

# ĮVADAS Į ŠIUOLAIKINĘ SPINDULINĘ TERAPIJĄ

Medicinos fizikos ekspertė radioterapijoje  
dr. Jurgita Laurikaitienė



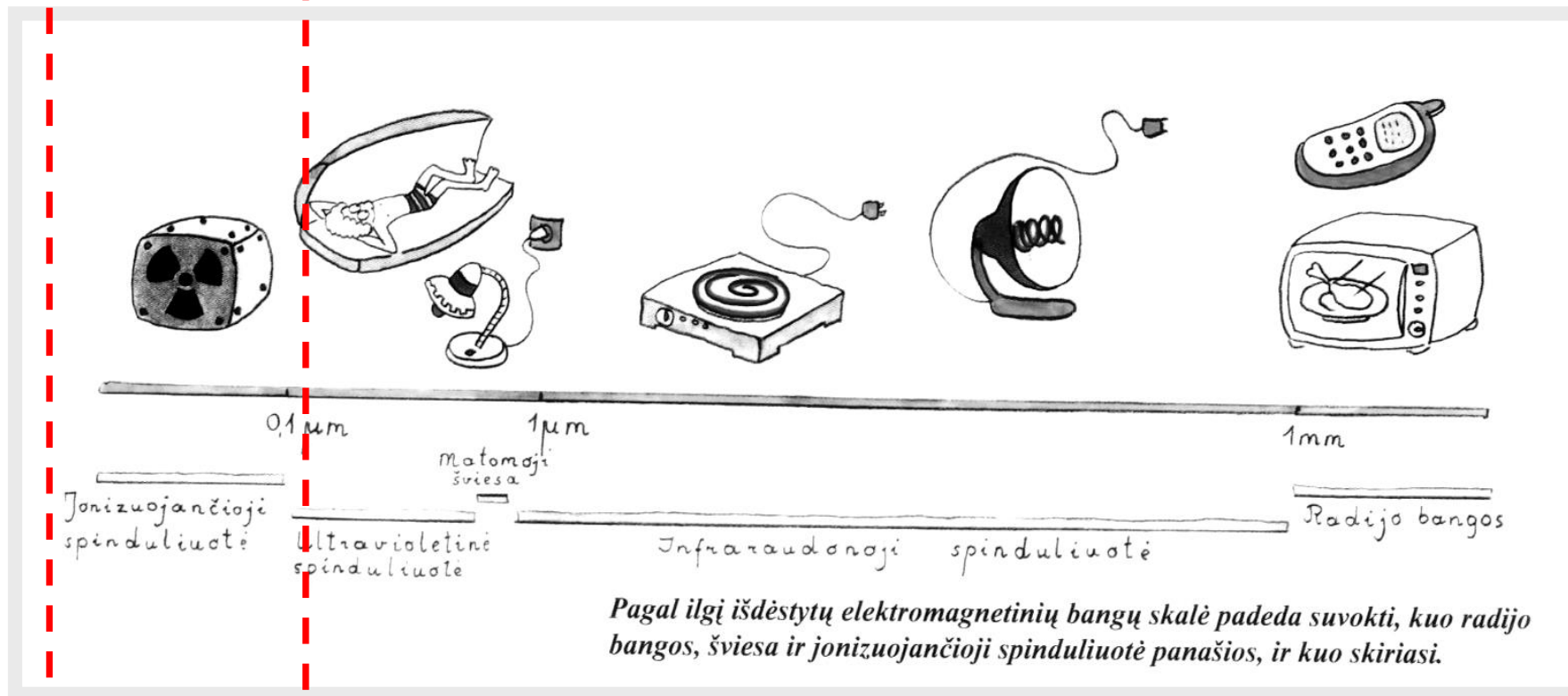


## Jonizuojančioji spinduliuotė

Gamtoje yra dvi spinduliuotės rūšys: nejonizuojančioji ir jonizuojančioji.



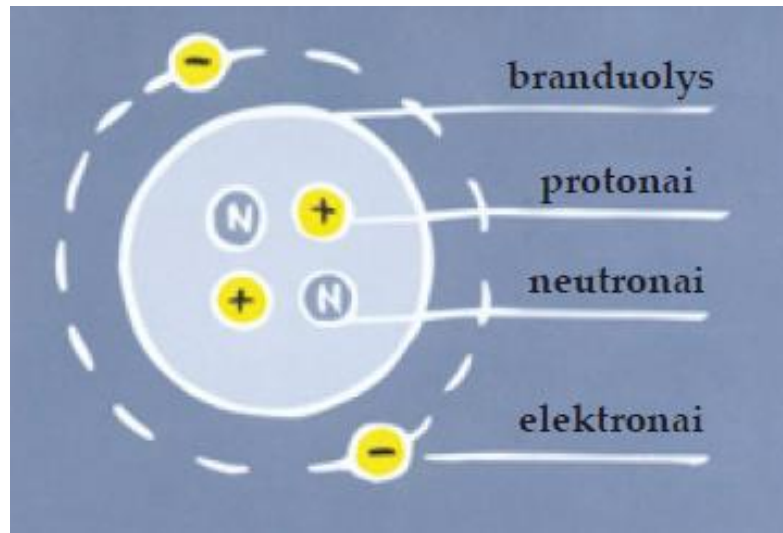
## Nejonizuojančioji spinduliuotė



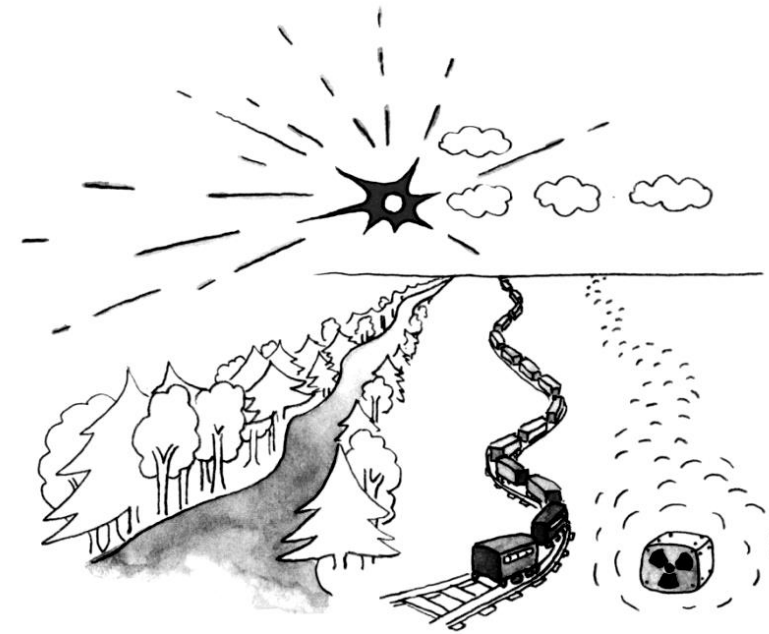
## Spindulinis gydymas

# JONIZUOJANČIOJI SPINDULIUOTĖ

Visa mūsų aplinka sudaryta iš atomų – mažiausių nedalomų dalelių. Branduolių skilimo metu išsiskiria energija, to pasekoje spinduliuojama jonizuojančioji spinduliuotė.



Jonizuojančioji spinduliuotė yra nematoma, neužuodžiama bei negirdima. Kaip ir šviesa ji sklinda net vakuume.



# ŽMOGUS, JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS ŠALTINIŲ KŪRĖJAS

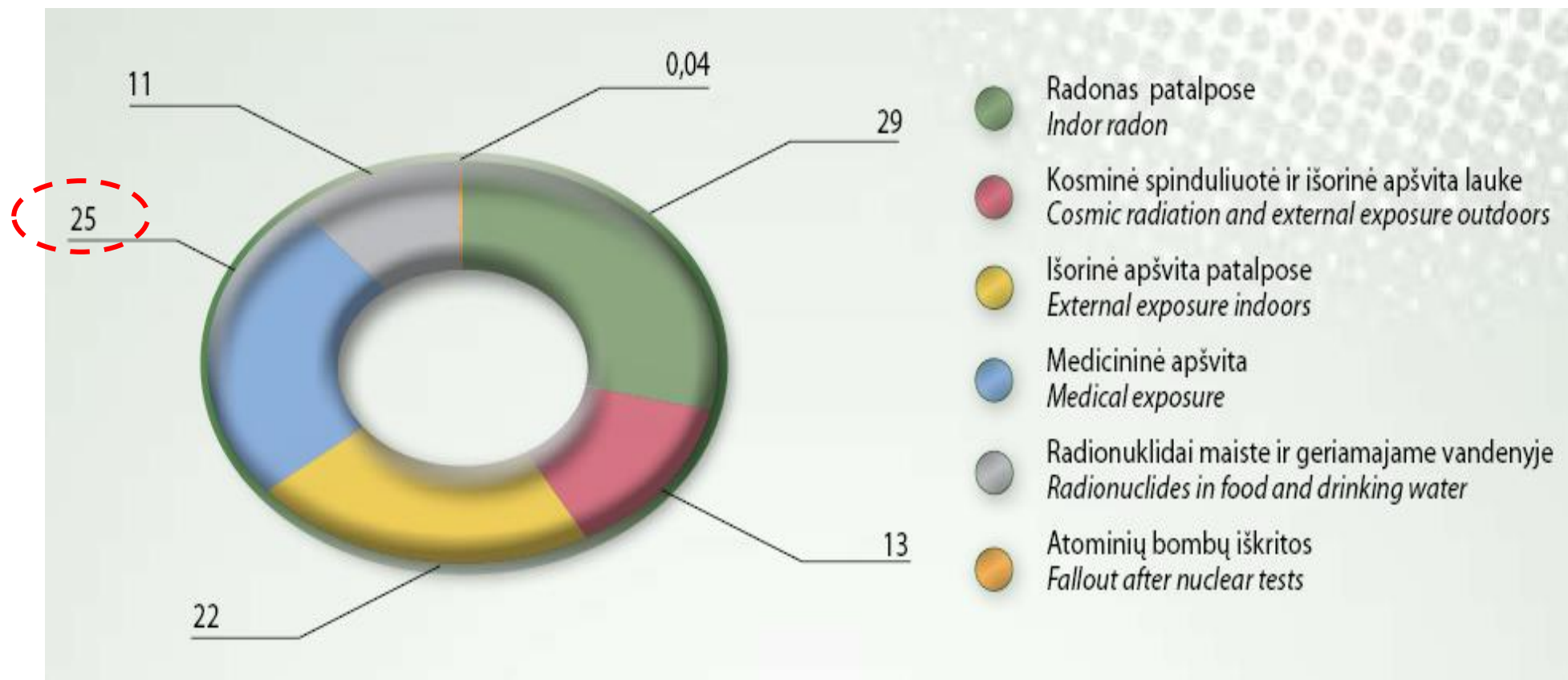
Jonizuojančioji spinduliuotė naudojama atominių elektrinių branduoliniuose reaktoriuose, medicinoje, pramonėje ir buityje.



Tokių jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių Lietuvoje yra daugiau negu 28 tūkstančiai.

# MEDICININĖ APŠVITA

Medicininė apšvita sudaro apie 25 proc. visos gyventojų gaunamos apšvitos Lietuvoje. Todėl ši apšvita turi būti pagrįsta kiekvienu individualiu atveju.



