

Sugárterápia szimulációja

125 éve született Szilárd Leó, az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny névadója. Élete második részében a biológia felé fordult. Saját maga által tervezett sugárkezeléssel kigyógyította magát hólyagrákjából. Ezzel a szimulációval rá is emlékezünk.

Előljáróban leszögezzük, hogy több lényeges különbség is van egy valóságos sugárterápiás kezelés és a mostani szimulációs modell között (lásd egy valóságos sugárterápiás készülék rajzát).

- Egy valóságos sugárterápiás kezelés a test ki- szemelt térfogatát három dimenzióban (3D) su- gározza be, a mostani szimuláció ezzel szemben csak kétdimenziós.
- A valóságos sugárterápiás készülékben általá- ban az „izocentrum” – a besugárzás és forgatás középpontja – rögzített, és a beteget mozgatják a kezelőasztallal, amin fekszik, hogy a besugár- zandó térfogat a megfelelő helyre kerüljön. Ez- zel szemben ebben a szimulációban az izocentrumot tudjuk mozgatni a beteghez ké- pest, a kétdimenziós „beteg” helyben marad.
- Egy valóságos sugárterápiás központban külön helyiségben van a röntgen- vagy gamma-besu- gárzó berendezés, és külön helyiségben van a proton-terápia (már ahol van egyáltalán, hazánk- ban még nincs). A mi szimulációnkban egy kattintással „átváltható” a sugárnyaláb.
- A valóságos sugárterápia esetén a szükséges dózist általában több részletben (frakcióban) adják le, és a frakciók között el kell telnie valamekkora időnek (pl. egy nap, vagy akár néhány nap is). Ennek biológiai/orvosi okai vannak. A mi szimulációnk során egyetlen frakcióban „kezeljük” a beteget. Nem számít külön frakciónak az, ha egymás után több szögből is végzünk besugárzást, hiszen a valóságos terápiában is egy frakció során forog a beteg körül az eszköz („gantry”).



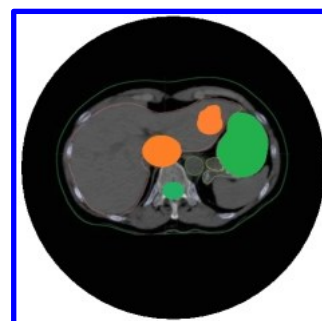
A sugárterápia célja

A sugárterápia célja a daganatos sejtek elpusztítása úgy, hogy az egészséges szövetek, sejtek csak minimálisan károsodjanak. Ionizáló sugárzással, sugárterápiával gyakorlatilag minden típusú sejtet el tudunk pusztítani, a kérdés az, hogy ezt szöveti, szervezeti szinten milyen áron érjük el. Az ionizáló sugárzás sejtszintű hatásainak vizsgálatával a sugárbiológia tudománya foglalkozik.

A feladat

A vizsgálatok a beteg májában két rákos daganatot állapítottak meg. Ezeket a rákos daganatokat kellene sugárkezeléssel elpusztítani. Ügyelni kellene azonban arra, hogy a környékén lévő „védendő szervek” által kapott dózis ne lépje túl a lentebb megadott határérté- keket. A szimulációban ötfajta szövet dózisát figyeljük:

- 2 „máj-tumor” (narancsszínű területek),
- 2 „védendő” szerv, (gyomor és gerincvelő, zöld),
- az „egyéb” szervek/szövetek (szürke).
- A „testüregek” (feketék, ezeknek nem adódik át dózis)



A kitűzött dózisértékek az alábbi négy szövettípusra

	Dózis	a szerv %-a
Daganatok (tumor)	minimum 25 Gy	100%
Védendő szerv (gyomor)	maximum 6 Gy	90%
Védendő szerv (gerincvelő)	maximum 6 Gy	100%
Egyéb szövet	maximum 12 Gy	75%

A táblázatban lévő értékek értelmezése például a védendő szervek esetén: a védendő gyomor 90%-a nem kaphat többet, mint 6 Gy. A maradék 10% kaphat többet is. A gerincvelő 100%-a nem kaphat többet, mint 6 Gy. (A valóságos sugárkezeléseknél a dóziskorlátok rendszere sokkal részletesebb és bonyolultabb, mi itt csak néhány szempontot emeltünk ki a szimulációban).

