

POREĐENJE IMIDŽING METODA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI COMPARISON OF IMAGING METHODS IN MEDICAL DIAGNOSTICS

Aleksandar Davidović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj – U radu su prezentovane brojne imidžing metode medicinske dijagnostike koje se danas globalno koriste u kliničkoj praksi, kao i one metode koje su trenutno u fazi istraživanja i razmatranja. Za svaku metodu navedeno je šta ona predstavlja, kako funkcioniše sam princip rada, kao i gde se ona može primeniti i koje su m prednosti i mane.

Ključne reči : Imidžing, radiografija, MRI, CT, PET, ultrasonografija,

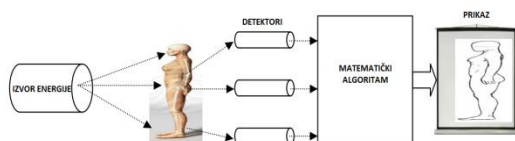
Abstract – This paper contains the description of the various medical imaging techniques which are widely used in medical diagnostics. Every single method was described in the way how it works, where is the field of application and what are their advantages and disadvantages.

Keywords: Imaging, radiography, MRI, CT, PET, ultrasonography

1. UVOD

Medicinske imidžing tehnike (MIT) predstavljaju neinvazivne metode za pregledanje unutrašnjosti ljudskog tela, bez otvaranja samog tela hirurškim putem. MIT predstavljaju najčešće medicinske preglede uz laboratorijske testove (pregled krvi i različitih uzoraka).

Medicinska imidžing dijagnostika prošla je kroz pravu revoluciju u godinama za nama, brzo se razvijala, postala tačnija i manje invazivna. Ona se može smatrati kao alat za bolje upoznavanje neurobiologije i ljudskog ponašanja. Osnovni koncept ovakve dijagnostike prikazan je na slici 1.



Slika 1. Osnovni princip MIT

Sam sistem se sastoji od određenog izvora energije koji može da proдре kroz ljudsko telo, ta energija prolazi kroz ljudsko telo, zatim pri prolasku slabi i apsorbuje se na različitim nivoima u zavisnosti od gustine i samog sastava tkiva kroz koje prolazi energija, pri čemu se stvara signal. Ovi signali se detektuju specijalnim detektorima kompatibilnim sa izvorima enegije, a zatim se matematičkom manipulacijom i različitim algoritmima dolazi do krajnjeg produkta tj. slike željene anatomije.

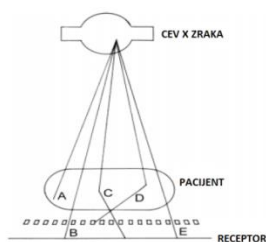
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Platon Sovilj, vanr. prof.

U zavisnosti od izvora energije, postoji mnogo različitih tehnika kojima se može pregledati unutrašnjost ljudskog tela. Ove tehnike se zasnivaju na signalu koji putuje tačno kroz pacijenta. Signali interaguju sa stkvom pacijenta. Detektujući signal koji prođe kroz telo, može se napraviti slika. Interesantne tehnike koje će biti predstavljene u ovom radu su rendgen, kompjuterizovana tomografija (CT), magnetna rezonantna tomografija (MRI), ultrasonografija, pozitron emisiona tomografija (PET), terahercni imidžing, elektroimpedansna tomografija, infracrvena termografija, optičko snimanje [1].

2. RADIOGRAFIJA

Radiografija je brza i korisna dijagnostika koja uz pravu indikaciju daje puno podataka koji su odlučujući za dalje zbrinjavanje pacijenta i kontrolu bolesti. Rendgenski aparati predstavljaju uređaje koji proizvode tzv. rendgenske ili X zrake i omogućavaju njihovu primenu u medicini. Doza zračenja koju pacijent primi tokom snimanja je minimalna. Radiografija je dijagnostička tehnika koja koristi jonizujuće elektromagnetsko zračenje, kao što su X zraci, da bi se dobila slika objekta. X zracu predstavljaju elektromagnetsko zračenje visoke energije koje može da proдре kroz čvrstu materiju, a može i da izvrši jonizaciju gasova. Ima talasnu dužinu između 0.01 i 10 nm. U medicinskoj dijagnostici X zraci prolaze kroz telo, pri čemu dolazi do apsorpcije i slabljenja na različitim nivoima, u zavisnosti od gustine i atomskog broja različitih tkiva, stvarajući pri tome određeni profil tj. sliku (slika 2) [1].

