

SLIKOVNE TEHNIKE U PEDIJATRIJSKOJ KARDIOLOGIJI

SENKA MESIHOVIĆ-DINAREVIĆ*

Pedijatrijska kardiologija je egzaktna znanost zahvaljujući embriološkoj spoznaji, morfološkoj anatomiji i segmentalnoj analizi. Kongenitalne anomalije srca su se oduvijek smatrale misterioznim, naročito kada su bile sačinjene od kombinacija rijetkih lezija. Od izuma kros-sekcijske ehokardiografije, dopunjene slikama magnetne rezonance, one su postala jasnije. Detaljna intrakardijalna struktura može biti prezentirana s mnogo točnosti i preciznosti. Progres u slikovnim tehnikama kongenitalnih malformiranih srca je u posljednjih dvadesetak godina fenomenalan. Suvremen dijagnostički i terapijski stav u pedijatrijskoj kardiologiji podrazumijeva uz detaljnu anamnezu i klinički pregled, prije svega primjenu slikovnih tehnika i to: elektrokardiograma, 24 satnog elektrokardiograma, rentgenograma, ehosonografije, magnetne rezonance, kompjutorizirane tomografije, radioizotopske scintigrafije i pozitron emisije tomografije. Fokus liječnika i glasnika zdravstvenog sistema ne treba biti usmjeren samo na traženje boljeg ili višeg tretmana, već primarni cilj treba biti prevencija. Prema tome, definiranje etiologije i patogeneze kongenitalnih kardiovaskularnih malformacija koje se primjenom ovih slikovnih tehnika u pedijatrijskoj kardiologiji i ostvaruje, vodi ka ultimativnom cilju medicine - istraživanju putova prevencije bolesti i liječenja.

Deskriptori: SLIKOVNE TEHNIKE; PEDIJATRIJSKA KARDIOLOGIJA

Pedijatrijska kardiologija kao subspcijalnost duguje svoje porijeklo pedijatriji i medicinskoj kardiologiji. Glavni pokretač njenog razvoja bio je progres napravljen u posljednjih 50 godina u dijagnostici, medicinskom i kirurškom tretmanu urođenih srčanih anomalija. Nema sumnje da su dolazak kardijalne kirurgije i brzi razvoj kardijalnih kirurških tehnika zajedno s naprecima u medicinskoj tehnologiji bili zaslužni za njezin razvoj. Kliničari zainteresirani za kardiovaskularne bolesti, zajedno s fiziolozima i radiolozima počeli su izučavanje cirkulatorne hemodinamike in vivo slika, brojnih kardijalnih informacija putem srčane kateterizacije i angiografije. Primjenom osnovnih načela fizike, postalo je moguće ustanoviti na naučnoj osnovi, patogenezu i signifikantnost kliničkih znakova i simptoma udruženih s kardijalnim defektom.

Pedijatrijska kardiologija je egzaktna znanost zahvaljujući embriološkoj spoznaji, morfološkoj anatomiji i segmentalnoj analizi. Razvojna biologija od začeca do završetka drugog mjeseca života omogućava razrješenje morfogeneze (patogeneze) i etiologije srčanih malformacija. Morfološka anatomija neophodna je za prepoznavanje srčanih šupljina i postavljanje dijagnoze. Bez prepoznavanja morfoloških karakteristika srčanih šupljina, velikih krvnih žila nemoguće je postaviti definirane dijagnoze u dječjoj kardiologiji, kao što su na primjer: transpozicija velikih krvnih žila, dekstrokardija, duplo izlazni desni ventrikul i druge.

Iako su danas moderne slikovne tehnike revolucionirale ispitivanje i pre mortem dijagnozu, tradicionalne vještine uzimanja anamneze i kliničkog ispitivanja daleko su od zastarjelih (1). Detaljna klinička evaluacija esencijalna je za procjenu pacijenata s urođenim srčanim anomalijama. Suvremen dijagnostički stav u pedijatrijskoj kardiologiji podrazumijeva prije svega primjenu slikovnih tehnika i to:

- 24 satnog EKG (Holtera);
- rentgenograma (Rtg);
- ehosonografije srca;
- MRI - slikovne magnetne rezonance;
- CT - kompjutorizirane tomografije;
- radioizotopske scintigrafije;
- PET - pozitron emisije tomografije.

