




Dragan Vasić

*Šef kabineta za ultrazvučnu dijagnostiku
Klinike za vaskularnu i endovaskularnu hirurgiju
Kliničkog centra Srbije*

VASKULARNA ULTRASONOGRAFIJA

Beograd, 2014



*Mojoj ženi Marini, deci Lazaru i Nikoli,
za njihovo strpljenje i razumevanje
oduzetih zajedničkih lepih trenutaka.*

PREDGOVOR

Vaskularne bolesti su u Srbiji vodeći uzrok smrti i invaliditeta kod ljudi starijih od 50 godina.

U eri novih i visoko sofisticiranih dijagnostičkih procedura u vaskularnoj patologiji (MR i MSCT angiografija), na ultrazvučnu dijagnostiku se u Srbiji ne retko, a potpuno neopravdano, zaboravlja. Zbog toga je potrebno naglasiti brojne prednosti koje ova metoda ima u odnosu na ostale. Ultrasonografski pregled je brz, za bolesnika bezbolan, bezopasan i komforan, a za zdravstveni sistem zemlje, odnosno pacijenta jeftin, i najzad precizan, što je podjednako važno i za lekare i za pacijente. Danas je ova dijagnostička metoda "zlatni standard" u primarnoj dijagnostici, skriningu i praćenju vaskularnih bolesti.

Poslednjih 10-tak godina traje proces pisanja i sakupljanja fotografija vaskularnih patoloških stanja. Od 100.000 primarano selektovanih u knjizi je objavljeno oko 900 reprezentativnih i najkarakterističnijih Color duplex scan nalaza.

Posebno se zahvaljujem profesoru dr Lazaru Davidoviću, na usmeravanju mog profesionalnog rada, na kreiranju koncepta knjige i ljubazno ustupljenim angiografskim i intraoperativnim nalazima.

Bez obzira na kreativnost i rad, projekat ne bi uspeo bez profesora Dragana Markovića, koji mi je nesebično posvetio svoje vreme, pružio logističku i prijateljsku pomoć.

Naročito hvala mojim "internacionalnim" prijateljima, profesoru Zoranu Rančiću i dr Zoranu Mijoviću, na ključnim savetima i energetskom naučnom dopingu u pisanju teksta knjige.

Originalnosti knjige značajno je, dizajnom šema i slika, doprineo Jovan Blažić.

Uvodni tekstovi iz oblasti anatomije profesorke Milene Blagotić, profesorke Vidosave Radonjić, kao i segmenti tekstova dr Olivera Radmilija upotpunjuju sklad celine pisanja.

Izdavač, Medicinski fakultet Univerziteta u Beogradu, planira da, zbog deficitarnosti nastave iz ove oblasti, knjigu objavi i u regionu.

Moja želja je da ova knjiga dodatno olakša prenošenje znanja i iskustva zainteresovanim, da posluži kao dopuna praktične edukacije neinvazivnog ispitivanja magistralnih krvnih sudova, kako lekarima koji su specijalizovani za oblast ultrasonografije, tako i specijalistima angiologije, radiologije i vaskularne hirurgije.

Knjiga sadrži sedam različitih poglavlja vaskularnog ultrazvuka koji su štampani punim kolorom. To je učinjeno sa ciljem bolje ilustracije i sa naglaskom na edukativni karakter za lekare čitaoce.

U posebnom elektronskom obliku prikazani su edukativni filmovi Doppler ultrasonografije.

Dr sci. med. dr Dragan Vasić
specijalista interne medicine i angiologije

1 UVOD U ULTRASONOGRAFIJU KRVNIH SUDOVA

#1 OSNOVNA TERMINOLOGIJA	1
#2 ANALIZA SPEKTRALNIH KRIVA	7
#3 KARAKTERISTIKE PROTOKA STENOZANTNIH LEZIJA	9
#4 ARTEFAKTI ULTRASONOGRAFIJE	11

