

VRSTE SEVANJ IN NJIHOVA UPORABA V MEDICINI

Gregor Serša

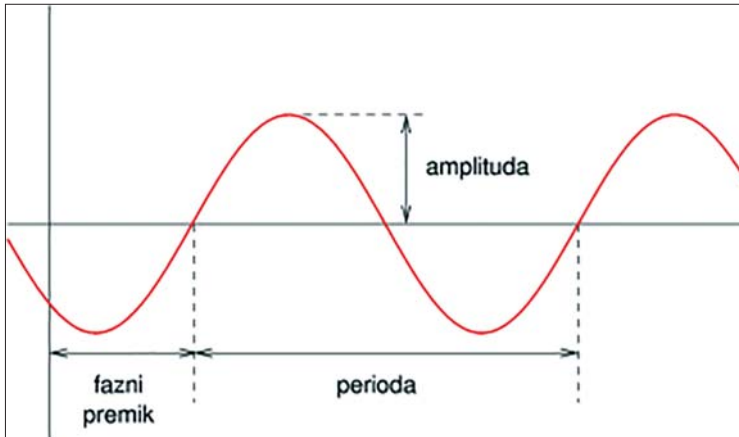
POVZETEK. Sevanje je različnih vrst, na primer mehansko sevanje, sevanje delcev in elektromagnetno sevanje. Sevanje se deli po izvoru in širjenju. Mehansko sevanje je širjenje udarnih valov v trdni ali tekoči snovi, sevanje delcev pa je predvsem radioaktivno sevanje izotopov, medtem ko je elektromagnetno sevanje valovanje elektromagnetnega polja. Vse te tri vrste sevanja imajo specifične fizikalne lastnosti, ki se uporabljajo v medicini v različne namene, predvsem v diagnostične in terapevtske. V prispevku je prikazana njihova uporaba, opredeljeni pa so tudi njihovi biološki učinki. Ti so lahko netermični, ki so težko opredeljivi; njihove mehanizme delovanja še vedno raziskujejo. Gre predvsem za nizkovalovna in nizkoenergijska elektromagnetna valovanja. Z višanjem frekvence in energije narašča njihovo termično delovanje, tako da pri določeni energiji preidejo iz neionizirajočega v ionizirajoče sevanje. Ionizirajoče sevanje ima veliko uporabno vrednost v slikovni diagnostiki in – kot teleradioterapija – predvsem pri zdravljenju raka.

UVOD

Sevanje je pojem, ki ga medicinski slovar opiše kot “oddajanje elektromagnetnih valov ali osnovnih delcev iz izvora v prostor”, kjer so sinonimi emisija, radiacija, žarek. Vsak od nas pa pojmuje sevanje nekoliko drugače, umetnik kot svetlobni žarek, ali kot nekaj nevarnega, če govorimo o ionizirajočem sevanju.

Fiziki opišejo sevanje kot pojav, pri katerem se energija iz njegovega vira širi v obliki delcev ali valovanja. **Sevanje je torej oddajanje in razširjanje valovanja ali delcev in s tem energije v prostor.** Poleg pojava oddajanja in širjenja valovanja in delcev v prostor se lahko izraz sevanje uporablja tudi za energijo, ki se širi pri tem pojavu.

Sevanje opisujemo z dvema količinama; s frekvenco valovanja in z valovno dolžino (Slika 1). Frekvenca valovanja je količina, ki opisuje število nihajev oz. valov v omejenem času ene sekunde, merimo jo s hertzi (Hz). Valovna dolžina sevanja je dolžina enega nihaja. Valovno dolžino merimo z nanometri in z mikrometri (nm in μm). Frekvenca in valovna dolžina sevanja sta obratno sorazmerni. Če se ena večja, se druga zmanjša. Ko je valovna dolžina majhna, je frekvenca visoka.



Slika 1. Frekvenca in valovna dolžina valovanja

V prispevku so opisane različne vrste sevanj in podani nekateri primeri njihove uporabe v medicini, tako v diagnostične kot terapevtske namene. Poznamo tri vrste sevanj: mehansko sevanje, sevanje delcev in elektromagnetno sevanje.

MEHANSKO SEVANJE

Mehansko valovanje se lahko širi samo skozi snov, medij, ki je lahko plin, tekočina ali trdna snov. Najznačilnejši in najbolj znani predstavnik mehanskega valovanja je zvok, ki se od vira širi v obliki zgoščin in razredčin.

Primer uporabe mehanskega sevanja v (humani in veterinarski medicini) je uporaba ultrazvoka za razbijanje različnih bolezenskih struktur v telesu z visokofrekvenčnim ultrazvokom, npr. ledvičnih kamnov, ali pa za lajšanje težav, ki jih povzročajo kalcinacije ali zatrdle kite.

