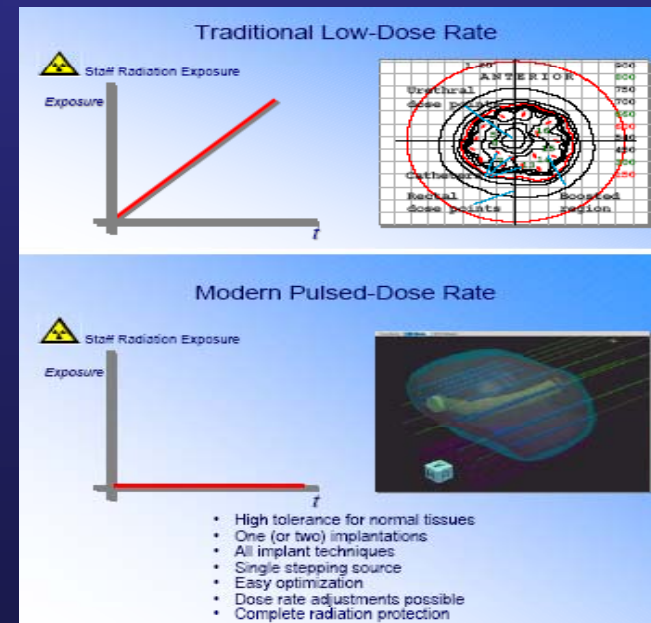
Period	1986-2001	1996-2004
Sources CLDR	401	
Total source cost CLDR	181966 €	
Treatments CLDR	701	
Sources PDR		39
Total source cost PDR		123774 €
Treatments PDR		764
Mean source cost per CLDR treatment	260 €	
Mean source cost per PDR treatment	162 €	

Ochrona radiacyjna

Kontrola narażenia na promieniowanie podczas PDR w Centre Alexis Vautrin - Nancy France oraz w the Academic Medical Center in Amsterdam pokazała znaczącą redukcję dawek w okolicy nadgarstków i klatki piersiowej



Centre Alexis Vautrin Nancy – France



Ochrona radiacyjna

Przykład AMC – prawie całkowita redukcja narażenia na dawkę

Period	Rad. Oncol.	Dosimetrist	Physicist	Total
1986-1995	1.59	11.41	1.22	14.22
1996-2001	0.24	3.40	0.05	3.69
2002-2004	0.00	0.05	0.00	0.05

Dose in mSv

**Z prezentacji - Koedooder – GEC ESTRO Budapest
2005**

PDR

Zalety

1. napromienianie impulsami z zaplanowaną przerwą przy zastosowaniu izotopów o wyższej aktywności / wyższej mocy dawki,
2. modyfikacja dawki impulsu, liczby impulsów, długości przerwy między impulsami, dawki całkowitej,
3. skojarzenie **korzystnych fizycznych właściwości metody HDR** (optymalizacja rozkładu dawek w obszarze leczonym, ochrona radiacyjna) z **pozytywnymi radiobiologicznymi cechami metody LDR** (lepsza ochrona zdrowych tkanek - mniejszy odsetek odczynów wczesnych i późnych),
4. **lepszy komfort leczenia** poprzez występowanie przerw między impulsami - personel może zająć się chorym w czasie przerwy między impulsami bez przerywania leczenia, odwiedziny rodziny, odpoczynek dla chorego,
5. wykorzystanie wielu różnych, cienkich aplikatorów – więcej wskazań,
6. mniejsze wymagania dotyczące osłonności,
7. możliwość wymiany źródła na HDR.

PDR

Wady

- 1. ryzyko odkształcenia oraz przesunięcia aplikatorów podczas wielogodzinnego leczenia,**
- 2. ryzyko wynikające z wielokrotnego wsuwania i wysuwania źródła do tego samego aplikatora,**
- 3. konieczność hospitalizacji chorych zwiększającej koszty leczenia,**
- 4. niewielka liczba leczonych chorych,**
- 5. przypadkowe błędy obsługi,**
- 6. stały nadzór w trakcie impulsu.**

Wyniki - PDR?