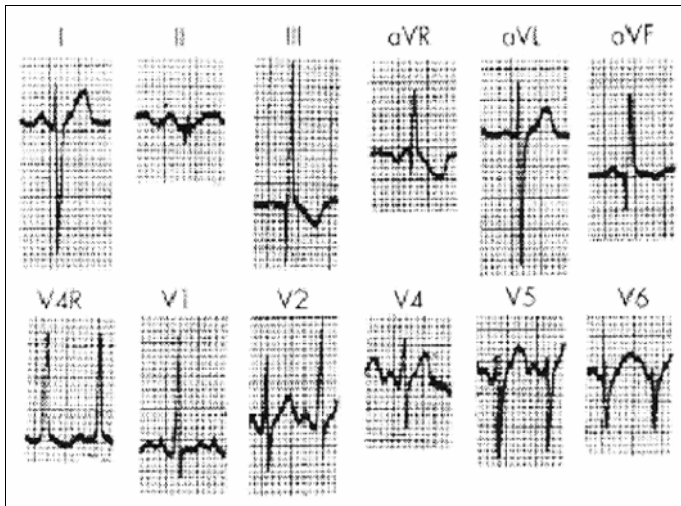
ELEKTROKARDIOGRAM (EKG)

Godine 1887. Tomas Gasvel, tehničar u laboratorijski dr. Augustusa Valera, postao je prvi čovjek kojemu je snimljen EKG. Prva informacija o snimljenom EKG-u kod novorođenčadi i starije djece objavljena je 1908. godine. Uloga EKG-a u procjeni pedijatrijskih pacijenata s utvrđenim ili suspektim srčanim oboljenjem u stalnom je razvoju (1, 3). EKG je jednostavan, nije skup, lak je za upotrebu, te je osjetljiva i specifična neinvazivna dijagnostička slikovna metoda.

* Klinički centar Univerziteta u Sarajevu
Pedijatrijska klinika

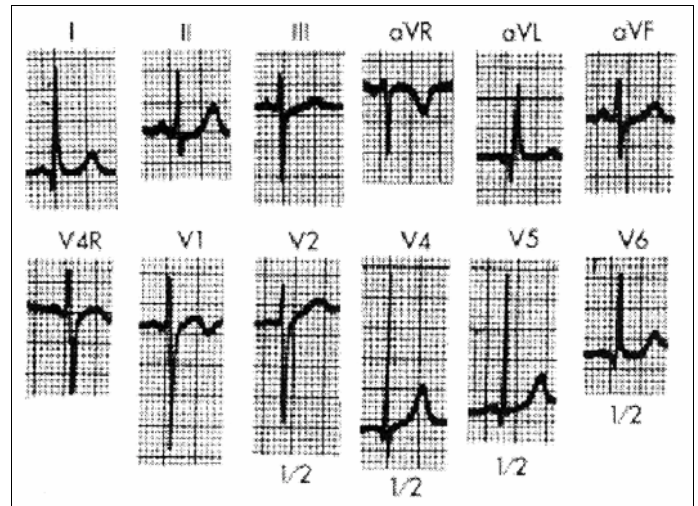
Adresa za dopisivanje:
Senka Mesihović-Dinarević
71000 Sarajevo, Bolnička 25
Bosna i Hercegovina

- elektrokardiograma (EKG);



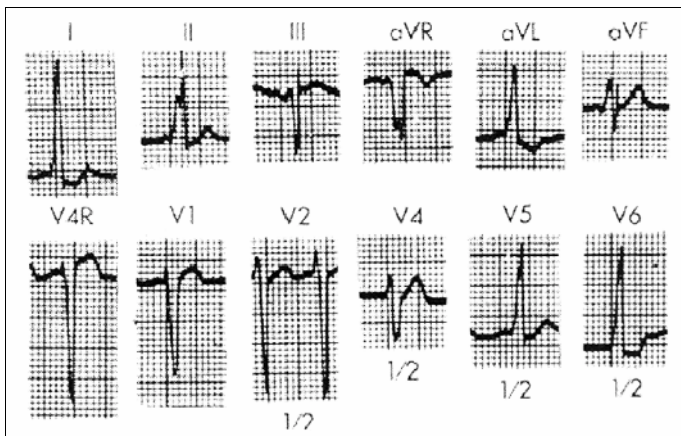
Slika 1.
Desna ventrikularna hipertrofija

