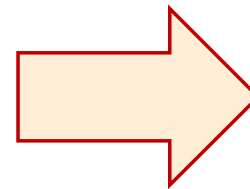
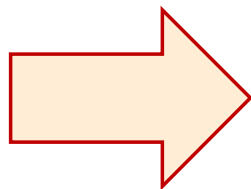


VYUŽÍVANIE ZDROJOV IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA V MEDICÍNE

Odborná konferencia sekcie WIN SNUS, 14.05.2025 Častá Papiernička

História a vývoj v radiačnej onkológii





Pokúsme sa približne definovať rok (udalosť), ktorý by sme mohli považovať za zrod rádioterapie

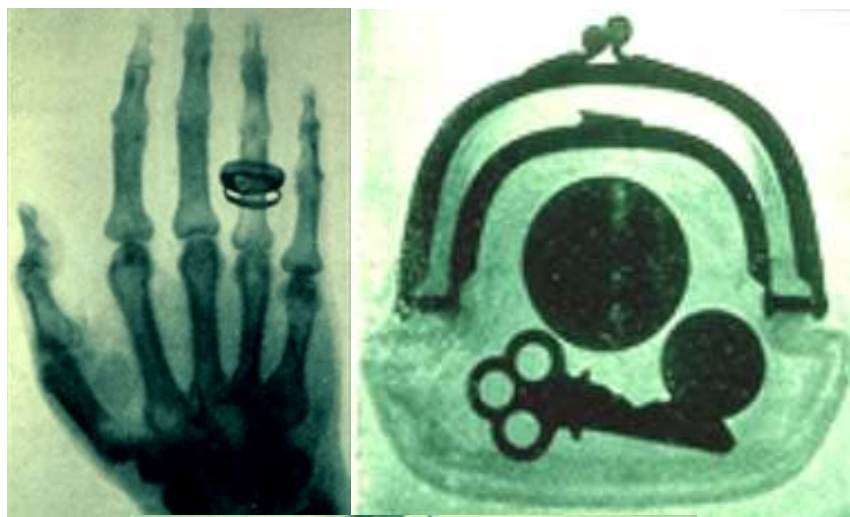
- Vieme, že teória Maxwellových rovníc vznikla v r.1865

To však bola iba teória, ktorej málokto vtedy rozumel.

- Koncom 19. storočia nastal zásadný zlom, ktorý spravili dvaja experimentátori, ktorí sa navzájom vôbec nepoznali (a pravdepodobne ani tie Maxwellove rovnice nepoznali 😊)
- Vilko sa ako malé dieťa stále hral s výbojmi v sklenenej trubici a neúnavná Mária prekopávala tony minerálu UO₂
- Ale každý sa za svoju usilovnosť dočkal výsledkov svojej práce



A Vilko aj Mária s veľkým nadšením prezentovali svoje výsledky s
“neviditeľným žiarením“ odbornej aj širokej verejnosti





Okamžite boli tým “neviditeľným žiarením” fascinovaní vedci v Európe aj za morom

- Ved' v r. 1895 W.Roentgen objavil neviditeľné žiarenie
- Už vo febr. 1896 vo fyzikálnom laboratóriu Dartmouth College E.Frost spravil 1.snímku zlomenej ruky



ROENTGEN RAYS AT DARTMOUTH

icture in Bone Detected—Coin Photographed Through Wood.

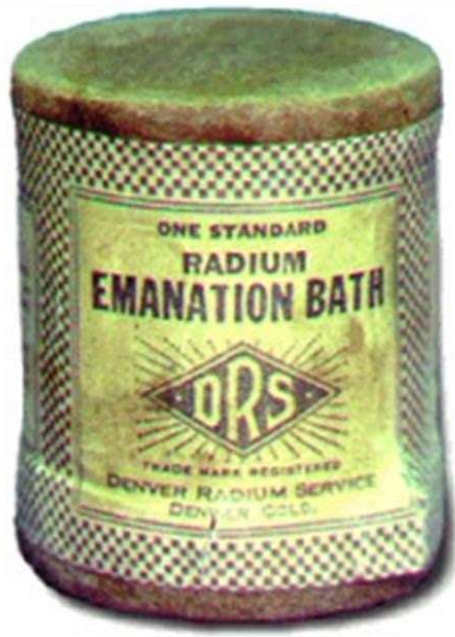
ANOVER, N. H., Feb. 9.—By means of Roentgen rays Profs. Emerson and st of Dartmouth College succeeded in tographing through one inch thickness wood. The negative of coin hidden between two pieces of wood was clearly seen the plate.
ie professors also photographed a broken with success. The bone gave a dist impression on the plate, and the fract was clearly visible.
he time of exposure in these experiments led from 10 to 30 minutes.



Ako Roentgen lúče, tak aj Ra lúče mali mnoho spoločného

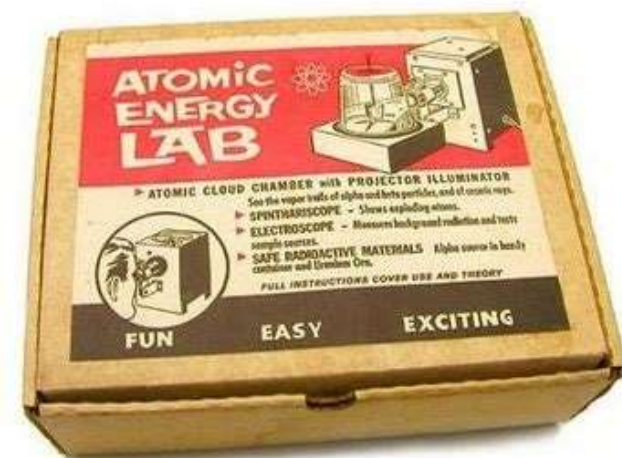
- Už krátko po objavení röntgenových lúčov sa ukázalo, že vystavenie žiareniu spôsobuje popáleniny kože – preto sa používali ako alternatíva elektroterapie a escharotiky pri liečbe výrastkov, BCC...
- Verilo sa, že žiarenie má baktericídne vlastnosti, takže Ra sa pridávalo k liečbe s odolnými bacilmi napr. TBC
- Horúce pramene sa stali hitom svojimi liečivými účinkami = zázračný liek na všetky druhy chorôb v patentovej medicíne a šarlatánskych liekoch.

➤ Svietiace Ra sa stalo hitom



Jeden bol však nepopierateľný fakt:

- Ak sa dámy ráno umyli mydlom s Ra a dali púder s Ra, ... určite zažiarili celý deň
- A keď si za odmenu dali poobede kúsok Ra-čokolády a potom sa hrali s deťmi s novou hrou AEL, tak ... 😊



Burk & Braun
RADIUM
SCHOKOLADE

zum Essen und Trinken
(NACH DR. SENFTNER D.R.P.)

Sind Sie gesund, so erhalten Sie
dadurch Ihr kostbares Gut, sind Sie
leidend, so erhöhen Sie Ihre Aus-
sicht, wieder gesund zu werden

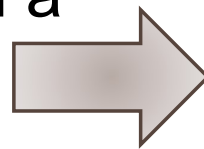
Versuchen Sie auch die übrigen
Burk & Braun-Edelerzeugnisse: Kakao,
Schokolade, Pralinen, Sie werden
darin Ihre Marke finden, denn alles
was den Namen *Burk & Braun* trägt
ist einzigartig köstlich!

BURK & BRAUN
KAKAO-U.SCHOKOLADENFABRIK
COTTBUS

[illegible]



- Lekárska veda verila, že malé dávky žiarenia nespôsobia žiadnu škodu a škodlivé účinky veľkých dávok sú dočasné.
- Široké používanie Ra v medicíne skončilo, keď sa zistilo, že fyzická tolerancia bola nižšia, ako sa očakávalo a expozícia spôsobila dlhodobé poškodenie buniek.



RADIUM THERAPY

The only scientific apparatus for the preparation of radio-active water in the hospital or in the patient's own home.

This apparatus gives a high and measured dosage of radio-active drinking water for the treatment of gout, rheumatism, arthritis, neuralgia, sciatica, tabes dorsalis, catarrh of the antrum and frontal sinus, arterio-sclerosis, diabetes and glycosuria, and nephritis, as described in

Dr. Saubermann's lecture before the Roentgen Society, printed in this number of the "Archives."

DESCRIPTION.

The perforated earthenware "activator" in the glass jar contains an insoluble preparation impregnated with radium. It continuously emits radium emanation at a fixed rate, and keeps the water in the jar always charged to a fixed and measurable strength, from 5,000 to 10,000 Maché units per litre per diem.



SUPPLIED BY

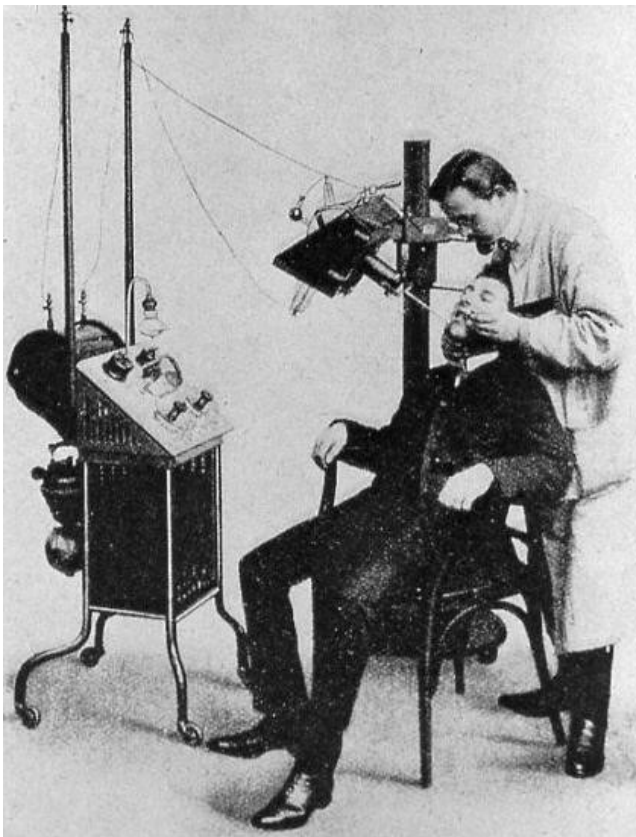
RADIUM LIMITED,

93, MORTIMER STREET, LONDON, W.

Telephone: 5111 & 5112



Vznik rádioterapie — v liter. nájdeme rôzne dátumy



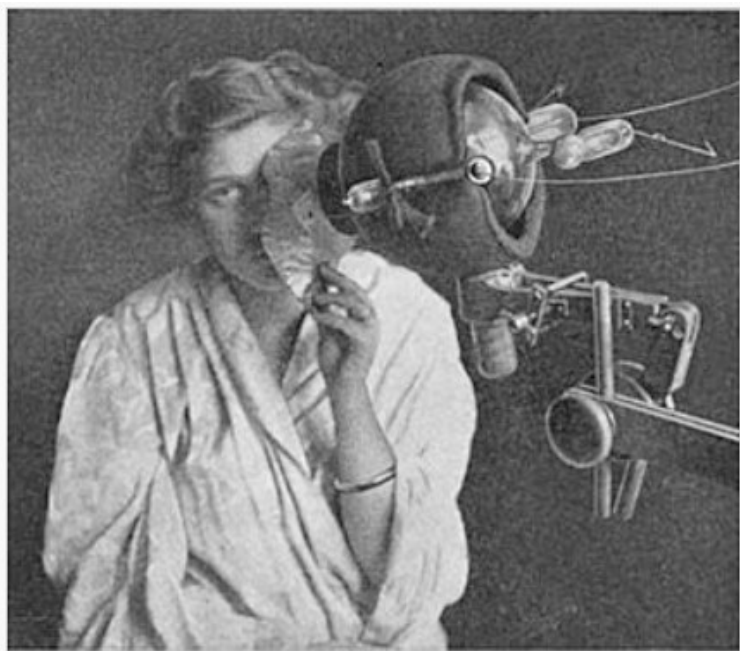
Emil Grubbe
(1875-1960)

- ako prvý pochopil obrovský liečebný potenciál X-lúčov lekár a fyzik, ktorý mal sám popáleniny spôsobené röntgenovými lúčmi – čo ho viedlo k myšlienke využitia v liečbe
- E. Grubbe, vtedy ešte študent medicíny, prehovoril profesora na ožiarenie prvej pacientky Rise Lee s pokročilým štádiom karcinómu prsníka,
- čím sa stal vlastne prvým radiačným onkológom na svete
- táto prvá aplikácia liečebná sa datuje 1896, ... (nie je to popletené s Frostom?)
- Niektoré zdroje tvrdia, že nebol ani oficiálnym lekárom, ale študentom medicíny alebo technikom – jeho prínos je však všeobecne uznávaný



X- žiarenie

$\approx 140 \text{ keV}$



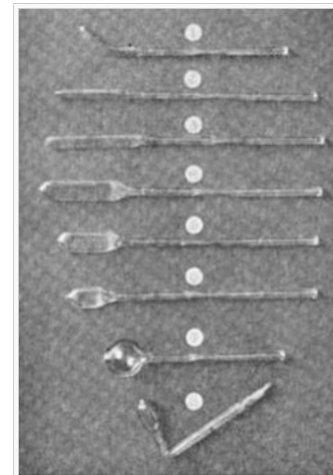
X-ray aparátúra pri ožarovaní tváre, 1915. Využívali sa tu prvky tienenia a presného nastavenia

Gama-žiarenie

$\approx 830 \text{ keV}$



Malé tuby s Ra položené na povrch tváre, 1905



Ra aplikátory, 1915



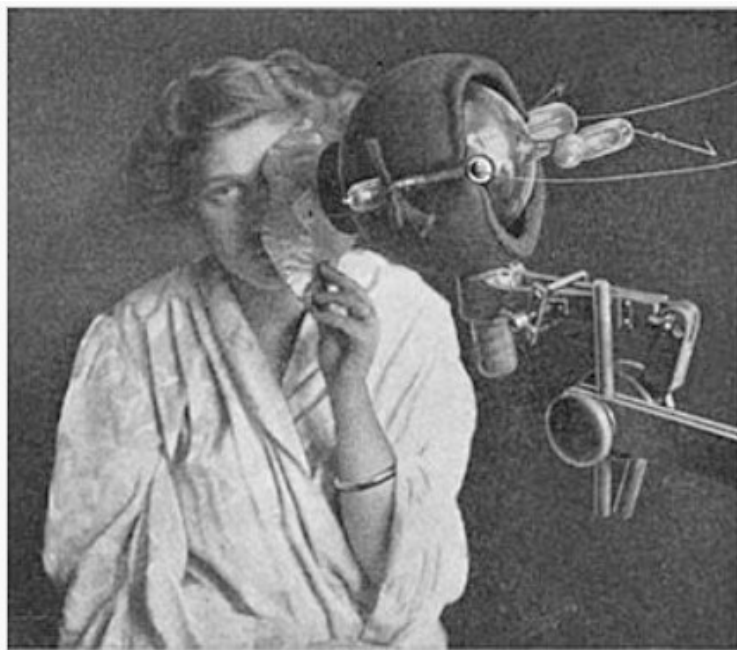
Ihly s Ra vložené do prsníka, 1920



Externá terapia

RTG-prístroj

≈ 140 keV



X-ray aparátúra pri ožarovaní tváre, 1915. Využívali sa tu prvky tienenia a presného nastavenia

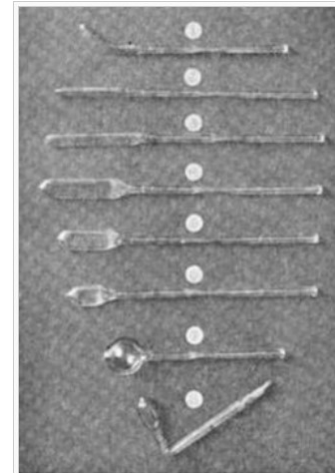
Brachyterapia

Rádium

≈ 830 keV



Malé tuby s Ra položené na povrch tváre, 1905



Ra aplikátory, 1915



Ihly s Ra vložené do prsníka, 1920



Rádium v terapii sa rýchlo ujalo ($T_{1/2}$ – 1626r.)