Dobre, ale:

- **brak badań randomizowanych z innymi metodami brachyterapii**
- **brak uzgodnionych międzyośrodkowych protokołów leczenia**

Rembrandt van Rijn (1606-1669) *Bathseba*; Louvre, Paris, France;
Cechy złośliwego guza w lewej piersi

Breast cancer and ArtJoop A. van Dongen
NOWOTWORY Journal of Oncology • 2003 • volume 53, Number 1 • 52-57



Jan Lys (1600-1657) *Vanitas*; Museum of Esztergom, Hungary;
Cechy złośliwego guza w lewej piersi

Breast cancer and Art: Joop A. van Dongen
NOWOTWORY Journal of Oncology • 2003 • volume 53, Number 1 • 52-57



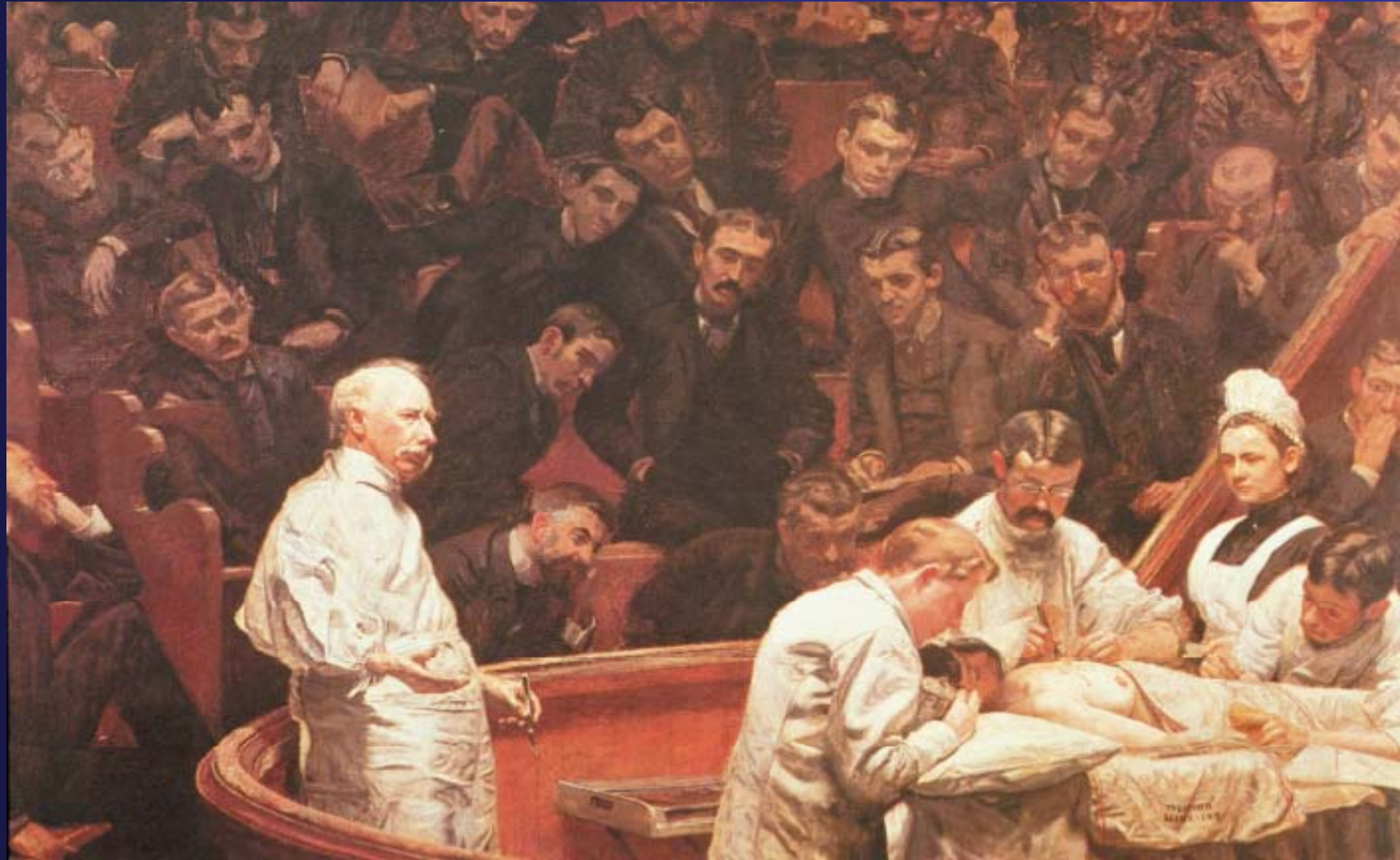
Romeyn de Hooghe (1645-1708) *Mastektomia*; Engraving in "Voorhof der Ziele" published in 1667 by Francois van Hoogstraaten; mastektomia jako metafora dla ostrego noża jako sposobu usuwania złych wiadomości