Figure 1
Right ventricular hypertrophy



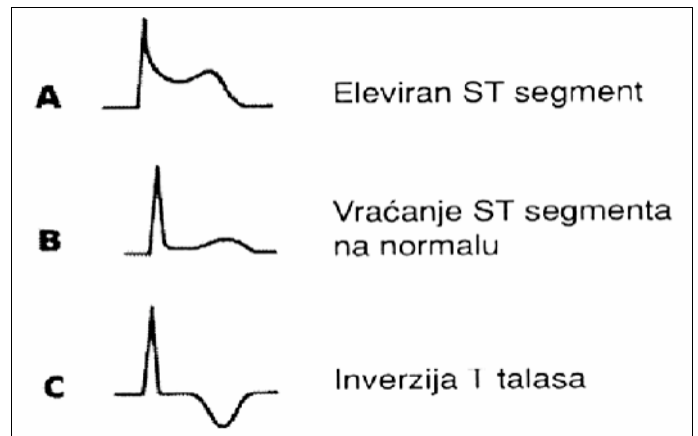
Slika 2.
Lijeva ventrikularna hipertrofija

Figure 2
Left ventricular hypertrophy



Slika 3.
WPW sindrom

Figure 3
Wolf Parkinson White syndrome



Slika 4.
EKG kod perikarditisa

Figure 4
ECG in pericarditis

Normalan srčani ciklus predstavljen je postepenim valovima na EKG snimku: P val, QRS kompleks i T val.

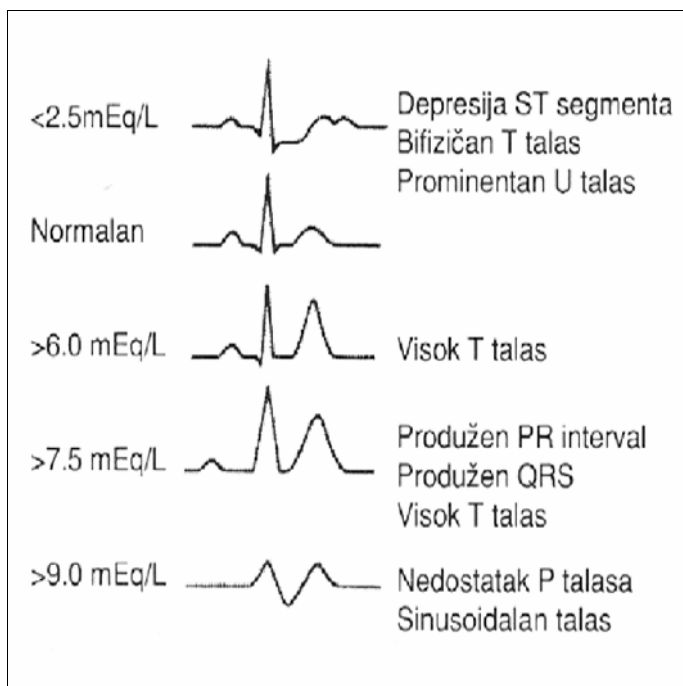
Elektrokardiografski snimci dojenčadi i starije djece razlikuju se od onih kod normalnih odraslih ljudi. Dominantnost desnog ventrikula (DV) kod novorođenčeta i dojenčeta predstavlja rezultat fetalne cirkulacije i postupno se zamjenjuje dominantnošću lijevog ventrikula u kasnijem djetinjstvu. U uzrastu između treće i četvrte godine pedijatrijski EKG podsjeća na elektrokardiogram odraslih (Slika 1. do Slika 8.).

AMBULANTNA ELEKTROKARDIOGRAFIJA (Holter)

Ambulantni EKG monitoring koristan je za dijagnozu aritmija koje se mogu javiti a nisu otkrivene rutinskim EKG pregledom. EKG elektrode su priliječene na grudni koš i EKG ritam se kontinuirano registrira tokom 24 sata ili duže upotrebom malog, bakterijskog kaset-rekordera, tj. Holter monitora (Slika 9.).