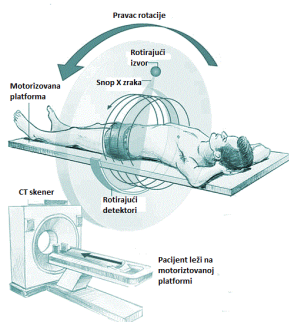


Slika 2. Princip rada radiografskog uređaja

3. KOMPJUTERIZOVANA TOMOGRAFIJA (CT SKENER)

Kompjuterizovana tomografija je savremena metoda ispitivanja, koja se zasniva na nekim starim metodama (upotreba X zraka, tehnika tomografskog snimanja) i novim dostignućima (upotreba računara). Film je zamenjen sistemom detektora koji sa velikom preciznošću pretvaraju X-zrake u svetlosne ili električne impulse koji se dalje prenose i arhiviraju ukompjuter. Skener je rendgenološki aparat u obliku velike kutije sa kružnim otvorom, ili kraćim tunelom, u centru. Pacijent leži na

uskom stolu koji se kreće kroz ovaj otvor i za to vreme se izlaže dejstvu rendgen zračenja. Oko pacijenta se rotira rentgen cev i elektronski rentgen detektor, koji se nalaze suprotno jedan od drugog, u prstenu koji se zove pokretni deo skenera [2]. Svaki put kada izvor X zraka napravi jednu punu rotaciju, CT kompjuter koristi sofisticirane matematičke tehnike za konstrukciju 2D slike jednog slajsa (engl. *slice*), tj. vrlo tankog sloja pacijenta. Debljina tkiva reprezentovana na svakoj slici slajsa može varirati u zavisnosti od toga koji se CT skener koristi, ali se uglavnom kreće u opsegu 1-10 mm. Kada je napravljen ceo slajs, slika se čuva, a motorizovani krevet se pomera unapred prema otvoru. Postupak se zatim ponavlja da bi se dobio novi slajsa i to se vrši sve dok se ne dobije željeni broj slika. Postupak je prikazan na slici 3 [3].



Slika 3. Princip rada CT skenera

4. MAGNETNA REZONANCA (MRI)

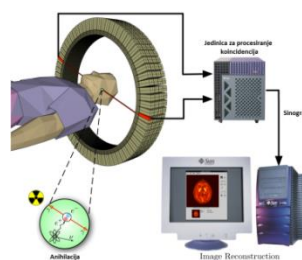
Magnetna rezonanca (MRI – *magnetic resonance imaging*) je imidžing tehnika koja koristi magnetno polje i impulse radiotalasne energije u cilju pravljenja slike organa, tkiva i struktura unutar tela. Magnetna rezonanca pruža drugačiji vid informacija u odnosu na rentgensko snimanje, ultrazvuk ili skener (kompjuterizovanu tomografiju-CT). Uz pomoć magnetne rezonance moguće je uočiti probleme koji nije moguće videti drugim tehnikama. Za snimanje magnetnom rezonancom deo tela koji se snima postavlja se unutar specijalne mašine u kojoj se nalazi veliki magnet. Slike dobijene ovom metodom mogu se sačuvati na kompjuteru ukoliko je potrebno. Ove slike se takođe mogu koristiti i u operacionoj sali tokom operacije. Za snimanja određenih regija tela može biti potrebno davanje kontrastnog sredstva, kako bi slika bila jasnija. Procedura je bezbolna i traje oko sat vremena. Mašina za magnetnu rezonancu izgleda kao velika cev sa krajevima koji su otvoreni. Snimanje se izvodi tako što pacijent legne na sto koji se pokreće ka jednom otvoru mašine. Tehničari posmatraju snimanje iz susedne sobe (slika 4). Ova mašina stvara veoma jako magnetno polje i usmerava radio talase ka ljudskom telu. [4].