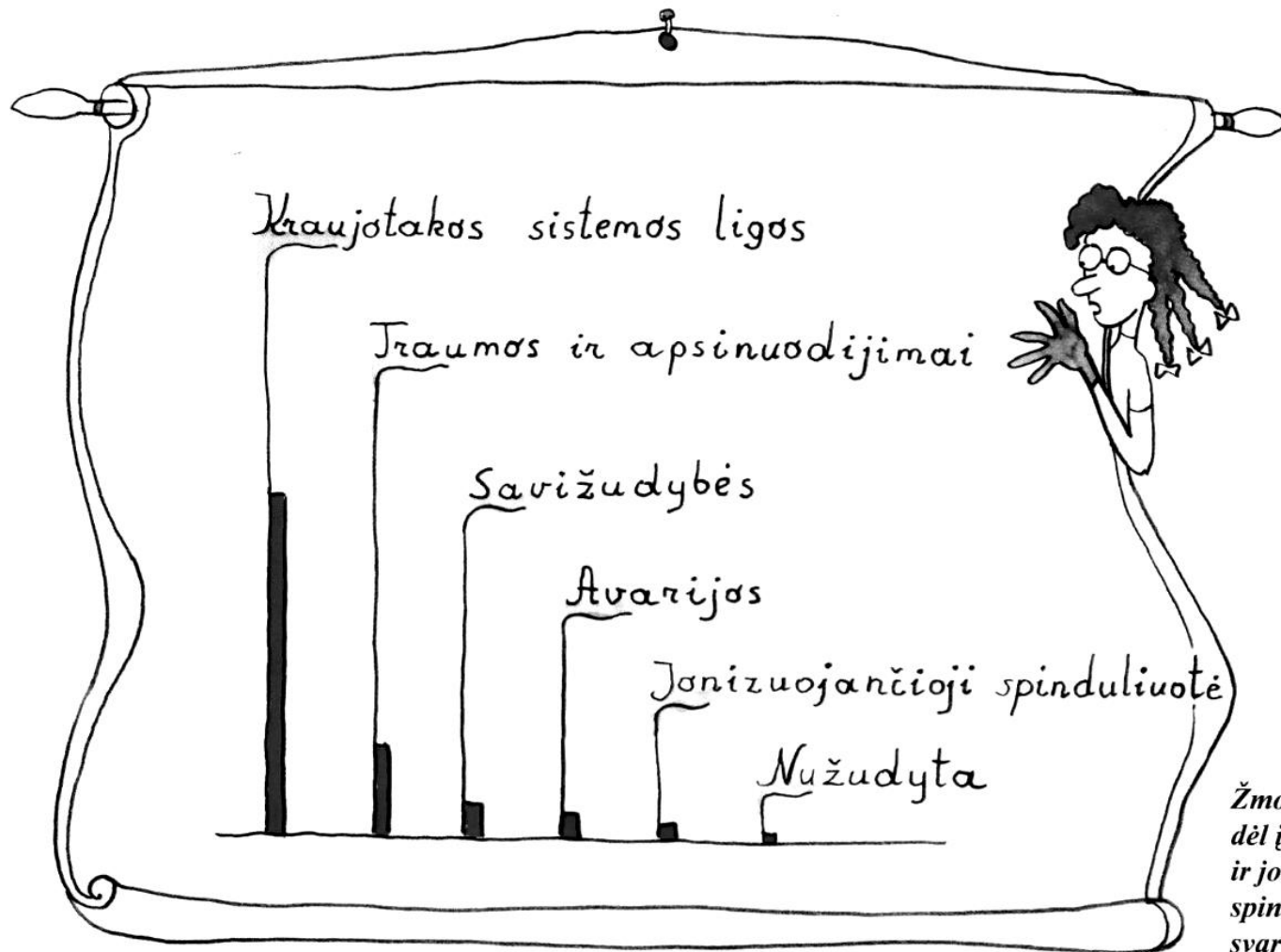
# JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS POVEIKIS ŽMOGUI BEI KITIEMS GYVIEMS ORGANIZMAMS

Jonizuojančioji spinduliuotė neša energiją, kuri gali būti, tiek naudinga, tiek ir žalinga.

Jonizuojančioji spinduliuotė, ypač avarinės apšvitos metu, daro neigiamą poveikį žmogaus ir kitų gyvų organizmų ląstelėms. Jos gali žūti arba pakisti. Dauginantis pakitusioms ląstelėms, gali išsivystyti onkologinės ar paveldimos ligos.



# TAS RIZIKINGAS MŪSŲ PASAULIS...



*Žmonės miršta ir žūsta dėl įvairių priežasčių, ir jonizuojančioji spinduliuotė nėra pati svarbiausia.*

# RADIACINĖS SAUGOS PRINCIPAI

Visa praktinė veikla yra vykdoma vadovaujantis trimis radiacinės saugos principais:

1. Pagrįstumas;
2. Optimizavimas;
3. Ribojimas.

Literatūra:

<https://www.rsc.lt/index.php/pageid/314>

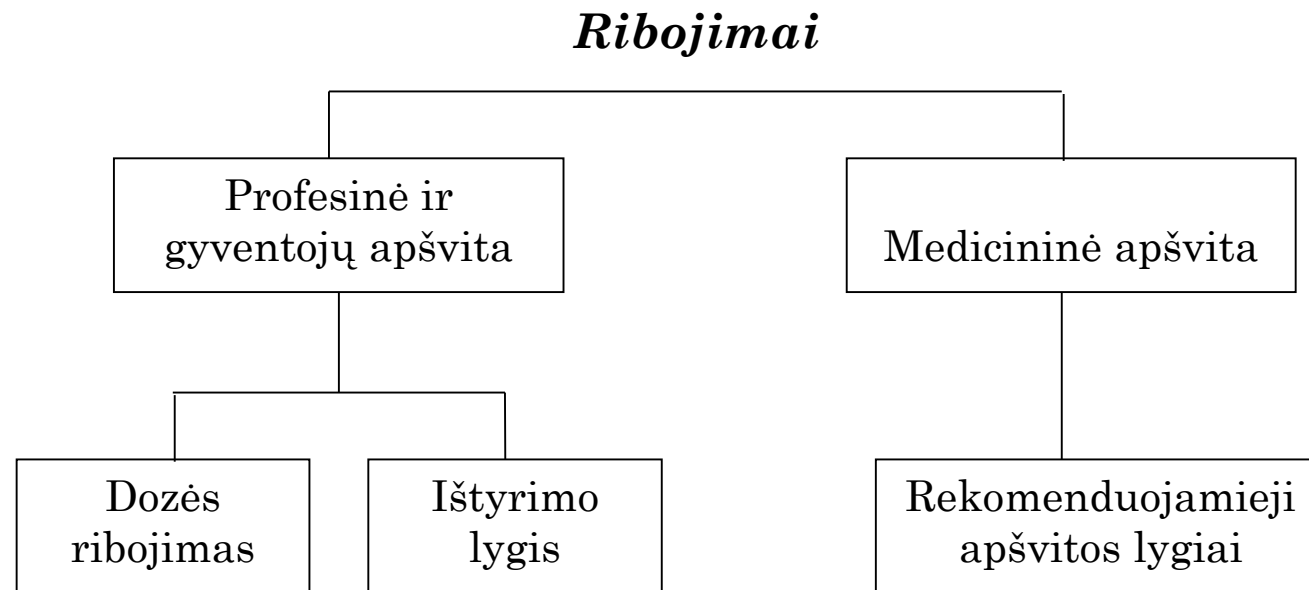
The screenshot shows the website of the Radiacinės saugos centras (RSC). The header includes the Lithuanian coat of arms, the RSC logo, and the text 'Radiacinės saugos centras' and 'Steigėjas Sveikatos apsaugos ministerija'. The main content area is titled 'Aktualijos' and contains several news items with dates and brief descriptions. The sidebar on the right includes a search bar, a subscription form, a contact form, and contact details for the center.



# RADIACINĖS SAUGOS PRINCIPAI

**Pagrįstumas** – taikant jonizuojančiąją spinduliuotę gaunama nauda turi būti didesnė už patiriamą žalą.

Radiacinės saugos **optimizavimas**, kuris įgalina nuolat stebėti pacientų gaunamą apšvitą bei teikti rekomendacijas taikomų procedūrų gerinimui bei pacientų apšvitos mažinimui.



# JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS BIOLOGINIS POVEIKIS - DOZĖ

Norint pabrėžti jonizuojančiosios spinduliuotės skirtingumą nuo kitų energijos rūšių, jos energija apibūdinama vienu svarbiausiu dydžiu – **doze**.

Perduotoji energija



Sugertoji dozė:

$$D = d\varepsilon / dm$$

Vienetai: 1 J/kg  $\longrightarrow$  1 Gy (1 Sv)

# DOZĖ

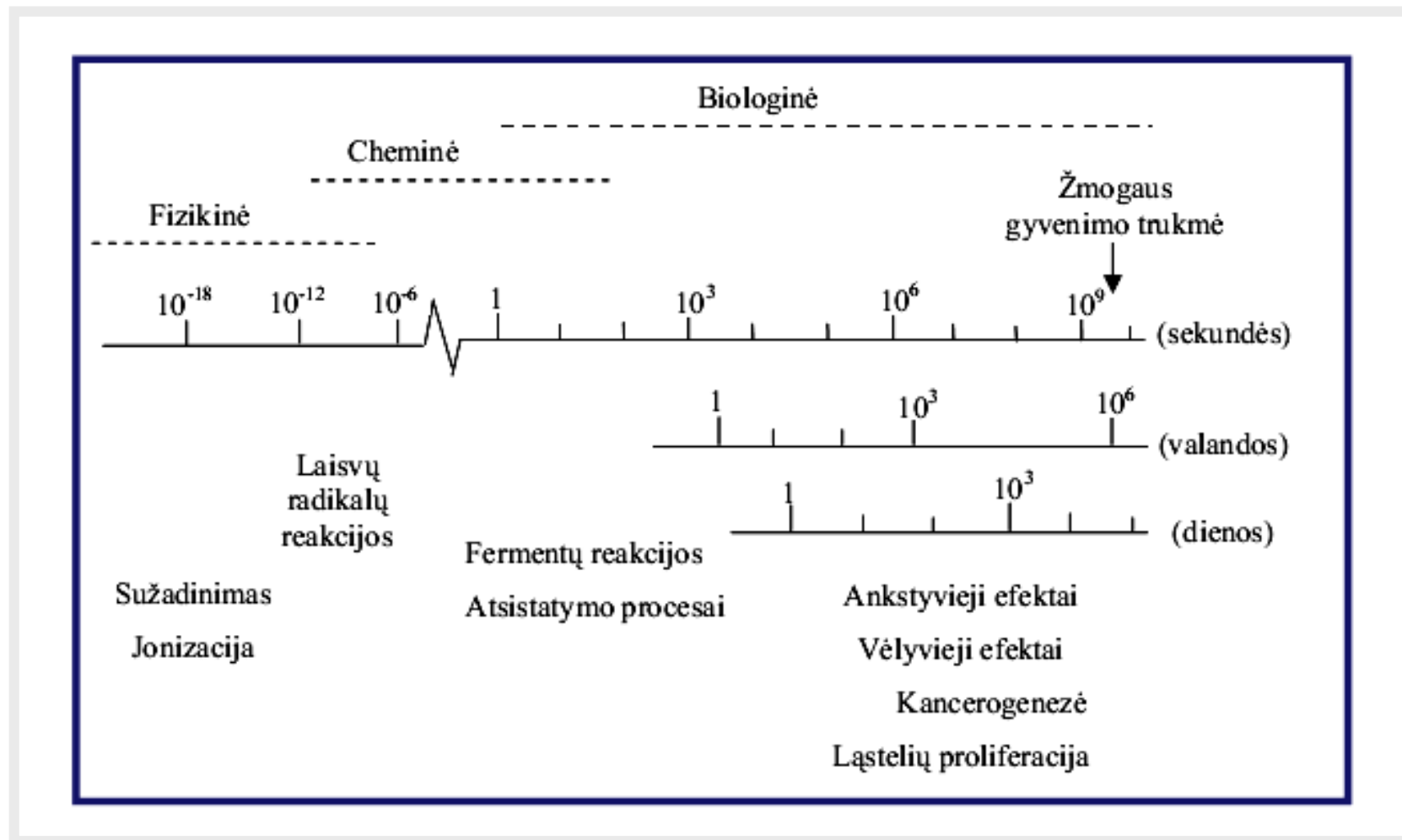
Žmogui leistinos dozės priklauso nuo jo veiklos, amžiaus



# JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS BIOLOGINIS POVEIKIS

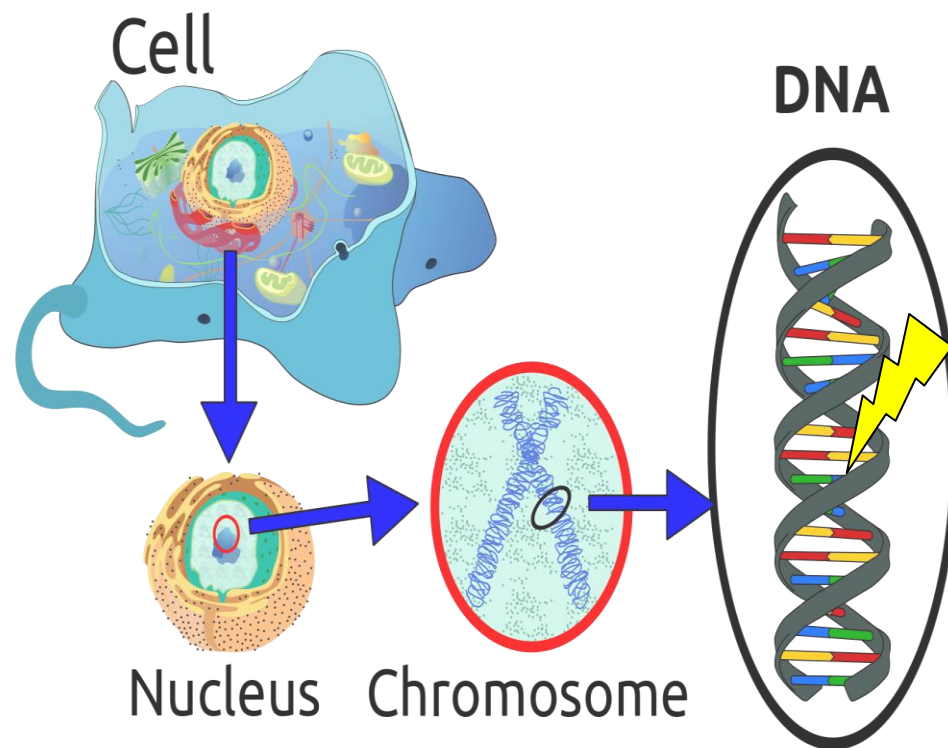
Biologinėje struktūroje laike vykstantys procesai yra skirstomi į tris fazes:

- ✓ fizikinę,
- ✓ cheminę,
- ✓ biologinę.



# JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS BIOLOGINIS POVEIKIS

- > 50% vidų onkologinių ligonių gydomi spinduline terapija [1].
- **Fizikinė fazė:**  $10^{-18}$  iki  $10^{-14}$  s. Sąveika tarp jonizuojančios spinduliuotės ir ląstelių atomų.
- **Cheminė fazė:** 1ms iki ~ min. Reaktyvūs radikalai chemiškai sąveikauja su molekulėmis ląstelėje ir keičia jų cheminę sudėtį
- **Biologinė fazė:** 1s iki metų. Ląstelių mirtis, organizmo funkcijų pakitimai



## Literatūra:

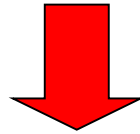
1. Atun R. Jaffray et. al, Expanding global access to radiotherapy. Lancet Oncol., 2015
2. Sponk, Tryphon, Magnus Manske, User:Dietzel65, LadyofHats (Mariana Ruiz), Radio89 ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eukaryote\\_DNA-en.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eukaryote_DNA-en.svg)), „Eukaryote DNA-en“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

# JONIZACIJA IR DNR

Žmogaus kūne yra  $\sim 10^{14}$  ląstelių;

1mGy/metus sugertoji dozė (dėl gamtinių šaltinių poveikio) atsakinga už  $10^{16}$  jonizacijos vyksmų žmogaus kūne;

Įvertinus, kad DNR masė sudaro 1% ląstelės masės:



**Per metus kiekvienos ląstelės DNR molekulėje įvyksta vienas jonizacijos aktas.**

# ĮDOMU!

Tyrimas (simptomai)	Efektinė dozė, mSv	Per kiek laiko tokią dozę žmogus gauna iš gamtinės apšvitos:
Krūtinės ląsta	0,14	20 dienų
Stuburas	1,8	9 mėnesius
Galva	0,07	10 dienų
Dantys	0,013	2 dienas
Pilvas	0,53	80 dienų
Įprastinė galvos KT	1,5	<b>8 mėnesiai</b>
Pilvo KT	7,1	<b>3,2 metai</b>
Krūtinės ląstos KT	5,8	<b>2,6 metai</b>
Kaulai	4,5	<b>2 metus</b>
Inkstai	1,7	<b>9 mėnesius</b>
Širdis ir kraujagyslės	8	<b>3,3 metų</b>
Skyd liaukė	3,4	<b>1,4 metų</b>

**Nepamirškite, - kad kiekvienas su jonizuojančiąja spinduliuote atliekamas tyrimas turi būti pagrįstas, o jų metu gauta kuo daugiau informacijos!**

# JONIZUOJANČIOSIOS SPINDULIUOTĖS SUKELIAMI LAŠTELIŲ EFEKTAI

Apie 20% veikiamų efektų yra tiesioginiai.

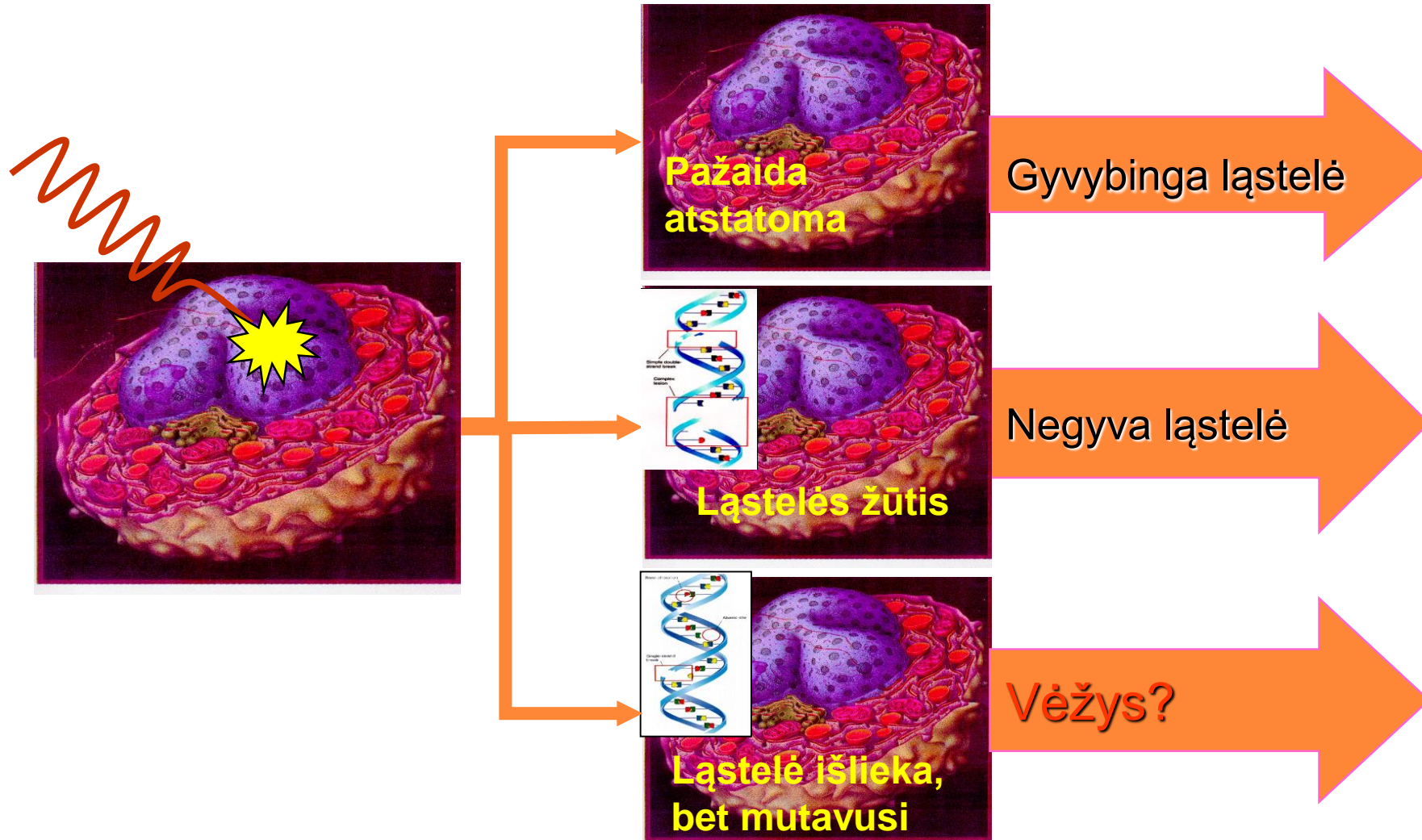
- Jonizuojančioji spinduliuotė sukelia DNR spiralės vijų nutraukimą, taip priversdama ląstelių irimą, kuris sukelia ląstelių žūtį.
- Veikia auglio ir normalių ląstelių DNR.

Apie 80% veikiamų efektų yra netiesioginiai.

- Jonizuojančioji spinduliuotė gali jonizuoti kūno skysčius, ypač ląstelėse esantį vandenį, taip sukeldama laisvų radikalų formavimąsi, kurie negrįžtamai nutraukia DNR vijas.
- Tai sukelia ląstelių irimą ir jų žūtį.