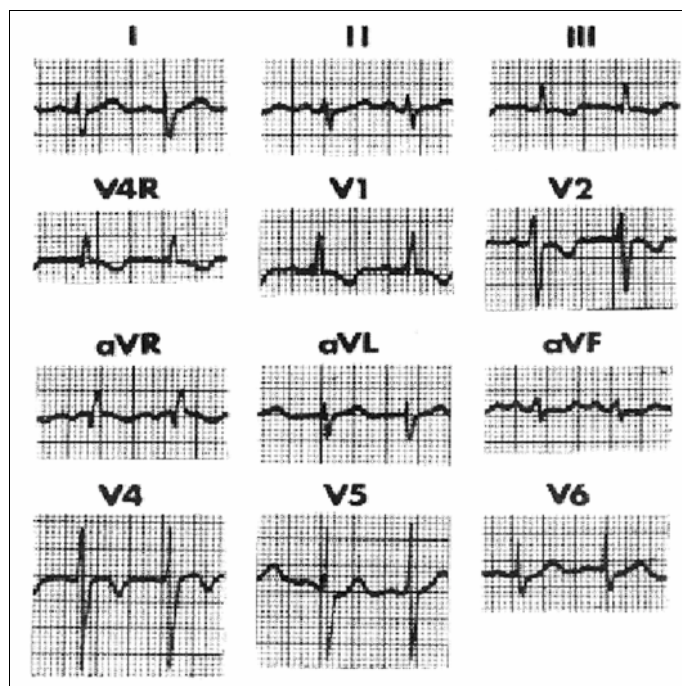
Pacijent vodi dnevnik što omogućava kasniju korelaciju pacijentovih simptoma i aktivnosti s pojavom eventualnih aritmija.

Najsuvremeniji tip ambulantnog monitoring EKG je sprava slična Holteru koja je u upotrebi u centru Cardiac Alert u Londonu (3). To je internacionalni transtelefonski elektrokardiografski monitoring centar koji nudi globalnu komunikaciju sposobnu da omogući EKG monitoring uslugu pacijentima bilo gdje u svijetu; otkriva poremećaje ritma srca, sugerira terapiju, trijažira pacijente, monitorira efekte primjene lijekova kao i klinička ispitivanja, te vrši rutinski monitoring kardiovaskularnog sustava. Uspješno se primjenjuje širom Evrope, Azije, Južnoj i Sjevernoj Americi. Predstavlja poseban oblik medicinske nauke, djelatnosti komuniciranja i mar-



Slika 5.
EKG kod hiper i hipo kalijemija

Figure 5
ECG in hyper and hypo potassium



Slika 6.
EKG kod ASD tip secundum

Figure 6
ECG in ASD type secundum

ketinga koji je u skladu s posljednjim dostignućima suvremene tehnike ovog milenija (Slika 10.).

RENTGENOGRAFIJA

Rentgenski (Rtg) snimak mora biti u maksimalnom inspiriju uz zadovoljene sve kriterije ispravnog Rtg snimka srca i pluća (Slika 11. do Slika 17.) (1). Slijedeće informacije se dobiju rentgenografijom:

- veličina i kontura srca;

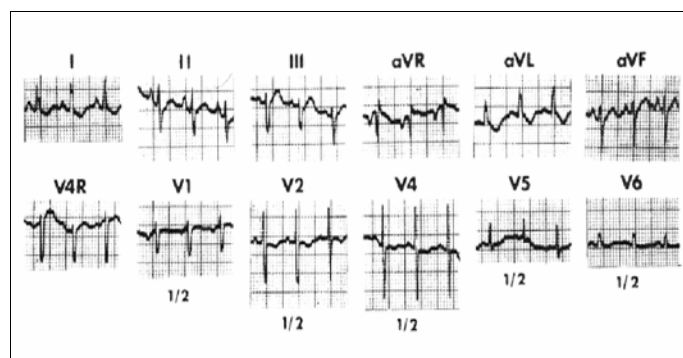
- uvećanje srčanih ventrikula;
- plućni krvni protok ili plućni vaskularni crtež;
- druge informacije koje se tiču plućnog parenhima, kičme, skeletnog sistema, abdominalnog položajastusa i drugih.

EHOSONOGRAFIJA SRCA

Jedan od najvažnijih "jezika" sporazumijevanja u dječjoj kardiologiji jeste jezik segmentalne analize koji je dat 1976. godine od grupe liječnika iz Royal

