

# РАК

ЧАСОПИС ДРУШТВА СРБИЈЕ ЗА БОРБУ ПРОТИВ РАКА

СЕПТЕМБАР 2025. БЕОГРАД - БРОЈ 137 / БЕСПЛАТАН ПРИМЕРАК

СПРЕЧИТИ  
ОТКРИТИ  
ЛЕЧИТИ

## Озрачивање целог тела - TBI- total body irradiation -





**Друштво се захваљује на помоћи**

**Министарству здравља Републике Србије**

**и свим осталим правним и физичким лицима која су дала прилог**

## САДРЖАЈ

Уводна реч . . . . .	1
Примена комплетног зрачења тела (ТБИ) у хематоонкологији . . . . .	3
Радиотерапијске технике озрачивања целог тела (Total Body Irradiation –ТБИ) од почетка примене до данас . . . . .	6
Савремене технике зрачења целог тела . . . . .	11
Медицинска физика озрачивања целог тела (ТБИ) технике у ИОРС-у . . . . .	14
Улога медицинског физичара у озрачивању пацијента ТБИ техником . . . . .	18
Улога радиотерапијског техничара у припреми и извођењу ТБИ технике . . . . .	21
Примена ТБИ у педијатријској хематоонкологији . . . . .	26

## CANCER How to prevent, detect and treat Content

Introduction . . . . .	1
Application of total body irradiation (TBI) in hemato-oncology . . . . .	3
Radiotherapy techniques of total body irradiation (TBI) from the beginning of its application to the present day . . . . .	6
Modern techniques of whole body irradiation . . . . .	11
Medical Physics of Whole Body Irradiation (TBI) Techniques at IORS . . . . .	14
The role of the medical physicist in patient irradiation with the TBI technique . . . . .	18
The role of the radiotherapy technician in the preparation and performance of the TBI technique . . . . .	21
Application of TBI in pediatric hemato-oncology . . . . .	26

**Проф. др Ђорђе Јоанновић** (1871-1932) оснива Југословенско друштво за изучавање и лечење рака 20. септембра 1927. године које заузима четврто место у свету по реду оснивања (после Аустрије 1910, САД 1917. и Француске 1920. године).

**Председник Друштва:** клин. асис. др sc. Јелена Бокун

**Технички уредник:** Драгица Рапајић

**Чланови редакционог одбора:** др sc. деф. Ана Ђурђевић, др Ана Јовићевић, проф. др Даница Грујичић, др Драгана Јовићевић, др Душан Ристић, клин. асис. др sc. Јелена Бокун, проф. др Љиљана Јелић-Радошевић, др Марија Поповић Вуковић, проф. др Марина Никитовић, др Марко Јовановић, проф. др Слободан Чикарић, генерал Слободан Петковић, ВМС Вера Мандић, др Весна Лукић, др Зорка Вукмировић

**Лектор:** Др sc. Тамара Груден, **Лого:** Никола Панић

Друштво Србије за борбу против рака  
Пастерова 14, 11000 Београд, Србија  
Тел: (011) 2656-386  
Текући рачун: 265330031003527124  
E-mail: serbca@ncrc.ac.rs  
<http://www.serbiancancer.org>



Serbian Society for the Fight Against Cancer  
Pasterova 14, 11000 Belgrade  
Serbia  
Phone/Fax: +381 11 2656 386  
E-mail: serbca@ncrc.ac.rs  
<http://www.serbiancancer.org>

**Штампа:** PRESSIA, Д.О. Београд • **Тираж:** 3000 примерака

**Часопис одобрен** Решењем Министарства за науку, технологију и развој Републике Србије  
Покровитељ Министарство здравља Републике Србије  
СIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд  
616 - 006

**РАК:** спречити, открити, лечити: часопис Друштва Србије за борбу против рака / главни и одговорни уредник проф. др Марина Никитовић - 2023, бр. 127 - Београд (Пастерова 14): Друштво Србије за борбу против рака, 2023 - (PRESSIA, Д.О. Београд) - 28 цм

Тромесечно. - Наставак публикације: Боље спречити него лечити  
ISSN 1451-463X = Рак (Београд) COBISS.SR-ID 112977164





# Спречити

# Открити

# Лечити



Главни и одговорни уредник

**Проф. др sc. med.**

**Марина Никитовић**

## ТЕМА БРОЈА

## Зрачење целог тела – *Total Body Irradiation (TBI)*

### Уводна реч

Зрачење целог тела (енгл. *Total Body Irradiation – TBI*) представља технику радиотерапије којом се цело људско тело излаже одређеној дози јонизујућег зрачења у терапијске сврхе. У клиничкој пракси данас, зрачење целог тела се најчешће примењује као део припремног протокола за трансплантацију матичних ћелија хематопоезе, тј. трансплантацију коштане сржи код одраслих и код деце, пре свега у лечењу хематолошких малигнитета, али и неких имунолошких и генских болести. Такође, у ретким случајевима може се применити и у лечењу солидних тумора као што су неуробластоми или Јуингов сарком.

Иако се сматра да прва истраживања о дејству радијације на цео организам датирају од Другог светског рата и употребе нуклеарног оружја, заправо датирају с почетка 20. века, тачније 1905. године. Немачки биофизичар Фридрих Ј. Десауер први је применио нисковолтажне X зраке у покушају хомогеног озрачивања целог људског тела. У САД, већ 1932. године, спровођено је зрачење целог тела статичном рендгенском цеви. До 1940. године, зрачење целог тела је било прихваћено као терапијски модалитет у

лечењу појединих (радиосензитивних) врста малигних болести као што су леукемије и лимфоми, а од касних 50-их година прошлог века примењује се као део протокола за трансплантацију коштане сржи. У годинама које су уследиле долази до интензивног развоја технике и технологије у радиотерапији, развоја знања из радиобиологије и клиничког искуства, што је током 1970-их и 1980-их година довело до увођења стандардизованих радиотерапијских протокола, техника фракционисаног зрачења, и мера заштите здравих органа. Од 90-их година прошлог века у стандардну клиничку праксу уводе се тродимензионалне конформалне технике радиотерапије засноване на прецизном одређивању зрачних волумена на основу компјутеризоване томографије (скенера), софистицираних софтвера за радиотерапијско планирање и нових генерација апарата за зрачење – линеарних акцелератора.

Данас постоје разне технике зрачења целог тела у зависности од техничких могућности радиотерапијског центра и расположиве опреме за зрачење, од конвенционалне дводимензионалне технике зрачења до савремених конформалних техника зрачења као што су интензитетом модулисана радиотерапија



(IMRT), волуметријски модулисана лучна радиотерапија (VMAT) и хеликална (спирална) томотерапија. Све ТВИ технике имају за циљ да омогуће равномерну (хомогену) дозу зрачења на цело тело уз заштиту здравих органа, пре свега плућа и бубрега.

Зрачење целог тела је значајно допринело побољшању преживљавања и смањењу појаве релапса болести пре свега у лечењу хематолошких малигнитета. Међутим, ова метода повезана је са високим ризиком за настанак потенцијално значајних компликација услед излагања целог људског тела зрачењу, посебно у комбинацији са хемиотерапијом. С тога се одлука о примени ТВИ доноси мултидисциплинарно, у сарадњи хематоонколога и радијационог онколога а сходно индикацијама, прогностичким факторима и предвиђеном протоколу лечења за сваког пацијента посебно. Сложаност саме технике зрачења, висок ризик за настанак токсичности и природа болести, захтевају да се зрачење целог тела спроводи искључиво у високо специјализованим центрима од стране искусних тимова састављених од радијационих онколога, медицинских физичара и радијационих технолога, техничара.

Иницијатива за увођење ТВИ у Србији постоји од 1989. године, а 2005. године штампан је први водич за ТВИ код нас у издању Друштва Србије за борбу против рака. Због недостатка техничких услова све до сада, наши пацијенти којима је била неопходна примена ТВИ били су упућивани у иностранство. Захваљујући Другом пројекту развоја здравства Србије Министарства здравља Републике Србије, значајна улагања у радиотерапију, савремену опрему и едукацију кадрова, довела су до тога да се од новембра 2024. године зрачење целог тела примењује и у Србији, на Институту за онкологију и радиологију Србије. Прихваћена је савремена IMRT техника зрачења целог тела на основу праксе Универзитетске болнице *Rigshospitalet* (Данска) и *Royal Marsden Hospital* (Велика Британија) и протокола Међународне радиотерапијске групе за лимфоме (*International Lymphoma Radiation Oncology Group – ILROG*). Ова софистицирана техника зрачења која се примењује у свега неколико радиотерапијских центара у свету сада омогућава нашим пацијентима доступност најсавременијих терапијских протокола у лечењу што је циљ коме свакодневно тежимо.

**Доц. др Татјана Арсенијевић**



*Тим Института за онкологију и радиологију Србије који је учествовао у имплементацији зрачења целог тела код нас*



## Примена комплетног зрачења тела (ТБИ) у хематоонкологији

У савременој онкологији, посебно у области хематолошких малигнитета, комплетно озрачивање тела – ТБИ (енгл. *Total Body Irradiation*) заузима специфично и важно место у лечењу пацијената са одређеним хематолошким малигнитетима. Овај модалитет терапије се најчешће примењује као део кондиционог режима пре трансплантације коштане сржи или матичних ћелија, најчешће у комбинацији са хемотерапијом.

Комплетно озрачивање тела – ТБИ представља једну од најкомплекснијих и најзахтевнијих радиотерапијских процедура у радијационој онкологији. Комплетно (тотално) озрачивање тела – ТБИ представља такав облик радиотерапије код којег се, за разлику од стандардне локалне терапије на одређене делове тела, јонизујуће зрачење примењује на цело тело, уз прилагођена дозна ограничења на одређене органе као што су бубрези, плућа и мозак.

С обзиром на изузетну комплексност ове радиотерапијске процедуре, која је временски захтевна и изискује специјализован кадар и ресурсе, поједине државе у региону још увек не спроводе ТБИ у лечењу хематолошких малигнитета.

Након дугогодишње припреме, у Републици Србији је примена ТБИ званично започета у новембру 2024. године у Институту за онкологију и радиологију Србије. Самим тим, Институт за онкологију и радиологију Србије је постао једина установа у Србији и једном делу региона, у којој се спроводи ова врста лечења.

У поређењу са локалном радиотерапијом (транскутаном радиотерапијом и брахитерапијом), ТБИ се ређе користи, али игра кључну улогу у припреми пацијената за трансплантацију хематопоетских матичних ћелија, посебно код акут-

не мијелоидне леукемије, акутне лимфобластне леукемије, лимфома, мултиплог мијелома и мијелодиспластичног синдрома. Иако ретко, ТБИ се може користити у лечењу и појединих солидних тумора.