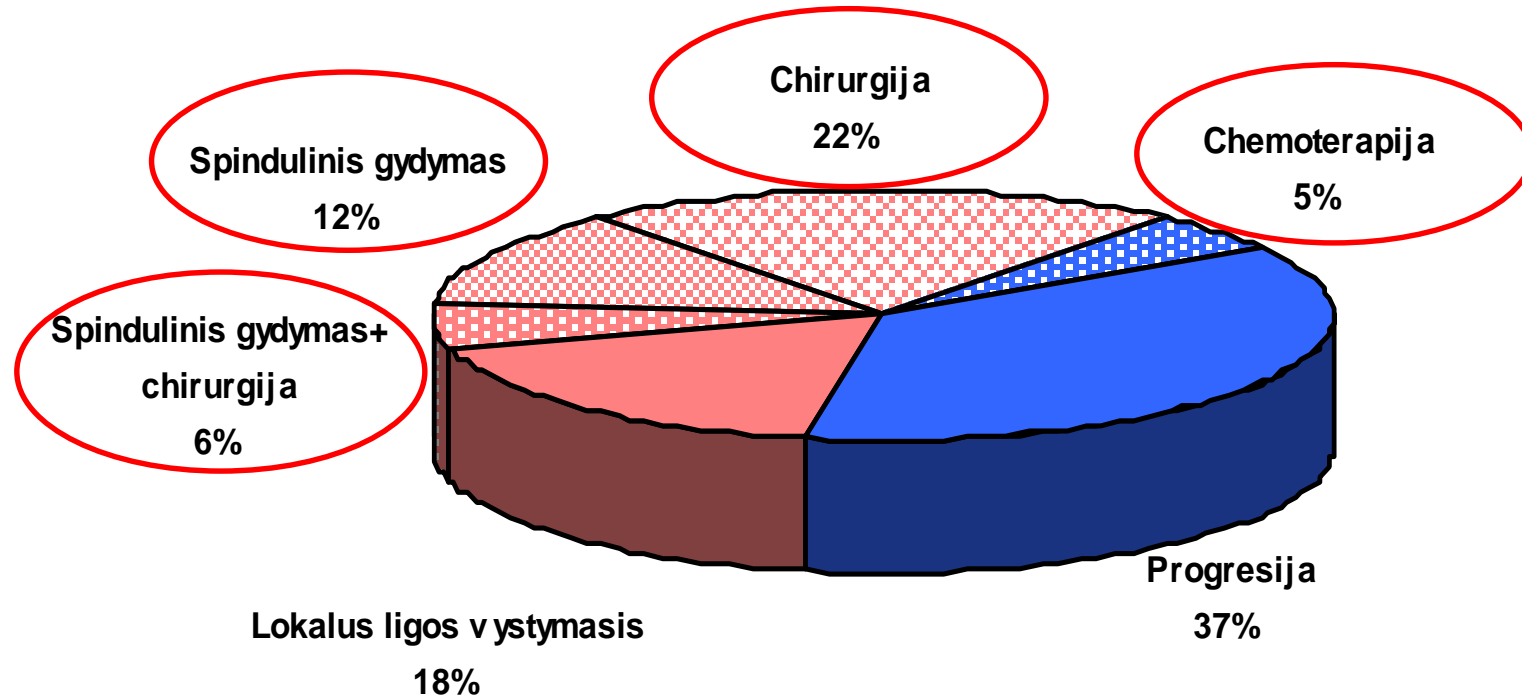
# APŠVITOS PASEKMĖS



# VĖŽYS

- Nekontroliuojamas ląstelių dauginimasis ir augimas
- Modifikavusios (pakitusios) ląstelės po tam tikro periodo gali sukelti vėžinius susirgimus ir paveldimus efektus
- Jei buvo apšvitintos lytinės ląstelės ir pakitusi genetinė informacija perduota palikuonims
- Vėžys gali išplisti į skirtingas kūno vietas
- Virš 100 skirtingų rūšių

# ONKOLOGINIŲ SUSIRGIMŲ GYDYMUI TAIKOMI METODAI





# RADIOTERAPIJA – SPINDULINIS GYDYMAS

Žinant, kad žmogaus organai gali sugerti radioaktyvias medžiagas, ši savybė buvo puikiai išnaudota ir pritaikyta gydymo tikslais (Radionuklidų terapija).

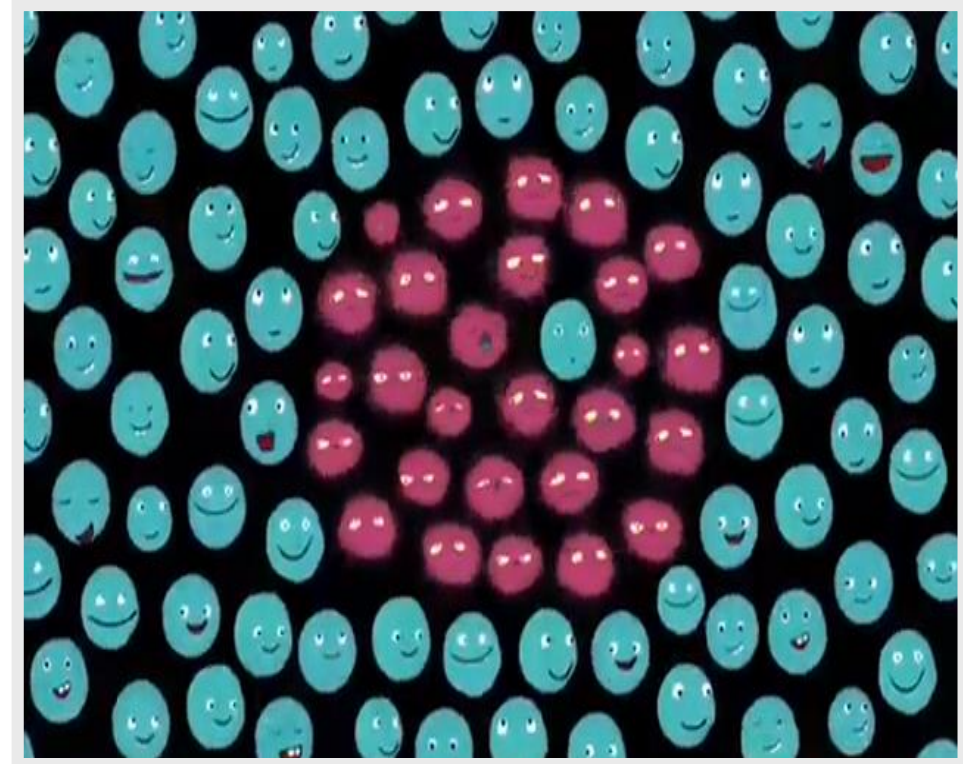
Tačiau yra tokių organų bei audinių, kuriuose radioaktyvios medžiagos nesikaupia, esant tokiai situacijai, juos galima taip pat gydyti jonizuojančiąja spinduliuote, tik tuomet šaltinis yra ne žmogaus kūne, o jo išorėje (Radioterapija).



# SPINDULINIO GYDYMO KLINIKINĖS GALIMYBĖS

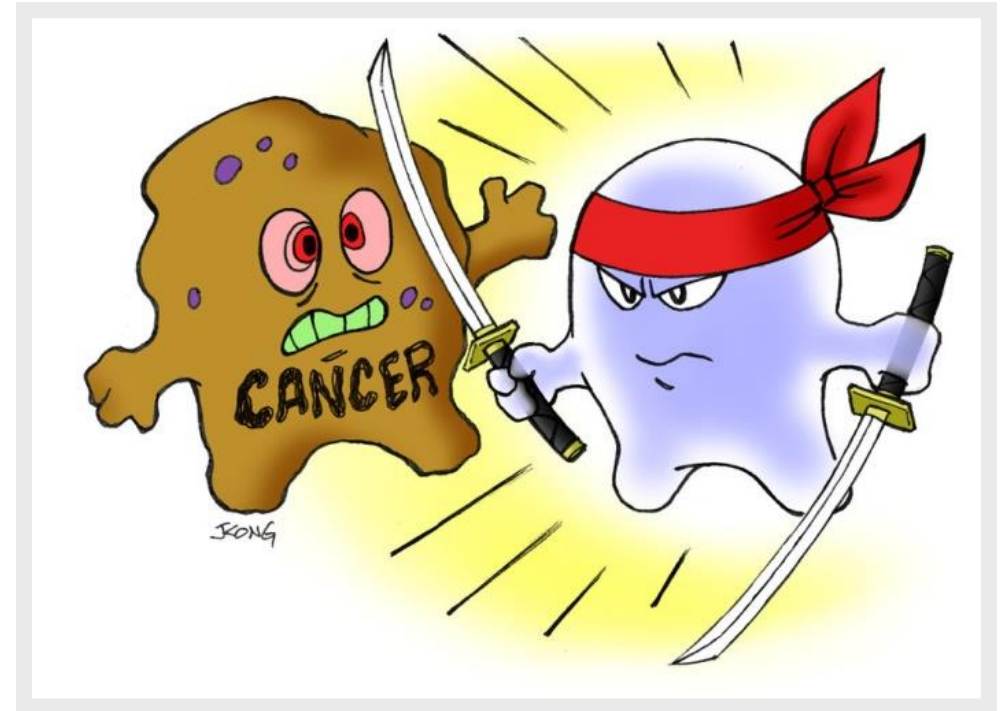
Spindulinis gydymas naudojamas:

- Vėžiui gydyti:
  - Sunaikina auglį, kad jis neišplistų į kitas kūno vietas.
  - Taip pat, taikant spindulinį gydymą po operacijos arba chemoterapijos, sumažina vėžio atsinaujinimo galimybes.
- Ligos simptomams sumažinti :
  - Sumažintas naviko dydis, pagerina gyvenimo kokybę.
  - Sumažintas naviko dydis, sumažina skausmą pacientui.

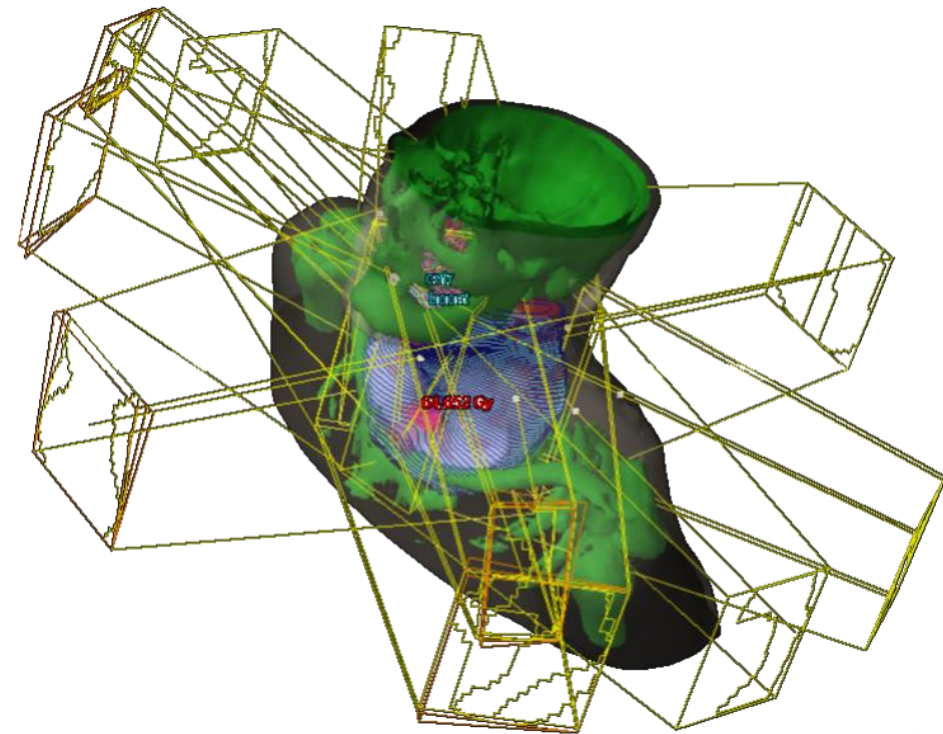
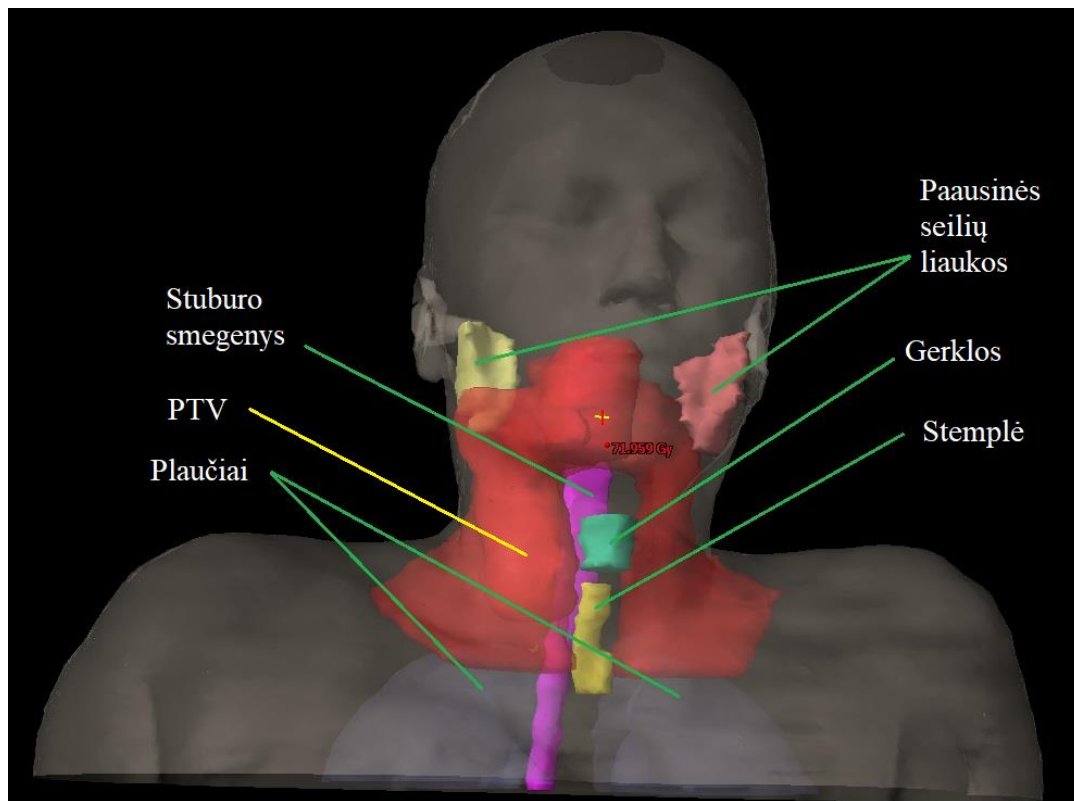