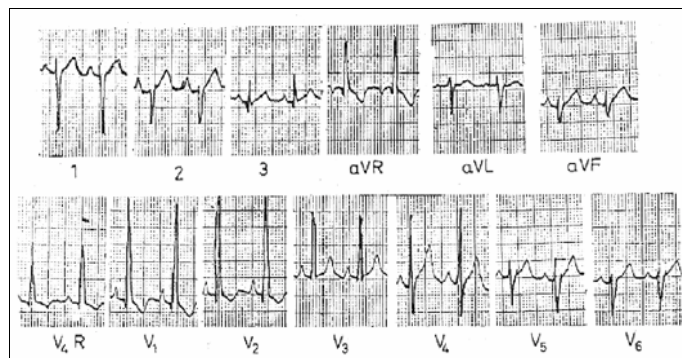
Brompton Hospital u Londonu. Esencijalno je baziran na anatomiji srca, ali se redovito "posudi" ehokardiografskoj analizi. On se zasniva na prepoznavanju odnosa na tri nivoa:

- odnos visceralnih organa prema atrijima (visceroatrijalni odnos);
- međusobni odnos srčanih šupljina (srčana petlja);
- odnos srca prema velikim krvnim žilama i njihov međuodnos (konotrunkalni odnos).



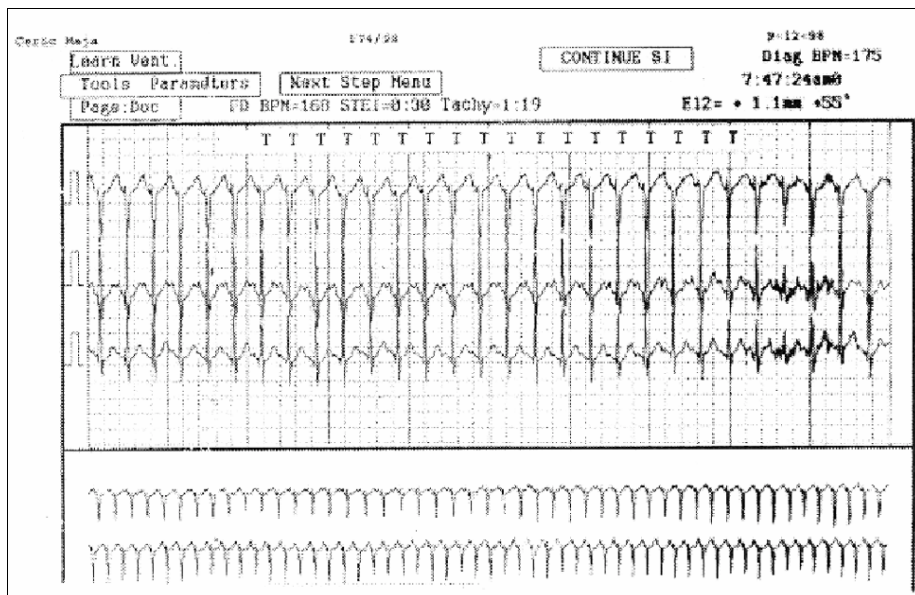
Slika 7.
EKG kod trikuspidne atrezije

Figure 7
ECG in tricuspid atresia



Slika 8.
EKG kod TVKS

Figure 8
ECG in TGA



Slika 9. Registrirana supraventrikularna paroksizmalna tahikardija (T) na 24-satnom EKG Holter snimku.

Figure 9. Supraventricular paroxysmal tachycardia (T) documented on 24 hrs ECG Holter recordings.

Povezivanje ova tri srčana segmenta nužno je za lokalizaciju: atriya, ventrikula i velikih krvnih žila. Primjenom načela segmentalne analize, moguće je postaviti anatomsku i fiziološku dijagnozu.

Usluga koja sada postaje moguća u većim kardijalnim centrima je fetalna ehokardiografija izvođena od strane specijaliste antenatalne kardijalne dijagnostike-pedijatra kardiologa (1, 2). Primjena fetalne ehokardiografije (neovisno o položaja djeteta intrauterino) već od 18. do 20. sedmice intrauterinog života, daje mogućnost otkrivanja urođenih srčanih anomalija, poremećaja ritma, kao i razlikovanje kompletnog atrioventrikularnog bloka od fetalne bradikardije, te i transkateterne terapije pojedinih lezija (aortne stenoze) i poremećaja (Slika 18.).

Trudnice koje se podvrgavaju fetalnom ultrazvučnom pregledu su: one čiji fetus ima aritmiju, trudnice s visokim rizikom rođenja djeteta s urođenom srčanom anomalijom (pozitivna porodična anamneza, smrt fetusa u prethodnoj trudnoći, majke s dijabetesom, fenilketonurijom ili drugim stanjima koja povećavaju rizik), majke na terapiji lijekovima koji imaju teratogeni učinak - alkohol, litij, amfetamini, antikonvulzivi, progesterini.

