



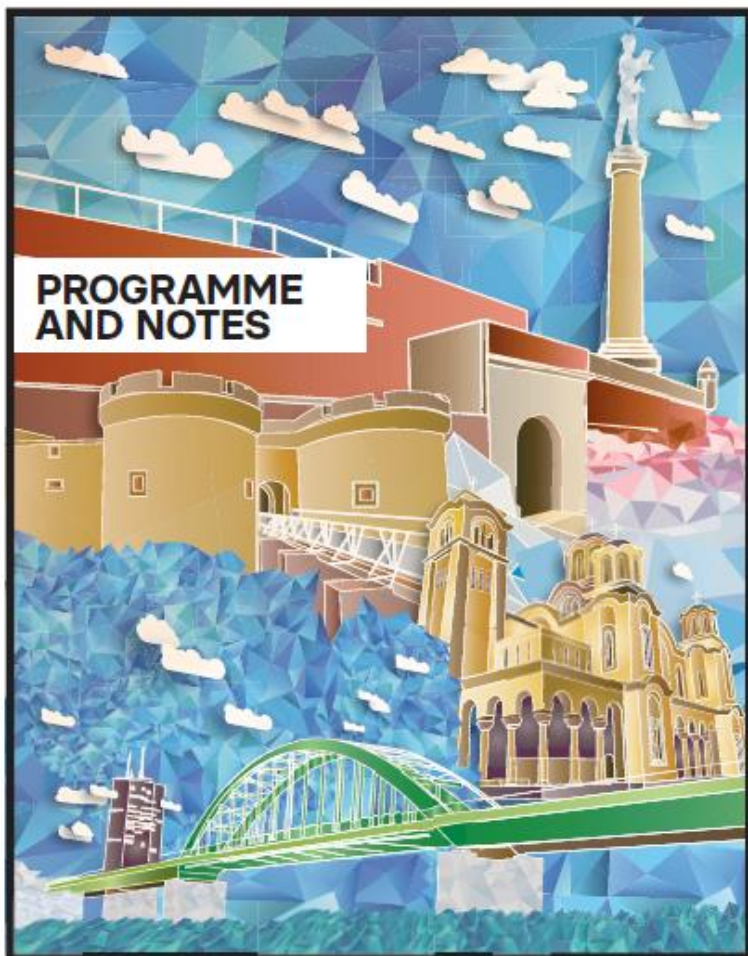
Co-funded by the  
European Union



MINISTARSTVO ZDRAVLJA  
REPUBLIKE SRBIJE



UNIVERSITETSKO  
KLINIČKO CENTAR  
SRBIJE



## Jean Monnet Module:

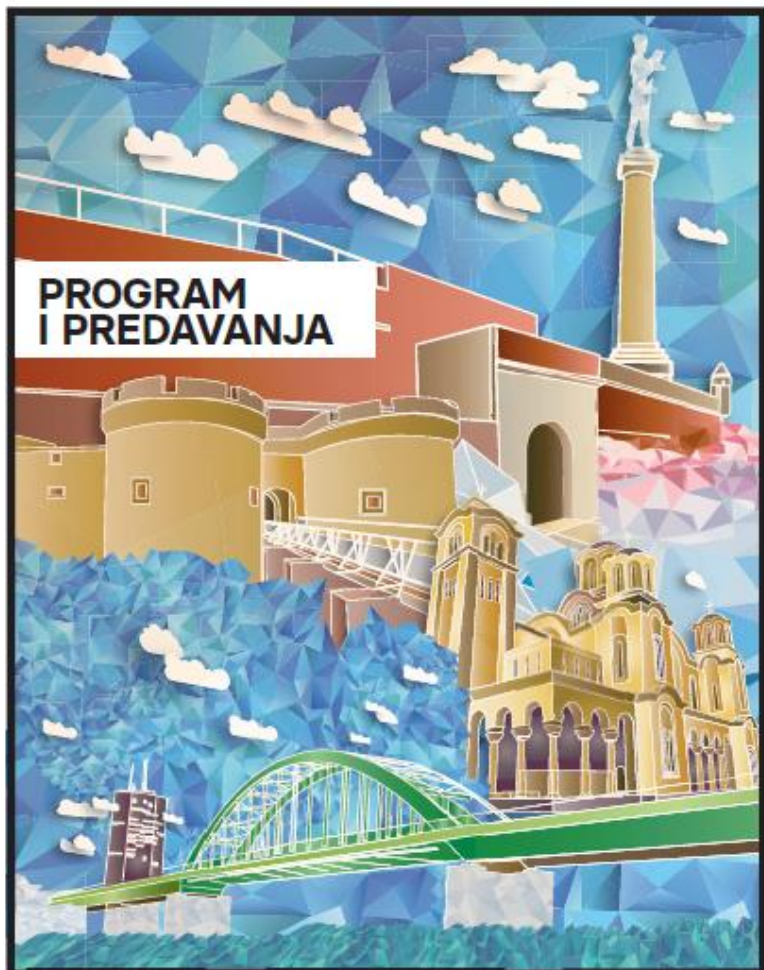
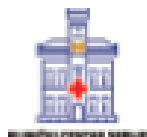
Quality improvement in  
nuclear medicine practice: EANM and IAEA recommendations

Belgrade, University Clinical Centre of Serbia

September 22.2023.



Co-funded by the  
European Union



## Jean Monnet kurs:

Poboljšanje kvaliteta u nuklearnoj medicini  
u skladu sa preporukama EANM i IAEA

Beograd, Univerzitetski klinički centar Srbije

Septembar 22.2023.



Drage koleginice i kolege,

Ovaj kurs je organizovan u okviru Erasmus + Jean Monnet Modula: *Multi-disciplinary Education for Improving Quality of Nuclear Medicine Practice Based on the European Union Regulations and the International Atomic Energy Agency Programs (EDUQUAN), ERASMUS-JMO-2021-HEI-TCH-RSCH.*

Kurs je organizovan za širu grupu profesionalaca u Srbiji koji se bave nuklearnom medicinom kako bi se stekla znanja o EU standardu i IAEA QUANUM programu u praksi nuklearne medicine. Program kursa će obuhvatiti razvoj ljudskih resursa, regulative primene zračenja i bezbednost, važnost zaštite pacijenata od zračenja, evaluaciju i osiguranje sistema kvaliteta, kontrolu kvaliteta opreme za snimanje, prikaz kompjuterskih sistema i rukovanje podacima, kontrolu kvaliteta slike i obrade podataka, prikaz procedure snimanja i radionuklidnu terapiju.

Stečena znanja će se odnositi na standarde EU u kontroli kvaliteta i unapređenju praktičnog rada u nuklearnoj medicine, povećanje svesti o značaju kontinuiranog stručnog obrazovanja i usavršavanja efektivne i kontinuirane prakse evaluacije i kontrole kvaliteta kako bi se osigurala sigurna i efikasna praksa nuklearne medicine.

Razmena iskustava i znanja o standardima EANM i IAEA u nuklearnoj medicine između profesionalaca koji se bave nuklearnom medicinom u Srbiji i stečena znanja na kursu poslužiće daljem širenju primene standarda EU I IAEA u nuklearnoj medicini I zdravstvenom sistemu generalno.

Organizatori sastanka

Vera Artiko i Dragana Šobić Šaranović

ORGANIZATORI KURSA

Vera Artiko  
Dragana Šobić Šaranović

NAUČNI ODBOR

Vera Artiko  
Dragana Šobić Šaranović  
Nebojša Petrović  
Aida Afgan

Kurs: Poboljšanje kvaliteta u nuklearnoj medicini u skladu sa preporukama EANM i IAEA

The Course: Quality improvement in nuclear medicine practice: EANM and IAEA recommendations

**Petak, 22. septembar 2023., UKCS, Beograd**

08:30-17:00 Registracija/registration

Predsedavajući: Vera Artiko

08:30-09:00 Vera Artiko Razvoj ljudskih resursa/ Human resources development

09:00-09:30 Nebojša Petrović Standardi akreditacije nuklearne medicine/Quality assurance and quality control standards in nuclear medicine

09:30-10:00 Miloš Veljković Optimizacija zaštite od zračenja u nuklearnoj medicine/Radiation protection optimization in nuclear medicine

*Coffee break*

10:00-10:30 Dragana Šobić Šaranović Zaštita od zračenja pacijenata-IAEA preporuke/Radiation protection of the patients-IAEA recommendations

10:30-11:00 Aida Afgan Euroatom Directive 59/2013, EANM position paper/pozicija EANM

11:00-11:30 Vera Artiko Principi i praksa u nuklearnoj medicine-IAEA/Principles and practice in nuclear medicine IAEA

11:30-12:00 *Diskusija/Discussion*

12:00-13:00 *Koktel/Light refreshments*

Predsedavajući: Dragana Šobić Šaranović

13:00-13:30	Dragana Šobić Šaranović	Odabrane vizualizacione metode i kompjuteraska obrada 2/Selected imaging methods and computer analysis 2
13:30-14:00	Nebojša Petrović	Akvizicija i obrada podataka u nuklearnoj medicine/Acquisition, Quality Control and Data processing in Nuclear Medicine
14:00-14:30	Aida Afgan	Zaštita od zračenja osoblja-IAEA preporuke/Radiation protection of the staff-IAEA recommendations
14:30-15:00	Vera Artiko	Odabrane vizualizacione metode i kompjuteraska obrada 1/Selected imaging methods and computer analysis 1
15:00-15:30	Jelena Petrović	Terapijska nuklearna medicina/General radionuclide therapy
15:30-16:00	<i>Diskusija/Discussion</i>	
	Predsedavajući: Nebojša Petrović	
16:00-17:00	Poster presentations	
17:00-17:30	<i>Koktel/Light refreshments</i>	
17:30-17:45	Closing	

# Human resources development

Nov program specijalizacije nuklearne medicine



Financed by the European Union. Views and opinions expressed are those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.  
[EUROPEAN ERASMUS+ AND 2022-HED-TCH-RDCH]

KLINIČKA NASTAVA – METODE									
Redni broj	Opis metode	Godina	Broj dana	Broj sati	Broj studenata	Broj nastavnika	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi
01	... ..	1	15	20	700	100			
02	... ..	0	15		100				
03	... ..	0	15		50				
04	... ..	2		30	100				
05	... ..	1			200				
UKUPNO		4	30		1000				

KLINIČKA NASTAVA – METODE									
Redni broj	Opis metode	Godina	Broj dana	Broj sati	Broj studenata	Broj nastavnika	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi
01	... ..	1	15	20	700	100			
02	... ..	0	15		100				
03	... ..	0	15		50				
04	... ..	2		30	100				
05	... ..	1			200				
UKUPNO		4	30		1000				

KLINIČKA NASTAVA – METODE									
Redni broj	Opis metode	Godina	Broj dana	Broj sati	Broj studenata	Broj nastavnika	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi
01	... ..	1	15	20	700	100			
02	... ..	0	15		100				
03	... ..	0	15		50				
04	... ..	2		30	100				
05	... ..	1			200				
UKUPNO		4	30		1000				

KLINIČKA NASTAVA – METODE									
Redni broj	Opis metode	Godina	Broj dana	Broj sati	Broj studenata	Broj nastavnika	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi
06	... ..	1			300	100			
07	... ..	1	15		200				
08	... ..	0	15		50				
09	... ..	1			150				
10	... ..	1			150				
11	... ..	0	15		150				
12	... ..	1			300				
UKUPNO		6	30		1000				

DVOJEKSTRAKCIJSKA NASTAVA									
Redni broj	Opis metode	Godina	Broj dana	Broj sati	Broj studenata	Broj nastavnika	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi	Broj nastavnika po metodi
01	... ..	1							
02	... ..	1							
UKUPNO		2							



Списак вештина	Број посматрања	Број извођења
1 Нуклеарна медицина у онкологији (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР, интраоперативна детекција, ултразвук)	20 им вишро метода	200 (мброчним системима) + 100
2 Нуклеарна медицина у нефрологији/инфекциозној или вишро метод, планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР - ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР - Планарна, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ (обележени леукоцити, интравенузноста антитела, обележени антибиотик, остало)		100
3 Нуклеарна медицина у хматологији (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР) - Испитивање морфологије и функције слезине - Лимфоскенирања - Функционална - Тромбоцитинетика - Одредивање волумена слезине, срца и еритроцита - Одредивање тона еритроцита - Остало		50 (од тога 30 им вишро метода)

4 Нуклеарна медицина у ендокринологији (ултразвук, функција, им вишро, планарна скенирања, биопсија, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР, интраоперативна детекција): - Ултразвук - Функционална испитивања штитасте жлезде (тест функције и остало) - Биопсија тачном етиком - Им вишро анализа - Скенирања штитасте жлезде - Медицински карактеристике штитасте жлезде - Скенирања паращитасте жлезде - Интраоперативна детекција - Скенирања нодул и срца надбубрега - Детекција неуронендринних тумора - Остало	30 биопсија, 20 им вишро анализа	400 (од тога 150 директно и преко болести штитасте жлезде, 50 ултразвучних прегледа, 10 интраоперативних детекција)
5 Нуклеарна медицина у неврологији (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР): - Испитивање перфузије мозга - Испитивање допаминског транспорта - Визуализација ДД рецептора - Испитивање метаболитског мозга - Цистеографија и издвајање ЦСТ течности - остало		200
6 Нуклеарна медицина у мускулоскелетном систему (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР, денситометрија) - Скенирања скелета - Трофански систем - Денситометрија - остало		200 (мброчним системима) + 300

7 Нуклеарна медицина у кардиоваскуларном систему (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР): - Испитивање перфузије миокарда - Испитивање вијабилности миокарда - Испитивање функције срца (уључујући еквилибријумску и ангиографију првог пролаза) - остало		400
8 Нуклеарна медицина у пулмологији (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР)		50 (В/П) + 50
9 Нуклеарна медицина у нефрологији (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР, ултразвук): - Скенирања бубрежног кортекса - Испитивање реналне функције и транзита - Радионуклидна цистернографија - Методе кверенса - Ултразвук - остало		150

10 Нуклеарна медицина у гастроентеролошкој (издасани тестови, планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР, ултразвук): - Испитивање функције плувачних жлезда - Студије транзита (белуца, желудац, рефлуksi) - Испитивање хрвароња у ГИТ - Мескопа диспертилум - Скенирања јетре и хепатобилијарног система - Скенирања слезине - Издасани тестови - Ултразвук - остало		150
11 Нуклеарна медицина у педијатрији (планарна скенирања, СПЕКТ, СПЕКТ/ЦТ, ПЕТ/ЦТ, ПЕТ/НМР)		150
12 Радионуклидна терапија		100

Hvala na pažnji!

STANDARDS FOR QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL /  
ACCREDITATION OF NUCLEAR MEDICINE IN SERBIAN NATIONAL  
AGENCY

СТАНДАРДИ ЗА АКРЕДИТАЦИЈУ У ОБЛАСТИ НУКЛЕАРНЕ  
МЕДИЦИНЕ

Prof. dr. Nebojša Petrović



\*Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.  
EQUQUAN/ERASMUS-IMD-2021-HEI-TCH-RSCH

Пријем		
Стандард	1.0	Основне делатности нуклеарне медицине су јасно дефинисане.
Критеријум	1.1	Дијагностичка и терапијска примена извора јонизујућих зрачења у нуклеарној медицини је регулисана одговарајућим документом издатим од стране Агенције за јонизујуће зрачење и нуклеарну сигурност Србије.

Критеријум	1.2	Постоји документовани опис основних делатности. Делатности укључују: <ul style="list-style-type: none"> <li>- специјалистички преглед</li> <li>- планарне скениграфије</li> <li>- динамска испитивања</li> <li>- функционалну дијагностику са радиофармацима</li> <li>- скандаријске тестове</li> <li>- скениграфије целог тела</li> <li>- денситометрија коштаног система</li> <li>- прототерацију и интрапротерацију детекцију</li> <li>- применом радиофармака</li> <li>- једнофотонску емисиону компјутеризовану томографију (SPECT)</li> <li>- једнофотонску емисиону компјутеризовану томографију са компјутеризованом томографијом (SPECT/CT)</li> <li>- позитронску емисиону томографију са компјутеризованом томографијом (PET/CT) - позитронску емисиону томографију са магнетном резонанцом (PET/MR)</li> <li>- in vitro дијагностику</li> <li>- ултразвучну дијагностику</li> <li>- биопсију тачком игом штитасте жлезде</li> <li>- медијастинотомну терапију болести штитасте жлезде</li> <li>- радионуклидну терапију бенигних обољења</li> <li>- радионуклидну терапију малигних обољења</li> </ul>
------------	-----	--

		1.3	Дијагностичке и терапијске медицинске процедуре се спроводе у складу са стандардима професионалне праксе. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Стандарди професионалне праксе нуклеарне медицине су основа активности организационе јединице, прегледани су и ревидирани по потреби.</li> </ul>
Критеријум	1.4		Основне делатности организационе јединице у складу су са мисијом, визијом и вредностима здравствене установе. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Постоји доказ да организациона јединица постоји у складу са мисијом, визијом и вредностима здравствене установе при планирању и пружању услуга.</li> <li>• Запослени у организационој јединици су упознати са мисијом, визијом и вредностима здравствене</li> </ul>

Критеријум	1.5	установе и поступају у складу са тим. Организациона јединица доноси годишњи план рада. • План је базиран на стратешком и годишњем оперативном плану здравствене установе. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Планом су предвиђене: <ul style="list-style-type: none"> <li>- врста и број услуга,</li> <li>- начин обављања основних делатности организационе јединице и</li> <li>- мерљиви и остварљиви циљеви.</li> </ul> </li> <li>• Спровођење плана редовно се прати.</li> </ul>
------------	-----	--

НМ	Стандард	2.0	Пацијенту се пружају услуге нуклеарне медицине
Критеријум		2.1	Пацијенту је омогућено заказивање услуга.
Критеријум		2.2	Постоје и примењују се писани протоколи и процедуре за пријем пацијената.
Критеријум		2.3	Регистрација пацијената се обавља на пријемном путу.
Критеријум		2.4	Тријажу обавља здравствени радник приликом првог контакта са пацијентом.
Критеријум		2.5	Пацијенти су подвезани према реду хитности и потребама, а они чије стање захтева тренутно лечење имају предност.
Критеријум		2.6	Приликом пријема пацијент потписује писану сагласност за извођење дијагностичке процедуре и/или примене терапије.

		2.7	Обављене су одговарајуће дијагностичке процедуре (лабораторијске, дијагностичке, УЗ и друге) и резултати истих су евидентирани у доклатној медицинској документацији. Уочилу се у разматрање резултати прегледно обављених дијагностичких процедура.
Критеријум		2.8	Зависени у организационој јединици учествују у планирању мултидисциплинарног приступа при пружању услуга пацијенту.
Критеријум		2.9	План дијагностичких процедура и лечење пацијената су засновани на потребама пацијента.
Критеријум		2.10	Пацијенту, односно породици пацијента, пружају се информације о тренутно здравственом стању.
Критеријум		2.11	Зависници редовно разматрају сваку улогу у мултидисциплинарном плану лечења.
Критеријум		2.12	План лечења се редовно разматра.
Критеријум		2.13	У случају плана утерфенх шилева лечења, исте се евалуирају.
Критеријум		2.14	Измене плана лечења се евидентирају у медицинској документацији.
Критеријум		2.15	О смењивању плана лечења разговара се са пацијентом, односно породицом пацијента.
Критеријум		2.16	Зависници учествују у отпугу, трансферу, даљем прелазу и шаширању, доколико је то потребно.
Критеријум		2.17	Пацијент, односно породица пацијента се упознава обавештавају о отпугу или трансферу на друга одељења, као и о свим другим препорукама у вези са потребом пацијента по његовом отпугању или трансферу на друга одељења.



на контраст,  
 - комуникацију специјалисте нуклеарне медицине и ординирајућег лекара у тумачењу резултата прегледа,  
 - војене, архивирање и контролу медицинске документације пацијента сачуван у папирној и/или у електронској форми, - заказивање пацијената,  
 - поштовање етичког кодекса и решавање етичких питања,  
 - услуге организационе јединице,  
 - баждарење, одржавање, превентивно и редовно сервисирање и контрола квалитета опреме,  
 - безбедно руковање опремом,  
 - безбедност пацијента, - извештавање о акцидентима,  
 - контролу инфекције.  
 Критеријум 4.2 Водичи, упутства, протоколи и процедуре су усвојени и редовно се ревидирају и модификују и запослени су упознати са њима.