- Professor na Radium Institute v Paríži Claude Regaud, prvý spozoroval, že je oveľa efektívnejšie a podstatne viac tolerované, ak sa dávka dáva pomaly, v jednotlivých frakciách počas niekoľko dní až týždňov
- **1934** – Henri Coutard – sledoval už široké spektrum lokalít a je priekopníkom - **Frakcionovanej terapie**, jeho výsledky sú v podstate platné dodnes
- Počiatky (empirickej) rádiobiológie



Claude Regaud
(1870-1940)

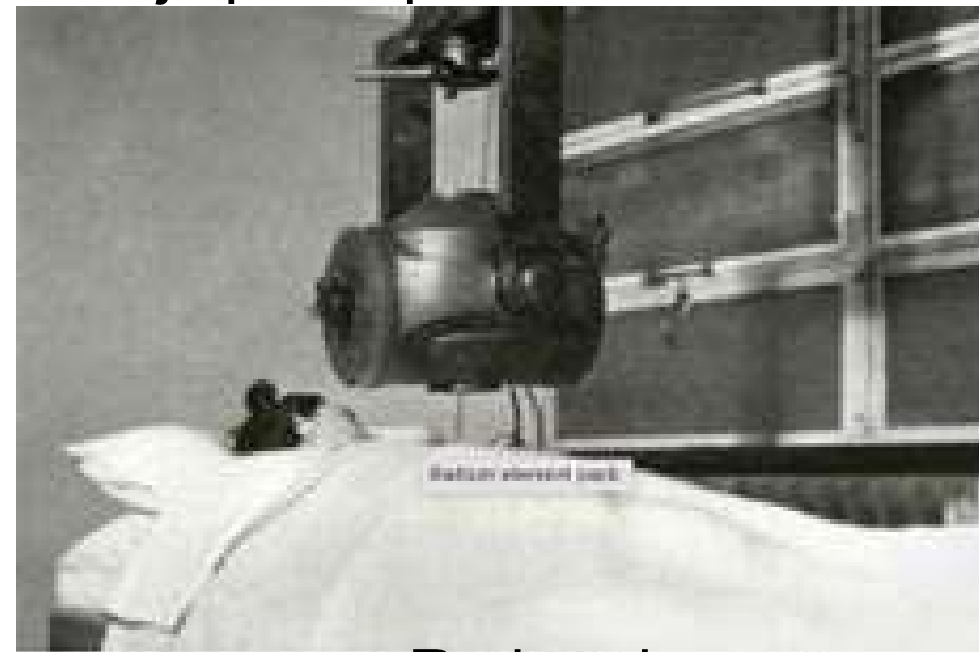
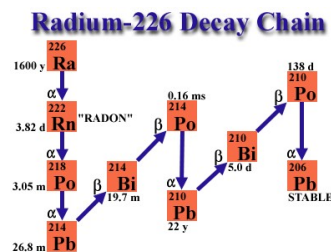
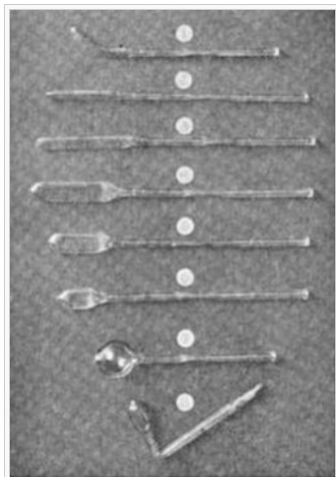


Henri Coutard
(1876-1950)



RTG dosiahla hranicu svojich technických možností

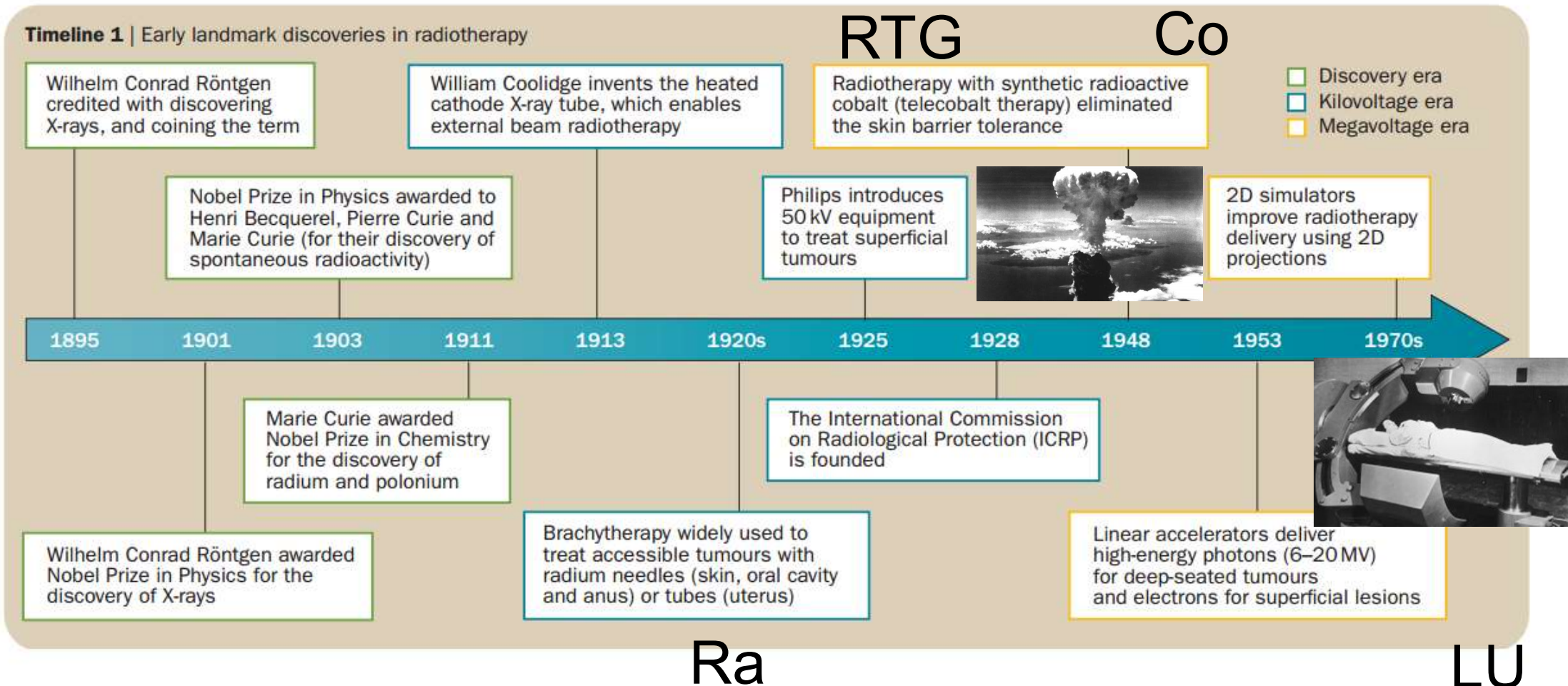
- V brachyterapii sa použitie Ra osvedčilo, tak vznikla idea, spraviť silný zdroj Ra a ožarovať “zvonku“
- Vysoká koncentrácia Ra $\rightarrow$ Rn (+8) nebol najlepšší nápad



- Ra bomba



➤ História radioterapie do r.1970





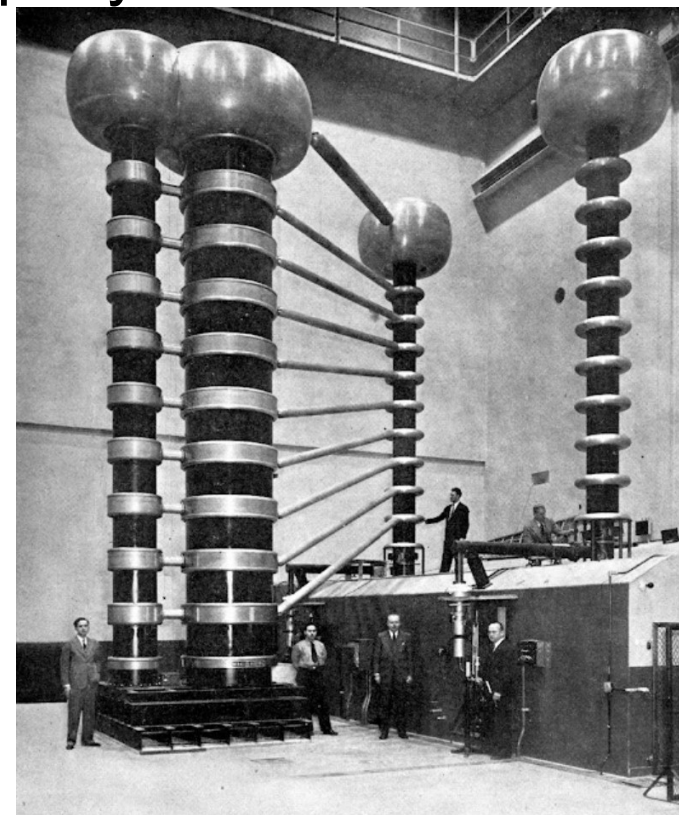
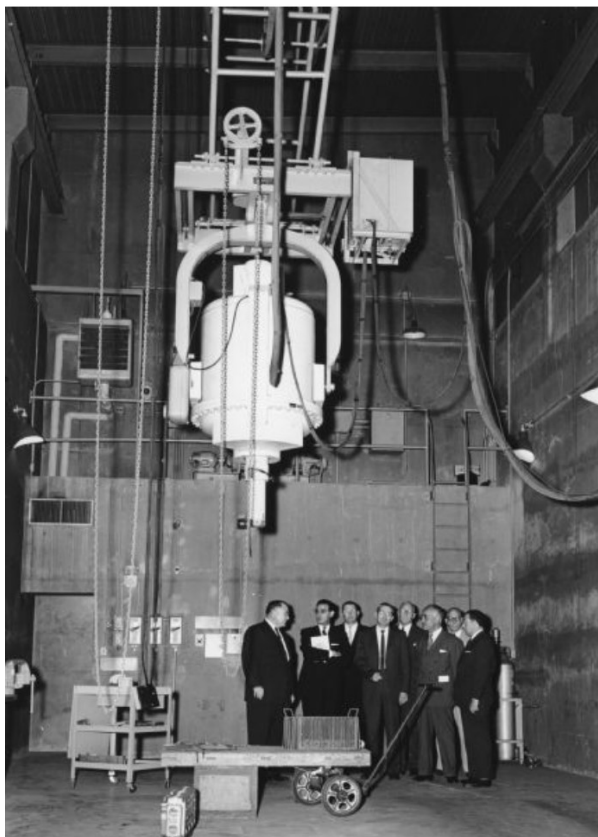
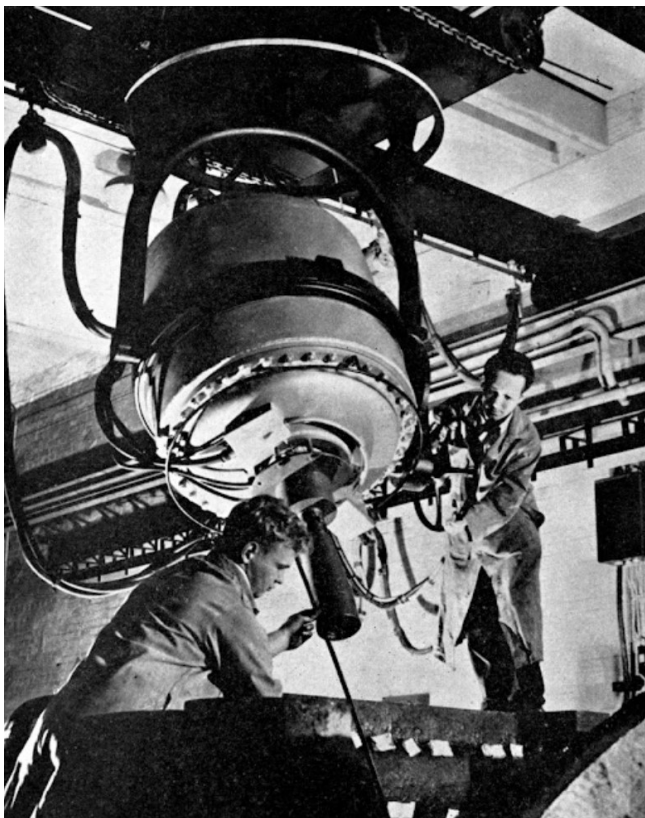
Prvý komerčný urýchl'ovač – betatrón (1953?)





Pokus preraziť s 1 Million Volt X-ray machine - 1960

International Harvester Company

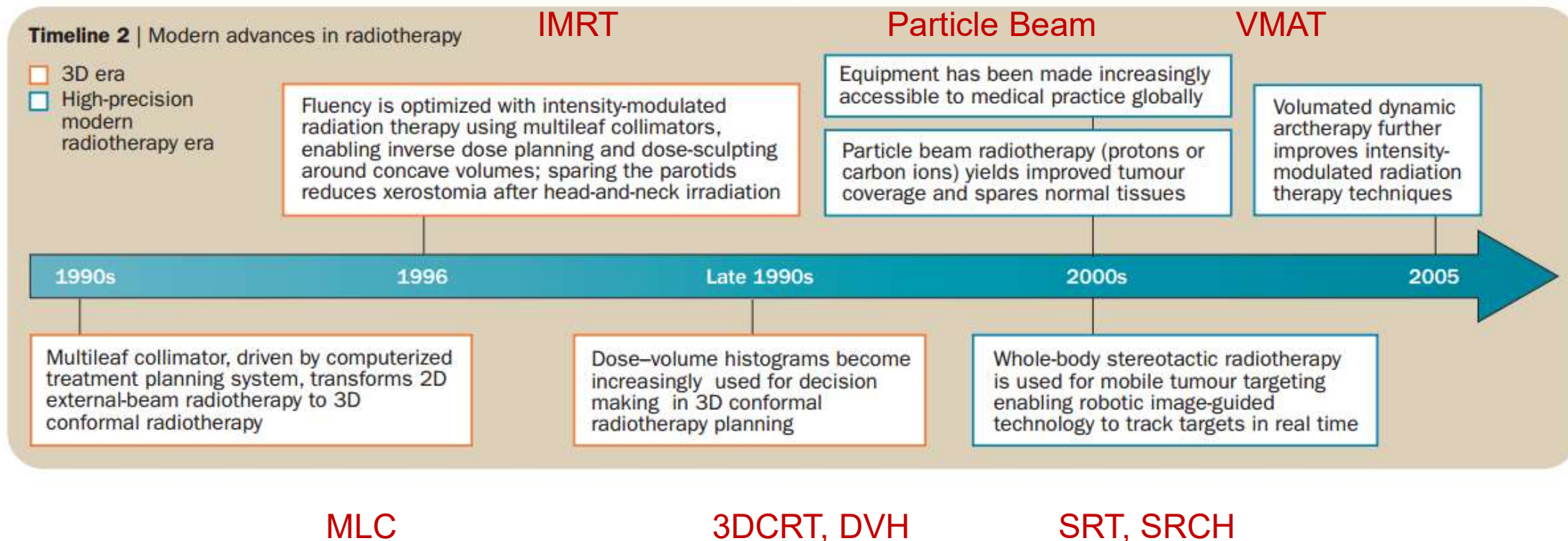


- No smer bol už jasný – Cobaltové ožarovače a lineárne urýchľovače



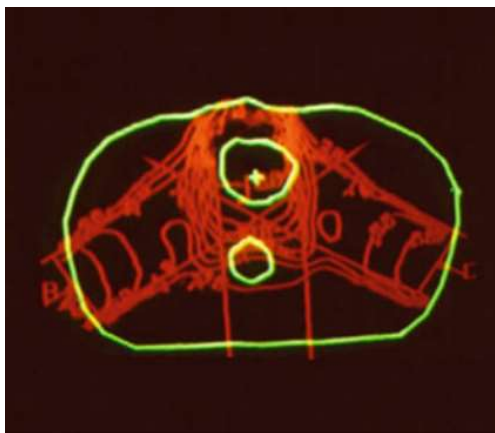
História modernej rádioterapie po r.1980

- “**3D éra**” plánovanie pomocou TPS na CT

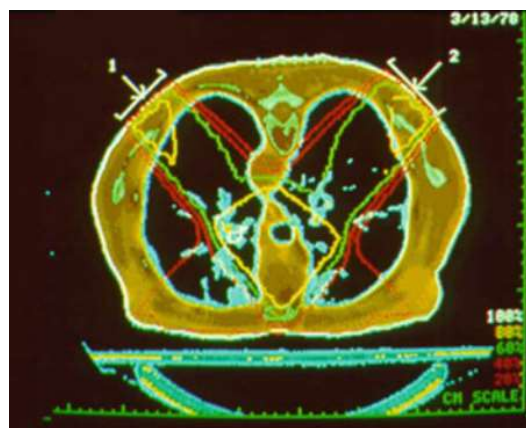




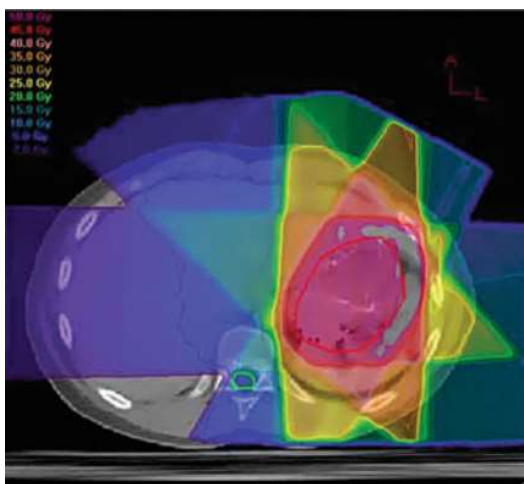
Evolúcia plánovacích systémov



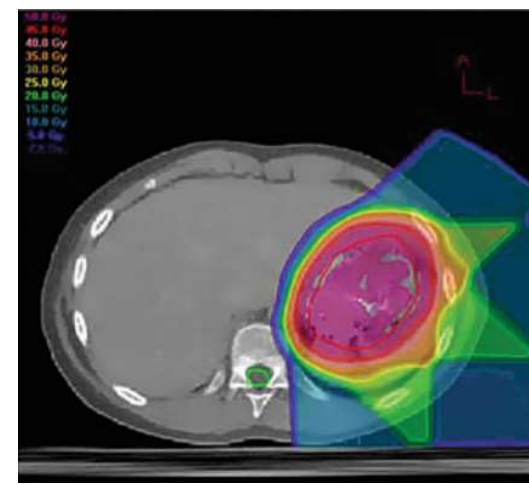
■ TPS LLUMC - 1970



► TPS LLUMC - 1978



► TPS 6 Field IMRT - 2000



► TPS 3 Field proton - 2010

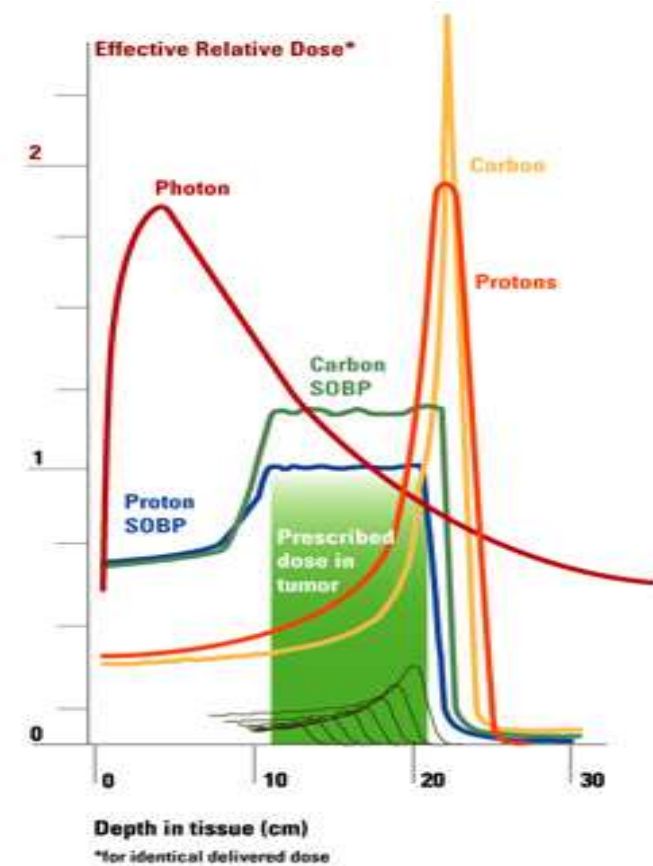


➤ Veľké míľniky v RT

- Nespôsobili ani tak objav nových druhov žiarenia (aj keď v 50-60r. syntetizovaných extrémne množstvo nových izotopov) alebo použitie ťažších korpuskulárnych častíc (ktoré samozrejme majú svoje nesporné výhody)

ale

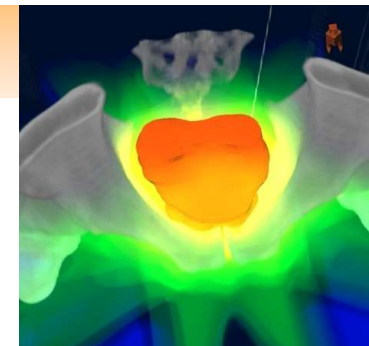
- 3D plánovanie
- Optimalizácia ožarovacích techník,
- Zavedenie IGRT
- Online sledovanie pozície pacienta
- Prispôsobenie sa aktuálnej polohe, veľkosti ložiska (adaptívna RT)