Breast cancer and ArtJoop A. van Dongen
NOWOTWORY Journal of Oncology • 2003 • volume 53, Number 1• 52–57



Thomas Eakins (1844-1916) *The Agnew clinic*; Pennsylvania University, Philadelphia, USA; Profesor Agnew wykłada podczas operacji raka piersi

Breast cancer and ArtJoop A. van Dongen
NOWOTWORY Journal of Oncology • 2003 • volume 53, Number 1• 52–57



**Georges Alexandre Chicotot (19th/20th century); *Selfportrait*,
Musée de l'Assistance Publique, Paris, France;
Jeden z pierwszych przykładów radioterapii raka piersi; 1908**

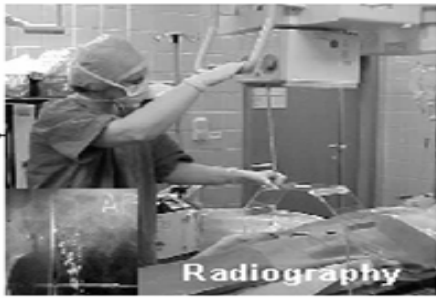
Breast cancer and Art: Joop A. van Dongen
NOWOTWORY Journal of Oncology • 2003 • volume 53, Number 1 • 52–57



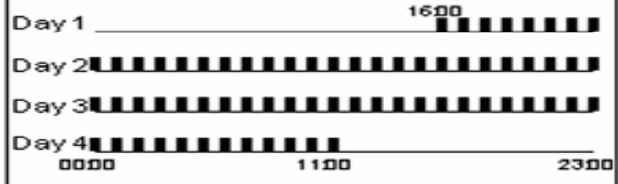
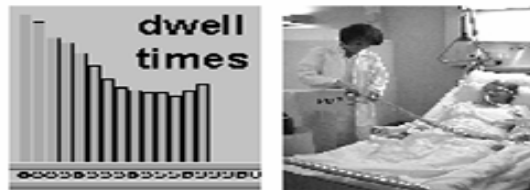
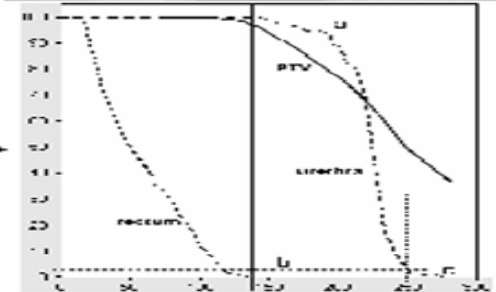
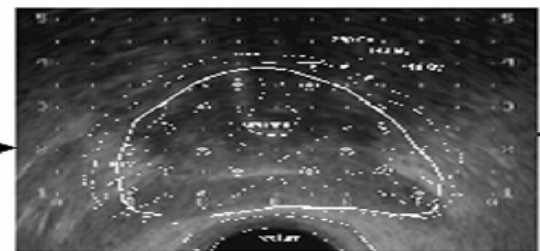
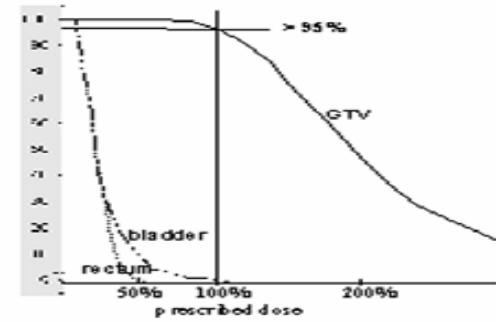
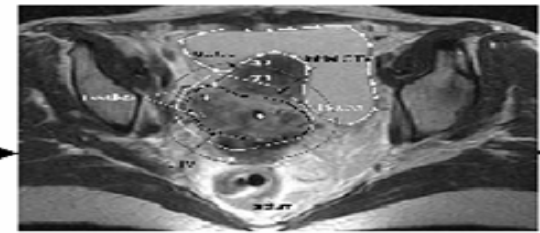
Kierunki rozwoju

