

Primjena visokofrekventne struje u medicini

Aleksandra Milošević¹

Još se uvijek s užitkom sjećam kako sam prije devet godina naboj snažne indukcijske zavojnice ispraznio kroz svoje tijelo kako bi pred znanstvenom javnošću demonstrirao komparativnu neškodljivost visokofrekventnih električnih struja, i još se uvijek sjećam zaprepaštenja publike.

Nikola Tesla, *The Problem of Increasing Human Energy*

Visokofrekventne struje su izmjenične struje, frekvencije veće od 20 kHz. One se proizvode pomoću visokofrekventnih generatora. Prvi generator visoke frekvencije napravio je Hertz 1886. g., kada je pomoću iskre pobuđivao otvoren oscilatorni strujni krug. Frekvencija ovog oscilatora ovisila je od induktivnosti i kapacitivnosti kruga, dok je snaga iznosila nekoliko kilovata. Walther Meissner je 1913. g. napravio generator visoke frekvencije s elektronskom cijevi, koja je nadoknađivala energiju oscilatornom krugu tijekom svakog perioda, zbog gubitaka u otpornicima. Dobivene struje imale su frekvenciju do 10 MHz, [5].

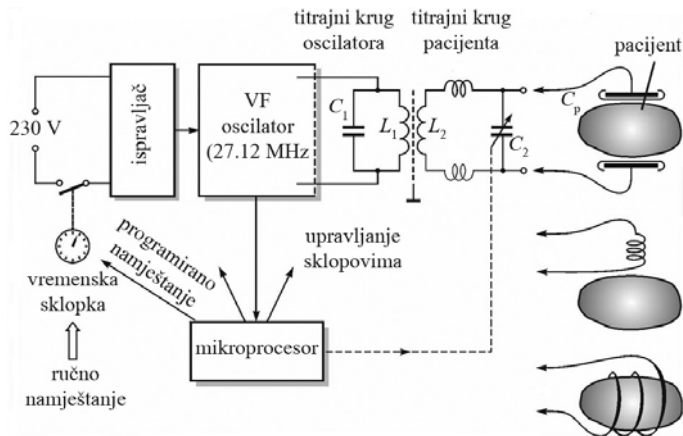
Najvažnije radove u razvoju tehnike visokofrekventne struje dao je Nikola Tesla, te se u njegovu čast one nazivaju i Tesline struje. Njegov uređaj za dobivanje visokofrekventnih struja poznat je kao *Teslin transformator*. Tesline struje, naročito one visokog napona od više stotina tisuća volti, mogu se propustiti kroz čovjekov organizam bez bojazni po život ili druge štetne efekte. Odsustvo fiziološkog djelovanja ovih struja pripisuje se njihovoj visokoj frekvenciji. Fiziološko djelovanje struje potiče od elektrolitičkih procesa koji se događaju u elektrolitima stanica, pri prolasku struje kroz organizam. Tesline struje imaju tako veliku frekvenciju da tijekom jednog perioda T , ioni samo osciliraju oko svojih ravnotežnih položaja. Zbog izraženog površinskog efekta, ove struje teku samo po površini tijela (skin efekt).

U posljednjem desetljeću XIX. stoljeća, neovisno jedan od drugog kroz svoje tijelo propuštali su visokofrekventnu struju francuski liječnik i fizičar d'Arsonval i Tesla. D'Arsonval je propustio kroz svoje i tjelo svog asistenta visokofrekventnu struju od 10 MHz, jačine 1 A, pri čemu su opazili osjećaj topline.

Djelovanje visokofrekventnih struja na čovjekovo tijelo zasnovano je na toplinskom učinku. Postupci za primjenu visokofrekventnih struja dobili su zajednički naziv *dijatermija*. Dijatermija potiče od grčke riječi *dia* – kroz i *therme* – toplina. U tkivu se stvara toplina uslijed otpora tkiva prolazu visokofrekventnih struja. U terapijske svrhe koristi se kao elektroterapija kratkovalna i mikrovalna dijatermija, [1], [2].

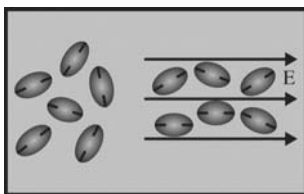
Uređaji za kratkovalnu visokofrekventnu elektroterapiju primjenjuju se od 1920. g. Uređaj za dobijanje kratkih valova sastoji se iz tehničkog i terapijskog kruga. Tehnički krug sadrži oscilatorni (titrajni) krug, u kome pražnjenjem kondenzatora posredstvom zavojnice, nastaju kratki valovi. U terapijski krug, koji se sastoji iz oscilatornog kruga, uključuje se pacijent. Veza između tehničkog i terapijskog kruga je induktivna. Da bi se izvršio prijenos energije iz tehničkog u terapijski krug, potrebno je postići rezonanciju između ova dva kruga, odnosno izjednačiti im frekvencije.