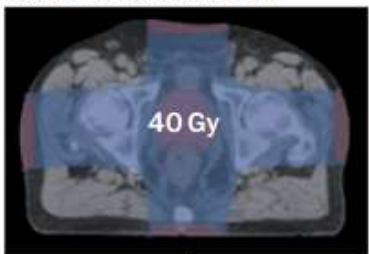


➤ Ožarovanie prostaty ExRT 1935-2010

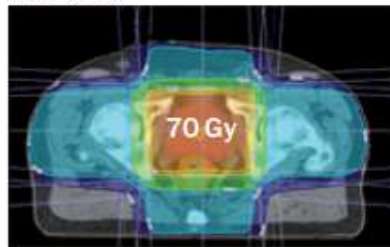
Vývoj jednotlivých ožarovacích techník



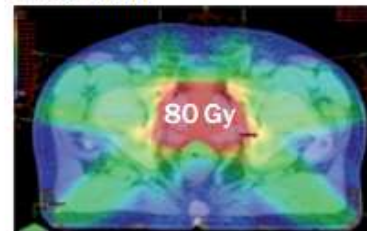
Schematic 200 kV RT



Linac 2D



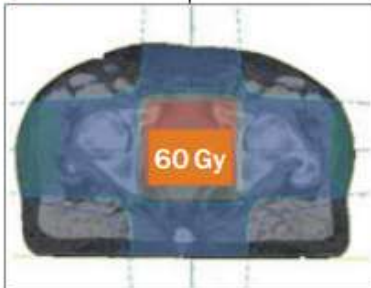
Linac IMRT



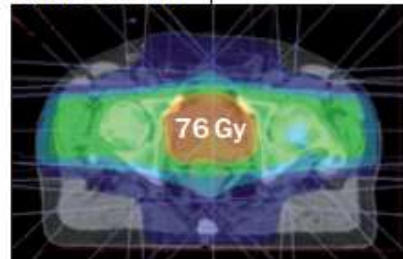
Carbons



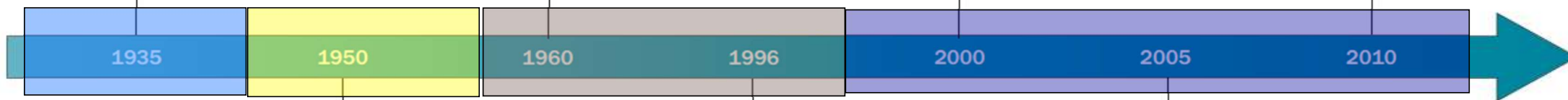
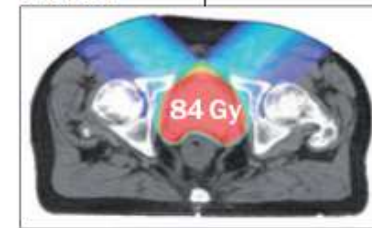
^{60}Co



Linac 3D-CRT



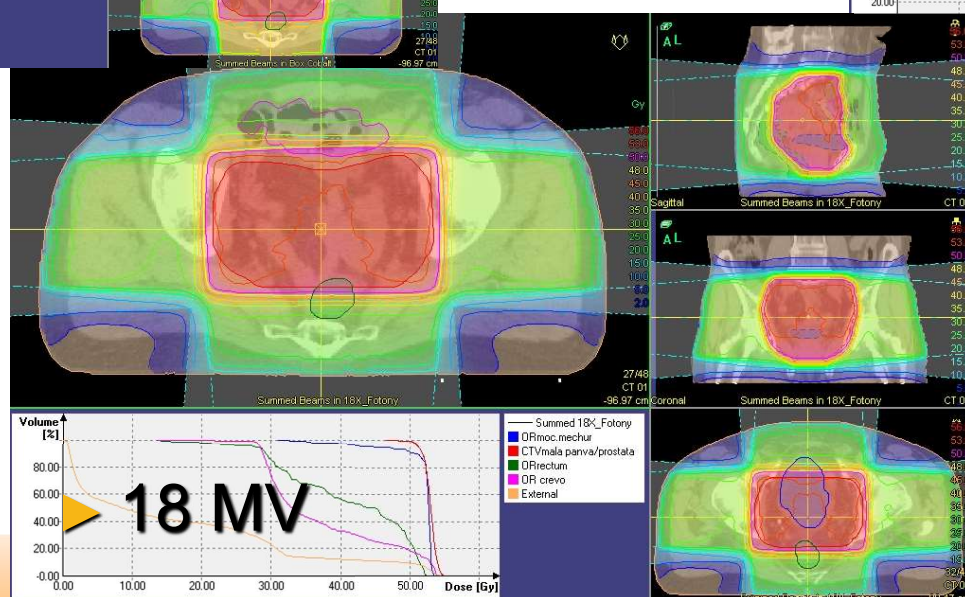
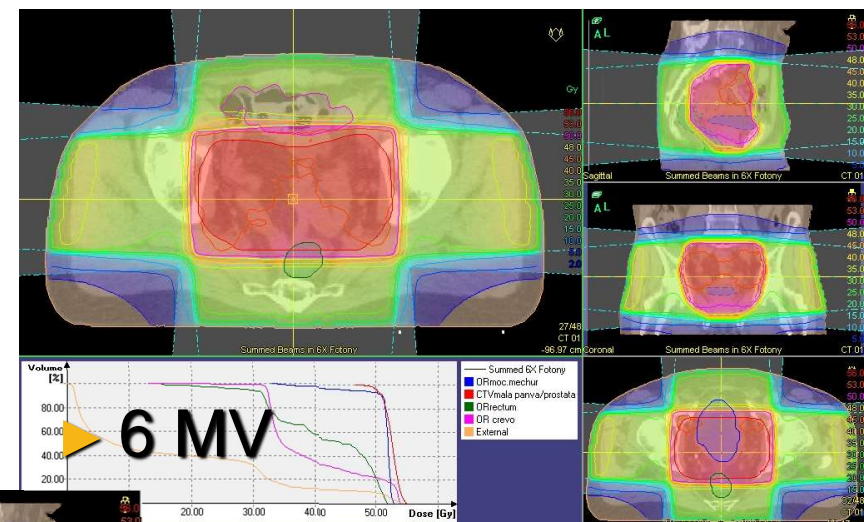
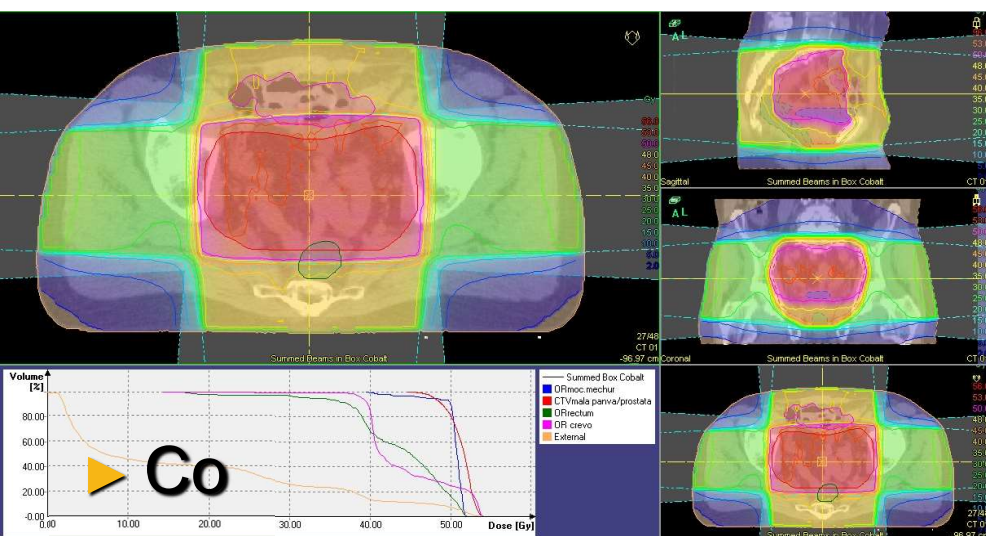
Protons





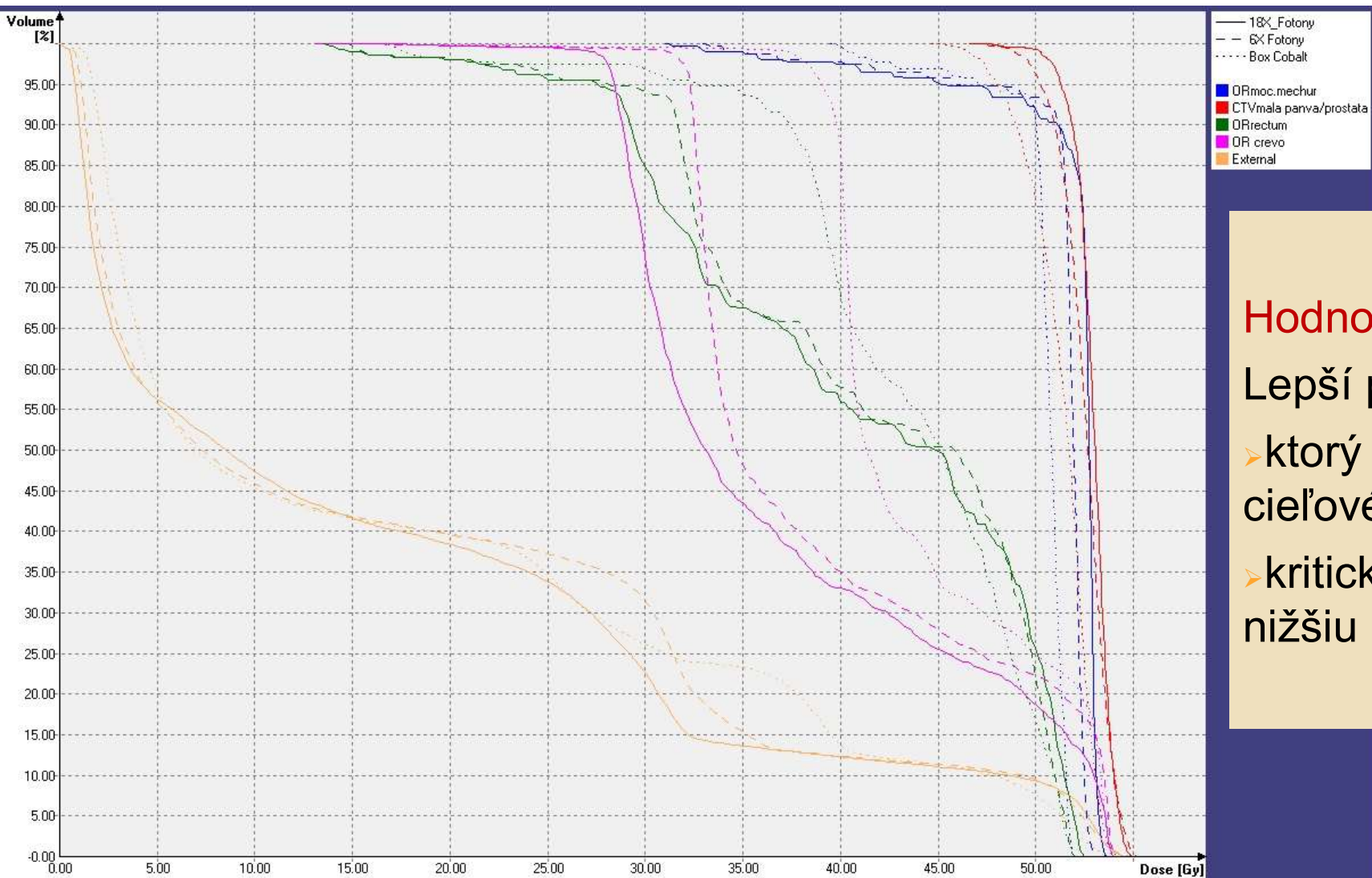
➤ 3D plánovanie

- Ako hodnotiť návrh ožarovacieho plánu?
- Ktorý je lepší?





Porovnanie plánov pomocou DVH



Hodnotenie plánov z DVH:

Lepší plán je ten

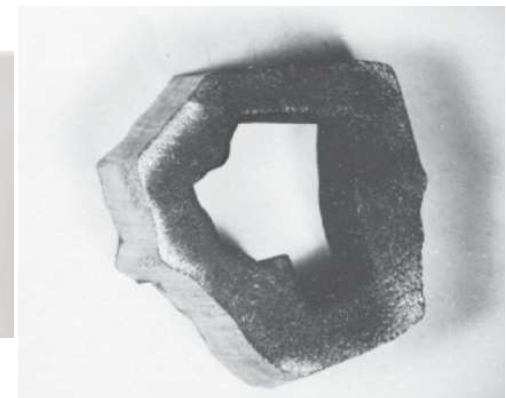
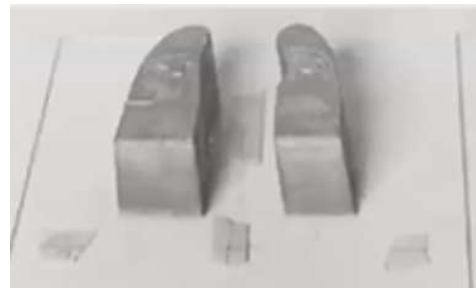
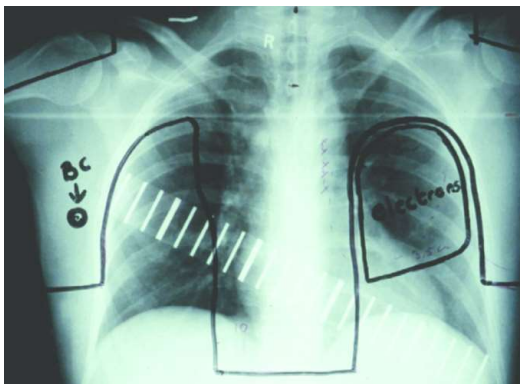
- ktorý pri rovnakom pokrytí cieľového objemu
- kritické orgány dostanú nižšiu dávku

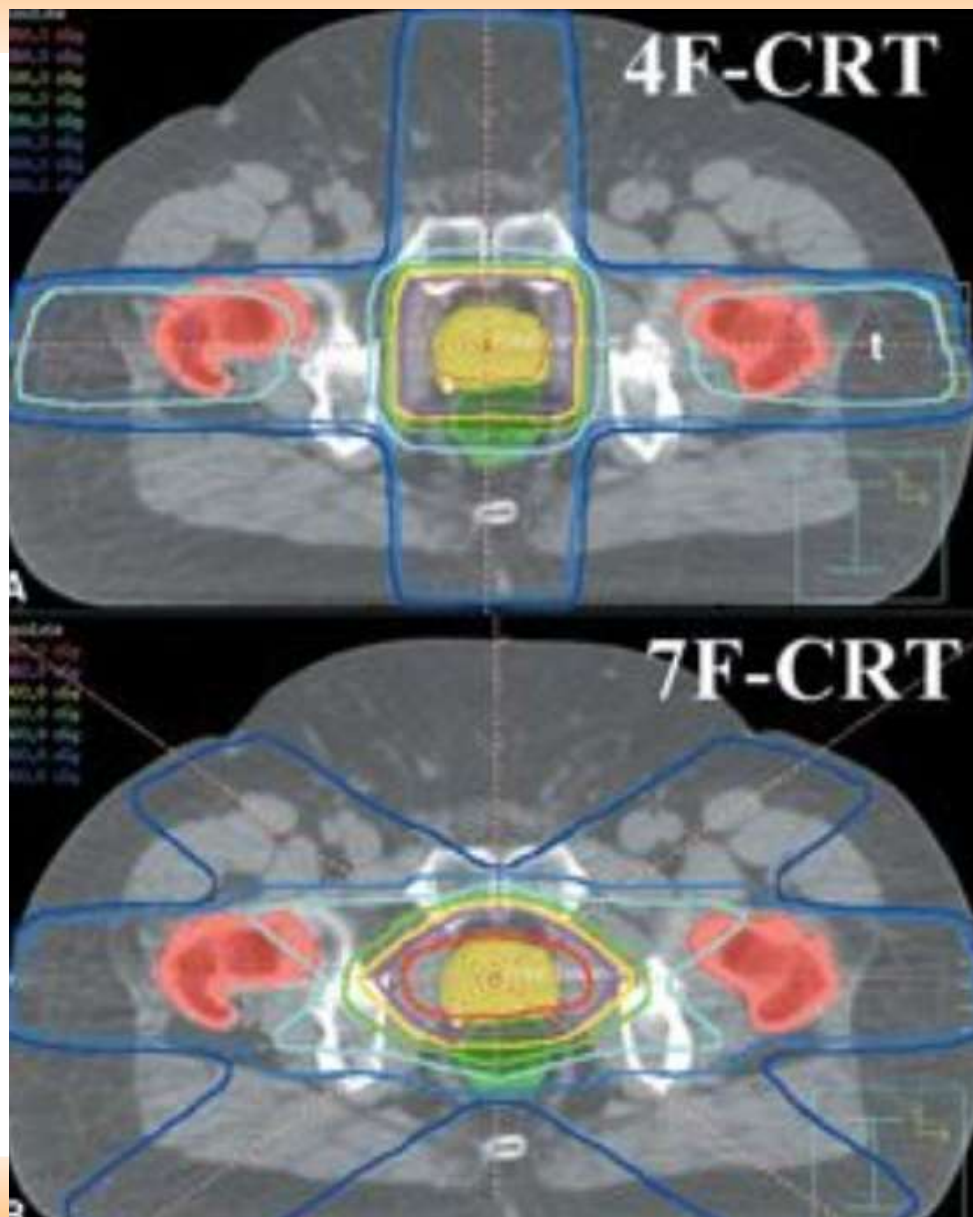


➤ Optimalizácia

Konformná rádioterapia

- RT je známa tým, že maximálne využíva všetky dostupné možnosti techniky
- **Tvarovanie polí** – jednoduchý spôsob ako chrániť kritické orgány (vykrývať ich napr. blokmi, pohlcujúcimi žiarenie)
- **Rozloženie dávky viac v priestore** (viac polí)