**Отпуст/трансфер пацијента на друга одељења**

НМ Стандард 5.0 Организациона јединица за нуклеарну медицину располаже одговарајућим простором.  
 Критеријум 5.1 Организациона јединица нуклеарне медицине располаже одговарајућим простором за обављање делатности и пружање услуга.  
 Критеријум 5.2 Постоји дефинисан поступак за периодичну процену стања просторија и усклађеност са потребама организационе јединице нуклеарне медицине.  
 • Процентом се утврђују недостаци и планови за отклањање истих.

**Просторије и опрема**

Стандард 6.0 Опрема испуњава све захтеве за пружање услуга нуклеарне медицине.  
 Критеријум 6.1 Постоји листа опреме која се налази у организационој јединици, са инвентарским бројем.  
 • Постоји опрема која испуњава Предлог стандарда (старост, техничка исправност), неопходна за функционисање организационе јединице.  
 Критеријум 6.2 Постоји листа опреме са распоредом одржавања односно замене.  
 Критеријум 6.3 У организационој јединици се редовно проверава и процењује стање опреме.  
 • Сва опрема која захтева баждарење је евидентирана и распоред баждарења је одређен.

**Квалитет рада и безбедност пацијента**

НМ Стандард 7.0 Информациони систем је у функцији ефикасног пружања нуклеарно-медицинских услуга.  
 Критеријум 7.1 Информациони системи као подршка пружању услуга обухватају:  
 • упутства,  
 • систем за унос и обраду података,  
 • систем исељивања,  
 • систем финансијског исељивања,  
 • систем прегледа пацијената, • систем управљања квалитетом,  
 • систем спољне контроле.

Критеријум 7.2 Рад информационих система редовно се разматра и по потреби мења у складу са захтевима организационе јединице.  
 Критеријум 7.3 Приступ подацима из информационог система имају само овлашћена лица.  
 Критеријум 7.4 Подаци се чувају на одговарајући начин и на безбедном месту.

**Повишују се права пацијента**

Стандард 8.0 У организационој јединици нуклеарне медицине се прати квалитет рада и безбедност пацијента.  
 Критеријум 8.1 Организациона јединица има план за стално унапређење квалитета рада и безбедности пацијента.  
 Планови се:  
 • идентификују области за унапређење квалитета, мере које треба предузети и циљеви које треба остварити,  
 • дефинишу начине провере унапређења квалитета рада,  
 • одређују особе задужене за проверу унапређења квалитета рада и остварених циљева.  
 Критеријум 8.2 Постоји поступак за пратеће реализације плана за унапређење квалитета рада и безбедности пацијента.  
 Критеријум 8.3 Унапређење су локалне квалитета рада и безбедности пацијента и прате се као део активности на унапређење квалитета рада и безбедности пацијента.  
 Критеријум 8.4 Завршени су упитници са активностима на

Критеријум	8.5	унапређењу квалитета рада и безбедности пацијента. Зaposлени учествују у активностима на унапређењу квалитета рада и безбедности пацијента. <ul style="list-style-type: none"> <li>Именована су лица задужена за одређене активности на плану унапређења квалитета.</li> <li>Утврђени су подаци који ће се прикупљати за показатеље, као и које ће се методе користити при прикупљању и анализи тих података.</li> <li>Зaposлени добијају одговарајућу континуирану обуку у погледу показатеља квалитета за процену и мерење унапређења квалитета рада и безбедност пацијента.</li> </ul>
Критеријум	8.6	Задовољство зaposлених се прати и предузимају активности како би се степен задовољства повећао.
Критеријум	8.7	* Постоје јасно дефинисане и применене политика и процедуре за спречавање инфекција повезаних са здравственим интервенцијама и заразним болестима.
Критеријум	8.8	* Постоји и примењује се стратегија за хигијену руку.

## Principles and practice in nuclear medicine – IAEA

### Principi i praksa u nuklearnoj medicini-IAEA

Prof. Dr Vera Artiko



Co-funded by the European Union

\*Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

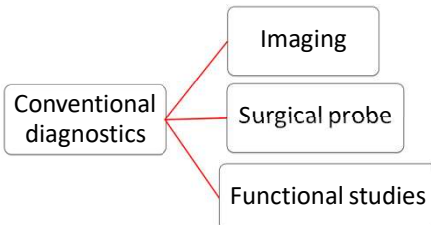
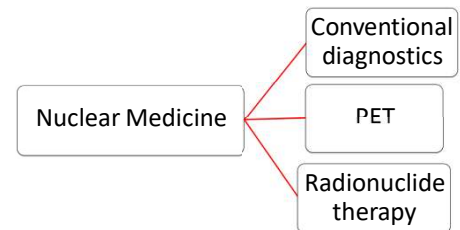
(EUCQUAN) ERASMUS-IMD-2021-HE-TCH-RSCH

## NUCLEAR MEDICINE-DEFINITION

\*NUCLEAR MEDICINE is a medical specialty involving the application of radioactive isotopes in the diagnosis and treatment of different diseases.

•NUCLEAR MEDICINE is predominantly physiological and molecular imaging modality providing functional and molecular information of the organ of interest.

•Images are obtained with detector systems that are sensitive to the gamma radiation emitted from the administered radioactive isotope accumulated in the organ of interest.



### - Element

Proton = atomic No (Z)

Proton + neutron = mass No (A)

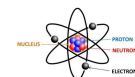


### - Radioisotope/Radionuclide

Different Neutron ex) I-131 (8 Ds)

Same atomic No I-123 (13 hr)

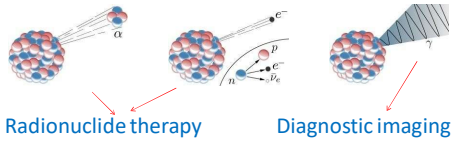
I-125 (60 Ds)



### - Radioisotope/Radionuclide

I-131, Tc-99m

Radioactivity refers to the particles which are emitted from nuclei as a result of nuclear instability. The most common types of radiation are called:



Radionuclide therapy

Diagnostic imaging

Wikipedia

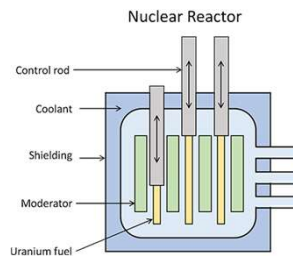
### Radioactive isotopes

Isotope	Half-life	Energy (KeV)
I-131	8.1 d	364 ( $\gamma, \beta$ )
I-123	13 h	159 ( $\gamma$ )
Tc-99m	6 h	140 ( $\gamma$ )
Tl-201	73 h	80,135,167 ( $x, \gamma$ )
Ga-67	78 h	93,184 ( $\gamma$ )
In-111	67 h	173,247,320 ( $\gamma, \beta$ )
P-32	14.3 d	695( $\beta$ )

### Production of isotopes

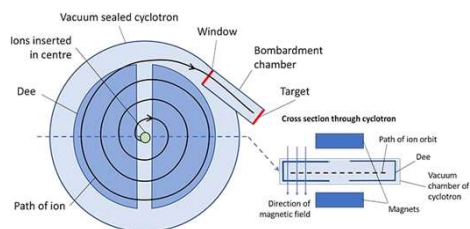
- Nuclear reactor  
 $^{131}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{166}\text{Ho}$ ,  $^{186}\text{Re}$
- Cyclotron  
 $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$
- Generator  
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{188}\text{Re}$

### Nuclear Reactor



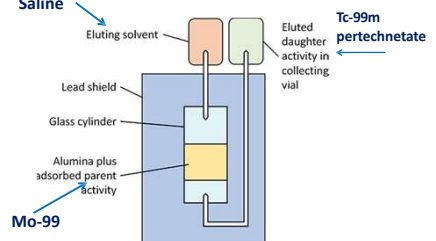
<https://www.radiologycafe.com/radiology-trainees/frcr-physics-notes/production-of-radioisotopes>

### Cyclotron



<https://www.radiologycafe.com/radiology-trainees/frcr-physics-notes/production-of-radioisotopes>

### Generator



<https://www.radiologycafe.com/radiology-trainees/frcr-physics-notes/production-of-radioisotopes>

## Radiopharmaceuticals

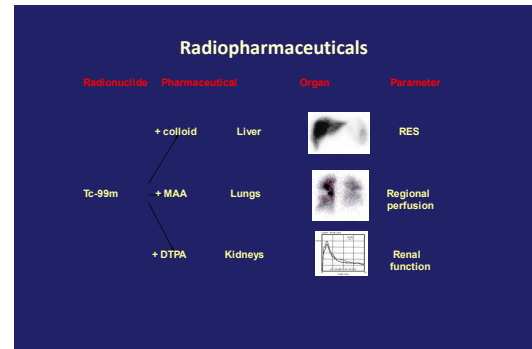
- Radionuclide + Chemical Compound

$^{99m}\text{Tc}$ - MDP (bone scan)

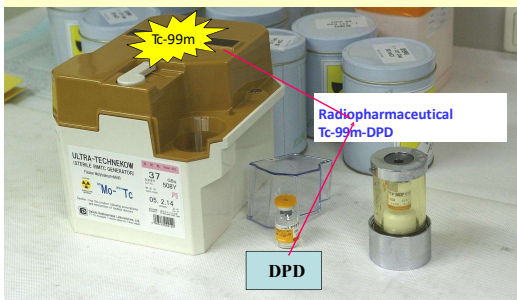
$^{99m}\text{Tc}$ - MAA (lung perfusion scan)



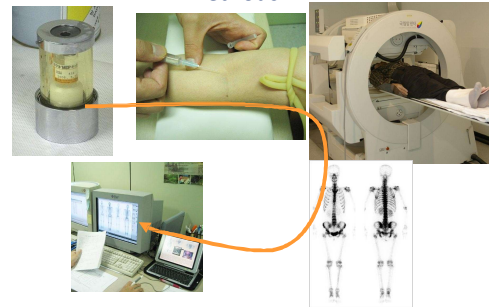
- Organ specific mechanism



### Generator and preparation of radiopharmaceutical



### Methods



### Radiation protection of

- ❖ Patients
- ❖ Workers
- ❖ Environment

### Optimization of radiation protection

- **ALARA principle**

**As low as reasonably achievable**

Radiation doses should be kept as low as reasonably achievable with social and economic factors being taken into account

# Optimization of the radiation protection in paediatric population

## Оптимизација заштите од зрачења у педијатријској нуклеарној медицини

Dr Miloš Veljković



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA is liable for any use of the information provided.

## педијатријској дози - кратка историја

- ▶ ЕАНМ – прва верзија педијатријске картице за дозирање 2008
- ▶ Северноамерички консензус – 2011
- ▶ ЕАНМ и СНММИ – 2012
- ▶ ЕАНМ – август 2016., обележавање последњег ажурирања картице за дозирање

## Paediatric Dosage Card - Publications

- ▶ *Jacobs F, Thierens H, Piepsz A, Bacher K, Van de Wiele C, Ham H, Dierckx RA.* Optimized tracer-dependent dosage cards to obtain weight independent effective doses. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2005 May; 32(5):581-8.
- ▶ *M. Lassmann, S.T.Treves.* Pediatric Radiopharmaceutical Administration: Harmonization of the 2007 EANM Paediatric Dosage Card (Version 1.5,2008) and the 2010 North America Consensus guideline. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2014. DOI: 10.1007/s00259-014-2731-9.
- ▶ *Lassmann M, Biassoni L, Monsieus M, Franzius C;* EANM Dosimetry and Paediatrics Committees. The new EANM paediatric dosage card: additional notes with respect to F-18. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2008 Sep;35(9):1666-8. DOI: 10.1007/s00259-008-0799-9. Epub 2008 Jun 24. Erratum in: *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2008 Nov;35(11):2141

## Формула за израчунавање оптималне администриране активности

- ▶ АЛАРА
- ▶  $*A[\text{МБк}] \text{ Администрирано} = \text{Основна активност} \times \text{Вишеструко}$

\*Доступно на мрежи са: <https://www.eanm.org/initiatives/dosage-card/>

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity (for calculation purposes only) MBq	Minimum Recommended Activity MBq
<sup>125</sup> I (Thyroid)	C	0.6	3
<sup>125</sup> I Amphetamine (Brain)	B	12.0	18
<sup>125</sup> I Hippuran (Abnormal renal function)	B	5.3	10
<sup>125</sup> I Hippuran (Normal renal function)	A	12.8	10
<sup>125</sup> I mIBG	B	20.0	37
<sup>125</sup> I mIBG	B	5.6	35
<sup>18</sup> F FDG-PET torso	B	25.9	26
<sup>18</sup> F FDG-PET brain	B	14.0	14
<sup>18</sup> F Sodium fluoride	B	10.5	14
<sup>45</sup> Ca Citrate	B	5.6	10
<sup>67</sup> Ga-labelled peptides	B	12.8	14
<sup>99m</sup> Tc ALBUMIN (Cardiac)	B	56.0	80
<sup>99m</sup> Tc COLLOID (Gastric Reflux)	B	2.8	10
<sup>99m</sup> Tc COLLOID (Liver/Spleen)	B	5.6	15
<sup>99m</sup> Tc COLLOID (Marrow)	B	21.0	20
<sup>99m</sup> Tc DMSA	B	6.8	18.5
<sup>99m</sup> Tc DTPA (Abnormal renal function)	B	14.0	20
<sup>99m</sup> Tc DTPA (Normal renal function)	A	34.0	20

\*Доступно на мрежи са: <https://www.eanm.org/initiatives/dosage-card/>

## Dosage Card (Version 5.7.2016)

### Multiple of Baseline Activity

Weight kg	Class A	Class B	Class C	Weight kg	Class A	Class B	Class C
3	1.1	1	1	32	3.77	7.29	14.00
4	1.12	1.14	1.33	34	3.88	7.72	15.00
6	1.47	1.71	2.00	36	4.00	8.00	16.00
8	1.71	2.14	3.00	38	4.18	8.43	17.00
10	1.94	2.71	3.67	40	4.29	8.86	18.00
12	2.18	3.14	4.67	42	4.41	9.14	19.00
14	2.35	3.57	5.67	44	4.53	9.57	20.00
16	2.53	4.00	6.33	46	4.65	10.00	21.00
18	2.71	4.43	7.33	48	4.77	10.29	22.00
20	2.88	4.86	8.33	50	4.88	10.71	23.00
22	3.06	5.29	9.33	52-54	5.00	11.29	24.67
24	3.18	5.71	10.00	56-58	5.24	12.00	26.67
26	3.35	6.14	11.00	60-62	5.47	12.71	28.67
28	3.47	6.43	12.00	64-66	5.65	13.43	31.00
30	3.65	6.86	13.00	68	5.77	14.00	32.33

\*Доступно на мрежи са: <https://www.eanm.org/initiatives/dosage-card/>



### Multiple of Baseline Activity

Weight	Class	Class	Class	Weight
kg	A	B	C	kg
20	2.88	4.86	8.33	32

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity (for calculation purposes only) MBq	Minimum Recommended Activity MBq
<sup>111</sup> In mIBG	B	28.0	37

Администрирана A[MBq] = Основна активност X Вишеструко

A[MBq] администрирани = 28 [MBq] x 4,86 = 136,1 MBq

- ### Уобичајено снимање педијатријских пацијената у нашем центру
1. ПЕТ/ЦТ (18Ф-ФДГ)
  2. Мекелова скитниграфија (99mTc-пертехнетат)
  3. Скитниграфија штитне жлезде (99mTc-пертехнетат)
  4. МИБГ скитниграфија целог тела (123I - мета-јодобензилгванидин)
  5. Динамска скитниграфија бубрега (99mTc-МАГ3)
  6. Статичка скитниграфија бубрега (99mTc-ДМСА)

### Педијатријски снимак целог тела и мозга ФДГ ПЕТ/ЦТ



### Педијатријски снимак целог тела 18Ф-ФДГ ПЕТ/ЦТ

From J Nucl Med Med Imaging

Table 1. Recommended activity based upon the revised EANM Dosage Card for 2D and 3D whole-body 18F-FDG PET [13]

Weight (kg)	Activity (MBq) 2D	Activity (MBq) 3D	Weight (kg)	Activity (MBq) 2D	Activity (MBq) 3D
3	36	14	31	100	102
4	30	16	34	200	108
6	44	24	36	207	112
8	55	30	38	218	118
10	70	38	40	229	124
12	81	44	42	237	128
14	92	50	44	248	134
16	104	56	46	259	140
18	115	62	48	267	144
20	126	68	50	277	150
22	137	74	52-54	292	158
24	148	80	56-58	311	168
26	159	86	60-62	328	178
28	167	90	64-66	348	188
30	178	96	68	363	196

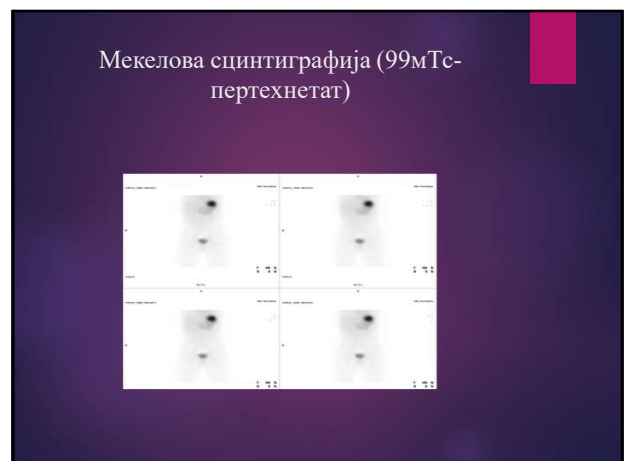
Страсс А, Францис И, Пфизгер Т, Јуренс КВ, Виссоти Л, Виссоти Ј, ет ал. Сопорије са 18Ф-ФДГ ПЕТ и ПЕТ/ЦТ имажингу педијатријској онкологији. Европски часопис за нуклеарну медицину и молекуларну слику. 2008;35(8):1581-8.

### Педијатријски снимак мозга 18ФДГ

Multiple of Baseline Activity			
Weight	Class	Class	Class
kg	A	B	C
14	2.35	3.57	5.67

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity (for calculation purposes only) MBq	Minimum Recommended Activity MBq
<sup>18</sup> F FDG-PET brain	B	14.0	14



## Мекелова скитиграфија (99mTc-пертехнетат)

**Multiple of Baseline Activity**

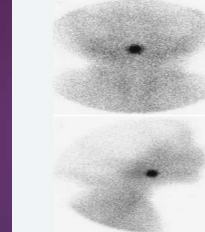
Weight	Class	Class	Class
kg	A	B	C
30	3.65	6.86	13.00

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity	Minimum
		(for calculation purposes only)	Recommended
		MBq	MBq
<sup>99m</sup> Tc Pertechnetate (Ectopic Gastric Mucosa)	B	10.5	20

\* Доступно на мрежи са: <http://www.eaim.org/injnitativac/dosage-card/>

## Сцитиграфија штитне жлезде (99mTc-пертехнетат)



## Сцитиграфија штитасте жлезде (99mTc-пертехнетат)

**Multiple of Baseline Activity**

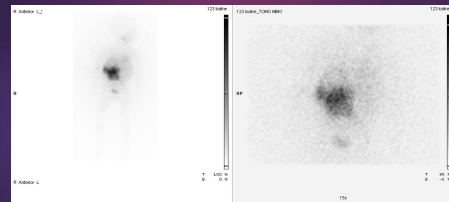
Weight	Class	Class	Class
kg	A	B	C
3	1	1	1
4	1.12	1.14	1.33

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity	Minimum
		(for calculation purposes only)	Recommended
		MBq	MBq
<sup>99m</sup> Tc Pertechnetate (Thyroid)	B	5.6	10

\* Доступно на мрежи са: <http://www.eaim.org/injnitativac/dosage-card/>

## МИБГ скитиграфија целог тела (I-123 мета-јодобензилгванидин)



## МИБГ скитиграфија целог тела

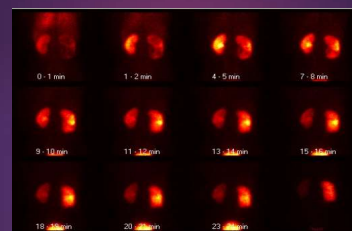
**Multiple of Baseline Activity**

Weight	Class	Class	Class	Weight
kg	A	B	C	kg
20	2.88	4.86	8.33	32

Radiopharmaceutical	Class	Baseline Activity	Minimum
		(for calculation purposes only)	Recommended
		MBq	MBq
<sup>111</sup> In MIBG	B	28.0	37

## Динамска скитиграфија бубрега (99mTc-МАГ3)

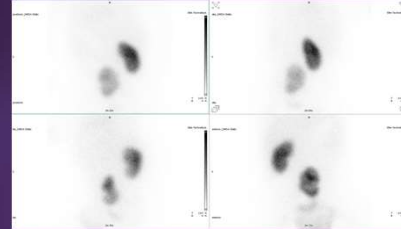


## Динамска скинтиграфија бубрега ( $^{99m}\text{Tc}$ -МАГЗ)

Multiple of Baseline Activity				
Weight	Class	Class	Class	
kg	A	B	C	
32	3.77	7.29	14.00	
Radiopharmaceutical		Class	Baseline Activity (for calculation purposes only)	Minimum Recommended Activity*
$^{99m}\text{Tc}$ MAG3		A	11.9 MBq	15 MBq

\* Дос

## Статичка скинтиграфија бубрега ( $^{99m}\text{Tc}$ -ДМСА)



## Статичка скинтиграфија бубрега ( $^{99m}\text{Tc}$ -ДМСА)

\* ЕАНМ Наш центар

Multiple of Baseline Activity				
Weight	Class	Class	Class	
kg	A	B	C	
40	4.29	8.86	18.00	
Radiopharmaceutical		Class	Baseline Activity (for calculation purposes only)	Minimum Recommended Activity*
$^{99m}\text{Tc}$ DMSA		B	6.8 MBq	18.5 MBq

\* Доступно на мрежи са: <https://www.eanm.org/initiatives/dosage-card/>

## Носите белешке

- ▶ АЛАРА - Најниже што је разумно могуће
- ▶ Високе активности – повећава се штета за пацијента
- ▶ Ниске активности – потенцијално нижи дијагностички принос
- ▶ 2016 ЕАНМ картица за педијатријску дозу – прецизан прорачун за сваки радиофармацеутик
- ▶ ПедДосе Апп

ХВАЛА

## EUROATOM Directive 2013/59

**EANM position paper on article 56 of the Council Directive 2013/59/Euratom (basic safety standards) for nuclear medicine therapy**

Mark Konijnenberg et al.

