

Proton CT

Új diagnosztikai eszköz a rák kezelésében

Varga-Kőfaragó Mónika

MTA Wigner FK

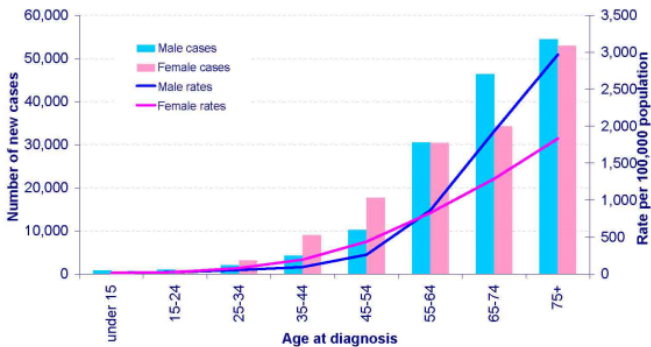
varga-kofarago.monika@wigner.mta.hu

2018. november 13.

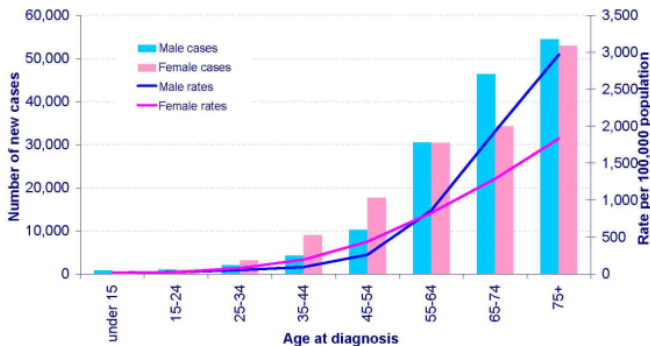
ELTE TTK hét



Rákos megbetegedések és kezelésük



Rákos megbetegedések és kezelésük



- Rák sikeres kezeléséhez hozzájárul:
 - 45-50% műtét
 - 40-50% sugárkezelés
 - 10-15% kemoterápia
- A sugárkezelés egy fontos fegyver a rák gyógyításában

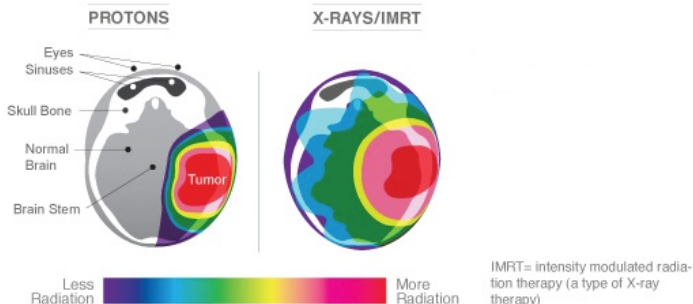
K. Peach, Heavy Ions in Science and Health workshop, Bergen, 2012

Sugárkezelés és a problémái

- Cél: rákos sejtek DNS-ét roncsolni
- Direkt vagy indirekt ionizációval
- Kezelés fotonokkal vagy töltött részecskékkel (e.g. protonok)
- Fotonok: elsősorban indirekt ionizáció szabadgyökökön keresztül
- Protonok: elsősorban direkt ionizáció

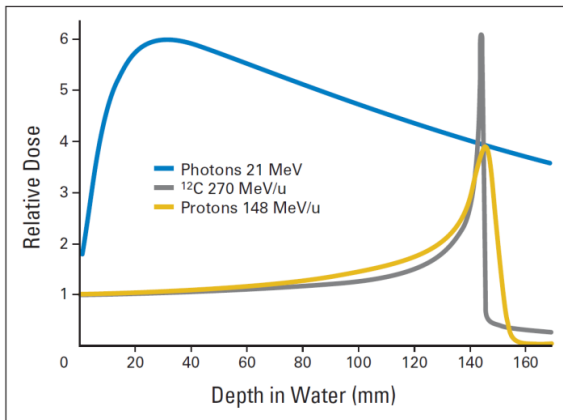
Sugárkezelés és a problémái

- Cél: rákos sejtek DNS-ét roncsolni
- Direkt vagy indirekt ionizációval
- Kezelés fotonokkal vagy töltött részecskékkel (e.g. protonok)
- Fotonok: elsősorban indirekt ionizáció szabadgyökökön keresztül
- Protonok: elsősorban direkt ionizáció
- Az egészséges szövetek károsodását minimalizálni kell