# SPINDULINIS GYDYMAS – KAS TAI?

- Spindulinio gydymo metu jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis gali būti žmogaus išorėje arba viduje.
- Pagrindinis spindulinio gydymo uždavinys yra sunaikinti vėžines ląsteles paciento organizme, nebeleidžiant joms toliau augti ir atsinaujinti, tačiau dažniausiai jų skaičius tik sumažinamas iki tokio lygio, kad būtų galima lokaliai kontroliuoti auglį, tuo pačiu metu apsaugant sveikus audinius ir kritinius organus, supančius naviką, nuo nereikalingos apšvitos.



Ne tik vėžinės ląstelės gali būti pažeistos bei sunaikintos ir sveikos ląstelės, todėl spindulinis gydymas yra planuojamas naudojant gydymo tikslumą užtikrinančias kompiuterines planavimo sistemas.



L



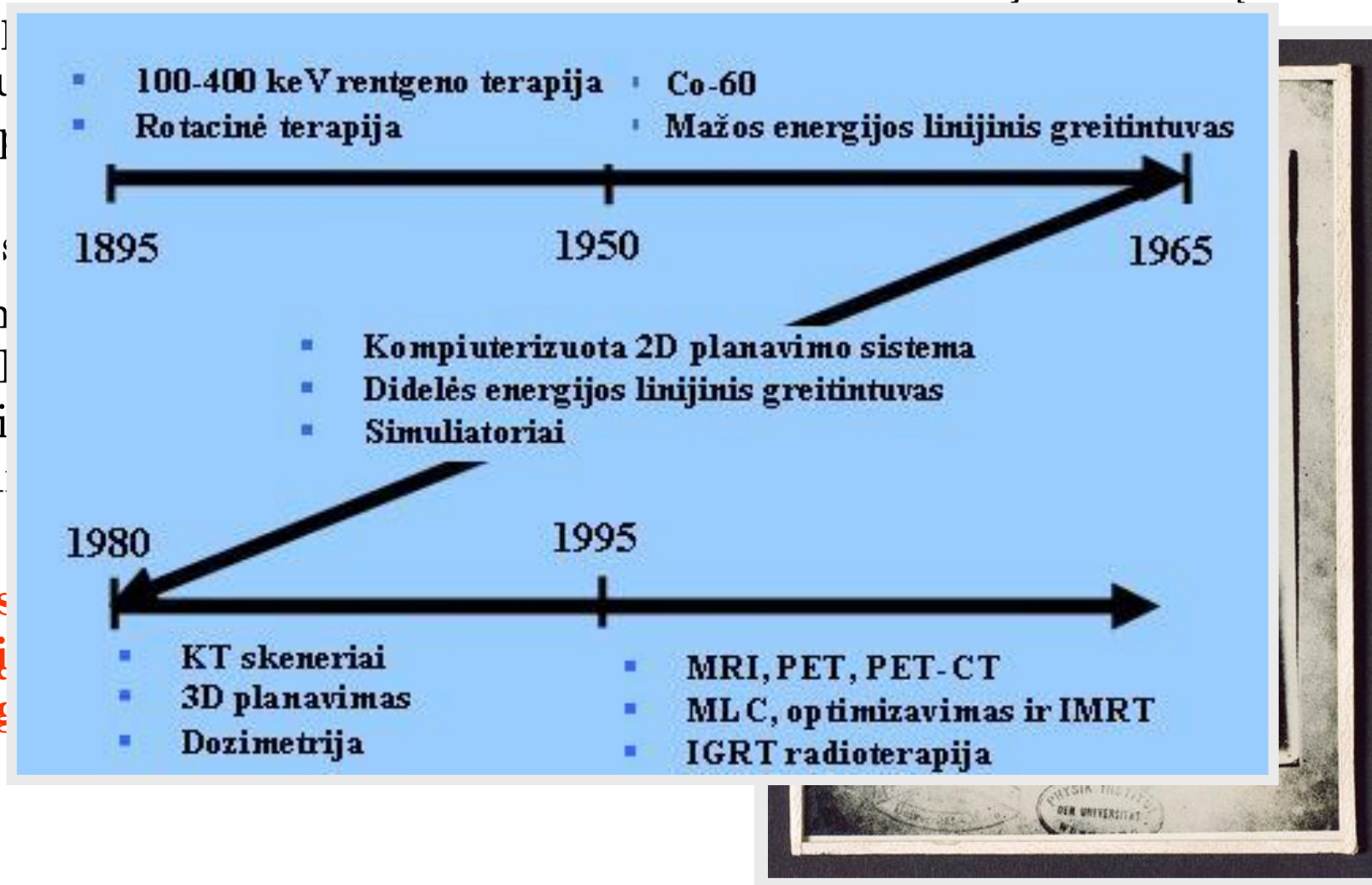
# DOZĒ IR JOS SUKELTI EFEKTAI. KIEK?

Organas	Tūris (mL)	Didžiausias tūris (Gy)	Didžiausia dozė (Gy)	Reakcija (≥3 laipsnio)
Vienos frakcijos gydymas				
Smegenys	5-10	12*		Nekrozė (<20%)
Optinis kelias	<0,2	8	10 12	Neuritas Neuritas (<10%)
Sraigė			12 ≤14*	Klausos praradimas Klausos praradimas (<25%)
Smegenų kamienas	<1	10	15 <12,5*	Kaukolės neuropatija Kaukolės neuropatija (<5%)
Stuburo smegenys	<0,25 <1,2	10 7	14 13*	Mielitas Mielitas (<1%)
Iliolumbarinė arterija	<5	14	16	Neuritas
Kryžkaulio rezginys	<3	14,4	16	Meuropatija
Stemplė	<5	14,5	19	Stenozė/fistulė
Ipsilateralinis brachialinis rezginys	<3	14,4	16	Neuropatija
Širdis/širdplėvė	<15	16	22	Perikarditas
Didžiosios kraujagyslės	<10	31	37	Aneurizma
Trachėja ir ipsilateraliniai bronchai	<4	8,8	22	Stenozė/fistulė
Oda	<10	14,4	16	Išopėjimas

# SPINDULINIO GYDYMO *ISTORIJA...*

Viena pirmųjų rentgeno nuotraukų,  
kuriai jau 116 metų

- Naudojant spindulius pacientas būna gydomas mėnesiams spinduliuotės
- Greitas technologinis žingsnis jau 1950 m. l. Didelės energijos linijinis greitintuvas Co-60 įrengti 1950 metų ir linijinis
- **Naujų atsiradimas efektyvesni spindulinių g**



# SPINDULINIO GYDYMO TECHNOLOGINĖS GALIMYBĖS



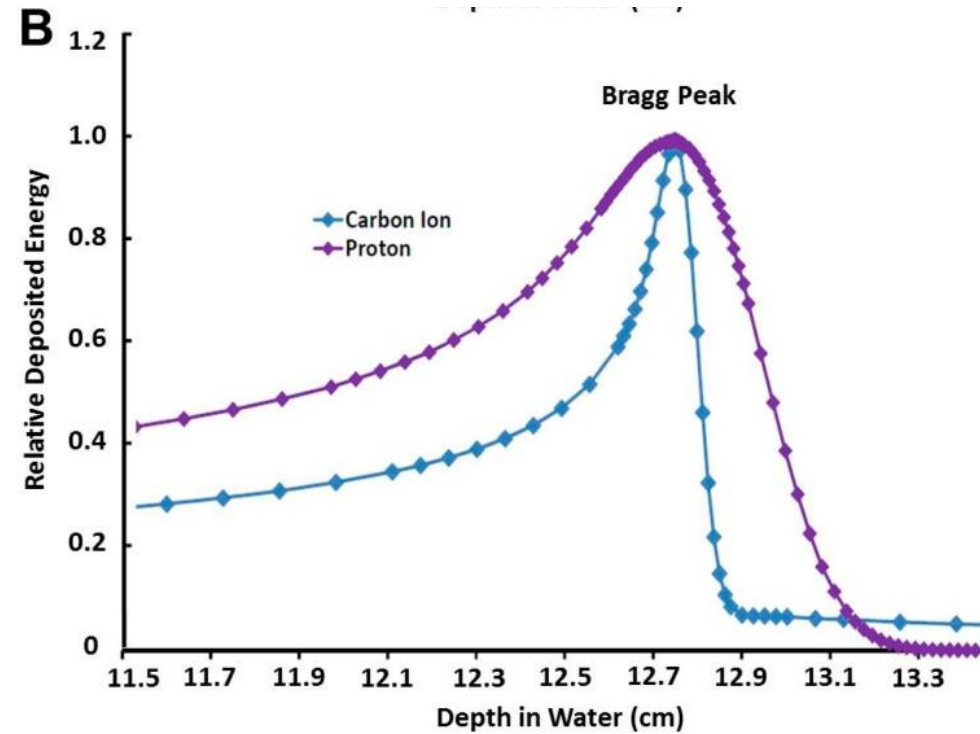
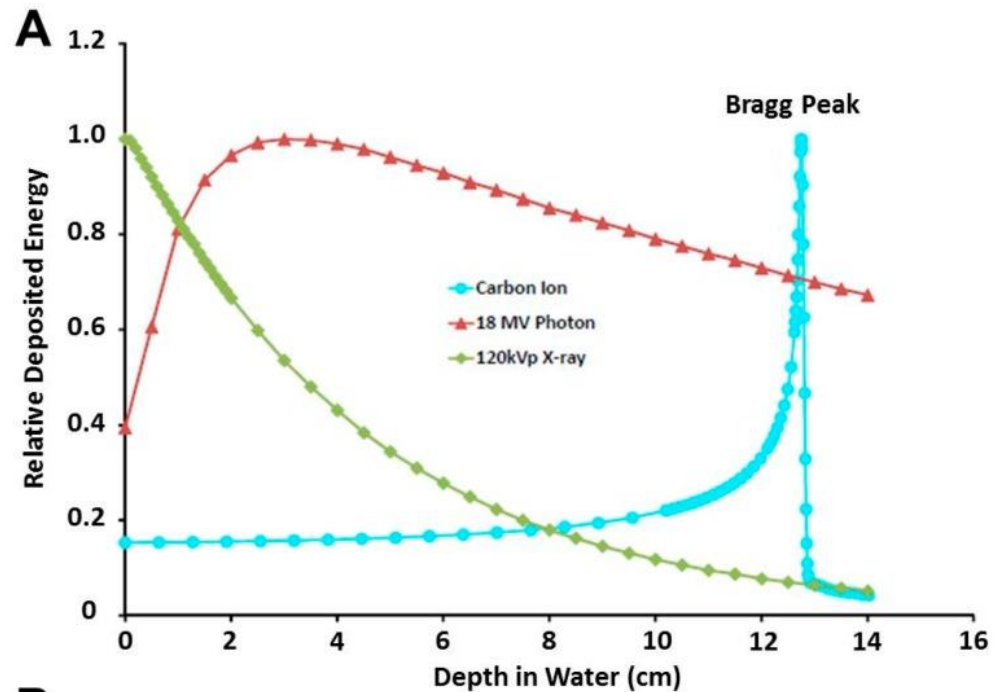
1950-ieji metai