SEVANJE DELCEV

Pri radioaktivnem razpadu atomskih jeder nekaterih elementov se sproščajo razni delci: fotoni (sevanje gama), helijeva jedra (delci ali sevanje alfa) ali elektroni (delci ali sevanje beta). Snovi, za katere je značilen radioaktivni

razpad, imenujemo radioaktivne snovi. Sevanje, ki nastane, je ionizirajoče sevanje in ima lahko hude posledice za celice in tkiva. Povzroča enojne in dvojne prelome deoksiribonukleinske kisline (DNK) v celicah, kar pogosto povzroči umiranje celic ob poskusu celične delitve. Ta učinek izkorišča radioterapija za uničevanje rakavih celic. Mnoge radioaktivne snovi so naravne – nahajajo se v zemeljski skorji ali pa pridejo na Zemljo kot kozmični žarki –, umetne (izotope) pa izdeluje človek z obsevanjem v reaktorju ali z obstreljevanjem v pospeševalnikih.

V medicini se radioaktivne snovi uporabljajo za diagnostiko in terapijo raznih bolezni.

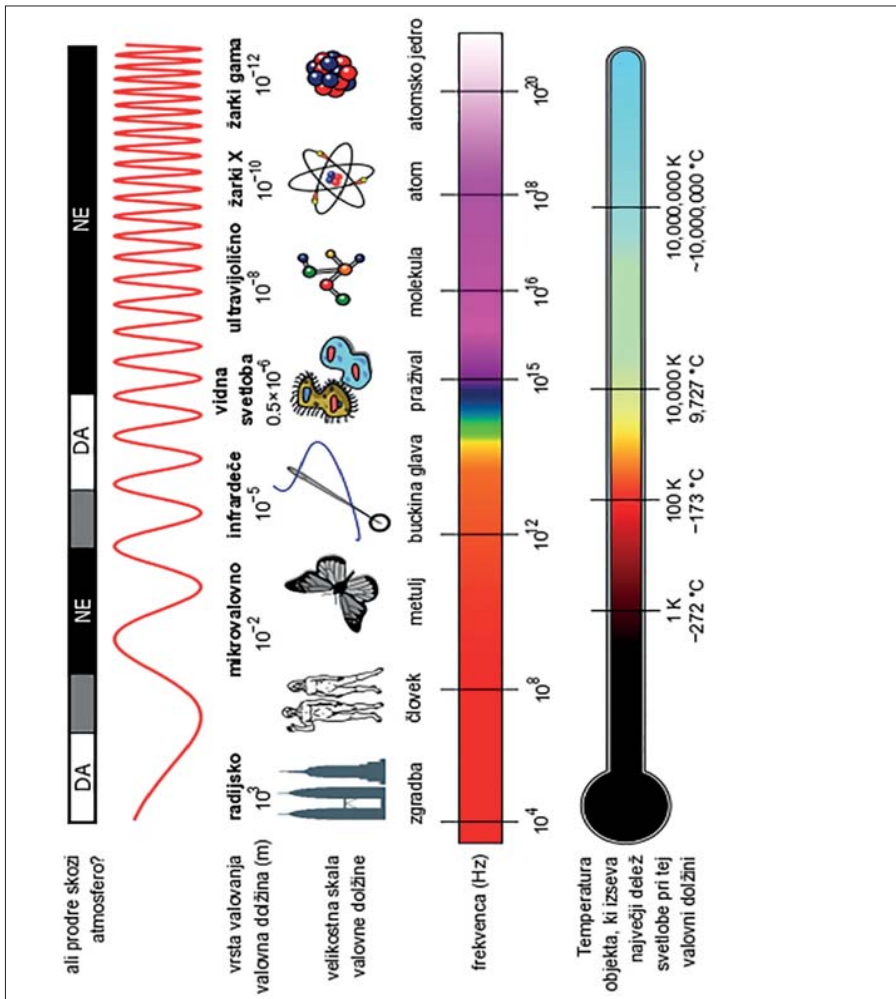
Izotopi kot viri sevanja se razporedijo po telesu in z zaznavanjem njihovega kopičenja v telesu lahko zaznamo anomalije v strukturi in funkciji organov; uporabljajo se v **nuklearni medicini**. Nekateri izotopi imajo tudi preferenčno kopičenje v tumorjih, in s tem lahko zaznavamo kostne in mehko tkivne zasevke raka kjer koli v telesu. V terapevtske namene lahko uporabimo specifične vezavne molekule za določene vrste tkiv, na primer tumorjev, kot so protitelesa, na katere vežemo radioaktivne izotope, ki se tako specifično kopičijo v tumorju in imajo protitumorski učinek. Izotopi se uporabljajo za zdravljenje tudi v intersticijski **brahiterapiji**. Izotopi so shranjeni v majhnih kapsulah, iz katerih izhaja sevanje. Taki viri sevanja se porazdelijo v tumorju z natančnim razporedom, tako da je v obsevalnem polju celotni tarčni volumen tumorja. Te vire sevanja je mogoče vnesti v bolnikovo telo, tako da jih je mogoče preprosto tudi odstraniti, brž ko je bil tumor že zadostno obsevan. Tovrstna uporaba je najpogostejša v ginekologiji in za obsevanje rakavega tkiva prostate, tumorjev dojke, glave in vratu.