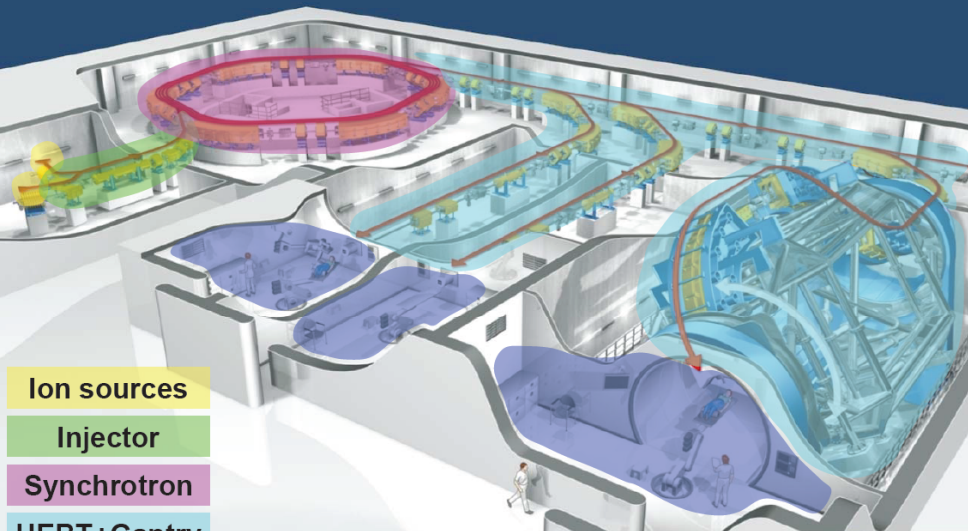
Source: ProCure Training and Development Center

A hadronterápia előnye



- **Fotonok** közül a legtöbb közvetlenül a belépés után nyelődik el
- **Töltött részecskék**
 - legtöbb energiát a Bragg-csúcsban adják le
 - Kis dózis a tumor előtt
 - Nagyon kis dózis a tumor után (<mm)

Kezelő központok



Ion sources

Injector

Synchrotron

HEBT+Gantry

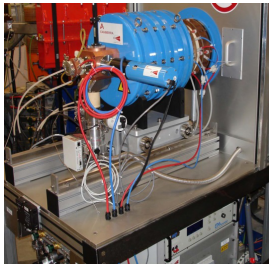
Medical Areas

HIT

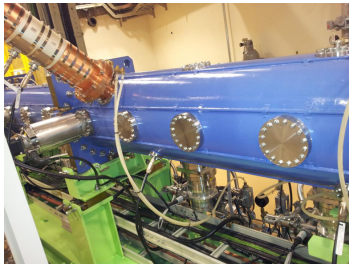
Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum



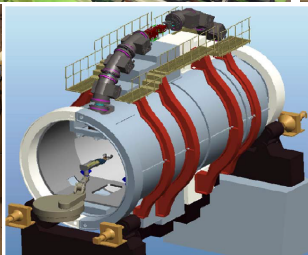
Ion forrás



LINAC



Szinkrotron



Kezelő szoba

Szupravezető
tartószerkezet

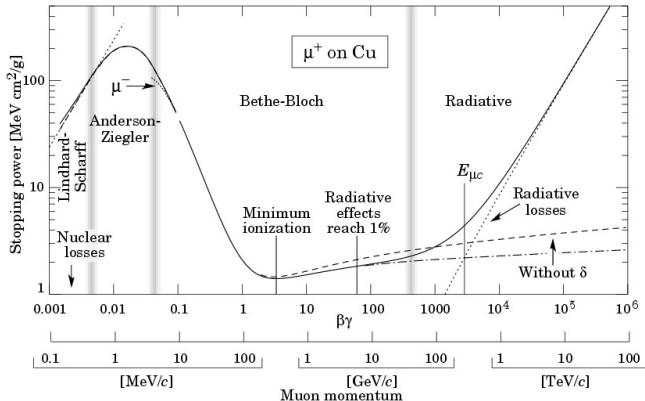
Nyaláb transzport

Proton terápia – hiányzó ismeret

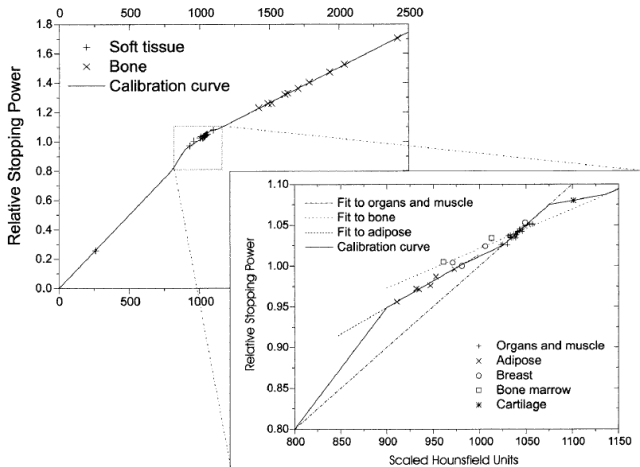
- Protonok energialeadását a tumor előtt pontosan kell ismerni
- Energialeadást a Bethe-Bloch formula írja le:

$$dE/dx \sim \text{elektron sűrűség} \times \ln \frac{\text{max. energia átadás egy ütközésben}}{\text{effektív ionizációs energia}^2}$$