Slika 4. Postupak MRI snimanja

5. PET SKENER

Pozitron emisiona tomografija (PET) je jedna od najvažnijih imidžing dijagnostičkih procedura koja se pretežno koristi u onkologiji, neurologiji i kod kardiovaskularnih bolesti. Trenutno je PET najefikasniji metod u otkrivanju recidiva raka sa značajnim prednostima u odnosu na CT i MR PET snimak prikazuje hemiju organa i tkiva. Radiofarmaci, kao na primer FDG (fluorodeoksiglukoza), koga čine šećer (glukoza) i radionukleid (radioaktivni element) koji zrači se ubrizgaju u pacijenta, a emisija radioaktivnog zračenja se meri PET skenerom. PET skener se sastoji od niza detektora koji okružuju pacijenta. Korišćenjem gama zraka koje daje injektovani radionukleid, PET meri količinu metaboličke aktivnosti na posmatranom mestu u organizmu i to pretvara u odgovarajuću sliku. Čelije raka imaju višu metaboličku aktivnost nego normalne čelije, pa se one vide kao gušća oblast na PET snimku [5]. Kada radioizotop podlegne pozitron emisionom propadanju, on emituje pozitron, antičesticu elektrona sa obrnutim naelektrisanjem. Emitovani pozitron putuje u tkivu na kratkoj distanci (obično oko 1 mm, ali zavisi od izotopa), usled čega gubi kinetičku energiju sve dok ne uspori toliko da može doći do interakcije sa elektronom. Taj sudar dovodi do uništenja i elektrona i pozitrona proizvodeći par anihilacionih (gama) fotona koji se kreću u suprotnim pravcima. Oni se detektuju kada dođu u kontakt sa scintilatorom u uređaju praveći prasak svetlosti koji se detektuje sa fotomultiplirajućom cevi ili fotodiodama (Si APD). Tehnika zavisi od istovremenih ili slučajnih detekcija para fotona koji se kreću u suprotnim smerovima [6]. Kolektiranjem miliona ovakvih događaja, moderni PET skeneri koriste sofisticirane hardvere i softvere za rekonstrukciju slike raspodele PET radiofarmaceutika [5]. Šema postavke PET skenera je prikazana na slici 5.



Slika 5. Šematski prikaz PET sistema

6. ULTRASONOGRAFIJA

Ultrasonografija je neinvazivna dijagnostička metoda, u humanoj i veterinarskoj medicini, zasnovana na primeni ultrazvučnih talasa. Ultrazvučni talasi su talasi frekvencije iznad frekvencije čujnosti ljudskog uva. U medicinskoj dijagnostici koristi se ultrazvuk frekvencije između 3 i 10 MHz. U telu se ultrazvuk prvenstveno širi longitudinalnim talasima, kod kojih čestice tkiva titraju uzduž smera širenjem talasa. [1]. Medicinski ultrazvučni uređaji generišu ultrazvučne talase i primaju odbijene talase nazad. Ultrazvučni talasi se emituju sa piezoelektričnog kristala koji se nalazi u ultrazvučnom pretvaraču (engl. *transducer*). Piezoelektrični kristali se prave od materijala koji mogu konvertovati mehaničke vibracije u električne signale ili električne signale u

mehaničke vibracije. Kad ultrazvuk prođe kroz određena tkiva on se odbija nazad do pretvarača stvarajući sliku na ekranu. Akustična impedansa (slika 6) je definisana kao otpor prilikom prostiranja ultrazvulnih talasa. Ona varira u zavisnosti od gustine materijala kroz koji ultrazvuk prolazi. Kada je material tvrdi, onda su čestice tog materijala gušće raspoređene izazivajući time da se ultrazvučni talasi uglavnom odbijaju. Tečnosti, za razliku od čvrstih materijala uglavnom propuštaju većinu ultrazvulnih talasa, tako da se manje talasa vraća od strane tečnosti. Ovo daje tzv. ehogensku crnu sliku. Kost i kamenje reflektuju više talasa i daju bele, svetle slike. Kako se ultrazvučni talasi ne mogu prostirati kroz kamen, iza njih će biti prikazana tamna senka. Vazduh je takođe jak ultrazvučni reflektor, onemogućujući time da se vide strukture iza njega [7]. Zato se ultrazvuk ne koristi, tj. ima manji značaj u vizuelizaciji šupljih organa u telu kao što su organi digestivnog trakta.



Slika 6. Akustična impedansa i prostiranje talasa kroz razna tkiva [18]

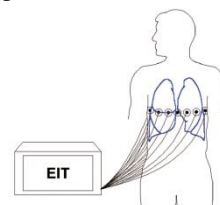
7. TERAHERCNI IMIDŽING

Terahercno (THz, $1 \text{ THz} = 10^{12}$) zračenje, poznato kao terahercni talasni, terahercno svetlo ili terahercni zraci, su smešteni u frekvencijskom opsegu između optičkih i elektronskih tehnika. Ovaj opseg je definisan sa 0.1-10 THz i postao je predmet istraživanja u fizici, hemiji, biologiji, medicini i oblasti materijala [8]. Tehnologija za generisanje i detektovanje terahercnog zračenja je značajno napredovala u poslednje dve decenije. Trenutno je dostupno nekoliko komercijalnih sistema. Terahercni sistemi koji se zasnivaju na laserskim principima se mogu podeliti u dve klase: kontinualne (engl. *continuous wave* - CW) i pulsne. Takođe je moguće generisati i terahercno zračenje koristeći oscilatorne metode i ovo je često jeftinije nego koristeći laserske principe. Tipičan CW sistem može proizvesti jednu fiksnu frekvenciju ili nekoliko diskretnih frekventnih izlaza. Neke od njih se mogu prilagođavati. Generisanje CW terahercnog zračenja može se postići fotomešanjem, slobodnim elektronskim laserima i kvantnim kaskadnim laserima [9].

