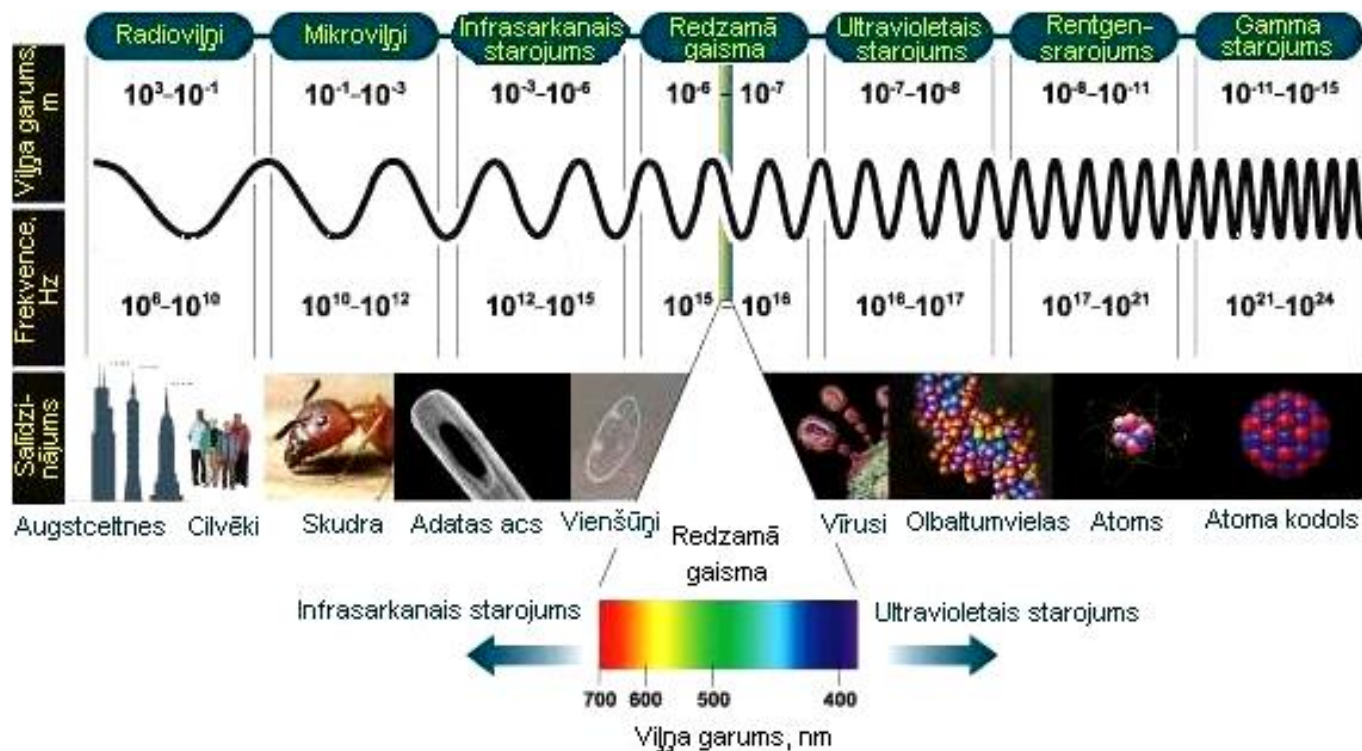


MEISTARKLASE PAR DAĻIŅU PAĀTRINĀTĀJIEM MEDICĪNĀ

Kas ir radioterapija?

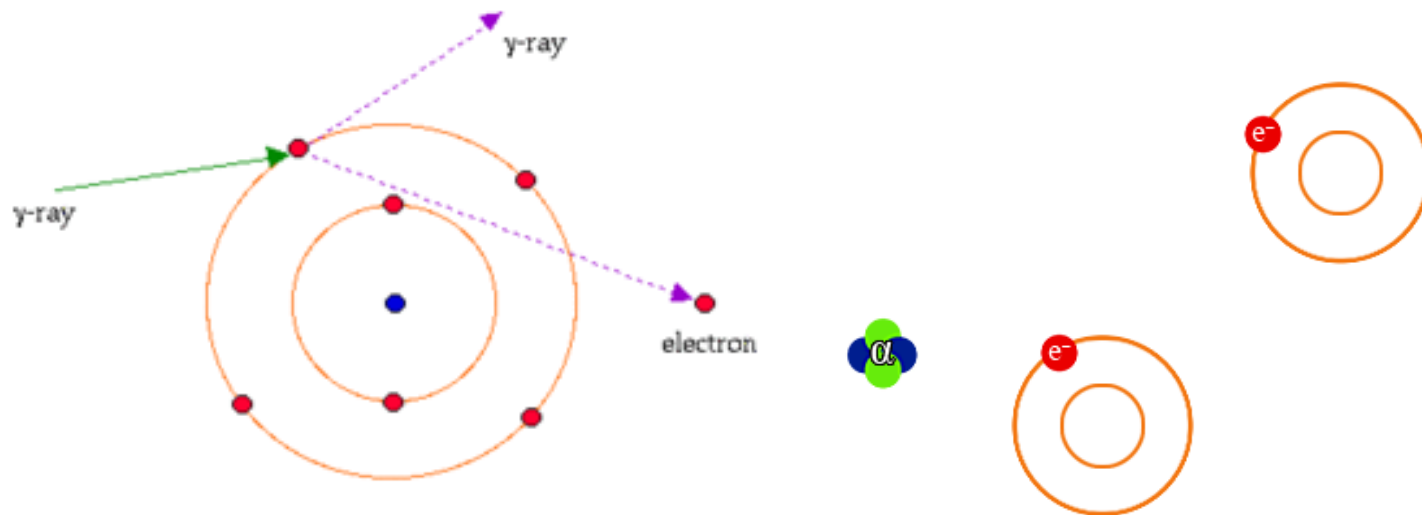
Kas ir jonizējošais starojums?

Jonizējošais starojums (radiācija) ir enerģijas plūsma daļiņu vai elektromagnētisko viļņu veidā ar viļņu garumu ≤ 100 nm, ko izstaro dabīgie un cilvēka radītie starojuma avoti.



Kas ir jonizācija?

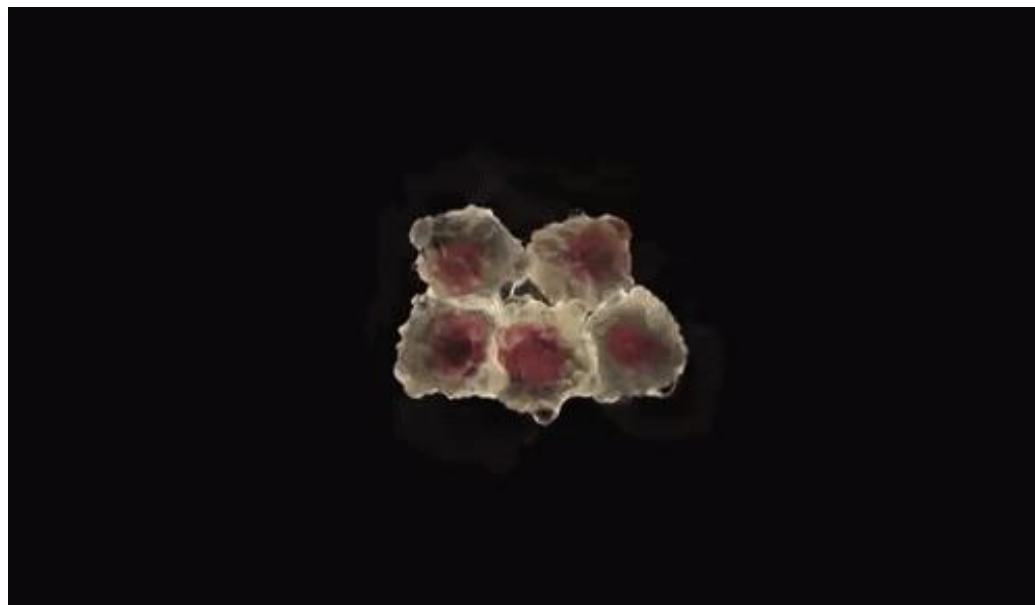
Jonizējošais starojums mijiedarbojoties ar atomu spēj izsist cieši piesaistītos elektronus no atoma orbītas, radot atoma uzlādēšanu jeb **jonizāciju**.



Kas ir ļaundabīgs audzējs?