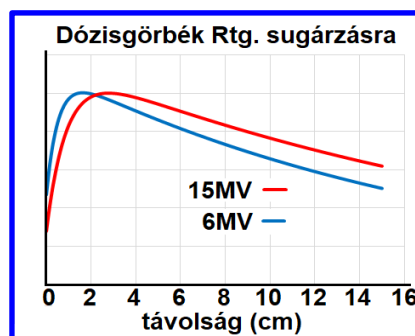
A képzeletbeli sugárterápiás központban a besugárzási program végrehajtásához rendelkezésünkre áll **kétféle energiájú röntgennyaláb** (6 MV és 15 MV), és széles határok között (50 MeV – 240 MeV) **változtatható energiájú protonnyaláb**. Ezeknek a sugárnyaláboknak néhány fontos tulajdonságát az alábbiakban foglaljuk össze.

Röntgen- illetve gamma-sugárnyaláb

A legtöbb sugárterápiás központban lévő készülék többsége röntgen- vagy gamma-sugárzással végzi a sugárkezelést. A gamma-sugárzás atommagok bomlásakor keletkezik (pl. ^{60}Co), a röntgen-sugárzást pedig nagy energiájú elektrongyorsítók elektronnyalábjának nehézfém céltárgyba (pl. wolfram) való ütköztetésével állítják elő. Míg a gamma-sugárzás kvantumainak az energiája jól meghatározott érték, a gyorsítóval előállított röntgen-fotonok energia-eloszlása egy adott energiatartományban folytonos („fékezési sugárzás”). Ezért ez utóbbi sugárteret nem a fotonok energiájával (MeV), hanem azzal a gyorsító feszültséggel szoktuk jellemezni, amellyel az elektronokat felgyorsítottuk. Ezért beszélhetünk pl. 6 MV-os, vagy 15 MV-os röntgensugárzásról.

A röntgen- és a gamma-fotonokból alkotott sugárnyaláb hasonlóan viselkedik: ahogy eléri a testet, igen rövid „dózis-felépülési” szakasz után eléri a dózisleadás maximumát, és innen a testben leadott dózis exponenciálisan gyengül a sugárnyaláb által megtett távolság függvényében. Ezt mutatja a mellékelt ábra. (A vízszintes tengelyen a sugárzás testben megtett távolsága van, a függőleges tengelyen a dózisintenzitás az adott távolságban, relatív egységekben.) Természetesen, a dóziszfelépülés és az exponenciális gyengülés paraméterei függenek a sugárzásban lévő fotonok energiájától és a szövet típusától is.

A mi szimulációnkban nem teszünk különbséget az egyes szövetek között (a professzionális szoftverekben természetesen ezt is kezelik). Ebben a szimulációban a dóziszgörbe olyan, mintha a sugárnyaláb végig vízben haladna (az emberi szövet energia-elnyelése sugárzásból nagyon hasonló a vízéhez).

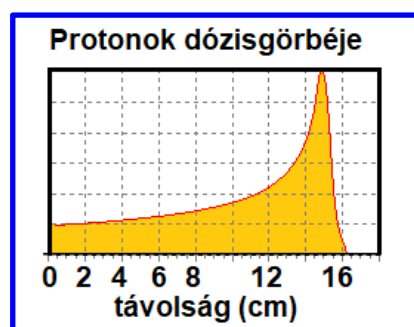


A protonnyaláb dóziszgörbéje

A protonok gyorsítóból jönnek, és ezért a nyaláb protonjainak energiája egy jól meghatározott érték. A gyakorlatban használt protonnyaláb energiaszórása kb. 1-2%. (Természetesen ennél jobb energiafelbontású nyalábot is elő lehet állítani, azonban sugárterápiás célokra ezek az értékek felelnek meg.) A protonok – elektromosan töltött részecskék lévén – az útjuk mentén ionizálnak, és ezért lassulnak, elveszítik kezdeti energiájukat. A közegnek egységnyi úthosszon átadott energia (az úgynevezett lineáris energiáttranszfer, vagy LET) fordítottan arányos a részecske sebességének a négyzetével (Bethe-Bloch formula).