1. Brachyterapia przy użyciu implantów stałych
2. Brachyterapia PDR
3. Planowanie 3-D w brachyterapii
4. IM-BT
5. IBU – Integrated Brachytherapy Unit
6. Wskazania do brachyterapii - uściślenie
7. Nowe techniki implantacji aplikatorów –
physician charisma
8. Quality Assurance, Quality of Live
9. Rekomendacje na przyszłość

Operation Theatre



Treatment Planning



Wskazania do brachyterapii

1. Współpraca z chirurgami:
leczenie skojarzone z chirurgią/teleradioterapią
2. Leczenie skojarzone z chemioterapią
3. Brachyterapia śródoperacyjna – IOHDR
4. Leczenie w ramach protokołów klinicznych
5. Randomizowanie badania porównawcze, triale
6. Analiza zysków i strat

Tumour Site	Tumour Size			Dose Rate			Afterloading systems								Implant	
	T1	T2	T3	L	H	P	PT	GG	HN	GN	PN	ST	Ap	Ct	T	P
Lip	+	+	+	+	±	+	+	±	+	+	+	+	-	-	+	-
Oral tongue	+	+	±	+	±	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
Floor Mouth	+	+	-	+	±	+	+	+	-	-	-	-	±	-	+	-
Buccal Mucosa	+	+	±	+	±	+	+	±	-	-	±	-	±	-	+	-
Oropharynx	+	+	+	+	±	+	+	±	-	-	-	-	-	-	+	-
Nasopharynx	+	+	-	±	+	±	-	-	-	-	-	-	+	+	+	±
Cervix	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
Endometrium	±	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-
Vagina	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-
IBT Gyn	±	±	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+
Breast	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	±	-	±	-	+	-
Bladder	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Prostate	+	+	±	+	+	+	+	-	-	+	±	-	-	-	+	+
Penis	+	+	-	+	±	-	±	-	+	-	-	-	+	-	+	-
Urethra	+	+	±	+	±	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-
Anus	+	+	±	+	-	±	±	±	-	+	+	-	-	-	+	-
Rectum	+	+	-	+	-	±	±	±	-	+	+	-	-	-	+	-
Oesophagus	+	+	+	±	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
Bile Duct				+	±	±	+	-	-	-	-	-	-	±	+	-
ST sarcoma	+	+	±	+	±	+	+	-	-	-	±	-	+	-	+	±
Bronchus	+	+	+	±	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Skin	+	+	±	+	±	±	+	-	+	±	+	+	+	-	+	-
Brain	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
Uv.Melanoma	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
Paediatrics M	+	+	±	+	±	+	+	+	-	±	±	+	+	-	+	-
Endovascular	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Keloids	-	-	-	+	±	-	+	-	-	-	-	±	±	-	+	-
Rendu Osler	-	-	-	+	-	±	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Pterygium	-	-	-		+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-

Dose rate: L : Low, H: High, P: Pulsed

Afterloading systems: PT: plastic tube, GG: guide gutter, HN: hypodermic needle, GN: guide needle, PN: plastic needle, ST: silk thread, Ap: applicator, Ct: catheter

Implant: T: Temporary implant, P: permanent implant

Metody brachyterapii:

Ze względu na aktywność źródła (moc dawki) brachyterapię można podzielić na:

- | | | |
|---------------------------|------------|------------------|
| 1. LDR (Low Dose Rate) | 1-2 mCi/cm | (0,4 - 2 Gy /h) |
| - PDR (Pulsed Dose Rate) | 1 Ci/cm | (0,5-1 Gy/h) |
| 2. MDR (Medium Dose Rate) | 100 mCi/cm | (2-12 Gy/h) |
| 3. HDR (High Dose Rate) | 10 Ci/cm. | (>12 Gy /h) |