8. ELEKTROIMPEDANSNA TOMOGRAFIJA

Postoji velik broj različitih tomografskih metoda u zavisnosti od tipa talasa koji se propuštaju kroz tkivo. Elektroimpedansna tomografija (EIT) odnosi se na neinvazivnu tehniku kod koje se slika unutrašnjih tkiva i njihove funkcionalnosti rekonstruiše merenjem njihove provodnosti odnosno električne permitivnosti, propuštanjem naizmeničnih strujnih impulsa. Električna provodnost zavisi od sadržaja slobodnih jona i značajno se razlikuje od tkiva o tkiva (apsolutna tomografija, a-EIT), kao i između zdravog i obolelog tkiva, tj. tkiva sa promenjenom funkcijom (relativna ili funkcionalna

tomografija, f-EIT). Većina tomografa propušta struju samo jedne učestanosti, ali se bolji rezultati postižu upoređivanjem slika dobijenih na više različitih učestanosti. Tada se ova metoda naziva još i elektroimpedansna spektroskopija. Kod EIT provodne elektrode se prisanljaju na kožu oko dela tela koji se pregleda. Mala naizmenična struja propušta se kroz neke od elektroda dok se pomoću drugih beleži električni potencijal. Ovaj proces se ponavlja za velik broj različitih konfiguracija, što na kraju rezultuje dvodimenzionalnom slikom unutrašnjosti pacijenta. S obzirom da sadržaj slobodnih jona određuje provodnost (impedansu), jasno je da će mišići i krv provoditi struju bolje od masnog tkiva, kostiju ili pluća. Međutim, za razliku od tomografskih metoda na bazi elektromagnetskih talasa, kod EIT će struja putovati krivolinijskim putanjama prateći trodimenzionalnu putanju najmanjeg otpora. To znači da će deo električne struje napustiti zamišljenu ravan poprečnog preseka ljudskog tela i pratiti krvotok, uzrokujući „pomeranje“ impedanse u paralelne ravni. [10]. Na slici 7 je prikazana EIT konfiguracija.



Slika 7. Konfiguracija elektroimpedansne tomografije [28]

9. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA

Infracrveno zračenje (IR) je vid elektromagnetne emisije talasne dužine u opsegu od 0.7-1000 μm . To je toplotno zračenje koje proizvode sva tela koja su zagrejana iznad temperature apsolutne nule. Infracrvena termografija predstavlja otkrivanje infracrvenog (toplotnog) zračenja koje emituje telo i prevodi ga u vidljivu sliku (termogram). Mehanizmi gubitka toplote iz tela su putem kondukcije, konvekcije, evaporacije i radijacije (oko 60% ukupnog toplotnog gubitka).

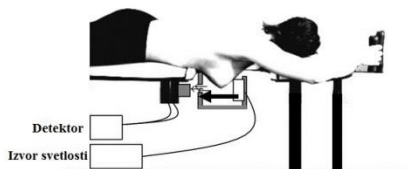
Temperatura koja se meri na površini kože je u funkciji stanja unutrašnjih organa i termalne prirode okolnog tkiva [11]. Termovizijska oprema se sastoji od termografske kamere i jedinice za obradu termograma (PC računar). U samoj kameri je integrisana infracrvena optika, detektor infracrvenog zračenja, monitor i kartica za arhiviranje podataka. Računar služi za obradu termograma pomoću odgovarajućeg softvera i u njega se učitavaju podaci s kartice koja se nalazi u kameri. Softver omogućava obradu termograma, organizovanje termograma po direktorijumima, analizu termograma i pravljenje izveštaja [12]. Na slici 8 prikazana je termovizijska oprema koja se sastoji od termovizijske kamere i računara.