Требало би нагласити да ТБИ није самостална терапија, већ најчешће део комплексног кондиционог режима. Његова примена зависи од многобројних фактора, а неки од њих су тип хематолошке болести, старост пацијента, ризик од релапса болести, опште стање и евентуално присуство одређених придружених болести (коморбидитета), доступност одговарајућег даваоца матичних ћелија, као и врсте трансплантације (аутологна, алогена). У појединим хематоонколошким протоколима, ТБИ се замењује интензивном хемотерапијом, док се у другом користи у комбинацији са цитостатикима. Одабир оптималног режима и протокола је индивидуализован и доноси се у сарадњи хематолога, радијационог онколога и целог трансплантационог тима.

### Шта желимо да постигнемо применом ТБИ?

У зависности од циља који се жели постићи применом ове терапије, постоје два основна режима: мијелоаблативни и немијелоаблативни. Код мијелоаблативног режима користе се више дозе зрачења на цело тело (нпр. 12–14 Gy), док се код немијелоаблативног режима користе ниже дозе зрачења на цело тело (нпр. 2–4 Gy).

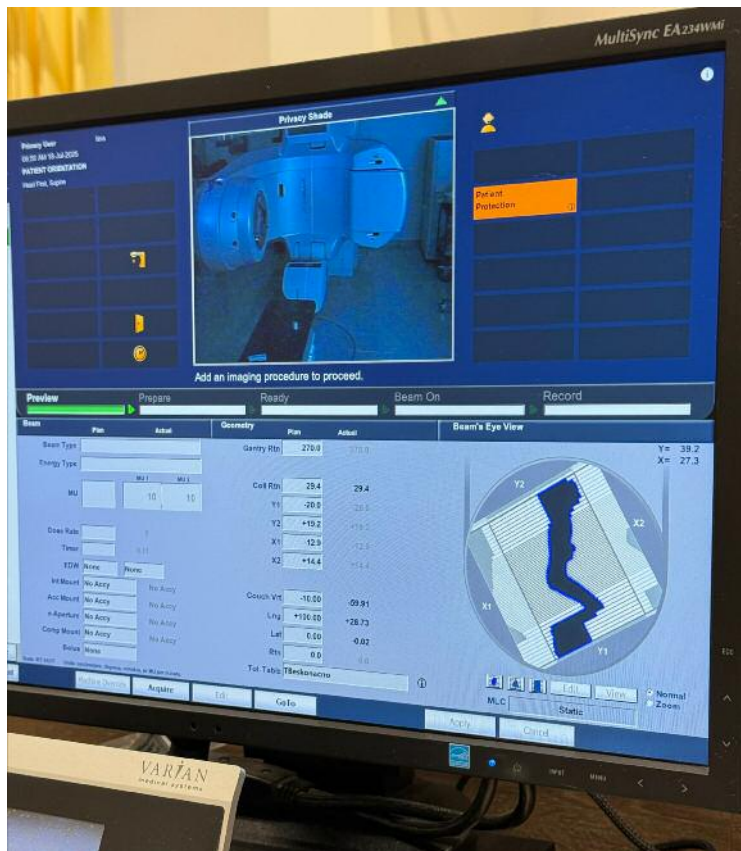
Основни циљ мијелоаблативног режима ТБИ јесте мијелоаблација, односно одстрањивање постојеће коштане сржи, како би се створио простор за нове, здраве ћелије коштане сржи (трансплантиране матичне ћелије донора), али и елиминација преосталих малигних ћелија



које могу бити распоређене по органима/организму, укључујући централни нервни систем и тестисе, који су често тзв. „заштићене зоне“ за леукемијске ћелије. Такође, код постојања леукемијских инфилтрату у кожи који могу и да заостану након хемиотерапије, примена ТВИ ће деловати и на кожу, односно на наведене инфилтрате у кожи. Овај режим ТВИ се може користити у складу са индикацијама код пацијената изузетно доброг и очуваног општег стања, без значајнијих при-

ња трансплантата од стране имунског система пацијента. Овај режим носи мањи ризик од токсичности терапије, те је често подобнији за пацијенте са придруженим болестима, старије пацијенте итд.

Избор најоптималнијег режима ТВИ и уопште хематоолошког протокола, заснива се и на балансу између ефикасне елиминације малигних ћелијских клонова и прихватљивог профила токсичности терапије.



Слика 1. Слика апарата и зрачног поља на екрану у командној соби линеарног акцелератора

дружених болести, јер више дозе зрачења повећавају ризик од токсичности код појединих пацијената.

Код немијелоаблативног режима, где користимо ниже дозе зрачења, основни циљ је делимична супресија имунског система пацијента, чиме се стварају услови за прихватање трансплантата, односно, значајно се смањује ризик од одбацива-

Припремни режими за трансплантацију коштане сржи, односно матичних ћелија хематопоезе, могу се спровести и применом само високодозне хемиотерапије, али постоје значајне предности повезане са комбинацијом са ТВИ. Неке од њих су следеће:

1. Доза зрачења на цело тело која се испоручује пацијенту је рела-



тивно уједначена (хомогена), односно, доза радиотерапије коју прописујемо може деловати на делове тела независно од снабдевања крвљу, што је некада ограничење када се примењује само хемиотерапија.

2. Нема поштеде локализација које су саме по себи неприступачне, као што то може бити случај са хемиотерапијом.
3. Доза зрачења се може прилагодити, било прописивањем различите дозе у зависности од индикације, било заштитом одређеног органа од више дозе зрачења, било додавањем додатне дозе зрачења за регије високог ризика за релапс болести.

### **Да ли постоје нежељени ефекти и токсичности након примене ТВИ?**

Као и код било које терапије која се примењује, нежељени ефекти, односно компликације су могуће и код примене ТВИ.

Компликације терапије и њихов степен (градус) зависе од примењене дозе зрачења на цело тело, али је развој токсичности у многоме повезан са општим стањем пацијен-

та, већ постојећим симптомима, придруженим болестима и претходно спроведеним третманима (нпр. хемиотерапија, радиотерапија).

Када говоримо о акутним токсичностима (непосредно током и након спроведене ТВИ и током првих неколико недеља), најчешће се јављају мучнина, повраћање, замор, главобоља, дијареја, промене на кожи у виду црвенила (еритем) и губитак косе. Ови нежељени ефекти су најчешће краткорочни и пролазе кроз неколико дана или након примене симптоматско-супортивне терапије.

Касна токсичност обично се односи на могући настанак инфертилитета, смањене функције штитасте жлезде, настанак катаракте и ризик од секундарних малигнитета.

Стога можемо закључити да је тотално зрачење тела (ТВИ) врло често кључна компонента кондиционирања у процедурама трансплантације хематопоетских матичних ћелија, те остаје једна од најефикаснијих терапијских стратегија у савременој хематоонкологији.

**НС Клин. асист. др sc. med.  
Александар Степановић**



*Слика 2. Чланови тима за ТВИ Института за онкологију и радиологију Србије*

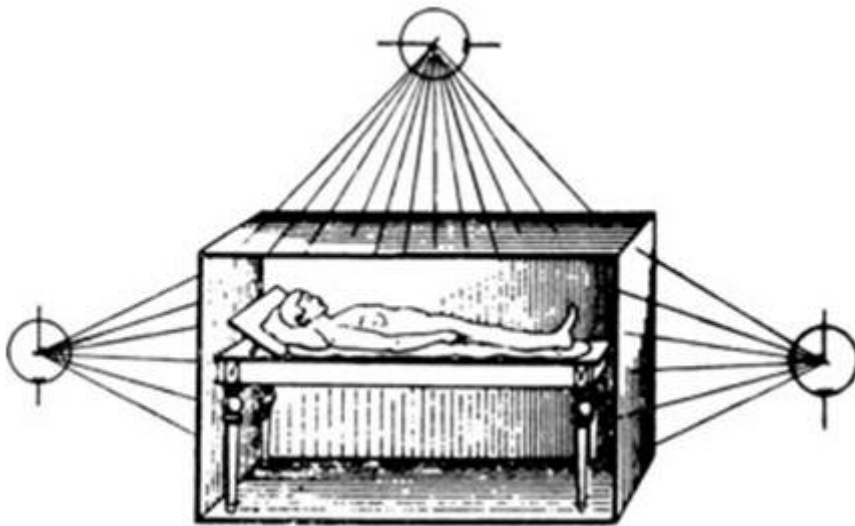


## Радиотерапијске технике озрачивања целог тела (*total body irradiation – TBI*) од почетка примене до данас

Озрачивање целог тела (енгл. *Total Body Irradiation – TBI*) и данас, када имамо савремене радиотерапијске машине и високу технологију, представља једну од најкомплекснијих техника у радиотерапији. Паралелно са развојем радиотерапије и техничких могућности радиотерапијских машина, од рендгенске цеви до линеарних акцелератора нове генерације са веома развијеним технолошким могућностима, развијале су се и технике TBI.

Потреба за терапијским озрачивањем целог тела постоји дуже од сто година. Почетком двадесетог века објављени су први покушаји озрачивања целог тела нисковолтажним X зрацима. Немачки биофизичар Десауер је 1905. године објавио резултате примене X зрака из три рендгентске цеви у озрачивању целог тела (слика 1).

Радиолог *Arthur Heublein* из *Hartford, Connecticut*, и физичар *Gioacchino Failla* из *Memorial Hospital*, основали су 1931. године прво одељење за TBI у Северној Америци, познато као *Heublein* јединица. Просторија за зрачење имала је оловне зидове и у њој је била машина за испоруку X зрака, постављена на једном крају, која је континуирано емитовала јонизујуће зрачење. Просторија је била дизајнирана тако да прими четири пацијента истовремено, који су били споро експонирани X зрацима, примајући дозу 20 сати дневно, током једне или две седмице. У просторији је био смештен и канаринац у кавезу, на основу чијег понашања су праћени могући штетни ефекти продуженог озрачивања, писао је др *Heublein* (слика 2). Између 1931. и 1940. године, око 270 пацијената је лечено овом тех-



Слика 1. Пионирска TBI техника коју је примењивао Десауер

У Немачкој 1925. године *Werner Teschendorf* је развио методу за озрачивање TBI коју је назвао *Teschendorf* пројекат рендгенотерапије целог тела.

ником TBI у болници *Memorial Hospital*.