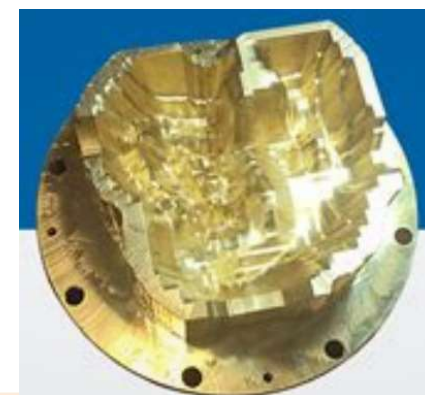




- Určite máme lepšie optimalizovanú dávku

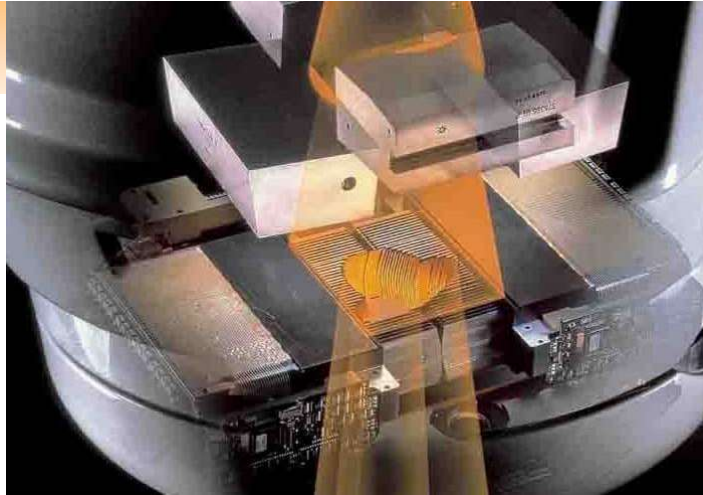
Ale

- Viac polí = viac blokov = Viac práce = dlhšie ožarovanie
- Ak chceme meniť intenzitu poľa, tak iba pomocou individuálnych kompenzátorov pre každé jedno pole





Optimalizácia

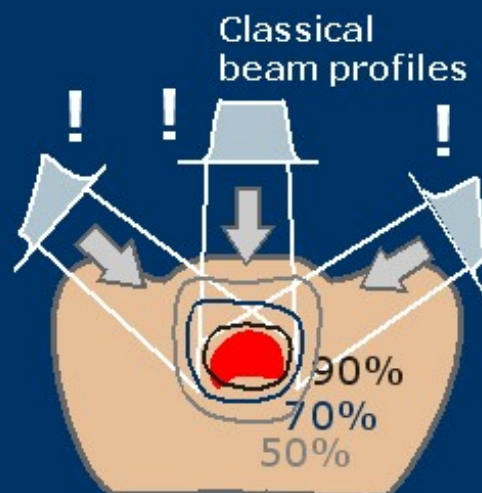


- Nápad: Čo tak na hlavicu namontovať okrem clôn, určujúcich veľkosť poľa aj "sériu lamíel", ktoré by veľmi jednoducho vytvarovala požadované pole?
- A keď (MLC) vie jednoducho vytvarovať pole, tak v princípe vie v určitých miestach ožarovacieho poľa nech pridať, resp. ubrať z dávky?
- A keďže vieme, že ktorý plán je lepší, prečo to neotočiť, a nepovedať plechovej mašinke, čo chceme a ona to vypočíta za nás?



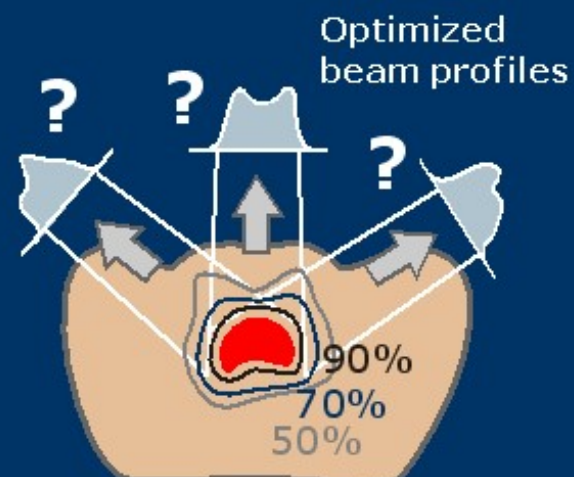
➤ Inverzné plánovanie

Conventional treatment planning



- Standard beam configurations
- Simple beam profiles (uniform or wedge shaped)
- "What is the resulting dose?"
- Plan modification by trial-and-error

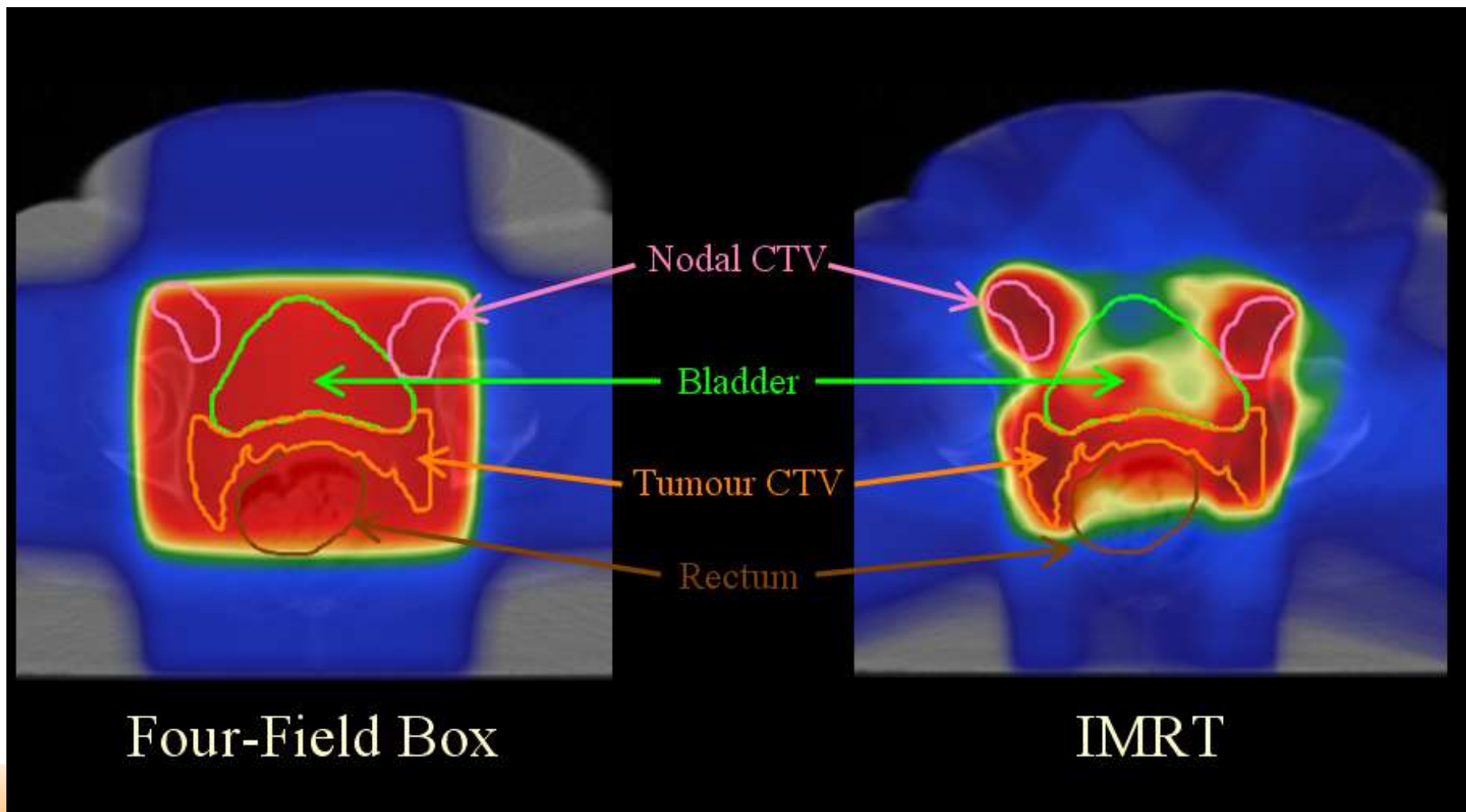
Inverse treatment planning

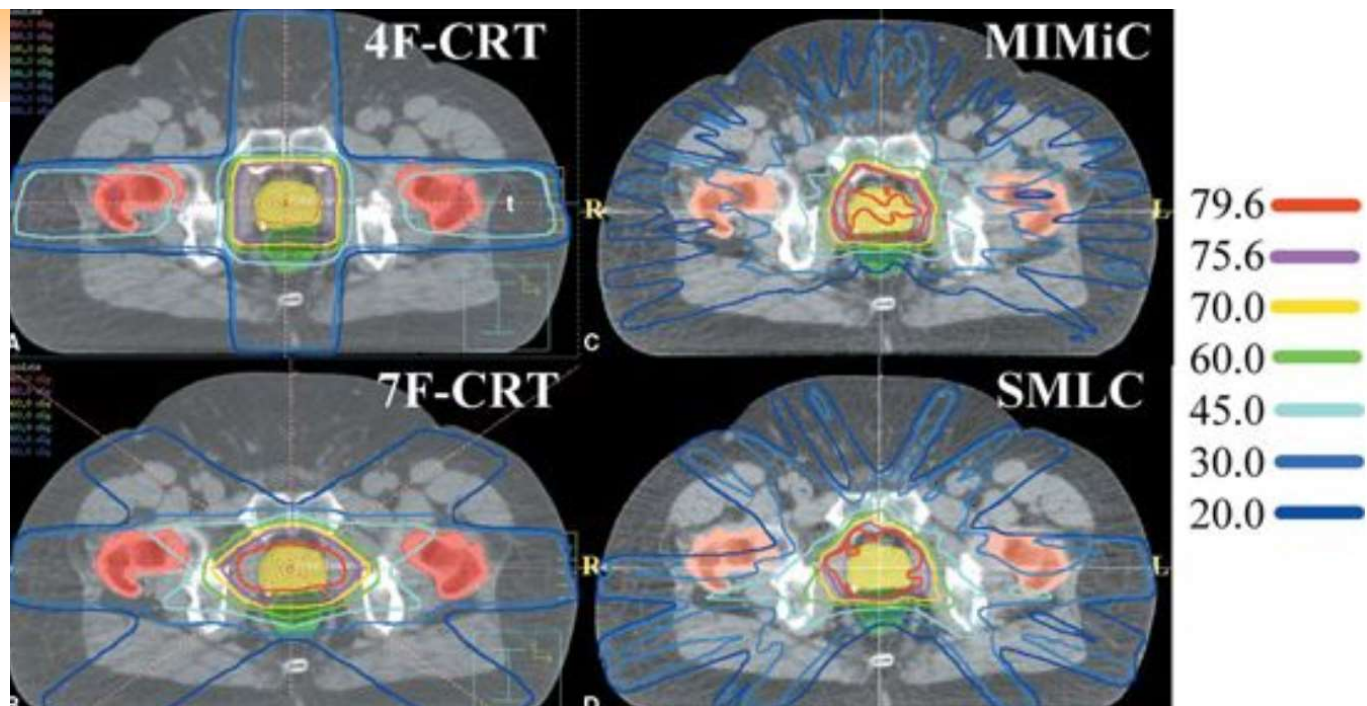


- Requirements on the desired dose distribution
- "Find the best possible beam configuration and beam profiles!"
- Optimization problem
- Best solution with modulated beams



➤ Intenzitou modulovaná rádioterapia





- V každom prípade môžeme lepšie s IMRT, presnejšie tvarovať polia
- **Dávka lepšie rozložená, vieme sa vyhýbať OR**
- **Ale ...**
- **Naozaj trafíme presne to, čo bolo zakreslené na CT?**
- **Ako môžeme vedieť pri konkrétnom ožiarení, či sme naozaj presne?**

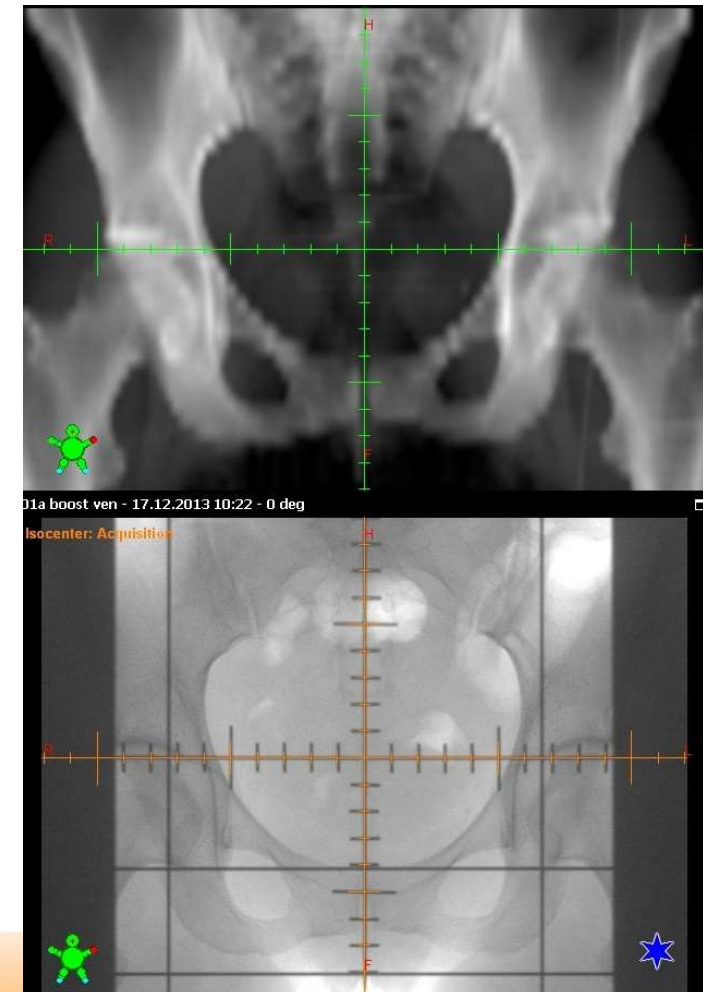


➤ s IMRT nutnosť použitia IGRT

- **Obrazová verifikácia pozície pacienta (orgánov) pred každým ožiarení**
- Začiatky s filmom

EPID – 2D MV snímky

- Viem si relatívne presne dostaviť pacienta na kostenné štruktúry
- Neviem však identifikovať rizikové orgány, rektum je plné či prázdne?





➤ **prečo pri IGRT nepoužiť 3D obraz?**

- Dostanem podstatne väčšiu informáciu o orgánoch
- A máme aj jednoduché riešenie:
- Spraviť CT pred samotným ožiarением
- Vidím presne tvar pozíciu OR