¹ Autorica je dipl. fizičarka iz Beograda; e-pošta: alexandraphysics@gmail.com



Uređaji za kratkovalnu dijatermiju emitiraju elektromagnetne valove frekvencije od 10 do 100 MHz. U medicinske svrhe najčešće korištena frekvencija je 27.12 MHz. Generatori kratkovalnih valova za potrebe dijatermije proizvode visokofrekventno elektromagnetsko polje. Kratkovalna dijatermija je prijenos visokofrekventne elektromagnetske energije koja se od strane tkiva pri apsorpciji pretvara u toplinu. Ovisno od toga koji dio tijela se tretira koriste se uređaji s kapacitivnom ili induktivnom elektrodom.

Kapacitivne elektrode su kružne i tvrde u plastičnom ili staklenom kućištu. Koriste za tretiranje tkiva male vodljivosti (masno tkivo). Kada se postave na određeni dio tijela pacijent postaje dio strujnog kruga, s rezonantnom frekvencijom. Kapacitivne elektrode stvaraju veći udio električnog polja u odnosu na magnetsko polje. Čovječje tijelo predstavlja složeni sistem kondenzatora i ohmskog otpora. Stanične membrane predstavljaju dielektrik, a međustanična tekućina, s jedne i citoplazma s druge strane, čine vodiče. Na taj način, u tkivima postoje mikrokondenzatori – dva vodiča između kojih je dielektrik. Ukupni kapacitet čovjekovog tijela iznosi 0.01 do 0.02 mF. Otuda u tkivima, osim ohmskog, postoji i kapacitivni otpor, induktivni je zanemariv.



Kroz tkiva se električna struja prenosi posredstvom nabijenih čestica – iona. To je ionska vodljivost. U električnom polju ioni se gibaju linearno, naprijed-nazad, stalno mijenjajući smjer, sudaraju se međusobno i s drugim molekulama i uslijed trenja stvara se toplina (ohmski gubici). Osim nabijenih čestica, u tkivima postoje i polarizirane molekule, čiji je jedan kraj pozitivan, a drugi negativan, mada je molekula u cijelini električno neutralna.

Takve molekule su električni dipoli. Kao dipoli se ponašaju molekule vode, neki proteini i hormoni. Oni posjeduju vlastito električno polje i kada se izlože djelovanju vanjskog električnog polja oni se orijentiraju u pravcu vanjskog polja. Uslijed njihovog okretanja dolazi do trenja s viskoznom sredinom u kojoj se nalaze, što dovodi do dielektričnih gubitaka koji uzrokuju zagrijavanje tkiva. Nepolarne molekule pod djelovanjem električnog polja bivaju polarizirane, pri čemu dolazi do njihove deformacije (deformira se elektronski oblak), i one slabo doprinose stvaranju topline. Kratki valovi u tkivima izazivaju konverziju električne energije u toplinu. Elektrode

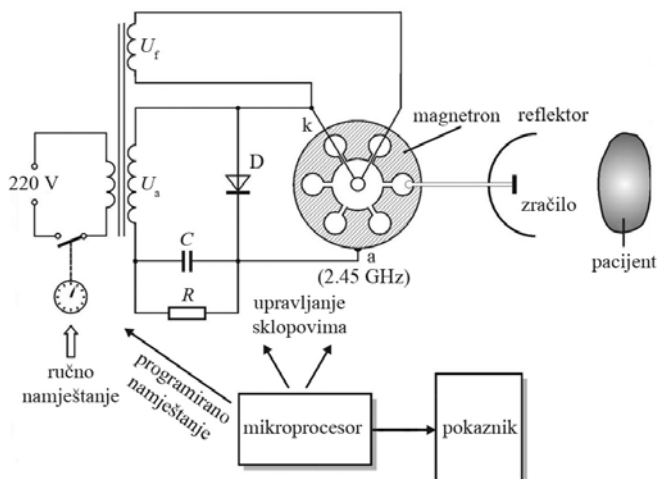
koje se koriste predstavljaju ploče kondenzatora, a dio tijela između njih je dielektrik. Kapacitet kondenzatora direktno je proporcionalan produktu dielektrične konstante i veličine (površine) elektrode, a obrnuto je proporcionalan razmaku između elektroda. Zagrijavanje tkiva ovisi od električnog otpora tkiva i njegovog položaja u odnosu na linije električnog polja. Tkiva s velikim otporom, kao što je masno tkivo, najviše se zagrijavaju ako leže okomito na linije polja, dok se tkiva s niskim otporom, kao što su mišići, najviše zagrijavaju ako leže duž linija polja, [1], [2].

Za tretman tkiva dobre vodljivosti (mišići) koristi se induktivna elektroda koja je smještena u bubanj. Primjenom ove elektrode pacijent nije dio strujnog kruga. Ova elektroda stvara veći udio magnetskog polja, te se zagrijavanje tkiva vrši vrtložnim strujama koje nastaju uslijed indukcije napona u tkivu (prema Faradayevom zakonu) koje se nalazi u promjenljivom magnetskom polju. Vrtložne struje prvi je detaljno proučio francuski lječnik i fizičar Leon Foucault, te se one nazivaju Foucaultove struje. Prije njega slične ogledе vršili su Francois Arago i Michael Faraday.