[Raport ICRU 38]

- | | | |
|--------------|------------------|--------------------|
| 4. ultra LDR | (stałe implanty) | (0,01 – 0,3 Gy/h) |
|--------------|------------------|--------------------|

Brachyterapia przy użyciu implantów stałych

ultra LDR (stałe implanty) (0,01 – 0,3 Gy/h)

J-125 ziarna 0,028 MeV T = 59,6 dni

Paladium-103 ziarna 0,02 MeV T – 17 dni

Au-198 ziarna, druty 0,412 MeV T = 2,7 dnia

Ytterbium-169 (próby kliniczne)

Samarium-145 (próby kliniczne)

Americium-241 (próby kliniczne)

Cez – 131 (próby kliniczne) 0,029 MeV T = 9.7 dnia

- **Jod-125** – słabo zróżnicowane i szybko rosnące nowotwory,
- **Palladium-103** – guzy wolniej rosnące, lepiej zróżnicowane.
- *Im niższa energia emitowanych fotonów, tym większy transfer energii.*
- *Im większy transfer energii, tym większy efekt radiobiologiczny co wpływa na niższą dawkę całkowitą.*
- *Średnia energia Pd-103 wynosi 21 keV w porównaniu z 30 keV dla I-125.*
- *Ponieważ Pd-103 ma większy wpływ na efekt radiobiologiczny, dawka całkowita może być niższa.*

Typowe poziomy radiacji

Implanty Jodu-125 – prostata

- 100 ziaren o 0.36 mCi/ziarno = 36 mCi
- mniej niż 0.25 mR/h na 1m → 0.0025 mSv/h
- 17 dni - 1 mSv (tło)

Typowe poziomy radiacji

Selectron LDR (Cs-137)

- 10 peletek o 15 mCi/ziarno = 150 mCi
- 20 mR/h na 1m → 0.2 mSv/h
- 5 dni - 1 mSv (tło)
- w pomieszczeniu!

microSelectron HDR (Ir-192)

- źródło o 10 Ci = 10 000 mCi
- 4700 mR/h na 1m → 47 mSv/h
- 1.3 minut dla 1 mSv (tło)
- konieczna blokada drzwi!

Pd-103 Decay Table

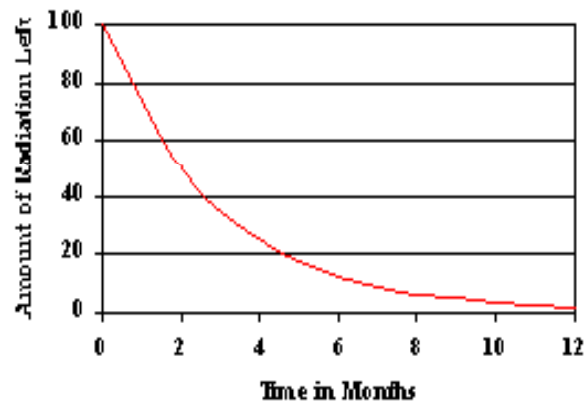
Pd-103 Decay		
Days	Comment	% Pd-103 Remaining
0	Implant Day	100
2		92.5
4		85.5
6		79
8		73
10		67
12		62
14		57
16		52
17	1st Half Life	50
18		48
20		44.5
22		41
24		38
26		35
28		32
30		29.5
32		27
34	2nd Half Life	25
36		23
38		21
40		19.5
42		18
44		16.6
46		15.2
48		14
50		13
51	3rd Half Life	12.5
54		11
57		9.7
60		8.6
64		7.3
68	4th Half Life	6.25
75		4.7
85	5th Half Life	3.125
106		2.5

