

# Primjena zračenja u medicini

---

Štoos, Barbara

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:275320>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-26**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Barbara Štoos

# **PRIMJENA ZRAČENJA U MEDICINI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2018.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Barbara Štoos

# **APPLICATION OF RADIATION IN MEDICINE**

Finalpaper

Karlovac, 2018

Veleučilište u Karlovcu

Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Barbara Štoos

# **PRIMJENA ZRAČENJA U MEDICINI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.**sc.** Slaven Lulić, v. pred.

Karlovac, 2018.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J. Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij: Stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu,

Karlovac, 2018.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Barbara Štoos

Naslov: Primjena zračenja u medicini

Opis zadatka:

Tema završnog rada je primjena zračenja u medicini. U prvom dijelu rada opisuje se zračenje, vrste zračenja, te nešto opširnije o ionizirajućem zračenju. Opisane su vrste ionizirajućeg zračenja kao i načini mjerenja ionizirajućeg zračenja. Također i izvori i utjecaj ionizirajućeg zračenja na čovjeka te zaštita od ionizirajućeg zračenja. Nakon toga objašnjeni su rendgenski uređaji u medicini, vrste uređaja, osnovni dijelovi uređaja i na kraju pretrage koje se koriste njima.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

12/ 2017.

1/ 2018

Mentor:

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

dr.sc. Slaven Lulić, v. pred.

## PREDGOVOR

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći se navedenim izvorima podataka i stečenim znanjem za vrijeme studija.*

*Zahvaljujem svom mentoru Slavenu Luliću, dipl. ing. na ukazanom povjerenju i pruženoj pomoći tijekom izrade završnog rada.*

*Također bih željela zahvaliti svojim roditeljima i prijateljima na potpori i razumijevanju tokom cijelog studija.*

## SAŽETAK

Tema završnog rada je primjena zračenja u medicini. U prvom dijelu rada opisuje se zračenje, vrste zračenja, te nešto opširnije o ionizirajućem zračenju. Opisane su vrste ionizirajućeg zračenja kao i načini mjerenja ionizirajućeg zračenja. Također i izvori i utjecaj ionizirajućeg zračenja na čovjeka te zaštita od ionizirajućeg zračenja. Nakon toga objašnjeni su rendgenski uređaji u medicini, vrste uređaja, osnovni dijelovi uređaja i na kraju rada pretrage koje se koriste njima.

## SUMMARY

The subject of the final work is the application of radiation in medicine. The first part of the paper describes the radiation, the types of radiation, and some more about ionizing radiation. The types of ionizing radiation as well as the ways of measuring ionizing radiation are described. Also, the sources and influence of ionizing radiation on humans and protection against ionizing radiation. After that, X-ray devices in medicine, device types, basic parts of the device and at the end of the subject the scan that are used.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. ZRAČENJE .....	2
2.1 Neionizirajuće zračenje .....	4
2.2 Ionizirajuće Zračenje .....	4
2.2.1 Vrste ionizirajućeg zračenja .....	6
2.2.1.1. Alfa čestice .....	6
2.2.1.2 Beta čestica .....	8
2.2.1.3 Gama zrake .....	9
2.2.1.4 X-zrake .....	10
2.3 MJERENJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA.....	12
2.4 Izvori Ionizirajućeg Zračenja .....	13
2.4.1 Prirodni Izvori Ionizirajućeg Zračenja .....	13
2.4.2 Umjetni izvori ionizirajućeg zračenja .....	14
2.5 Izloženost Zračenju .....	14
3. UTJECAJ ZRAČENJA NA ČOVJEKA .....	15
3.1 Deterministički.....	16
3.2. Stohastički.....	17
4. ZAŠTITA OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA.....	17
4.1 Zakonodavna Zaštita.....	18
4.2 Fizikalno-Tehnička Zaštita .....	18
4.3 Kemijska Zaštita.....	18
4.4 Biološka Zaštita.....	19
4.5 Znanstvena Istraživanja .....	19
4.6 Drugi oblici (mogućnosti) zaštite od zračenja .....	19
5. PRIMJENA ZRAČENJA .....	19
5.1 Ultrazvučna dijagnostika .....	21
5.2 Angiografija i intervencijska radiologija .....	24
5.3 Kompjutorska tomografija (CT) .....	26
5.4 Magnetska rezonancija .....	28
6.ZAKLJUČAK.....	32



# 1. UVOD

U prirodi nalazimo više od 90 prirodnih kemijskih elemenata, a ti elementi, u elementarnim stanjima, kemijskim spojevima ili smjesama, sačinjavaju sve žive i nežive tvari na Zemlji. Osnovna građevna jedinica svake tvari je atom. Atom se sastoji od elektronskog omotača i atomske jezgre. U ljuskama elektronskog omotača nalaze se negativno nabijeni elektroni, a u atomskoj jezgri pozitivno nabijeni protoni i nenabijeni neutroni. Svaki atom u prirodi nalazi se u ravnotežnom odnosu elektrona i protona te kao cjelina atom nema naboj. Zbog vanjskog djelovanja na atom, može se izbaciti elektron iz elektronskog omotača pri čemu se narušava ravnoteža naboja u atomu, pa se atom ukupno pokazuje kao pozitivno nabijen. Atom nabijen s pozitivnim nabojem +1 nazivamo ion, a proces nastanka iona ionizacija. Zračenje koje može uzrokovati ionizaciju nazivamo ionizirajuće zračenje.

**PERIODNI SUSTAV ELEMENATA**

PERIODA	SKUPINA	1	2	13	14	15	16	17	18										
1	I A	1 <b>H</b> 1,008 VODIK							2 <b>He</b> 4,0026 HELIJ										
2	I A	3 <b>Li</b> 6,94 LITIJ	2 <b>Be</b> 9,0122 BERILIJ						10 <b>Ne</b> 20,180 NEON										
3	I A	11 <b>Na</b> 22,990 NATRIJ	2 <b>Mg</b> 24,305 MAGNEZIJ	13 <b>B</b> 10,811 BOR	14 <b>C</b> 12,011 UGLJIK	15 <b>N</b> 14,007 DUŠIK	16 <b>O</b> 15,999 KISIK	17 <b>F</b> 18,998 FLUOR	18 <b>Ar</b> 39,948 ARGON										
4	I A	19 <b>K</b> 39,098 KALIJ	2 <b>Ca</b> 40,078 KALCIJ	3 <b>Sc</b> 44,956 SKANDIJ	4 <b>Ti</b> 47,867 TITANIJ	5 <b>V</b> 50,942 VANADIJ	6 <b>Cr</b> 51,996 KROM	7 <b>Mn</b> 54,938 MANGAN	8 <b>Fe</b> 55,845 ŽELJEZO	9 <b>Co</b> 58,933 KOBALT	10 <b>Ni</b> 58,693 NIKAL	11 <b>Cu</b> 63,546 BAKAR	12 <b>Zn</b> 65,38 CINK	13 <b>Ga</b> 69,723 GALIJ	14 <b>Ge</b> 72,64 GERMANIJ	15 <b>As</b> 74,922 ARSEN	16 <b>Se</b> 78,971 SELENIJ	17 <b>Br</b> 79,904 BROM	18 <b>Kr</b> 83,798 KRIPTON
5	I A	37 <b>Rb</b> 85,468 RUBIDIJ	2 <b>Sr</b> 87,62 STRONCIJ	3 <b>Y</b> 88,906 ITRIJ	4 <b>Zr</b> 91,224 CIRKONIJ	5 <b>Nb</b> 92,906 NIOBIJ	6 <b>Mo</b> 95,95 MOLIBDEN	7 <b>Tc</b> (98) TEHNECIJ	8 <b>Ru</b> 101,07 RUTENIJ	9 <b>Rh</b> 102,91 RUDIJ	10 <b>Pd</b> 106,42 PALADIJ	11 <b>Ag</b> 107,87 SREBRO	12 <b>Cd</b> 112,41 KADMIJ	13 <b>In</b> 114,82 INDIJ	14 <b>Sn</b> 118,71 KOSITAR	15 <b>Sb</b> 121,76 ANTIMON	16 <b>Te</b> 127,60 TELURIJ	17 <b>I</b> 126,90 JOD	18 <b>Xe</b> 131,29 KSENON
6	I A	55 <b>Cs</b> 132,91 CEZIJ	2 <b>Ba</b> 137,33 BARIJ	3 <b>La-Lu</b> 57-71 Lantanoidi	4 <b>Hf</b> 178,49 HAFNIJ	5 <b>Ta</b> 180,95 TANTAL	6 <b>W</b> 183,84 VOLFRAM	7 <b>Re</b> 186,21 RENIJ	8 <b>Os</b> 190,23 OSMIJ	9 <b>Ir</b> 192,22 IRIDIJ	10 <b>Pt</b> 195,08 PLATINA	11 <b>Au</b> 196,97 ZLATO	12 <b>Hg</b> 200,59 ŽIVA	13 <b>Tl</b> 204,38 TALIJ	14 <b>Pb</b> 207,2 OLUVO	15 <b>Bi</b> 208,98 BIZMUT	16 <b>Po</b> (209) POLONIJ	17 <b>At</b> (210) ASTAT	18 <b>Rn</b> (222) RADON
7	I A	87 <b>Fr</b> (223) FRANCIJ	2 <b>Ra</b> (226) RAĐIJ	3 <b>Ac-Lr</b> 89-103 Aktinoidi	4 <b>Rf</b> (267) RUTHERFORDIJ	5 <b>Db</b> (268) DUBNIJ	6 <b>Sg</b> (271) SEABORGIJ	7 <b>Bh</b> (272) BOHRIJ	8 <b>Hs</b> (277) HASSIJ	9 <b>Mt</b> (276) MEITNERIJ	10 <b>Ds</b> (281) DARMŠTADTIJ	11 <b>Rg</b> (280) RENDGENIJ	12 <b>Cn</b> (285) KOPERNICIJ	13 <b>Nh</b> (285) NHOKIJ	14 <b>Fl</b> (287) FLEROVIJ	15 <b>Mc</b> (289) MOSKOVIJ	16 <b>Lv</b> (291) LIVNERGIJ	17 <b>Tn</b> (294) TENESIJ	18 <b>Og</b> (294) OGANESON
LANTANOIDI																			
		57 <b>La</b> 138,91 LANTAN	58 <b>Ce</b> 140,12 CERIJ	59 <b>Pr</b> 140,91 PRASEODIMIJ	60 <b>Nd</b> 144,24 NEODIMIJ	61 <b>Pm</b> (145) PROMETIJ	62 <b>Sm</b> 150,36 SAMARIJ	63 <b>Eu</b> 151,96 EUROPIJ	64 <b>Gd</b> 157,25 GADOLINIJ	65 <b>Tb</b> 158,93 TERBIJ	66 <b>Dy</b> 162,50 DISPROZIJ	67 <b>Ho</b> 164,93 HOLMIJ	68 <b>Er</b> 167,26 ERBIJ	69 <b>Tm</b> 168,93 TULIJ	70 <b>Yb</b> 173,05 ITEBRIJ	71 <b>Lu</b> 174,97 LUTECIJ			
AKTINOIDI																			
		89 <b>Ac</b> (227) AKTINIJ	90 <b>Th</b> 232,04 TORIJ	91 <b>Pa</b> 231,04 PROTAKTINIJ	92 <b>U</b> 238,03 URANIJ	93 <b>Np</b> (237) NEPTUNIJ	94 <b>Pu</b> (244) PLUTONIJ	95 <b>Am</b> (243) AMERICIJ	96 <b>Cm</b> (247) KURIJ	97 <b>Bk</b> (247) BERKELIJ	98 <b>Cf</b> (251) KALIFORNIJ	99 <b>Es</b> (252) ENSTETIJIJ	100 <b>Fm</b> (257) FERMIJ	101 <b>Md</b> (258) MENDELEVIJ	102 <b>No</b> (259) NOBELIJ	103 <b>Lr</b> (262) LAVRENCIJ			