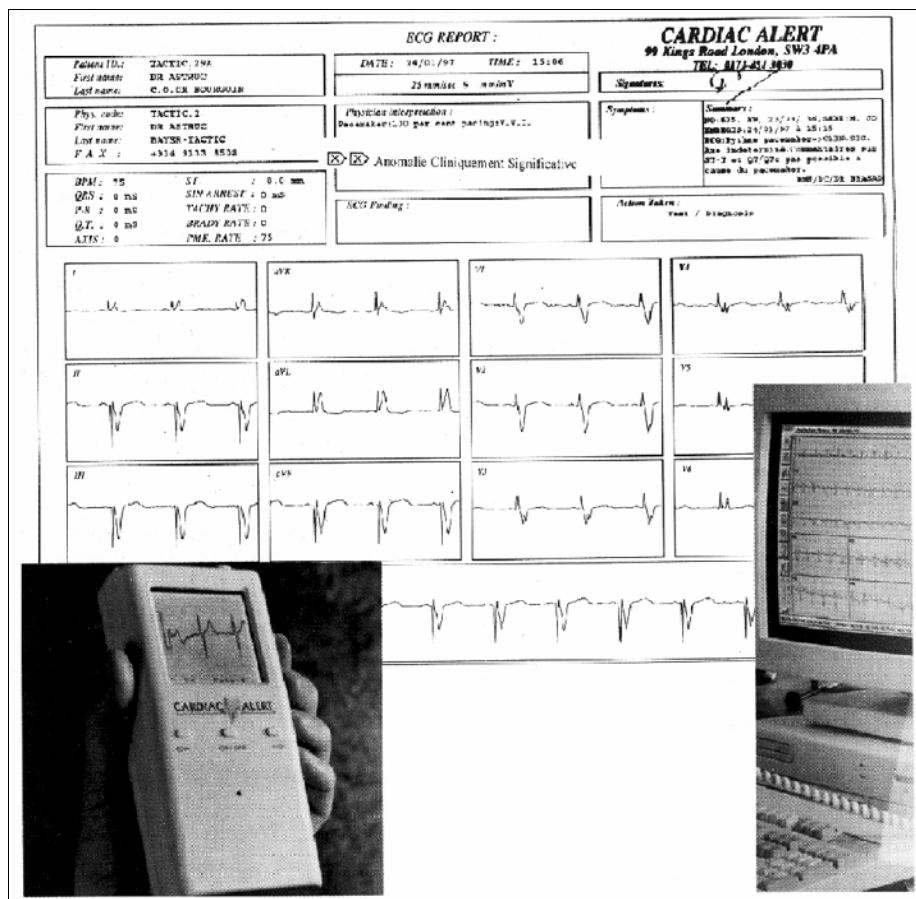
Zadnja riječ tehnike u fetalnoj ehokardiografiji predstavlja daljinsko tran-

stefonsko fetalno skeniranje, prvi put primijenjeno 1998. godine u Engleskoj. Ono omogućava svakoj trudnici s potencijalnim fetalnim problemima da dobije najbolji mogući medicinski savjet bez obzira gdje se trenutno nalazi u zemlji i štiti je od potencijalnog rizika od putovanja.

EHOKARDIOGRAFIJA - TRANSTORAKALNA

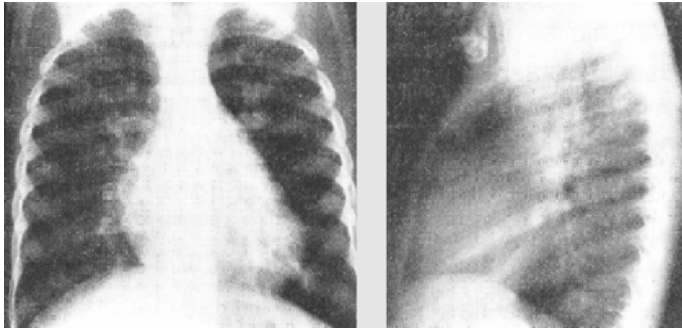
Ehokardiografija je nezamjenjiva u dijagnostici i tretmanu kardijalnih bolesti novorođenčadi, dojenčadi, djece i mladih adolescenata. Dvodimenzionalna, M-mod i Doppler ehokardiografija uživaju široku kliničku primjenu u pedijatrijskoj kardiologiji.