Средином двадесетог века долази до значајног развоја апарата за зрачну терапију, што је довело до



отварања нових могућности за унапређење ТВИ технике. Све више се пажње придаје етици у истраживању у области озрачивања целог тела. Седамдестих и осамдесетих година двадесетог века нове технолошке могућности, као и значајан развој радиобиологије, допринели су дефинисању радиотерапијских протокола за озрачивање целог тела, дефинисању фракционисаних ТВИ техника и дефинисању потребе за заштитом виталних здравих органа, пре свега плућа пацијената.

добрио Нобелову награду за објављени рад о примени ТВИ која претходи инфузији коштане сржи у лечењу леукемија код људи, и то се сматра првим покушајем борбе са озбиљном мијелосупресијом.

Крај двадесетог века донео је стандардизацију ТВИ техника и њихову клиничку примену, што је било могуће с обзиром на изузетан напредак у технолошком смислу – употребу рачунарских метода у планирању и спровођењу терапије и нагли развој линеарних акцелерато-



Слика 2. Heublein-ова јединица за ТВИ

Током четрдесетих година двадесетог века је спроведен пројекат *Manhattan*, а један од циљева овог пројекта је било изучавање хуманог одговора на зрачење. Све више се говори о етичком приступу и недостатку података о корисности ТВИ метода код лечених пацијената. Важан напредак у овом пољу је постигнут педесетих година двадесетог века, када се експериментима дошло до закључка да ћелије коштане сржи донора могу спасити животиње од леталног излагања ТВИ зрачењу, што је била основа за развој трансплантације коштане сржи. Године 1957. *E. Donnall Thomas* је

ра чији принцип рада користи све савремене могућности нових информационо-технолошких технологија. Године 1969. је објављено прво успешно излечење од леукемије коришћењем ТВИ технике у припреми алогене трансплантације коштане сржи.

Седамдесетих и осамдесетих година двадесетог века је истраживачка екипа, позната као група из Сијетла, предвођена *E. Donnall Thomas*-ом, даље унапредила технику ТВИ. Клиничка истраживања су показала да фракционирање зрачења, тј. испорука дозе зрачења у више мањих фракција, значајно смањује радиотоксичност, посебно



до тада фатални радијациони пнеумонитис. Кобалт машине, које су дотада биле у широкој употреби, замењене су у за то време врло модерним апаратима – линеарним акцелераторима, који су омогућили бољу контролу брзине испоруке дозе зрачења, разноврснији спектар зрачења и квалит снопа (слика 3).

Крајем деведесетих година двадесетог века у радиотерапију се уводи, уместо радиографије, компјутеризована томографија (СТ) као основа планирања зрачења. Планирање зрачења и рачун примљене дозе се спроводе уз коришћење компјутерских програма за планирање на СТ слици пацијента,



*Слика 3. Модификована кобалт машина за ТБИ технику*



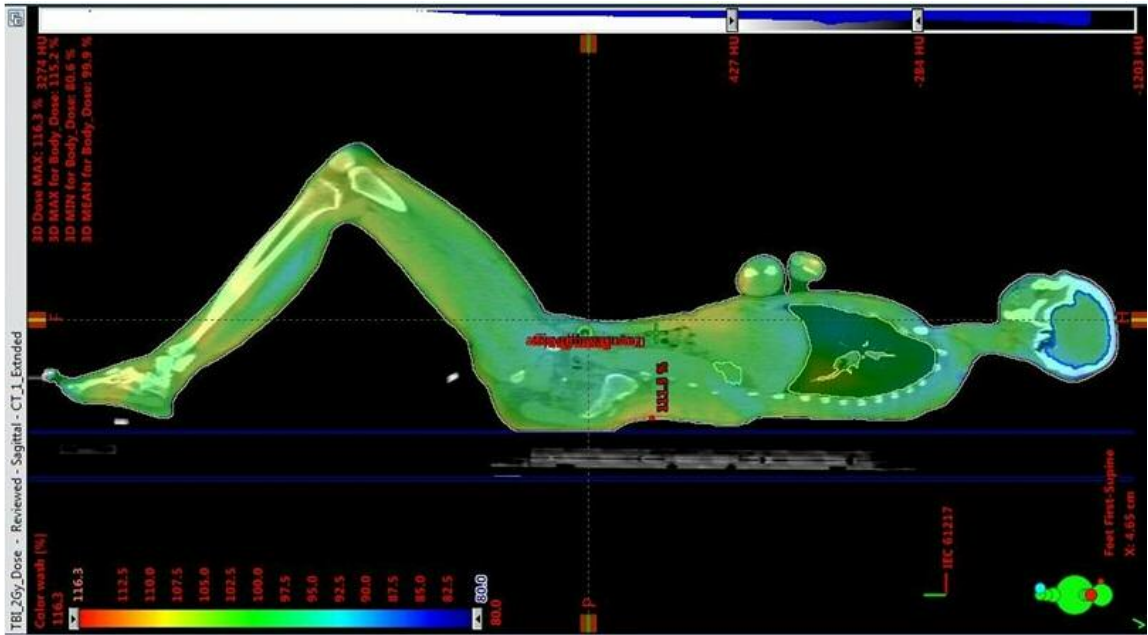
*Слика 4. Примена линеарног акцелератора у ТБИ*



ДРУШТВО  
РАДИОЛОГА  
У Београду

док се сама радиотерапија све више спроводи на линеарним акцелераторима, импресивних техничких могућности у то време (слика 4).

радиотерапија (VMAT) (слика 7) и хеликоидна (спирална) техника зрачења, тзв. томотерапија.



Слика 5.

У радиотерапијским центрима савремене технике ТВИ још увек су разнолике. Крећу се од конвенционалних, дводимензионалних ТВИ техника отворених поља, до веома саремених конформалних, тродимензионалних ТВИ техника, као што су интензитетом модулисана радиотерапија (IMRT) (слика 5, слика 6), волуметријски модулисана лучна

Двадесет први век је време модерних метода и техника ТВИ којима се смањују нежењене последица зрачења. Напредак у СТ имидингу и другим техничким могућностима довео је до веће тачности и поузданије испоруке дозе зрачења у персонализованом приступу планирања. Циљ зрачења може бити цело тело или сва коштана срж (*total*



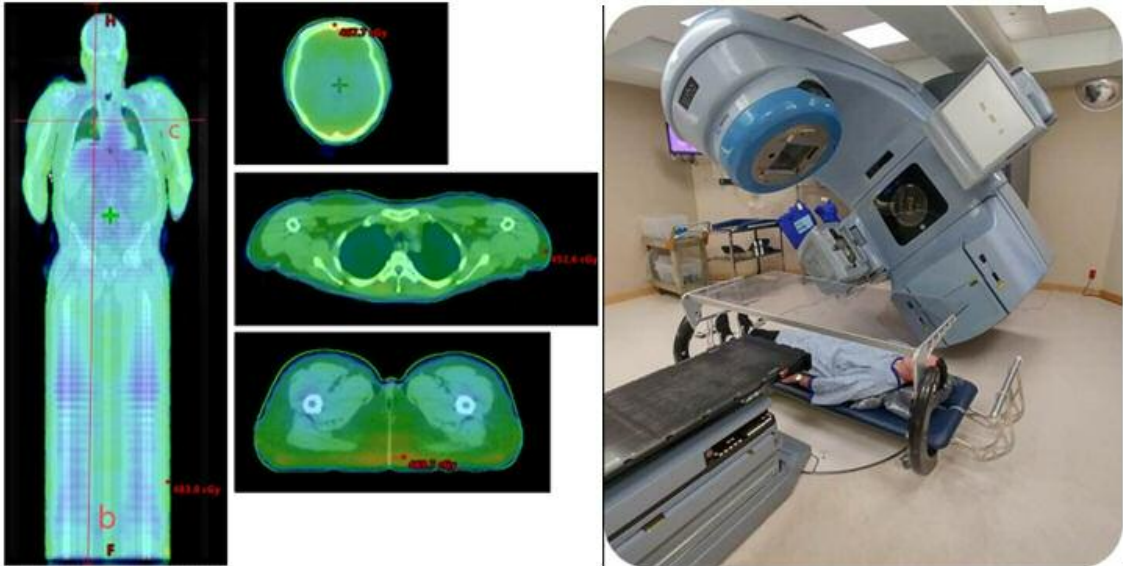
Слика 6.



*marrow irradiation* – TMI), а увек са циљем испоруке високих доза зрачења на коштану срж и уз заштиту здравих органа. Важан циљ смањења токсичности зрачења се постиже смањеним кондиционим режимима и ограничењем ТВИ дозе, што је од значаја код старијих пацијената и пацијената слабијег општег стања. Даља истраживања за циљ имају смањење касне ток-

сичности, као што су ендокрини проблеми или секундарни малигнитети, и постизање оптималног баланса између ефикасног и безбедног лечења, посебно код педијатријског узраста.

**Клин. асист. прим. др sc. med.  
Јелена Бокун**



Слика 7.



## Савремене технике зрачења целог тела

Традиционалне радиотерапијске технике зрачења целог тела подразумевале су примену великих зрачних поља користећи линеарне акцелераторе или радиоизотопске машине са статичним или трансляционим положајима пацијента. Пацијенти су позиционирани у седећи, стојећи или лежећи положај на великој удаљености од извора зрачења. Главни проблем ових метода била је неравномерна дистрибуција дозе зрачења, посебно у регији плућа, главе и абдомена што је било повезано са развојем значајних акутних и касних нежељених догађаја.

формалне технике), савременим софтверима за прорачунавање и испоруку дозе што је довело до значајног напретка у погледу прецизности спровођења радиотерапије, равномерног (хомогеног) озрачивања регије од интереса и смањења акутних и касних компликација радиотерапије.

Данас се за спровођење зрачења целог тела примењују интензитетом модулисана радиотерапија (енгл. *Intensity-Modulated Radiation Therapy – IMRT*), волуметријски модулисана лучна радиотерапија (енгл. *Volume-Modulated Arc Radiotherapy –*



Слика 1. Позиција пацијента у односу на извор зрачења у радиотерапијском бункеру

Развој технике и технологије последњих деценија омогућио је увођење нових генерација линеарних акцелератора у клиничку употребу, као и иновативних радиотерапијских техника планирања заснованих на скенерској слици (3D кон-

VMAT/*RapidArc*) и хеликална томотерапија (енгл. *Helical Tomotherapy – HT*).