Copyright © 2017 Eit GmbH

Sl. 1 Periodni sustav elemenata

Izvor: <https://www.periodni.com/hr/images.htm>

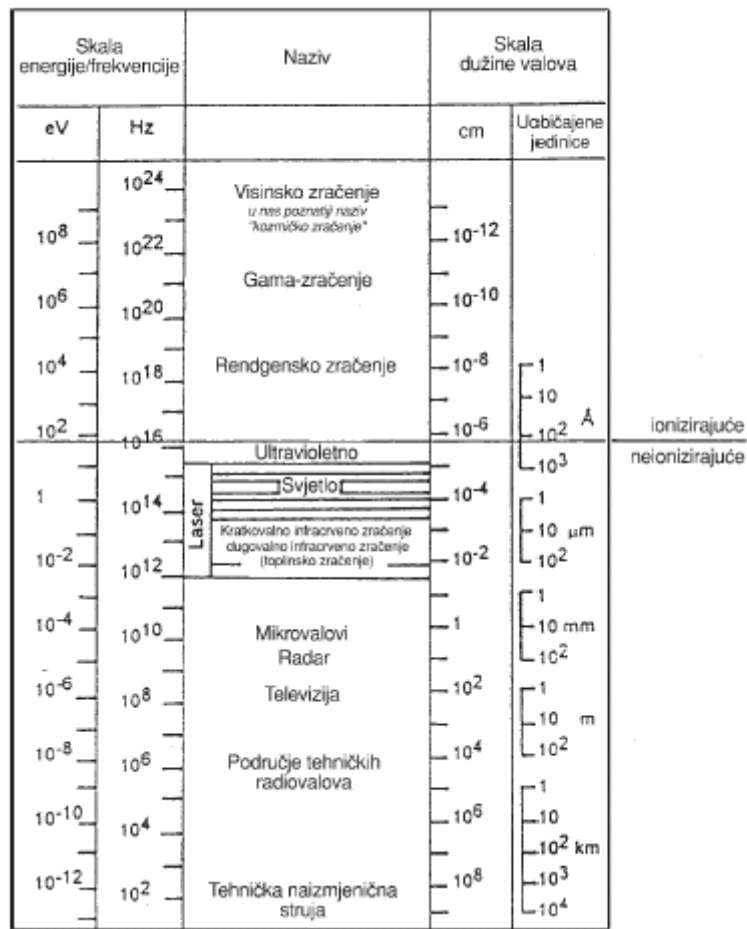
## 2. ZRAČENJE

Zračenje ili radijacija je proces u kojem energetske čestice ili energetski valovi putuju kroz vakuum ili materiju koja nije neophodna za njihovo prostiranje. Valovi samog medija, poput vode ili zvučnih valova, obično se ne smatraju zračenjem u tom smislu.

Zračenje se može podijeliti na ionizirajuće i neionizirajuće zračenje ovisno o tome da li ionizira okolnu tvar. Čestice ili valovi zrače od izvora zračenja. Ovaj je aspekt doveo do sustava mjera i fizičkih jedinica koje se mogu primijeniti na sve vrste zračenja. Budući da se zračenje širi dok prolazi kroz prostor, a njegova energija se održava, moć svih vrsta zračenja je obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti od izvora.

Elektromagnetsko zračenje je fizikalna pojava širenja električnih i magnetskih valova, odnosno ultrasitnih čestica zvanih fotoni. Fotoni su čestice bez mase koje se gibaju brzinom svjetlosti ( $3 \cdot 10^8$  m/s) i sadrže određenu količinu energije. Elektromagnetski valovi svrstani su u elektromagnetski spektar koji se proteže od valova najmanje frekvencije i najveće valne dužine do valova najveće frekvencije i najmanje valne dužine. Energija valova, odnosno fotona, veća je što je veća frekvencija titraja valova i što je kraća valna dužina. Elektromagnetski spektar dijeli se na dva dijela: neionizirajuće i ionizirajuće zračenje. Valovi, zrake velike energije, mogu iz ljuske atoma izbaciti elektrone i time ionizirati atom, zato se zovu ionizirajuće zrake. Ionizirajuće zrake su rendgenske (X-zrake), gama zrake, kozmičke zrake koje mogu štetno djelovati na ljudske stanice. Zrake manje energije su radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene i ultraljubičaste zrake koje nemaju te jačine da ioniziraju i zato se zovu neionizirajuće zrake. Njihovo djelovanje na organska tkiva, zbog slabe energije, može biti štetno pri dugom izlaganju, ali mnogo manje štetno od ionizirajućih zračenja.

## ELEKTROMAGNETSKI VALOVI



Sl. 2 Prikaz elektromagnetskog sustava

Izvor: [http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod\\_em.htm](http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod_em.htm)

Ionizirajuće i neionizirajuće zračenje može biti opasno po žive organizme i može dovesti do promjena u okolišu. Ionizirajuće zračenje je uglavnom mnogo štetnije po žive organizme po jedinici izražene energije od neioniziranog zračenja. Ultraljubičasto zračenje u nekim aspektima nalazi se u sredini, jer ima svojstva ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja. Iako svi spektri ultraljubičastog zračenja koji prođu kroz Zemljinu atmosferu su neionizirajući, ovo zračenje izaziva mnogo više štete mnogim molekulama u biološkim sustavima, nego što se može izazvati toplinskim efektima. Ova svojstva dolaze iz snage ultraljubičastog zračenja koje mijenja kemijske veze, iako nema dovoljno energije za ionizaciju atoma

## 2.1 Neionizirajuće zračenje

Neionizirajuće zračenje odnosi se na bilo koju vrstu elektromagnetskog zračenja koja nema dovoljno energije po kvantu da uzrokuje ionizaciju - to jest uklanjanje elektrona iz atoma ili molekule. Umjesto stvaranja iona prilikom prolaska kroz materiju, elektromagnetsko zračenje ima dovoljno energije samo za ekscitaciju, odnosno prelazak elektrona na više energetske stanje. Izvorne ionizirajućeg zračenja je svaki uređaj koji proizvodi jednu ili više vrsta neionizirajućeg zračenja. Međutim, pored uređaja koji proizvode neionizirajuće zračenje, postoji i zračenje uzrokovano prirodnim izvorima. Stoga možemo reći da postoji "tehničko" i "prirodno" neionizirajuće zračenje. Uočeni su različiti biološki efekti za različite vrste ne ionizirajućeg zračenja. U područje neionizirajućeg zračenja spada optičko zračenje, ultraljubičasto zračenje, infracrveno zračenje, vidljivi spektar, radiovalovi, mikrovalno zračenje, zračenje ekstremno niskih frekvencija.

## 2.2 Ionizirajuće Zračenje

Ionizirajuće zračenje je pojava prijenosa energije u obliku fotona (kvanti elektromagnetskog zračenja) ili masenih čestica, a koje ima dovoljno energije da u međudjelovanju s kemijskom tvari ionizira tu tvar.

Atomi i molekule normalno se nalaze u neutralnom stanju, tj broj pozitivnih protona u jezgri jednak je broju negativnih elektrona u ljusci. Ako atom, uslijed sudara s drugom česticom (npr. fonom, drugim elektronom, jezgrom helija), izgubi elektron, rezultirajući atom naziva se ion i njegova svojstva se uvelike razlikuju od originalnog atoma. Čestice koje imaju dovoljno energije da izbace elektron iz ljuske nazivaju se ionizirajuće zračenje. Ionizirajuće zračenje može biti produkt radioaktivnog raspada, nuklearne fisije, nuklearne fuzije, ekstremno toplih objekata i ubrzanih naboja. Kako bi zračenje bilo ionizirajuće, čestice moraju imati dovoljno energije i mogućnost reagiranja s elektronima. Fotoni snažno reagiraju s nabijenim česticama pa su fotoni s dovoljnom količinom energije ionizirajući. Nivo energije na kojem fotoni postaju ionizirajući nalazi se u ultraljubičastom dijelu elektromagnetskog spektra. Nabijene čestice kao što su elektroni, pozitroni i alfa čestice također