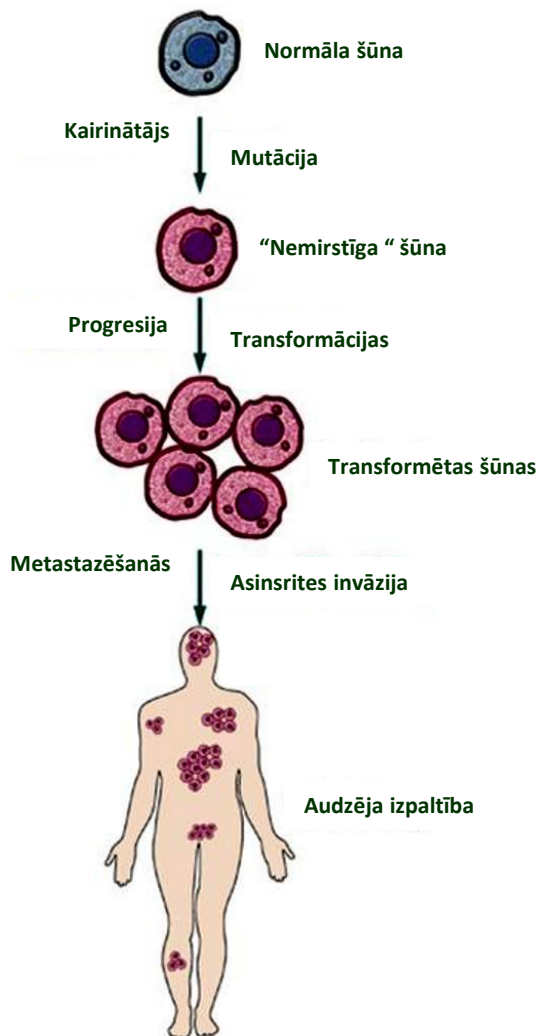
Audzēja šūnas no normāliem organisma audiem, atšķiras ar spēju strauji, nekontrolēti dalīties un augt.

Ļaundabīgie audzēji parasti, iespiežas veselajos audos un orgānos un rada metastāzes citās organisma vietās, kur audzēja šūnas nokļūst ar asinīm vai limfu.



Kā tas rodas un izplatās organismā?

Audzēja šūnu formēšanās



Ja ārēja kairinātāja iedarbība ir neliela, tad bojātās šūnas pašas spēj "salaboties".

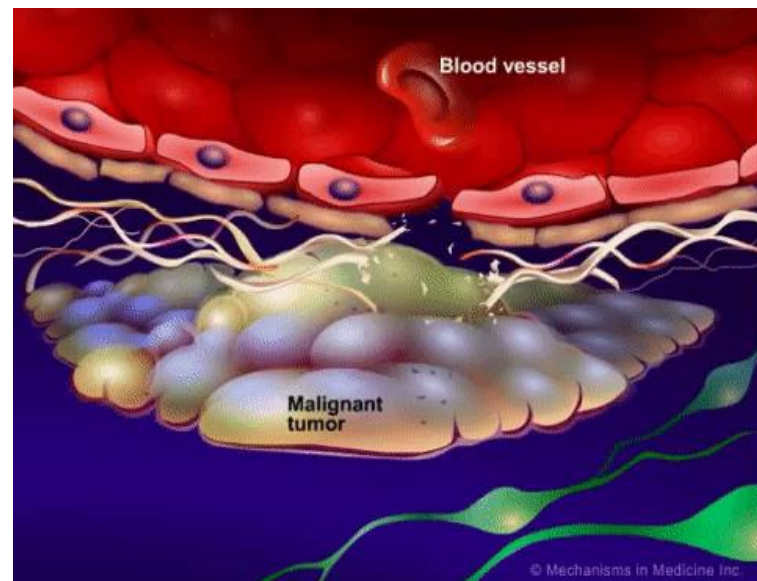
Normālos apstākļos DNS bojājumi skar ~ 100 000 šūnu dienā, turklāt, ģenētiskās mutācijas virza evolūciju...

Palielinoties ārējai ietekmei, šūnas var nespēt novērst kaitējumu un neatgriezeniski mainīties vai iet bojā.

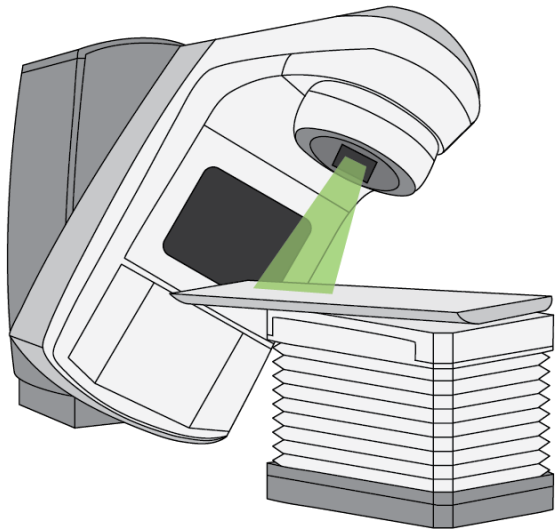
Lielākā daļa mirušo šūnu organisms vienkārši aizstāj. Taču dažas, neatgriezeniski mainītas šūnas, daloties var tupināt radīt ļaundabīgas šūnas.

Kas ir metastāze?

Ja ļaundabīgā audzēja šūnas izkļūst ārpus audzēja, ar asinsrites palīdzību, tās var “ceļot” uz citām ķermeņa daļām un orgāniem. Visās jaunajās vietās, vēža šūnas turpina vairoties un augt. Šādā veidā izplatītas šūnas sauc par metastāzēm. Ir ļoti svarīgi izprast starpību starp metastāzēm un vietējo izplatību, jo tas nosaka pacienta izredzes un ārstēšanas taktiku.



Kā to ārstē?



Radioterapija

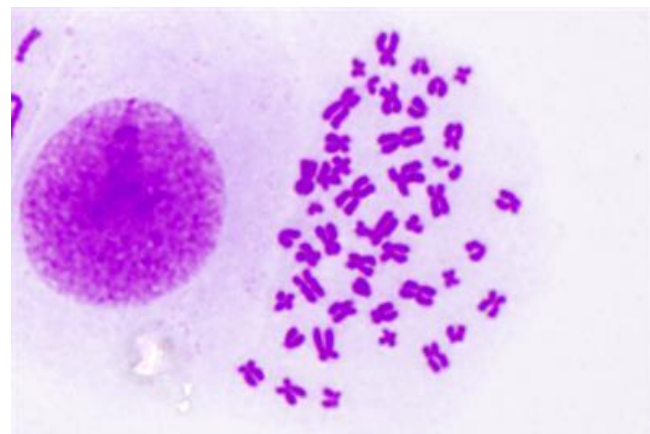
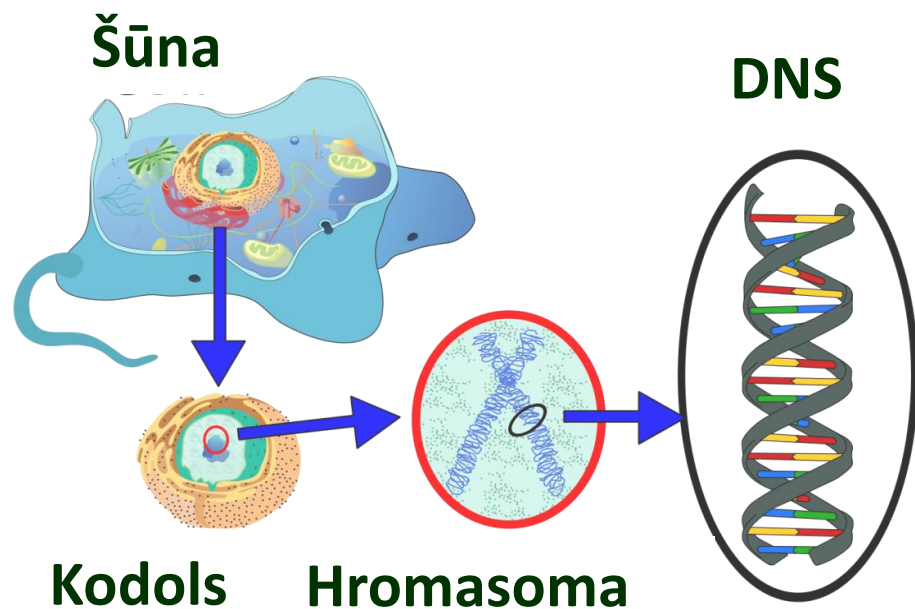


Ķirurgija



Ķīmijterapija

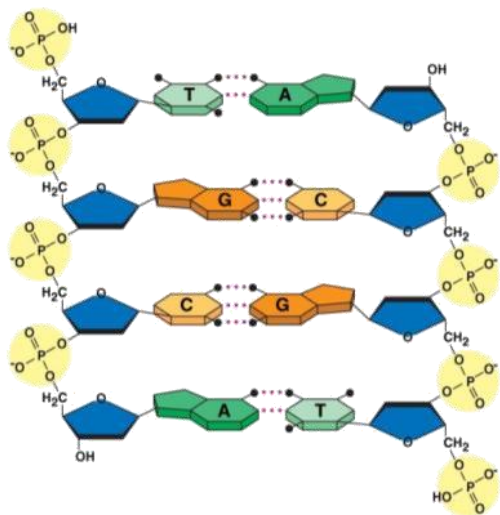
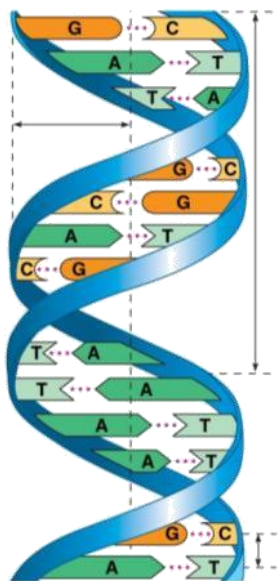
Vai radiācija spēj ārstēt?