Интензитетом модулисана радиотерапија целог тела – IMRT омогућава прецизну испоруку дозе зрачења захваљујући софтверски

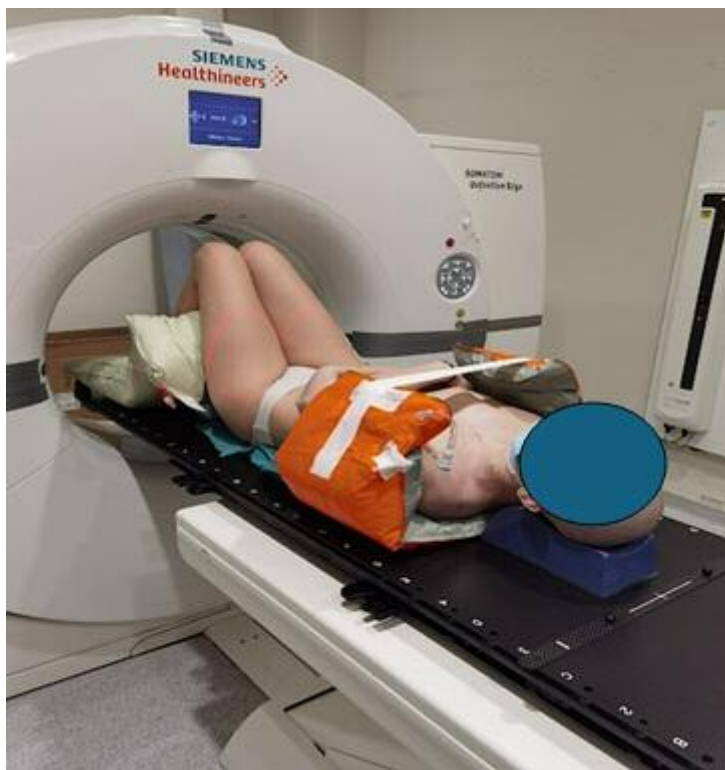


модулисаном интензитету зрачног снопа у зависности од регије која се зрачи, што омогућава равномерно покривање целог зрачног волумена прописаном дозом зрачења. У зрачењу целог тела, ова техника (тзв. *Step and shoot* IMRT) публикована је 2019. године у сарадњи Универзитетске болнице *Rigshospitalet* (Данска) и *Royal Marsden Hospital* (В. Британија). Посебна погодност ове технике била је та што она није захтевала посебне техничке услове и опрему, већ је могла да се имплементира у стандардно радиотерапијско окружење тј. довољно велики бункер линеарног акцелератора у коме је могуће постизање адекватне дистанце од 3,5 метра од извора зрачења до пацијента (слика 1).

мозак и бубрези) и зрачних волумена (цело људско тело као зрачни волумен) (слика 2).

Специјалним софтвером радиотерапијског планирања одређује се оптимални аранжман зрачних поља са циљем постизања равномерне дистрибуције дозе зрачења у телу и заштите здравих органа. Само озрачивање спроводи се на новим генерацијама линеарних акцелератора са интегрисаним мултиламентарним колимационим системом (енгл. *Multileaf collimator* – MLC) којим се прецизно обликују зрачна поља (слика 3).

Током самог озрачивања пацијент лежи на специјално дизајнираном столу за зрачење 3,5 метра удаљен од извора зрачења, а врши се константна контрола позиције пацијен-

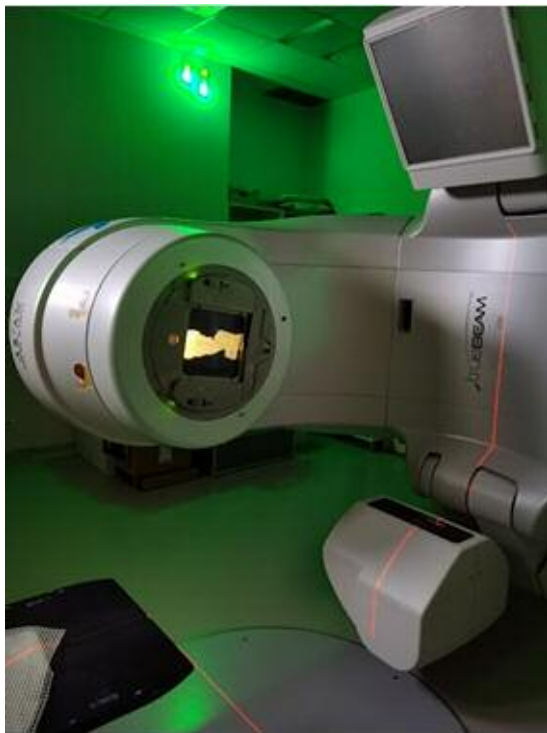


Слика 2. Пацијент у имобилизационој уређају (*vac loc* систем) на скенеру за планирање зрачења

Сама техника зрачења подразумева позиционирање пацијента у положај за зрачење, имобилизацију (најчешће *vac loc* системом), скенирање целог тела пацијента, делинеацију органа од ризика (плућа,

та и испоруке дозе у телу (*in vivo* дозиметрија) (слика 4).

Ова метода имплементирана је и код нас на Институту за онкологију и радиологију Србије са великим успехом.



Слика 3. Мултиламеларни колимациони систем линеарног акцелератора

Волуметријски модулисана лучна радиотерапија – VMAT/RapidArc је врста интензитетом модулисане радиотерапије која користи ротацију апарата око пацијента при чему се зрачење испоручује током дела или пуног лука окретања машине („лучна“ радиотерапија). Принцип радиотерапијског планирања не разликује се значајно од IMRT технике, с тим да се пацијент позиционира на самом интегрисаном столу линеарног акцелератора, а само озрачивање се изводи из неколико делова (глава, грудни кош, абдомен, карлица и доњи екстремитети). Овом методом могу се применити и додатна зрачна поља (додатни „лукови“) у циљу хомогенизације дозе или *boost* дозе на регион високог ризика болести.

Хеликална томотерапија – HT је радиотерапијска техника која такође припада 3D конформалним техникама радиотерапије, али се само озрачивање спроводи ротационим зрачним пољима (лучна радиотера-

пија) уз симултано померање радиотерапијског стола на коме лежи пацијент. Поред зрачења целог тела, овом методом могуће је спровести и изоловано зрачење коштане сржи (енгл. *Total Marrow Irradiation*) док се остала ткива поштеђују.



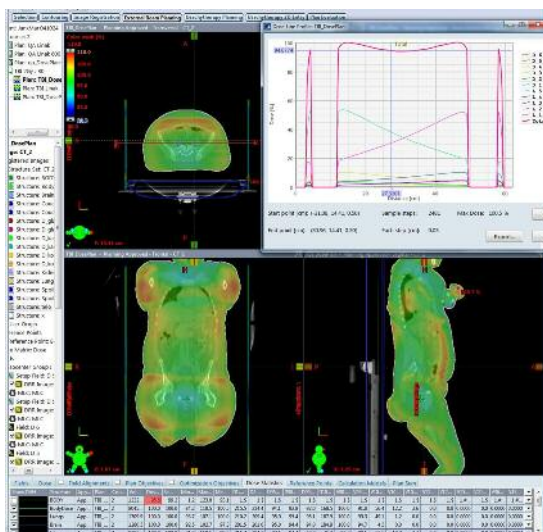
Слика 4. Пацијент у тренутку зрачења са диодама за *in vivo* дозиметрију

Савремене технике зрачења целог тела омогућиле су прецизну заштиту и контролу дозе на здраве виталне органе пре свега на плућа као најризичнији орган због могућности настанка радијационог пнеумонитиса који у појединим случајевима може бити и животно угрожавајући. Ове технике довеле су до значајног смањења акутних (мучнина, повраћање, мукозитис) и касних компликација (плућна фиброза, катаракта, ендокрини поремећаји). Како ТВИ остаје кључна компонента у претрансплантационом протоколу због високе успешности третмана, пажња је сада усмерена на развој персонализованих протокола на основу клиничких и прогностичких параметара сваког пацијента, као и ка интеграцији са иновативним могућностима системског лечења и протонској терапији.

**Доц. др Татјана Арсенијевић**

## Медицинска физика озрачивања целог тела (ТБИ) технике у ИОРС-у

За примену радиотерапијских (РТ) техника у онкологији је развијено више типова линеарних акцелератора, тзв. линака, високе технологије. Најбројнији линаци су прилагођени техникама за озрачивање широког спектра локализација, док су технике озрачивања великих запремина пацијента посебан технолошки изазов. Акцелератори се не конструишу наменски за зрачење мета већих од 40 cm, али се и у овим случајевима, и при озрачивању целог тела (*Total Body Irradiation* – TBI), захтева испуњење строгих услова расподеле и динамике испоруке дозе. Техника зрачења мора да буде поуздана, ефикасна и тачна. Дефинисање процедуре и прилагођавање технологије озрачивања великих запремина према датим медицинским условима је препуштено тиму медицинских физичара у радиотерапији, узимајући у обзир потребну опрему, инфраструктуру и планиране протоколе лечења.



Слика 1. Компензована доза два супротна поља

Опис технике у Институту за онкологију и радиологију Србије је

имплементирана модерна ТБИ техника великих зрачних поља на линеарним акцелераторима који се користе и за друге РТ технике. Пацијент се зрачи док лежи у супинационом терапијском положају на столу чија је уздужна оса удаљена од извора јонизујућег зрачења 350 cm, што је продужено растојање у односу на стандардних 100 cm. Већа удаљеност од извора има за последицу већу дивергенцију зрачног снопа, тако да резултујуће поље зрачења обухвата целог пацијента одједном и озрачује га, на пример, са његове десне стране. Када се сто ротира око вертикалне осе на истом растојању, пацијент се цео озрачује и са друге стране. У телу се депонује енергија зрачења релативно нехомогене дистрибуције, која се коригује додатним, мањим пољима, у истој поставци и према индивидуалном радиотерапијском плану (слика 1).

Ово је сажетак тзв. конформалне ТБИ технике, где се конформалност односи на прецизно обликовање зрачних поља системом мултиламеларних колиатора (MLC) смештених у глави линака. Конформалним мањим пољима се модулишу интензитети два велика супротна поља, а сва су усмерена према тзв. изоцентричној осе технике – уздужној осе пацијента на продуженој извор-изоцентар дистанци (SAD). Под називом ТБИ техника радиотерапије модулисаног интензитета (IMRT) на продуженој дистанци, такав приступ се годинама успешно примењује у лечењу болести крви, хематологији, а доминантно у скандинавским земљама.