V zadnjem času se razvija **protonska terapija**. V pospeševalniku toliko pospešijo protone, da pridobijo dovolj energije, da lahko prodrejo v globlje ležeča tkiva. Prednost protonske terapije je, da delci oddajo le malo svoje energije v tkivo ob ciljnem (tarčnem), kar omogoča zelo natančno obsevanje tumorjev z majhnimi posledicami za okolna zdrava tkiva. Take naprave v Sloveniji še nimamo, načrtovana pa je že postavitve takega centra.

ELEKTROMAGNETNO SEVANJE

V fiziki se **elektromagnetno sevanje** nanaša na valove elektromagnetnega polja, ki se širijo skozi prostor-čas in s seboj nosijo elektromagnetno energijo sevanja.

Elektromagnetno sevanje obsega spekter različnih valovnih dolžin, ki imajo različna, a uveljavljena imena, vse skupaj pa imenujemo elektromagnetni spekter (Slika 2). Spekter elektromagnetnega valovanja je zvezen in neskončen. Začenja se pod najnižjimi frekvencami, ki se uporabljajo v sodobni radijski komunikaciji, in gre do visokofrekvenčnega sevanja gama. Ustrezne valovne dolžine segajo od tisoč kilometrov do delčka, velikosti atoma.



Slika 2. Elektromagnetni spekter (vir: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/sl/d/d9/Lastnosti_em_spektra.png)

Spekter elektromagnetnega valovanja ima naslednja območja:

- radijski valovi,
- mikrovalovi,
- infrardeče valovanje,
- vidna svetloba,
- ultravijolično (UV) valovanje,
- rentgenski žarki,
- žarki gama.

Žarki UV s krajšimi valovnimi dolžinami, rentgenski žarki in žarki gama se uvrščajo med **ionizirajoča sevanja**, **neionizirajoča** pa so radijski valovi (vključno z mikrovalovi), infrardeča svetloba, vidna svetloba in svetloba UV z daljšimi valovnimi dolžinami.

Primeri uporabe elektromagnetnega sevanja v biomedicini

Radiofrekvenčna ablacija je poseg, kjer z izmeničnim tokom 350–500 kHz poškodujemo tarčno tkivo s pregrevanjem. Uporablja se z namenom inaktivacije prevodnega sistema srca ali za uničenje tumorske mase v telesu. Je zelo razširjena ablacijska tehnika, ki se uporablja tudi v estetski dermatologiji, za zdravljenje venskih težav ali za zdravljenje hudih kroničnih bolečin.

V zadnjem času se kot nova ablacijska tehnika uveljavlja **mikrovalovna ablacija**, ki uporablja višjo frekvenco elektromagnetnega sevanja (950 MHz). Povzroča toplotne poškodbe zaradi dielektričnega segrevanja, pri katerem molekule v tkivu (vodi) postanejo polarizirane v elektromagnetnem polju. Prednosti te tehnike so, da omogoča natančnejše usmerjanje na tarčno tkivo in da bližnje žile pomembneje ne zmanjšajo njene učinkovitosti.

Laserska svetloba ima sicer vse običajne fizikalne značilnosti elektromagnetnega valovanja, od katerih so v medicini (in veterini) posebej pomembne enobarvnost (monokromatičnost), divergenca, jakost (intenziteta) žarka in njegovi usmerjenost ter moč. **Laserska ablacija** poškoduje tkiva s toploto ali z izparevanjem in sublimacijo pri višjih frekvencah. Uporablja se v oftalmologiji, zobozdravstvu, splošni kirurgiji, maksilofacialni kirurgiji.