Hromosoma ir pašreproducējoša pavedienveida struktūra, kurā ieslēgta šūnas galvenā ģenētiskā informācija. Hromosomas ir visu šūnu kodolos. Šūnas dalīšanās laikā hromosomas likumsakarīgi sadalās pa meitšūnām. Hromosomas sastāv no dezoksiribonukleīnskābes (DNS), kas ieslēgta olbaltumvielu apvalkā.

Lai ārstētu ar radiāciju...

... ir jāsaprot DNS struktūra un kā radiācija spēj to ietekmēt.



DNS ir divvirzienu spirāles ar nukleobāzēm (G, A, T, C), kas piestiprinātas cukura-fosfāta statnēm.

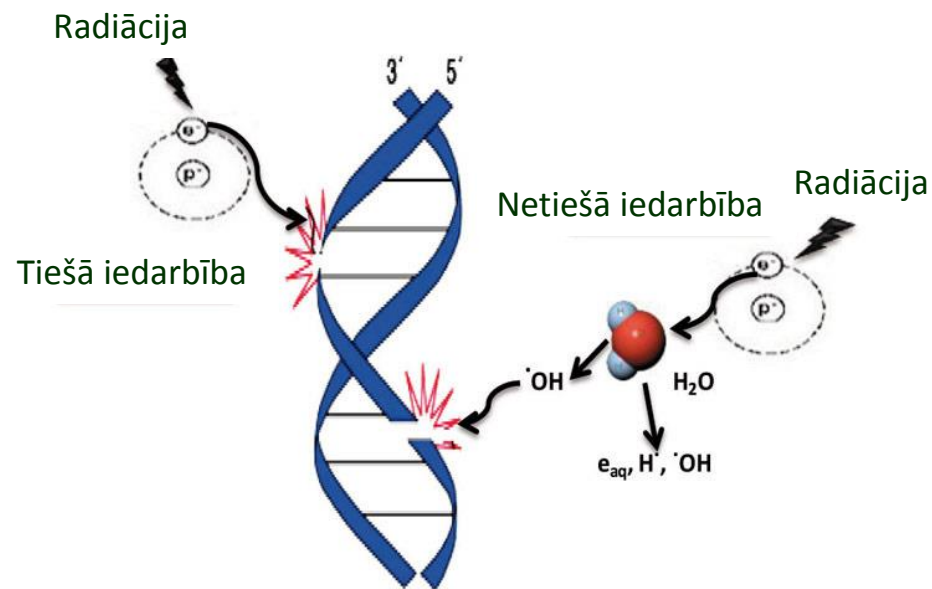
Katrs nukleobāzes tips vienā ķēdē saistās tikai ar vienu, noteikta, tipa nukleobāzēm otrā ķēdē.

Radiācijas iedarbība

Izšķir tiešu un netiešu radiācijas iedarbību.

Netiešā iedarbība dominē starojumam ar zemu LET (rentgena stari, gamma stari, fotonu starojums).

Tiešā iedarbība dominē starojumam ar augstu LET (alfa daļiņas, protoni, smagie joni).



Kas ir radiācijas terapija?

Staru terapija ir jonizējošā starojuma (fotonu, elektronu, protonu) izmantošana ļaundabīgo šūnu iznīcināšanai. To var pielietot kopā ar citām ārstēšanas metodēm (operācija, ķīmijterapija, imūnterapija) vai kā vienīgo ārstēšanas metodi.

Ja audzēju nav iespējams pilnībā iznīcināt, staru terapiju var izmantot, lai samazinātu audzēja radītos simptomus (piem., sāpes, rīšanas grūtības, asiņošanu, apkārtējo audu nospiedumu).

Staru terapijas kurss parasti sastāv no noteikta skaita procedūru (frakciju), kas tiek veiktas noteiktā laika periodā.

Radioterapijas veidi.

1. Ārējā staru terapija.

Šis ir visbiežāk pielietotais staru terapijas veids, piegādājot starojumu no iekārtas, kuru sauc par lineāro paātrinātāju. Tas nodrošina radiācijas pievadi audzējam, kontrolējot starojuma dozu apkārt esošajiem veseliem audiem.

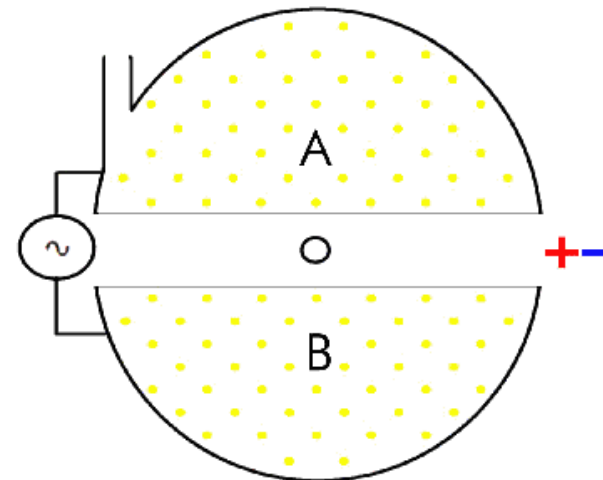
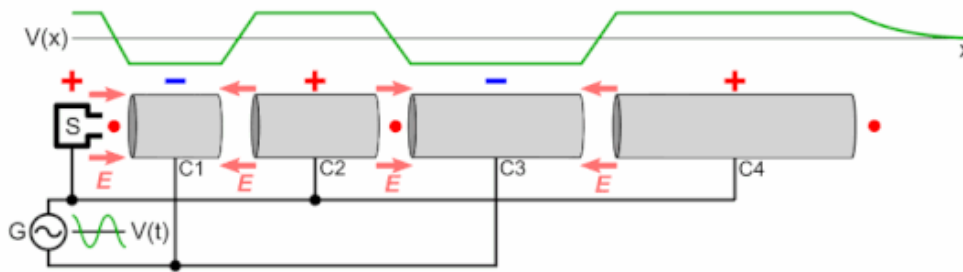
2. Iekšējā staru terapija.

Šo staru terapijas metodi sauc arī par brahiterapiju vai dobumterapiju. Radioaktīvs materiāls tiek ievietots audzējā vai apkārtējos audos. Implantī var būt pastāvīgi vai īslaicīgi, atkarībā no dozas jaudas (starojuma dozas laika vienībā).

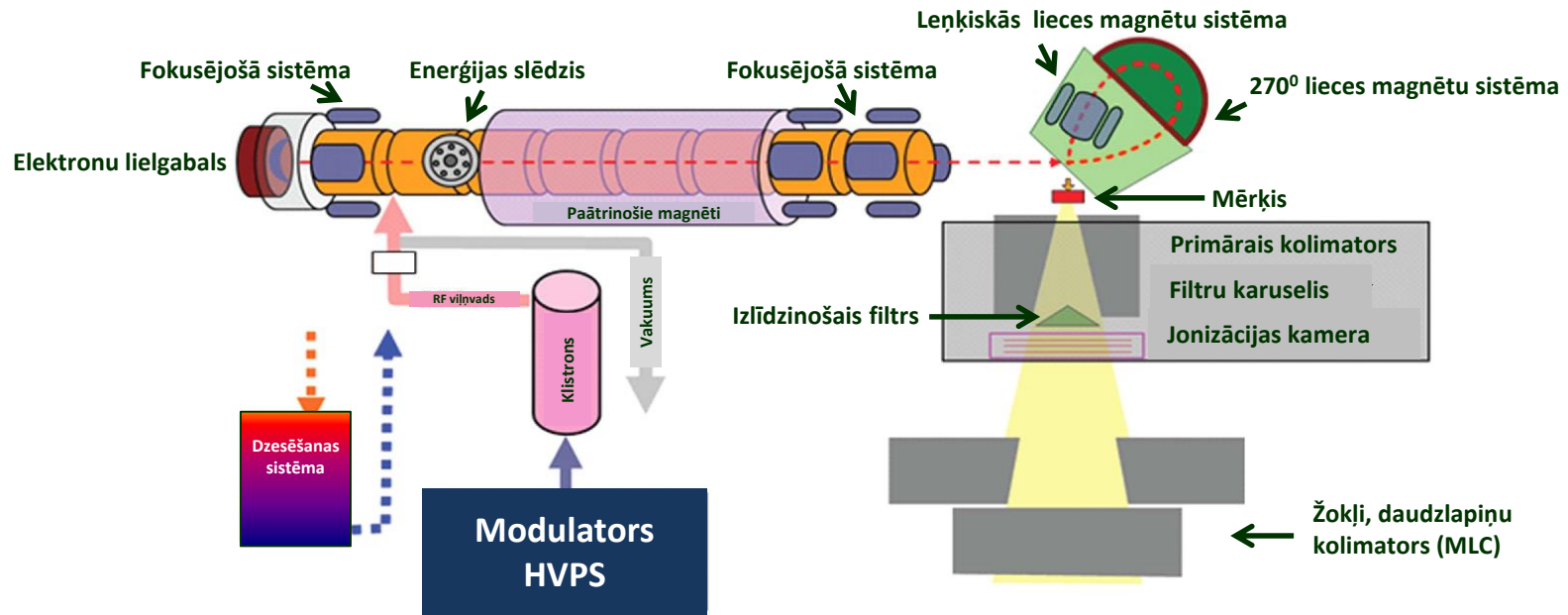
Staru terapijas ierīces.