### Планирање зрачења

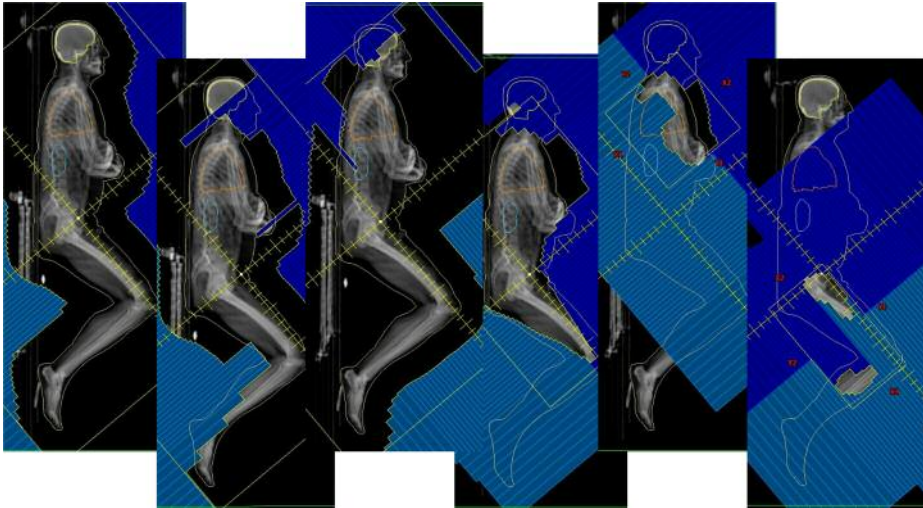
Како медицински физичари планирају и рачунају жељену дозу расподелу у целом телу пацијента и како можемо да будемо сигурни да



ће тај радиотерапијски план без грешке да буде спроведен у пракси?

Припрема за зрачење почиње скенирањем пацијента компјутеризованом томографијом (СТ) у терапијском положају, са подршком имо-

ТВИ, али дозу на њих треба и ограничити у прописаним деловима запремине, да би се избегли штетни ефекти зрачења. Детаљи дистрибуције дозе задати су протоколом лечења са ТВІ.



Слика 2. Зрачна поља конформисана системом MLC

билизационог система, који обезбеђује исто позиционирање пацијента на скенеру и на линаку. Дигитална тродимензиона СТ реконструкција пацијента се кроз мрежу прослеђује у рачунарски систем за планирање (TPS) зрачења. Подаци о електронским густинама скенираних ткива и органа се аутоматски рачунају из калибрационе криве скенера и представљају кључне параметре за израчунавање дозе зрачења која ће се апсорбовати у пацијенту. Медицински физичар дефинише зрачна поља – енергију фотона, углове и облике снопова, тежинске факторе зрачних поља и друге, како би решио добитну комбинацију физичких параметара поља која даје добру расподелу дозе (слика 2). Расподела апсорбоване дозе је добра ако је постигнута хомогеност до 10% у целом телу и ако су задовољени дозно-запремински односи за органе који су посебно осетљиви на зрачење, као што су плућа и бубрези. Ови органи треба да буду покривени довољно високим дозама за постизање терапијског ефекта

Најбоље решење задатка планирања ТВІ се остварује применом фотона високих енергија, најчешће највиших међу енергијама које се користе у савременој радиотерапији. Овакав фотонски спектар продире дубоко у ткиво постижући добру униформност дозе. Само плитки слојеви тела остају подзрачени, с обзиром на природу физичких интеракција фотона тако високе енергије са материјом. Ефекат поштеде коже и поткожног ткива у ТВІ није пожељан. Зато се на пут фотона, близу пацијента, поставља вертикална плоча плекси-гласа, тзв. спојлер. Фотони се расејавају у спојлеру креирајући другу врсту елементарних честица – брзе електроне, који своју кинетичку енергију предају управо тим плућним слојевима, фино обликујући изједначену дозну дистрибуцију (слика 3).

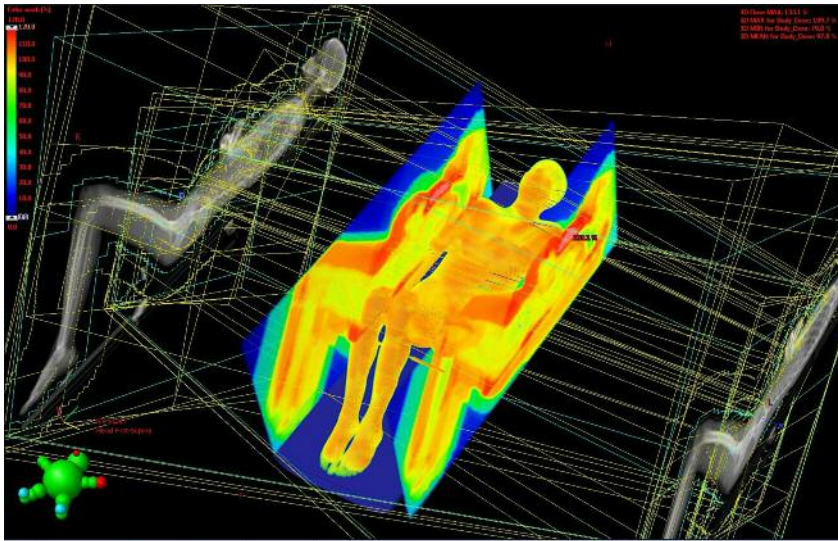
### Могућности планирања

Релативно једноставна конфигурација поља у ТВІ на продуженој дистанци, у односу на софистицира-



но висококонтурално инверзно планирање које се рутински примењује у радиотерапији мањих запремина, у овом случају представља предност избора технике. Применом инверзног планирања у ТВІ може да се постигне боља хомогеност дозе, али не у целом телу у исто време, него део по део. Ово је тема за размишљање о озрачивању целог тела, с обзиром на проток крви у телу и могућност неозрачивања једног броја оболелих ћелија крви. Нагласимо и то да се кључна модернизација ТВІ, у смислу тачности аплициране дозе, догодила увође-

Комплетности ради, поменимо и чињеницу да имплементација технике ТВІ на продуженој дистанци у клиничку праксу, због свих нестандартности које она подразумева (велика зрачна поља, велико растојање, присуство спојлера), захтева комплексну припрему и проверу тачности рачуна апсорбоване дозе у алгоритмима рачунарског система за планирање зрачења. Пре клиничке примене треба да се постигне и докаже тачност ових алгоритама у новим условима, и то за све снопове фотона који ће бити на располагању за ТВІ.



Слика 3. ТВІ радиотерапијски план техником продужене дистанце

њем терапијског СТ скенера за калкулацију просторног плана у TPS. Зато кажемо да се ради о радиотерапији вођеној сликом, данас неприкосновеној радиотерапијској технологији.

Конформалној техници ТВІ на продуженој дистанци можемо да замеримо то што треба обезбедити довољно велики бункер да би се на акцелератору остварила продужена SAD. Такође, једноставност конфигурације поља повлачи са собом и мали број степени слободе у планирању, што отежава контролу дозно-запреминских односа у РТ плану, и на том месту наступају вештине израде радиотерапијског плана.

### Контрола квалитета

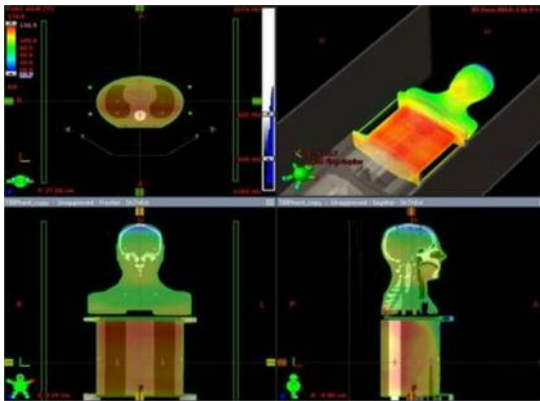
Сваки радиотерапијски план за цело тело се дозиметријски проверава пре прве зрачне фракције. Ово је рутинска процедура за сложене технике, а за ТВІ се посебно препоручује с обзиром на високу радиосензитивност тела које се зрачи у целости, и на повишен ризик од радиотоксичности у односу на исте непоузданости дозе у стандардној радиотерапији. Ако се неки вид контроле квалитета препоручује у радиотерапији, за физичара је то обавезан део припреме плана, којим се осигурава остваривост и тачност испоруке дозе.

Специфичност технике на продуженој дистанци, несвојствена уоби-



чајеној терапији, је и та што се креирани план не аплицира као такав, него треба да се коригује у склопу припреме за извршење на линаку. Ради се о осетљивом делу процедуре и додатној мотивацији за дозиметријску проверу плана.

Завршен радиотерапијски план се испоручује на тзв. антропоморфни фантом (имитацију пацијента) да би се са великом поузданошћу измериле дозе у одабраним местима (на пример, у плућима). Измерене дозе се пореде са вредностима које је израчунао систем за планирање, а резултати се анализирају и интерпретирају. Разлози евентуалних одступања би пре терапије морали да се одгонетну и фиксирају (слика 4). Дозиметријска контрола се врши и у току самог зрачења, непосредно пратећи дозу коју детектују мале диоде постављене на тело пацијента (тзв. *in vivo* дозиметрија – IVD).



Слика 4. Контрола квалитета – ТВИ план на дозиметријском фантому

### Трајање зрачне фракције

Зашто ТВИ фракција траје доста дуже од фракције ограничене регије истом дозом од 2 Gy?

Поменута велика радиоосетљивост при озрачивању целог тела се компензује спором испоруком дозе на пацијента. Оптимална брзина испоруке дозе у ТВИ је испод 10 cGy/min. Овако примењену дозу

пацијенти боље подносе, док се терапијски ефекат не смањује. Како интензитет зрачног снопа опада са квадратом растојања, у ТВИ техници на растојању 350 cm брзина озрачивања је већ сведена на 8,2% од оне која би се испуричила у изоцентру акцелератора. Планирањем се задаје зрачење брзине 100 cGy/min. (у максимуму дозе), уместо 600, 1000 или преко 2000 cGy/min, колико се стандардно користи. Када се узму у обзир и мања поља за хомогенизацију дозе, чији већи део је у сенци MLC заштитних листова, ламела, зрачење са намештањем пацијента и проверама на лицу места траје око сат времена.