<https://doi.org/10.1007/s00259-020-05038-9>

/ Published online: 15 October 2020

European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (2021) 48:67–72

Dr Aida Afgan



\*Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

## EUROATOM Directive 2013/59

Европски часопис за нуклеарну медицину и молекуларну слику (2021) 48:67–72 <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05038-9>  
КРАТКА КОМУНИКАЦИЈА  
ЕАНМ став о члану 56 Директиве Савета  
2013/59/Еуратом (основни безбедносни стандарди) за терапију нуклеарном медицином  
Марк Конијенерг и сар.

Dr Aida Afgan

Директива ЕЦ 2013/59/Еуратом наводи у члану 56 да ће дозе радионуклидне терапије у установама нуклеарне медицине бити појединачно и персонализовано планиране и њихова апликација на одговарајући начин верификована.

Директива такође помиње да стручњаци из области медицинске физике увек треба да буду на одговарајући начин укључени у апликацију терапијске дозе. Иако је очигледно да у пракси нуклеарне медицине, сваки лекар и физичар нуклеарне медицине треба да поштује национална правила и законе, ЕАНМ је сматрао да је неопходно да пружи смернице о томе како тумачити изјаве Директиве за радионуклидну терапију.

У ту сврху, ЕАНМ предлаже да се разликују три нивоа у складу са принципом оптимизације у директиви, инспирисан индикацијом нивоа у прописивању, евидентирању и извештавању апсорбованих доза након радиотерапије коју је дефинисала Међународна комисија за јединице и мере зрачења (ИЦРУ).

Већина радионуклидних терапија који се тренутно изводе применом активности унутар 10% предвиђене активности и примењују у Европи су стандардизовани.

Минимални услов је обично према упутству за паковање или одговарајућим захтевом за терапије је ИЦРУ ниво 1 („рецепт на основу ЕАНМ смерница, након чега следи провера примене активности и дозиметрија усредсређена на пацијенте“), који је дефинисана терапијом, ако је примењиво.

ИЦРУ ниво 2 („рецепт заснован на активности и дозиметрија специфична за пацијента“), што подразумева евидентирање и извештавање о апсорбованој дози у ризичне органе и опционо о апсорбованој дози у циљном ткиву.

ЕАНМ снажно подстиче да се подстиче истраживање које на крају доводи до планирања лечења у складу са ИЦРУ нивоом 3 („рецепт и верификација за пацијента вођен дозиметријом“), кад год је то могуће и релевантно.

Докази за супериорност прописивања терапије на основу дозиметрије специфичне за пацијента нису добијени. Међутим, аутори сматрају да су боље разумевање терапијске дозиметрије, односно колико и где се енергија испоручује, и радиобиологије, односно процеса повезаних са зрачењем у ткивима, кључ за дугорочно унапређење наших терапија.

Три нивоа су дефинисана у оптимизацији и прописивању радионуклидне терапије: (1) рецепт на основу активности и дозиметрија са просечном кохортом, (2) рецепт заснован на активности и дозиметрија специфична за пацијента и (3) рецепт заснован на апсорбованој дози специфичан за пацијента. У већини актуелних клиничких терапија, у суштини морамо да гарантујемо да се примењује одговарајућа активност.

Аутори верују да ће шема изнета у овом позиционом документу омогућити центрима да наставе напредак у области радионуклидне терапије обезбедити да се нове радионуклидне терапије уводе клинички и исплативо, стимулисати истраживања за добијање даљих доказа и помоћи ће да оптимизује и стандардизује специфична радионуклидна пракса за пацијенте у нуклеарној медицини у Европи.

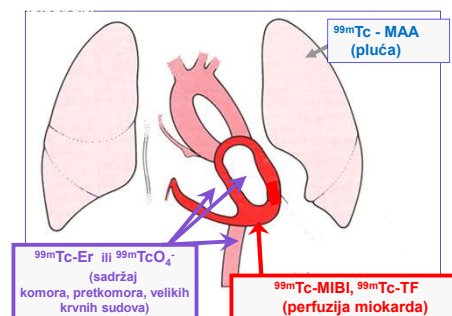
## Assessment of selected imaging procedures in nuclear medicine 2

### Prikaz odabranih imidžing metoda u nuklearnoj medicini 2

Prof. Dr Dragana Šobić Šaranović



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA), neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.  
[B] [C] [D] [E] [F] [G] [H] [I] [J] [K] [L] [M] [N] [O] [P] [Q] [R] [S] [T] [U] [V] [W] [X] [Y] [Z]



### Nuklearna kardiologija: metode sa gama emiterima

- Angiokardiografija (metoda prvog prolaza)
- Ekvilibrijumska radionuklidna ventrikulografija
- Perfuziona tomografska scintigrafija miokarda-SPECT perfuzija miokarda
- Ispitivanje simpatičke inervacije srca
- Scintigrafija sa difosfonatnim jedinjenjima

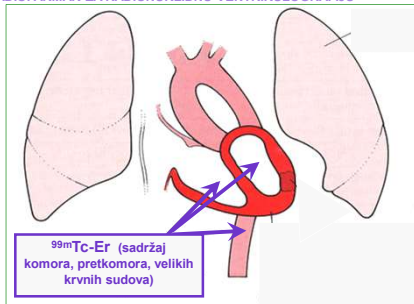
### Nuklearna kardiologija: metode sa pozitronskim emiterima (PET)

- perfuziona PET miokarda
- PET za procenu metabolizma glukoze u miokardu
- PET/CT celog tela za procenu metabolizma glukoze

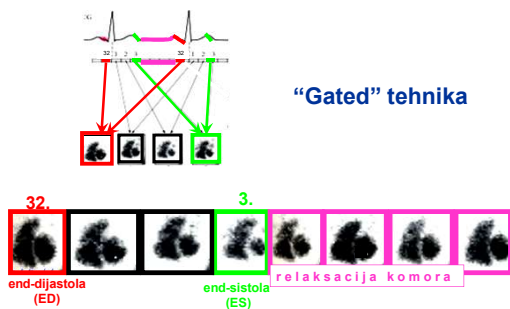
### Ekvilibrijumska radionuklidna ventrikulografija

- ❖ Omogućuje procenu funkcije leve komore (obeležavanjem eritrocita  $^{99m}\text{Tc}$  pertehnetatom) i prikazivanje srčanih šupljina u različito vreme tokom srčanog ciklusa.

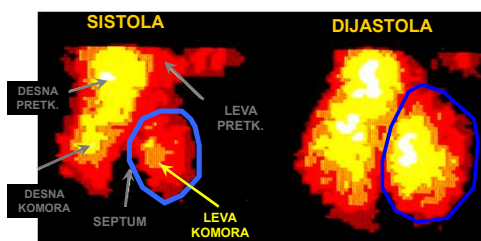
#### RADIOFARMAK ZA RADIONUKLIDNU VENTRIKULOGRAFIJU



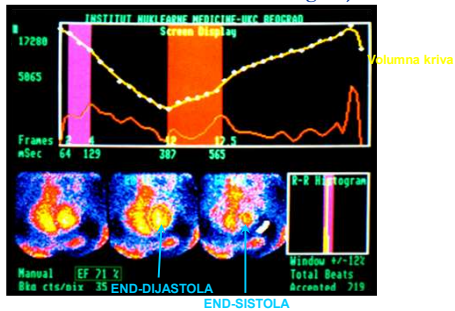
### “Gated” tehnika



### OCRTAVANJE “ROI” NAD LEVOM KOMOROM

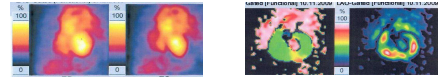


### Rezultat radionuklidne ventrikulografije

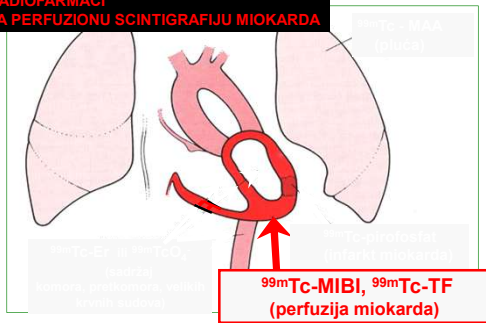


### Indikacije za ekvilibrijumsku radionuklidnu ventrikulografiju

- ❖ Rano otkrivanje kardiotsičnosti hemioterapije
- ❖ Praćenje bolesnika

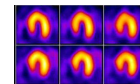


### RADIOFARMACI ZA PERFUZIONU SCINTIGRAFIJU MIOKARDA



### Tomografska perfuziona scintigrafija miokarda- SPECT perfuzija miokarda

- $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI
- $^{99m}\text{Tc}$ -Tetrofosmin



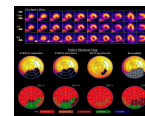
### INDIKACIJE

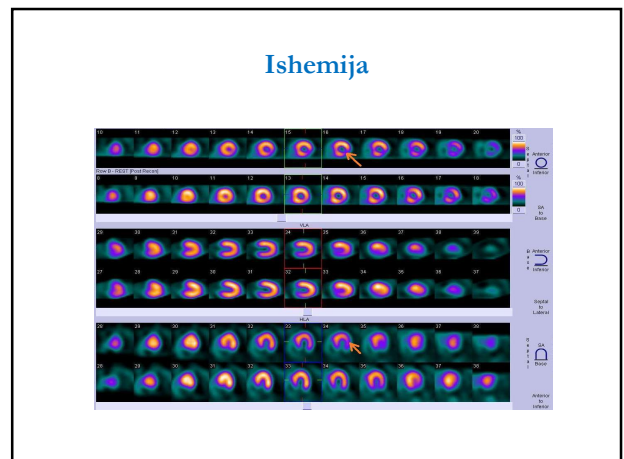
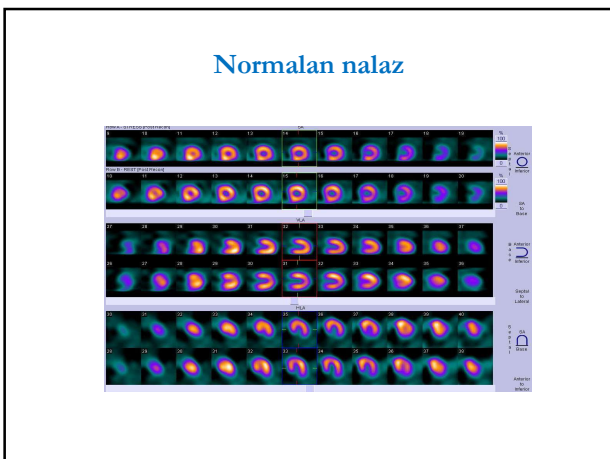
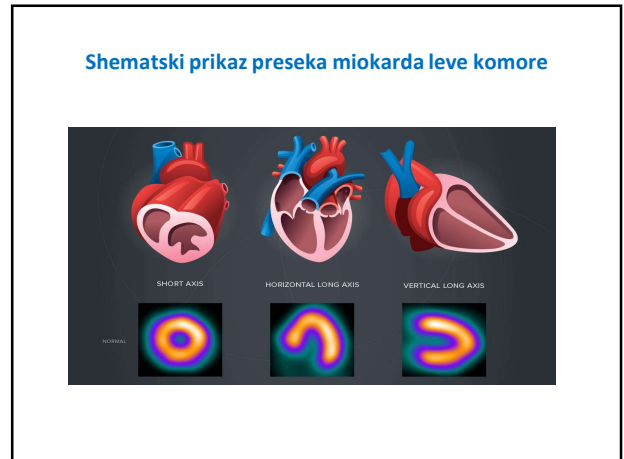
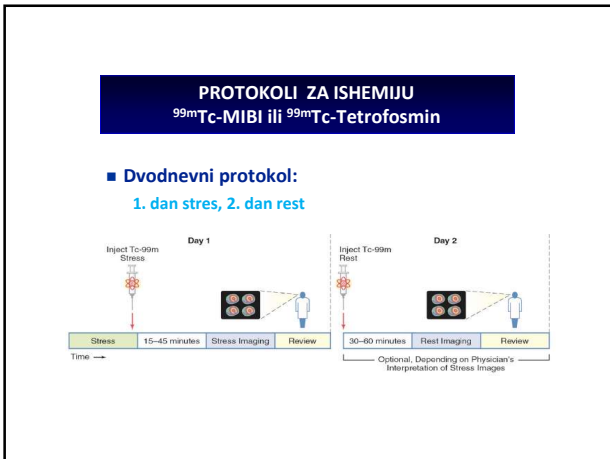
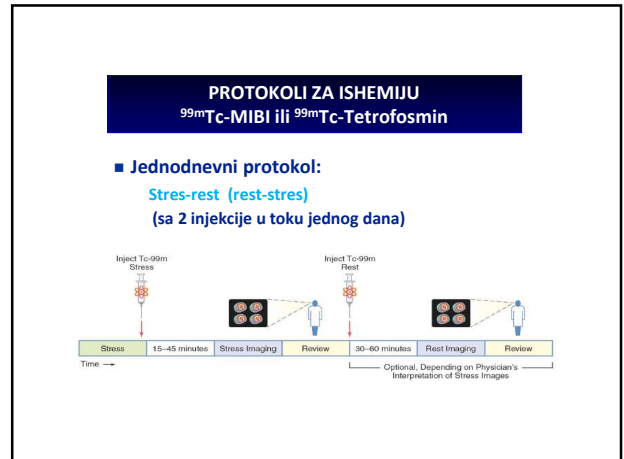
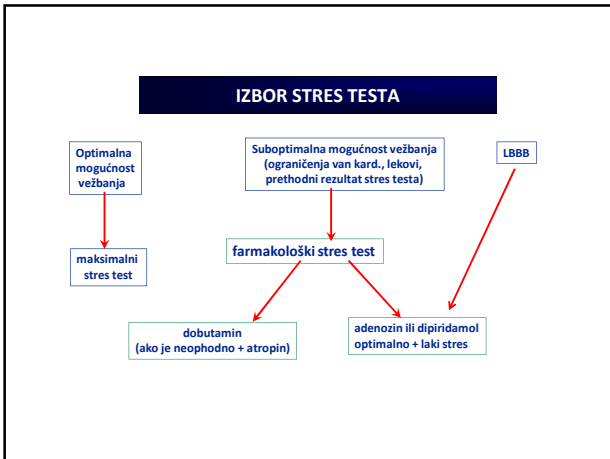
- ❖ Otkrivanje, dokumentovanje i kvantifikacija ishemije srčanog mišića
- ❖ Procena vijabilnosti miokarda

### PROTOKOLI

$^{99m}\text{Tc}$ -MIBI ili  $^{99m}\text{Tc}$ -Tetrofosmin

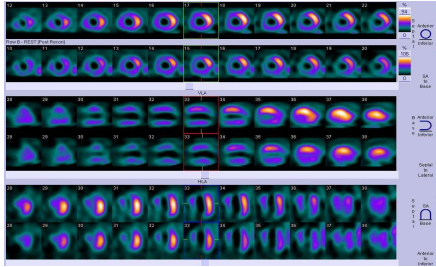
- ZA DIJAGNOSTIKU ISHEMIJE
- ZA DIJAGNOSTIKU VIJABILNOSTI



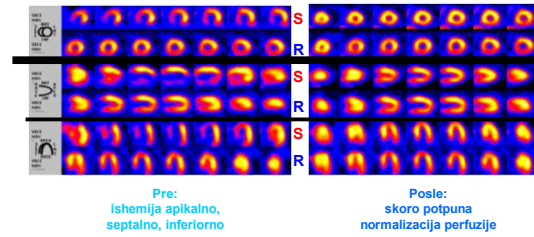




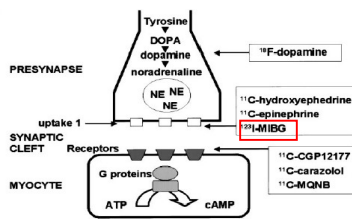
## Ožiljak posle MI



## Pre i posle by-pass-a



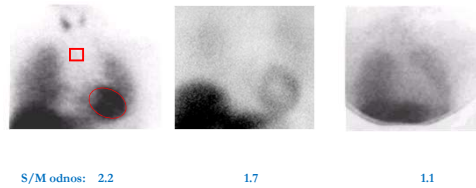
## Radiofarmaci za prikazivanje simpatičkog nervnog sistema



U srčanim bolestima može da dodje do smanjenja broja presinaptičkih neurona i funkcije NETA, sa smanjenim vezivanjem mIBG.

*Carrio I. J Nucl Med 2001;42:1062-76.*

## [123I]mIBG scintigrafija za procenu simpatičke inervacije srca

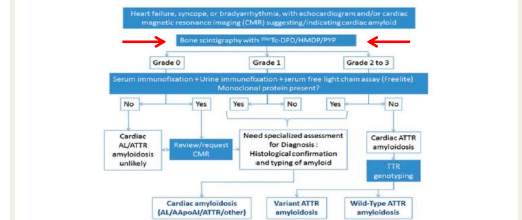


## Scintigrafija sa difosfonatnim jedinjenjima

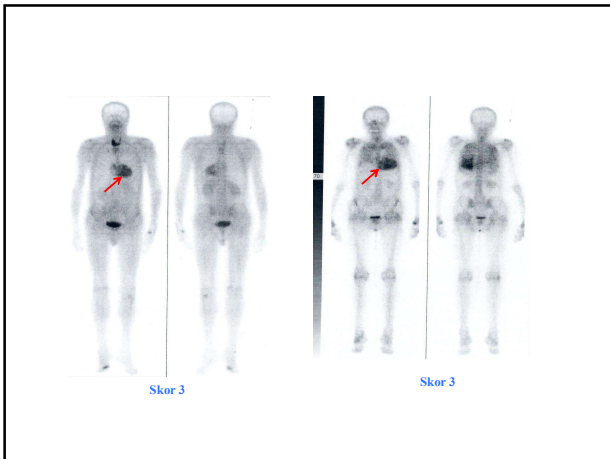
- Amiloidoza srca je oboljenje miokarda koje nastaje usled ekstracelularnog nakupljanja jedne vrste proteina, amiloida. Infiltracija dovodi o zadebljanja miokarda najčešće obe komore i restriktivne kardiomiopatije.
- Dijagnoza amiloidoze srca



## Diagnostic algorithm for patients with suspected amyloid cardiomyopathy.



**Figure 9** Diagnostic algorithm for patients with suspected amyloid cardiomyopathy (from reference 62 with permission). AL/ApoA1, apolipoprotein A1; DPD, 3,3-diphosphono-L,2-propanoic acid; MDP, hydroxymethylphosphonate; PYP, pyrophosphate.