Lai radītu pietiekamas enerģijas staru kūli, ar rentgena spuldzi nepietiek... Ir vajadzīgs elementārdaļiņu paātrinātājs!
Paātrinātājus var iedalīt divās lielās grupās:

1. Lineārie elektronu paātrinātāji
2. Cikliskie elementārdaļiņu paātrinātāji



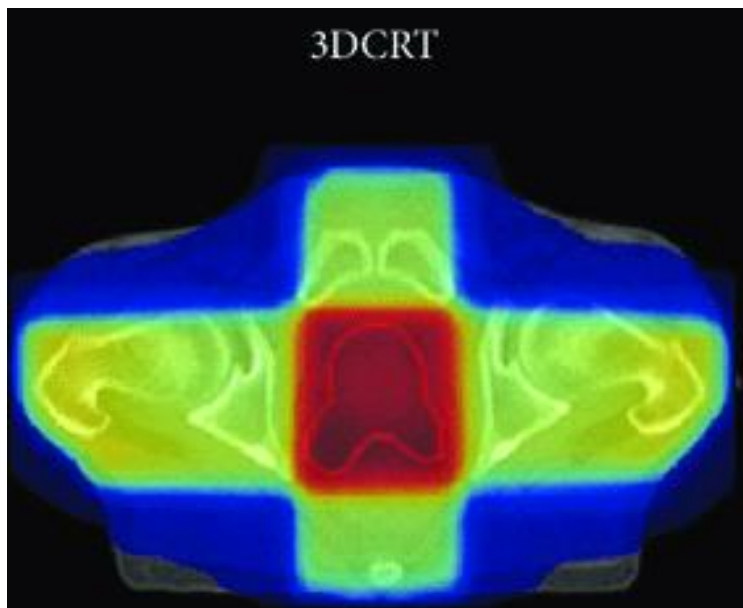
Lineārie paātrinātāji.



Lineārais elektronu paātrinātājs elektronu un fotonu kūļa iegūšanai

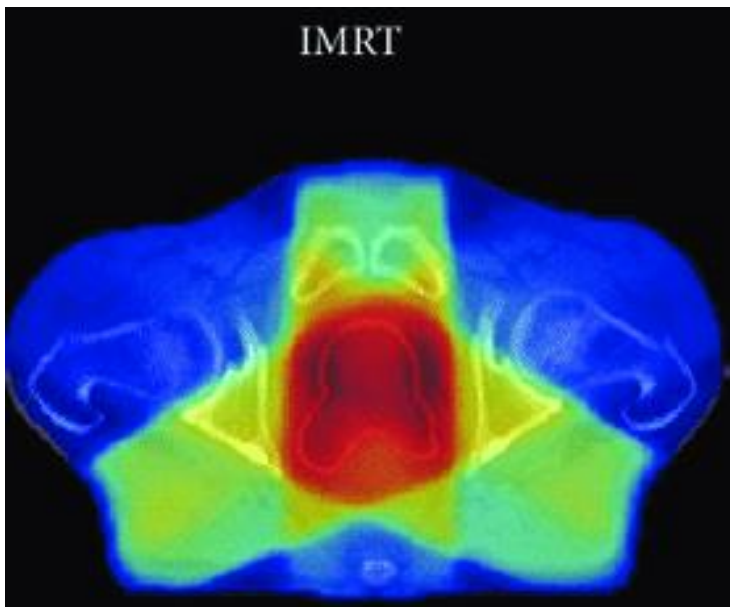
Ārējās apstarošanas veidi – 3DCRT.

Trīsdimensiju konformālā staru terapija. Staru terapijas metode, kur jonizējošā starojuma devu veido individuāli katram pacientam, balstoties uz datortomogrāfijas datiem par audzēja un iekšējo orgānu atrašanās vietu. Priekšrocības: būtiski samazina staru terapijas komplikācijas, palielina pacienta dzīves kvalitāti. Latvijā klīniskajā praksē ieviesta 2001. gadā.



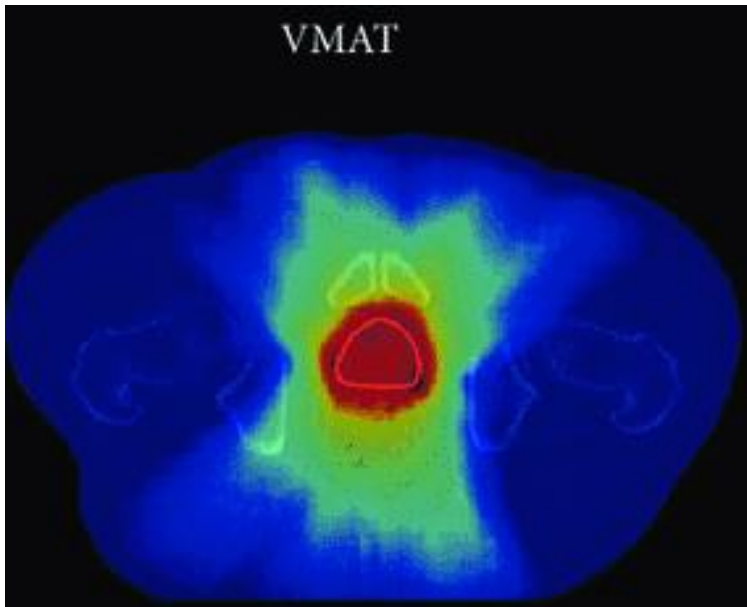
Ārējās apstarošanas veidi – IMRT.

Intensitātes modulētā staru terapija. Trīsdimensiju konformālās staru terapijas metode, kurā izmanto staru terapijas laukus ar modulētu fotonu plūsmu, lai izveidotu jonizējošā starojuma devu individuāli pielāgotu audzēja formai. Priekšrocības: ļauj nodrošināt lielāku radiācijas dozu audzējam un mazina dozu blakus esošajos audos. Latvijā klīniskajā praksē ieviesta 2003.gadā.



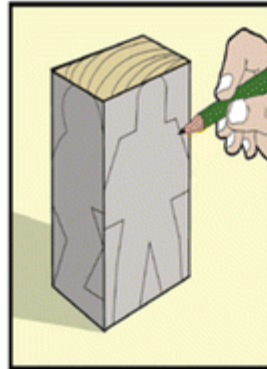
Ārējās apstarošanas veidi – VMAT.

Intensitātes modulētā rotācijas staru terapija. Starošana norit līdzīgi kā IMRT gadījumā, taču to veic aparātam rotējot ap pacientu vienmērīgā, lokveida kustībā. Šī procedūra nodrošina lielu, precīzu starojuma devu nelielā tilpumā. Latvijā klīniskajā praksē ieviesta 2018. gadā.

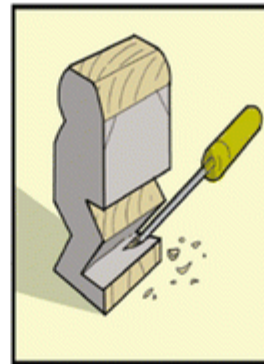


Atšķirības?

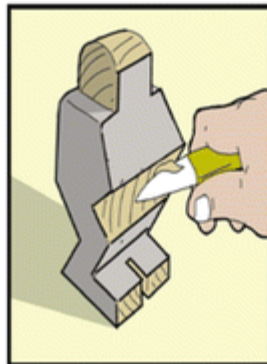
2D



2D-CRT



3D-CRT



VMAT

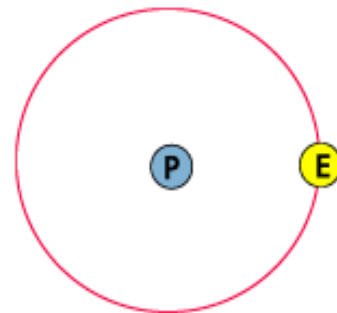
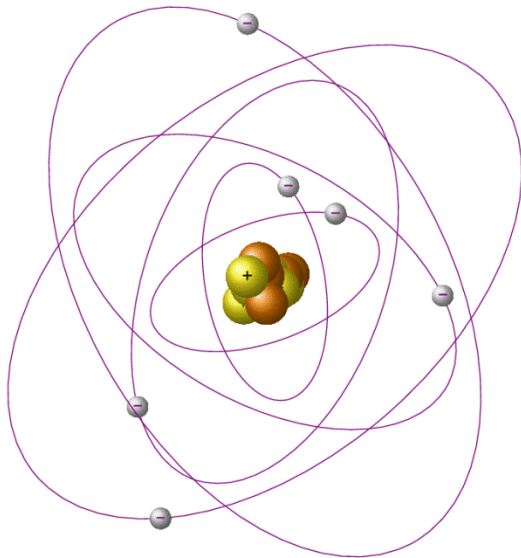


Kas ir protons?

Protons ir viens no atoma “celtniecības” elementiem. Protoni kopā ar neitroniem veido atoma kodolu.

Izņēmums ir ūdeņradis, tā atoms sastāv tikai no viena elektrona un viena protona.