2 PRIMENA KONTRASNIH AGENASA U ULTRAZVUČNOJ DIJAGNOSTICI BOLESTI VASKULARNOG SISTEMA

#1 UVOD	17
#2 UPOTREBA KONTRASTA U ULTRAZVUČNOJ DIJAGNOSTICI CEREBROVASKULARNOG SISTEMA	19
#3 UPOTREBA KONTRASTA U ULTRAZVUČNOJ DIJAGNOSTICI BOLESTI AORTOILIJACNOG SEGMENTA	23
#4 KA I TROMBOZA DUBOKIH VENA	25
#5 BEZBEDNOST U PRIMENI KA	25
#6 ISPLATIVOST PRIMENE	26

3 ULTRASONOGRAFIJA KAROTIDNIH I VERTEBRALNIH ARTERIJA

#1 MOŽDANI UDAR. SOCIOEKONOMSKI ZNAČAJ	31
#2 ANATOMIJA KAROTIDNIH ARTERIJA	32
#3 INDIKACIJE ZA ULTRASONOGRAFIJU KAROTIDNIH ARTERIJA	37
#4 PROTOKOL ULTRASONOGRAFSKOG PREGLEDA KAROTIDNIH ARTERIJA	37
#5 ULTRASONOGRAFIJA KAO ZLATNI STANDARD PRE KAROTIDNE ENDARTEREKTOMIJE	42
#6 PROCENA STEPENA STENOZE KAROTIDNIH ARTERIJA. DOPPLER PARAMETRI HEMODINAMSKE ZNAČAJNOSTI	44
#7 PROCENA ZNAČAJNOSTI MORFOLOŠKIH PROMENA KAROTIDNIH ARTERIJA	47
#8 ULTRASONOGRAFIJA PATOLOŠKIH ELONGACIJA KAROTIDNIH ARTERIJA	57
#9 OPERATIVNO LEČENJE KAROTIDNIH ARTERIJA	61
#10 ULTRASONOGRAFIJA POSTOPERATIVNIH KOMPLIKACIJA KAROTIDNIH ARTERIJA	67
#11 REĐA PATOLOŠKA STANJA KAROTIDNIH ARTERIJA	72
#12 ULTRASONOGRAFIJA VERTEBRALNIH ARTERIJA	80

4 ULTRASONOGRAFIJA ABDOMINALNE AORTE I ILIJACNIH ARTERIJA

#1 ANATOMIJA ABDOMINALNE AORTE I ILIJACNIH ARTERIJA	93
#2 ULTRASONOGRAFSKA DIJAGNOSTIKA BOLESTI ABDOMINALNE AORTE	94
#3 ANEURIZMATSKA BOLEST ABDOMINALNE AORTE	104

#4	STENOZANTNO-OKLUZIVNA BOLEST AORTOILIJAIČNOG SEGMENTA	114
#5	REĐI PATOLOŠKI ENTITETI ABDOMINALNE AORTE	116
#6	OPERATIVNO LEČENJE ABDOMINALNE AORTE	117
#7	ULTRASONOGRAFIJA VISCERALNIH GRANA ABDOMINALNE AORTE	124

5 ULTRASONOGRAFIJA ARTERIJA EKSTREMITETA

#1	HIRURŠKA ANATOMIJA MAGISTRALNIH ARTERIJA NOGU <i>Prof. dr Milena Blagotić</i>	137
#2	HIRURŠKA ANATOMIJA MAGISTRALNIH ARTERIJA RUKU <i>Prof. dr Vidosava Radonjić</i>	144
#3	NEINVAZIVNI TESTOVI U DIJAGNOSTICI BOLESTI PERIFERNIH ARTERIJA	147
#4	ISHEMIJA EKSTREMITETA	156
#5	ULTRASONOGRAFIJA ARTERIJA DONJIH EKSTREMITETA	159
#6	ULTRASONOGRAFIJA ARTERIJA GORNJIH EKSTREMITETA • Thoracic outlet syndrome (TOS) - <i>Dr Oliver Radmili</i>	177
#7	ULTRAZVUČNA DIJAGNOSTIKA JATROGENIH I TRAUMATSKIH POVREDA KRVNIH SUDOVA • Pseudoaneurizme - <i>Dr Oliver Radmili</i>	193