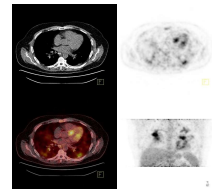


### Nuklearna kardiologija: metode sa pozitronskim emiterima (PET)

- perfuzioni PET miokarda
- PET za procenu metabolizma glukoze u miokardu
- PET/CT celog tela za procenu metabolizma glukoze



### FDG PET/CT u sarkoidozi srca

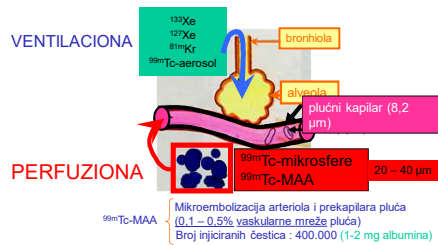


### Nuklearna medicina u pulmologiji

### Nuklearna pulmologija

- Perfuziona scintigrafija pluća
- Ventilaciona scintigrafija pluća
- SPECT pluća
- SPECT/CT pluća
- PET/CT pluća

## SCINTIGRAFIJA PLUĆA



## Perfuziona scintigrafija pluća

### Princip dobijanja slike

- Arteriole su samo privremeno okludovane, jer se makroagregati razlažu na manje čestice koje fagocituju ćelije retikuloendotelnog sistema;
- Vreme eliminacije MAA iz pluća je 2-3 h.

## Ventilaciona scintigrafija - aerosol

### <sup>99m</sup>Tc-DTPA

Male čestice, 0,25 – 2,0 µm (0,7 – 0,8 µm), stvaraju se u “nebulizeru”.

- Problemi sa nagomilavanjem u centralnim disajnim putevima
- Snimanje pre perfuzije
- u istim položajima kao i perfuzija

## INDIKACIJE ZA VENTILACIONO/PERFUZIONU (V/P) SCINTIGRAFIJU PLUĆA

- **Plućna embolija**  
(inicijalna Dg, praćenje, Dg recidiva)
- **Karcinom pluća** - priprema za operaciju
- **HOBP**-priprema za operaciju

## Plućna embolija

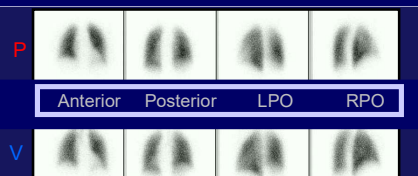
“V/P Mismatch”(nepodudarnost)



VENTILACIJA      PERFUZIJA

Ventilacija je bolja od perfuzije.

## Normalan V/P scintigram



V/P scintigrafija pluća  
Segmentalni perfuzijski defekt u DPK (donji režanj)

VENTILACIONA    PERFUZIONA

RPO  
Plućna embolija (1 segment)

Perfuziona scintigrafija pluća

PA  
Odsustvo perfuzije u DPK  
Masivna embolija u DPK.

<sup>18</sup>F-FDG PET/CT indikacije u pulmologiji:

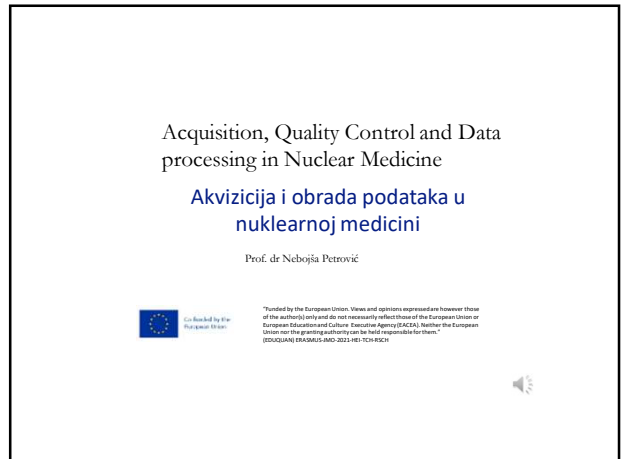
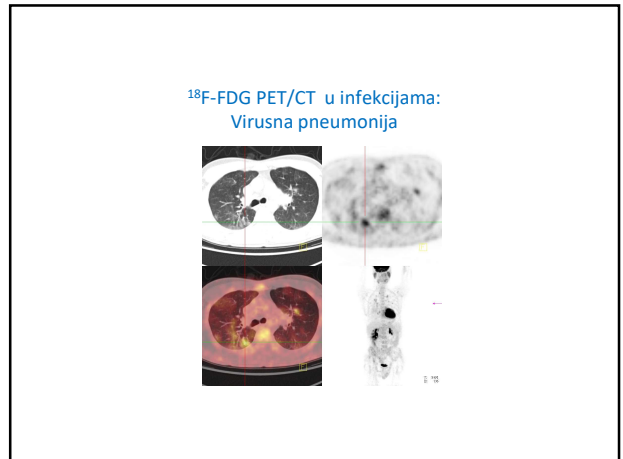
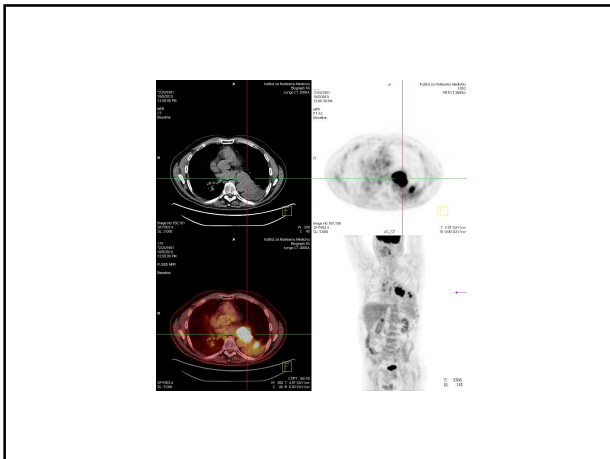
- Maligni tumori pluća
- Inflamacije u plućima (Sarkoidoza)
- Infekcije u plućima

<sup>18</sup>F-FDG PET/CT u karcinomu pluća:

- Dijagnoza solitarnog pulmonalnog nodusa
- "Staging" NSCLC/SCLC
  - ✓ Staging T
  - ✓ Staging N
  - ✓ Staging M
- Procena odgovora na terapiju
- "Restaging"
- Određivanje mesta za biopsiju
- Planiranje radioterapije

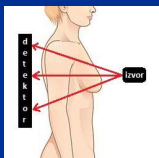
Evaluacija solitarnog plućnog nodusa

Evaluacija solitarnog plućnog nodusa



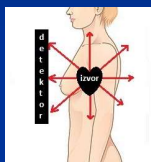
## Geometrija snimanja

### Radiologija (CT)



Izvor zračenja je izvan tela pacijenta (Ri-cev)  
Slika se formira transmisijom zračenja kroz telo  
(transmisiona tomografija); telo je pasivni objekat  
Slika odražava gradnju tela, anatomiju

### Nuklearna



Izvor zračenja je u telu pacijenta (emisiona tomografija)  
Tkiva, organi, patološke promene imaju aktivnu ulogu u nastanku slike (nakupljaju RI)  
Slika odražava funkciju tkiva i organa

## Radionuklidna terapija

- Ciljano ozračivanje bolesnih tkiva sistemskom (i.v.) primenom radiofarmaka
- Znatno veća ubrizgana doza radioaktivnosti se koncentriše u bolesnom tkivu
- Zračenje je kratkog dometa, ali velike radiotoksičnosti

## Vrste jonizujućeg zračenja u NM

iz jezgra (nuklearna)	sekundarna	detektovana
gama fotoni	/	gama
beta <sup>+</sup> čestice (pozitroni)	gama	gama
beta <sup>-</sup> čestice (elektroni)	zakočno X	zakočno X
alfa čestice <sup>(+)</sup>	/	/

## (Radio)nuklid

Atomska vrsta definisana specifičnim stanjem jezgra:

- broj protona
  - broj neutrona
  - energetska stanje
- } **stabilnost**

**NUKLID ≠ IZOTOP**

Atomi jednog istog izotopa mogu imati različita jezgra, postojati kao različiti nuklidi

## TEHNECIJUM

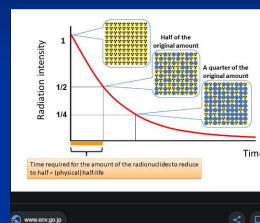
**radioizotop:** tehnecijum-99 ( $Z=43; A=99$ )

**radionuklidi (izomeri):**

$^{99m}\text{Tc}$  ( $Z=43; A=99; T_{1/2} = 6 \text{ h}$ )

$^{99}\text{Tc}$  ( $Z=43; A=99; T_{1/2} = 2,1 \times 10^5 \text{ god.}$ )

## Kriva radioaktivnog raspada



## Bitne osobine radioizotopa/radionuklida

- Hemijske osobine
  - hemijska reaktivnost
  - mogućnost instant obeležavanja određene supstance (komercijalni kompleti (kit), radiohemijski moduli)
- Radijacione osobine
  - Vrsta zračenja
  - Vreme poluraspada
  - Energija zračenja
  - Radijacione osobine potomka
    - Dostupnost
      - Način proizvodnje
      - (Vreme poluraspada)
      - Cena

## Način dobijanja radionuklida

- bombardovanje jezgara neutronima u **nuklearnom reaktoru** ( $^{131}\text{I}$ )
- bombardovanje jezgara naelektrisanim česticama u **akceleratoru** ( $^{18}\text{F}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$ )
- raspadom radionuklida roditelja u **generatoru** ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{68}\text{Ga}$ )

## Jedinice radioaktivnosti – doze radiofarmaka

- **bekerele (Bq)** = 1 raspad u sekundi ( $\text{s}^{-1}$ )
- **kiri (Ci)** – radioaktivnost 1gr radiuma

$$1\text{mCi} = 37\text{MBq}$$

Dijagnostičke doze ~ 100-800 MBq (3-20 mCi)  
Terapijske doze ~ 200-8000 MBq (5-200 mCi)

## Osobine radionuklida poželjne za NM imidžing

- Čisti gama emiter
- Kratko vreme poluraspada
- Niska energija zračenja
- Mogućnost dobijanja iz generatora na mestu upotrebe
- Jezgro potomak neradioaktivno

## Neinvazivnost, bezbednost

### U dijagnostičkoj NM:

- veoma male količine aktivne supstance RF (mikrogrami)
- nema uticaja na biološki proces koji se ispituje
- nema farmakoloških dejstava
- alergijske reakcije su izuzetno retke (obeležena strana antitela)
- trudnoća i dojenje su relativne kontraindikacije za primenu radionuklida

## Neinvazivnost, bezbednost

### U terapijskoj primeni:

- moguća su neposredni neželjeni efekti, zbog oštećenja zdravih organa i tkiva (hematopoeze), obično bez trajnih posledica
- blage farmakološke i alergijske manifestacije
- odložena dejstva: onkogeneza, genske mutacije

Opšti princip zaštite od zračenja: **ALARA**

## Radiofarmak, sastav i osobine

- “hadni” molekul nosač + radionuklid (+ helator)
- specifičnost mehanizma preuzimanja
- veoma velika raznovrsnost RF
- **molekularni imidžing**
  - organski i neorganski molekuli
  - receptorski agonisti i antagonisti
  - neurotransmiteri
  - antitela, peptidi, nukleotidi, enzimi...
  - obeležene ćelije...

## Radiofarmak, osobine

- stabilnost *in vitro* i *in vivo*
- sterilnost
- apirogenost
- radiohemijska čistoća
- radionuklidna čistoća

■ HVALA!!!

## Assessment of selected imaging procedures in nuclear medicine 1

### Prikaz odabranih imidžing metoda u nuklearnoj medicini 1

Prof. Dr Vera Artiko



Co-funded by the Erasmus+ Union

\*Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authorities can be held responsible for them.

## METODE NUKLEARNE MEDICINE U ENDOKRINOLOGJI

Metode ispitivanja morfologije (i funkcije):

- štitastih žlezda
- paraštitastih žlezda
- kore nadbubrega
- srži nadbubrega
- neuroendokrinih tumora (NET).

## Primena metoda nuklearne endokrinologije

- *in vivo* primena radionuklida (scintigrafija, PET, intraoperativna detekcija, radionuklidna terapija)
- *in vitro* (određivanje hormona)



*In vivo* primena radionuklida odnosi se na:

- funkcionalna ispitivanja (testove fiksacije)
- scintigrafiju
- intraoperativnu detekciju
- pozitronsku emisiju tomografiju
- radionuklidnu terapiju.

*Pojedini segmenti primene nuklearne medicine u endokrinologiji biće objavljeni na predavanjima posvećenim primeni nuklearne medicine u onkologiji, pozitronskoj emisijonj tomografiji i radionuklidnoj terapiji.*

## Scintigrafija štitaste žlezde

- <sup>99m</sup>Tc-akumulacija, transportnim mehanizmom za jod, bez organifikacije (povoljna fizička svojstva  $T_{1/2} = 6h$ ,  $E = 140$  keV).
- <sup>131</sup>I akumulacija i organifikacija joda:  $T_{1/2} = 8$  dana,  $E = 360$  keV (samo u dg. i terapiji Ca štitaste žlezde i terapiji hipertireoze).
- <sup>123</sup>I (povoljna fizička svojstva, skup i teže dostupan).

## Scintigrafija štitaste žlezde

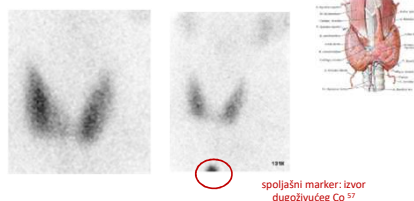
Indikacije

- pojava solitarnog čvora u štitastoj žlezdi
- znaci kompresije gornjeg otvora grudnog koša
- priprema pacijenta za hirurško lečenje nekih benignih i malignih bolesti štitaste žlezde
- stanje posle tireoidektomije naročito zbog diferentovanog karcinoma tireoideje *DKT*
- detekcija urođenih anomalija razvoja štitaste žlezde

Priprema pacijenta

Isključivanje namirnica i supstanci bogatih stabilnim jodom (lekovi za štitastu žlezdu, jodidna radiološka kontrastna sredstva, povidon-jod u bilo kojem obliku, orahovača, *Minakva*, alge, morski plodovi ....)

## Scintigrafija štitaste žlezde



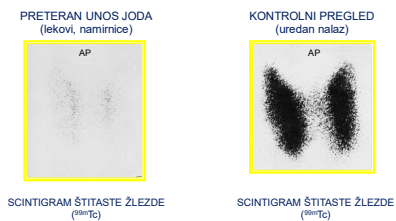
Normalan scintigram štitaste žlezde: ravnomerna i intenzivna akumulacija RF u oba lobusa; u istmusu je difuzno smanjena akumulacija zbog anatomske manje broja tirocita

## Scintigrafija štitaste žlezde

Slaba vizualizacija

- Uzimanje velike količine joda u hrani, lekovima ili radiološkim sredstvima
- Supresija hormona štitnjače ili tireostatskim lečenjem (ne važi za tionamide –PTU ne utiče na scintigram pomoću <sup>99m</sup>Tc)
- Hipotireoza, ektopično tkivo štitaste žlezde
- Tireoiditis - slabija i neravnomerna akumulacija (upala i supresija oslobođenim hormonima).

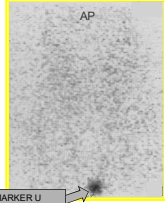
LOŠ SCINTIGRAFSKI PRIKAZ ŠTITASTE ŽLEZDE



### THYREOIDITIS SUBACUTA

(FT<sub>3</sub>, FT<sub>4</sub>, hipermetaboličan pacijent)

U TOKU TIREOIDITISA  
(Nema vezivanja tehnecijuma-99m)



MARKER U FOSSI JUGULARIS  
SCINTIGRAM ŠTITASTE ŽLEZDE  
(<sup>99m</sup>Tc)

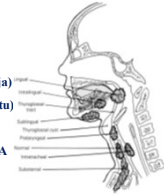
4 meseca kasnije: uredan nalaz  
RESTITUTIO AD INTEGRUM



MARKER U FOSSI JUGULARIS  
SCINTIGRAM ŠTITASTE ŽLEZDE  
(<sup>99m</sup>Tc)

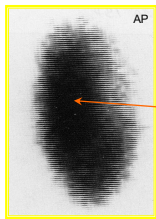
### Urodene anomalije razvoja

1. ATIREOZA (odsustvo štitaste žlezde)
2. HEMIAGENEZIJA (nedostatak jednog režnja)
3. EKTOPLJA (štitasta žlezda nije na svom mestu)
4. AKCESORNA ŠT. ŽL. (dodatna št. žl.)
5. POREMEĆAJI TIREOGLOSNOG KANALA
6. TERATOMI štitaste žlezde



Nedostatak jednog lobusa, ektopija (lingvalna, substernalna struma- uraditi <sup>131</sup>I zbog preuzimanja <sup>99m</sup>Tc od strane okolnih tkiva)

### HEMIAGENEZIJA

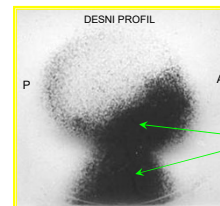


SCINTIGRAM ŠTITASTE ŽLEZDE  
(<sup>99m</sup>Tc)

PRISUTAN JE SAMO  
JEDAN LOBUS  
ŠTITASTE ŽLEZDE

↑↑ TSH kod neonatusa

### ATIREOZA



SCINTIGRAM ŠTITASTE ŽLEZDE  
(<sup>99m</sup>Tc)

<sup>99m</sup>Tc u mekim tkivima.  
Nema štitaste žlezde

↑ TSH kod neonatusa

### EKTOPIČNA TIREOIDEA (THYREOIDEA LINGUALIS)

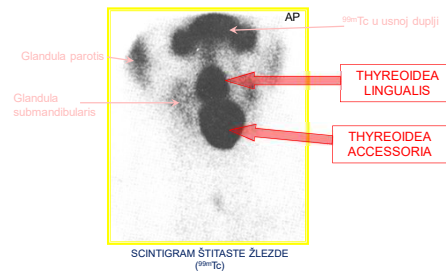


SCINTIGRAM ŠTITASTE ŽLEZDE  
(<sup>99m</sup>Tc)

Nakupljanje  
<sup>99m</sup>Tc  
u predelu  
baze jezika

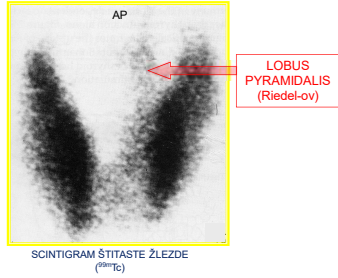
↑ TSH

### EKTOPIČNA TIREOIDEA

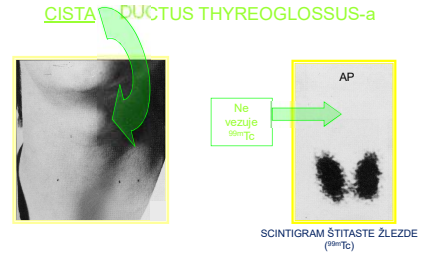


SCINTIGRAM ŠTITASTE ŽLEZDE  
(<sup>99m</sup>Tc)

POREMEĆAJI TIREOGLOSNOG KANALA



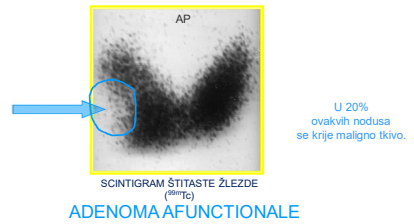
POREMEĆAJI TIREOGLOSNOG KANALA



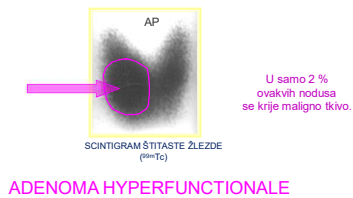
Scintigrafija štitaste žlezde  
Tipični nalazi

- > Difuzna hipertireoza (Graves-Basedow), uvećana štitasta žlezda, intenzivno i ravnomerno vezuje rf.
- > Multinodularna struma (Graves-Basedow), kao i multinodularna toksična struma, sa toplim i hladnim čvorovima, nejednako vezuje rf.
- > Palpabilni čvor ("topli" i "hladni")
  - > "Hladni" u 90% benigni, ali se tako prikazuje većina karcinoma
  - > "Topli", uglavnom isključuje zloćudnost.