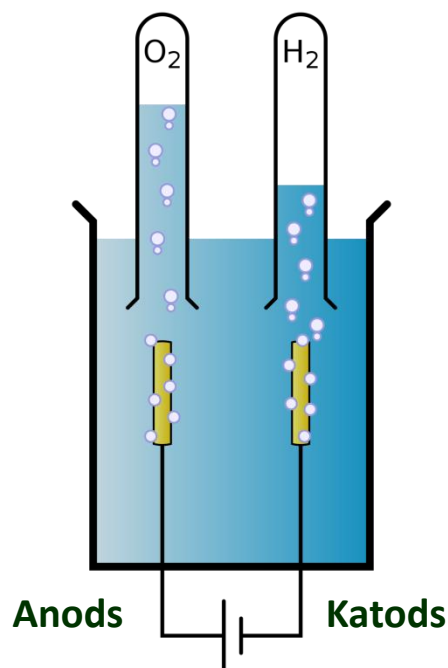
Tieši tādēļ ūdeņradis ir vislabāk piemērotais izejmateriāls protonu stara radīšanai.



Bet kā protonu atdalīt no atoma?

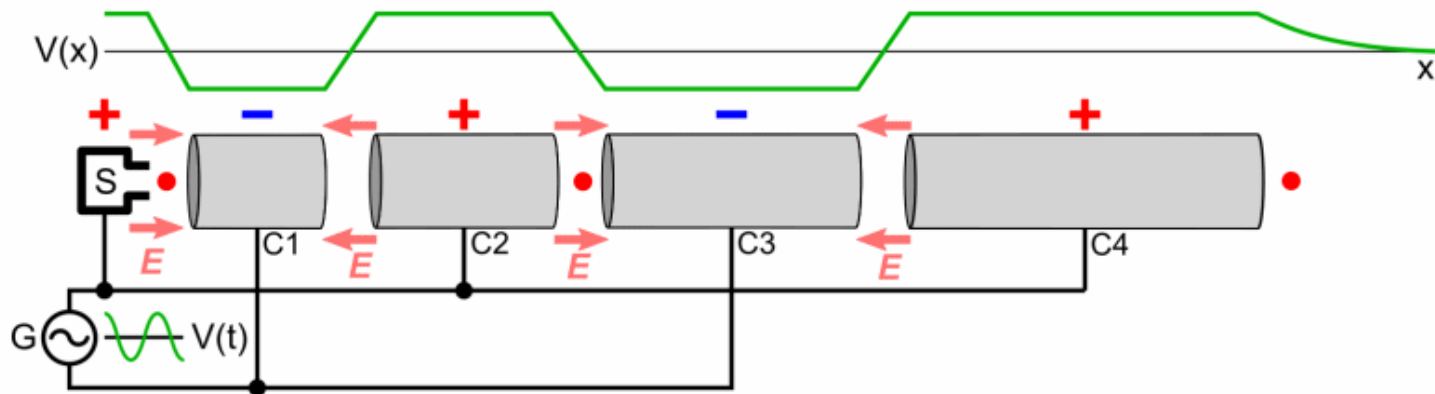
Visbiežāk protonus “atdala” no ūdeņraža gāzes, kura iegūta vai nu dejonizēta ūdens elektrolīzes rezultātā vai no tirdzniecībā pieejamas augstas tīrības pakāpes ūdeņraža gāzes.

Augstsprieguma elektriskā strāva ūdeņraža gāzē atbrīvo elektronus no ūdeņraža atoma, atstājot pozitīvi lādētos protonus.



Kā iegūt protonu staru?

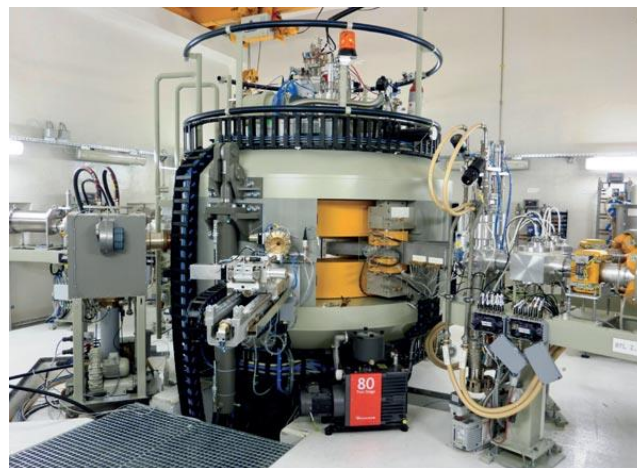
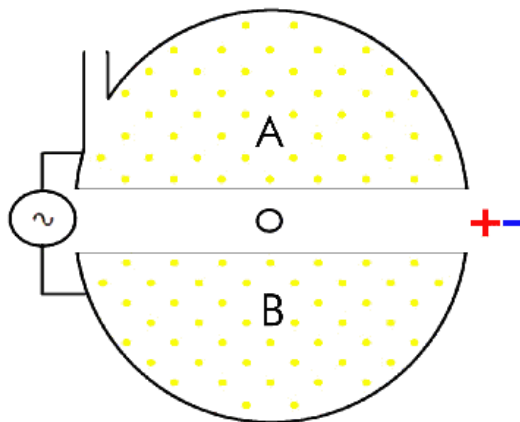
Protoniem piemīt pozitīvs elektriskais lādiņš. Lietas, kurām ir pretēji elektriskie lādiņi savstarpēji pievelkas, savukārt lietas ar vienādiem lādiņiem atgrūžas. Šis ir daļiņu paātrinātāja darbības pamtprincips. Protonus pa cauruli paātrina elektromagnēti - kad protons atrodas pirms magnēta, magnēts tiek pārslēgts uz negatīvu lādiņu, lai pievilktu protonu, bet, kad protons pārvietojas gar magnētu, lādiņš tiek pārslēgts uz pozitīvu, lai protonu atgrūstu, tādējādi paātrinot.



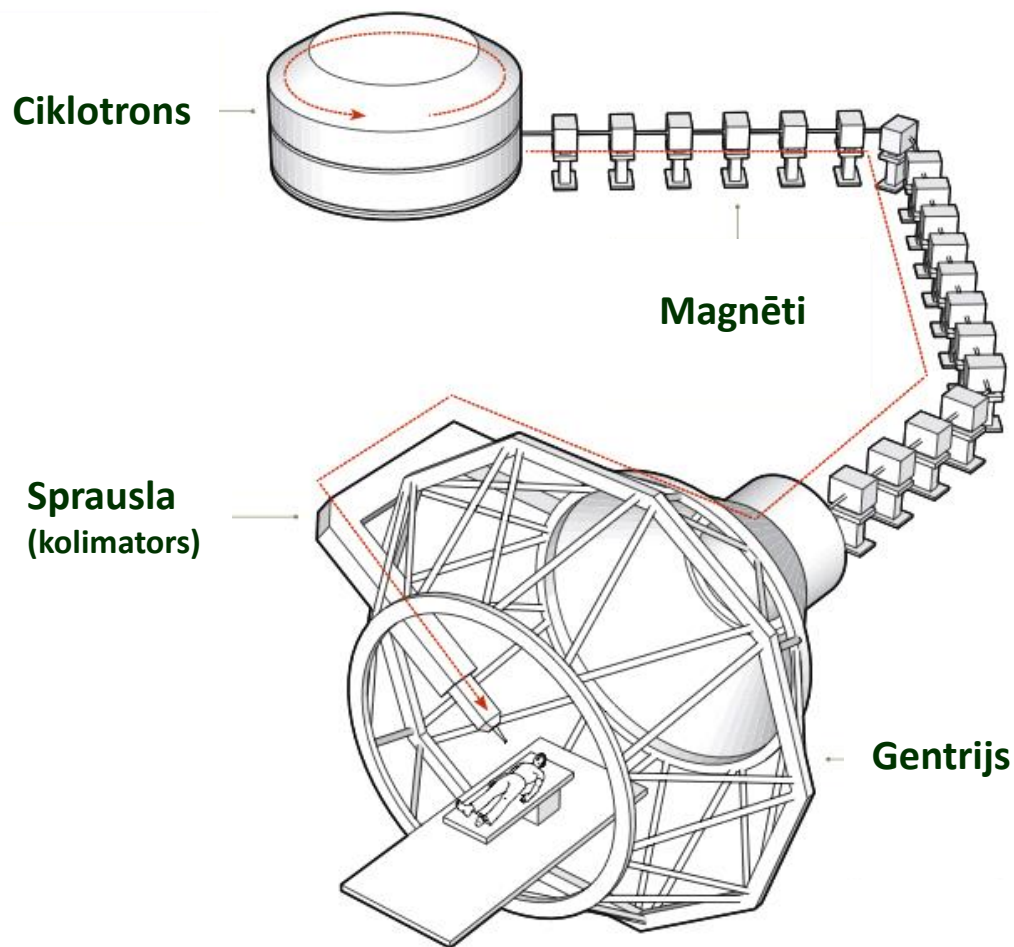
Izmēram ir nozīme!

Staru kūļa enerģija ir proporcionāla daļiņu ātrumam, savukārt ātrums ir proporcionāls elektriskajam potenciālam un viļņvada garumam... Rezultātā, lai iegūtu staru terapijā nepieciešamo kūļa enerģiju, paātrinātāja izmēriem jābūt milzīgiem un šādu ierīci nav iespējams novietot slimnīcā...