snažno reagiraju s elektronima. Neutroni, s druge strane, slabo reagiraju s elektronima pa ne mogu direktno ionizirati atome. Neutroni mogu reagirati s atomskom jezgrom (ovisno o jezgri i brzini neutrona) i tako proizvesti nestabilne radioaktivne jezgre koje pri raspadu emitiraju ionizirajuće zračenje. Kako bi se jezgra radioaktivnog atoma stabilizirala, ona emitira subatomske čestice i visoko-energetske fotone. Taj proces se naziva radioaktivni raspad. Negativno nabijeni elektroni i pozitivno nabijene jezgre stvorene ionizirajućim zračenjem mogu uzrokovati oštećenje živog tkiva. Ako je doza zračenja dovoljno velika, učinak se može vidjeti gotovo odmah, u obliku radijacijskog trovanja. Niže doze mogu uzrokovati karcinom i druge dugoročne probleme. Učinak vrlo malih doza ionizirajućeg zračenja još uvijek je predmet rasprava. Radioaktivni materijali obično emitiraju alfa čestice (čestice slične jezgri helija), beta čestice (elektroni ili pozitroni koji se gibaju velikom brzinom) ili gama zrake. Alfa i beta čestice mogu biti zaustavljene listom papira ili tankom čeličnom pločom. Najviše oštećenja uzrokuju ako se emitiraju unutar ljudskog tijela. Gama zrake su slabije ionizirajuće od alfa i beta čestica, ali zahtijevaju deblju zaštitu (olovne ploče). Gama zrake uzrokuju oštećenja slična X-zrakama: opekline, karcinom i genetske mutacije. Ionizirajuće zračenje posljedica je promjene stanja materije u mikrosvijetu. To su promjene u energiji ili u sastavu atoma ili atomske jezgre, pri čemu se emitiraju fotoni ili druge čestice. U međudjelovanju s tvari dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari. Takve posljedice mogu biti korisne, ali i vrlo štetne. Ionizirajuće zračenje je pojava za koju ljudska osjetila nisu razvijena, za razliku od mnogih drugih pojava u prirodi. Izravne posljedice djelovanja ionizirajućeg zračenja na živi svijet većinom su zakašnjele i teško ih je povezati s uzrokom. Čovjek može biti izložen i smrtonosnoj dozi ionizirajućeg zračenja, a da u samom trenutku ozračivanja ništa ne osjeti. Posljedice ozračivanja, bez osjetilne veze s uzrokom zapažaju se tek nakon nekog vremena, od nekoliko sati do nekoliko dana ili čak godina, što ovisi o vrsti i svojstvima tog zračenja. Otuda je razumljiv čovjekov strah, a poznavanje osnovnih svojstava ionizirajućeg zračenja, međudjelovanja zračenja s tvari, a posebno djelovanja zračenja na živa bića, je neobično

važno u stručnom i psihološkom smislu. Ionizirajuće zračenje se može sastojati od snopa čestica visokih energija (protona, alfa-čestica ili beta-čestica) ili elektromagnetskoga zračenja visoke frekvencije (gama-zračenje, rendgensko zračenje, ultraljubičasto zračenje). Ionizirajuće zračenje može imati poguban učinak na molekule tvari, a posebno na biološka tkiva.

### 2.2.1 Vrste ionizirajućeg zračenja

Glavne vrste ionizirajućeg zračenja nastaju kao rezultat spontanog raspada radioaktivnih atoma. Jezgre takvih atoma mogu mijenjati strukturu i time emitirati energiju u tri glavna oblika:

- alfa čestice
- beta čestice
- gama zrake

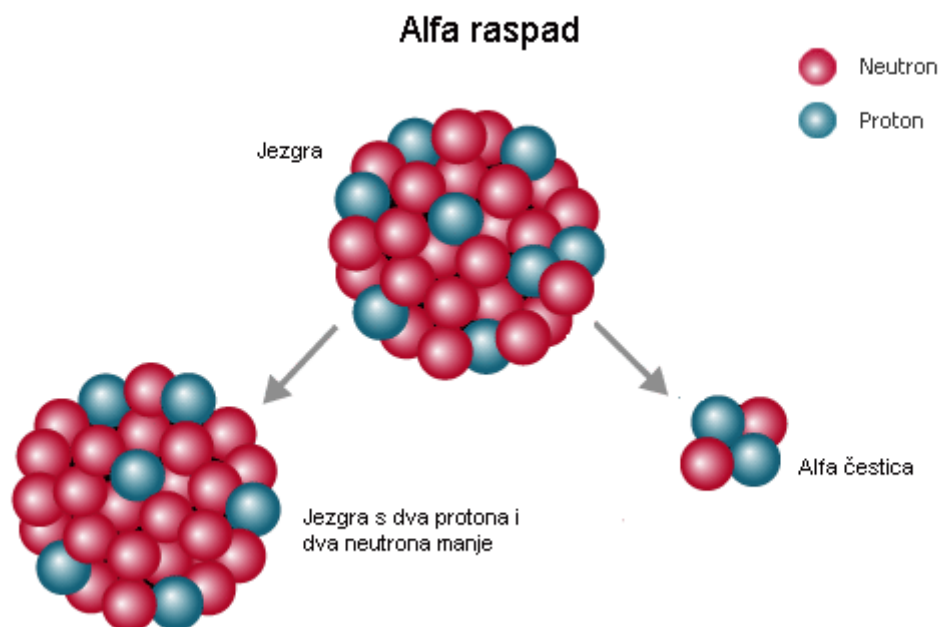
Još jedna važna vrsta ionizirajućeg zračenja, X-zrake, rezultat je procesa izvan jezgre, tj. emitiraju ih elektroni iz ljuske atoma.

Alfa i beta čestice su atomi ili subatomske čestice koje imaju energiju i naboj te mogu direktno reagirati s elektronima kroz coulombove sile pa se nazivaju direktno ionizirajućim zračenjem. Gama zrake i X-zrake su elektromagnetske zrake, električki neutralne pa ne mogu reagirati s elektronima i stoga se nazivaju indirektno ionizirajućim zračenjem.

#### 2.2.1.1. Alfa čestice

Alfa čestica identična je jezgri helija, a sastoji se od dva protona i dva neutrona. To je relativno teška i visoko-energetska subatomska čestica sa pozitivnim nabojem +2 zbog svoja dva protona. Brzina alfa čestice u zraku je otprilike jedna dvadesetina brzine svjetlosti. Kad je omjer neutrona i protona u jezgri određenih atoma prenizak, oni emitiraju alfa česticu kako bi uspostavili ravnotežu. Naprimjer: polonij-210 ima 126 neutrona i 84 protona što je omjer od 1.50 naprema 1. Nakon radioaktivnog raspada emitiranjem alfa čestice, omjer postaje 124 neutrona naprema 82 protona ili 1.51 naprema 1. Budući

da broj protona u jezgri određuje element, polonij-210 nakon emisije alfa čestice postaje olovo-206 koji je stabilan element.



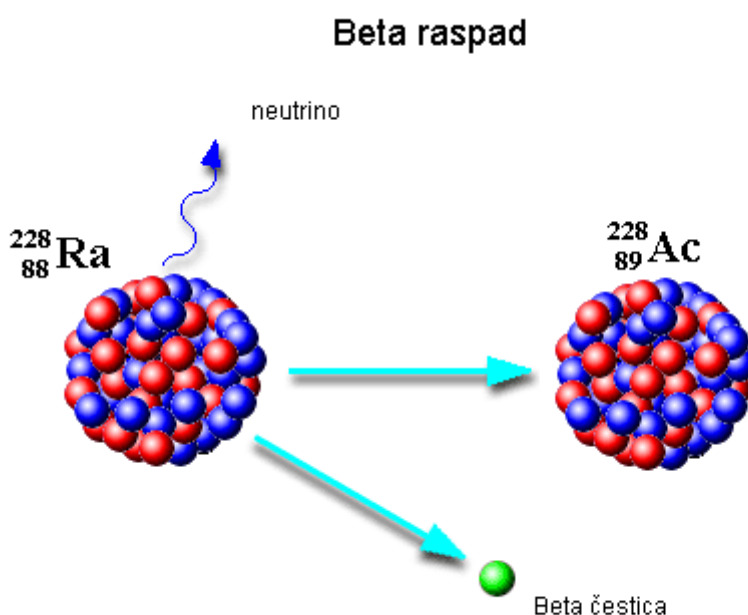
Sl. 3 Prikaz alfa raspada

Izvor: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/alfa.htm>

Atomi koji emitiraju alfa čestice uglavnom su vrlo veliki atomi, tj. imaju visoke atomske brojeve. Mnogo je prirodnih i umjetnih radioaktivnih elemenata koji emitiraju alfa čestice. Prirodni izvori alfa čestica imaju atomski broj najmanje 82, uz neke iznimke. Najvažniji alfa emiteri su: americij-241 (atomski broj 95), plutonij-236 (94), uran-238 (92), torij-232 (90), radij-226 (88), radon-222 (86). Alfa emiteri su prisutni u različitim količinama u gotovo svim stijenkama, tlu i vodi. Nakon emisije, alfa čestice se zbog velike mase i električnog naboja gibaju relativno sporo (otprilike 1/20 brzine svjetlosti) i u zraku potroše svu energiju nakon nekoliko centimetara i tada vežu slobodne elektrone i postaju helij. Pozitivan naboj alfa čestica može biti koristan u nekim industrijskim procesima. Naprimjer, radij-226 se koristi za liječenje karcinoma. Polonij-210 služi za neutraliziranje statičkog elektriciteta u mnogim industrijama. Alfa čestice zbog svog pozitivnog naboja privlače slobodne elektrone i tako smanjuju statički naboj.

### 2.2.1.2 Beta čestica

Beta čestice su ekvivalentne elektronima. Razlika je u tome što beta čestice potječu iz jezgre, a elektroni se nalaze u omotaču. Beta čestice imaju električni naboj -1. Masa beta čestice iznosi otprilike 1/2000 mase protona ili neutrona. Brzina pojedinačne beta čestice ovisi o tome koliko energije ima i varira u širokom opsegu. Iako beta čestice emitiraju radioaktivni atomi, one same po sebi nisu radioaktivne. Njihova energija u obliku brzine nanosi štetu živim stanicama tako što razbija kemijske veze i stvara ione.