6 ULTRASONOGRAFIJA VENA EKSTREMITETA

#1	ANATOMIJA VENSKOG SISTEMA DONJIH EKSTREMITETA	219
#2	MEHANIZAM NASTANKA INSUFICIJENCIJE POVRŠINSKOG VENSKOG SISTEMA DONJIH EKSTREMITETA	225
#3	PRIMARNI I SEKUNDARNI VARIKOZNI SINDROM	226
#4	INSUFICIJENCIJA PERFORANTNIH VENA DONJIH EKSTREMITETA	227
#5	INSUFICIJENCIJA DUBOKIH VENA DONJIH EKSTREMITETA	228
#6	NEINVAZIVNA DIJAGNOSTIKA OBOLJENJA VENSKOG SISTEMA	230
#7	PROTOKOLI ISPITIVANJA VENA DONJIH EKSTREMITETA	246
#8	VE NE GORNJIH EKSTREMITETA	246
#9	LEČENJE VARIKOZNIH VENA	252
#10	HEMIJSKA SKLEROZACIJA VENA POD KONTROLOM ULTRAZVUKA	255
#11	ENDOLUMINALNA TERMALNA ABLACIJA VENA	264

7 REĐI PATOLOŠKI ENTITETI

#1	KONGENITALNE VASKULARNE MALFORMACIJE	273
#2	RETROPERITONEALNA FIBROZA	276



SKRAĆENICE

<i>UZ</i> - ultrasonografija	<i>AAx.</i> - pazušna arterija
<i>CDS</i> - color duplex scan	<i>VAx.</i> - pazušna vena
<i>ABI</i> - ankle brachial index	<i>ABrach.</i> - brahijalna arterija
<i>PW</i> - pulse wave (pulsni talas)	<i>VBrach.</i> - brahijalna vena
<i>CW</i> - continuous wave (kontinuirani talas)	<i>AR</i> - radijalna arterija
<i>PSV</i> - peak systolic velocity	<i>AU</i> - ulnarna arterija
<i>EDV</i> - end-diastolic velocity	<i>AA</i> - abdominalna aorta
<i>DSA</i> - digitalna subtraktivna angiografija	<i>TrCel.</i> - truncus celiacus
<i>TCD</i> - transkranijalni doppler	<i>AMS</i> - gornja mezenterična arterija
<i>CT</i> - kompjuterizovana tomografija(skener)	<i>AR</i> - renalna arterija
<i>MSCT</i> - multi-slajsna kompjuterizovana tomografija (CT angiografija)	<i>AMI</i> - donja mezenterična arterija
<i>MRA</i> - magnetna rezonantna angiografija	<i>AIC</i> - zajednička ilijačna arterija
<i>KA</i> - kontrastni agensi	<i>VCI</i> - donja šuplja vena
<i>CVI</i> - cerebralni vaskularni insult	<i>VIC</i> - zajednička ilijačna vena
<i>TIA</i> - tranzitorni ishemijski atak	<i>AIE</i> - spoljašnja ilijačna arterija
<i>TOS</i> - thoracic outlet syndrome	<i>VIE</i> - spoljašnja ilijačna vena
<i>TDV</i> - tromboza dubokih vena	<i>AII</i> - unutrašnja ilijačna arterija
<i>PAOB</i> - periferna arterijska okluzivna bolest	<i>VII</i> - unutrašnja ilijačna vena
<i>AAA</i> - aneurizma abdominalne aorte	<i>AFC</i> - zajednička femoralna arterija
<i>Ps</i> - pseudoaneurizma	<i>VFC</i> - zajednička femoralna vena
<i>PAU</i> - penetrantni aortni ulkus	<i>AFS</i> - površna femoralna arterija
<i>RAS</i> - stenoza renalne arterije	<i>VFS</i> - površna femoralna vena
<i>AVF</i> - arterio-venska fistula	<i>AFP</i> - duboka butna arterija
<i>CEA</i> - karotidna endarterektomija	<i>VFP</i> - duboka butna vena
<i>CAS</i> - karotidni stenting	<i>AP</i> - poplitealna arterija
<i>EVAR</i> - endovascular aortic repair	<i>VP</i> - poplitealna vena
<i>PCI</i> - percutaneous coronary intervention	<i>ATP</i> - zadnje tibijalna arterija
<i>ACC</i> - zajednička karotidna arterija	<i>VTP</i> - zadnje tibijalne vene
<i>ACI</i> - unutrašnja karotidna arterija	<i>APer.</i> - peronealna arterija
<i>ACE</i> - spoljašnja karotidna arterija	<i>VPer.</i> - peronealne vene
<i>VJI</i> - unutrašnja jugularna vena	<i>ATA</i> - prednja tibijalna arterija
<i>VA</i> - vertebralna arterija	<i>VTP</i> - prednje tibijalne vene
<i>VV</i> - vertebralna vena	<i>VSM</i> - vena safena magna
<i>TrBrach.</i> - truncus brachiocephalicus	<i>VSP</i> - vena safena parva
<i>AS</i> - potključna arterija	
<i>VS</i> - potključna vena	