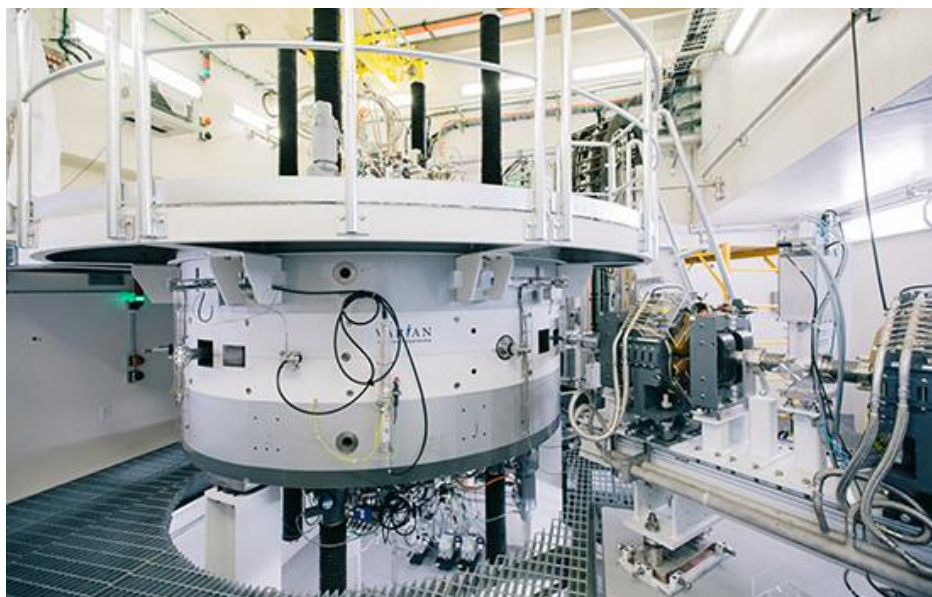
Risinājums – ciklisko paātrinātāju jeb ciklotronu izmantošana medicīnā.



Ar ciklotronu nepietiek...

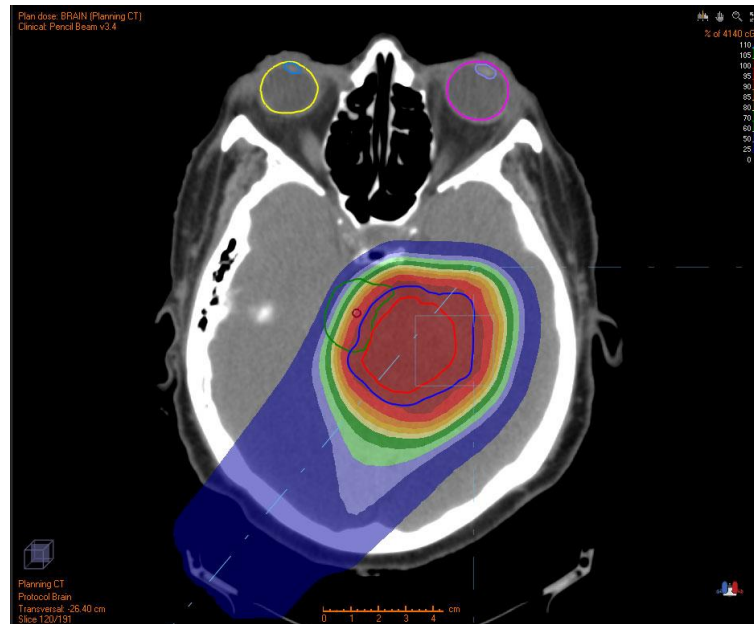


Izmērs vēl joprojām iespaidīgs...



Protonu staru terapija I.

Protonu staru terapija ir daļiņu radioterapijas veids, kur izmanto protonu staru kūli, lai apstarotu audzēja skartos audus. Galvenā protonu terapijas priekšrocība salīdzinājumā ar citiem ārējās staru staru terapijas veidiem ir tā, ka protonu radītā doza tiek deponēta šaurā dziļuma diapazonā. Rezultātā tiek nodrošināta minimāla ieejas, izejas un izkliedētā starojuma doza uz apkārtējiem audiem.

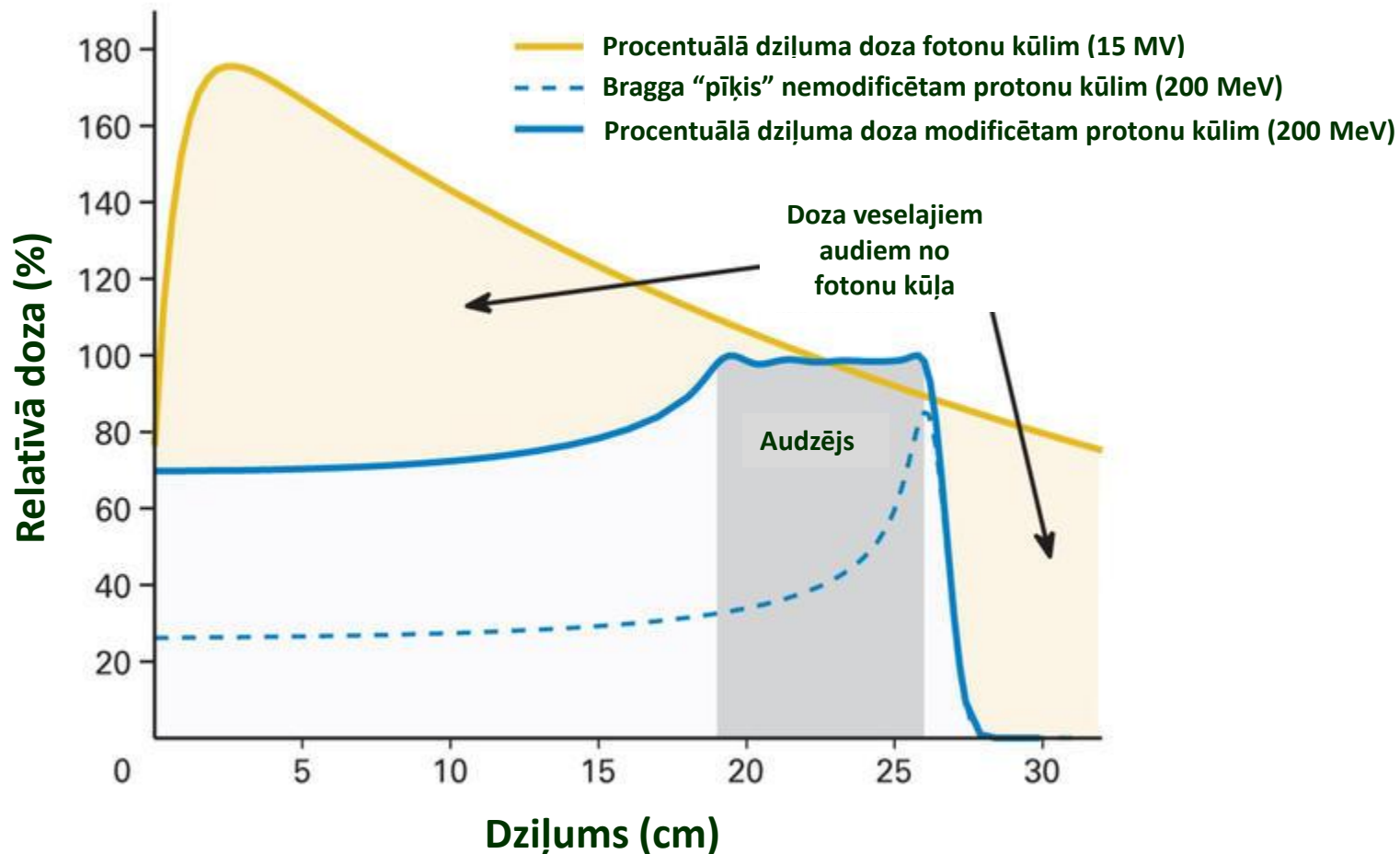


Protonu staru terapija II.

Klīniskajās situācijās, kad ir svarīgi piegādāt lielāku starojuma dozu mērķa apjomam, vienlaikus ievērojami samazinot dozu blakus esošajiem veselajiem audiem un riska orgāniem, protonu staru terapija tiek uzskatīta par vienīgo saprātīgo risinājumu.

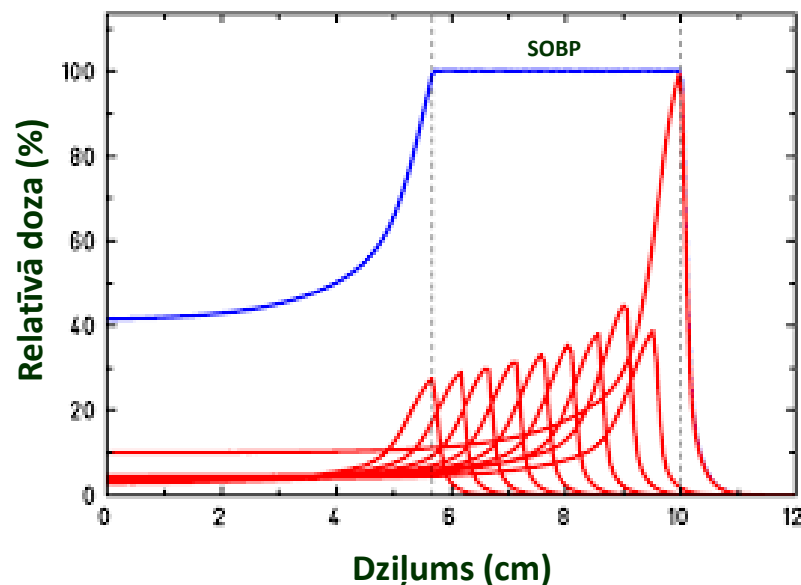
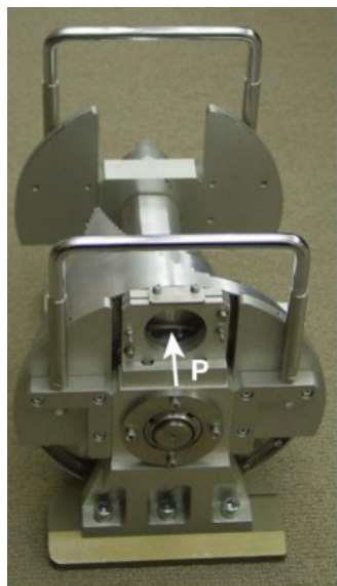


Kāda ir atšķirība starp fotonu un protonu kūli?