Sl. 4 Prikaz beta raspada

Izvor: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/beta.htm>

Emisija beta čestice događa se kada je omjer neutrona i protona u jezgri prevelik. Znanstvenici smatraju da se neutron transformira u proton i elektron, s tim da proton ostaje u jezgri, a elektron se izbacuje. Proces smanjuje broj neutrona za jedan i povećava broj protona za jedan i tako nastaje novi element. Beta čestica često je praćena i emisijom gama zrake. Nakon izbacivanja beta čestice jezgra još uvijek ima višak energije koju otpušta u obliku gama fotona. Radioaktivni raspad tehneacija-99, koji ima previše neutrona da bi bio



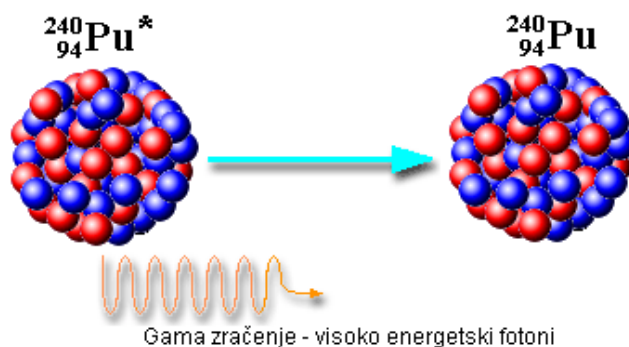
stabilan, je primjer beta raspada. Ostali značajniji beta emiteri su: fosfor-32, tritij, ugljik-14, stroncij-90, kobalt-60, jod-129 i 131, cezij-137. Beta emiteri imaju mnoge upotrebe, osobito u medicinskoj dijagnostici i liječenju (fosfor-32 i jod-131), ali i u raznim industrijskim instrumentima koji služe za mjerenje debljine vrlo tankih materijala. Beta čestice u zraku putuju nekoliko desetaka centimetara i lako se zaustavljaju čvrstim materijalima. Kada beta čestica ostane bez energije, ponaša se kao bilo koji drugi slobodni elektron.

### 2.2.1.3 Gama zrake

Gama zraka je paket elektromagnetske energije, tj. foton. Gama fotoni su fotoni s najviše energije u elektromagnetskom spektru. Emitiraju ih jezgre nekih radioaktivnih atoma.

Gama fotoni nemaju masu ni električni naboj, ali imaju vrlo visoku energiju, otprilike 10000 puta veću od energije fotona u vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra. Zbog visoke energije gama čestice putuju brzinom svjetlosti i u zraku mogu prijeći stotine tisuća metara prije nego što potroše energiju. Mogu proći kroz mnogo vrsta materijala uključujući i ljudsko tkivo. Vrlo gusti materijali, poput olova, obično se koriste za zaštitu od gama zračenja.

### Gama raspad



Sl. 5 Prikaz gama raspada

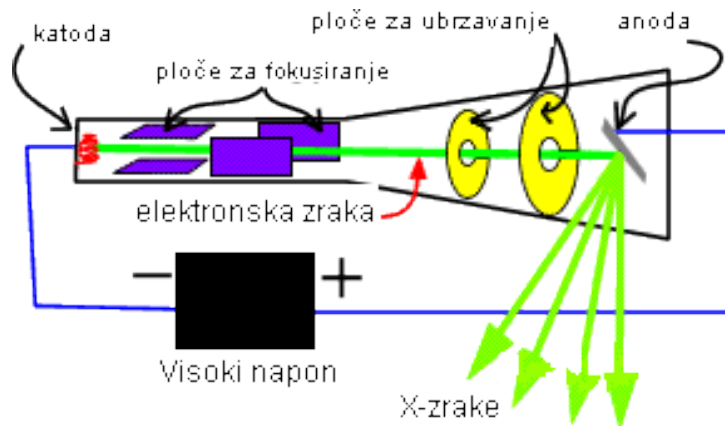
Izvor: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/gama.htm>

Do emisije gama zrake dolazi kada jezgra radioaktivnog atoma ima previše energije, a obično slijedi emisiju beta čestice. Cezij-137 pruža dobar primjer radioaktivnog raspada emisijom gama zrake. Neutron iz jezgre se transformira u proton i beta česticu. Dodatni proton mijenja atom u barij-137. Jezgra izbacuje beta česticu, ali još uvijek ima previše energije pa emitira gama foton da bi se stabilizirala. Radioaktivni elementi koji emitiraju gama zrake najrašireniji su izvori zračenja. Moć prodiranja gama zraka ima mnogo upotreba. Iako gama zrake mogu prodrijeti kroz mnoge materijale, one ne čine te materijale radioaktivnim. Najkorišteniji emiteri gama zraka su kobalt-60 (steriliziranje medicinske opreme, pasteriziranje hrane, liječenje karcinoma), cezij-137 (liječenje karcinoma, mjerenje i kontrola toka tekućina u industrijskim procesima, istraživanje podzemnih izvora nafte) i tehnecij-99m (dijagnostičke studije u medicini). Gama zrake koriste se i za poboljšanje fizikalnih svojstava drva i plastike te za ispitivanje metalnih dijelova u industriji. Gama zrake postoje samo dok imaju energije. Kada potroše energiju, bilo u zraku ili u čvrstom materijalu, one prestaju postojati.

#### 2.2.1.4 X-zrake

X-zrake su elektromagnetsko zračenje slično svjetlosti, ali s višom energijom. Strojevi za generiranje X-zraka imaju vakuumiranu staklenu cijev na čijim krajevima su postavljene elektrode, negativna katoda i pozitivna anoda. Na elektrode je doveden visoki napon koji može biti u rasponu od nekoliko tisuća volti do nekoliko stotina tisuća volti. Razlika potencijala tada elektrone nakupljene na katodi ubrzava prema anodi te oni udaraju u metalnu ploču s velikom energijom. Pri sudaru s metalnom pločom elektrone će privući pozitivno nabijena jezgra atoma metala, pri čemu se smanjuje energija elektrona, tj. dolazi do emisije X-zraka, koje imaju veliku moć prodiranja. Rendgensko zračenje čine elektromagnetski valovi kratkih valnih duljina, od  $10^{-10}$  do oko  $10^{-13}$  m. Često se naziva i X-zračenjem. Posebna vrsta rendgenskog zračenja je tzv. zakočno zračenje koje nastaje kad elektroni

značajno mijenjaju svoju brzinu u blizini atomske jezgre, bilo iznos, bilo smjer gibanja.



Sl. 6 Prikaz x-zraka

Izvor: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/x-zrake.htm>

X-zrake koje nastaju kao rezultat sudara elektrona s metalnom pločom imaju širok raspon energije, međutim maksimalna energija koju mogu imati određena je razlikom potencijala između elektroda koje ubrzavaju elektrone. Naprimjer, ako je razlika potencijala između elektroda 50 keV, rezultirajuće X-zrake imat će energiju do, ali ne i preko 50 keV. Veliki dio energije elektronskog snopa na anodi se pretvara u toplinu pa se stoga cijevi za generiranje visokoenergetskih X-zraka često hlade vodom. Moć prodiranja X-zrake čini idealnim za korištenje u medicinskoj dijagnostici, ali i u razne industrijske svrhe. Međutim, visoka energija X-zraka može uzrokovati ionizaciju i čini X-zrake biološki opasnim ako apsorbirana doza nije ispod preporučenog minimuma.

## 2.3 MJERENJE IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Postoje četiri u osnovi različita pristupa mjerenju ionizirajućeg zračenja i najmanje osam različitih mjernih jedinica u kojima se ta mjerenja mogu izraziti. Aktivnost izvora zračenja može se izraziti u broju raspada po sekundi, kiriima ili bekerelima. Zračenje kojem je neki objekt izložen izražava se u rendgenima. Mjerne jedinice koje se koriste za izražavanje zračenja koje je neki objekt apsorbirao su gray i rad. Mjerne jedinice kojima se izražava doza zračenja su rem i sievert. SI jedinica za radioaktivnost je bekerel (Bq) koji označava jedan raspad u sekundi. Kiri (Ci), originalno definiran kao aktivnost jednog grama radija-226, sada se definira kao  $3.7 \times 10^{10}$  raspada po sekundi, što znači da je  $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ . Rendgen (R) označava količinu X-zračenja ili gama zračenja potrebnu da nastane 1 jedinični naboj po  $\text{cm}^3$  suhog zraka u standardnim uvjetima. Rendgen je ograničen samo na X-zračenje i gama zračenje s energijom manjom od 3 MeV.

Apsorbirana doza zračenja ili rad je količina apsorbiranog zračenja koja predaje 0,01 J energije po kilogramu izloženog materijala. Međutim, jednake doze različitih oblika zračenja imaju različite biološke učinke. Stoga je definiran rem kao količina apsorbiranog zračenja koja proizvodi isti biološki učinak kao jedan rad terapijskih X-zraka, ili kao produkt apsorbirane doze u rad i doznog ekvivalenta zračenja RBE. Budući da je teško precizno izmjeriti dozni ekvivalent pojedinih vrsta zračenja, biofizičari preferiraju definirati rem kao produkt rad i faktora kvalitete (QF) koji se odnosi na linearni prijenos energije (LPE) pojedinih vrsta zračenja. LPE je količina energije koja se rasipa (izražena u keV) po duljini puta (u  $\mu\text{m}$ ). Zračenju s visokim LPE dodjeljuje se visoki QF budući da RBE raste s porastom LPE, osim kod vrlo velikih vrijednosti za LPE. Tipične vrijednosti faktora kvalitete prikazane su u slijedećoj tablici:

Tab. 1 Tipične vrijednosti faktora kvalitete

izvor: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/mjerenje.htm>

Tip zračenja	Faktor kvalitete
X-zrake ili gama zrake	1
beta čestice > 0.03 MeV	1
beta čestice < 0.03 MeV	1.7
alfa čestice	20

Gray (Gy) i sievert (Sv) su SI zamjene za rad i rem, respektivno. Gray se definira kao 1 J apsorbiranog zračenja po kilogramu materijala, što znači da je  $100 \text{ rad} = 1 \text{ Gy}$ . Sievert je mjerna jedinica za dozni ekvivalent i vrijedi  $\text{Sv} = \text{J} / \text{kg}$ .

Zbrka koja je rezultat velikog broja mjernih jedinica pojačana je nedostatkom jednostavnih konverzija između pojedinih mjernih jedinica. Nije lako promijeniti količinu zračenja kojoj je objekt izložen u količinu apsorbiranog zračenja, budući da apsorbirana energija ovisi o atomskom broju izloženog materijala i energiji zračenja.