UVOD U ULTRASONOGRAFIJU KRVNIH SUDOVA

- #1 OSNOVNA TERMINOLOGIJA
- #2 ANALIZA SPEKTRALNIH KRIVA
- #3 KARAKTERISTIKE PROTOKA
STENOZANTNIH LEZIJA
- #4 ARTEFAKTI ULTRASONOGRAFIJE

#1 OSNOVNA TERMINOLOGIJA

Svi ultrazvučni aparati bazirani su na procesu obrade reflektovanih zvučnih talasa, periodično emitovanih, sa brzinom prostiranja u zavisnosti od sredine prolaska.

SONDA

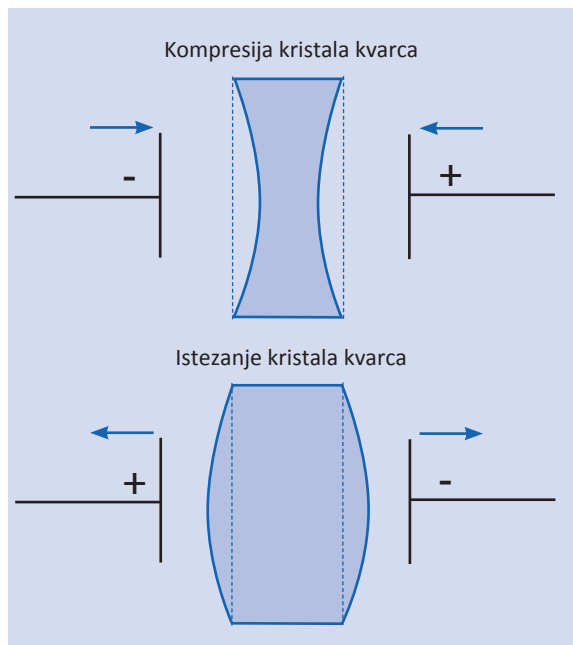
Osnovni deo svakog ultrazvučnog aparata jeste *sonda*. Sonda pretvara jedan oblik energije u drugi. Ona je istovremeno emiter i prijemnik ultrazvučnih talasa.

Sonde rade na principu *elektrostrikcije* (piezoelektrični i reverzni piezoelektrični efekat).

Jedan od prirodnih materijala sa piezoelektričnim svojstvima je kristal kvarca (silicijum-dioksid, SiO_2). Veštački keramički materijal tipa Olovo-Cirkonat-Titanat-PZT pokazuje veći efekat pretvaranja od prirodnog kvarca. Najbolja piezoelektrična svojstva imaju piezokeramički kompoziti koji se sastoje od keramičkih kristala izrezanih na kocke i utopljenih u polimer¹.