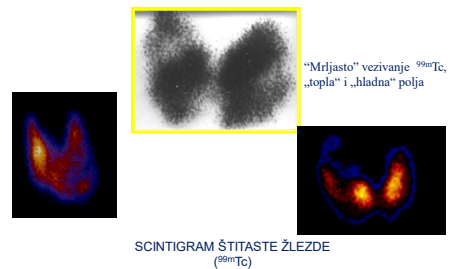
STRUMA NODOSA LOBI DEXTRI  
GLANDULAE THYREOIDEAE



STRUMA NODOSA LOBI DEXTRI  
GLANDULAE THYREOIDEAE



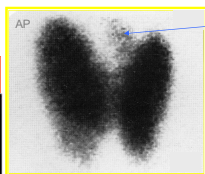
STRUMA POLYNODOSA



HYPERTHYREOSIS

MORBUS GRAVES-BASEDOW

DIFUZNO POJAČANO  
VEZIVANJE  $^{99m}\text{Tc}$   
U ČELOJ ŠTITASTOJ ŽLEZDI



SCINTIGRAM ŠTITASTE ŽLEZDE ( $^{99m}\text{Tc}$ )

## Scintigrafija diferentovanog karcinoma štitaste žlezde (DKT)



DKT nastaje u epitelu folikula, ali zadržava osnovne biološke karakteristike zdrave ćelije, uključujući i funkciju natrijum-jodid simportera u transportu joda u ćeliju.

NUKLEARNA MEDICINA IMA ULOGU U DALJEM PRAČENJU PACIJENATA NAKON TOTALNE TIREOIDEKTOMIJE.

dxWBS whole body diagnostic scintigram  
dijagnostički scintigram celog tela pomoću  $^{131}\text{I}$

patološka akumulacija  $\text{Na}^{131}\text{I}$  u tireoidnom regionu vrata-rest/recidiv DKT;  
fiziološko nakupljanje u nazofarinksu, jetri, crevima i mokraćnoj bešici

## Scintigrafija medularnog karcinoma štitaste žlezde (MKT)

- MKT je treći po učestalosti tireoidni karcinom.
- Nasleđuje se dominantno autozomnim genom, javlja se familijarno u okviru MEN, ali se može javiti i sporadično.
- Potiče od zrelih parafolikularnih (C) ćelija i čini oko 10% svih malignih tumora štitaste žlezde.
- Produkuje kalcitonin čija je koncentracija u serumu specifičan pokazatelj toka bolesti

## Scintigrafija medularnog karcinoma štitaste žlezde

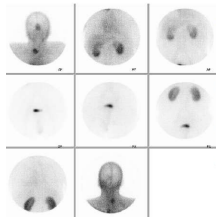
kod bolesnika sa medulskom karcinomom štitaste žlezde MKT  
RF je  $^{99m}\text{Tc(V)}\text{DMSA}$  petavalentna DMSA

ciljani scintigrami celog tela postoperativno praćenje

- $^{99m}\text{Tc-DMSA(V)}$  (petovalentni dimerkaptosukcinat) je neorganski molekul sličan fosfatnom anjonu ( $\text{PO}_4$ ), koji se preko ćelijske membrane transportuje natrijum-fosfatnim kotransporterom.
- Povišena kiselost tkiva usled nagomilavanja mlečne kiseline, nusprodukta pojačane anaerobne glikolize, smatra se jednim od razloga pojačanog nakupljanja. Koncentracija ekstracelularnog natrijuma takođe utiče na preuzimanje DMSA(V).
- Za scintigrafiju MKT mogu se koristiti i drugi radiofarmaci namenjeni dijagnostici neuroendokrinih tumora (NET).

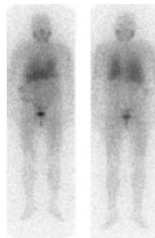
## Scintigrafija štitaste žlezde

kod bolesnika sa medulskom karcinomom štitaste žlezde MKT  
RF je  $^{99m}\text{Tc(V)}\text{DMSA}$  petavalentna DMSA  
ciljani scintigrami celog tela postoperativno praćenje



scintigrafski: recidiv MKT-veća zona intenzivne akumulacije RF u korenu vrata s desne strane, uz medijalnu liniju vrata;  
normalno nakupljanje RF u bubrežima i mokraćnoj bešici (izlučuje se bubrežima)

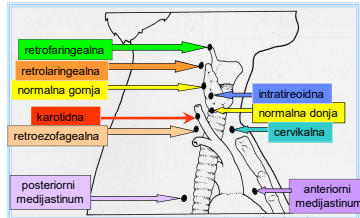
## Scintigrafija štitaste žlezde



Scintigrami celog tela u anteriornom (a) i posteriornom (b) položaju (131I) pacijenta operisanog od medularnog karcinoma štitaste žlezde. Nakupljanje radioabzorbivača u plućima i jetri. Metastaze medularnog karcinoma štitaste žlezde.

## Scintigrafija paraštitastih žlezda

MOGUĆE LOKACIJE PARATIREOIDNIH ŽLEZDA



## Scintigrafija paraštitastih žlezda

INDIKACIJE ZA SCINTIGRAFIJU  
PARATIREOIDNIH ŽLEZDA

- hiperplazija
  - primarna (idiopatska)
  - u sklopu MEN 1 i MEN 2

MEN 1	MEN 2 A	MEN 2B
hiperparatireoidizam	medulski Ca štitarste žl.	medulski Ca št. žl.
adenom, TU, hiperplazija ostrvaca pankreasa	feohromocitom	feohromocitom
hiperplazija ili adenom hipofize	hiperparatireoidizam	neurinomi mukosa; marfanoidni habitus

- adenom
- karcinom
- hiperparatireoidizam
  - sekundarni i
  - tercijarni
- nejasna klinička stanja praćena hiperkalcemijom

## Scintigrafija paraštitastih žlezda

- $^{201}\text{Tl}$  je analog K. Pojaćano se nakuplja zbog ubrzanog transporta K u metabolički aktivnim abnormalnim ćelijama.
- Na snimku pomoću  $^{201}\text{Tl}$ , prikazuje se i normalno tkivo štitaste žlezde, zbog čega se prethodno radi scintigrafija štitaste žlezde pomoću  $^{99\text{mTc}}$  koji se nakuplja u folikularnim ćelijama štitaste žlezde.
- Oduzimanjem druge od prve slike, dobija se slika paraštitastih žlezda, samo ukoliko su uvećane.

## Scintigrafija paraštitastih žlezda

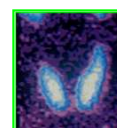
- $^{99\text{mTc}}$ -MIBI se nakuplja i u štitastoj ali i u paraštitastoj žlezdi, ali ga prva otpušta veoma brzo.
- $^{99\text{mTc}}$ -MIBI/Tetrafosmin su liposolubilni, u ćelije ulaze difuzijom a nakupljaju se u mitohondrijama srazmerno metaboličkoj aktivnosti. Pozitivan nalaz je u vezi sa brojem i aktivnošću mitohondrija u ćelijama
- Na kasnim snimcima, 2-3h posle i.v., vidi se samo patološki izmenjeno hipermetaboličko tkivo paraštitaste žlezde.

## Scintigrafija paraštitastih žlezda

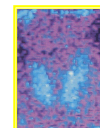
protokol scintigrafije

radiofarmak	pertehnetat i $^{201}\text{TlCl}$	$^{99\text{mTc}}$ -MIBI (Scaandibil)
aplikovana radioaktivnost	80 MBq (2 mCi) $^{201}\text{Tl}$ ; 370 MBq (10 mCi) $^{99\text{mTc}}$	925 MBq (25 mCi)
ekvivalentna doza	4.6 mSv (460 mreem)	5 mSv (500 mreem)
priprema pacijenta	kao kod se. tireoideje	nema
kolimator	konvergentni ili LEHR, paralelnih otvora	LEHR (low energy high resolution)
položaji i uslovi snimanja	Prvo se ubrizga Tl pa se snimi slika posle 15 minuta od 100 000 impulsa: tireoidni region vrata i mediastinumu. Bez ponetanja pacijenta trudi se se. ŠZ. Izvrši se subtrakcija se. ŠZ od talijunske slike.	anterioromi (kosi položaji ako je potrebno); 20, 60 i 120 minuta posle i.v. aplikacije RF (and oblique); SPECT se doda ako je potrebno

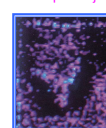
## SCINTIGRAFIJA PARATIREOIDNIH ŽLEZDA UREDAN NALAZ



$^{99\text{mTc}}$



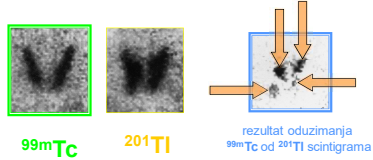
$^{201}\text{Tl}$



Normalne PTH žlezde se ne prikazuju.

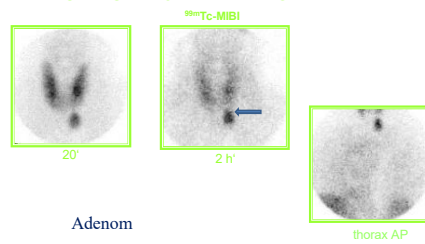
rezultat oduzimanja  $^{99\text{mTc}}$  od  $^{201}\text{Tl}$  scintigrama

**SCINTIGRAFIJA PARATIREOIDNIH ŽLEZDA  
HIPERPLAZIJA PARATIREOIDNIH ŽLEZDA**



(Tercijarni hiperparatireoidizam u hroničnoj renalnoj insuficijenciji)

**SCINTIGRAFIJA PARATIREOIDNIH ŽLEZDA**



Adenom

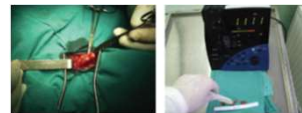
thorax AP

**Intraoperativna detekcija**



Hirurška gama scintilaciona detektorska sonda sa brojačem impulsa

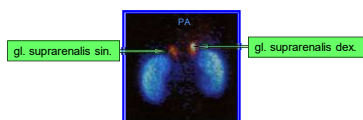
- Za "vođenje" operacija tumora koji se intraoperativno teško lokalizuju i identifikuju koriste se odgovarajući tumorotropni radiofarmaci.
- Pri operacijama adenoma ili hiperplazije paratireoidnih žlezda se koristi  $^{201}\text{Tl}$ -hlorid ili  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI (tetrofosmin).



Intraoperativna detekcija tkiva paratireoidnih žlezda gama sondama (a, b, c) pomoću skintilacionog radiofarmaka ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI).

- Rf. se i.v. aplikuju pre operacije, a tumor se precizno detektuje registrovanjem radioaktivnosti pomoću scintilacionog detektora

**Scintigrafija nadbubrežnih žlezda**



- RF:
- 1. SRŽ:  $^{123}\text{I}$ -MIBG (meta jod benzil gvanidin)
  - KORA:  $^{123}\text{I}$ -6 $\beta$ -jodmetil-19-norholesterol (NP-19)

**Scintigrafija kore nadbubrežnih žlezda**

- RF izbora je  $^{123}\text{I}$ -6 $\beta$ -jodmetil-19-norholesterol (NP-19)
- visok aviditet za kuru nadbubrega
  - mn: preko LDL receptora ulazi u ćelije kore
  - povećan nivo ACTH povećava nakupljanje NP-19 u kori
  - RF se ne ugrađuje u hormone
  - nakupljanje RF je manje od 0,02% po žlezdi

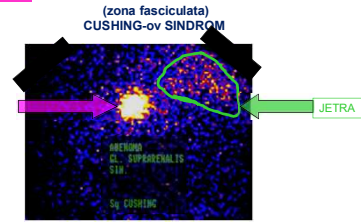
Indikacije

- primarni hiperkorticizam
- primarni aldosteronizam
- hipergonadizam

## Scintigrafija kore nadbubrežnih žlezda

PROTOKOL SCINTIGRAFIJE	
radiofarmak	<sup>131</sup> I-6β-jodometil-19-norholosterol <sup>75</sup> Se-selenometil-norholosterol (Scintadren®)
aplikovana radioaktivnost	35 MBq (1 mCi)
ekvivalentna doza	105 mSv (10 ram)
priprema pacijenta	„blokada“ tireoideje
koliminator	HEGP, paralelni otvori
položaji snimanja (akvizicije)	posteriorna, anteriorna, lateralne i kosi položaji abdomena; 20 minuta po položaju
vreme snimanja	4 do 7 dana posle aplikacije RF

## Scintigrafija kore nadbubrežnih žlezda ADENOMA GLANDULAE SUPRARENALIS SINISTRI

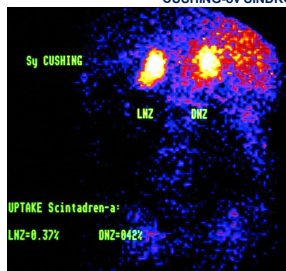


Kušingov sindrom: povećano nakupljanje RF u levoj nadbubrežnoj žlezdi

<sup>75</sup>Se-selenometil-norholosterol (SCINTADREN)

## Scintigrafija kore nadbubrežnih žlezda HYPERPLASIA GLANDULAE SUPRARENALIS

(zona fasciculata)  
CUSHING-ov SINDROM



Kušingov sindrom: povećano nakupljanje RF u obe nadbubrežne žlezde; leva nb.ž. nakuplja 0,37% a desna 0,42%

## Scintigrafija srži nadbubrežnih žlezda

RF izbora je <sup>123</sup>I-metajodobenzilguanidin m<sup>123</sup>JBG

- analog kateholamina
  - mn: preko NA-transportera se nakuplja u kateholaminskim granulama
- simpatičko-adrenalna scintigrafija

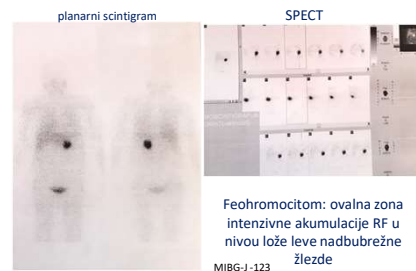
Indikacije (tumori porekla neuralnog grebena)

- feohromocitom/paragangliom
- neuroblastom
- medulski karcinom štitaste žlezde
- Karcinoid
- Hiperplazija srži nadbubrega

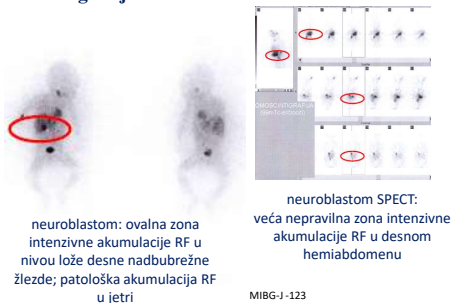
## Scintigrafija srži nadbubrežnih žlezda i NET

radiofarmak	<sup>123</sup> I-MIBG (Adrenescan)	<sup>111</sup> I-MIBG
aplikovana radioaktivnost	400 MBq (10 mCi)	20 MBq (0,5 mCi)
ekvivalentna doza	6 mSv (600 mreem)	3 mSv (300 mreem)
priprema pacijenta	„blokada“ tireoideje (Lugolov rastvor ili kalijum perlorat)	„blokada“ tireoideje (Lugolov rastvor ili kalijum perlorat)
koliminator	LEHR	HEGP (high energy general purpose)
položaji snimanja (akvizicije)	celo telo (whole body) anteriori i posteriori, 10 minuta po slici, 24 h posle i.v. aplikacije SPECT ciljanog dela tela	celo telo, anteriori i posteriori projekcija, 20 minuta po slici, 48 h (i 72 h ako je potrebno) posle i.v. injekcije

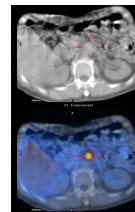
## Scintigrafija srži nadbubrežnih žlezda



### Scintigrafija srži nadbubrežnih žlezda



### [<sup>123</sup>I]MIBG SPECT/CT u paragangliomu



\*G. Mariani, IAEA RTC Role of Nuclear Medicine in Endocrine Disease Pretoria, South Africa, Dec. 6-10, 2010

### Scintigrafija NET sa ekspresijom somatostatinskih receptora

Analozi somatostatina  
<sup>99m</sup>Tc-HYNIC- tyr3-oktreotid (tektrotid); <sup>111</sup>In-pentetreotid

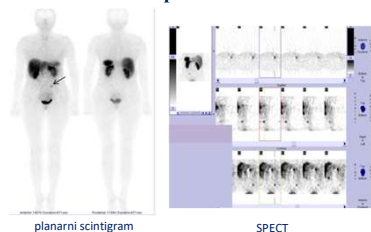
Indikacije

- > Karcinoidi (osetljivost > 90%)
- > Glukagonom, gastrinom, VIP-om
- > Paragangliom, feohromocitom, neuroblastom
- > Tu hipofize
- > Meningeomi
- > Insulinom
- > MTC

### Akvizicija

- > 2h (<sup>99m</sup>Tc-Tektrotid; 4h i 24h <sup>111</sup>In-pentetreotid) posle i.v. WB scintigram
- > Ciljani snimci
- > SPECT, SPECT/CT
- > Priprema: laksativi, klizme, isprazniti bešiku i žk

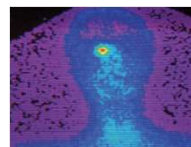
### Scintigrafija NET sa ekspresijom somatostatinskih receptora



povećano nakupljanje <sup>99m</sup>Tc-tektrotida u abdomenu s leve strane (paragangliom)

### Scintigrafija NET sa ekspresijom somatostatinskih receptora

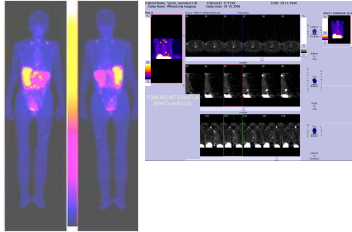
<sup>111</sup>In-pentetreotid. Adenom hipofize.





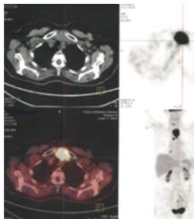
### Scintigrafija NET sa ekspresijom somatostatinskih receptora

<sup>99m</sup>Tc-Tektrotid. NET nepoznatog porekla, metastaze u jetri, plućima i kostima



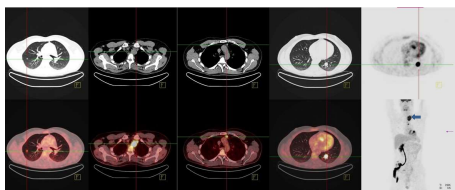
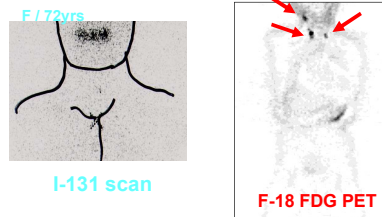
### Pozitronska emisiona tomografija endokrinih i neuroendokrinih tumora

PET/CT	<sup>18</sup> F-FDG metabolizam glukoze	Zone pojačane akumulacije radiotrazera ukazuju na diferencijalni endokrini i NET tumori
PET/CT (NET)	<sup>68</sup> Ga-peptid <sup>2</sup> (analogni somatostatinski) vezivanje za somatostatinske receptore	Zone pojačane akumulacije: primarni karcinom, recidiv ili metastaza NET
PET/CT (NET)	<sup>111</sup> In-DOTA <sup>3</sup> preko transportera amino-kiselina	Zone pojačane akumulacije: primarni karcinom, recidiv ili metastaza NET
PET/CT u 18 radionuklidnih žlezda i drugih benignih ćelija NET	<sup>111</sup> In-DTPA (somatostatinski) AT <sup>111</sup> In-MIBG AT (PET/CT)	Zone pojačane akumulacije radiofarmaka: primarni karcinom, recidiv ili metastaza
PET/CT diferencijalnog karcinoma štitaste žlezde	hormona AT i sinteza <sup>125</sup> I-astrigim (odob. AT) i sinteza hormona (PET/CT)	Zone pojačane akumulacije: recidiv ili metastaza diferencijalnog karcinoma

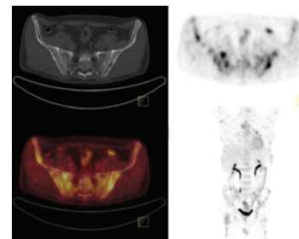


FDG PET/CT kod pacijenta sa papilarnim karcinomom štitaste žlezde posle operacije, višestruke terapije radiojodom, negativnom radiojodnom scintigrafijom i radiojodnim nivoom tiroglobulina. Nakupljanje FDG u velikoj promeni u projekciji vrata sa sitnijim promenama istih karakteristika u obo plućna krila. Recidiv karcinoma sa metastazama.