#### 2.4 Izvori Ionizirajućeg Zračenja

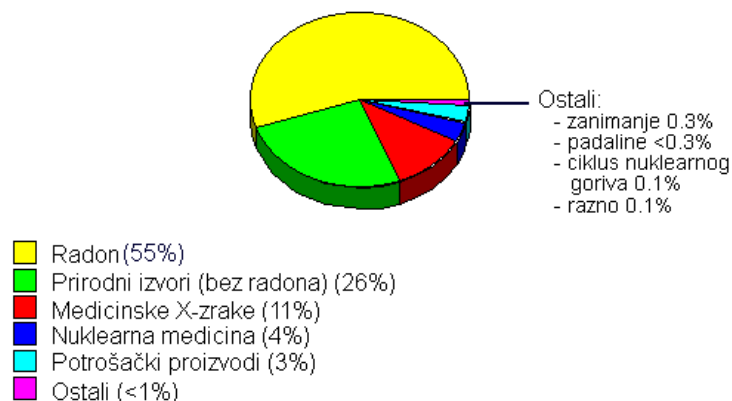
Izvori ionizirajućeg zračenja mogu se podijeliti na prirodne i umjetne.

##### 2.4.1 Prirodni Izvori Ionizirajućeg Zračenja

Prirodno pozadinsko ionizirajuće zračenje dolazi iz tri glavna izvora: kozmičko zračenje, prirodno zračenje radioaktivnih materijala i radon. Kozmičko zračenje dolazi iz svemira i uključuje energetske protone, elektrone, gama zrake i X-zrake. Primarni radioaktivni elementi u prirodi su uran, torij, kalij i

njihovi radioaktivni derivati. Ovi elementi emitiraju alfa i beta čestice ili gama zrake. Međutim, većina prirodnog zračenja potječe od plina radona, koji je produkt raspada urana i torija. Radon se emitira iz tla i koncentrira se u zgradama.

### Izvori ionizirajućeg zračenja



Sl. 7 Izvori ionizirajućeg zračenja

Izvor: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/izvori.htm>

#### 2.4.2 Umjetni izvori ionizirajućeg zračenja

Umjetni izvori su po svojoj prirodi i učinku identični prirodnim izvorima. Ionizirajuće zračenje se sve više koristi u medicini, stomatologiji i industriji. Glavni korisnici umjetnog ionizirajućeg zračenja su: medicinske ustanove poput bolnica i farmaceutskih ustanova; ustanove za istraživanje i učenje; nuklearni reaktori i njihove pomoćne ustanove. Mnoge od ovih ustanova stvaraju radioaktivni otpad i neke otpuštaju kontrolirane količine zračenja u prirodu. Radioaktivni materijali također se koriste i u raznim potrošačkim proizvodima kao što su digitalni satovi, umjetni zubi i detektori dima. Radioaktivni elementi često se nazivaju radioaktivni izotopi ili radioaktivni nuklidi ili samo nuklidi

#### 2.5 Izloženost Zračenju

Izloženost zračenju prosječne osobe iznosi otprilike 3.6 mSv godišnje, od čega 81% dolazi iz prirodnih izvora. Preostalih 19% dolazi iz umjetnih izvora zračenja. Neki umjetni izvori zračenja utječu na čovjeka kroz direktno zračenje, dok drugi poprimaju oblik radijacijskog trovanja i ozračuju čovjeka iznutra. Najznačajniji izvori umjetnog zračenja kojima su ljudi izloženi dolaze iz medicinskih procedura, kao što su dijagnostičke X-zrake, nuklearna medicina i terapija zračenjem. Glavni radionuklidi koji se koriste u medicini su jod-131, tehnecij-99m, kobalt-60, iridij-192 i cezij-137 i oni se rijetko ispuštaju u okolinu. Ljudi su također izloženi zračenju iz potrošačkih proizvoda, kao što su duhan (polonij-210), građevinski materijali, televizori, rendgenski sistemi na aerodromima, detektori dima (americij), elektronske cijevi itd.

U manjem stupnju ljudi su izloženi i zračenju koje potječe iz ciklusa nuklearnog goriva, koji uključuje čitav niz od iskopavanja i obrade urana, preko nuklearnih reaktora pa sve do odlaganja radioaktivnog otpada, međutim učinci takve izloženosti još uvijek nisu pouzdano izmjereni.

### **3. UTJECAJ ZRAČENJA NA ČOVJEKA**

Stupanj oštećenja organizma zbog izloženosti ionizirajućem zračenju ovisi o nekoliko čimbenika. Energija koja se prolazom zračenja kroz materiju predaje toj materiji jest 1 eV . Omjer te energije i mase nazivamo apsorbiranom dozom. Apsorbirana doza jest količina energije predana jediničnoj masi tvari tijekom prolaska zračenja kroz nju. Što je apsorbirana doza veća, to će biološki učinak biti veći. Fizikalna jedinica kojom se izražava apsorbirana doza jest grej (Gy). Efektivna doza jest proračunom modificirana apsorbirana doza kojom se izražava rizik izlaganja ionizirajućem zračenju uzimajući u obzir različitu biološku učinkovitost različitih vrsta ionizirajućeg zračenja i različitu osjetljivost tkiva i organa ljudskog tijela s obzirom na ionizirajuće zračenje. Fizikalna jedinica kojom se izražava efektivna doza jest jedan sivert (Sv). Efektivna doza se izračunava, a apsorbirana doza se mjeri dozimetrima. U biološkim sustavima zračenje ovisi o količini apsorbirane energije i o njenoj prostornoj raspodjeli. Osjetljivost pojedine vrste tkiva ovisi o diobi stanica u tom tkivu. Stanice koje

grade mišićna, živčana i koštana tkiva vrlo se rijetko, gotovo nikad ne dijele, te su stoga slabo osjetljive na izloženost zračenju. Nasuprot njima, na ionizirajuće zračenje su puno osjetljivije nediferencirane stanice, odnosno matične stanice koje susrećemo u krvotvornom tkivu i spolnim žlijezdama, odnosno stanice kože i sluznica koje se neprekidno dijele. Zbog toga rizik od izloženosti zračenju za sve dijelove ljudskog tijela nije isti. On varira od organa do organa. To je izraženo kroz veličinu koju nazivamo težinski koeficijent za pojedino tkivo ili organ. Veličina koja uvažava sve navedene čimbenike naziva se efektivna doza. Izračunava se tako da se zbroje umnošci ekvivalentnih doza i težinskih koeficijenata za ozračena tkiva i organe. Brzina primanja doze je također jedan od čimbenika koji utječu na stupanj oštećenja organizma. Ako je brzina doze dovoljno mala ili je primljena u dijelovima između kojih su razmaci dovoljno dugi, tkivo će biti u mogućnosti normalnom mitozom nadomjestiti izgubljene stanice. Zbog toga, doza koja bi primljena odjednom imala letalni učinak, primljena kroz duže vremensko razdoblje neće nužno imati za posljedicu smrt. Relativno velike doze primljene kroz duže vremensko razdoblje mogu ostaviti male ili nikakve vidljive posljedice. Stupanj oštećenja organizma ovisi i o životnoj dobi i spolu osobe: mlađe osobe su u pravilu osjetljivije na zračenje od starijih (fetus je daleko najosjetljiviji), žene su nešto manje osjetljive na zračenje u odnosu na muškarce. Biološke učinke zračenja možemo podijeliti u dvije grupe. Jedni su deterministički (nestohastički), a drugi su stohastički učinci.

### 3.1 Deterministički

Deterministički su učinci posljedica gubitka velikog broja stanica, nastaju primjenom velikih doza zračenja (jačina im je ovisna o efektivnoj dozi) i vidljivi su brzo nakon zračenja. Da bi učinak bio vidljiv potrebna je određena količina ("prag") zračenja.

Gubitak stanica ne predstavlja velik problem za čovječji organizam u kojem svakodnevno umire preko milijun stanica. Smrcu stanice onemogućuje se prijenos izmijenjene genetičke informacije na stanicu kćerku. Ukoliko je postotak uništenih stanica u nekom organu ili tkivu velik, tada funkcija organa ili



tkiva može biti oslabljena, a u pojedinim slučajevima gubitak stanica dovest će i do smrti organizma.

### 3.2. Stohastički

Greške u popravku važnih DNA regija kod preživjelih stanica mogu rezultirati stabilnim genetskim promjenama. Stohastički učinci, kao što su mutacije, nasljedne promjene, te tumori vidljivi su tek nakon određenog vremena latencije, za njih nema praga, tj. može ih izazvati i veoma mala doza zračenja. Stoga ih se niti ne može predvidjeti, kao što se to može učiniti za točno određeni - determinirani učinak, nego ih se može samo statistički predvidjeti. Stohastički učinci mogu nastati u somatskim, ali i u spolnim stanicama, pa se promjene mogu prenijeti na potomstvo (nasljedne promjene, indukcija leukemija, mentalna retardacija, malformacije, smrt ploda). Ako se takove stanice nastave dijeliti, nastat će klonovi izmijenjenih stanica. Većina ovako izmijenjenih stanica ne napreduje do karcinoma jer gotovo ni jedna ne ostaje sposobna za život nakon nekoliko dijeljenja. One koje su sposobne za više dijeljenja često se diferenciraju u funkcionalne stanice koje se dalje ne dijele, može izostati slijed događaja iz okruženja stanice potreban za poticanje stanične diobe ili dolazi do programirane stanične smrti (apoptoza).

## 4. ZAŠTITA OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Zaštita od ionizirajućih zračenja je skup svih mjera i postupaka kojima se može smanjiti izlaganje zračenju u tijeku njegove poželjne ili potrebne primjene. Problematiku zaštite od zračenja prati cijeli niz stručnih međunarodnih organizacija, koje redovito ili periodički izdaju svoje preporuke. U skladu s tim preporukama donesen je i naš Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja s odgovarajućim popratnim Pravilnicima za provođenje zaštite od zračenja. Oblici zaštite od zračenja su zakonodavna zaštita, fizikalno-tehnička zaštita, kemijska zaštita, biološka zaštita, znanstvena istraživanja

#### 4.1 Zakonodavna Zaštita

Zakonodavna zaštita je veoma važna jer vrlo strogim zakonskim propisima i pod zakonskim aktima uređuje cjelokupnu problematiku zaštite od ionizirajućih zračenja. Temeljni akti zakonodavne zaštite od ionizirajućih zračenja u Republici Hrvatskoj su Zakon o zaštiti od zračenja i Pravilnik o zaštiti od zračenja; te Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućih zračenja za obavljanje djelatnosti s rendgenskim uređajima, akceleratorima i drugim uređajima koji proizvode ionizirajuća zračenja kao i Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućih zračenja u medicini i stomatologiji. Sve navedeno je usklađeno sa preporukama ICRP te zahtjevima Europske zajednice.