- Energia leadást röntgen CT-ből lehet számolni



Proton terápia – hiányzó ismeret



- Skálázott Hounsfield egység \sim elnyelődési együttható
- Nem triviális az összefüggés a protonok energialeadásával

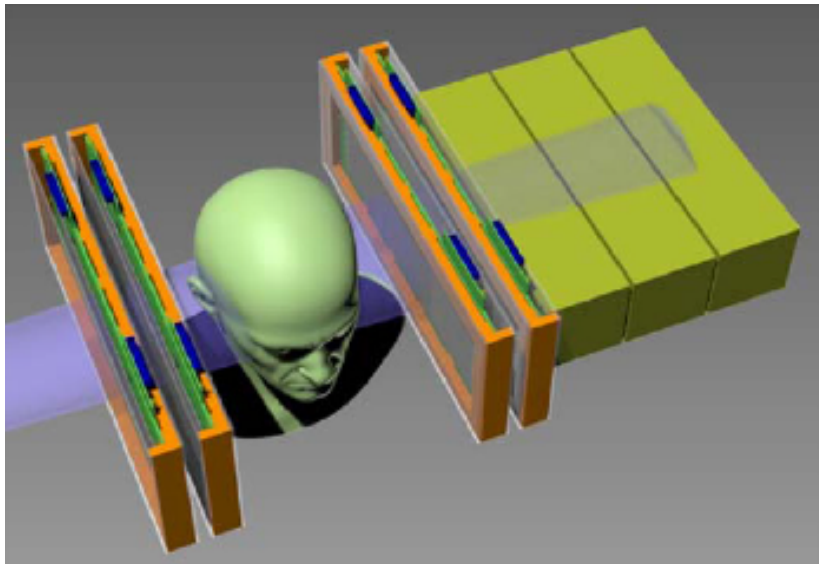
Schaffner, B. and E. Pedroni, The precision of proton range calculations in proton radiotherapy treatment planning: experimental verification of the relation between CT-HU and proton stopping power. Phys Med Biol, 1998. 43(6): p. 1579-92.

- Egy-energiás CT: akár 7.4% bizonytalanság
- Kezelt térfogatot akár 1cm-rel is meg kell növelni a nyalábirányban
- Nyalábirányban nem lehet kritikus szerv a tumor mögött
- Két-energiás CT: 1.7% bizonytalanság
- Proton CT: 0.3% bizonytalanság

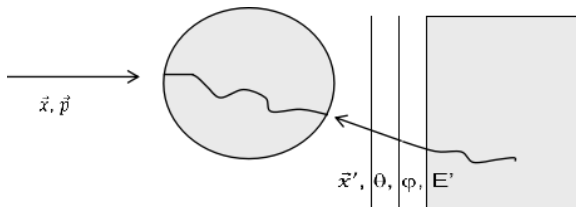
A comparison of dual energy CT and proton CT for stopping power estimation

David C. Hansen,^{1, a)} Joao Seco,² Thomas Sangild Sørensen,³ Jørgen Breede Baltzer Petersen,⁴ Joachim E. Wildberger,⁵ Frank Verhaegen,⁶ and Guillaume Landry⁷

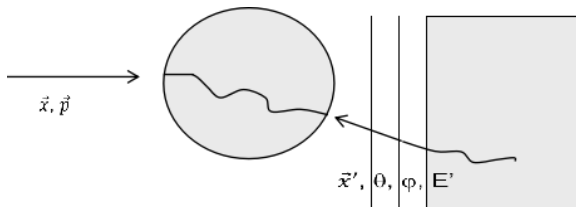
¹⁾Department of Experimental Clinical Oncology, Aarhus University



H.F.-W. Sadrozinski / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 732 (2013) 34–39



- \vec{x} és \vec{p} adott a nyaláboptikából
- \vec{x}' , θ , φ és E' mennyiségeket mérni kell