CT s Linacom





➤ **IGRT s CT obrazom**

- Integrovanie CT do ramena urýchľovača – štandard od r. 2004

kV source on
robotic arm

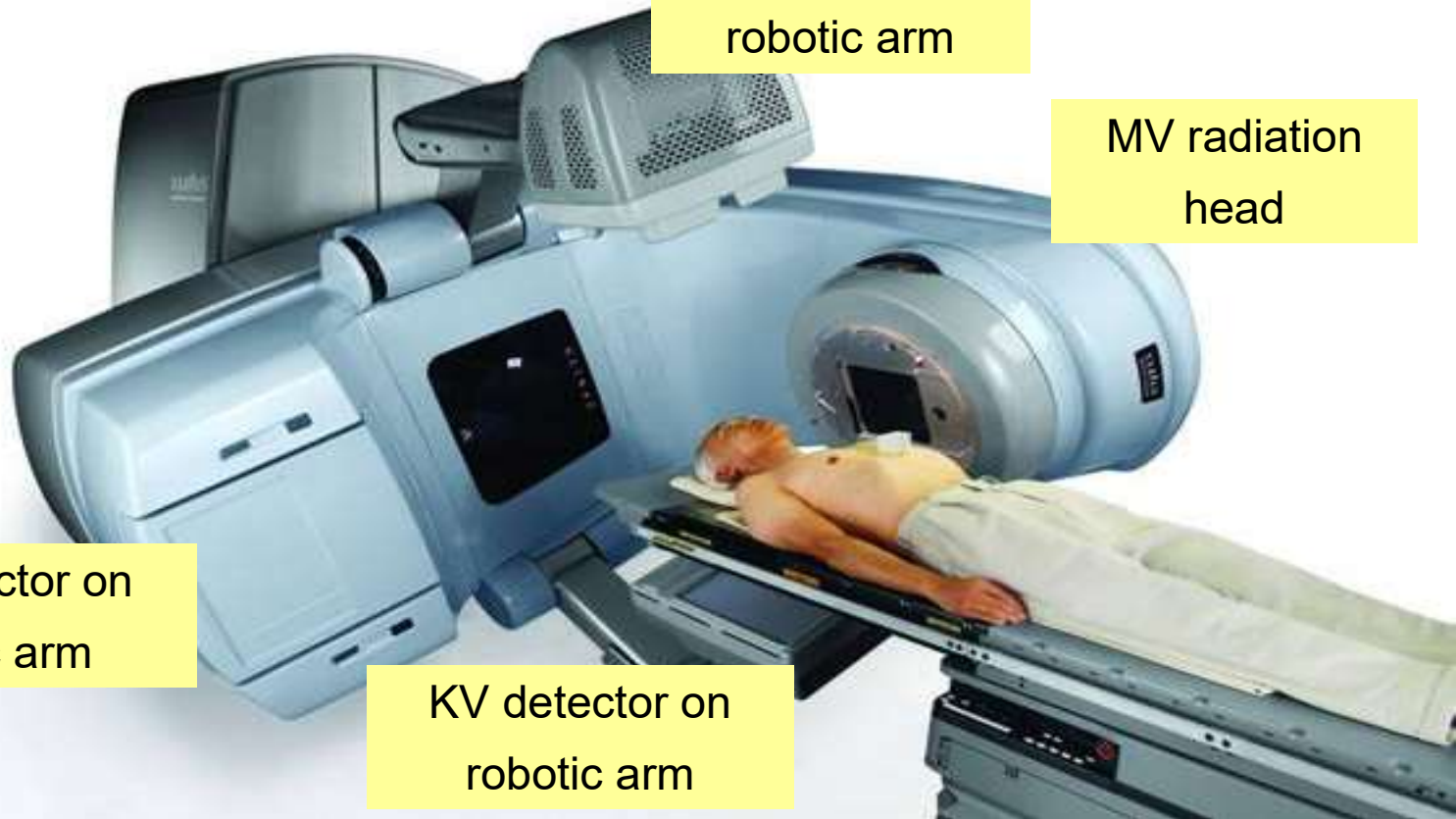
➤ **CBCT**

MV radiation
head

Kvalita obrazu $\approx$ CT

MV detector on
robotic arm

KV detector on
robotic arm

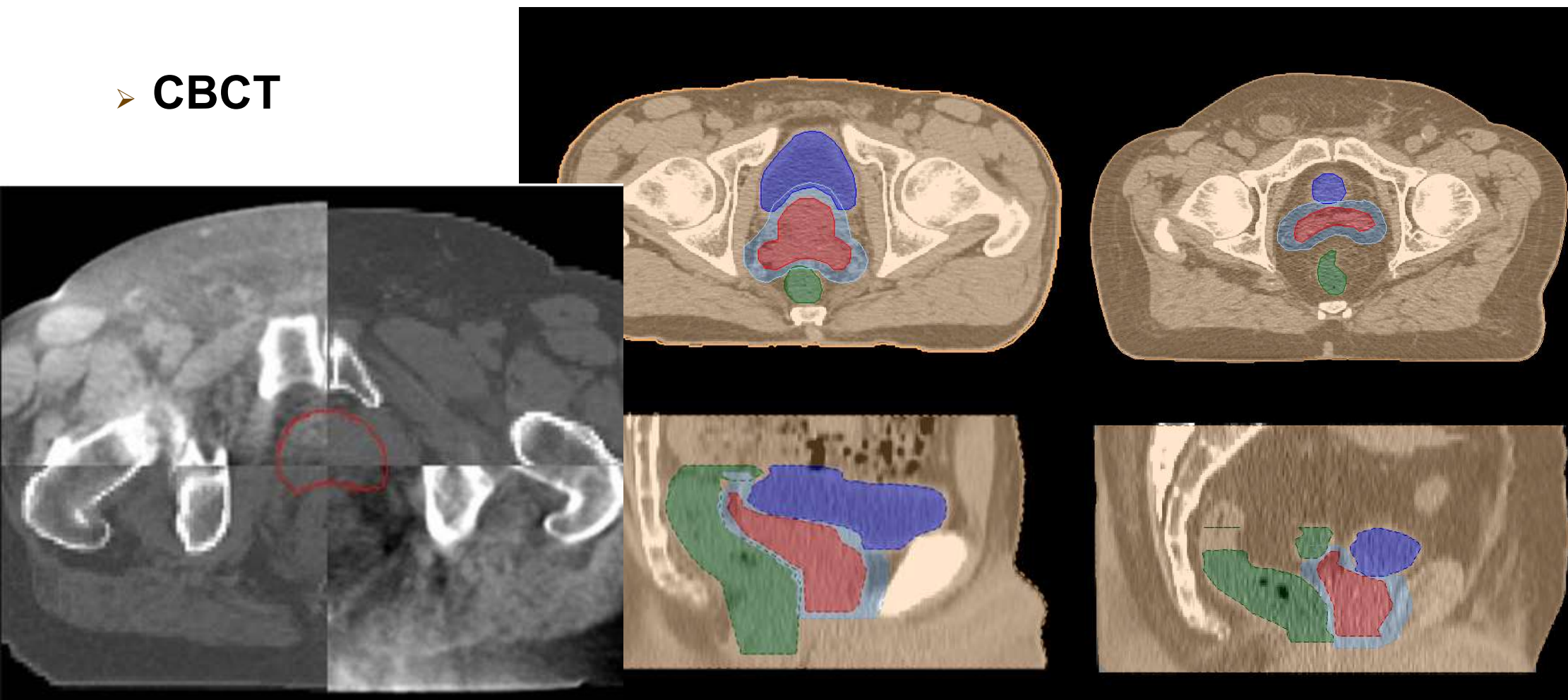




➤ IGRT s CT obrazom

- Pred každým ožiarom viem presne identifikovať tvar, pozíciu OR

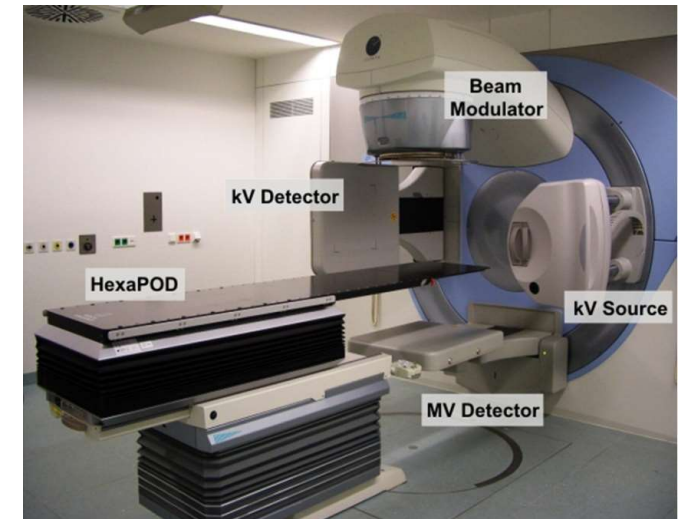
➤ CBCT





➤ IGRT + 6D

- Je možné naozaj extrémne presne nastaviť pacienta na základe rigidnej registrácie obrazov plánovacieho CT a CBCT
- Ale čo **keď** bude pacient trošku zrotovaný?
- **Riešenie – dokúpiť 6D stôl,**
(okrem translácie ďalšie 3 stupne voľnosti v rot.)
- Ale nespokojní vrtáci sa budú ďalej pýtať:
- Dobre, ale to všetko som spravil pred ožiareníím, kým sa údaje načítali a spracovali, spravila sa registrácia, **prebehlo niekoľko minút, dovedy sa mohol pacient pohnúť!**





IGRT online

Online verifikácia pozície pacienta

r. 2007

- Online snímky z 2 RTG sa porovnávajú s DRR
- Okamžitá korekcia pomocou 6D stola



Varian and Brainlab Novalis Tx



Accuray's CyberKnife



IGRT

- Ale nespokojní vrtáci pokračujú ďalej:
- Vidím výborne rizikové orgány, ale **nevidím presne cieľový objem!**
- Ten predseda vidím dobre iba na MRI



IGRT a MR

- Idea využitia MRI však mnohým nedala spať, aj keď ako sa majú veľmi radi feromagnetické látky so silným magnetickým poľom, poznáme
- Napriek tomu firma ViewRay už v r. 2004 začala vývoj prvého MR ožarovača
- Ale pokúsila sa vrátiť k „jednoduchému zdroju žiarenia s Cobaltom“, ktorý obsahuje predsa len omnoho menej feromagnetických komponentov ako lineárny urýchl'ovač



➤ IGRT s MR obrazom

- Vývoj začal 2004 prvá inštalácia 2014

MRIdian

MR – Cobalt

The **ViewRay system** includes a rotating gantry assembly **with three Cobalt-60 teletherapy heads** and **three multileaf collimators**, plus a split-magnet MRI system (0,35T) for volumetric and multiplanar soft-tissue imaging



- ViewRay, aj keď sa moc v praxi neujal, ukázal, že mnoho veľmi zložitých technických problémov medzi MR-ožarovačom sa dá vyriešiť



➤ IGRT

- 1. MR – Linac ELEKTA Unity – **2018** s 1,5T MR otvorila nové možnosti pre adaptívnu rádioterapiu



- Jediné dve negatíva – dlhé načítavanie obrazu (celého procesu) a ...
cena zariadenia



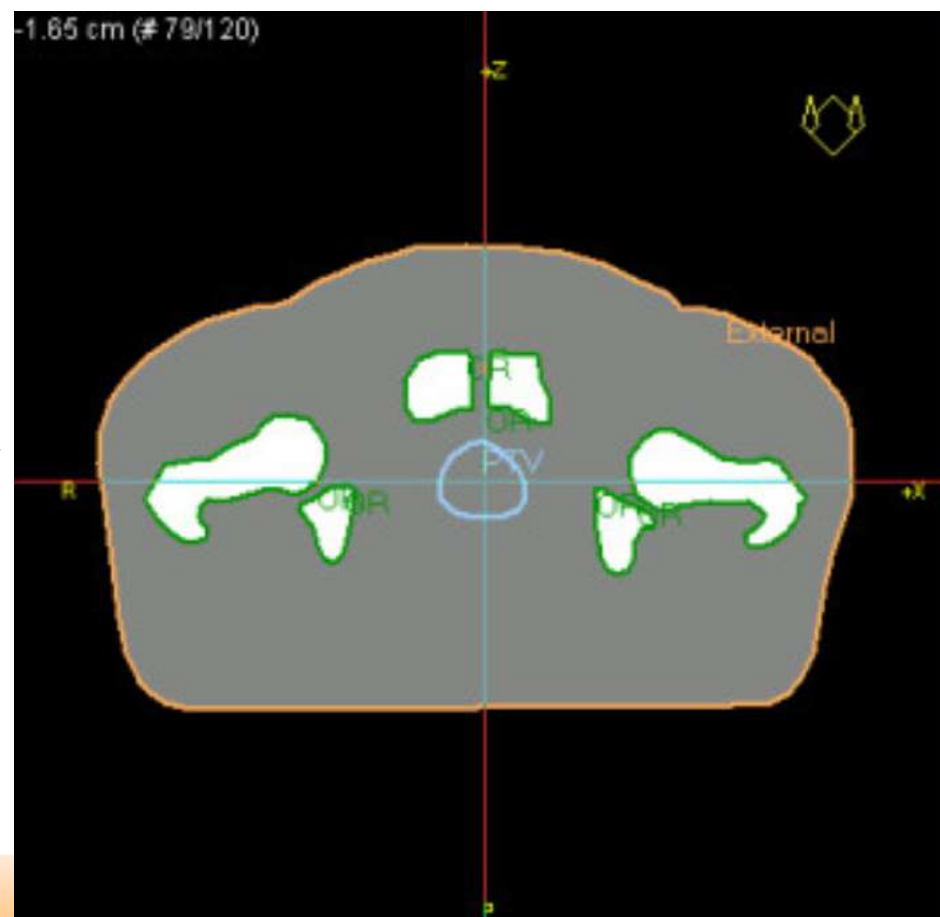
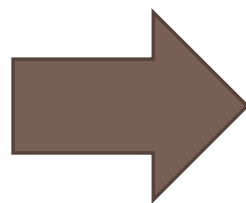
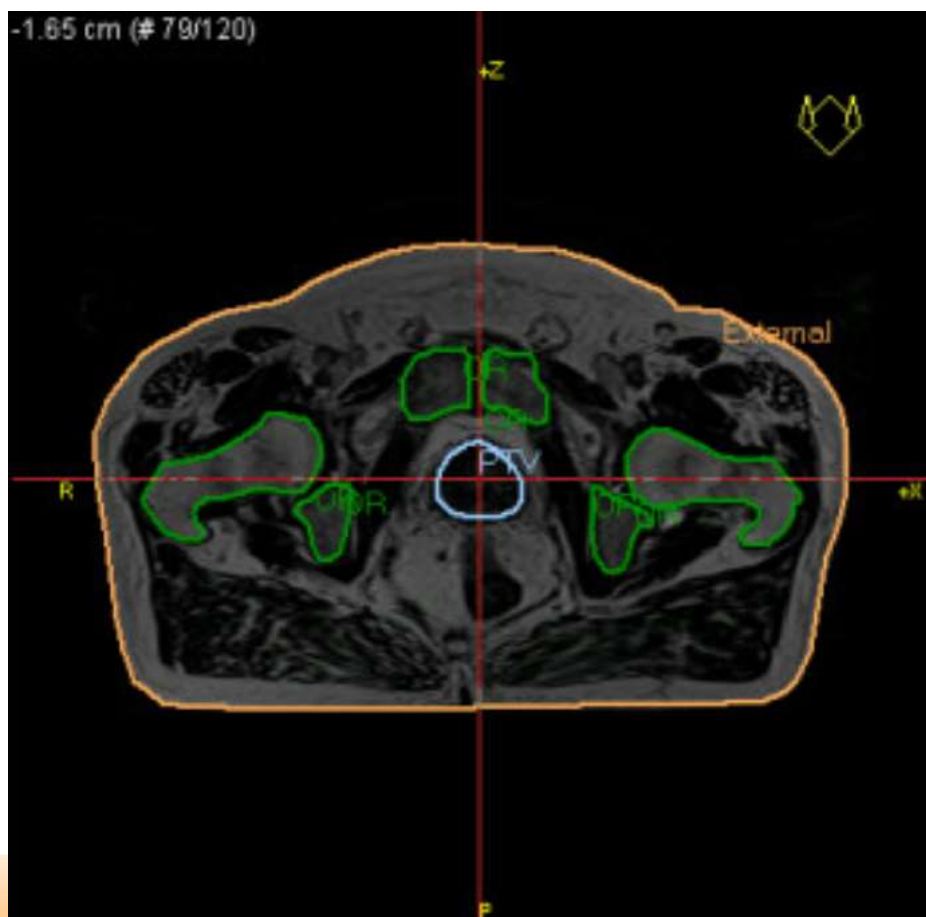
➤ **Hádanka na prebratia:**

- Štandardne počítame dávku na CT obraze, kde je jasne definovaná elektrónová resp. hmotnostná hustota do HU
- **Ako sa počíta dávka na MR obraze**, kde hodnota HU v bode závisí od použitej sekvencie a absolútne nezodpovedá hustote tkaniva?



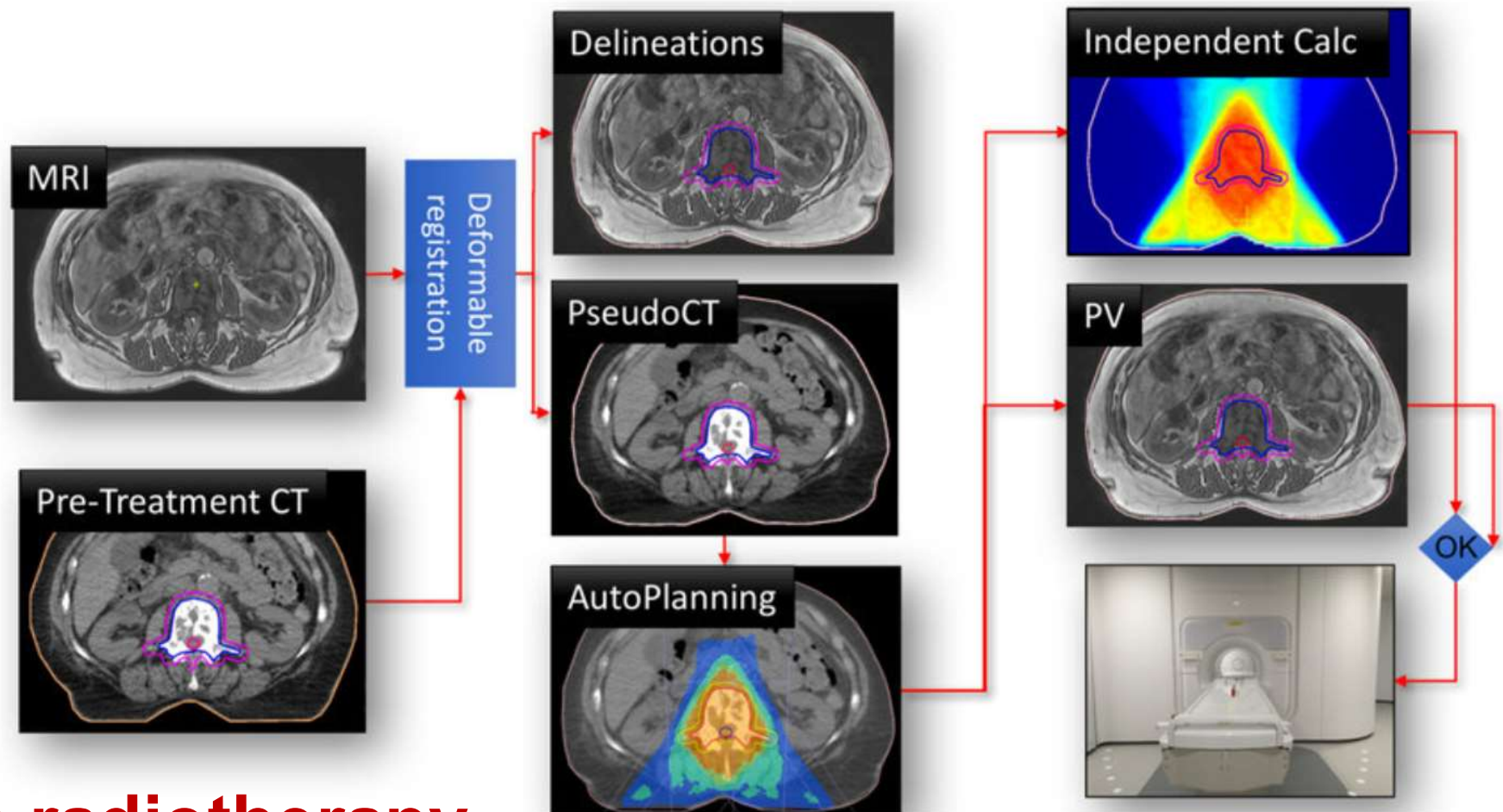
➤ Odpoved':

- Použitie syntetického CT
- Segmentácia orgánov, definovanie hustoty jednotlivým orgánom





Online workflow of the MRI-linac treatment.