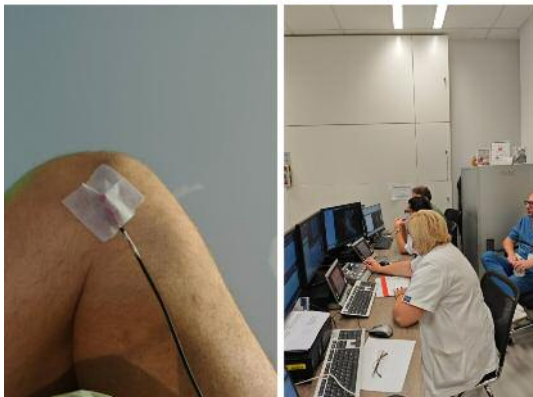
### Перспективе развоја

Даљи развој технике може да се оствари варијацијом у позиционирању пацијента. Пацијенту који би лежао у бочном положају повећала би се хомогеност дозе и лакше би се заштитили поједини његови органи. При томе, усложњавање захтева које план треба да испуни повлачи за собом раст броја поља и односа времена испоруке дозе према преписаној дози. У ери брзог развоја вештачке интелигенције је лако за очекивати и да ће делови процеса планирања да се аутоматизују. Судећи по општим трендовима у радиотерапији, па и у ТВИ, инверзно планирање и усложњавање саме испоруке зрачења ће да се интензивира. Већ сада запремински модулисана лучна терапија (VMAT) ТВИ представља алтернативу садашњој техници продужене дистанце. Нова техника доноси нове предности и нова усложњавања, а да ли ће и у којој мери потиснути ТВИ на продуженој SAD, показаће време.

**Ивана Мишковић, дипл. физичар,  
спец. мед. физике у РТ**

## Улога медицинског физичара у озрачивању пацијента ТВИ техником

Озрачивање целог тела (ТВИ – *Total Body Irradiation*) је сложена и технички захтевна радиотерапијска техника, најчешће примењивана као припремни корак у протоколима трансплантације коштане сржи. Циљ је уништење преосталих туморских ћелија и сузбијање имуног система, како би се спречило одбацавање трансплантата. Због специфичности и осетљивости поступка, свако извођење ове технике захтева директно присуство медицинског физичара током сваког третмана.

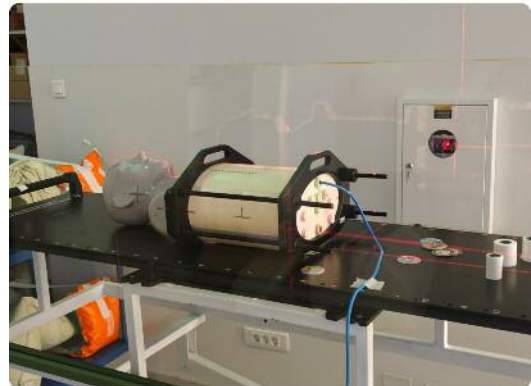
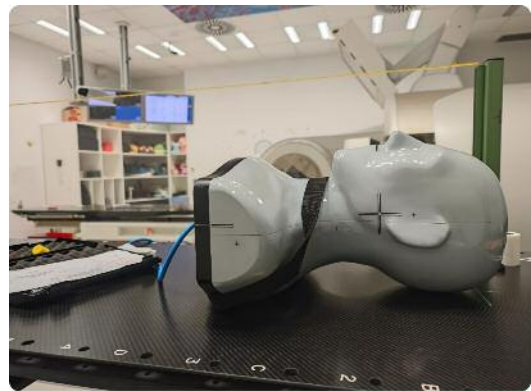


Слика 1. Припрема пацијента за ТВИ

Медицински физичар је стручњак који спаја знање из физике и медицине, а у ТВИ поступку:

- познаје све параметре апарата и начин њиховог подешавања за специфичне услове;
- обезбеђује да излазна снага зрачног снопа буде у складу са прописаном дозом;

- надгледа исправност екстерног ласерског система за позиционирање;
- решава изненадне техничке проблеме;
- познаје све параметре радиотерапијског плана;
- контролише да ли се сва мерења и позиције поклапају са оним у плану лечења.



Слика 2. Позиционирање фантома

Пре почетка терапије, физичар проверава:

- излазну снагу зрачног снопа акцелератора, исправност положаја колиматора и вишеламеларног колиматора (тзв. МЛС лифова);
- светлосно поље – користи се за намештање пацијента; мора бити у складу са стварним зрачним пољем;



- екстерне ласере – често се користе додатни ласери који нису део самог акцелератора, како би се обележила средина пацијента у односу на зрачну осу.

Дужности физичара у току спровођења ТВИ третмана укључују:

1. Надзор процедуре – пацијента прецизно позиционира радиотерапијски техничар уз помоћ ласера и светлосног поља, док радијациони онколог потврђује положај путем слика са *Theraview* система. Физичар надгледа процес и реагује ако примети било какво одступање у положају или ако анатомија не одговара планираним сликама.
2. Анализу *in vivo* дозиметрије (IVD) – постављање диодних детектора на тело пацијента и мерење стварне дозе коју пацијент прима у току зрачења.

### Шта су диодни детектори и зашто пацијенти не треба да их се боје?

Диодни детектори су мали електронски уређаји који се постављају на кожу пацијента на тачно дефинисаним местима, обично у пределу главе пацијента, бубрега, карлице и колена. Они се фиксирају медицинским тракама. Њихова улога је да мере колико зрачења је пацијент заиста примио током третмана у реалном времену. Ако диоде покажу одступање веће од дозвољеног ( $\pm 6\%$ ), физичар утврђује разлог одступања.

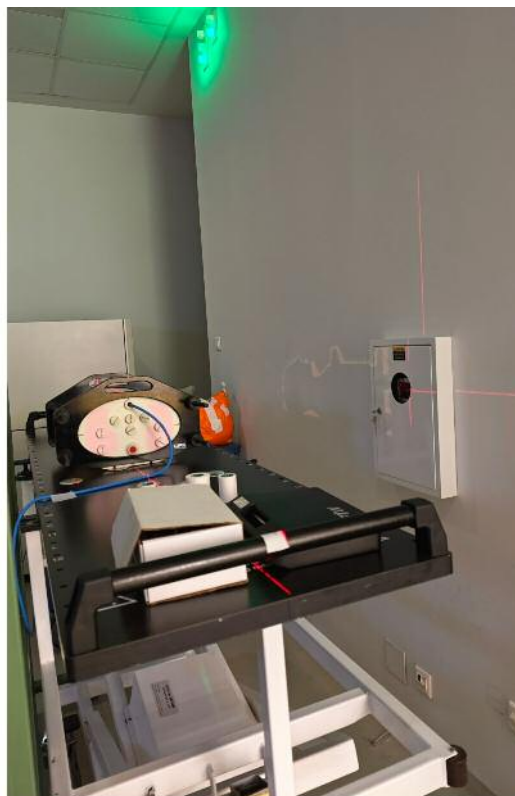
Важно за пацијенте:

- диодни детектори не емитују никакво зрачење,
- они не садрже батерије и не пуштају струју кроз тело,
- они само пасивно детектују фотоне зрачења и претварају их у електрични сигнал који мери специјални уређај и омогућавају физичару да прати да ли је прописана доза испоручена пацијенту.

Како раде диодни детектори?

Диода је полупроводник (обично силицијум) који при проласку фотона ослобађа парове електрон-шупљина. При присуству електричног поља ти носиоци генеришу краткотрајну струју (или акумулирани набој). Мерна електроника ту струју интегрише и/или претвара у напон, а калибрациони фактор диоде претвара добијени сигнал у вредност дозе. Физичар затим пореди ту вредност са планираном из система за планирање.

### Мегаволтажни детектор – очи третмана у реалном времену



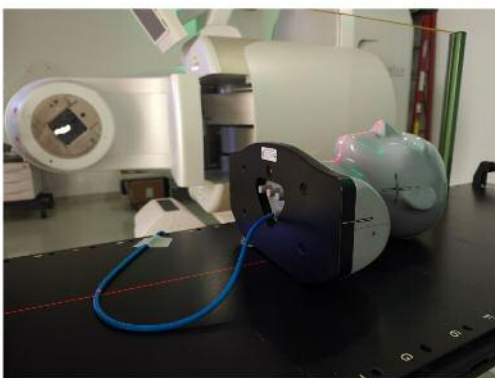
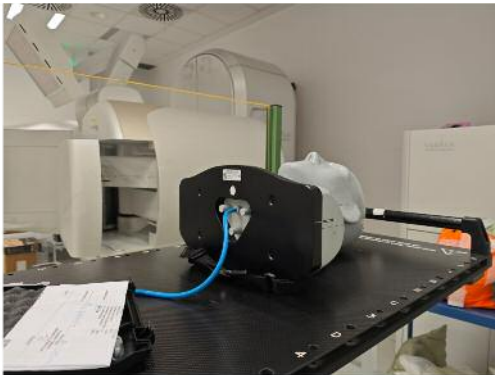
Слика 3. Фантом торакса

Током ТВИ третмана користи се и мегаволтажни (MV) детектор – независни детектор који не припада самом акцелератору, већ се поставља у линији зрачења како би снимао слике док се третман изводи, што даје могућност радиотерапијском техничару и радијационом онкологу да у ходу прате прецизност положаја и одмах реагују ако дође до померања.



Како функционише:

- Мегаволтажни детектор користи мегаволтажно (MV) зрачење машине да направи слику унутрашњих структура пацијента.
- Слика се приказује у реалном времену на монитору, што омогућава радиотерапијском техничару и радијационом онкологу да провере да ли је пацијент на правом месту.
- Ове слике се упоређују са дигитално реконструисаним радиографима (DRR).



Слика 4. Позиционирање фантома

### Шта је дигитално реконструисани радиограф (DRR)?

DRR (*Digitally Reconstructed Radiograph*) је дигитална реконструисана рендгенска слика добијена из СТ снимака пацијента у систему за планирање радиотерапије.

Представља виртуелни рендгенски снимак посматран из угла под којим ће се вршити зрачење.

Циљ DRR-а је да се упореди са стварним сликама добијеним током третмана (нпр. мегаволтажним детектором) да би се проверила тачност позиционирања пацијента.

Ако се стварна слика поклапа са DRR-ом, значи да је положај пацијента усклађен са планом и терапија се може безбедно наставити.

Пацијент се намешта према светлосном пољу и ласерима. Код ТВИ, због велике удаљености од извора (3–4 m), овај корак захтева изузетну прецизност.

### Закључак

Рад медицинског физичара није само техничка подршка, већ суштински део терапијског тима. Његова посвећеност и прецизност гарантују безбедност и висок квалитет терапије.

Иако већини пацијената улога медицинског физичара у ТВИ терапији остаје невидљива, он је кључни стуб безбедности и прецизности који обезбеђује успешан исход лечења. Медицински физичар представља везу између најсавременије технологије и стручности медицинског тима, осигуравајући да свака доза буде тачно измерена и безбедно испоручена.

Свако пажљиво позиционирање диодних детектора, свака детаљна провера апарата и свака анализа снимака омогућавају да терапија буде не само ефикасна, већ и максимално безбедна за пацијента.