Plazma je vsak ioniziran plin oz. plin z električnim nabojem. Nastane z gretjem ali z izpostavitvijo inertnega plina močnemu elektromagnetnemu polju. Biološki učinki so različni, odvisno od vrste plazme. V onkologiji za enkrat nima posebnega mesta.

Elektromagnetna sevanja (EM-sevanja) ali **pulzna elektromagnetna sevanja** (PEM-sevanja) so sevanja nizkih frekvenc. Uporabljajo se za vrsto namenov, od zdravljenja kostnih zlomov do izboljšanja počutja. Nekatere oblike PEM-sevanja se lahko uporabljajo tudi za dostavo zdravil v tumorje, na primer z elektroporacijo.

Izpostavljenost celic električnemu polju lahko zveča permeabilnost celične membrane, t.j. prehajanje molekul v celic in iz njih. Razlikujemo **reverzibilno** in **ireverzibilno elektroporacijo**. Reverzibilna elektroporacija se uporablja za dostavo citostatikov, kar je elektrokemoterapija, ali za dostavo plazmidne DNA za elektrogenski prenos. Pri ireverzibilni elektroporaciji izpostavimo celice takšnemu elektromagnetnem polju, da to samo povzroči celično smrt. Elektrokemoterapija in ireverzibilna elektroporacija sta ablativni tehniki, ki se uporabljata pri zdravljenju kožnih in globoko ležečih tumorjev.

Ultravijolično (UV) sevanje je za človeško oko nevidna svetloba z valovno dolžino 10–400 nm. Obsega 10 % vsega sevanja, ki ga oddaja Sonce. Razlikujemo sevanja UV-A, UV-B in UV-C. Vsa so škodljiva za kožo in so karcinogena. Povzročijo nastajanje timinskih dimerov DNA, kar pripomore k nastanku kožnega raka. Ima pa sevanje UV tudi pozitivne učinke, saj spodbuja sintezo vitamina B v človeškem telesu. Sevanje UV še nima medicinske rabe, ker pa deluje antimikrobno, se v zadnjem času omenja morebitna uporabnost za sterilizacijo ran.

Slikovna diagnostika z žarki X se uporablja pri klasičnem rentgenskem slikanju vrste organov kot tudi pri računalniški tomografiji (*computed tomography, CT*). Rentgenske preiskave so hrbtenica slikovne diagnostike. Z razvojem tehnike so dozne obremenitve pri teh preiskavah vse manjše, kar je pomembno, saj njihovo število vztrajno narašča.

Radioterapija uporablja ionizirajoče sevanje različnih virov za zdravljenje bolnikov z rakom. Najbolj se uporablja EM-sevanje, predvsem žarki X, in sevanje gama; tehnike dostave in razporeditve sevanja v tkivih zahtevajo zapletene postopke. Je pa radioterapija ena glavnih modalitet zdravljenja raka.

BIOLOŠKI UČINKI SEVANJ

Sevanja lahko razdelimo po biofizikalnih lastnostih na neradioaktivna in radioaktivna ali neionizirajoča in ionizirajoča. Posledice ionizirajočega sevanja so ionizacije v atomih, kar v celicah povzroči enojne ali dvojne prelome DNA in poškoduje tkiva. V območju neionizirajočih sevanj ločimo sevanja glede

na netermične in termične učinke. Z višanjem frekvence sevanja se večajo tudi njegovi termični učinki. V območju infrardeče, vidne svetlobe in sevanja UV so prevladujoči termični, optični in fotokemični učinki, ki nastanejo, ko se vzbujeni (ekscitirani) elektroni povrnejo v normalno stanje.

PRIPOROČENA LITERATURA

1. Casar B, Strojan P. Radioterapija s protonskimi žarki. *Onkologija* 2018; 22: 12–6.
2. Kralj M. Biološke spremembe, ki jih povzročijo sevanje. *Raopis* 2006; 14: 19–21.
3. Mele I. Radioaktivnega sevanja ni – je le sevanje radioaktivnih snovi. *Raopis* 2006; 14: 9–12.
4. Mele I, Kralj M, Železnik N. Oh, to sevanje! *Raopis* 2006; 14: 5–8.
5. Podkrajšek M, Žagar I, Renner M, Kocijančič I, Salapura V, Jereb S, Diagnostika raka. Tretji del: Slikovne preiskavne metode. In: Novaković S, Hočevar M, Jezeršek Novaković B, Strojan P, Žgajnar J (editors). *Onkologija: raziskovanje, diagnostika in zdravljenje raka*. 1st ed. Ljubljana: Mladinska knjiga, 2009, 101–15.
6. Serša G. Biološki učinki ionizirajočega sevanja. Ljubljana: Zavod za varstvo pri delu, 2004.