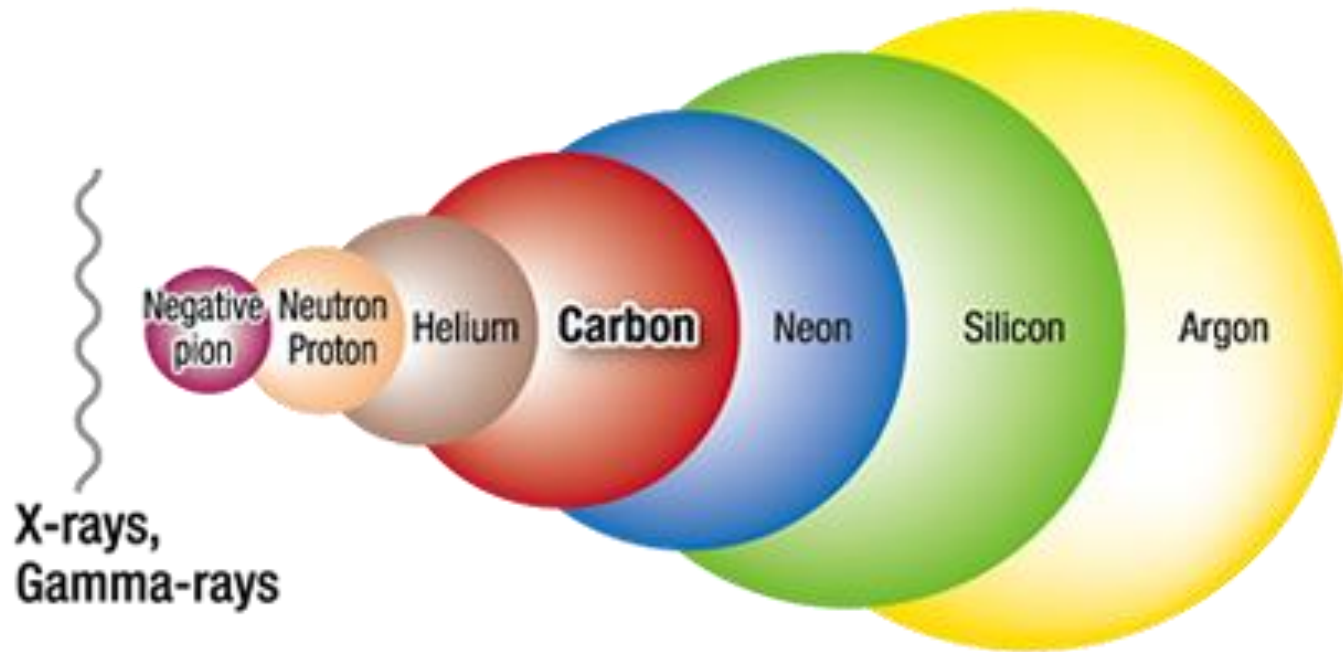


Kā kontrolēt dozu vajadzīgajā dziļumā?

Dozas dziļuma līkne ar pietiekamu platumu tiek iegūta, summējot vairākus Bragga pīķus. Diapazona modulācijas diski, kas sastāv no mainīgiem pakāpienu biezumiem, kalpo tieši šim nolūkam. Modulācijas disku platums un biezums ir kalibrēts, lai sasniegtu nepieciešamo SOBP (*Spread-out Bragg Peak*). SOBP platumu kontrolē izslēdzot staru kūli, kad sasniegts noteiktais platumas.



Vai radioterapijā var izmantot arī cita veida daļiņas?



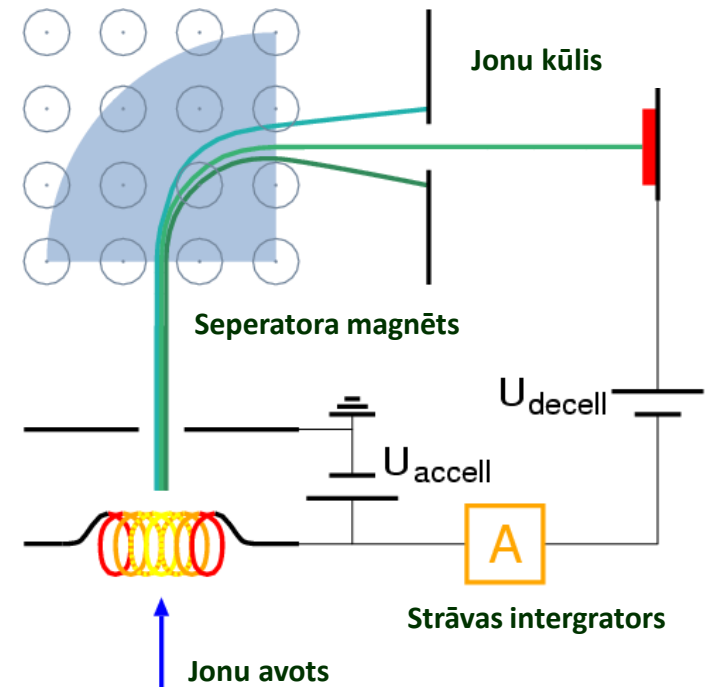
Oglekļa jonu terapija.

Lādētās daļiņas, kas ir smagākas par hēliju, sauc par “smagajiem joniem”. Oglekļa jona masa ir 12 x lielāka par protona masu. Oglekļa jonu staru terapija ir efektīva audzējiem, kas ir noturīgi pret fotonu vai protonu kūļa iedarbību.

Oglekļa jonu terapijas kurss prasa mazāk laika. Piemēram, prostatas vēzi nepieciešams apstarot ~ 40 frakcijās ar intensitātes modulētu staru terapiju (IMRT), bet oglekļa jonu staru terapijai ir vajadzīgas 12 apstarošanas frakcijas, lai sasniegtu tādu pašu bioloģisko efektu.

Kā iegūst oglekļa jonus?

Jonu deponēšana (IBD) ar masas separatoru ir veids no visplašāk pielietotajām metodēm. IBD ierīce sastāv no jonu avota, jonu “optikas” un nogulsnešanās mērķa. Jonu avots iztvaicē cietas vielas vai šķīdumus. Pēc tam jonus paātrina, fokusē vai novirza, izmantojot augstspriegumu un magnētisko lauku. Pie zemas enerģijas, joni tiek deponēti nesikti (mīksta nosēšanās), savukārt pie augstas enerģijas joni iekļūst materiālā (jonu implantācija). Jonu “optika” ir filtrs, kas nosaka kurus jonus deponēt.



Kas labāks – protoni vai fotoni?

Gan fotoniem, gan protoniem ir sava vieta staru terapijā, un tieši tāpēc progresīvas zināšanas šajā jomā ir tik svarīgas. Viena no jomām, kur protonu terapijas ieguvums ir skaidri pierādīts, ir pediatrijas pacienti.

Arī situācijās, kad vēzis atrodas tuvu dzīvībai svarīgiem orgāniem, piemēram, sirdij – protonu terapijas priekšrocības ir nenoliedzamas.

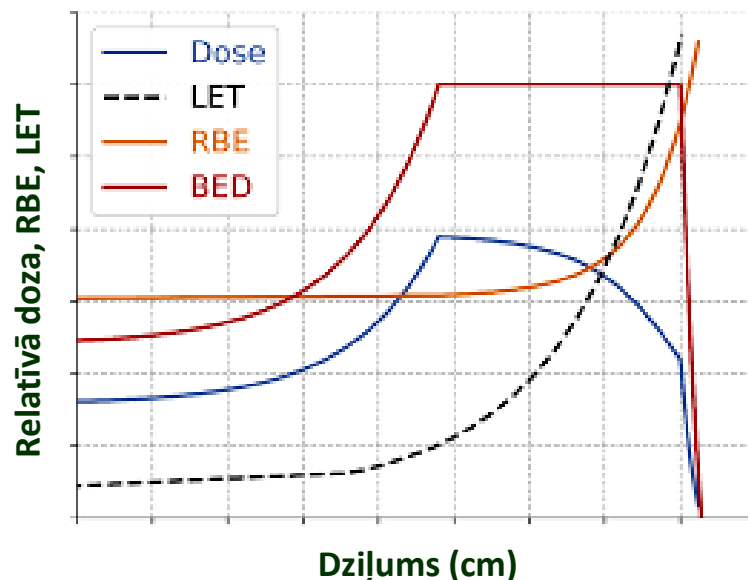
Būtībā jebkuram audzējam, kas atrodas anatomiski sarežģītā vietā vai ap to orgāni, kas jāaizsargā no radiācijas - protonu terapija ir labāk piemērota.