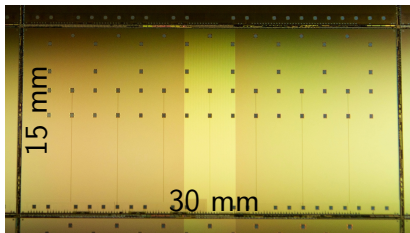
- \vec{x} és \vec{p} adott a nyaláboptikából
- $\vec{x}', \theta, \varphi$ és E' mennyiségeket mérni kell
- 3D-ben helyreállítható a protonok útvonala \rightarrow besugárzás helye
- Külső abszorberben mérhető a megtett táv \rightarrow elnyelt energia
- Kezelés előtt \rightarrow elektronsűrűség 3D-s térképe
- Kezelő nyalábbal egyszerre \rightarrow dózis online ellenőrzése

- Jó helyfelbontás (néhány $10\ \mu\text{m}$)
- Egyszerre sok részecskét kell detektálni ($10^7 - 10^9$ proton/s)
- Gyors kiolvasás
- Sugárzástűrő
- Beteg előtt: vékony szenzor ($50 - 100\ \mu\text{m}$)
- Beteg után: jó energiafelbontás



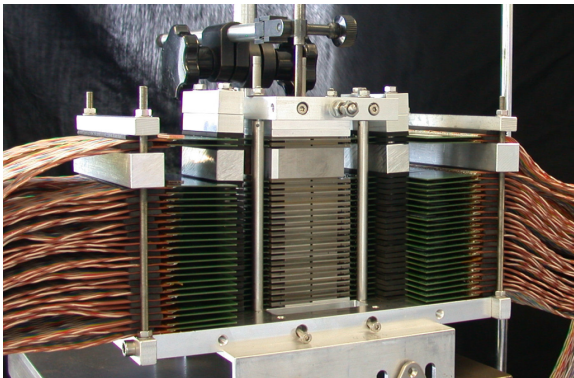
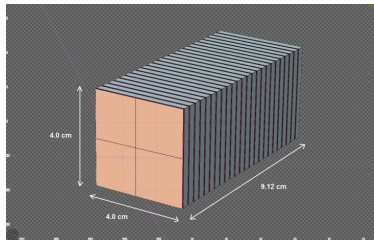
- Nagy felbontású digitális mintavételező kaloriméter

- ALPIDE – **ALICE** **PI**xel **DE**tector
- Az ALICE belső nyomkövetőjéhez fejlesztették
- Nagy méretű szilícium detektor (15 mm × 30 mm)
- 512 × 1024 pixel
- Digitális kiolvasás
- Pixelek mérete 27 μm × 29 μm
- Helyfelbontás ~ 5 μm
- Vékony (50 μm vagy 100 μm)
- Detektálási határfok > 99%

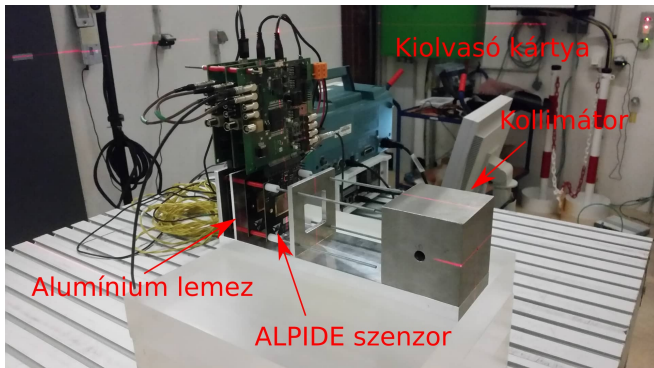


Digitális kaloriméter prototípusa

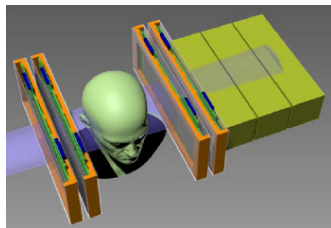
- Aktív rétegek: ALPIDE-hoz hasonló (MIMOSA 23 – IPHC Strasbourg)
- Szilícium-volfrám mintavételező kaloriméter
- Elektromágneses záporhoz optimalizáltak
- Elyelő rétegek: 3.5 mm W



- Proton CT fejlesztésébe lehet becsatlakozni
- MTA Wigner FK-ban néhány fős csoport
- Norvég csoporttal együttműködve
- Elsősorban részvétel a detektor
 - tesztelésében
 - fejlesztésében
 - optimalizálásában
- Szoftver és hardver munka



- Hadronterápia → alacsonyabb felesleges dózis az egészséges szövetekben
- Az energialeadás meghatározása röntgen CT-s mérésekből pontatlan
- **Proton CT:**
új diagnosztikai eszköz az energialeadás bizonytalanságának csökkentésére
- **Projekt lehetőség:** mintavételező kaloriméter fejlesztése pCT-hez



Köszönöm a figyelmet!

BACKUP