<https://www.15min.lt/mokslasit/straipsnis/laboratorija/medicina-fizikas-medicina-ir-radiacija-neatsiejami-650-1448896>

Šiandien

# DALELIŲ TERAPIJA

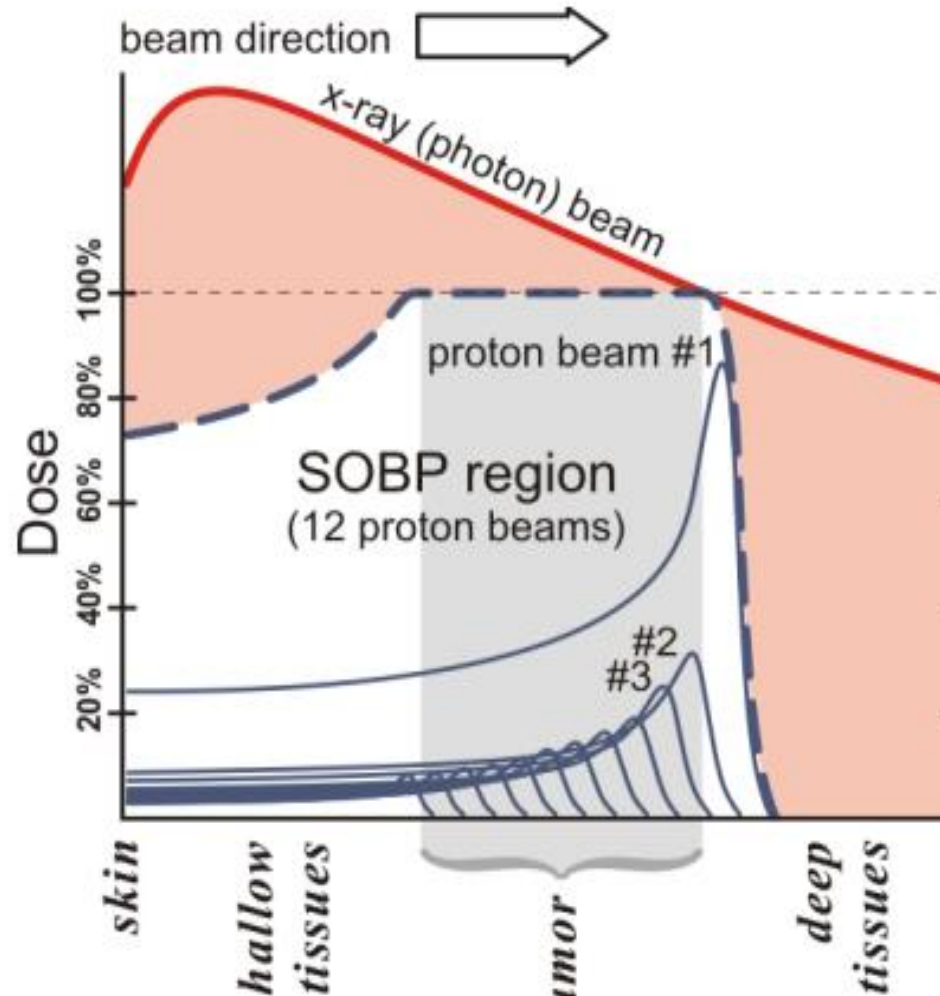


Literatūra:

Mohamad O, Sishc BJ, Saha J, Pompos A, Rahimi A, Story MD, et al. Carbon Ion radiotherapy: a review of clinical experiences and preclinical research, with an emphasis on DNA damage/repair. *Cancers*. (2017) 9:E66. doi: 10.3390/cancers9060066

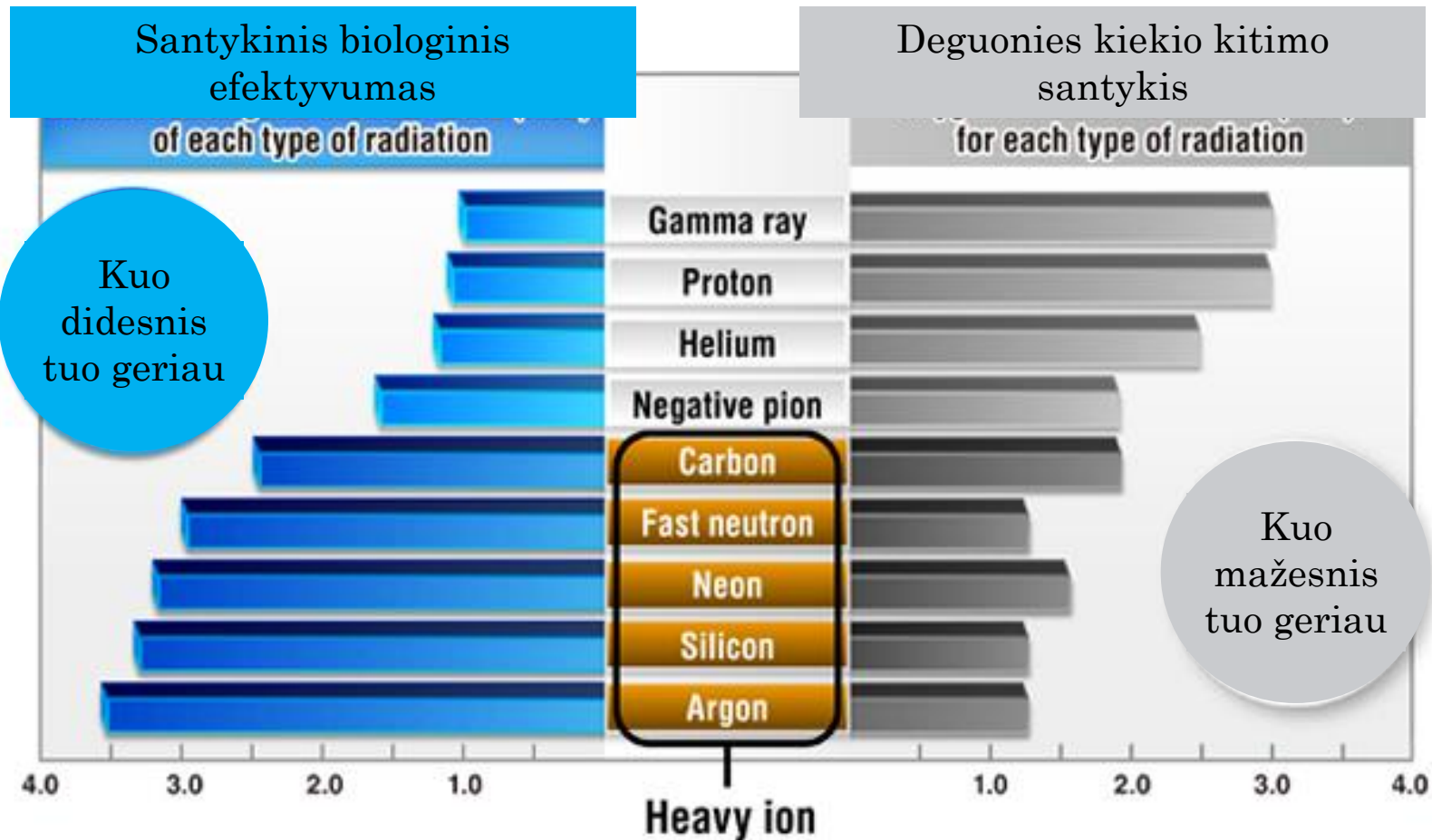
Bragg smailė/pikas yra siauras, todėl kyla klausimas, kaip galima užtikrinti tam tikro tūrio ir formos naviko apšvitą?

Bragg smailių pasiskirstymą gylyje galima išgauti naudojant skirtingos energijos protonus, kurių dėka suformuojama daug Bragg smailių.



Literatūra:

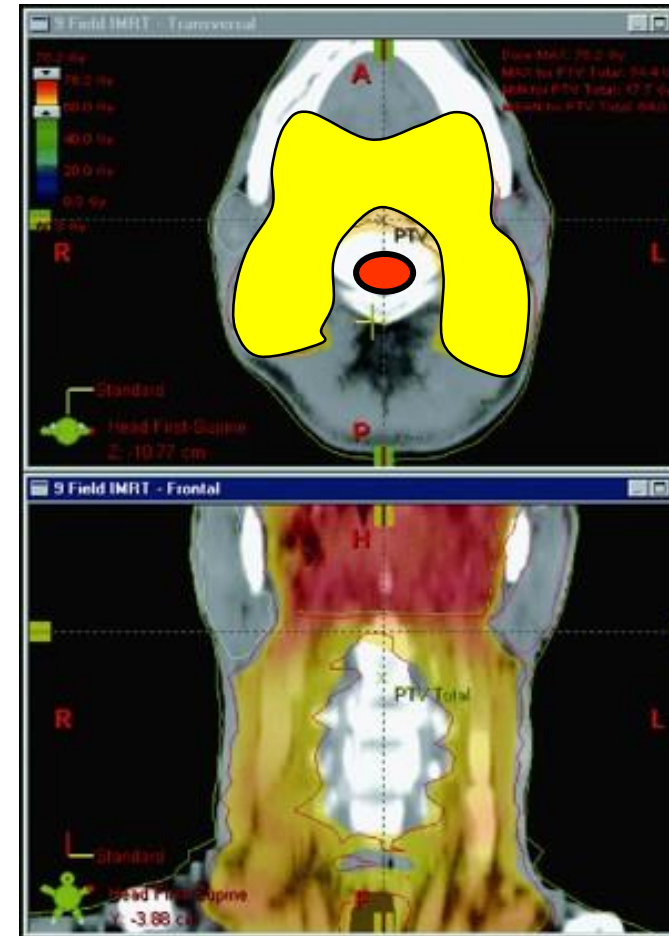
Levin WP, Kooy H, Loeffler, DeLaney TF. Proton beam therapy. Br J Cancer. 2005;93(8):849-854.