Piezoelektrični i reverzni piezoelektrični efekat: Kada se kristal izloži razlici električnog potencijala, dolazi do deformacije kristalne rešetke i samim tim i promene u dimenziji². Dimenzione promene kristala izazivaju vibracije koje se dalje prenose kroz okolni medijum zahvaljujući oscilacijama čestica (atoma/molekula) dotičnog materijala. Transmisija vibracija formira talas sa svojstvima ultrazvuka (mehanički talas za razliku od elektromagnetnih talasa koji su osnova drugih dijagnostičkih modaliteta-konvencionalni rentgen, CT i MR).

UVOD U ULTRASONOGRAFIJU KRVNIH SUDOVA



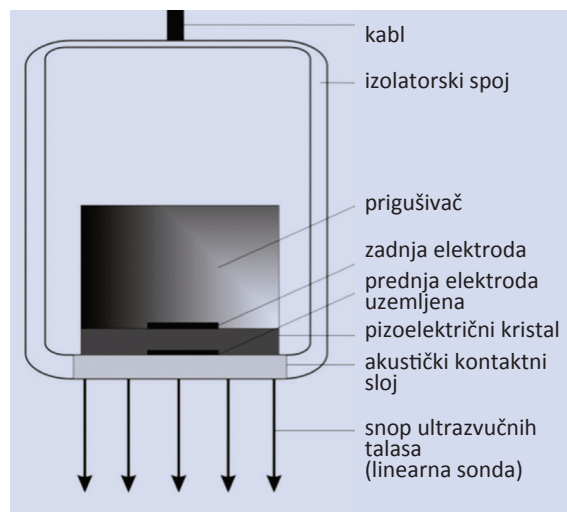
Slika 1-1. Šematski prikaz pijezelektričnog i reverznog pijezelektričnog efekta.

Generisani ultrazvučni talasi transmituju se kroz biološki medijum, pri čemu se manji deo energije absorbuje/transformiše u toplotu, dok se deo energije vraća ka sondi usled refleksije na graničnim površinama između dva različita materijala. Reflektovani ultrazvučni talasi izazivaju vibracije koje deformacijom kristala stvaraju električni potencijal. Pijezelektrični i reverzni pijezelektrični efekat prikazan je na slici 1.

Postoji više tipova ultrazvučnih sondi - od onih sa jednim pijezelektričnim kristalom do onih sa velikim brojem kristala. Savremene sonde su multikristalne, sa 64-192 linearno raspoređena kristala, uz tačno definisan redosled njihove aktivacije³.

Emitovana i detektovana frekvencija zavisi od brzine zvuka u kristalu (približno 4000m/s), kao i debljine kristala (debljina aktivnog dela obično je proporcionalna polovini talasne dužine). Aktivna dimenzija kristala koji se koristi za izradu sondi frekventnog opsega 2-13 MHz jeste 1,3-0,2 mm.

Kada je sonda emiter ultrazvučnih talasa, na elektrode, koje su u kontaktu sa kristalom, dovode se signali sa visokofrekventnog generatora električne struje, što uslovljava oscilaciju kristala, uz emisiju ultrazvučnog talasa u pulsevima. Preko fokusirajućeg elementa, dodirnog sloja i gela kao medijatora, signal se prenosi na objekat koji se ispituje.



Slika 1-2. Osnovni elementi ultrazvučne sonde sa jednim pijezelektričnim kristalom.

Ultrazvučni gel je tip provodnog medijuma koji omogućava čvrstu vezu između kože i sonde, propuštajući talase direktno do tkiva ispod i do delova koji treba da se snimaju. Formulisan je da daluje kao agens za spajanje koji smanjuje statički otpor.

Vreme emisije pulsa je 1-2 μ s, ritam ponavljanja 1000-5000 pulseva/s. Vreme registrovanja signala je oko 150 μ s, a moguće je dobiti signal sa dubine mekog tkiva od približno 11 cm⁴.

Simplifikovan izgled sonde sa jednim kristalom prikazan je na slici 2.