Ebből következik, hogy a protonok a pályájuk vége felé – megállásuk előtt – adják át a legtöbb energiát a szövet sejtjeinek, amin áthaladnak. Ezért a protonok dóziszgörbéje alapvetően különbözik a röntgen- vagy gamma-sugárzás dóziszgörbétől. Ezt mutatja a mellékelt ábra.

Természetesen az, hogy a dóziszgörbe maximuma – az úgynevezett Bragg-csúcs – milyen mélyen van az anyag belsejében, függ a protonnyaláb kezdeti energiájától, és a közegtől is, amelyben a protonok haladnak. A szimulációban a közeg – mint a Rtg- vagy gamma-sugárzás esetében is – víznek tekintjük, a protongyorsító energiáját azonban változtathatjuk. A fenti ábra kb. 150 MeV energiájú protonok esetén mutatja a dóziszgörbét.



Feladatok

- 1) **Feladat (0 pont)**
 - Ismerkedjünk meg a programmal! (Lásd külön, a programkezelési útmutatót!)
- 2) **Feladat (4 pont)**
 - Sugározzuk be az egyik tumort **6MV**-os röntgensugárzással egy irányból. Állítsuk be úgy a blendét és a besugárzási időt, hogy a tumor egésze megkapja az előírt dózist!
 - Ellenőrizzük a **Kiértékelés** gombbal, hogy mekkora a védendő és egyéb szövetek által kapott legnagyobb dózis! (Mekkora hányad van a 12, ill. 6 Gy-es dóziskorlát fölött?)
 - Jegyezzük fel a besugárzási konfigurációt!
- 3) **Feladat (4 pont)**
 - Új beteg (töröljük a korábbi dózis adatokat).
 - Sugározzuk be a másik tumort 3 irányból a **15MV**-os röntgennel egy **besugárzási program** összeállításával! Értjük el a tumorra vonatkozó minimumkövetelményt!
 - Mekkora a védendő szerveket és az egyéb szöveteket ért legnagyobb dózis? (Mekkora hányad van a 12, ill. 6 Gy-es dóziskorlát fölött?)
 - Jegyezzük fel a besugárzási konfigurációt!
- 4) **Feladat (4 pont)**
 - Új beteg (töröljük a korábbi dózis adatokat).
 - Sugározzuk be az egyik tumort csak a **protonnyaláb** használatával, egy **besugárzási programban**! Értjük el a tumorra vonatkozó minimumkövetelményt!
 - Mekkora a védendő szerveket és az egyéb szöveteket ért legnagyobb dózis? (Mekkora hányad van a 12, ill. 6 Gy-es dóziskorlát fölött?)
 - Jegyezzük fel a besugárzási konfigurációt.
- 5) **Feladat (10 pont)**
 - Új beteg (töröljük a korábbi dózis adatokat).
 - **Optimalizáljunk!** Az előző tapasztalatok alapján állítsunk össze egy olyan besugárzási programot, amely eléri a tumorokra vonatkozó minimumkövetelményt és minél kevésbé terhel az egészséges szöveteket! (Az optimalizálás során több programot is lehet készíteni és elmenteni, de a jegyzőkönyvben meg kell jelölni, hogy melyik programot tekintjük optimálisnak!
- 6) **Feladat (3 pont)**
 - **Dokumentáljuk** a munkánkat, írjuk le a gondolatmenetünket és az eredményeket!