#### 4.2 Fizikalno-Tehnička Zaštita

•Zakonom je definirana i fizikalno-tehnička zaštita koja uključuje:

- nadzor nad izvršavanjem zakonskih propisa u svezi s projektiranjem i izgradnjom radioloških ustanova, odjela i prostorija u kojima će se raditi s izvorima ionizirajućih zračenja,
- projektiranje i izgradnju dijagnostičkih prostorija,
- zaštitu zidova, prozora i vrata radioloških prostorija,
- zaštitu podova.

#### 4.3 Kemijska Zaštita

Kemijski radioprotektorisu kemijske tvari koje smanjuju štetne biološke učinke zračenja (cistein, cistamin, amifostine - u radioterapiji tumora) a mehanizam djelovanja je "čišćenje" slobodnih radikala, reparacija oštećenja nastalih djelovanjem slobodnih radikala, uzimanje radioprotektora prije izlaganja zračenju, a novije generacije i nakon izlaganja zračenju

#### 4.4 Biološka Zaštita

Podizanje biološke otpornosti organizma na zračenje postiže se vitaminima, šećerima, čajevima s taninom, umjetnim snižavanjem temperature dijelova tijela izloženih većim dozama zračenja, umjetnom “anemizacijom” (smanjivanjem prokrvljenosti, umjetnom anoksijom) organa ili dijelova tijela izloženih većim dozama zračenja, te mirovanjem, dobrom ishranom i duševnim mirom i kraće radno vrijeme i duži godišnji odmori korišteni u dva navrata (ljetni i zimski) za profesionalno osoblje u radiologiji, radioterapiji i nuklearnoj medicini.

#### 4.5 Znanstvena Istraživanja

Znanstvena istraživanja teorijskih i praktičnih problema zračenja ljudskog organizma izbjeci se mogu samo one opasnosti od zračenja koje dobro poznajemo.

Danas su češća oštećenja profesionalnih djelatnika koji samo povremeno koriste radiološke uređaje (kardiolozi, kirurzi, stomatolozi, itd.). Radiobiološka istraživanja dovode do stalnog smanjivanja dopuštenih doza zračenja za profesionalno osoblje i stanovništvo kojima mogu biti izloženi mjesečno, tromjesečno, godišnje, itd.

#### 4.6 Drugi oblici (mogućnosti) zaštite od zračenja

Drugi oblici zaštite od zračenja su skraćivanje trajanja izlaganja, udaljšavanje tijela od izvora, zračenja način rada

### **5. PRIMJENA ZRAČENJA**

Zračenje i radioaktivni izotopi našli su vrlo široku primjenu u medicini.

Zračenje i radioaktivni izotopi koriste se u medicini za otkrivanje bolesti (dijagnostika) i liječenje (terapija) raka. Korištenjem X-zraka iz rendgenskih aparata mogu se dobiti slike različitih organa i tkiva ljudskog tijela koje pomažu liječnicima u postavljanju dijagnoza. Različite vrste zračenja koriste se za

uništavanje tkiva tumora ili vanjskim ozračivanjem (teleterapija) ili unutarnjim ozračivanjem stavljanjem izvora zračenja u tumorsko tkivo (brahiterapija).

Röntgenovim otkrićem X-zračenja, koje prodire kroz ljudsko tijelo i ostavlja trag na filmu, davne 1895. godine, započinje nova era u medicinskoj dijagnostici. Slijedi eksplozivan razvoj rendgenskog snimanja različitih dijelova tijela (radiografija) i promatranja pokreta organa pomoću rendgenskog zračenja (dijaskopija, fluoroskopija).



Sl. 8 Wilhelm Röntgen

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_R%C3%B6ntgen](https://en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_R%C3%B6ntgen)

Primjena jodnih kontrastnih sredstava omogućava prikaz organa koji nemaju prirodni kontrast prema svojoj okolini. Razvijaju se različite vrste rendgenskih uređaja koji trebaju omogućiti primjenu ionizirajućeg X-zračenja u prikazu organa i organskih sustava ljudskoga tijela u medicini. Spoznaja o štetnosti rendgenskog zračenja kasni za ogromnim entuzijazmom zbog novih dijagnostičkih mogućnosti i prvi liječnici koji primjenjuju rendgensko zračenje oboljevaju od njega, odnosno od njegovih posljedica. Danas radiološka dijagnostika predstavlja najveći umjetni izvor zračenja prosječne populacije u medicini. Mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja mora se pridržavati profesionalno osoblje koje to zračenje primjenjuje. Najbolja je zaštita za bolesnika smanjivanje rendgenskih pretraga na razumnu mjeru. U radiološkoj

dijagnostici zrače uređaji za rendgensko snimanje (primjerice, za snimanje kostiju ili pluća), uređaji za dijaskopiju (primjerice za rtg - pregled želuca, irigografija) i uređaji za kompjutorsku tomografiju (CT). Magnetska rezonancija i ultrazvuk ne koriste štetno ionizirajuće zračenje za oslikavanje ljudskoga tijela. Ipak, magnetska rezonancija može biti opasna kod metalnih stranih tijela ili ugrađenog pace-makera. Nažalost, niti jedna od metoda ne pokriva sve dijagnostičke potrebe. Odabir dijagnostičke pretrage treba prepustiti liječniku koji će odrediti najkraći put do točne dijagnoze, uz najmanju štetu za zdravlje bolesnika. U nastavku ću vas upoznati s novijim radiološkim dijagnostičkim uređajima i njihovom primjenom u medicini. Logičan su nastavak na konvencionalnu radiografiju i dijaskopiju složeniji uređaji koji koriste X-zračenje: uređaj za angiografiju i kompjutoriziranu tomografiju. Slijede magnetska rezonancija i ultrazvuk, kao najčešće korištena slikovna dijagnostička metoda u suvremenoj medicinskoj praksi.

## 5.1 Ultrazvučna dijagnostika

Ultrazvuk je metoda oslikavanja unutarnjih organa koja se temelji na principu refleksije zvučnih valova. Ultrazvuk je mehanička vibracija vrlo visoke frekvencije, koja prelazi prag čujnosti ljudskog uha, a iznosi više od 20000 titraja u sekundi. U medicinskoj dijagnostici koristi se ultrazvuk frekvencije između 2-12 MHz. Kao dijagnostička tehnika, ultrazvuk je u svakodnevnoj uporabi već 25 godina, a njegova neškodljivost odavno je dokazana. Moderni ultrazvučni aparati vrlo su složeni. Uređaji se sastoje od pretvarača (sonde) i kućišta aparata s monitorom i perifernim jedinicama. Sonda je najosjetljiviji i najskuplji dio ultrazvučnog uređaja, sadrži piezoelektrične elemente-kristale koji emitiraju i primaju natrag odbijene valove zvuka. Na taj način ultrazvučne sonde funkcioniraju kao piezoelektrični pretvarači (odašilju i prihvaćaju ultrazvučne valove). Ultrazvučni izvori emitiraju ultrazvučne valove određene frekvencije, koji se reflektiraju od tkiva i potom primaju putem detektora. U svakodnevnom radu najčešće se koriste sektorske, konveksne (zakrivljene) i linearne sonde. Sonda je dio aparata koji se postavlja na kožu pacijenta iznad organa koji

želimo pregledati, kako bi se na ekranu prikazala odgovarajuća slika. Na kožu je potrebno nanijeti gel koji istiskuje mjehuriće zraka između kože i sonde.



Sl. 9 Prikaz ultrazvuka

Izvor: <http://www.poliklinika-ps.hr/usluge/ultrazvuk-stitnjace/>

Danas postoje posebno razvijene sonde za endokavitarne aplikacije, koje se uvode u tjelesne šupljine:

- transvaginalne sonde - uvode se u rodnicu za prikaz maternice i jajnika,
  - transrektalne sonde - uvode se u završni dio debelog crijeva za prikaz prostate,
  - transezofagealne sonde - uvode se u jednjak za prikaz srca i prsne aorte.
- Doppler omogućuje prikaz protoka krvi u raznim krvnim žilama u tijelu, a može mjeriti i brzinu protoka u njima. Izgled doplerskog spektra i izmjerena brzina protoka daju važne informacije o brojnim bolestima krvnih žila. Mogu se dijagnosticirati suženja ili začepjenja vena i arterija te analizirati protok krvi u bubrezima, maternici, jajnicima i drugim organima.

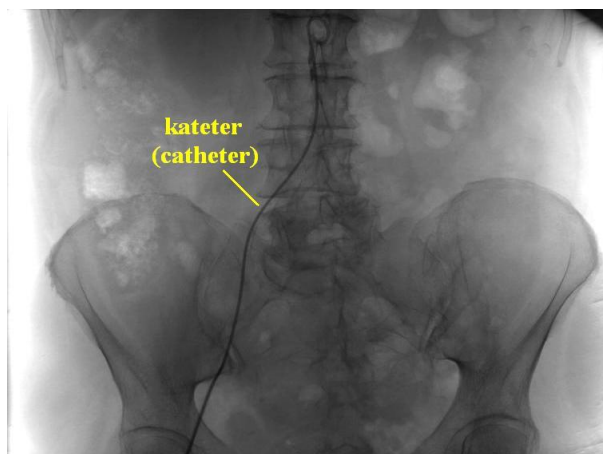
Ultrazvuk je najprikladnija, najjednostavnija i najjeftinija metoda za oslikavanje jetara, bilijarnog stabla, gušterače i slezene. Ultrazvukom se mogu otkriti tumori, ciste, apscesi jetara, prošireni žučni vodovi, žučni kamenci i druge bolesti. Gušterača, zbog svog položaja, nije uvijek dostupna ultrazvučnom pregledu, najčešće zbog zraka u crijevima. Ultrazvučna pretraga urotrakta obuhvaća