Osim kristala i elektroda, u sastav sonde ulaze i:

- akustički kontaktni sloj ili dodirujući sloj, koji treba da omogući transmisiju snopa ultrazvučnih talasa u telo pacijenta, a pri tome je impedancija ovog sloja jednaka sre-



Slika I-3. PW Doppler aparat novije generacije.

dnjoj akustičkoj impedanciji između tkiva i kristala kvarca; debljina ovog sloja približno je jednaka četvrtini talasne dužine;

- prigušivač, koji je izrađen od posebne gume, i čiji je zadatak da apsorbira neželjene vibracije sonde pri prijemu signala;
- izolatorski sloj;
- kablovi.

U vaskularnoj ultrasonografiji koriste se **linearne i konveksne sonde**.



Slika I-4. A. Prikaz linearne sonde od 7,5 Mhz; B. Prikaz konveksne sonde od 3,75 Mhz.

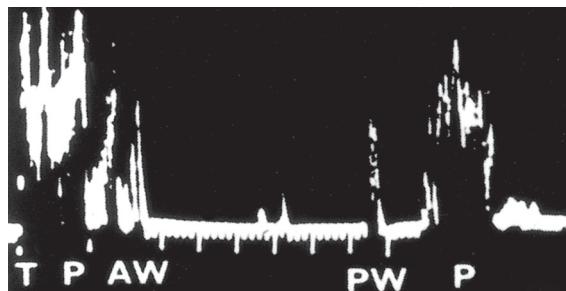
Konveksna i sektorska sonda najčešće se koriste za prikaz duboko postavljene

strukture u abdomenu, maloj karlici ili grudnom košu. One rade na frekvenciji 2,5-5 MHz. Za razliku od njih **linearne sonde** rade na znatno višim frekvencijama (7-13 MHz). One se koriste za prikaz površnije postavljene strukture. *Uproščeno rečeno, sonde koje rade na niskim frekvencijama dozvoljavaju prikaz duboko lociranih struktura i patoloških promena sa manjim brojem detalja, dok se korišćenjem sonde koje rade na visokim frekvencijama dobija kvalitetan prikaz, ali samo površno postavljene strukture.*

Ultrasonografska dijagnostika zasnovana je na transformaciji, obradi i analizi emitovanog ultrazvučnog signala. Granična površina tkiva, koja je različite akustičke impedancije (proizvod njene gustine i akustične brzine), predstavlja mesto odakle se ultrazvučni talas reflektuje. Za adekvatan prikaz tkiva i njegovih karakteristika neophodno je da se snop pod uglom od 90° bude usmeren ka površini tkiva. Odstupanja snopa za više od 3° dovode do gubitka slike zbog refleksije van aktivnog dela sonde. Takođe, moguć je samo prikaz strukture i patoloških promena smeštenih u blizini centralne ose ultrazvučnog snopa. Dodatni problem koji se javlja pri analizi signala, a koji je kompjuterski rešen, jeste progresivna apsorpcija ultrazvučnih talasa u ispitivanom tkivu.

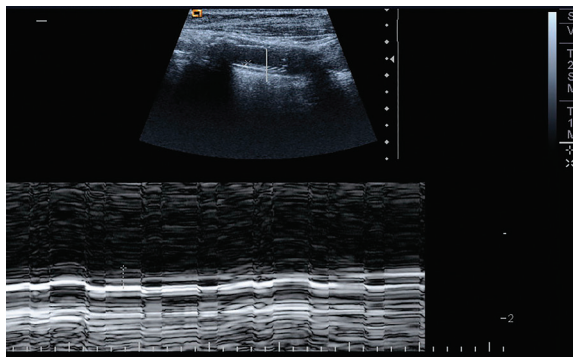
Metodi prikaza UZ odjeka:

- **A-mod** (amplitudna modulacija)
- **M-mod** (motion modulacija)
- **B-mod** (brightness modulacija)



Slika I-5. Prikaz tkiva u A-modu.

UVOD U ULTRASONOGRAFIJU KRVNIH SUDOVA



Slika I-6. Ultrazvučni nalaz u M-modu.

Osnovni metod pregleda A-mod zasnovan je na određivanju vremena i amplitude reflektovanog ultrazvučnog signala. Jasno je da se koristi za određivanje udaljenosti pojedinih struktura, ali da je nepovoljan za procenjivanje morfololoških karakteristika.