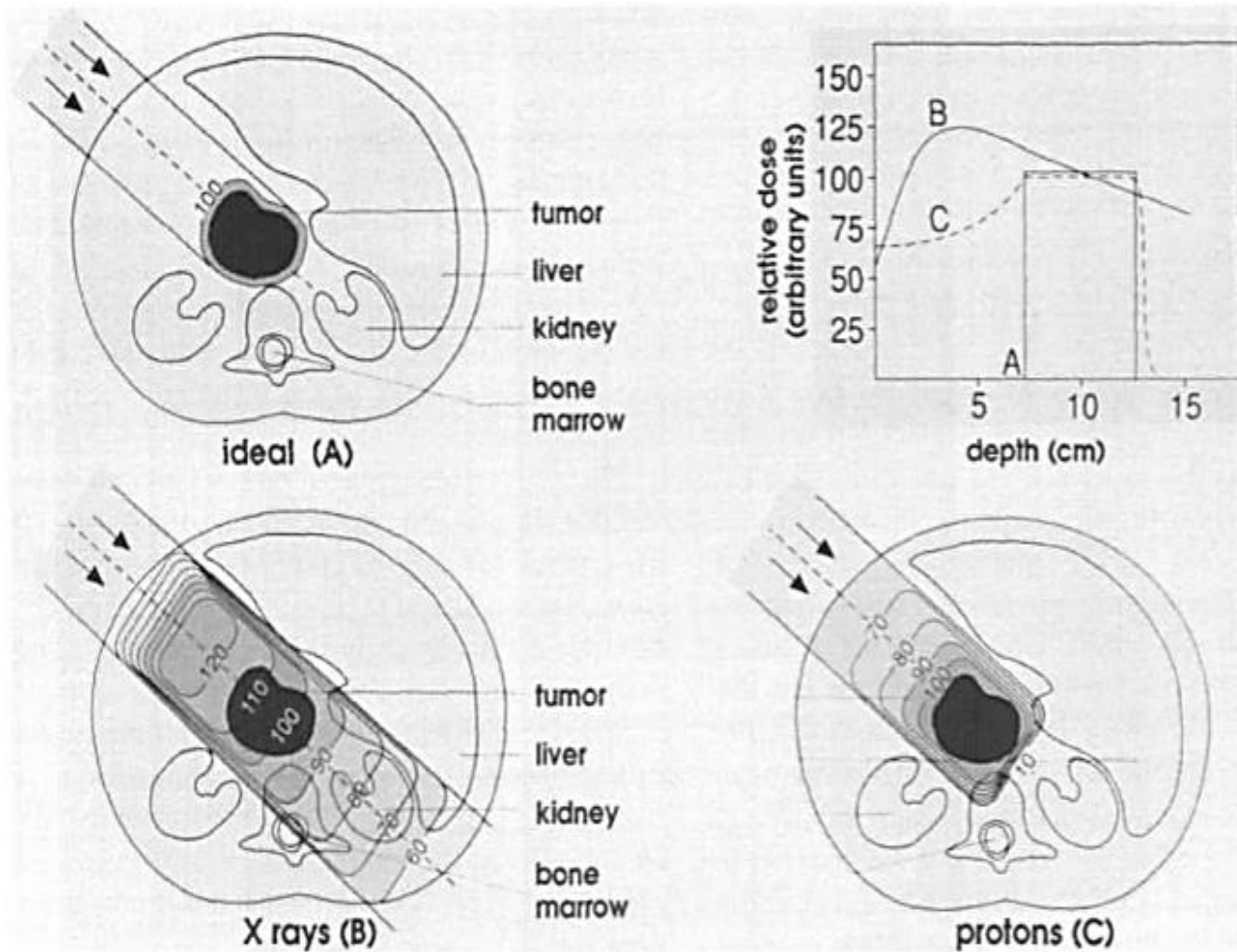
# 3D SPINDULINIO GYDYMO PLANAVIMO SISTEMA

Švitinant galvos-kaklo auglį (~70 Gy), arčiausiai taikinio esantys organai (stuburo smegenys) gauna ~70% paskirtosios dozės (~45 Gy), kai tuo tarpu šlapimo pūslė gauna vos apie ~0,02-0,06 Gy.

Tai yra ne tiek mažai, jeigu lyginsime su doze gaunama iš gamtinės spinduliuotės, - tiek gaunama per ~7-18 metų.



# APŠVITOS PASISKIRSTYMAS TAIKINYJE



Norimas rezultatas vs. tikrovė:

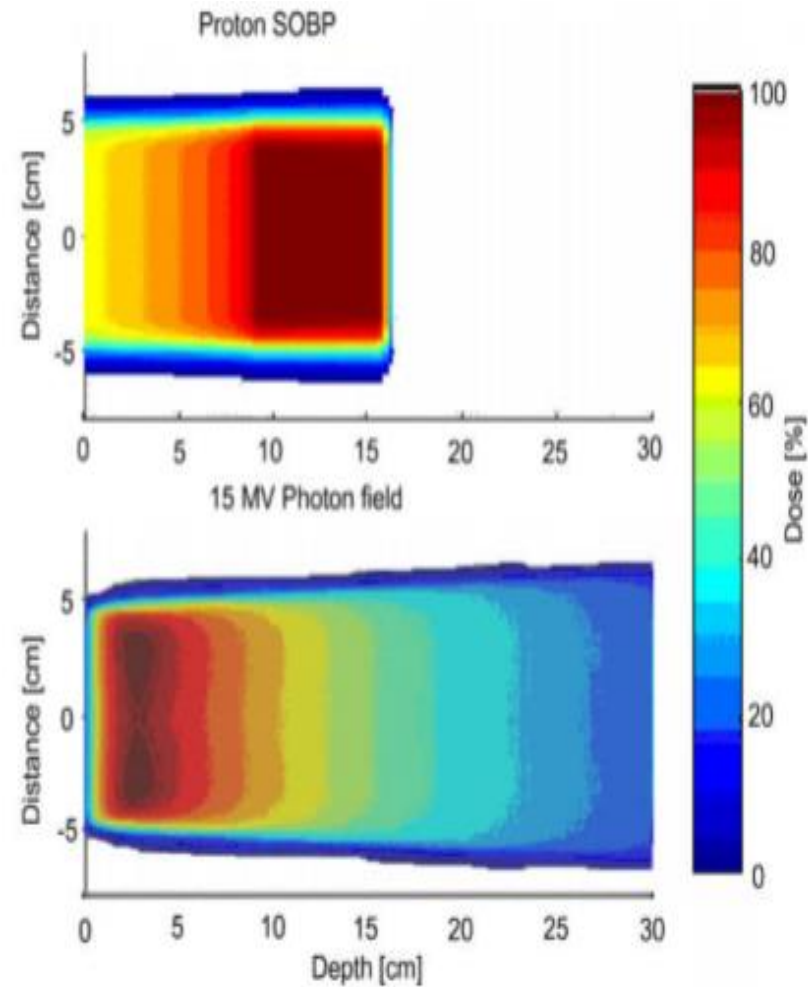
- A) Idealus rezultatas: visa paskirtąja doze (100%) apšvitinamas navikas, kai tuo tarpu kiti audiniai ir organai negauna jokios apšvitos
- B) Megavoltinės energijos fotonų dozės profilis
- C) Apšvita protonais.

Literatūra:

U. LINZ, Physical and Biological Rationale for Using Ions in Therapy, Radiother. Oncol. 95, 3–22 (2010).



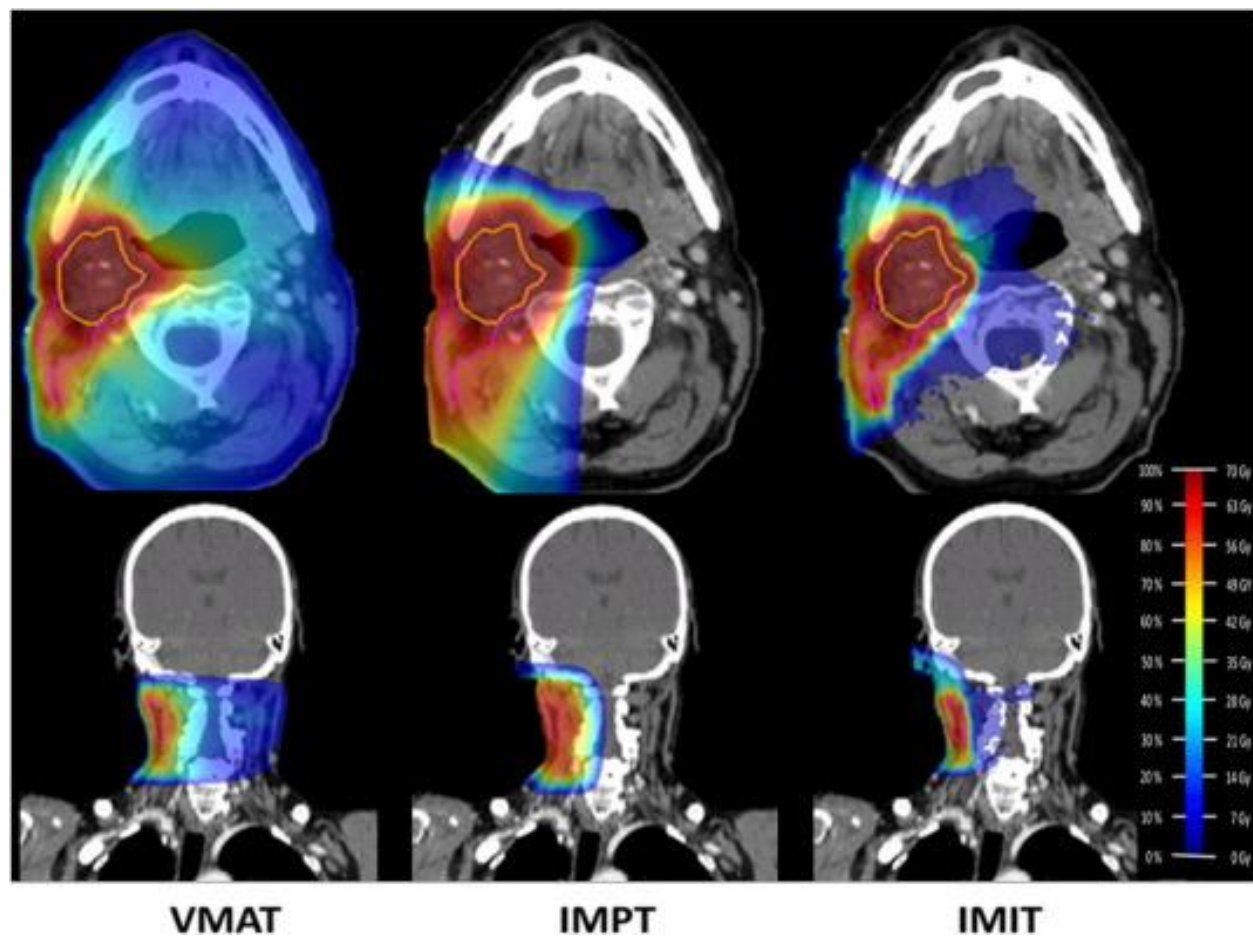
## Dozē vs. Gylis profilis 150 Mev protonams ir 15 Mev fotonams



Literatūra:

H. Suit, T. DeLaney, S. Goldberg, H. Paganetti, B. Clasie, L. Gerweck, A. Niemierko, E. Hall, J. Flanz, J. Hallman, and A. Trofimov, "Proton vs carbon ion beams in the definitive radiation treatment of cancer patients," *Radiother. Oncol.* 95, 3–22 (2010).