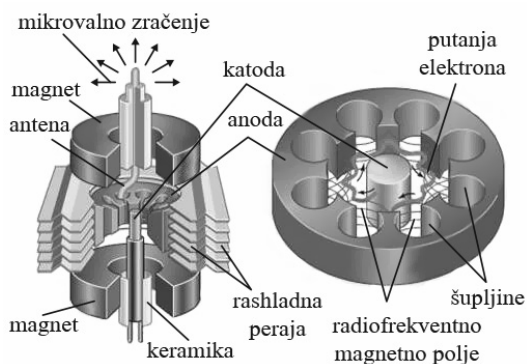
Kod mikrovalne dijatermije pacijent nije dio strujnog kruga, već je izložen elektromagnetskim valovima. Mikrovalno zračenje kojem se izlaže pacijent ima valnu duljinu od oko 12 cm i frekvenciju 2.450 GHz. Mikrovalna dijatermija ne zagrijava tkivo duboko. Zagrijavanje tkiva javlja se kao posljedica apsorpcije fotona. Intenzitet apsorbiranog zračenja opisan je formulom $I = I_0 e^{-\mu d}$, gdje je I – intenzitet apsorbiranog zračenja u dubini d od površine tijela, I_0 – upadni intenzitet, μ – apsorpcijski koeficijent koji ovisi o vrsti tkiva, [5].

Mikrovalna zračenja manje su apsorbirana u masnim tkivima nego u mišićima. Upadni fotoni (kvanti elektromagnetskog zračenja) lako prodiru u površinski masni sloj i potpuno se apsorbiraju u mišićnom tkivu 3–6 cm od površine. Mikrovalno zračenje nastaje u elektronskoj cjevi *magnetronu*. Magnetron je mikrovalni oscilator velike snage. On sjedinjuje funkciju oscilatornog kruga i elektronske cijevi.



Njegov rad temelji se na specifičnim svojstvima kretanja elektrona u ukrštenim električnim i magnetskim poljima. Magnetron se sastoji od dvije cilindrične elektrode –

katode i anode koja ju okružuje i nalaze se u vanjskom magnetskom polju. U anodi se nalazi paran broj procjepa i šupljina, koji predstavljaju rezonatore, odnosno oscilatorne krugove. Procjepi imaju ulogu kondenzatora, a šupljine ulogu samoindukcijske zavojnice. Cijeli sistem je u polju jakog magneta. Kada se zagrije, katoda emitira elektrone koji se u mlazu kreću ka anodi velikom brzinom. Pod učinkom magnetskog polja, elektroni se ne kreću pravocrtno, već kruže u prostoru između anode i katode. Pri tom kruženju, oni u rezonatorima izazivaju oscilacije s frekvencijama koje odgovaraju mikrovalovima. Svi rezonatori su međusobno induktivno povezani, tako da se jedan rezonator spaja s koaksijalnim kablom, kojim se elektromagnetska energija odvodi do antene za zračenje. Antena je montirana u sredinu metalnog reflektora. Ona emitira mikrovalove divergentno, u svim pravcima, a reflektor ih odbija i usmjerava ka objektu zračenja – pacijentu. Metalni reflektor oko antene određuje oblik geometrije mikrovalnog zračenja. Energija mikrovalova koja dolazi do pacijenata ovisi o snazi uređaja, veličini i obliku reflektora te o njegovoj udaljenosti od tijela. Udaljavanjem reflektora intenzitet zračenja se smanjuje, a ozračena površina raste. Na granici dviju sredina s različitim dielektričnim svojstvima mikrovalovi se jednim dijelom reflektiraju pri čemu dolazi do nastanka stojnih valova, što pospješuje lokalno zagrijavanje (u čvornim točkama), a drugim dijelom prodiru. Reflektiranje je veliko na granici zrak-koža, koža-masno tkivo i masno tkivo-mišići. Apsorbirana mikrovalna energija, izaziva rotaciju dipolnih molekula, kretanje iona i distorziju elektronskih putanja atoma i molekula, povećavajući toplinu u tkivima. Količina povećane topline proporcionalna je količini apsorbirane energije.



Apsorpcija je najveća u tkivima s velikim sadržajem vode, kao što su mišići jer je frekvencija mikrovalova bliska *relaksacijskoj frekvenciji* dipolnih oscilacija molekula vode. Relaksacijska frekvencija je ona pri kojoj je rotacija dipola najveća. Kada je ova frekvencija niža od frekvencije mikrovalova, dipoli zaostaju u svom gibanju, pa je apsorbcija manja, [1], [2], [3], [4].

Literatura

- [1] JELENA SIMEUNOVIĆ, PREDRAG ZEKOVIĆ, *Fizikalna terapija 1 i 2*, sedmo izdanje, Beograd (2005).
- [2] D. KRILOV, *Fizika s elektronikom za elektroterapeute*, Medicinski fakultet Zagreb (1989).
- [3] GEORGE B. COLLINS, *Microwave Magnetrons*.
- [4] <http://www.radartutorial.eu/08.transmitters/Magnetron.en.html>
- [5] DRAGIŠA M. IVANOVIĆ, VLASTIMIR M. VUČIĆ, *Fizika 2*, Beograd.