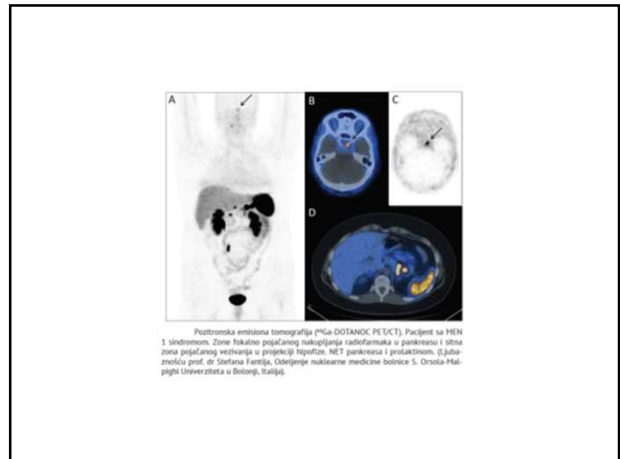
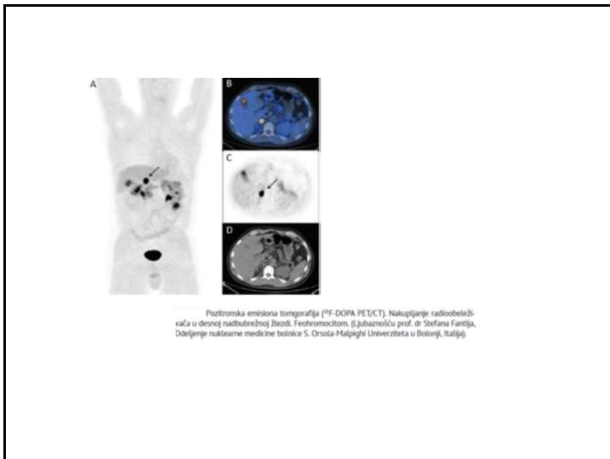
### Pacijent sa diferencovanim karcinomom štitaste žlezde (negativan nalaz I-131, a F-18 FDG PET pozitivan)



FDG PET/CT kod pacijenta sa medularnim karcinomom štitaste žlezde posle operacije. Nakupljanje FDG u velikoj promeni u projekciji vrata sa sitnijim promenama istih karakteristika u obo plućna krila. Recidiv karcinoma sa metastazama.



Pozitronska emisiona tomografija (<sup>18</sup>F-FDG PET/CT). Hipermetabolne zone fokalne pojačanoj nakupljanja radiotrazera u koštanim sistemima. Metastaze slabo diferencijalnog neuroendokrinog karcinoma nepoznatog porekla.



Najvažnije činjenice

FUNKCIONALNA ISPIIVANJA ŠTITAVNE ŽLEZDE – SAŽETAK			
Isplivavanje	Radiofarmak	Metabolični poremećaji	Nalaz u bolestima
Test fiksacije	<sup>123</sup> I ( <sup>123</sup> I) natrijum jodid: AT u tireocite i sinteza hormona <sup>99m</sup> Tc-pertehtetat: AT u tireocite		Snižena u subakutnom tireoiditisu Procena fiksacije radi određivanja terapijske doze
Test fiksacije/perloratski test	<sup>123</sup> I ( <sup>123</sup> I) natrijum jodid: AT u tireocite i sinteza hormona		Akumulacija je snižena pose per os davanja perlorata ukoliko postoji defekt organifikacije joda

Najvažnije činjenice

NUKLEARNO-MEDICINSKA ISPIIVANJA U ENDOKRINOLOGIJI – SAŽETAK		
Isplivavanje	Radiofarmak	Metabolični poremećaji (anomalije)
Scitigrafija štitaste žlezde	<sup>123</sup> I ( <sup>123</sup> I) natrijum jodid: AT i sinteza hormona <sup>99m</sup> Tc-pertehtetat: AT u tireocite	Odušvolvi ili promenijen položaj – urođena anomalije: Wladan nodus – cista, tumor, karcinom; Topolovi nodus – adenom/toksični adenom, Multipli topli ili Wladan nodus – polinodozna struma
Scitigrafija i PET/CT diferencijalnog karcinoma štitaste žlezde	<sup>123</sup> I ( <sup>123</sup> I) natrijum jodid: AT i sinteza hormona <sup>124</sup> I natrijum jodid: AT i sinteza hormona (PET/CT)	Zone pojačane akumulacije: zaostatak, recidiv ili metastaza diferencijalnog karcinoma
Scitigrafija međutirnog karcinoma štitaste žlezde	<sup>111</sup> In (VDMSA: preko natrijum-fosfornog kotransportera Radiofarmaci za NET*)	Zone pojačane akumulacije: primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza
Scitigrafija paratiastih žlezda	<sup>111</sup> In-MIBI (tetrafosfornic difuzija) (paratiastički) <sup>99m</sup> Tc-MIBI: AT	Zone pojačane akumulacije: adenom (osle softiran), hiperplazija (leđa zona)

Najvažnije činjenice

NUKLEARNO-MEDICINSKA ISPIIVANJA U ENDOKRINOLOGIJI – SAŽETAK		
Scitigrafija bora nadbubrežnih žlezda	Denivat holosterola obojeleli pomoću <sup>125</sup> Ie, <sup>131</sup> I i <sup>111</sup> In: vezivanje za holosterolske receptore	Zone pojačane akumulacije: adenom (solitaran uz delimičnu ili potpunu supresiju druge žlezde), hiperplazija (obostrano), diferencijalni karcinom (nehomogena distribucija, nepravilnog oblika sa slabijim ili osudnim vezivanjem sa druge strane)
Scitigrafija i PET/CT rri nadbubrežnih žlezda i drugih hromafnih ćelija – NET	<sup>123</sup> I/131I-MIBG *(metajodobenzilguanidin): AT <sup>111</sup> In-MIBG: AT (PET/CT)	Zone pojačane akumulacije radiofarmaka: primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza
Scitigrafija NET na ekspresijom somatostatinskih receptora	<sup>111</sup> In-ciklopedid (tektrotilid)* <sup>111</sup> In-pentetreotid: vezivanje za somatostatinske receptore	Zone pojačane akumulacije radiofarmaka: primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza
PET/CT	<sup>18</sup> F-FDG: metaboliizam glukoze	Zone pojačane akumulacije: najčešće slabije diferencijalne endokrini NET tumori
PET/CT (NET)	<sup>68</sup> Ga-peptidi* (analizi somatostatinski): vezivanje za somatostatinske receptore	Zone pojačane akumulacije: primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza NET
PET/CT (NET)	<sup>18</sup> F-DOPA*: preko transportera amino-kiselina	Zone pojačane akumulacije: primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza NET



## General radionuclide therapy

### Terapijska nuklearna medicina

Prof. Dr Vera Artiko



"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them."

(EU)2021/ERASMUS-AMO-2021-HEI-TECH-RSCN

Radionuklidna terapija je zasnovana na specifičnom nakupljanju radiofarmaka i predavanju visoke efektivne radijacione doze ciljnom tkivu radi radijacionog oštećenja ćelija, sa najmanjim mogućim štetnim efektima po okolno zdravo tkivo i na organizam u celini.

Radijacija izaziva jonizaciju materije kroz koju prolazi, dovodeći do inflamacije, nekroze i posledične fibroze ciljnog tkiva (najčešće tumorsko ili hiperfunkcijsko).

Efikasnost terapije zavisi od:

- specifičnosti lokalizacije rf. u ciljnom tkivu
- vrste i vremena radioaktivnog raspada (alfa i beta čestice, Ožerovi elektroni),
- energije čestica,
- vremena zadržavanja u ciljnom tkivu i
- osetljivosti ćelija ciljnog tkiva na jonizujuće zračenje.

Radionuklidna terapija mora biti:

- selektivna (deponovanje radiofarmaka samo u ciljnom tkivu),
- interna (radiofarmak se unosi u organizam) i
- metabolička (radi nakupljanja u tkivu koristi metaboličke puteve),
- aplikovane doze su višestruko veće od onih koje se primenjuju u dijagnostici.

Jonizaciona sposobnost radionuklida na kojoj su zasnovani terapijski efekti jonizujućeg zračenja, obrnuto je srazmerna njihovoj prodornoj moći.

- Najvišu prodornost imaju gama fotoni uz najniži stepen jonizacije, što omogućava njihovo eksterno registrovanje posle unošenja u organizam, a sa druge strane malu sposobnost jonizacije uz najmanje štetnih efekata. Zbog toga se gama emiteri najviše koriste u dijagnostici.

- Prodornost beta čestica i Ožerovih (*Auger*) elektrona je niža, ali je jonizaciona sposobnost visoka, dok najmanju prodornost, ali najveću sposobnost jonizacije, imaju alfa čestice.

- Alfa čestice ( $\alpha$ ) su pozitivno naelektrisane, sadrže dva protona i dva neutrona, što odgovara jezgru helijuma (He).
- Njihov domet u tkivu je veoma mali (70–100  $\mu\text{m}$ ), zbog čega je neophodno da se njima obeležen rf. u ćeliju transportuje i stacionira u neposrednoj blizini DNK lanca.
- Zbog visoke jonizacione sposobnosti, aplikovane doze mogu biti niže u odnosu na one koje se primenjuju za radionuklidnu terapiju beta zračenjem.
- Alfa zračenje je mnogo efikasnije u izazivanju prekida oba lanca DNK molekula, što je jedan od glavnih uzroka ćelijske smrti.

Alfa emiteri moraju imati dovoljnu energiju da bi oštetili ćelije karcinoma, i dovoljno dugačak poluživot, da bi se uništilo tumorsko tkivo bez oštećenja zdravog.

Iako se za imunoterapiju koriste uglavnom beta emiteri, koji su dostupniji, postoje studije sa primenom alfa emitera: aktinijuma-225, (225Ac), astatina (211At), olova-212 (212Pb) i bizmuta-213 (213Bi). U terapiji metastaza karcinoma prostate u kostima koristi se radijum-223 (223Ra) koji je i komercijalno dostupan.

U terapiji leukemije koriste se aktinijum-225 (225-Ac) i bizmut-213 (213-Bi), koji su pokazali dobre rezultate u terapiji malignog melanoma. Neki od nabrojanih radionuklida se koriste u terapiji karcinomatoze peritoneuma. U slučaju solidnih tumora, primena alfa emitera može dati rezultate zbog kratkog dometa samo ukoliko se ubaci direktno u tumorsko tkivo ili u obliku lekova inhibitora angiogeneze.

- Beta minus čestice ( $\beta^-$ ) su elektroni koji se emituju iz jezgra atoma elementa koji se radioaktivno raspada. Njihov domet kroz tkiva je kratak, od 0,05 do 12 mm u zavisnosti od energije (50–2300 keV).
- Davanjem visokih doza postiže se ciljano uništavanje obolelog tkiva uz minimalno oštećenje okolnog zdravog tkiva.
- Pojedini radionuklidi, osim beta, emituju i gama zračenje, što omogućava njihovu vizualizaciju posle davanja terapijske doze: jod-131 ( $^{131}\text{I}$ ), lutecijum-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ), samarijum-153 ( $^{153}\text{Sm}$ ), renijum-186/188 ( $^{186}\text{Re}$ ,  $^{188}\text{Re}$ ).
- Isključivi beta emiteri su itrijum-90 ( $^{90}\text{Y}$ ), erbijum-169 ( $^{169}\text{Er}$ ), fosfor-32 ( $^{32}\text{P}$ ) i stroncijum-89 ( $^{89}\text{Sr}$ ), a neki od njih se mogu indirektno vizualizovati (korišćenjem zakaćnog x-zraćenja ili stvaranjem parova pozitron-elektron).

Ožerovi (*Auger*) elektroni nastaju elektronskim zahvatom ili internom konverzijom jezgra atoma koji se radioaktivno raspadaju. Najčešće se koriste indijum-111 ( $^{111}\text{In}$ ) i jod-125 ( $^{125}\text{I}$ ).

Njihov domet kroz tkiva je veoma mali (2–500 nm) što je u skladu sa veoma niskom energijom (do 1 keV). Zbog toga je neophodno da se radiofarmak obeležen ovim radionuklidima u ćeliju transportuje i stacionira u neposrednoj blizini DNK lanca. Tako se analozi somatostatina obeleženi pomoću  $^{111}\text{In}$  mogu koristiti, osim u dijagnostici zbog gama emisije, i u terapiji neuroendokrinih tumora sa ekspresijom somatostatinskih receptora.

#### Radionuklidna teranostika

Idealno je za radionuklidnu dijagnostiku i terapiju koristiti isti molekularni nosač obeležen radioizotopima istog hemijskog elementa (za dijagnostiku gama ili pozitronskim emiterom, a za terapiju beta emiterom). To obezbeđuje njihovu istovetnu biodistribuciju, što planiranju i doziranju radionuklidne terapije na osnovu kvantitativne analize biodistribucije dijagnostičke doze omogućuje najveću pouzdanost.

Male razlike u hemijskom sastavu r.f. mogu rezultirati značajnim razlikama u njegovom preuzimanju i kinetici, kako u tumoru, tako i drugim tkivima.

Razvoj r.f. poslednjih godina usmeren je prema takozvanim teranostičkim (*therapeutic-diagnostic*) parovima, tj. Radiofarmacima koji sadrže isti molekularni nosač, koji se može dovoljno uspešno obeležiti i za terapijsku i za dijagnostičku primenu i to izotopima istog hemijskog elementa.

Iako je idealan primer radioteranostičkog r.f.  $^{131}\text{I}$ -natrijum jodid koji se koristi već nekoliko decenija, sam ili u sastavu  $^{131}\text{I}$ -MJBG, to nije uvek lako ostvarivo.

Zbog toga se u praksi češće koriste parovi radioizotopa različitih elemenata, ali sa dovoljno sličnim hemijskim osobinama.

Tako, u pripremi za terapiju pomoću  $^{177}\text{Lu}$ -DOTA TATE radi se PET/CT dijagnostika pomoću  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA TATE.

#### Efekte radionuklidne terapije na ćelijskom nivou

- Biološki efekti zraćenja nastaju kao posledica apsorbovanja energije u živoj materiji.
- Usled interakcije dolazi do jonizacije i ekscitacije atoma i molekula u ćelijama.
- Veća energija predata po jedinici mase ćelije u jedinici vremena dovodi do većeg broja jonizacija i ekscitacija, a time i do težih oštećenja.

- Organizam čoveka je sastavljen od vode sa mineralima (neorganske materije), kao i od organskih molekula (proteina, ugljenih hidrata, lipida, nukleinskih kiselina).
- Direktni efekat zračenja nastaje kada neki molekul direktno prima energiju od zračenja i jonizuje se ili eksituje.
- Indirektni efekti zračenja nastaju sekundarno. Kako je voda najzastupljeniji sastojak organizma, jonizacija prvenstveno utiče na molecule vode, izazivajući radiolizu vode, kada se njeni molekuli razlažu i kada dolazi do stvaranja slobodnih radikala, koji brzo stupaju u druge reakcije.

- Reaguju sa drugim organskim molekulima, prenose im energiju i menjaju njihovu strukturu, čime se smanjuje ili gubi i njihova funkcija.
- Glavni cilj radionuklidne terapije je oštećenje lanca DNK ciljnih ćelija direktnom jonizacijom ili indirektno, dejstvom slobodnih radikala.
- Najčešće forme oštećenja su prekid lanaca, lokalna oštećenja i promenjena struktura šećera i baza. Oštećenja zavise od vrste primenjenog emitera i njegove energije.

- Najjače oštećenje (prekid oba DNK lanca ili njegova multipla oštećenja) može nastati dejstvom alfa čestica i Ožerovih elektrona. I pored uključivanja reparacionih mehanizama ćelije, efekat može biti smrt, usporena deoba ili usporen oporavak ćelije.
- Ovi procesi se ne odvijaju trenutno, tako da je potrebno da prođe izvesno vreme da bi se evaluirali efekti radionuklidne terapije.
- Tumorske ćelije se brže dele od normalnih, te su i podložnije oštećenjima, na čemu je i zasnovana ova terapija.

## Terapija

### 1. bolesti štitaste žlezde

- benigne
  - tireotoksikoza
    - Grejvs-Bazedovljeva bolest
    - multinodozna toksička struma (Plamerova bolest)
    - toksični adenom
  - netoksična struma
- maligne (karcinomi)
  - papilarni
  - folikularni
  - karcinom Hirtlović ćelija

### 2. tumori porekla neuralnog grebena (*hromafinog tkiva*)

- karcinoid
- neuroblastom
- maligni feohromocitom
- maligni paragangliom
- medulski karcinom štitaste žlezde

### 3. tumori sa ekspresijom somatostatinskih receptora

- tumori simpatičkoadrenalnog sistema (feohromocitom, paragangliom, neuroblastom, ganglioneurinom)
- gastroenteropankreatički tumori (karcinoid, gastrinom, insulinom, VIP-om, glukagonom)
- medulski karcinom štitaste žlezde
- karcinom sitnih ćelija pluća
- karcinom Merkelovih ćelija

### 4. inflamatorno-degenerativne bolesti zglobova

- reumatoidni artritis
- bolest zglobova u bolesnika sa hemofilijom
- pigmentni vilnodularni sinovitis
- poliartriza malih zglobova šake
- recidivirajući izlivi u velikim zglobovima posle hirurške intervencije

### 5. bol u kostima izazvan metastazama malignih bolesti

- prostate
- bačve
- dojke
- pluća
- mokraćne bešike
- debelog creva
- štitaste žlezde

### 3. Intraarterijska terapija karcinoma jetre

### 4. RN terapija karcinoma prostate

### 5. RN terapija limfoma

### 6. ....

#### RADIONUKLIDNA TERAPIJA U ENDOKRINOLOGIJI

Bolest/patološko stanje/ klinički sindrom	Radiofarmak	Način preuzimanja radiofarmaka
Diferencijalni karcinom štitaste žlezde (zaostatak, recidiv ili metastaza)	<sup>131</sup> I-natrijum jodid	aktivni transport i sinteza hormona
Modularni karcinom štitaste žlezde (primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza)	<sup>125</sup> I-MIBG (metajodobenzilguanidin) <sup>177</sup> Lu <sup>177</sup> Y-peptidi (analizi somatostatina)	aktivni transport vezivanje za somatostatinske receptore
Karcinom brzi nadobezbežnih žlezda i drugih hromafinih ćelija – NET (primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza)	<sup>125</sup> I-MIBG (metajodobenzilguanidin)	aktivni transport
NET sa ekspresijom somatostatinskih receptora (primarni karcinom, zaostatak, recidiv ili metastaza)	<sup>177</sup> Lu <sup>177</sup> Y-peptidi (analizi somatostatina)	vezivanje za somatostatinske receptore

#### Terapija benignih bolesti štitaste žlezde

- radiofarmak je Na <sup>131</sup>I (natrijumjodid obeležen jodom 131)
- unos se u tiroците putem natrijumjodidnog simportera (Na/I S)
- aplikuje se pripremljenom pacijentu našte *per os* kapsula  
rastvor
- cilj terapije*: smanjenje tirocidne funkcije → eutiroidno stanje
- neželjena posledica je *hipotireoza* (??)
- Indikacije*: bolesnici srednje i starije životne dobi bolesnici kod kojih se lekovima ne postize stabila remisija hipertireoze (učestalo recidiva, toksološkijske reakcije na lekove, loša saradnja bolesnika) neoperabilni bolesnici bolesnici sa teskim obojenjima drugih organa

fizičke osobine <sup>131</sup> I važne za terapiju	
T <sub>1/2</sub>	8.023 dana
radioaktivni raspad emisijom	β-čestice i γ fotona
najviše β-čestica energije	0.606 MeV
najviše γ fotona energije	364 keV
domet β-čestice	nekoliko prečnika tirocitosa

- kontraindikacije**
    - apsolutne
      - trudnoća
      - veoma usporena akumulacija radiojodida u štitastoj žlezdi
    - relativne
      - veoma mladi bolesnici
      - inkontinencija mokraće / stolice
      - strah od radioaktivnosti
  - postupci u radiojodidnoj terapiji**
    - preterapijska priprema pacijenta
    - određivanje terapijske aktivnosti (A (MBq))..... „doze“ leka
    - aplikacija leka: bolesnik jednom popije sa malo vode kapsulu ili rastvor radiojodida
    - prva kontrola je posle 3 meseca (merenje koncentracije TSH i FT4 (T4 i T3); EKG osnovni biokemijski nalazi krvi)
- kod svih kandidata za terapijsku primenu radiojodida se prvo uradi test brzine akumulacije Na <sup>131</sup>I „test fiksacije“
- rezultat merenja radiojodida nakupljenog u štitastoj žlezdi se koristi za procenu spremnosti štitaste žlezde da preuzme radiojodid (ALARA princip!)**
    - izračunavanje terapijske (A)
    - isključivanje nekih oblika tireoiditisa koji NISU indikacija za RJ terapiju

- izračunavanje „doze“ leka na osnovu:
- željene radioaktivnosti koja se zadržava u štitastoj žlezdi 3-5 mBq (0,08-0,12 mCi/g)
  - apsorbovane doze zračenja 100-400 Gy

rasponi terapijskih A i doza Na <sup>131</sup> I u odnosu na poreklo tireotoksikoze	MBq	mCi	Gy
Grčivse- Bazedovljeva bolest	111-259	3-7	150-300
Plamerova struma	185-370	5-10	150-400
toksični adenom	740-925	20-25	400