**Снежана Воштинић, мастер физичар, спец. мед. физике**



## Улога радиотерапијског техничара у припреми и извођењу ТБИ технике

### Апстракт

*Total Body Irradiation* (ТБИ) представља специфичну технику у радиотерапији која се користи као део кондиционих протокола код трансплантације коштане сржи. Примена ове методе захтева висок ниво организације, прецизну припрему пацијента и техничку стручност тима. Радиотерапијски техничар има централну улогу у свим фазама поступка – од израде и примене имобилизације, преко СТ (СТ – компјутеризована томографија) симулације и планирања, до извођења терапије, верификације помоћу порталних система и континуираног праћења пацијента. Посебан значај имају избор и техничке карактеристике имобилизационих помагала, као и верификација положаја на самом уређају, јер управо ти елементи обезбеђују сигурност и хомогеност дозе.

### Увод

Зрачење целог тела (ТБИ) представља једну од најсложенијих техника у савременој радиотерапији и, заузима посебно место у клиничкој пракси, јер се разликује од конвенционалних техника зрачења по свом обиму и циљу. Најчешће се користи као део кондиционог режима пре трансплантације коштане сржи, а циљ му је да елиминисе малигне ћелије у организму и истовремено потисне имунолошки систем, како би се смањила вероватноћа одбацавања пресађене коштане сржи. Сама процедура је дуготрајна и захтевна, јер подразумева да се хомогено озрачи читав организам, уз максималну заштиту критичних органа а постиже се коришћењем линеарног акцелератора у посебним режимима.

У овом сложеном процесу, радиотерапијски техничар има важну

улогу. Он је члан радиотерапијског тима који је од почетка присутан и укључен у рад. Поред руковања опремом, учествује у свим фазама процеса – од припреме и имобилизације пацијента, преко СТ симулације и планирања, до спровођења терапије, праћења стања пацијента и провере квалитета зрачења. Његова одговорност је подједнако техничка и хумана – он је гарант прецизности и сигурности, али и особа која својим приступом може пацијенту олакшати један од најтежих животних периода.

### Израда и примена имобилизације

Имобилизација представља први и можда најважнији корак у процесу ТБИ, јер без стабилног и репродуктивног положаја пацијента није могуће остварити хомогену расподелу дозе. Улога радиотерапијског техничара овде је двострука – техничка и креативна.

Техничар, у сарадњи са тимом, прави појединачна помагала за имобилизацију. Најчешће се користе вакуумски душеци, плоче за термоформирање или специјални душеци.

Вакуумски душеци су израђени од PVC материјала пуњеног полистиренским куглицама. Након евакуације ваздуха, душек постаје чврст и обликује се према телу пацијента. Предност је висока стабилност и могућност понављања истог положаја у више фракција.

Подметачи за главу омогућавају фиксацију главе и врата, посебно је важно код пацијената код којих је потребна заштита критичних структура у горњем делу тела.

Индивидуално обликовани подметачи су израђени од полиуретанске пене или комбинованих материјала, користе се за постизање



неутралног и симетричног положаја трупа и екстремитета.

Подупирачи и носачи екстремитета су израђени од лаганих композитних материјала, обезбеђују стабилност руку и ногу, чиме се спречава ротација тела.

Процес израде захтева да техничар разуме анатомију пацијента, али и техничке захтеве терапије. Иmobilизација пацијента мора бити таква да се може поновити током сваке фракције. Пацијент лежи на леђима са рукама укрштеним на грудима, а издигнуте изнад средње аксиларне линије, како би се омогућило постављање маркера на латерални део карлице и грудног коша. Ноге савијене у коленима како би цело тело могло бити обухваћено пољем колиматора (у облику ромба) који је ротиран на 45 степени.



Слика 1.

Поред тога, техничар процењује да ли је пацијенту удобно, проверава могућност дисања, обезбеђује адекватан ослонац главе и екстремитета. Код деце и млађих пацијената често је потребна додатна подршка, јер сама процедура може изазвати страх и немир. Стога техничар, осим практичне израде имobilизације, има и едукативну улогу – објашњава пацијенту шта се дешава, колико ће трајати и на који начин помагала доприносе успешном лечењу.

## СТ симулација и планирање

СТ симулација је незаобилазан корак, јер омогућава прецизно планирање дистрибуције дозе. Радиотерапијски техничар поставља пацијента у претходно израђен систем за имobilизацију, проверава да ли је положај у складу са планом и врши корекције ако је потребно. Он је одговоран за квалитет снимка – од правилног центра, преко техничких параметара СТ уређаја, до обезбеђивања да пацијент остане миран током скенирања.

Оно што је посебно захтевно код технике озрачивања целог тела (ТВИ) јесте велика дужина поља снимања, јер се мора обухватити цео организам. Техничар, због тога, води рачуна да се скенирање изводи од врха темена да обухвати цело тело и стопала, а затим проследи серију СТ пресека физичарима за даљу израду радиотерапијског плана. Његова пажљивост, педантност директно утичу на квалитет добијених података, а тиме и на успешност целокупне терапије.



Слика 2.

## Спровођење радиотерапије

Сам процес озрачивања целог тела одвија се у контролисаним условима, а одговорност за његову реализацију носи радиотерапијски техничар. Он рукује линеарним акцелератором, поставља параметре, проверава прецизност положаја пацијента и води рачуна да све протекне у складу са планом.

У ТВИ процедурама се често користе посебне технике – пацијент може бити постављен у лежећи



положај са великим извор – пацијент растојањем (4 m). Техничар мора да контролише све аспекте: од поставке поља и положаја заштитних ламела мултиламеларног колиматора (MLC) за органе од ризика.



Слика 3.

Због комплексности процедуре, свака фракција захтева висок ниво концентрације. Техничар често у реалном времену проверава позицију пацијента камерама и комуницира са њим путем интерфона, јер пацијент током озрачивања мора остати потпуно сам у просторији. Његова пажња и прецизност су гаранција да ће терапија бити спроведена тачно према плану.

### Зрачна поља

Планирање и реализација зрачних поља код ТВИ представљају посебан изазов. За разлику од конвенционалне радиотерапије, где су поља мања и фокусирана, овде се обухвата цео организам. Техничар има важну улогу у обезбеђивању правилног постављања пацијента у односу на поља, као и у постављању опреме, спојлера и *Tera View* уређаја за верификацију.

Код неких протокола се зраче бочна поља (лево десно – ЛД и десно лево – ДЛ), док се у савременим приступима користе и ротационе технике или сегментирана поља. Сваки од ових приступа захтева да техничар буде добро обучен и способан да препозна потенцијалне неправилности. Његова прецизност директно утиче на то да ли ће доза

бити равномерно расподељена, а ризични органи адекватно заштићени.



Слика 4.



Слика 5.

### Техника зрачења

Различите технике ТВИ захтевају различит ниво ангажовања техничара. Код класичног зрачења статичким пољима техничар брине о правилном позиционирању и евентуалним корекцијама. Код модернијих метода, које користе линеарне акцелераторе са модификацијом снопа или чак IMRT приступ (IMRT – интензитетом модулисана радиотерапија), његова улога укључује и



контролу комплексних параметара машине, за верификацију поља.



Слика 6.

Један од најважнијих корака у процедури ТВИ јесте верификација положаја пацијента на самом линеарном акцелератору. У ту сврху користе се портални верификациони системи (*Electronic Portal Imaging Devices – EPID*) или уређаји као што је *Tera View*.

#### Улога техничара у верификацији:

1. Позиционирање пацијента према референтним маркерима.
2. Извођење порталних слика пре почетка зрачења.
3. Поређење добијених слика са планираним референтним пољима.
4. Корекција положаја пацијента на основу одступања.
5. Поновити верификацију за сваку фракцију или према протоколу.

EPID системи омогућавају високу резолуцију и дигитално поређење са DRR (дигитална реконструисана радиографија) сликама из планера. Техничар мора бити обучен да брзо уочи померања у милиметрима и да изврши неопходне корекције. Тиме се значајно смањује ризик од неуједначене дистрибуције дозе и повећава сигурност терапије.

Без обзира на технику, заједнички именитељ јесте потреба за високом стручном припремом, одговорношћу и константном пажњом. Техничар је важан члан радиотера-

пијског тима која практично реализује задато и тиме утиче на успешност терапије.



Слика 7.

#### Праћење пацијента

Улога техничара не завршава са спровођењем зрачења. Током и након сваке фракције он процењује стање пацијента – да ли се јавља умор, мучнина, вртоглавица, проблеми са дисањем или нелагодност. Будући да ТВИ представља агресиван терапијски приступ, пацијенти су често исцрпљени, а њихово стање може варирати.



Слика 8.

Техничар је тај који први примећује промене и прослеђује информације лекару или медицинској сестри. Осим медицинског аспекта, техничар има и значајну психолошку улогу: разговор, подршка и стрпљење често су једнако важни



као и сама терапија. Пацијент кроз техничара види стабилност и сигурност – особу која је ту уз њега свакодневно и која му улива поверење да ће цео процес бити успешан.

### **Закључак**

Улога радиотерапијског техничара у методи зрачења целог тела не може се посматрати само кроз призму техничког извођења. Он активно учествује у свим процесима – од израде и прилагођавања имобилизације, преко припреме и спровођења терапије, до пажљивог праћења

пацијента и верификације квалитета.

Без прецизности техничара, ниједан план не би могао бити реализован. Без његове подршке, пацијент не би имао сигурност у тако захтевном процесу. Стога се може рећи да успех ТВИ у великој мери зависи од професионализма, посвећености и приступа техничара и целог радиотерапијског тима.

**Главни техничар одсека за педијатријску радиотерапију ВРТ Мирјана Милинчић**



Слика 9.



## Примена ТВІ у педијатријској хематоонкологији

Зрачење целог тела у педијатријској хематоонкологији спроводи се од седамдесетих година прошлог века уз високодозну хемиотерапију као режим кондиционирања (припреме) у процесу трансплантације матичних ћелија хематопоезе. Ова радиотерапијска техника представља важну компоненту терапијских протокола у лечењу високоризичних и релапсних хематолошких малигнитета, пре свега акутне лимфобластне леукемије.

Озрачивањем целог тела преко рачује се нормална толеранција коштане сржи на зрачење, а хематопоезски систем пацијента се реконституише процедуром трансплантације матичних ћелија. Ћелије донора могу потицати од друге особе или самог пацијента, када се трансплантација назива алогеном, односно аутологом.