15 10.2006

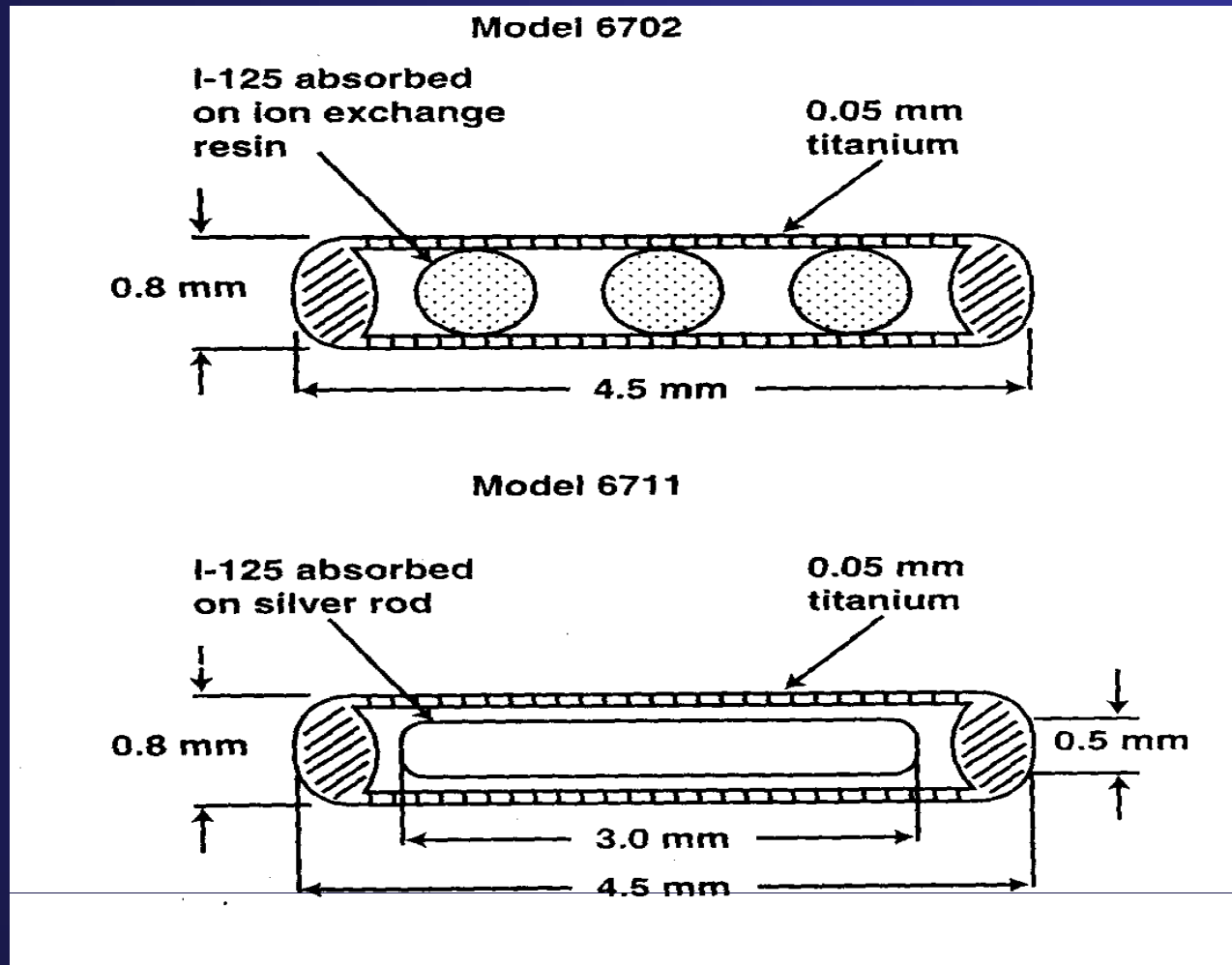
I-125 Decay Table

I-125 Decay		
Days	Comment	% I-125 Remaining
0	Implant Day	100
7		92.2
14		85.1
21		78.5
28		72.4
35		66.7
42		61.6
49		56.8
56		52.4
60	1st Half Life	50
63		48.3
70		44.5
77		41.1
84		37.9
91		34.9
98		32.2
112		27.5
120	2nd Half Life	25
150		17.8
180	3rd Half Life	12.5
198		10
240	4th Half Life	6.25
300	5th Half Life	3.125
360	6th Half Life	1.5625
396		1.0