- „fiksna doza“ 370 MBq -1,85 GBq (10-30 mCi)

#### neželjena dejstva RJ terapije

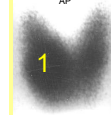
akutna i prolazna

- uveličanje (otok) štitaste žlezde
- bol u š. i velikim pljuvačnim žlezdama
- nadražajni kašalj
- „pogoršanje“ tireotoksikoze (7-10 dana; vrlo retko *tireoidna oluja*)
- povremene srčane tahiaritmije

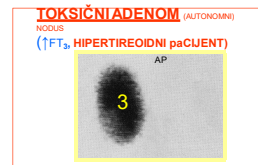
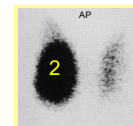
hronična

- hipotireoza
- autoimuni tireoiditis
- oftalmopatija

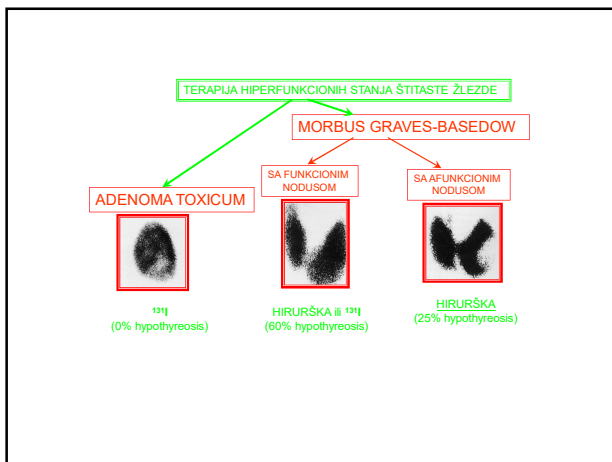
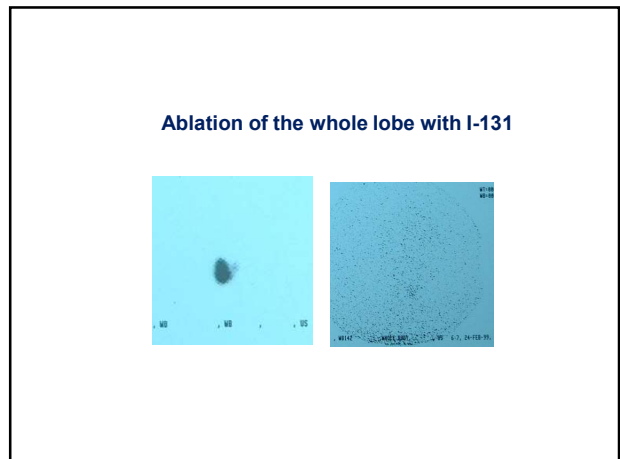
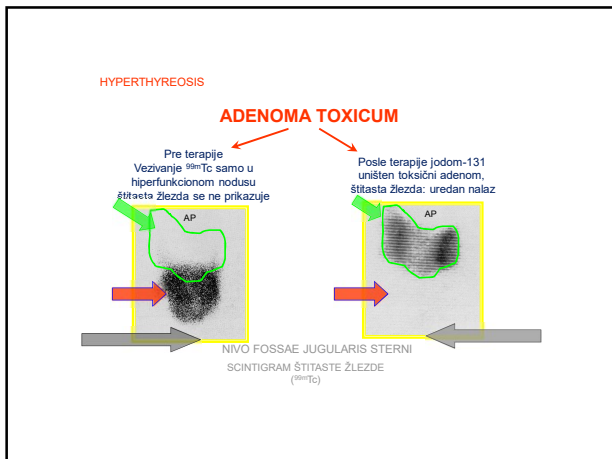
HIPERFUNKCIONALNI NODUS EUTHIROIDNI PACIJENT



SOLITARNI AUTONOMNI NODUS ZARAVNJEN TRH test, normalan FT<sub>3</sub>



SCINTIGRAFSKA EVOLUCIJA HIPERFUNKCIONALNOG (1) DO TOKSIČNOG NODUSA (3)



**Terapija malignih bolesti štitaste žlezde**

RJ se leče

- diferentovani karcinomi štitaste žlezde (papilarni i folikularni) DKT
- medulski karcinom šž. se NE leči radiojodidom
- kod anaplastičnog karcinoma šž. se ne koristi radioaktivni jod

**definicija**  
sistemska primena  $\text{Na } ^{131}\text{I}$  za selektivno ozračivanje

- ostatka tiroidnog tkiva posle tireoidektomije } **ablativna terapija**
- mikroskopskog DKT
- neresektabilnih oblika DTK  
mikroskopski tumor  
makroskopski lokalni recidiv  
limfni čvorovi  
udaljene metastaze } **paliјativna terapija / dodatak ablativnoj trp.**

- postupci u radiojodidnoj terapiji
  - preterapijska priprema pacijenta
    - smanjenje unošenja namirnica i supstanci bogatih stabilnim jodom (lekovi za štitastu žlezdu, radiološka kontrastna sredstva, so...)
    - „podizanje“ nivoa TSH na  $\geq 30 \text{ mU/l}$ 
      - ne uvodi se/ukida se supstituciono terapija preparatima levotiroksina pose tireoidektomije
      - Im. aplikacija rekombinantnog humanog TSH (rhTSH = Thyrogen®)
    - aplikacija leka: bolesnik jednom popije sa malo vode kapsulu ili rastvor radiojodida visoke (A) 3,7-7,4 GBq
    - lečenje se sprovodi u hospitalnim uslovima zbog velikih „doza“ leka (posebno opremljene sobe)
  - posle 3-4 dana od aplikacije terapijska ektivnosti postterapijski scintigram celog tela pomoću  $\text{Na } ^{131}\text{I}$
  - prva kontrola efekata RJ terapije je posle 6 meseci (merenje koncentracije TSH, FT4, nivoa antitireoglobulinskih antitela, nivoa tiroglobulina, dijagnostički scintigram celog tela pomoću  $\text{Na } ^{131}\text{I}$  ... „Dx WBS“)

- FOLIKULARNI I PAPILARNI CA ŠTITASTE ŽLEZDE (nakupljaju  $^{131}\text{I}$ )**
- DIJAGNOSTIČKA DOZA joda-131:**
    - za snimanje celog tela (**WHOLE BODY**) u cilju otkrivanja zaostalog tkiva štitaste žlezde i/ili metastaza.
    - test fiksacije joda-131: ukoliko se u predelu vrata nakuplja  $\geq 0,5\% ^{131}\text{I}$ ;
  - TERAPIJSKA DOZA joda-131:**
    - u cilju destrukcije (ablacije) zaostalog tkiva štitaste žlezde i/ili metastaza.

## Terapija hormonima štitaste žlezde

- SUPSTITUCIJA ZBOG NEDOSTATKA STVARANJA HORMONA
- SUPRESIJATSH SEKRECIJE, koja može stimulisati rast carcinoma I rezidualnog tkiva štitaste žlezde

Na kontolnim pregledima mora se odrediti nivo tumorskih markera:

- **THYROGLOBULIN** (tumor-marker u slučaju totalne tireoidektomije)  
Ako je povišen: WB SCINTIGRAFIJA RADIOJODOM.

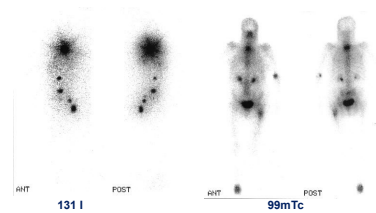
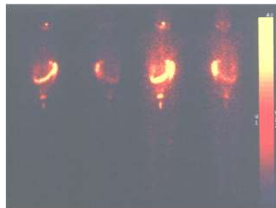
- uspeh RJ terapije

dva negativna nalaza dijagnostičkog scintigrama pomoću  $^{131}\text{I}$  (*dxWBS*) zajedno sa nemerljivo niskim nivoom tireoglobulina i antitireoglobulinskih antitela u serumu

- ako je *dxWBS* pozitivan (*prisustvo jodavidnih metastaza*) RJ terapija se ponavlja

## Scintigrama celog tela pomoću $^{131}\text{I}$

Tireoidektomija zbog papilarnog karcinoma štitaste žlezde. Primila dve terapijske doze  $^{131}\text{I}$ . Nema patološke akumulacije rf. u regionu vrata niti bilo gde u telu.



Difuzne metastaze u kostima: a) scintigram celog tela posle Th doze  $^{131}\text{I}$ , ukazuje na zone patološke akumulacije. b) scintigram celog tela posle ubrizgavanja  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ukazuje na zone patološke akumulacije u proksimalnoj dorzalnoj kičmi, dorzalno lumbalnoj kičmi, sakrumu, levoj proksimalnoj dijafizi femura (fraktura).

## Diferentovani karcinom štitaste žlezde

### Uspešna ablacija pomoću $^{60}\text{mci } ^{131}\text{I}$



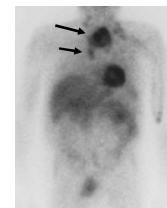
$^{131}\text{I}$

$^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$

Bolesnica sa papilarnim karcinomom štitaste žlezde  
Nalaz negativan posle terapijske doze

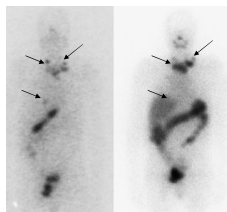
## Recidiv tireoidnog karcinoma

Tireoidni karcinom, operisan, pre ablativne doze  $^{131}\text{I}$ . Došlo je do pojave mestinog recidiva (CT nalaz).  $^{201}\text{Tl}$  pokazuje intenzivno nakupljanje u zoni koja zahvata donji deo vrata i medijastinum.

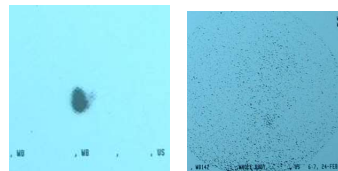




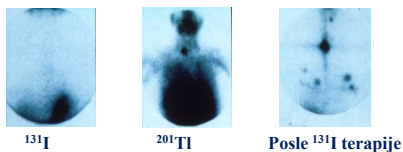
a) I-123 dijagnostička scintigrafija ukazuje na patološko preuzimanje rf. od u regionu donjeg dela vrata i medijastinuma uz odvojeni fokus u gornjem desnom abdomenu, što se ne prikazuje na post <sup>131</sup>I terapijskom scintigramu verovatno zbog prekrivanja od strane jetre.  
 b) post <sup>131</sup>I terapijska scintigrafija pokazuje preuzimanje rf. u metastazama na vratu i medijastinumu i preuzimanje od strane jetre verovatno zbog metabolizma radiotiroksina.



### Ablacija čitavog lobusa pomoću I-131



### <sup>131</sup>I Negativan <sup>201</sup>Tl Pozitivan Ca štitaste žlezde



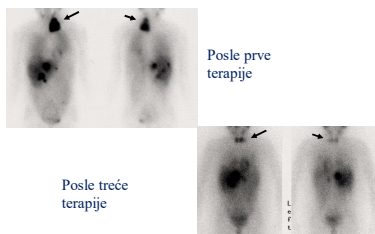
### Terapija tumora neuralnog grebena (hromafinog tkiva; simpatičkoadrenalnog tkiva)

- radiofarmak je m<sup>131</sup>IJBG (metajodobenzilguanidin obeležen jodom 131)
- radioaktivni analog hormona srži nadbubrega se unosi u neurosekretorne granule putem aktivnog transporta olakšanog transporterom (NET *norepinefrin transporter*) na površini organele-slično reakumulaciji noradrenalina
- NET eksprimiraju (u nejednakoj gustini)
  - feohromocitom
  - paragangliom
  - MKT
  - neuroblastom
  - karcinoid
- cilj terapije:
  - kompletna remisija
  - poboljšanje kvaliteta života
  - produženje života
  - smanjenje neoperabilne tumorske mase i omogućavanje hirurškog odstranjenja tumora

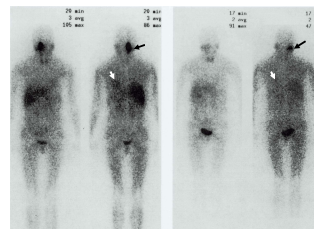
- **Indikacije:**
  - III / IV klinički stadijum neuroblastoma
  - neoperabilni feohromocitom i paragangliom
  - neoperabilni karcinoidni tumor
  - metastatski recidiv MKT
- **kontraindikacije**
  - **absolute**
    - bubrežna insuficijencija koja zahteva dijalizu
    - očekivano trajanje života manje od 3 meseca
  - **relative**
    - smanjena glomerulska filtracija ispod 30 ml/min
    - broj leukocita manji od 3000 /  $\mu$ l
    - broj trombocita manji od 100000 /  $\mu$ l

- **toksičnost mIBG terapije**
  - rana
    - supresija koštane srži
    - povraćanje
    - anoreksija
    - sialoadentitis
  - pozna
    - hipotireoza
    - sekundarni malignitet (kumulativna incidenca u prvih 5 godina kod pacijenata sa neuroblastomom je 7,6 % (!?))
- **priprema pacijenta**
  - „blokada“ štitaste žlezde Lugolovim rastvorom
  - preterapijska simpatičko adrenalna scintigrafija pomoću mIBG (potvrđivanje da li je tumorsko tkivo sposobno da nakupi mIBG... „mIBG avidne“ zone)
  - merenje nakupljanja mIBG-a u ciljnom tkivu-primena terapije je opravdana ako je „fiksacija“ radiofarmaka veća od 1%
- aplikuje se pripremljenom pacijentu putem infuzionih pumpi kao vrlo spora infuzija
  - jednokratna aplikacija (A) u rasponu od 3,6-11,1 GBq
- **postterapijsko praćenje**
  - 3. i 5. dana od terapije se izvodi postterapijska simpatičkoadrenalna scintigrafija
  - na 7 dana se kontroliše krvna slika tokom 8 nedelja
  - redovni monitoring krvnog pritiska

## I-131 mIBG kod feohromocitoma



## <sup>131</sup>I MIBG



## Terapija tumora sa ekspresijom somatostatinskih receptora radionuklidna terapija pomoću somatostatinskih receptora PRRT

### definicija:

sistemska primena oligopeptida, analoga somatostatina (helat) obeleženog sa radionuklidom koji emituje  $\beta^-$  česticu (radionuklid+helat = radiofarmak)

radionuklid			helat
atom	T 1/2	emisija	
<sup>90</sup> Y	2,6 dana	$\beta^-$ 0,943 MeV 4 mm	DOTATOC DOTATATE
<sup>177</sup> Lu	6,7 dana	$\beta^-$ - $\gamma$ 0,5 MeV; 208keV 1,7mm	
<sup>111</sup> In	2,8 dana	$\gamma$ Ožeoovi e-	DTPA-oktreotid

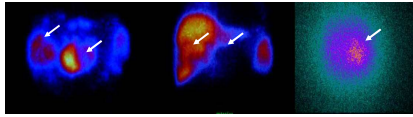
- RF se vezuje za somatostatinske receptore tipa 2
- Indikacije:** dobro do umereno diferentovani
  - gastroenterohepatični NET
  - brionhopulmonarni NET
  - feohromocitom
  - paragangliom
  - MKT
  - neuroblastom
- karcinoid, timus, dojka
- kontraindikacije**
  - absolutne**
    - trudnoća
    - teška udružena bolest
  - relative**
    - smanjena bubrežna funkcija manja od 60% normalnog opsega za dati uzrast
    - oštećena koštana srž

### postupci u SSRNT terapiji

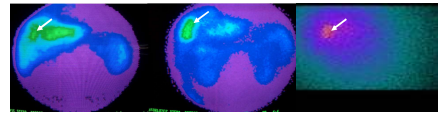
- preterapijska priprema pacijenta
  - ukidanje terapije analogima somatostatinskih receptora na mesec dana
  - diagnostički scintigram pomoću analoga somatostatinskih receptora
- aplikacija leka:** intravenska infuzija do 30 minuta
- (A): <sup>90</sup>Y 3,7 GBq/m<sup>2</sup>  
<sup>177</sup>Lu 5,55-7,4 GBq
- posle 3-4 dana od aplikacije terapijske A... postterapijski scintigram celog tela
- praćenje pacijenta posle terapije: kompletna krvna slika na 2-3 meseca; procena bubrežne funkcije
- prva kontrola efekata SSRNT terapije je posle 3-6 meseci (strukturne i funkcionalne slikovne metode: CT, MR, PET/CT)

### toksičnost PRRT

- rana**
    - reverzibilna supresija koštane srži
    - povraćanje
    - mučnina
    - glavobolja
    - hipoNa, hipoK
    - hipoglikemija
    - elektrolitni disbalans
  - pozna**
    - mijeloidni displazni sindrom
    - akutna mijeloidna leukemija
- } blage  
} retke

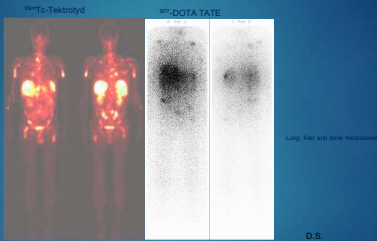


Scintigrafija analogom somatostatina /  $^{111}\text{In}$ -pentetreotid (levo), radiokoloidom /  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Sn-koloid (sredina) i posle davanja terapijske doze analog somatostatina /  $^{90}\text{Y}$ -DOTA TATE registrovanjem "zakočnog" zračenja (desno) u istog bolesnika – anteriora projekcija: velika zona hiperakumulacije pentetreotida u sredini vidnog poja (slika levo) odgovara primarnom tumoru pankreasa (karcinoid), a manje zone oko metastaza u jetri i retroperitonealnim limfnim žlezdama. Zone oslabljene akumulacije radiokoloida u jetri odgovaraju lokalizaciji metastaza (srednja slika). Zona hiperakumulacije terapijskog radiofarmaka u primarnom tumoru pankreasa, uz umerenje preuzimanje od strane metastaza u jetri (slika desno).

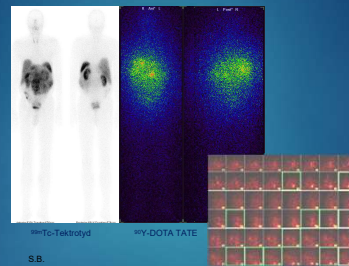


Metastaze karcinoida u jetri. U nekoliko zona oslabljenog vezivanja radiokoloida u jetri (a) (veće u lateralnom i gornjem medijalnom delu desnog lobusa i manje uz donju ivicu levog), zapaža se pojačano nakupljanje radiofarmaka koji se vezuju za somatostatinske receptore,  $^{111}\text{In}$  pentetreotida (b), kao i terapijskog radiofarmaka,  $^{90}\text{Y}$ -DOTA TATE (c). Slika c je dobijena registrovanjem energije "zakočnog" zračenja

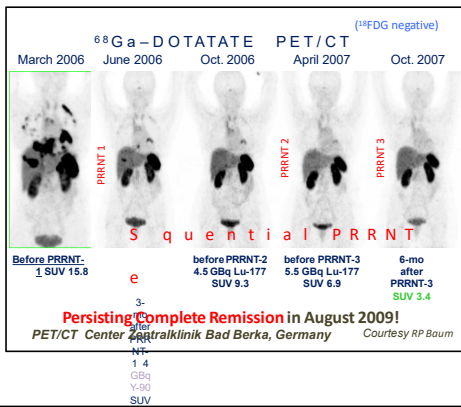
### Unknown origin



### Pancreatic carcinoma



### Well differentiated metastatic mediastinal NET



### Lečenje inflamatorno-degenerativnih promena u zglobovima

Definicija: radionoviolektomija/radionoviolektomija je radionuklidna terapija sinovitisisa ili procesa koji zahvataju sinoviju pomoću

atom	radionuklid		„hladni“ molekul
	T 1/2	emisija	
$^{90}\text{Y}$	2,7 dana	$\beta^-$ 0,943 MeV 4 mm	silikat/citrat
$^{186}\text{Re}$	3,7 dana	$\beta^-$ 0,55 MeV 1,1 mm	sulfid
$^{169}\text{Er}$	9,4 dana	$\beta^-$ 0,09 MeV 0,3 mm	citrat

- priprema pacijenta
  - smanjivanje bola u zglobu
  - procena stanja zgoba metodom ultrazvuka, Rtg, MR
  - isključiti Bekerovu cistu
  - izmeriti debljinu sinovije
  - proceniti stanje hrskavice...
- trofazna scintigrafija kostiju
- aplikuje se pripremljenom pacijentu kao *intraartikularna injekcija* pod kontrolom ultrazvuka ili fluoroskopa

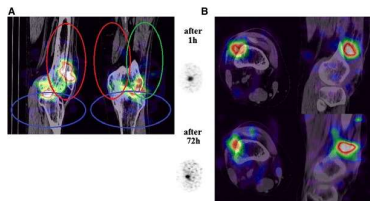
radiofarmak	zglob	A (MBq)
90 Y koloid	koleno	185-222
	kuk	74-185
	rame	74-185
	lakat	74-111
	ručni zglob	37-74
	skočni zglob	74
186 Re sulfid	subtalar	37-74
	malu zglobovi noža i stopala	20-40
169 Er citrat		

#### neželjena dejstva

rana: pogoršanje sinovitisa  
kasna: radionekroza (retko)

#### postterapijsko praćenje

- nekoliko dana posle aplikacije terapije funkcionalne slikovne metode
- kliničko i biohemijsko ispitivanje zapaljenja/promene lečene sinovije (biohemijska testiranja, detekcija moguće radionekroze
- procena efekata terapije (debljina sinovije) strukturnim slikovnim metodama: UZ na 3-4 meseca, a potom na godinu dana, MR



yttrium-90 in the knee joint 1 and 72 h after procedure.