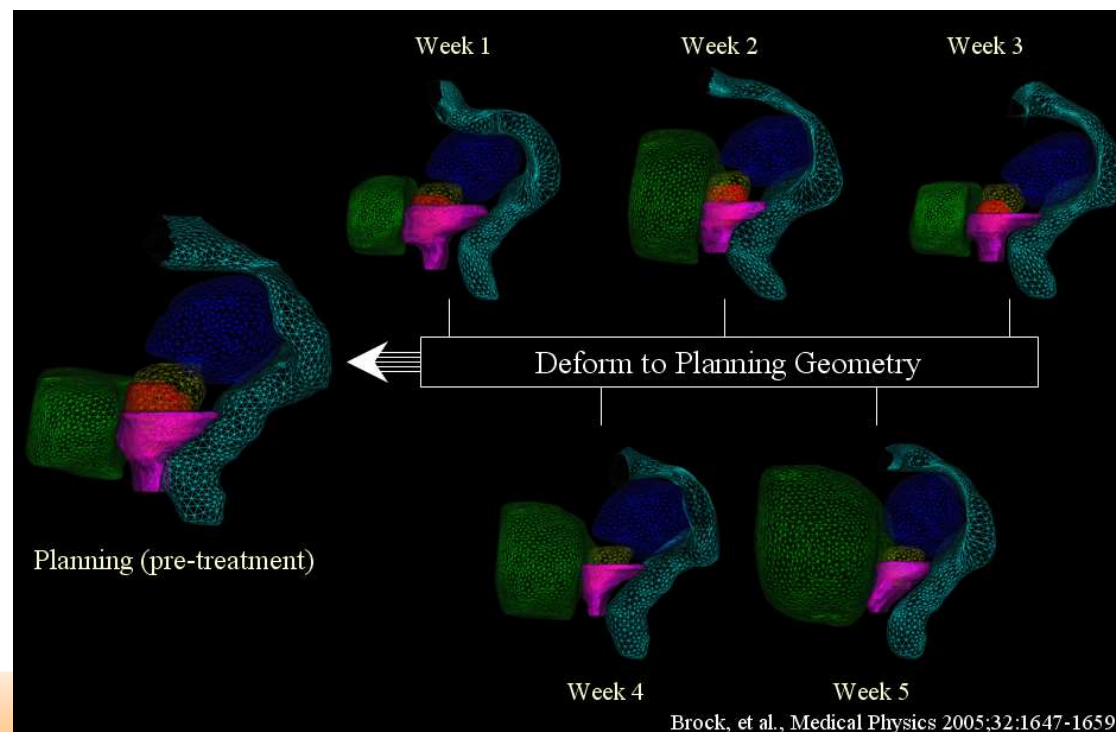
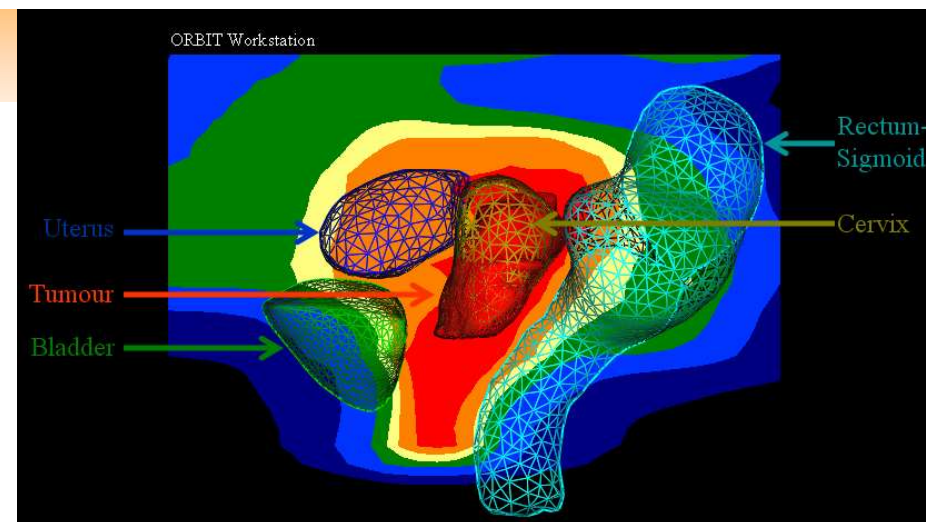
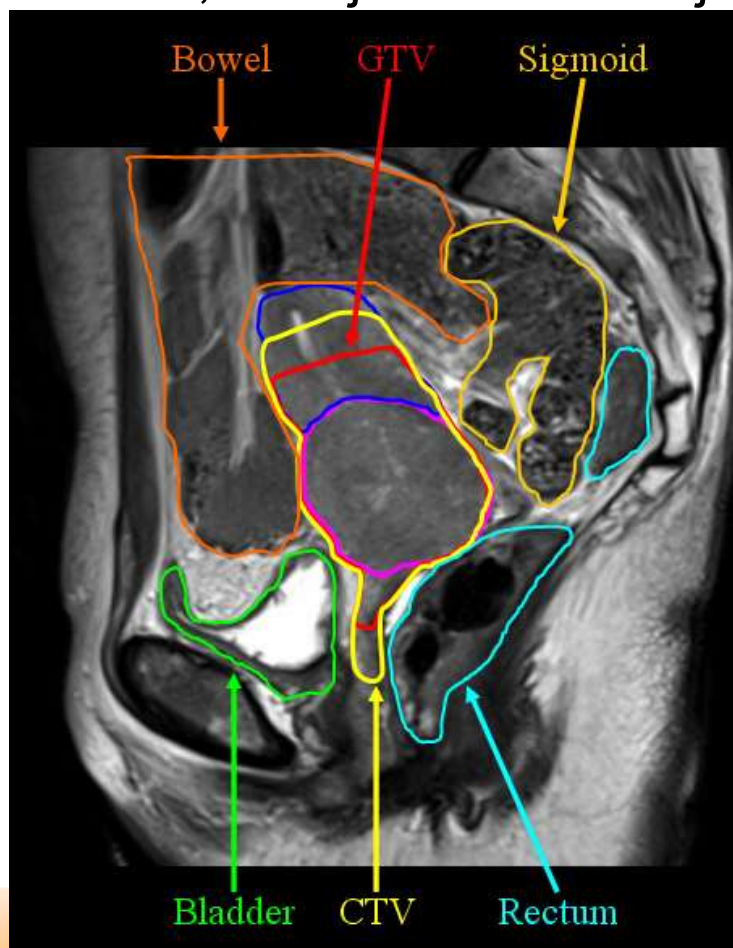
➤ **Adaptive radiotherapy**



➤ **Adaptívna rádioterapia**

- Každá frakcia, nové zakreslenie nielen OR, ale aj cieľového objemu

➤ **MR-Linac**





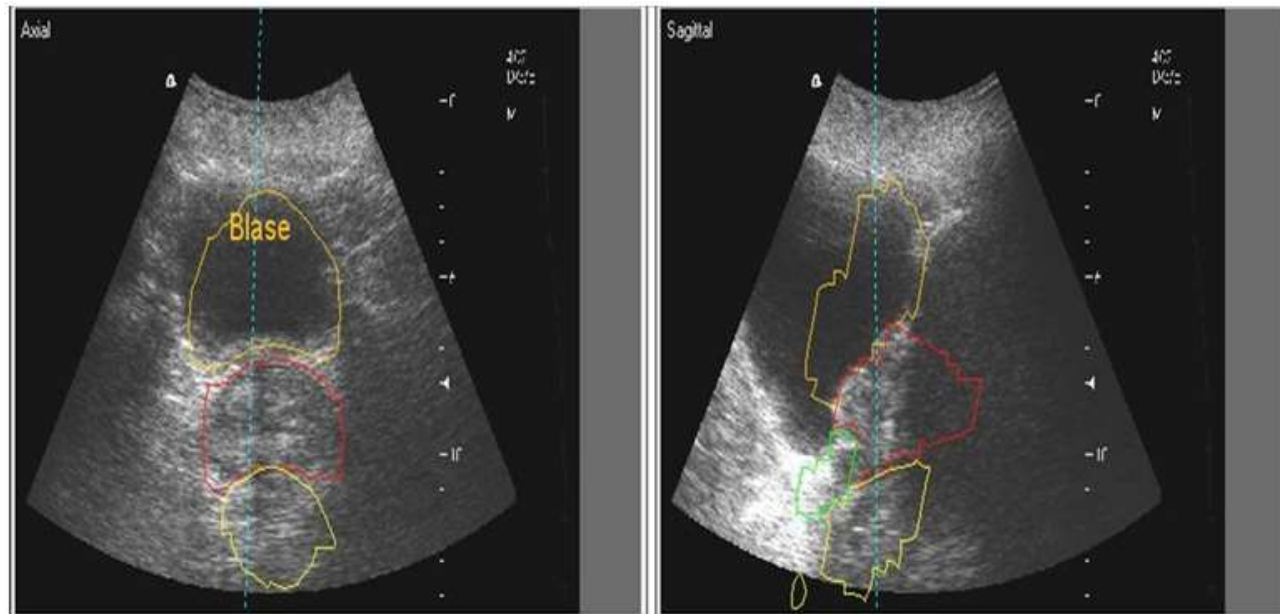
➤ **Štandardné RT pracovisko**

- Zďaleka nemá ani také finančné možnosti, aby si mohol zakúpiť takýto High-tech MR linac
- Navyše problémy s priestormi pre umiestnenie
- Technologicky náročné
- Počet pacientov max. 10 / deň na 1 MR linac nielen veľká investícia do zariadení, ale aj do každého ožiarenia



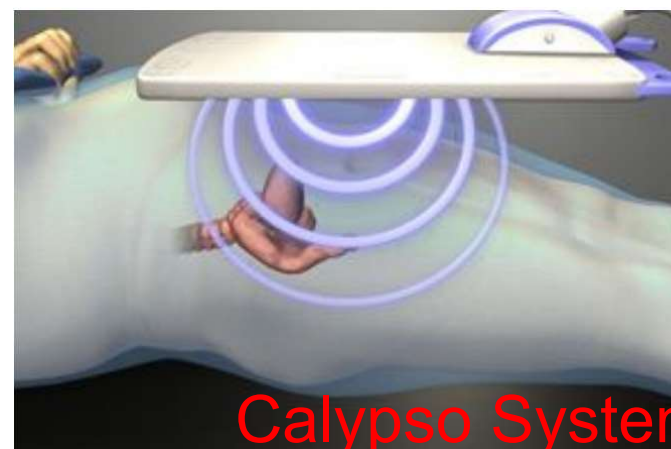
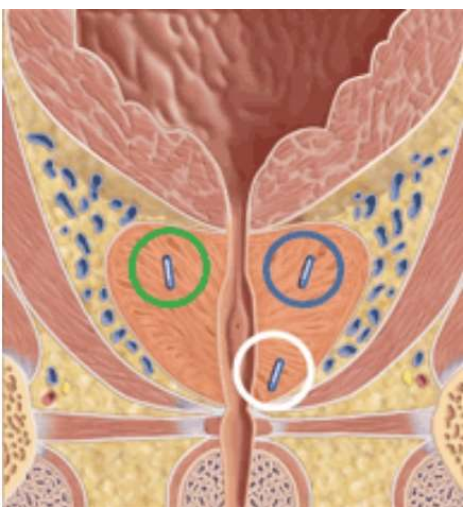
➤ IGRT s USG

- Pri prostate bolo niekoľko ďalších nápadov:
- Prostatu vidím výborne aj na USG
- Spraviť snímku na USG tesne pred ožiarení = vidím presne prostatu aj príslušné orgány



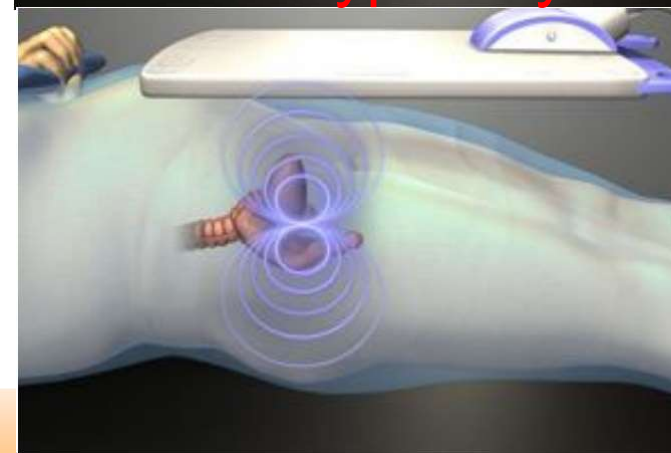
IGRT s fidutial markers

- Idea: Keď umiestnim značky do prostaty, povedia mi všetko presne o polohe prostaty... a polohu môžem snímať aj online



Activate transponders.

Calypso System bez IŽ



Transponders send signals back.



➤ **SGRT – sledovanie povrchu tela pacienta**

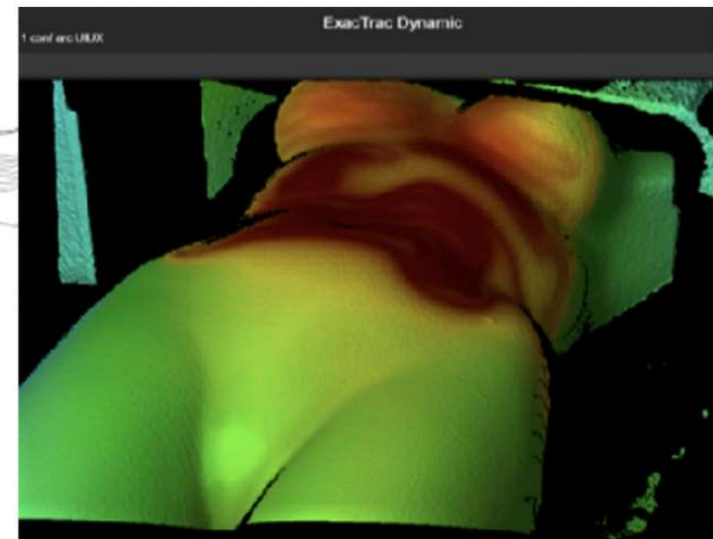
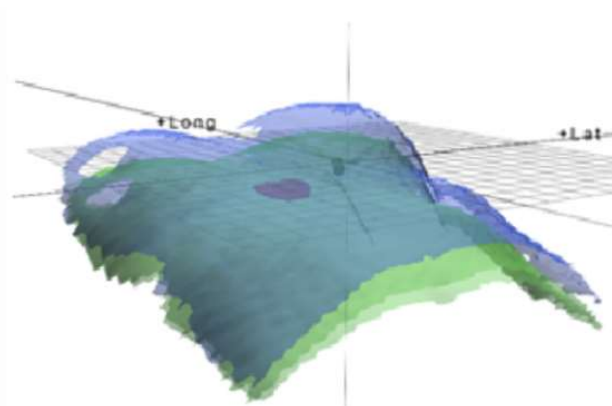
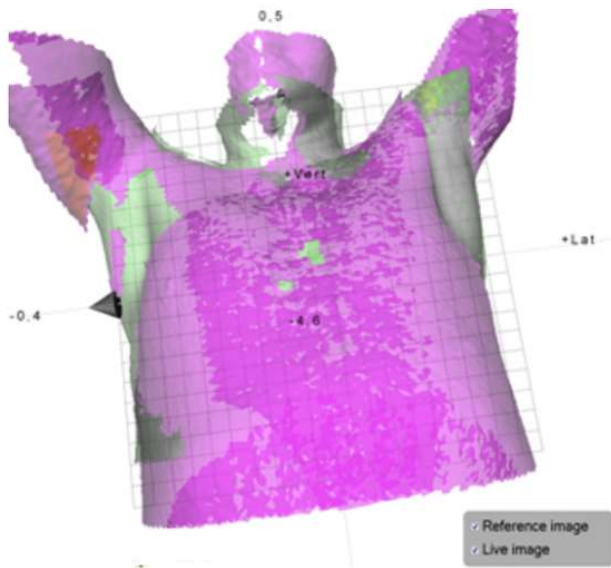
- Idea: ionizujúceho žiarenia dostáva pacient veľmi veľa,
- Nemôžem ho nastaviť presne aj bez použitia IŽ = sledovať stále?





➤ SGRT – sledovanie povrchu tela pacienta

- Niektoré systémy majú dokonca viac kamier: pre viditeľné svetlo aj infračervenú kameru (znásobuje presnosť pri „teplých“ objektoch)





➤ **Dnes dosiahneme na moderných LU**

➤ **submilimetrovú presnosť**

- Ako to bolo v minulosti?
- Nebolo možné použiť niektoré špeciálne techniky, vyžadujúce vysokú presnosť? (napr. jednorazové ožiarenie, vyžadujúce extrémnu presnosť)



Začiatok stereotaktickej rádiochirurgie

➤ 1951

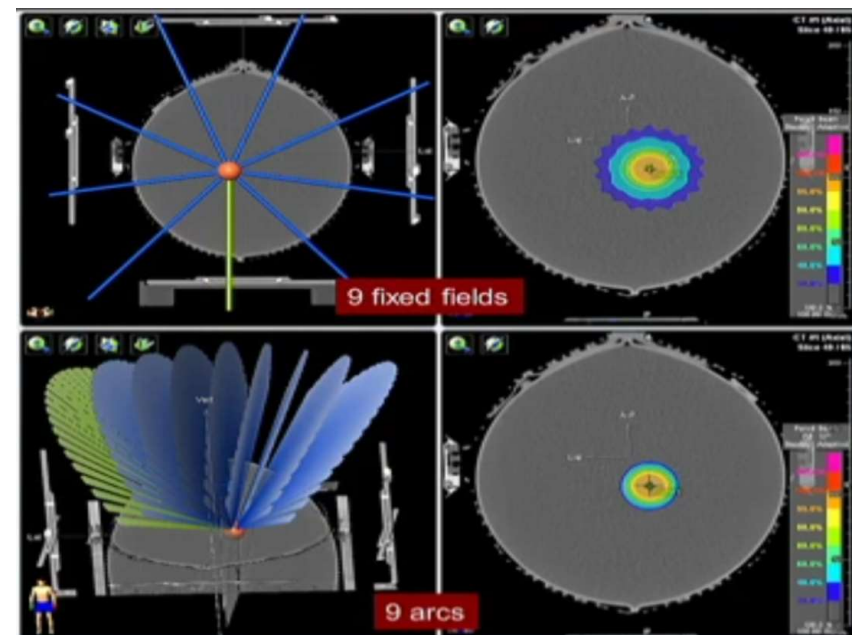
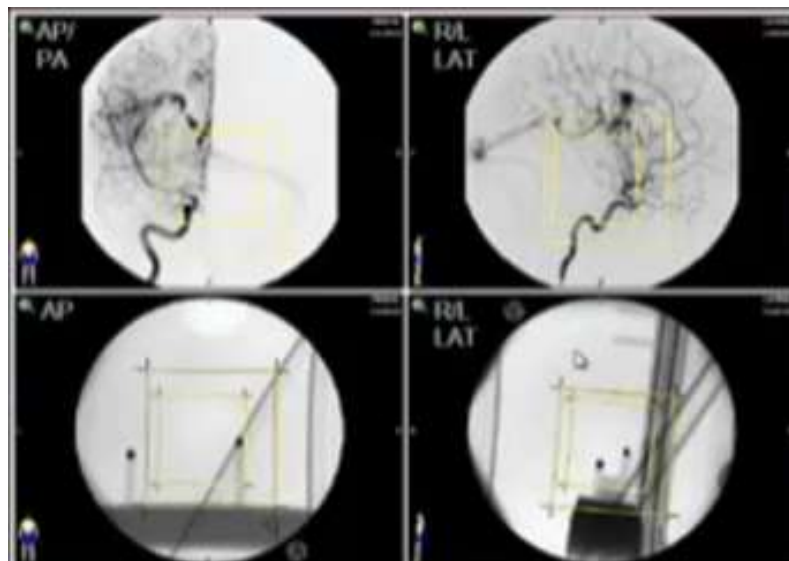