Радиотерапија као режим кондиционирања за трансплантацију матичних ћелија хематопоезе има неколико функција:

- Цитотоксичност – доприноси уништавању преосталих малигних ћелија које нису одговориле на хемиотерапију на такозваним „скривеним“ местима, познатим као уточишта малигних ћелија, као што су централни нервни систем и тестиси
- Аблацију коштане сржи – у мијелоаблативним режимима радиотерапија уништава пацијентову коштану срж чиме се омогућава развој и пролиферација здравих матичних ћелија донора
- Имуносупресивност – слабљењем одговора имуног система детета смањује се ризик од одбацивања матичних ћелија.

Зрачење целог тела примењује се у комбинацији са етопозидом код деце узраста  $\geq 4$  године са високоризичном акутном лимфобластном

леукемијом у ремисији са индикацијом за трансплантацију матичних ћелија хематопоезе. Такође, зрачење целог тела у комбинацији са циклофосфамидом представља још један традиционални режим кондиционирања. У студијским протоколима и даље се испитују индикације за зрачење целог тела и трансплантацију матичних ћелија.

Доношење одлуке о спровођењу зрачења целог тела доноси се у консултацији са члановима мултидисциплинарног тима за трансплантацију. Обавезни су комплетни подаци о историји и току болести, спроведеном досадашњем лечењу, актуелни статус минималне резидуалне болести и цитолошки преглед цереброспиналне течности. Узраст детета представља важан фактор приликом доношења одлуке о зрачењу целог тела, с обзиром да су млађа деца узраста 3–4 године под већим ризиком за развој озбиљних касних компликација лечења. Код деце неопходно је испитати потенцијално постојање генетских синдрома са предиспозицијом за малигнитете који могу искључити примену радиотерапије као терапијског модалитета.

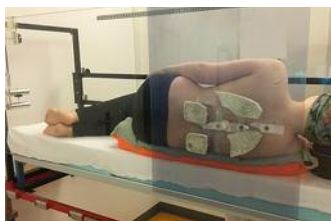
Зрачење целог тела у више подељених фракција показује исте резултате у исходу лечења уз смањену токсичност у поређењу са зрачењем којим се укупна доза испоручује у једној фракцији. Примењују се различити дозни режими лечења у складу са предходно спроведеном терапијом, према протоколима за кондиционирање и у складу са узрастом детета. Тренутно се у највећем броју центара примењује доза у распону 12–14,4 Gy, у фракцијама 1,6–2 Gy два пута дневно. Најчешће спровођени дозни режими су 6x2, 8x1,8 и 8x1,65 Gy, са брзином испоруке дозе 6–15 cGy у минути.



Данас постоји више техника зрачења целог тела које се спроводе у различитим радиотерапијским центрима у зависности од расположивости бункера, апарата и техничке могућности центра. Постоји читав низ варијација у циљу постизања довољне величине зрачних поља ради озрачивања циљног волумена, који представља цело тело. С обзиром да је зрачење целог тела повезано са низом токсичности, потребно је да се лечење спроводи у референтним центрима уз јасне препоруке како би се техника стандардизовала и пацијентима омогућио најбољи могући третман.



Слика 1.

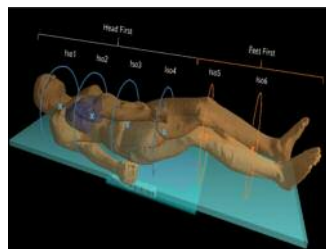


Слика 2.

Традиционално, зрачење се спроводило конвенционалном 2D техником. Користе се поља која су већа од максималне величине поља (40x40 cm) које је доступно на стандардној дистанци извора зрачења од површине пацијента (дистанца 100 cm), третирањем пацијента на продуженој дистанци. Применом конвенционалне радиотерапије пацијенти се обично третирају са два супротна паралелна поља. Када се користи један извор зрачења, то се постиже окретањем пацијента за 180 степени. Приликом извођења ових техника користе се различити положаји пацијента, у распону од седења или усправног положаја до

лежања хоризонтално у супинацији или пронацији или у бочном положају декубитуса (слике 1 и 2). С обзиром да третман може да траје до 30 минута, код мале деце неопходна је примена анестезије.

Увођењем савремених радиотерапијских техника посебно волуметријски модулисане лучне терапије (VMAT) на конвенционалним линеарним акцелераторима и спиралне томотерапије на специјализованим апаратима уклоњена је потреба за коришће продужене дистанце од извора зрачења. Нове технике омогућиле су испоруку прилагођене хомогеније дистрибуције дозе зрачења у целом телу. Њихова способност да испоруче интегралну дозу на целокупну коштану срж или лимфни систем, а да притом задрже ниске дозе на критичним органима омогућава да се додатно побољша квалитет зрачног третмана. Коришћење савремених техника захтева дуже планирање терапије, и продужено је и време трајања самог третмана (слика 3).



Слика 3.

Нежељени ефекти зрачења целог тела имају сложене интеракције са цитотоксичним лековима. Педијатријски пацијенти који су лечени трансплантацијом матичним ћелијама хематопоезе имају већу стопу касних нежељених ефеката лечења у односу на остале пацијенте третиране због малигне болести у дечјем узрасту, тако да изоловање токсичности која је директно повезана са зрачењем целог тела није једноставно. Компликације су више изражене када се зрачење целог тела спроводи у узрасту мањем од 3 до 4 године.



Акутна токсичност манифестује се у току као и данима након спроведене зрачне терапије у виду мучнине, повраћања, дијареје, паротитиса, упале слuzнице дигестивног тракта, црвенилом коже, опадањем косе, губитком апетита и замарањем. Неопходан је стални надзор педијатријског тима и интензивна симптоматска и супортивна терапија. Потребно је пацијентима дати упутства за негу коже која укључују прање коже млаком водом непарфемисаним сапуном, сушење коже благим тапкањем пешкиром, избегавање уске и тесне одеће, избегавање излагања сунцу.

Субакутна токсичност јавља се у виду интерстицијалног пнеумонитиса најчешће у периоду 90–120 дана након трансплантације, код деце до 30%. Манифестује се у виду нагло насталог кашља и отежаног дисања. У највећем броју центара примењује се техника заштите плућа након одређене дозе зрачења, чиме се ризик од пнеумонитиса значајно смањује.

Касна токсичност јавља се неколико година по спроведеном зрачењу. Катаракта је присутна код више од половине пацијената 10 година након зрачне терапије. Венооклузивна болест јетре, односно синусоидни опструктивни синдром карактерише се болним увећањем јетре, асцитесом и жутицом. Настаје као последица оштећења синусоидних ендотелних ћелија јетре због примене хемитерапије али и зрачења. Хронично оштећење бубрега такође се јавља као последица више фактора, те се саветује заштита бубрега након толерантне дозе зрачења. Готово сва деца код које је извршена трансплантација матичних ћелија уз зрачење целог тела имају смањену брзину раста. Недостатак хормона раста детектује се код трећине одраслих који су током детињства имали зрачење целог тела. Примена зрачења целог тела доводи до примарне гонадне дисфункције код готово свих пацијената. Код ове

деце пубертет је обично одложен, али се може изазвати одговарајућом надокнадом хормона. Неурокогнитивни ефекти израженији су када се зрачна терапија спроводи у ранијем узрасту. Ризик од настанка секундарних малигнитета 10 година након спроведеног лечења износи око 16%, а у највећем ризику су пацијенти који су лечени у узрасту млађем од три године. С обзиром на ризике, неопходни су редовни клинички прегледи, као и едукација пацијената о самопрегледима дојке и коже. Саветује се преглед дерматолога на сваких годину до две. Потребно је пацијенте увести у програм скрининга малигних болести, пре свега штитасте жлезде и дојке код младих жена старости преко 25 година. Након 50. године саветује се тест столице на окултно крварење и колоноскопија на сваких 10 година. Пацијентима се саветује да се не излажу УВ зрачењу, као ни пушење цигарета.

Имајући у виду токсичност спроведеног комбинованог онколошког лечења неопходне су доживотне и редовне контроле стручњака из области различитих специјалности. Рана детекција и благовремено лечење компликација омогућавају очување квалитета живота лечених пацијената, што представља један од основних циљева савремене онкологије.

Зрачење целог тела у педијатријској хематоонкологији представља важан и ефикасан терапијски модалитет за селектовану групу пацијената, пре свега са акутном лимфобластном леукемијом. Сарадња између радиотерапијских центара омогућава размену искустава, нова сазнања и увођење нових техника зрачења чиме се омогућава бољи исход лечења и смањена токсичност мијелоаблативног зрачења код деце.

**Клин. асист. др  
Марија Поповић-Вуковић**



ДРУШТВО  
СРБИЈЕ  
ЗА  
БОРБУ  
ПРОТИВ  
РАКА

## ПУБЛИКАЦИЈЕ ДРУШТВА

### Нове брошуре (2022. година):

- Рак плућа
- Рак дебелог црева
- Тумори мозга
- Рак простате
- Меланом
- Лимфоми
- Рак грла
- Ретки тумори
- Зрачна терапија код деце
- Нега код пацијенткиња са раком дојке

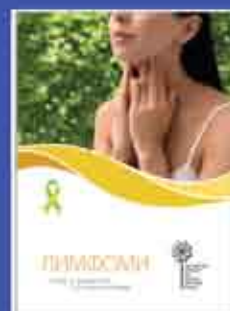
### Остале брошуре:

- Исхрана особа оболелих од рака
- Одвикавање од пушења
- Самопреглед дојке
- Уживај у сунцу, али безбедно
- Употреба биљних препарата
- Мучнина и повраћање изазвани хемиотерапијом
- Злоћудни тумори гинеколошке регије
- Малигни лимфоми и лимфоидне леукемије
- Радиотерапија, и друге

### Друштво издаје квартално часопис „Рак - спречити, открити, лечити“

Брошуре и часопис можете погледати и преузети са [www.serbiancancer.org/brosure/](http://www.serbiancancer.org/brosure/) или узети штампани примерак у просторијама Друштва

Чланови Друштва редовно добијају све публикације Све публикације су бесплатне





**Друштво Србије за борбу против рака  
Београд, Пастерова 14, Србија**

**+381 11 26 56 386  
serbca@ncrc.ac.rs  
www.serbiancancer.org**

## **ОТВОРЕНА ТЕЛЕФОНСКА ЛИНИЈА**

**ЗА ПИТАЊА О МАЛИГНИМ БОЛЕСТИМА**

**(011) 26 86 244**

**сваког радног дана од 9 до 13 часова**



**Имате могућност да**

**разговарате и посаветујете се са  
стручњацима из области онкологије  
о узрочницима, дијагностици и лечењу рака,  
здравом начину живота и подршци**