Relatīvā bioloģiskā efektivitāte.

Relatīvā bioloģiskā efektivitāte (RBE) ir divu dažādu staru kūļu pievadītās dozas attiecība, lai iegūtu tādu pašu bioloģisko (ārstniecisko) efektu.

Klīniskajā praksē pieņem, ka protonu kūļa RBE=1,1 – faktiski tāds pats kā fotonu kūlim, bet ar labākām fizikālajām īpašībām. Tomēr RBE mainās, mainoties lineārās enerģijas pārneses koeficientam – LET, jo LET palielinās, samazinoties kūļa enerģijai diapazona beigās.

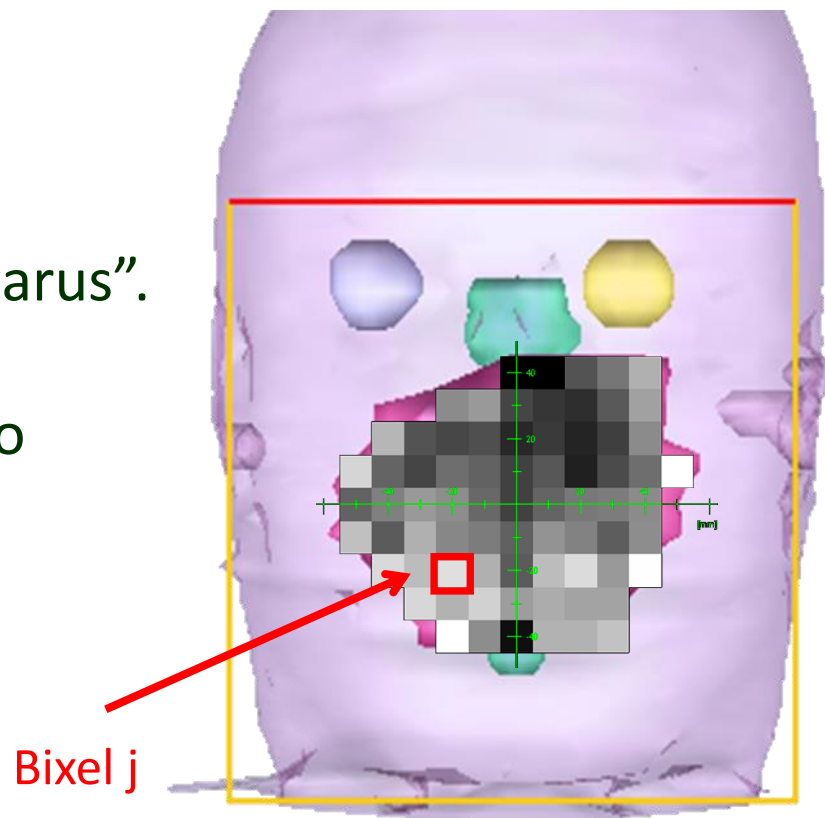
Diapazona beigās RBE strauji palielinās, sasniedzot RBE=1,3. Tādēļ faktiskā doza diapazona beigās var pārsniegt nozīmēto dozu pat par 25%.



Daži svarīgi jēdzieni (I.)

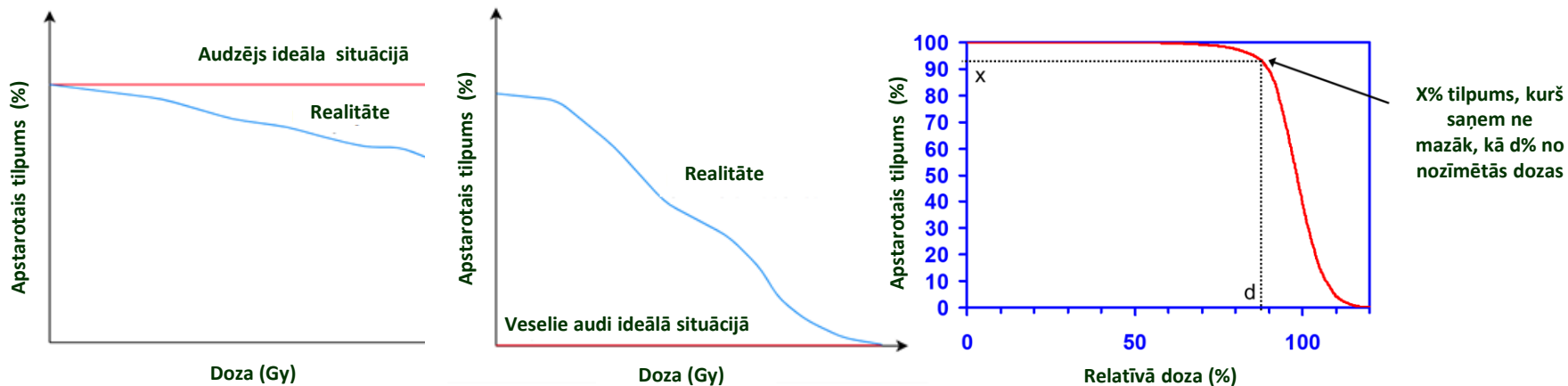
Absorbētā doza: absorbētā jonizējošā enerģija uz masas vienību.
To mēra Grejos ($1 \text{ J} / \text{kg} = 1 \text{ Gy}$).

IMRT audzēja precīzai apstarošanai izmanto vairākus mazus dažādas intensitātes fotonu starus – “zīmuļstarus”. Katra “zīmuļstara” intensitāte tiek kontrolēta un tā šķērsriezumu veido “**Bikseli**” (Beam + Pixel).



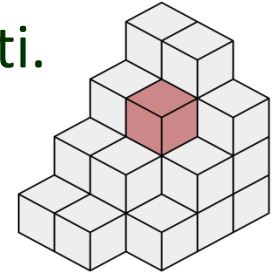
Daži svarīgi jēdzieni (II.)

Ideālā gadījumā apstaroti tiek tikai audzēja audi, neietekmējot apkārtējos, veselos audus, taču realitātē tas nav iespējams... Tādēļ staru terapijas plānošanas uzdevums ir rast kompromisu starp dozu audzējam un dozu veselajiem audiem. **DVH** (dozas – tilpuma histogramma) ir viens no galvenajiem rīkiem plāna novērtēšanā.

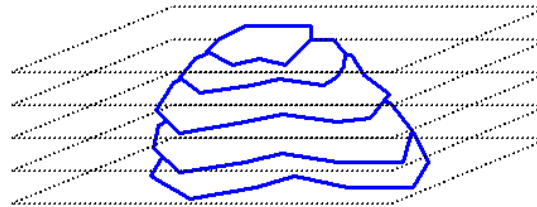


Daži svarīgi jēdzieni (III.)

Voxel: telpiskās modelēšanas mazākais 3D elements. Tam var piešķirt tādus diskrētus atribūtus, kā krāsu un intensitāti. Vokselim nav iekšējās struktūras un to parasti atvasina, vienādās daļās sadalot trīsdimensiju telpu;



VOI: interesējošais apjoms;



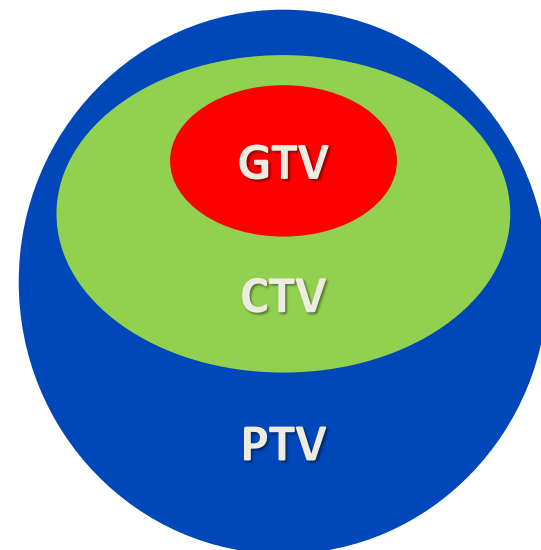
OAR: riska orgāni ir veseli audi / orgāni, kas novietoti netālu no klīniskā mērķa apjoma (CTV) un kuru apstarošana var izraisīt bojājumus. Piemēram, sirds, redzes nervi, muguras smadzenes u.c.

Daži svarīgi jēdzieni (IV.)

GTV: audzēja “bruto” apjoms, kas ir skaidri redzams datortomogrāfijas attēlos;

CTV: klīniskais mērķa apjoms. Audu apjoms, ieskaitot GTV un reģionus, kur ar lielu varbūtību var atrasties pagaidām nesaskatāmi audzēja audi;

PTV: plānošanas mērķa apjoms. Ietver GTV un CTV, kā arī drošības rezervi, lai ņemtu vērā nenoteiktības – orgānu kustības, pacienta pozicionēšanas nenoteiktības u.c.



Kahoot!

<https://kahoot.it/>

Spēles PIN: 06008097

Jautājumi?

Paldies par uzmanību!