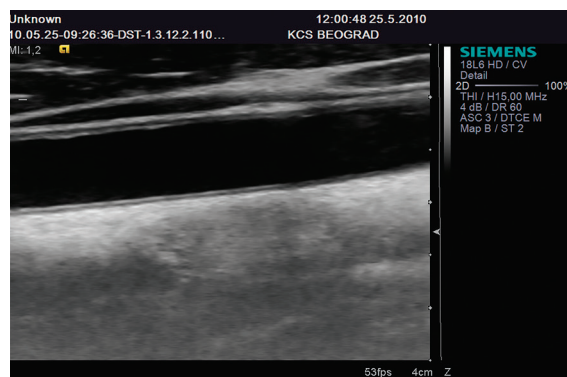
Najstariji je metod. Danas je u upotrebi u oftalmologiji. Poznavanje normalnog rasporeda reflektora na putu UZ snopa kroz oko je od bitnog značaja, jer se pojava dodatnih ili drugačijih otklona smatra patološkim.

Ukoliko se snimanje u A-modu koristi za proučavanje struktura koje menjaju svoj položaj u vremenu i prostoru mod pretrage je **M-mod**.

Ovaj prikaz je u upotrebi u kardiologiji. Omogućava merenje kontraktilnosti miokarda, promere srčanih šupljina, mere zalistaka, stepen regurgitacije i sl.

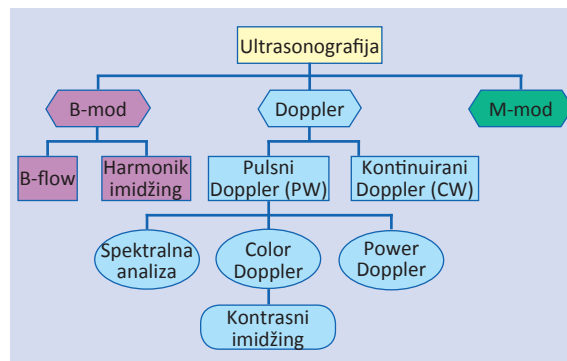
B-mode ("Brightness") osnova je svih dvodimenzionalnih ultrazvučnih slika. Reflektovani talas koji dolazi u sondu nakon određenog vremena je direktno proporcionalan rastojanju između sonde i refleksione granične površine, a obrnuto proporcionalan brzini transmisije (1540 m/s. srednja brzina prostiranja ultrazvučnih talasa kroz sva meka tkiva). Registrovanjem vremena dolaska za različite ultrazvučne talase, može se izračunati rastojanje između sonde i odgovarajućih graničnih površina. Reflektovani talasi pretvaraju se u električne signale koji se pojačavaju i preze-

ntuju na dvodimenzionalnoj slici. Svaki signal je predstavljen u sivoj skali, u zavisnosti od intenziteta. Snimanje iz više pravaca, uz kompjutersku obradu, dozvoljava složenu kompjutersku rekonstrukciju i razlikovanje vrste tkiva. Naredna etapa je **3D** rekonstrukcija slike, zahvaljujući upotrebi složenih računarskih algoritama, što omogućava 3D vizuelizaciju krvnih sudova parenhimskih organa ili lica fetusa. **4D** rekonstrukcija pruža mogućnost „direktno posmatranje“, tj. „živu sliku“ u tri dimenzije.



Slika I-7. Prikaz tkiva u B-modu.

Ultrasonografija u dijagnostici oboljenja krvnih sudova podrazumeva primenu različitih modaliteta sa ciljem procene morfoloških karakteristika krvnog suda i protoka kroz nje ga. Savremeni ultrazvučni sistemi podrazumevaju primenu B-moda i pulsnog Dopplera objedinjenih kao Duplex scan (slika 8).



Slika I-8. Dijagnostički modaliteti korišćeni u vaskularnoj ultrazvučnoj dijagnostici.