Slika 8. Konfiguracija termografskog uređaja

10. OPTIČKI IMIDŽING

Optički imidžing je novija tehnika medicinske dijagnostike koja koristi blisko infracrveno (NIR) svetlo da pristupi informacijama o optičkim svojstvima tkiva i očekuje se da u budućnosti odigra značajnu ulogu u detekciji kancera, prvenstveno dojke. Još 1929. godine su rađena prva istraživanja gde se gledala senka svetla transmitovanog kroz tkivo pomoću normalne lampe. Iako su se veće maligne lezije sa jakom vaskularizacijom mogle videti, tada još uvek nije bila moguća dovoljna osetljivost i specifičnost da bi ova metoda zaživela u kliničkoj praksi. U poslednjim godinama, usled napretka tehnologije izvora i detektora, propagacije svetlosti, modelovanja i fluorescentnih agenasa, rezultovalo je ponovnim interesovanjem za ovu metodu. Optički imidžing za kancer dojke koristi blisko infracrveno svetlo talasne dužine 600-1000 nm da bi se dobila optička svojstva tkiva [13]. Optičko snimanje koristi prostiranje svetlosti kroz tkivo radi dobijanja informacija o različitim svojstvima tkiva. Generalno, uređaji za optičko snimanje transmituju svetlo kroz tkivo gde se ono i apsorbuje i rasejava od strane različitih materija u tkivima. Svetlo koje se koristi u ove svrhe je uglavnom monohromatsko u NIR delu spektra što omogućuje dubinu prodiranja od nekoliko centimetara. Šema snimanja se može videti na slici 9 [14].



Slika 9. Konfiguracija za optičko snimanje

11. ZAKLJUČAK

Medicinska imidžing dijagnostika je dovela do ogromnog razvoja medicine i predstavlja značajan pomak u otkrivanju širokog spektra različitih bolesti. Ovaj rad pokazuje samo neke od metoda koje se danas koriste za medicinsku dijagnostiku. U radu su prvo navedene tehnike koje su danas rasprostranjene širom sveta i konvencionalno se koriste, a to su radiografija, kompjuterizovana tomografija (CT), magnetna rezonanca (MRI), pozitron emisiona tomografija (PET) i ultrasonografija, kao i metode koje su još uvek u razvoju i nisu svuda zaživele u praksi, a one su terahercni imidžing, elektroimpedansna tomografija, infracrvena termografija i optički imidžing. Za svaku od metoda dijagnostike navedeno je šta predstavlja, kako funkcioniše, princip rada, kako se može primeniti, kao i koje su mane i nedostaci u pogledu kvaliteta slike, zračenja, brzine snimanja. Nijedna od ovih metoda se ne može koristiti za sve medicinske primene. Svaka ima svoja ograničenja i bolja je za snimanje određenih tkiva u odnosu na druge.

12. LITERATURA

[1] Hany Kasban, Dina Salama, Mohsen El-bendary (2015) "A Comparative Study of Medical Imaging Techniques". *International Journal of Information Science and Intelligent System*.

[2] <https://ivamilosevic5.wordpress.com/2018/10/02/sken-er-ct-kompjuterizovana-tomografija/>

[3] <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/computed-tomography-ct>

[4] <https://www.belmedic.rs/pregled/magnetna-rezonanca-mr>

[5] Landis K. Griffeth (2005) "Use of PET/CT scanning in cancer patients: technical and practical considerations". *Baylor University Medical Center Proceedings*.

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/Positron_emission_tomography

[7] Fikri M Abu-Zidan, Ashraf F Hefny, and Peter Corr (2011) "Clinical ultrasound physics". *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock*.

[8] Yiwen Sun, Ming Yiu Sy, Yi-Xiang J Wang, Anil T Ahuja, Yuan-Ting Zhang, Emma Pickwell-MacPherson (2011) "A promising diagnostic method: Terahertz pulsed imaging and spectroscopy". *World Journal of Radiology*.

[9] Calvin Yu, Shuting Fan, Yiwen Sun, Emma Pickwell-MacPherson (2012) "The potential of terahertz imaging for cancer diagnosis: A review of investigations to date". *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*.

[10] http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/eiem/10_Merjenje_impedanse_kapacitivnosti_i_induktivnosti.pdf

[11] Misioek M, Namysowski G, Czecior E. (1999) "Thermography in the investigation of head and neck tumors". *Med Sci Monit*.

[12] Damjanović Z, Stevic Z, Vušović N. (2012) "Infrared digitalne slike u medicini". *Zbornik radova na CD*.

[13] S.M.W.Y. van de Ven, S.G. Elias, M.A.A.J. van den Bosch, P. Luijten, W.P.Th.M. Mali (2008) "Optical imaging of the breast". *Cancer Imaging*.

[14] Michael Herranz, Alvaro Ruibal (2012) "Optical Imaging in Breast Cancer Diagnosis: The next Evolution". *Journal of oncology*.

Kratka biografija



Aleksandar Davidović rođen je u Valjevu 1995. godine. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na smeru Biomedicinsko Inženjerstvo u septembru 2018. godine..