Ann Nucl Med. 2014; 28(7): 688-692

## Terapija bola u kostima izazvanog metastazama malignih bolesti

### Definicija

sistemska primena radiofarmaka koji se prolongirano zadržavaju na mestima povećane osteoblastne aktivnosti: *bifosfonata obeleženih beta i alfa emiterima*

### Efekat terapije zavisi od

- fizičkog poluživota RN
- E beta čestice
- biološkog poluživota RF
- ubrizgane (A)
- terapija izbora u bolesnika u odmaklom stadijumu tumora

### osobine optimalnog radiofarmaka

- energija  $\beta$ -zračenja manja od 1.5 MeV
- emisija  $\gamma$  fotona koji omogućava dijagnostički scintigrafiju
- selektivno nakupljanje u kostnim metastazama i kratak domet  $\beta$ -čestice
- brz klirens iz krvi i malo nakupljanje u ostalim organima
- kratak fizički poluživot RN (2-4 dana)

atom	radiofarkid		„hladni“ molekul	A MBq
	T <sub>1/2</sub> dan	emisija		
89 Sr	50,5	$\beta$ - $\gamma$ 0,58 MeV 0,91 MeV 2,4 mm	SrCl <sub>2</sub>	110-150
123 Sm	1,94	$\beta$ - $\gamma$ 0,81 MeV 0,1 MeV 0,6 mm	EDTMP leksidronam	1,11-111kg
32 P	14,3	$\beta$ - 1,71 MeV 3 mm	(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	37-185

### indikacije

- bolne metastaze uočene kao mesta povećanog nakupljanja RF na scintigrafiji skeleta
  - delovi kosti zahvaćeni metastazama zbog povećanog metabolizma preuzimaju 3 do 5 puta više radionuklida (RN) nego zdrava kost
  - biološki poluživot RN je duži u metastatskoj promeni nego u zdravoj kosti i radioaktivni lek se duže zadržava pa je metastazom apsorbovana doza veća nego ona apsorbovana u koštanoj srži
- bolni primarni tumor kostiju koji povećano nakuplja osteotropni RF (?)

### kontraindikacije

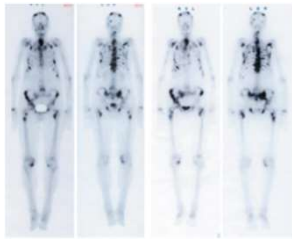
- apsolutne
  - trudnoća i dojenje

### konačni efekti terapije

- relativne
  - depresija koštane srži
  - dečiji uzrast
  - akutna i hronična bubrežna insuficijencija
  - inkontinencija urina
- odlaže pojavu novih žarišta jer se RN ugrađuju u asimptomatske metastaze
- efekat terapije traje i više od godinu dana (duže od efekata radioterapije)
- daje minimalne toksične efekte- blaga depresija koštane srži
- može se ponavljati

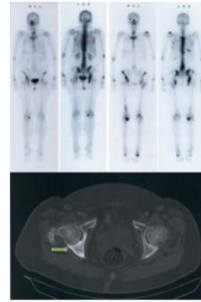
### priprema pacijenta

- krvna slika radi procene stanja koštane srži
- očekivano trajanje života veće od 3 meseca



Breast Care 2012;7:100-107  
Published online: April 24, 2012  
DOI: 10.1159/000337634

A patient with prostate cancer. WB bone scan 2 h with  $^{99m}\text{Tc-DPD}$ . Multiple osteoblastic metastases are seen from both the anterior (a) and posterior (b) projection. Post-therapy whole-body scan (c, d) 24 h after application of the second treatment with  $^{152}\text{Sm-EDTMP}$ . The cumulative activity of both treatments was 6.7 GBq. The scan shows mild progression of the bony lesions. The PSA level increased up to 2.10 ng/ml, from the staging scan to 5 months after the second treatment. The patient is pain free since the first therapy.



A female patient with breast cancer. WB bone scan with  $^{99m}\text{Tc-DPD}$ .

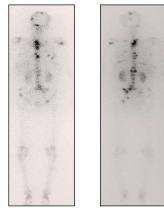
Last post-therapy whole-body scan 23 h after intravenous injection of 3.2 GBq  $^{152}\text{Sm-EDTMP}$ .

Mild progressive disease after a cumulative activity of 17.0 GBq  $^{152}\text{Sm-EDTMP}$ ; cancer antigen (Ca) 15-3 was increased from 65.5 U/ml (staging scan) to 175 U/ml 15 months later; (e) Computed tomography of the pelvis after the third  $^{152}\text{Sm-EDTMP}$  and continuous bisphosphonate therapy, showing calcification of a large, mainly lytic lesion of the pelvis (arrow).

Breast Care 2012;7:100-107 Published online: April 24, 2012  
DOI: 10.1159/000337634

## $^{188}\text{Re-HEDP}$

- Bone pain palliation agent
- Economical
- Effective (>70%)
- Image



Re-188-HEDP (M/71 yr) SNUH

11

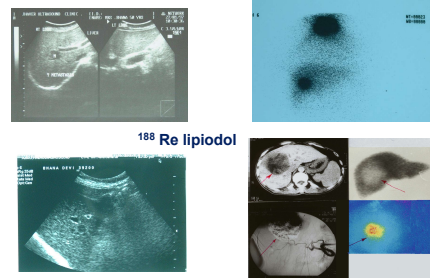
## Treatment of liver metastases and HCC

- Intraarterial application of rph.

### RADONUKLIDNA TERAPIJA MALIGNIH TUMORA HEPATOBILIARNOG SISTEMA I PANKREASA

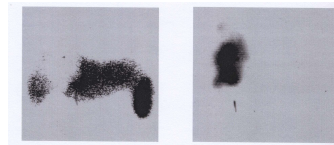
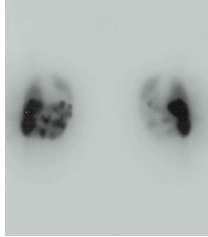
Bolest/patološko stanje/klinički sindrom	Radiofarmak	Način preuzimanja radiofarmaka
Primarni i sekundarni maligni tumori jetre	$^{177}\text{Lu}$ -lipiodol / $^{90}\text{Y}$ -mikrosfere	zadržavanje radiofarmaka u sitnim krvnim sudovima tumora posle katekterizacije hepatičke arterije
NET pankreasa, jetre, itd.	$^{90}\text{Y}$ / $^{177}\text{Lu}$ -analogi somatostatina	vezivanje za somatostatinske receptore

## Ca štitaste žlezde-metastaze u jetri



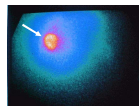
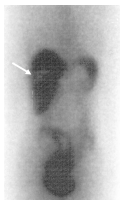
$^{188}\text{Re}$  lipiodol

### <sup>131</sup>I lipiodol u karcinoidu



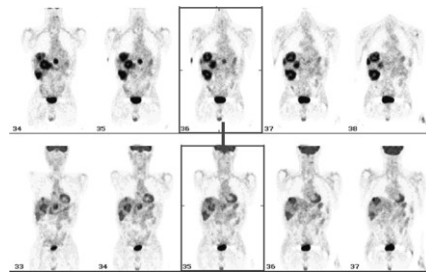
Scintigrafija (<sup>99m</sup>Tc Sn koloid) pokazuje defekt vezivanja radiofarmaka na mestu karcinoma. b) Scintigrafija (<sup>131</sup>I lipiodol, intraarterijski) pokazuje preuzimanje u karcinomu jetre.

### Rhenium-188 Lipiodol



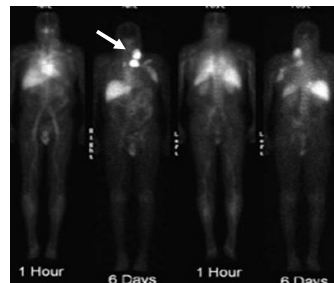
a) Scintigrafija (<sup>99m</sup>Tc Sn koloid) pokazuje defekt vezivanja radiofarmaka na mestu karcinoma. b) Scintigrafija (Rhenium-188 lipiodol, intraarterijski) pokazuje preuzimanje u karcinomu jetre.

### FDG PET pre (A) i posle (B) intraarterijskog ubrizgavanja <sup>90</sup>Y-staklenih microsfera



### RADIONUKLIDNA TERAPIJA U HEMATOLOGIJI

Indekspatološko stanje/klinički sindrom	Radiofarmak	Način preuzimanja radiofarmaka
CD 20 pozitivni B-ćelinski NHL (indolentni ili transformisani) 1. koji imaju recidiv nakon prethodne terapije (Rituximab) ili su refraktarni, 2. kao konsolidacija nakon prve terapijske linije ovih tumora.	antitela na CD 20 antigen malignih B limfocita, obelazena tritijumom-90 ( <sup>90</sup> Ti) ili indijem-111 ( <sup>111</sup> In) (ovaj metod: radiomoterapija)	vezivanje obelazanih antitela na tumorski antigen na malignim B limfocitima
Policitemija vera (PV)	Indij-111 ( <sup>111</sup> In) u formi natrijum-ortofosfata (NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	aktivna inkorporacija <sup>111</sup> In u nuklearne kromatinne ćelije koje brzo proliferiraju
Esencijalna trombocitemija (ET)	Indij-111 ( <sup>111</sup> In) u formi natrijum-ortofosfata (NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	aktivna inkorporacija <sup>111</sup> In u nuklearne kromatinne ćelije koje brzo proliferiraju
Multipli mijelom	Monoklonna anti-CD138 antitela obelazena tritijumom-90 ili indijem-111	vezivanje obelazanih antitela na tumorski antigen CD138 mijeloidnih ćelija
Leukemija, multipli mijelom, limfom (u okviru autologe transplantacije matičnih ćelija hematopoeze)	ligand za hemotoksin (ciklički) receptor 4 (CCR4), obelazeni tritijumom-90 ili indijemom-111	vezivanje radioliganda za receptor (CCR4)



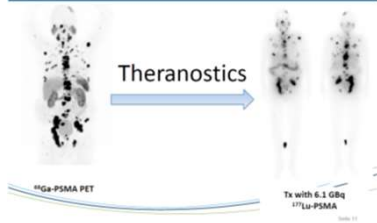
Non-Hodgkin lymphoma, povećano vezivanje In-111-ibritumomab tiuxetan. Indikovano aplikovati Y-90-ibritumomab tiuxetan.

Seminars in Nuclear Medicine was used, Volume 34, Number 1 (Supplement 1).

**RADIONUKLIDNA TERAPIJA KARCINOMA**

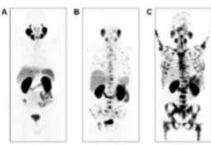
Rakot/patološko stanje/ klinički sindrom	Radiofarmak	Način prezentiranja radiofarmaka
Metastaze u kostima  indolentna faza karcinoma prostate, dojke, pluća, hudega, mokraćne bežike, štitaste žlezde i multipleg mieloma)	stroncijem-89 klorid (napolce)  samarium-153, rentium-186, kalij-187m;  alfa emiter: radijem-223 klorid ( <sup>223</sup> RaCl <sub>2</sub> )	stroncijem-89 (napolce) se vezuje na kristalina hidroksapatita u kostima, isto važi i za <sup>153</sup> Sa
Steatitida (čud reumatoidnog i psoriatičnog artritisu, infektivnih bolesti, zglobova, hemofilije artropatije, posttraumatske efekte nakon ugrađivanja zglobnih proteza).	Stroncij-90 klorid/citrat, rentium-186 klorid, erbijum-169 citrat  (ortofosforna kiselina <sup>32</sup> P, artritis ramena, lakta, rukuog i skočnog zglobova <sup>90</sup> Y, artritis malih zglobova laka <sup>32</sup> P)	Spječena radiokoloida dimenzija 0,05-2 μm, distribucija intravaskularno ubrizgavan, od strane sinovije zglobova
Rakot/patološko stanje/ klinički sindrom	Radiofarmak	Način prezentiranja radiofarmaka
Metastaze agresivnog karcinoma prostate	inhibitori PSMA (na bazi antiti) obdeljeni beta emiterima: Erbijumom-90, lutecijumom-177, ili alfa emiterima: Aktinijumom-225, aktinijumom-225);  radioantitela anti-PSMA antitela (ređe su u upotrebi)	Način prezentiranja radiofarmaka  vezivanje radioantitela inhibitora PSMA na PSMA  vezivanje anti-PSMA antitela na PSMA.

**PSMA therapy**  
As the last therapeutic option



Bojlat Ahmadzadehfar, MD, MSc

**Radioligand Therapy**  
using <sup>177</sup>Lu-PSMA-617  
Dosimetry



Tumor level	low	medium	high
PSA	4.8 ng/ml	454 ng/ml	2800 ng/ml
Success	2	8	9
ROI%	63.4 %	70.8 %	75.8 %

Geetha et al. Journal of Nuclear Medicine in Oncology, 2017, 14(8), 100-107, doi:10.1007/s12076-017-0812-0

Bojlat Ahmadzadehfar, MD, MSc



**HVALA NA PAŽNJI!**

**RADIATION PROTECTION OF THE PATIENTS IN  
NUCLEAR MEDICINE FACILITIES**

ZAŠTITA OD ZRAČENJA PACIJENATA U NUKLEARNOMEDICINSKIM  
ISPITIVANJIMA

Prof. Dragana Šobić Saranović



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.  
[EUQUAN] ERASMUS+ JMO 2021 HED-TON-RICH



**PROTECTION OF THE PATIENT**

- **Justification** The goal of justification is to avoid unnecessary nuclear medicine procedure, which would result in patient being unnecessary exposed to ionizing radiation and its potential risks.
- **Optimization** Once justified, the nuclear medicine procedure should be optimized and performed such that the exposure of the patient is managed in order to achieve the medical objective.
- **Radioactive dose per body mass**
- **Appropriate design of medical equipment and software**

## PATIENT EXAMINATION

Movable shield  
Lead apron



## MONITORING

**Personal**  
(effective dose, extremity dose & contamination)

**Workplace**  
(external dose rate & contamination)

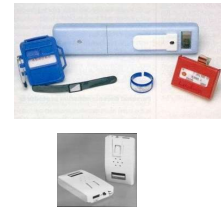


## Individual monitoring

- control of radiation exposure
- assessment of optimization principle
- identifies high doses
- assessment of working practices

Different types of personal  
dosimeters for monitoring  
external exposure

- film
- thermoluminescence  
dosimeters (TLD)
- "electronic" dosimeters



## TLD



## Workplace Monitoring Programmes

- Provide information which allows :
- evaluation of radiation conditions
  - assessment of potential exposures
  - ongoing review of classification of controlled and supervised areas



## Workplace Monitoring instruments



## Workplace Monitoring Instruments



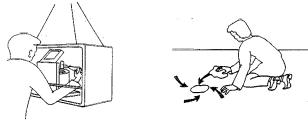
Count rate meters for contamination detection purposes

Dose rate meters for measuring dose rate

## Local rules and supervision of workflow

Written and practiced local rules

- normal working conditions
- incidents and accidents



## EDUCATION AND TRAINING

Personnel shall be instructed in radiation protection before assuming duties with, or in the vicinity of radioactive materials, during annual refresher training, and whenever there is a significant change in duties, regulations, terms of the license, or type of radioactive material or instruments used.



## HEALTH SURVEILLANCE

Baseline, prior to employment

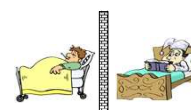
Periodical, every year



## RADIATION PROTECTION OF THE STAFF IN NUCLEAR MEDICINE FACILITIES

ZAŠTITA OD ZRAČENIA OSOBLJA U NUKLEARNOMEDICINSKIM ISPITIVANJIMA

Dr. Aida Afgan



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

## PROTECTION OF THE PATIENT

- **Justification** The goal of justification is to avoid unnecessary nuclear medicine procedure, which would result in patient being unnecessarily exposed to ionizing radiation and its potential risks.
- **Optimization** Once justified, the nuclear medicine procedure should be optimized and performed such that the exposure of the patient is managed in order to achieve the medical objective.
- **Radioactive dose per body mass**
- **Appropriate design of medical equipment and software**



## Radiation protection of workers in nuclear medicine



## CLASSIFICATION OF AREAS

- Controlled area
- Supervised area



## CLASSIFIED AREAS

### Controlled areas:



- Room for preparation of radiopharmaceuticals
- Room for dispensing radiopharmaceuticals
- Room for storage of radionuclides
- Room for storage of radioactive waste
- Room for administration of radiopharmaceuticals
- Imaging rooms, if or when administration is done

### Supervised areas:

- The whole department

## EXPOSURES IN NUCLEAR MEDICINE

Internal  
Ingested and/or inhaled  
radionuclides

External  
Vials, syringes, patients



## Exposure of the worker

- Unpacking radioactive material
- Activity measurements
- Storage of sources
- Internal transports of sources
- Preparation of radiopharmaceuticals
- Administration
- Examination of the patient
- Care of the radioactive patient
- Handling of radioactive waste



### Contamination of the worker

- spills
- improper administration



### Personal protective equipment Safe handling of sources

### Radiation Protection Measures:

Depend on:

- activities used
- type of radionuclide and its chemical properties
- type of procedure

### Radiation Protection Measures

- Time
- Distance
- Shielding

### Time

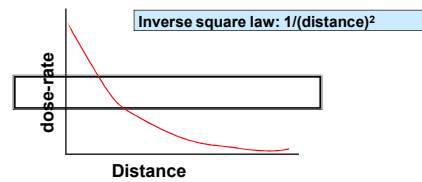
Dose is proportional to the time exposed



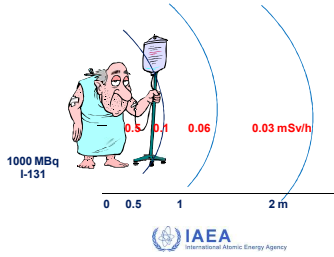
$$\text{Dose} = \text{Dose-rate} \times \text{Time}$$



### Distance



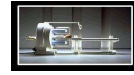
### Patient with iodine-131



IAEA International Atomic Energy Agency

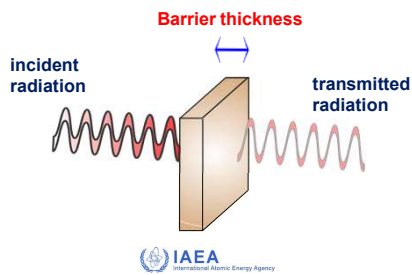
### Consequence

- Distance is very efficient for radiation protection as the dose falls off in square
- Examples:
  - long tweezers for handling of sources
  - big rooms for imaging equipment

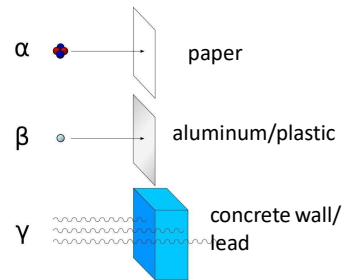


IAEA International Atomic Energy Agency

### Shielding



IAEA International Atomic Energy Agency



### Shielding



Bench top shield  
Vial shields  
Syringe shields

### PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT PROTECTIVE CLOTHING



Appropriate clothing should as a minimum include lab coat and gloves.

## ADMINISTRATION



Syringe shield  
Gloves  
Lead apron  
Absorbing pads

## EDUCATION AND TRAINING

Personnel shall be instructed in radiation protection before assuming duties with, or in the vicinity of radioactive materials, during annual refresher training, and whenever there is a significant change in duties, regulations, terms of the license, or type of radioactive material or instruments used.



## HEALTH SURVEILLANCE

Baseline, prior to employment

Periodical, every year



HVALA!!!