DOPPLEROV EFEKAT

Primena **Dopplerovog efekta** u ultrazvučnoj dijagnostici omogućila je detekciju čestica i praćenje njihovog kretanja. Ovo prevashodno nalazi primenu u pregledu krvnih sudova, gde se prati prividna promena u frekvenciji ultrazvučnih talasa reflektovanih sa površine uobličanih ćelijskih elemenata (eritrocita).

Određivanje brzine kretanja krvi određeno je formulom:

$$v_k = \frac{(f_r - f_e)}{2 \times f_0 \times \cos \theta} \times c$$

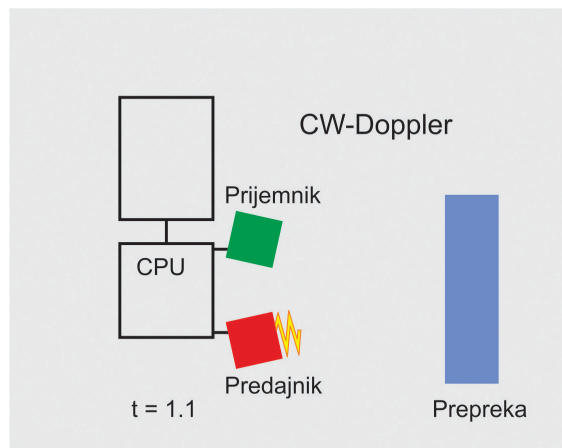
- V_k – brzina toka krvi u krvnom sudu;
- f_r – frekvencija reflektovnog talasa sa površine eritrocita;
- f_e – frekvencija emitovanog ultrazvučnog talasa sa površine eritrocita;
- θ – ugao sonde u odnosu na površinu krvnog suda⁵.

CW DOPPLER

Kontinuiranim Dopplerom indirektno se analiziraju hemodinamski efekti patoloških promena u perifernim krvnim sudovima. Na ovaj način ispituje se celi promer krvnog suda, a Doppler ultrazvučni signal sadrži informacije o svim brzinama profila toka strujanja krvi⁶.

Praktičnu primenu CW Doppler nalazi u:

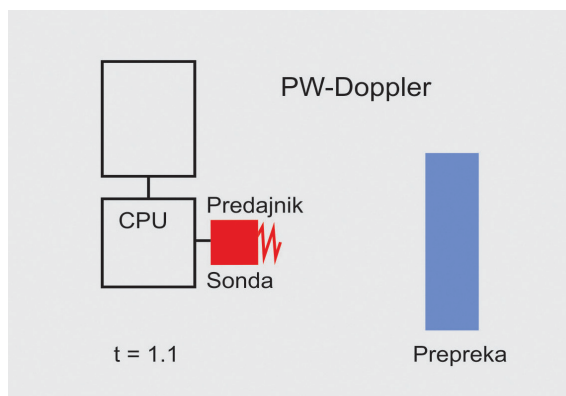
- Merenju Doppler indexa (*Ankle brachial indexa*);
- Merenju segmentnih pritisaka (*Segmental blood pressures*);
- Spektralnoj analizi talasa;
- Izvođenju testa na pokretnoj traci (*Treadmil exercise testa*);
- Izvođenju testa reaktivne hiperemije;
- Ispitivanju venskog sistema.



Slika 1-9. Šematski prikaz principa CW Dopplera. Tehnika u kojoj sonda emituje i prima ultrazvučni snop kontinuirano omogućava merenje visokih brzina protoka krvi. Primena ultrasonografije u dijagnostici oboljenja krvnih sudova podrazumeva primenu različitih dijagnostičkih modaliteta, sa ciljem procene morfoloških karakteristika krvnog suda i protoka kroz njega.

PW DOPPLER

Kolor dupleks (color duplex) široko je rasprostranjena, neinvazivna procedura visoke senzitivnosti, koja čini kombinaciju pulsno dopplera i prikaza tkiva u realnom vremenu (real time B-mode). Ona omogućava da se na ekranu, u realnom vremenu, prati protok krvi



Slika 1-10. Šematski prikaz principa PW Dopplera. Tehnika naizmeničnog prenosa i prijema ultrazvučnog snopa, sa precizno definisanim uzorkom ispitivanja (sample volume).