78



Izotop Jodu - 125



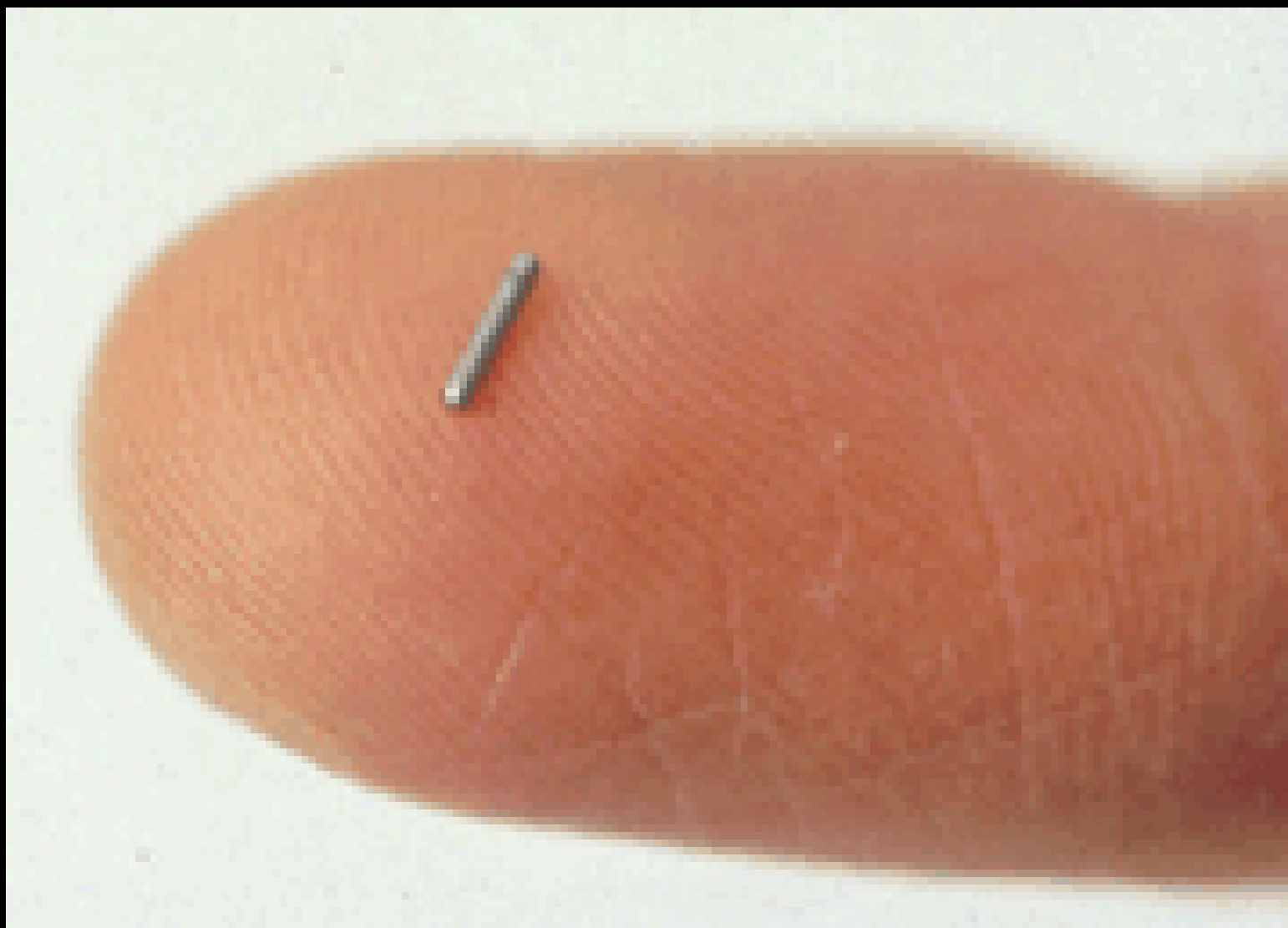


Figure 1

15.11.2006 **Źródła promieniotwórcze (implant stały) stosowane w leczeniu raka prostaty.**