➤ Pre intrakraniálne lézie

- Dr Lars Leksell predstavil koncept rádiochirurgie ako ablácie lézie ožiarení v jedinom zákroku, podobne ako pri chirurgii
- Spočiatku sa používala 200 kV röntgenová trubica
- V roku 1968 vyvinul „Gamma knife“ so 179 Co zdrojmi, s vylepšeniami používaný dodne
- Fixácia – aby sa pacient nepohol, zafixovala sa mu hlava skrutkami do lebečných kostí



Lokalizačné rámy pre angiografiu



Fascinujúce je, že takéto obrázky, ktoré považujeme za „historické pre SRS“ sú už vlastne relatívne moderné z 80-90 rokov, v čase, keď už boli prepracované postupy, aj nejaká výpočtová technika už bola k dispozícii, dokonca aj CT snímky

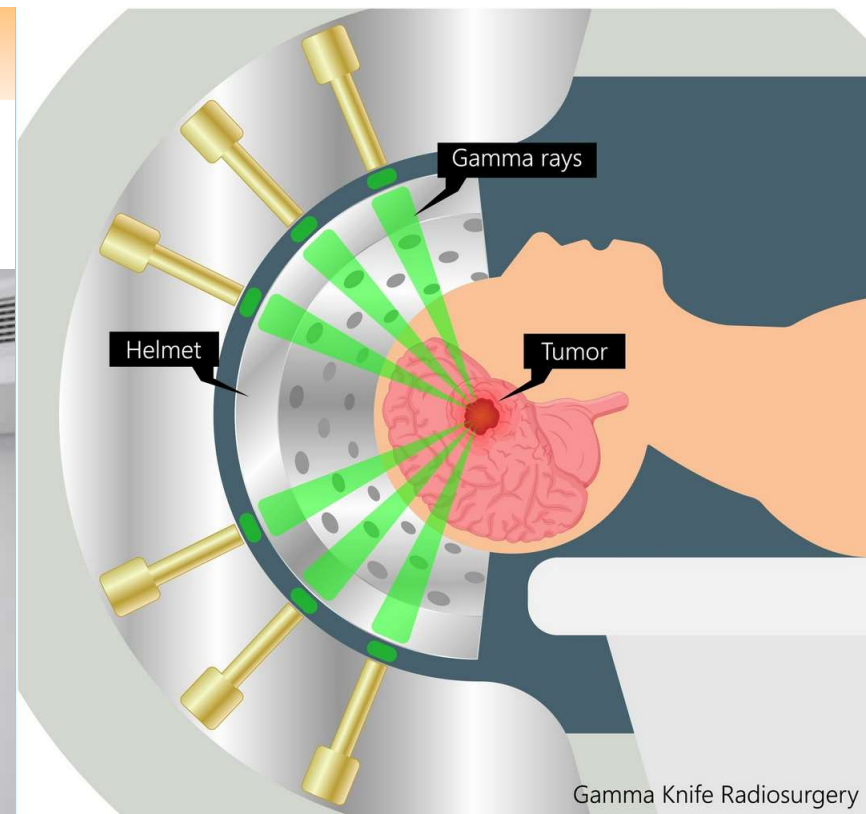


Daily reproducibility of the head frame position

DEPTH CONFIRMATION HELMET: Mounts on stereotactic base ring; allows for 25 'helmet to scalp' measurements which are repeated following frame attachment, removal, replacement, and for SRT prior to each treatment (accuracy ± 1.5 mm)



➤ Ale v 70 rokoch zrealizovať takúto extrémne presnú techniku
vypočítať dávku pomocou ceruzky (ešte bez kalkulačiek ☺)
nastaviť presne pacienta, urýchľovač, domyslieť každý detail ...
V tých časoch 1,5mm s 
Klobúk dolu, majú môj veľký obdiv





A ešte pár slov o Brachyterapii

Keď sme sa tak fokusovali na prostatu:

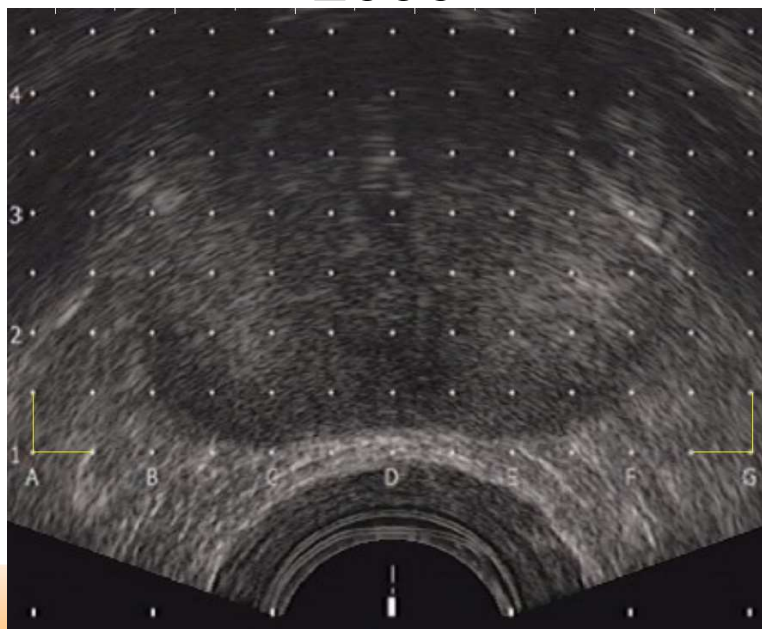
- Tak úžasnú výhodu ožarovania nádoru umiestnením zdroja priamo do nádoru resp. jeho tesnej blízkosti využili
- už v roku 1911 – Pasteau, Degrais - ^{226}Ra cez catéter
- 1917 – Barringer ^{226}Ra – ihlu, ktorú umiestnil priamo do prostaty
- Nevýhody používania Ra pre personál už boli relatívne známe:
- 1950 – Flocks – ^{198}Au
- 1967 – komerčne sa začalo vyrábať ^{125}I
- 1983 – Holm – prvá transperineálna implantácia s USG
- 1987 – ožarovanie prostaty pomocou HDR ^{192}Ir



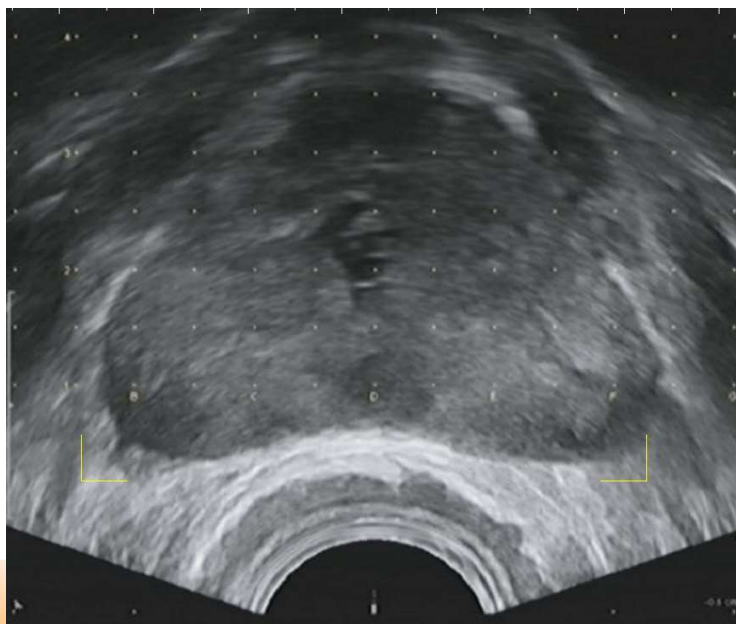
- 2000 – real-time dosimetry,
- Permanentná implantácia ^{125}I (59,4d), ^{103}Pd (17d),

- Kvalita obrazu na USG

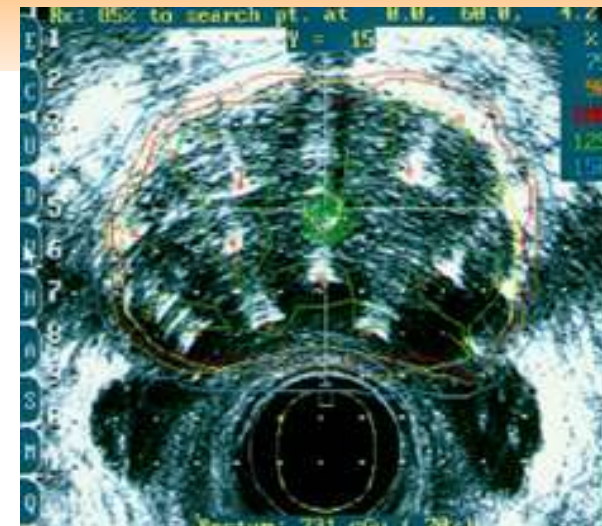
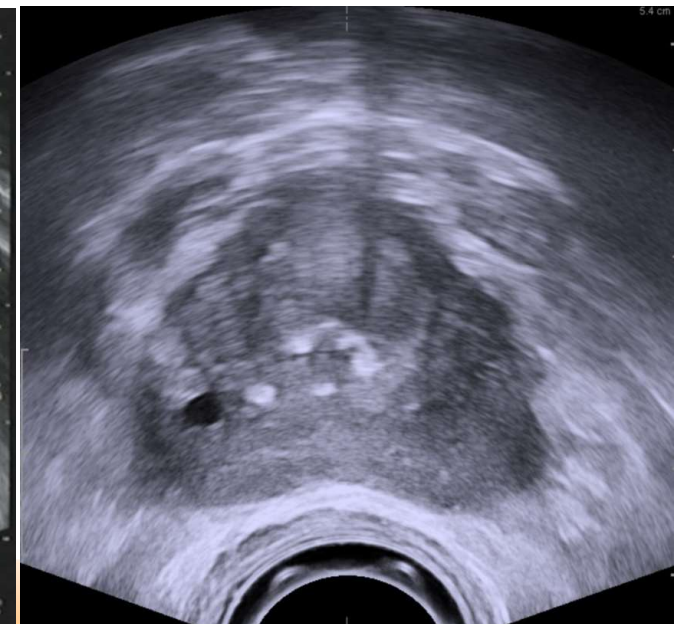
➤ 2006



➤ 2013



➤ 2019





Využitie CT, MR v brachyterapii

- Bolo posunuté cca o 10 rokov neskôr ako v Externej rádioterapii
- Dôvod bol, že presnosť 3D techník na začiatku nebola pre brachyterapiu postačujúca (1mm), čakalo sa na ich zdokonalenie a odladenie, dnes sa v podstate všetko plánuje cez CT, MR, USG

Odporúčané zobrazovacie modalitty na zakresľovanie cieľových objemov pre najčastejšie lokality liečené brachyterapiou

Lokalita pre BT	Metóda prvej voľby	Metóda druhej voľby
mobilitná časť jazyka	MRI	CT
báza úst	MRI	CT, USG
buccal mucosa	MRI, CT, USG	
orofaryng	MRI, ES	CT
nazofaryng	ES, MRI	CT
pera	(CT)	
krčok maternice	MRI	CT, USG
telo maternice	MRI, ES	CT, USG
pošva	USG, MRI	CT
prsník	MMG, MRI	CT, USG
močový mechúr	ES, MRI	CT, USG
prostata	MRI	USG, CT
penis	MRI	US, CT
anorektum	ES, MRI, USG	CT
ezofagus	ES, RTG (ezofagogram)	CT, MRI, USG
žlčové cesty	RTG (cholangiogram), ES	CT, USG, MRI
sarkómy mäkkých tkanív	MRI	CT
bronchiálny strom	ES, CT, RTG	MRI
koža	USG	-
mozog	MRI	CT

Vysvetlivky: CT – počítačová tomografia, MR – magnetická rezonancia, USG – ultrasonografia, MMG – mamografia, RTG – skiografia, ES – endoskopia

➤ ^{60}Co 1,23 MeV, 5,25 r.

➤ ^{137}Cs 660 keV, 30 r.

➤ ^{198}Au 410 keV, 2,7 d.

➤ ^{192}Ir 400 keV, 74 d.

➤ ^{131}I 360 keV, 8 d.

➤ ^{125}I 30 keV, 60 d.

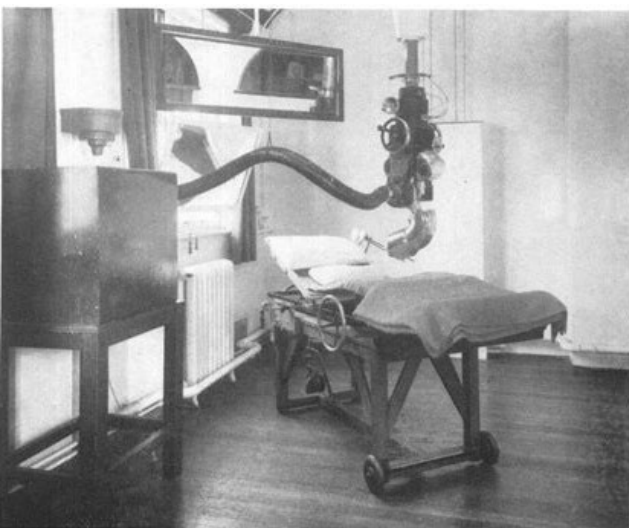
➤ ^{103}Pd 20 keV, 17 d,

➤ ^{226}Ra 0,83 MeV, 1626 r.



Samotná história brachyterapie

- By bola minimálne na jednu 3 hodinovú, určite veľmi zaujímavú prednášku, ale to možno niekedy nabudúce



Namiesto
záveru:



- Keď bude vývoj takto bude pokračovať, máme sa na čo v budúcnosti tešiť.



Ďakujem za



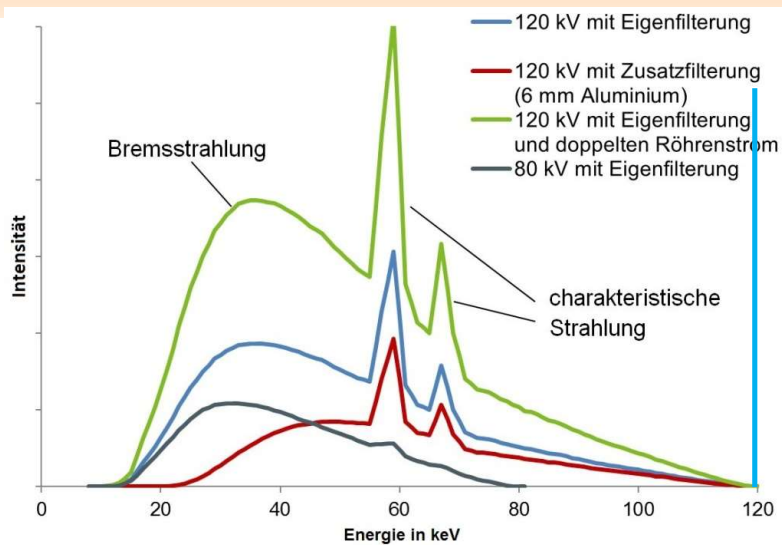


Kedže som ušetril čas, tak fyzikálna hádanka:

- Prečo niekedy pri fotónoch, produkovaných v lineárnom urýchľovači **nepíšeme MeV ale MV alebo X?**
- Napr. **6MV, 6X**