analizu bubrežnog parenhima te zdjeličnih organa, poglavito mokraćnog mjehura i prostate. Ultrazvukom se mogu prikazati patološke promjene nadbubrežnih žlijezda i retroperitoneuma. Ultrazvučna dijagnostika dojke od neprocjenjive je vrijednosti u razlikovanju solidnih ili cističnih kvržica u dojci. Ako postoji potreba, može se učiniti aspiracija ili biopsija tvorbe u dojci radi citološke ili patohistološke verifikacije. Ultrazvuk u opstetriciji daje vrijedne informacije o trudnoći i može otkriti urođene anomalije fetusa. Koristi se kod amniocenteze (uzimanje uzorka plodove vode). Kod pacijentica koje nisu trudne može se pod kontrolom ultrazvuka iglom ukloniti tekućina iz ciste na jajniku i prikupiti jajčane stanice iz jajnika za " invitro" fertilizaciju (IVF) - umjetnu oplodnju. Ultrazvučna pretraga središnjeg živčanog sustava služi dijagnosticiranju kraniospinalnih malformacija ploda, a u dojenačkoj dobi, zahvaljujući otvorenoj fontaneli, upotrebljava se u utvrđivanju abnormalnosti komornoga sustava i intrakranijalnih krvarenja. Za većinu ultrazvučnih pretraga nije potrebna posebna priprema. Za pregled abdomena ultrazvukom pacijent treba ostati natašte 12 sati, osobito ako se obavlja pregled žučnoga mjehura. Kako zrak u crijevima i želucu (meteorizam) znatno ometa ultrazvučnu pretragu, poželjno je da ispitanik barem 2 do 3 dana prije pretrage ne uzima hranu koja uzrokuje stvaranje plinova u probavnim organima. Treba preporučiti tekuću i kašastu hranu, a izbjegavati hranu s mnogo ostataka, bogatu biljnim vlaknima (celuloza, pektin), kojih ima najviše u nekim žitaricama, voću i povrću. Kod pretrage ultrazvučnom endorektalnom sondom preporuča se čišćenje debeloga crijeva klizmom. Za pregled mokraćnoga mjehura treba napuniti mjehur (popiti 1,5 l vode 2 sata prije pretrage i ne mokriti). U usporedbi sa CT i MR, ultrazvuk je znatno jeftiniji i dostupan svakoj zdravstvenoj ustanovi. Nema ionizirajućeg zračenja pa se pretraga može ponavljati više puta. Prema dosadašnjim istraživanjima, ultrazvuk nije pokazao nikakve štetne biološke ili mehaničke efekte za ljudski organizam i u dijagnostičkim dozama pokazao se potpuno sigurnim.

## 5.2 Angiografija i intervencijska radiologija

Angiološki pregledi predstavljaju kontrastne invazivne dijagnostičke radiološke metode pregleda srca i krvnih žila. Područje primjene angioloških pregleda posljednjih se godina stalno proširuje zahvaljujući novoj tehnologiji, digitalnoj suptraksijskoj angiografiji (DSA). Indikacije za te preglede predstavljaju bolesti kardiovaskularnog aparata, centralnog živčanog sustava, sredoprsja i pluća, trbušnih organa i urogenitalnih organa. Oni su postali nezamjenjive u dijagnostici kongenitalnih vaskularnih malformacija, ateromatoze, tromboze i embolije te u dijagnostici tumora i oboljenja parenhimnih organa. Može se reći da je arteriografija znatno pridonijela napretku medicine uopće. Kontraindikacije za tu vrstu dijagnostike jesu opće loše stanje pacijenta, produženo vrijeme krvarenja, smanjen broj trombocita, kao i dokazana alergija na jod, koji je sastavni dio kontrastnog sredstva. U slučaju alergijske reakcije na jodno kontrastno sredstvo, radiološki tim spreman je adekvatno intervenirati. Potrebno je da se angiološki pregledi obavljaju serijskim snimanjem radi uočavanja dinamike procesa, a velik napredak u tome učinjen je usavršavanjem radiološke aparature i primjenom digitalne suptraksijske angiografije. Uređaj digitalnog aparata razlikuje se od konvencionalnog po tome što ima samo jednu rtg-cijev, koja služi i za prosvjetljavanje i za snimanje, te elektronsko pojačalo slike, a sve je to spojeno "C"-lukom pokretljivim u svim pravcima i s mogućnošću dinamičnog snimanja. Osnovna je prednost te nove tehnologije u tome da omogućuje elektroničku suptraksiju (brisanje svih struktura osim krvnih žila) slike dobivene prije dolaska kontrasta od slike dobivene u vrijeme kada se kontrastno sredstvo nalazi u krvnim žilama. Dobivena suptraksijska slika odlaze se u memoriju računala te je moguća naknadna analiza i interpretacija nalaza. Angiološki pregledi izvode se u strogo sterilnim uvjetima rada, najčešće u lokalnoj anesteziji na mjestu punkcije femoralne, aksilarne ili brahijalne arterije, gdje se naknadno uvodi kateter prema Seldingerovoj metodi.





Sl. 10 Desni femoralni pristup kateterom u selektivnoj angiografiji AAA i krvnih sudova karlice

Izvor: <https://sh.wikipedia.org/wiki/Angiografija>

Najčešće je mjesto punkcije zajednička femoralna arterija u području prepone. Angiološki pregledi u općoj anesteziji izvode se u male djece i izuzetno rijetko u odraslih pacijenata, kada se radi o direktnoj punkciji trbušne aorte. Pacijent mora biti hospitaliziran, njegova povijest bolesti, osim anamnestičkih podataka, mora sadržavati laboratorijske nalaze (nuždan je nalaz faktora zgrušavanja krvi), kao i suglasnost pacijenta za obavljanje tog zahvata, s detaljnim opisom mogućih komplikacija, tako da je pacijent prije pregleda upoznat s njima. Nakon provedenog dijagnostičkog postupka, pacijent mora ležati 24 sata radi izbjegavanja nastanka potkožnog krvarenja (hematoma). Osim dijagnostike, na uređaju za angiografiju možemo provoditi i niz terapijskih postupaka izbjegavajući otvorenu kiruršku operaciju, primjerice proširivanje suženih krvnih žila pomoću balona na kateteru, postavljanje metalnih implantata koji će ranije mjesto suženja održati proširenim i umetaka koji premošćuju mjesto proširenja krvne žile izbjegavajući opasnost od krvarenja. Rendgensko zračenje ima sposobnost ionizacije zbog čega ono može, putem niza fizikalnih i kemijskih učinaka, djelovati na živa tkiva. Te promjene koje zračenje izaziva na živim organizmima nazivamo biološkim djelovanjem zračenja pa je stoga potrebno provoditi mjere zaštite od zračenja, kako pacijenata, tako i profesionalnog osoblja. Zaštita pacijenta sastoji se od pravilne indikacije za izvođenje tražene

pretrage, korektnog i brzog obavljanja pretrage te korištenja zaštitnih sredstava za nesnimane dijelove tijela, kao što su olovne pregače i štitnici. Zaštita profesionalnog osoblja sastoji se od zaštitnih naprava na rtg-aparaturi, zaštitnih naprava u prostoriji gdje se obavlja pregled i osobnih zaštitnih sredstava.



Sl. 11 Suvremeni laboratorij za kateterizaciju i angiografiju

Izvor: <https://sh.wikipedia.org/wiki/Angiografija>

### 5.3 Kompjutorska tomografija (CT)

Intenzivnim razvojem moderne medicine i tehnologije posljednjih nekoliko desetljeća postignut je ogroman napredak u mogućnostima ranog otkrivanja i dijagnosticiranja bolesti. Upravo je rano otkrivanje bolesti jedan od ključnih elemenata u procesu liječenja bolesnika. U vremenu prije samo stotinjak godina, suvremene metode dijagnosticiranja i pretraga bile su potpuno nezamislive. Zahvaljujući modernoj tehnologiji, danas je na poprilično jednostavan način (za pacijenta i liječnika) moguće stvoriti kompletan prikaz unutrašnjosti organizma i na temelju toga postaviti odgovarajuću dijagnozu. Jedan od uređaja koji to omogućuje jest uređaj za kompjutorsku tomografiju - CT.

CT uređajima prethodilo je otkrivanje nove metode rendgenske pretrage koja se uvodi dvadesetih godina 20. stoljeća i dobiva naziv tomografija. Tomografsko ili

slojevno snimanje omogućava prikaz određenog sloja bolesnikova tijela pomoću rendgenskih zraka. Daljem razvoju ove dijagnostičke metode uvelike su pridonijeli A. M. Cormack i G. N. Hounsfield. Njihova je zasluga u tome što su prvi izveli tomografsko snimanje pomoću računala koje rekonstruira sliku i za taj izum dobili Nobelovu nagradu za medicinu 1979. godine. Kompjutorska se tomografija od 1973. godine upotrebljava u dijagnostičke svrhe, ali samo za prikaz struktura mozga. CT-aparatura je od tada do danas doživjela mnogobrojna poboljšanja. U početku se snimala samo glava, a nekoliko godina kasnije CT-uređaj koristi se za preglede svih dijelova tijela. Glavni su dijelovi CT-uređaja pokretni stol na kojem leži bolesnik, kućište u kojem se nalazi rendgenska cijev i detektori, potom generator, komandni stol i radni stol s monitorom za obavljanje pregleda te računalo. Za vrijeme pregleda rendgenska se cijev rotira oko bolesnika. Rendgensko zračenje koje emitira rendgenska cijev prolazi kroz zadani sloj bolesnikovog tijela. Rendgenske zrake prolaskom kroz različita tkiva nejednako slabe, ovisno o gustoći, sastavu i debljini tkiva. Tako nejednako oslabljeno rendgensko zračenje pada na detektore, a računalo sintetizira sliku nakon prethodne analize podataka dobivenih s detektora.



Sl. 12 Uređaj za računalnu tomografiju

Izvor: <https://www.usa.philips.com/healthcare/solutions/computed-tomography/ct-scanners>

Danas je u primjeni nekoliko generacija CT-uređaja. Tehnološka rješenja CT-uređaja su svakim danom sve bolja te omogućavaju sve kvalitetniju i bržu obradu bolesnika. Zahvaljujući napretku tehnike, na CT-uređaje priključuju se radne stanice s različitim programskim paketima (software), prilagođenim za prikaz pojedinih organa i organskih sustava. Takvi uređaji omogućavaju nam dvodimenzionalni te trodimenzionalni prikaz snimanog dijela tijela, što značajno unapređuje dijagnostiku. Glavna je prednost kompjutorske tomografije pred klasičnim radiološkim metodama u mogućnosti mjerenja gustoće pojedinog patološkog procesa, točnoj procjeni veličine i odnosa sa susjednim anatomskim strukturama. Upotrebom kontrastnih sredstava omogućen je prikaz krvnih žila.

CT-pregled ne zahtijeva posebnu pripremu bolesnika. U tijeku pregleda bolesnik obično leži na leđima, iznimno na trbuhu ili boku. Za vrijeme snimanja pregledavani dio tijela mora biti potpuno miran, a ako se provodi pregled grudnog koša ili trbuha, u tijeku snimanja bolesnik mora prestati disati.