Pakartotinos apšvitos planai galvos ir kaklo pacientui (VMAT (apšvita fotonais), IMPT (apšvita protonais) ir IMIT (apšvita anglies jonais))

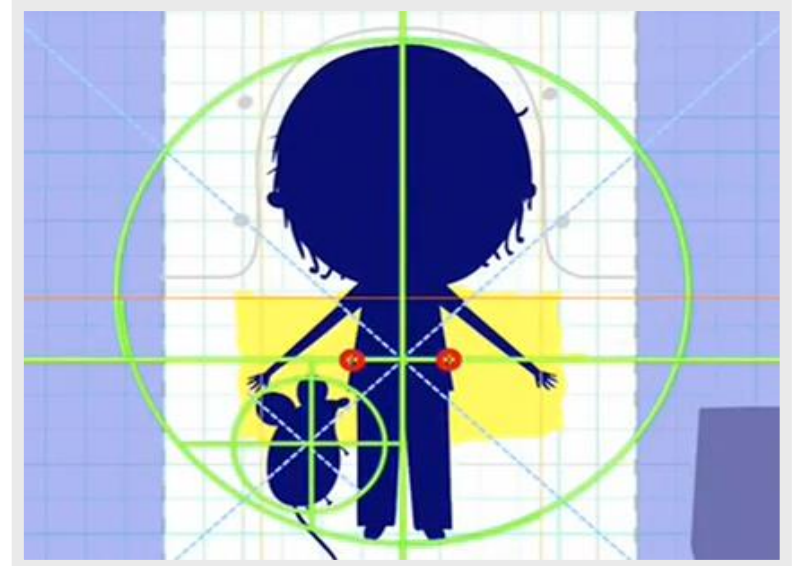
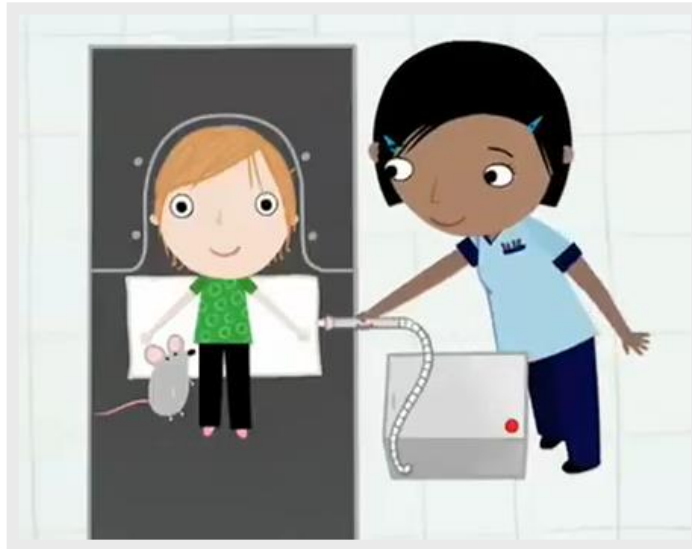
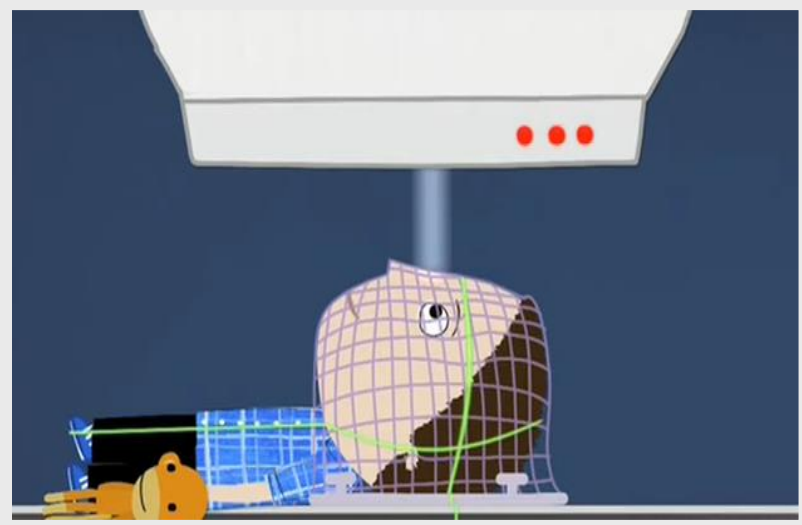


Literatūra:

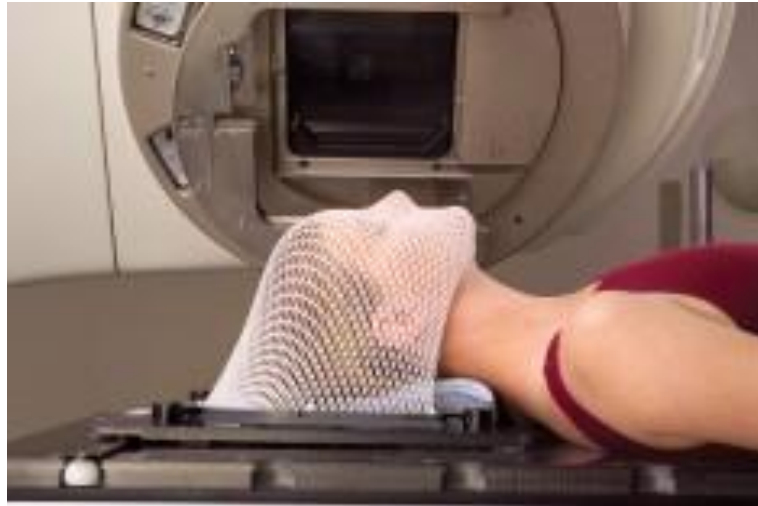
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167814016342840>

# SPINDULINIO GYDYMO PLANAVIMAS - SIMULIACIJA

- Kiekviena gydymo procedūra yra planuojama naudojantis spindulinio gydymo planavimui skirta sistema.
- Svarbu, kad apšvita būtų atkartota kiekvienos procedūros metu ir būtų švitinama ta pati vieta...



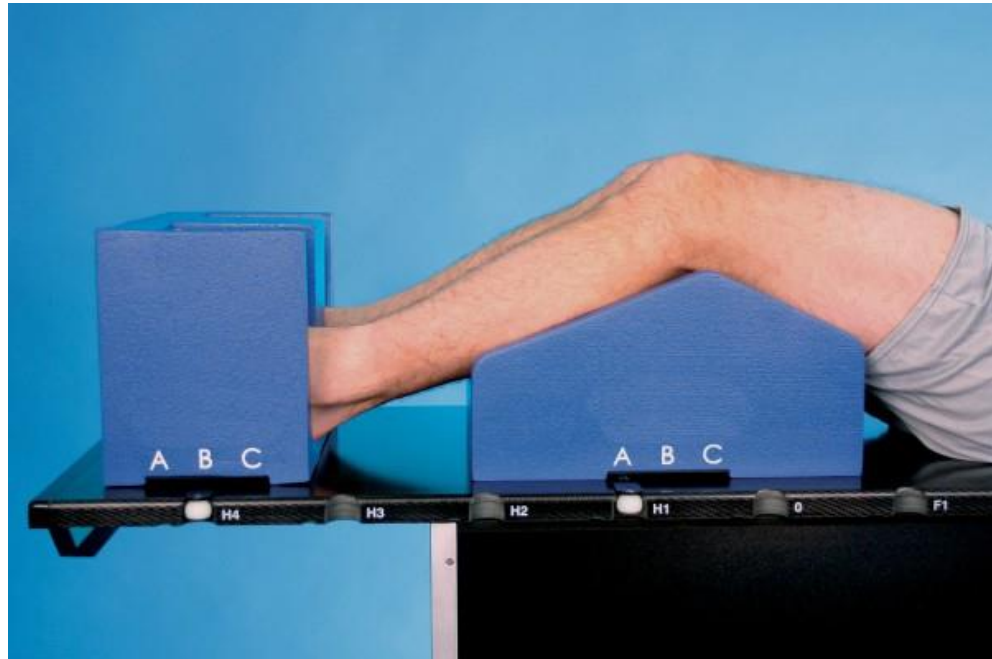
# PACIENTŲ FIKSAVIMO PRIEMONĖS



# PACIENTŲ FIKSAVIMO PRIEMONĖS



# PACIENTŲ FIKSAVIMO PRIEMONĖS



# FANTOMAI IR DOZIMETRIJOS ĮRANGA

Fantomai yra įvairius išorinius fiziniuose modeliuose simuliacijose,

Istoriškai m... kalbant apie :

Šiuo metu e... modeliai, kur... Onkologijoje apšvitos doze



a i  
ių:  
ijų

as,

iai  
ai.  
nt

## AR SPINDULINIS GYDYMAS SAUGUS!?



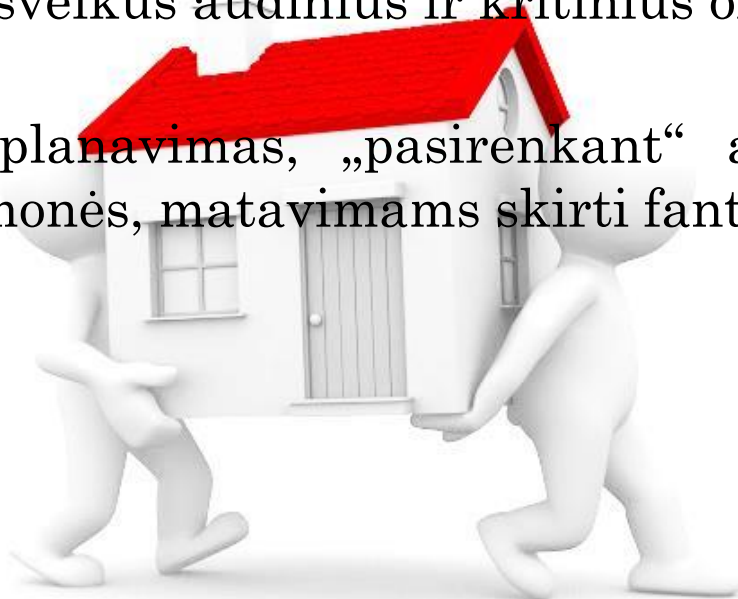
- Daug skirtingų specialistų-profesionalų skiria bei peržiūri suplanuotą paciento gydymo procedūrą, taip užtikrinama reikiama naviko apšvita, o tuo pačiu metu apsaugomi aplink esantys sveiki audiniai.
- Gydymo planas ir gydymui skirta įranga yra periodiškai tikrinama tam, kad būtų teisingai ir tiksliai atlikta gydymo procedūra.





# ŽINUTĖ Į NAMUS

- Jonizuojančioji spinduliuotė (JS) gali būti, tiek žalinga, tiek naudinga.
- Žmogus yra JS šaltinių kūrėjas.
- Medicina šiandiena neįsivaizduojama be JS.
- Radioterapija naudojama, tiek vėžio gydymui, tiek ligos simptomų mažinimui.
- Pagrindinis spindulinio gydymo uždavinys yra sunaikinti vėžines ląsteles paciento organizme, nebeleidžiant joms toliau augti ir atsinaujinti, tačiau dažniausiai jų skaičius tik sumažinamas iki tokio lygio, kad būtų užtikrinta lokali naviko kontrolė, tuo pačiu metu apsaugant sveikus audinius ir kritinius organus, supančius naviką, nuo papildomos apšvitos.
- 3D spindulinis gydymo planavimas, „pasirenkant“ apšvitos tipą bei papildomų priemonių (fiksavimo priemonės, matavimams skirti fantomai ir pan.) naudojimas.



Iki kitu susitikimu!





# KONTAKTAI

LSMU KK Medicinos fizikė **dr. Jurgita Laurikaitienė**

[jurgita.laurikaitiene@ktu.lt](mailto:jurgita.laurikaitiene@ktu.lt)

[jurgita@medicinosfizika.lt](mailto:jurgita@medicinosfizika.lt)