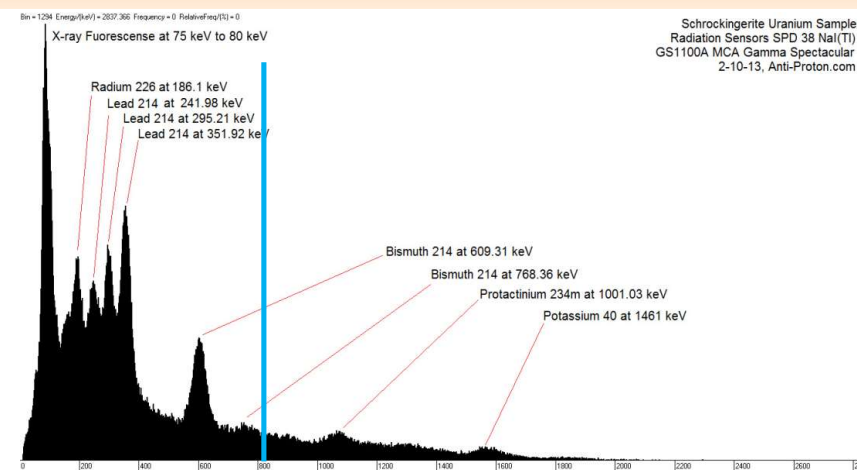
RTG 120keV



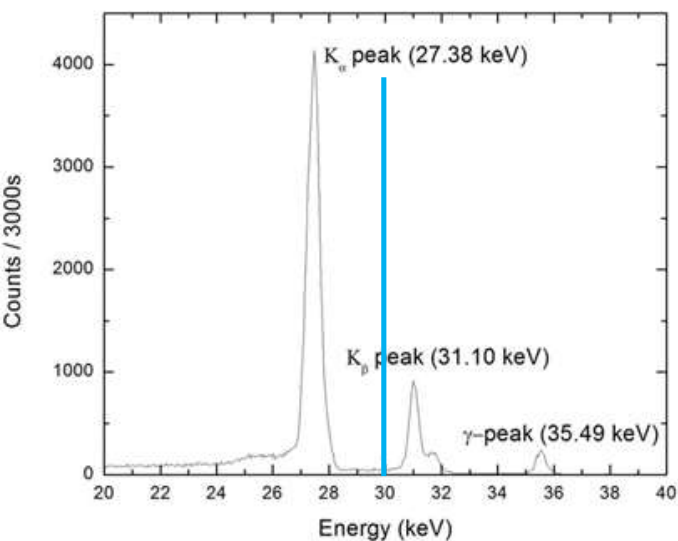
Energetické spektrum žiariča

Charakteristická energia je buď maximálna alebo stredná

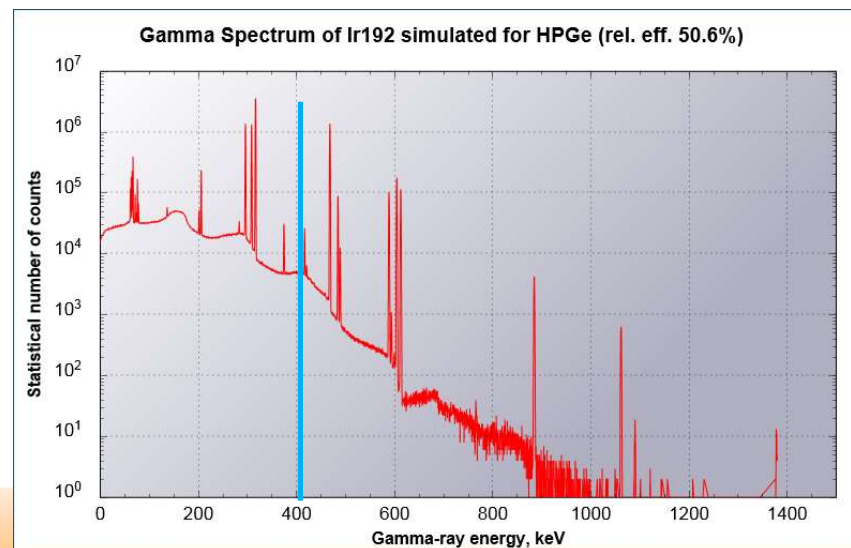
226-Ra 0,83MeV



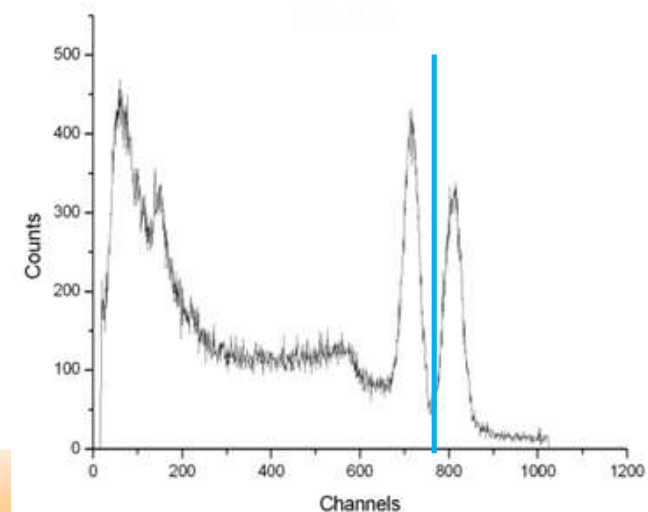
125-I 30keV

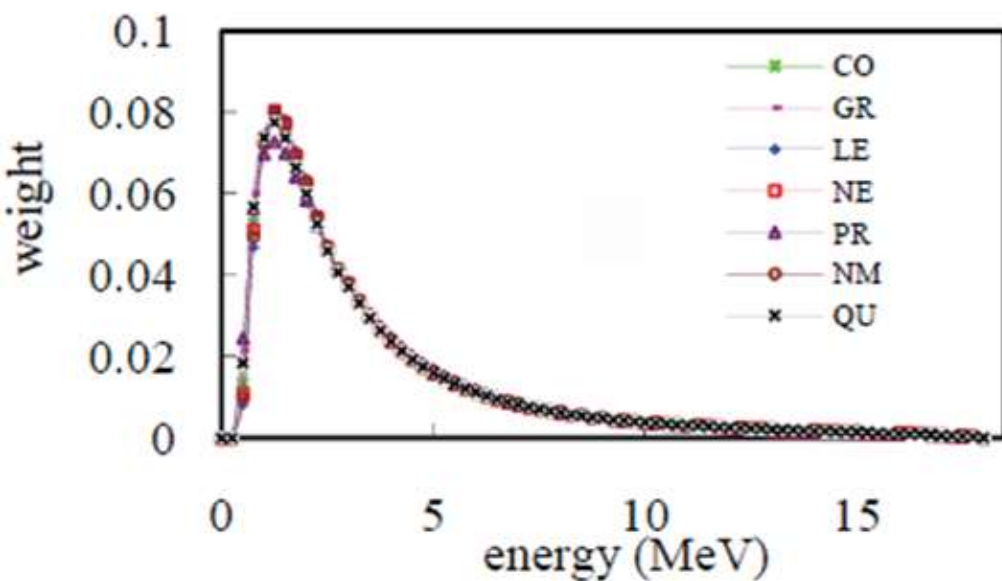
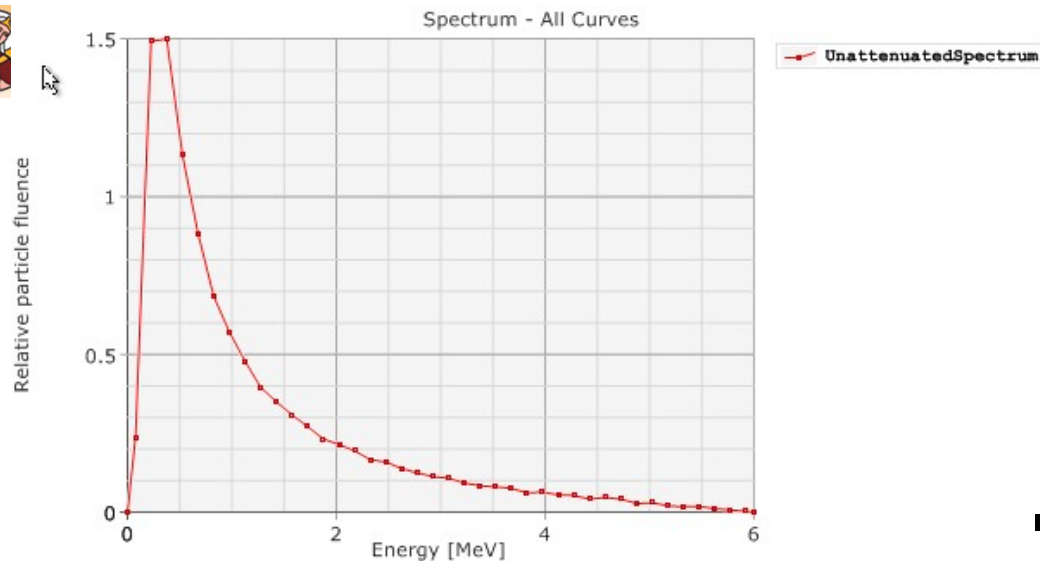


192-Ir 400keV



60-Co 1,23MeV





- Fotóny v urýchľovači vznikajú interakciou urýchlených monoenergetických e^- na terčiku
- Napr. 18MV fotóny z 18MeV e^-
- Vzniká brzdné žiarenie “Bremschtrahlung”, ktoré má spojité spektrum
- Absolútne minimum fotónov vzniká pohltením celej energie urýchleného elektrónu
- Čím vyššia energia, tým nižšia pravdepodobnosť
- Preto definovať ich energiou, ktorú takmer žiaden z nich nemá je nelogické a aj nepraktické



pojem - Nominálna Energia

- 6MV
 - **Nie je jednotkou energie a slúži iba ako označenie**
 - Ani nereprezentuje spektrum
- Spektrum závisí od
 - Urýchľovacej štruktúry (výrobcu)
 - Fokusácie elektrónoveho zväzku
 - Bending magnetu
 - V rovine izocentra aj od komponentov v hlavici urychľovača (filter, clony, ionizačná komora)
- 6MV– je definovaný urýchľovacím potenciálom alebo číslom 6X, vyjadrujúcim kinetickú energiu urýchlených elektrónov dopadajúcich na terčik
- Treba si uvedomiť, že tento zväzok teda určite nepredstavuje energiu fotónov (6MeV)
- Stredná energia fotonov (*definovaná ako “vážený priemer” spektra brzdného žiarenia*) tá už je v MeV) $\sim 1/3$ maximálnej energie



Konvencia pre Nominálnu Energiiu

Nominal Energy (MV) BJR 17	Nominal Energy (MV) BJR 11	$D_{\max}$ (cm) ¹	%Depth Dose at 10 cm Depth ¹
4	4	1.2 ± 0.2	63.0 ± 2.0
6	6	1.6 ± 0.2	67.0 ± 2.0
8	8	2.0 ± 0.2	71.0 ± 2.0
10	10	2.4 ± 0.2	74.0 ± 1.0
16	15	2.9 ± 0.2	77.0 ± 2.0
23	18	3.3 ± 0.2	80.0 ± 1.0
25	20	3.5 ± 0.2	81.5 ± 1.0

- Definovaná dodatkami
v "British Journal of Radiology"
 - BJR – 10 (1961) – prvý pokus
 - **BJR – 11 (1972) - najpoužívannejšia**
 - BJR – 17 (1983) – väčšinou používaná marketingom
 - BJR – 25 (1996)- neujala sa medzi fyzikmi



Hádanka 2.:

- Kedy bol ožiarený prvý pacient s protónmi?
- 1954
- 1974
- 1994

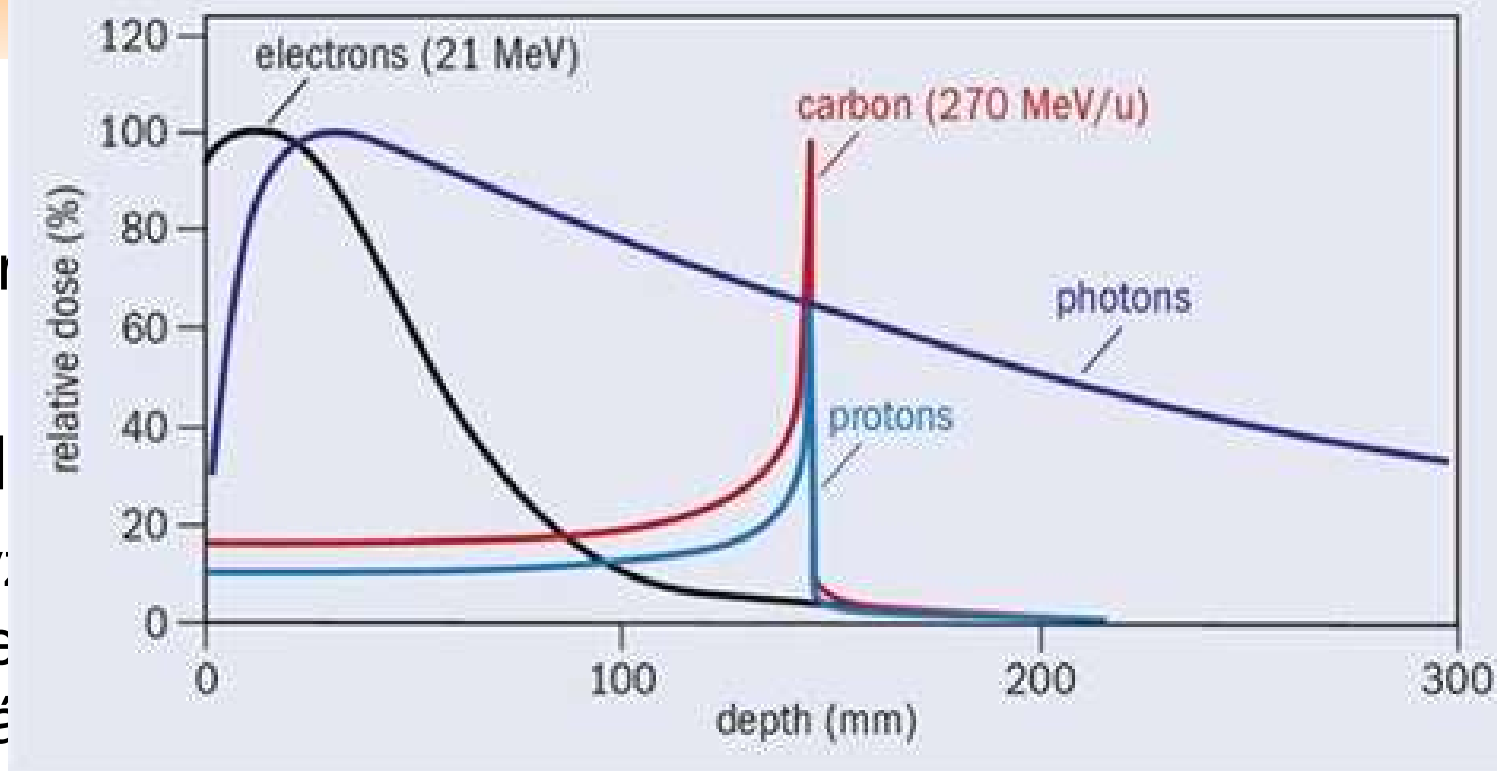


Hádanka:

- Kedy bol ožiarený prvý pacient s protónmi?
- Správna odpoveď: 1954 v Berkeley Radiation Laboratory
- Robert R. Wilson, fyzik a neskôr riaditeľ Fermilabu, bol prvý, kto už v roku 1946 teoreticky navrhol použitie protónového žiarenia pre cielenú liečbu nádorov.
- Liečba samozrejme bola uskutočnená pomocou urýchľovačov, vyvinutých iba na výskumné účely a v tých časoch sa nevyužíval ich hlavný benefit Braggov peak, ale homogénna absorpcia dávky v malých hĺbkach pri veľkých energiách



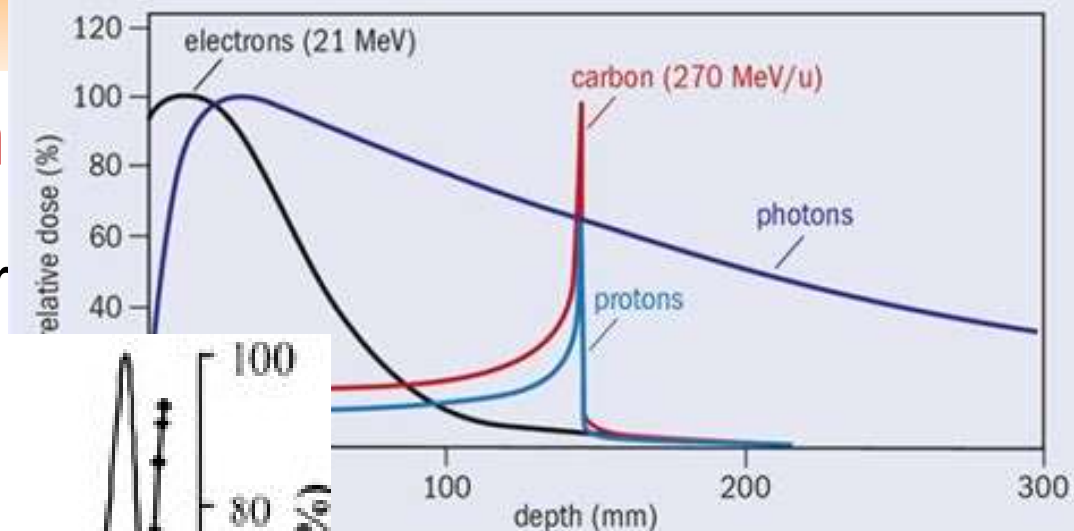
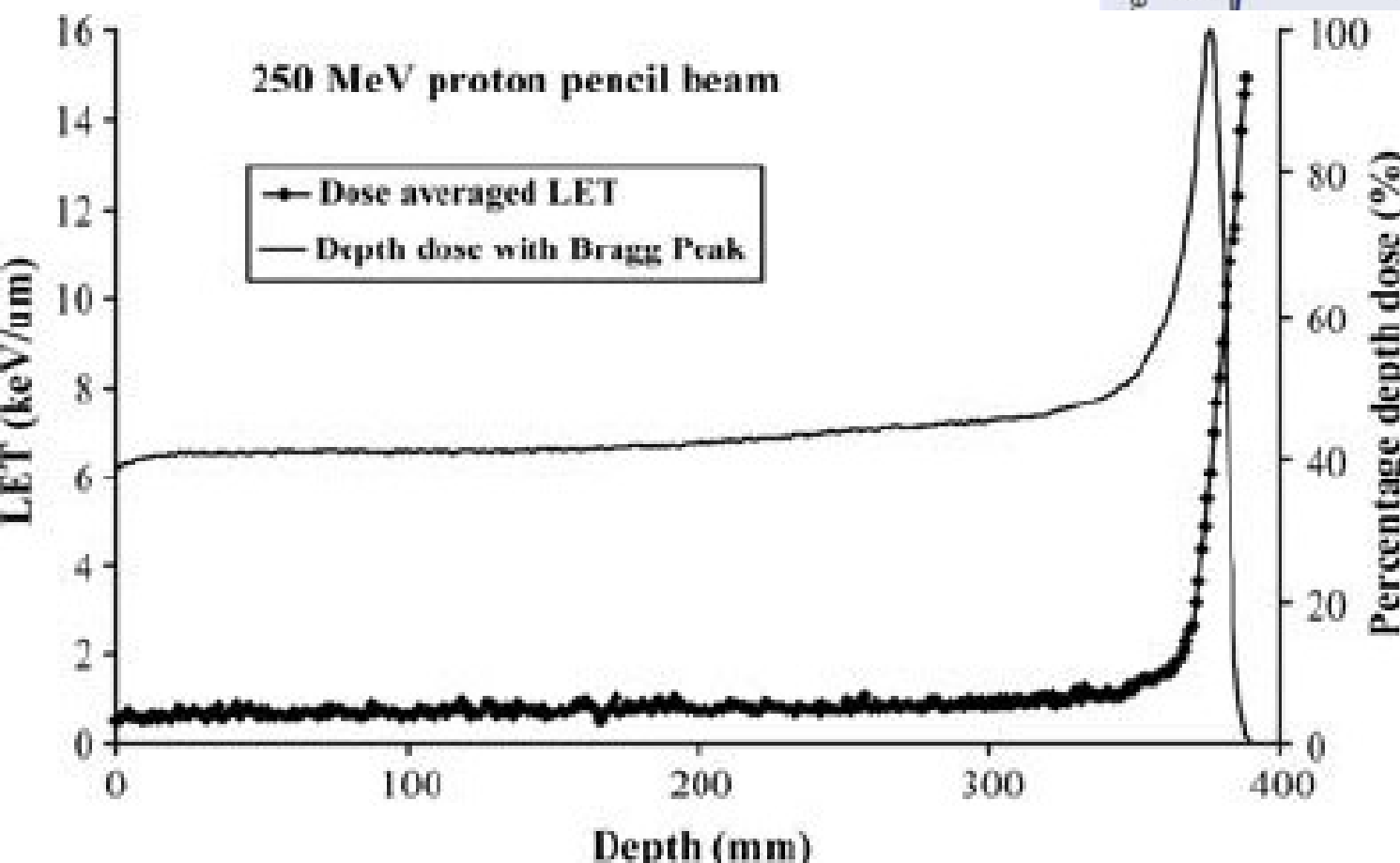
- Kedy bol ožiarený pr
- Správna odpoveď: 1
- Robert R. Wilson, fyzik, už v roku 1946 teore pre cielenú liečbu nádorov
- Liečba samozrejme bola uskutočnená pomocou urýchľovačov, vyvinutých iba na výskumné účely a v tých časoch sa nevyužíval ich hlavný benefit Braggov peak, ale homogénna absorpcia dávky v malých hĺbkach pri veľkých energiách





Hádan

- Kedy bol ožiarený prvý pacient s pr



labu, bol prvý, kto
ónového žiarenia

du urýchľovačov,
soch sa nevyužíval
na absorbcia