CT je danas nezaobilazna metoda u dijagnostici bolesti mozga, kralježnice, grudnog koša, uključivši plućna krila i sredoprsje, potom u dijagnostici trbušnih organa, izuzevši želudac i crijeva. Apsolutnih kontraindikacija za pregled CT-uređajem nema. Relativna je kontraindikacija trudnoća, što znači da se i trudnica može podvrgnuti CT-pregledu, kao i ostalim radiološkim pregledima (uz odgovarajuće mjere zaštite), ako za to postoji vitalna indikacija. CT-dijagnostika, kao i ostale radiološke dijagnostičke metode, nosi sa sobom određen rizik zbog mogućih posljedica zračenja organizma malim dijagnostičkim dozama. Iako je rizik malen, zbog velikog broja radioloških pregleda koji se svakodnevno izvode treba o njemu voditi računa. Osnovna je prevencija postojanje opravdane medicinske potrebe za CT-pretragom. Opravdano izlaganje zračenju kod CT-pregleda bolesniku donosi veću korist nego što je opasnost od posljedica zračenja.

#### 5.4 Magnetska rezonancija

Magnetska rezonancija je pojava koja omogućava dobivanje kvalitetnih tomografskih presjeka ljudskoga tijela s velikom rezolucijom. Ideja se sastoji u

tome da se pojedina meka tkiva u organizmu razlikuju prema količini vode, odnosno vodikovih atoma, što je jako povoljno za dobivanje velikih kontrasta slike, budući da vode u tijelu ima u izobilju. To je moguće jer vodikovi atomi imaju spin, što rezultira njihovim specifičnim ponašanjem kada se nalaze u jakom magnetskom polju. Danas se za snimanje magnetskom rezonancijom koristi termin MRI (Magnetic Resonance Imaging), umjesto starog termina NMR.

Osnovni je dio svakog MRI-sustava glavni magnet. Postoji nekoliko tipova magneta (permanentni, elektromagneti), a mi ističemo supravodljive magnete (većina modernih aparata), kod kojih se smanjivanjem otpora vodiča smanjuje i količina energije potrebna za održavanje magnetskoga polja. Otpor ovisi i o materijalu zavojnice te o njejoj dužini i presjeku. Nadalje, otpor ovisi i o temperaturi zavojnice koju je moguće kontrolirati. Struja se propusti kroz zavojnicu da bi se podiglo magnetsko polje, a zatim se zavojnice hlade tvarima poznatim kao kriogeni (tekući helij) da bi se smanjio otpor. To je tzv. kriogena kupka koja okružuje navoje žice. Kada se koristi u MR-dijagnostici, supravodljivi magnet proizvodi snažno magnetsko polje, pri čemu ne zahtijeva velike količine električne energije, upravo zbog izostanka otpora. Sustav temeljen na takvom magnetu izuzetno je skup, no omogućuje stvaranje izuzetno jakih magnetskih polja (0,5-4T) za kliničke potrebe te do 14T za spektroskopska i visokorezolutna ispitivanja.

Spin-odjek tehnika danas se najviše koristi, prvenstveno zbog najkraćeg vremena snimanja i brze rekonstrukcije slike. Provode se mjerenja vremena T1 i T2 pomoću odjeka dobivenih pobuđivanjem odgovarajućim impulsima, a na kvalitetu slike utječe se variranjem dvaju parametara (TR i TE). Najčešće se koristi samo 2 – 5 odjeka, zbog brže obrade, odnosno rekonstrukcije slike.

Jedan su od glavnih problema vezanih uz MRI zalutala magnetska polja, odnosno polja koja se šire izvan granica prostorije snimanja. Zbog toga su razvijene dvije vrste zaštite: pasivna i aktivna. Pasivna se postiže ugradnjom tzv. Faradeyeva kaveza u zidove sobe za snimanje i ne iziskuje velike troškove, ali ipak učinkovito zadržava magnetsko polje unutar granica. Skuplji je način

aktivna zaštita kod koje se koriste dodatni solenoidni magneti izvan kriogene kupke, a koji ograničavaju magnetsko polje unutar prihvatljive površine.

Iako pregledi MR-uređajima ne pokazuju učinke štetne za ljudsko zdravlje, utvrđeno je povećanje tjelesne temperature za 0,3 stupnja C zbog primjene visokofrekvencijskih impulsa. Magnetsko polje indukcije 1,5T ne izaziva vidljive biološke učinke. Međutim, pri korištenju magnetskih polja indukcije 4T ili više primijećena je pojava vrtoglavice, svjetlosnih efekata pri pomicanju očiju i metalnog okusa u ustima. Ponekad je problem i klaustrofobija kod određenog broja pacijenata, a vezana uz uski otvor kućišta u kojem se nalaze tijekom pregleda. Do sada nisu uočeni nikakvi biološki učinci na fetusima. Međutim, pretpostavlja se da su oni ipak mogući, osobito u tijeku organogeneze u prvom tromjesečju trudnoće. Zbog toga se trudnicama savjetuje odgoda pregleda do završetka prvog tromjesečja, a kasnije se zahtijeva pismeni pristanak bolesnice za pregled. Posebno se treba osvrnuti na feromagnetske metalne predmete u blizini magnetskoga polja. Oni predstavljaju ozbiljnu opasnost za bolesnika, osoblje, ali i sam MR-uređaj jer se pod utjecajem magnetskog polja pretvaraju u projekte. Zbog toga je uputno upoznati bolesnike i osoblje s mogućim štetnim učincima MRI. Temeljem tih činjenica lako je zaključiti koje osobe ne smiju biti podvrgnute MRI-pregledu: ljudi s raznim protezama, umjetnim srčanim zaliscima, pace-makerima, stranim metalnim tijelima (šrapneli, geleri, zrna). Kod toga apsolutnu kontraindikaciju predstavljaju pace-makeri i metalna strana tijela u oku ili mozgu, kao i metalni klisevi na operiranim intrakranijalnim krvnim žilama. Koštane endoproteze ne mogu se pomaknuti iz mjesta, ali čine velike artefakte na MR-slici i one predstavljaju relativnu kontraindikaciju. Primjerice, možemo učiniti dobar MR-pregled mozga bolesniku s umjetnim kukom, dok će pregled zdjelice biti ometan artefaktima.



Sl. 13 Uređaj za magnetsku rezonanciju

Izvor: <https://www.thalassotherapia-opatija.hr/medicinske-djelatnosti/radiologija/kardiovaskularna-magnetska-rezonanca-cmr/>

## 6.ZAKLJUČAK

Ionizirajuće zračenje je prirodna i stalna pojava u prirodi te u brojim ljudskim djelatnostima. Upotreba umjetnih izvora ionizirajućeg zračenja sve je raširenija. U medicini ionizirajuće zračenje nema adekvatnu alternativu za dijagnosticiranje. Bez obzira koliko upotreba takvog zračenja ima veliku korist ono je i dalje veoma opasno po okoliš, zdravlje i život ljudi i životinja. Zbog toga je vrlo važno poznavati i primjenjivati načela i principe sigurnog korištenja izvora ionizirajućeg zračenja. Mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja mora se pridržavati profesionalno osoblje koje to zračenje primjenjuje. Najbolja je zaštita za bolesnika smanjivanje rendgenskih pretraga na razumnu mjeru. U medicini se često koristi dijagnosticiranje upotrebom rendgenskog zračenja. Vrlo je važno da se radnici pridržavaju zakonskih i drugih propisa o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i da se ponašaju u skladu s pravilima struke, zbog zaštite vlastitog zdravlja i zdravlja pacijenata.



## LITERATURA

- [1] Brumen, V., Franić, Z., Garaj-Vrhovac, V.: „Ionizirajuće zračenje“, Medicinska naklada, Zagreb, (2002.), 7.1.2018
- [2] Dželalija, M.: „Ionizirajuće zračenje i biosferi“(interna skripta), Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, (2011.), 14.1.2018
- [3] Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini, Narodne novine broj 89/2013, 28.1.2017
- [4] <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2001/zirdum/index.htm>, 7.1.2018
- [5] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ioniziraju%C4%87e\\_zra%C4%8Denje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ioniziraju%C4%87e_zra%C4%8Denje), 7.1.2018
- [6] <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/vrste.htm>, 6.1.2018
- [7] <http://www.nemis.hr/index.php/radioaktivnost/primjena-zracenja.html>, 14.1.2018
- [9] <http://www.zzjzpgz.hr/nzl/31/aparati.htm>, 27.1.2018
- [9] <http://physics.mef.hr/Predavanja/IVG/pdf/nuklearna%20dij-E.pdf>, 27.1.2018
- [10] <http://ozs.unist.hr/~fmihanov/nastava/KBF/PiZ/Medicinsko%20ozra%C4%8Divanje%20i%20za%C5%A1tita%20od%20zra%C4%8Denja.pdf>, 28.1.2018
- [11] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Zra%C4%8Denje>, 28.12.2017
- [12] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Radijacija>, 28.1.2017
- [13] [https://bs.wikipedia.org/wiki/Neioniziraju%C4%87e\\_zra%C4%8Denje](https://bs.wikipedia.org/wiki/Neioniziraju%C4%87e_zra%C4%8Denje), 6.1.2018

## POPIS SLIKA

Sl. 1 Periodni sustav elemenata .....	1
Sl. 2 Prikaz elektromagnetskog sustava.....	3
Sl. 3 Prikaz alfa raspada .....	7
Sl. 4 Prikaz beta raspada .....	8
Sl. 5 Prikaz gama raspada .....	9
Sl. 6 Prikaz x-zraka .....	11
Sl. 7 Izvori ionizirajućg zračenja .....	14
Sl. 8 WilhelmRöntgen.....	20
Sl. 9 Prikaz ultrazvuka.....	22
Sl. 10 Desni femoralni pristup kateterom u selektivnoj angiografiji AAA i krvnih sudova karlice .....	25
Sl. 11 Suvremeni laboratorij za kateterizaciju i angiografiju .....	26
Sl. 12 Uređaj za računalnu tomografiju .....	27
Sl. 13 Uređaj za magnetsku rezonanciju .....	31

## POPIS TABLICA

Tab. 1 Tipične vrijednosti faktora kvalitete .....	13
--	----