Proučavanje srca ultrazvukom ili ehokardiografijom prvi put je primijenjeno 1952. godine i s vremenom se razvijalo i usavršavalo postajući najvaž-



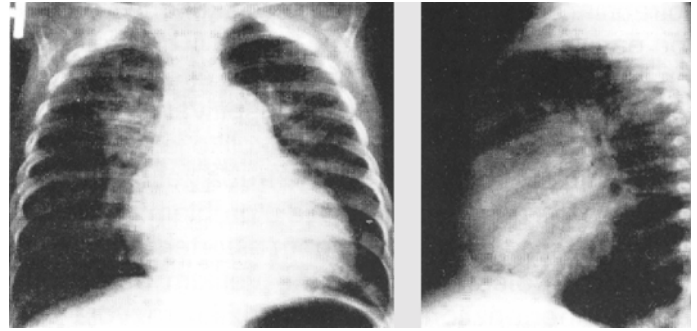
Slika 10. Transtefonski, transkompjutorski EKG zapis. Donji desni ugao: aparat, centralni dio slike: EKG zapis, donji lijevi dio slike: kompjutorski monitoring EKG.

Figure 10. Transtelephonic, transcomputerized ECG recordings. Lower right angle: machine, central part of Figure: ECG recordings, lower left angle: computerized ECG monitoring.



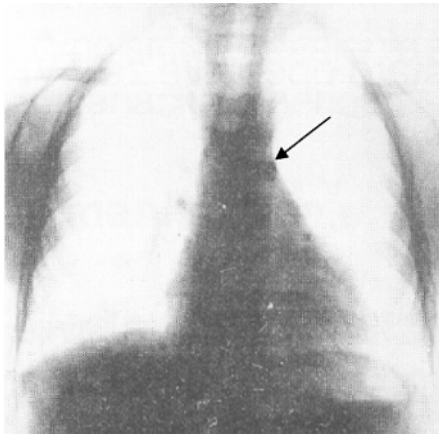
Slika 11.
Rentgenogram (PA i lateralni) desetogodišnjeg djeteta sa ASD. Srce je blago uvećano uz naglašenu konturu DA i DV. Plućni vaskularitet je povećan, a segment glavne plućne arterije je lako prominentan.

Figure 11
X ray (PA and lateral) of 10 year old child with ASD. Heart is mildly enlarged with accentuated RA and RV. Pulmonary vascularity is increased, pulmonary artery is mildly prominent.



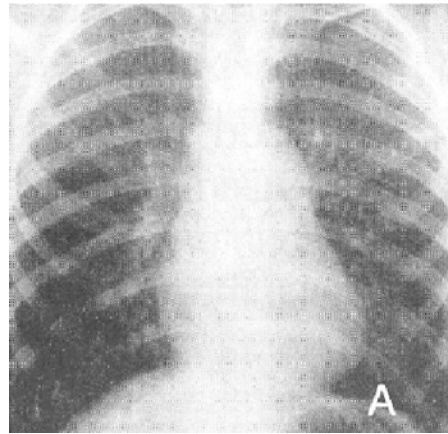
Slika 12.
Rentgenogram (PA + lateralni) VSD sa velikim šantom i PAH. Veličina srca je umjereno uvećana, plućni vaskularni crtež je povećan, prominentan segment glavne plućne arterije.

Figure 12
X ray (PA + lateral) of VSD with big shunt and PAH. Moderate cardiomegaly, pulmonary vascular markings increased, prominent pulmonary artery.



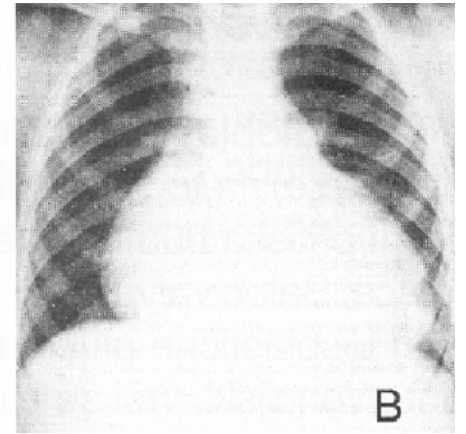
Slika 13.
Rtg snimak srca i pluća: transkateterni implantirani "coil" na mjestu DAP.

Figure 13.
X ray of the heart and lungs: "coil" implanted via catheter at the site of the DAP.



Slika 14.
Rentgenski snimak pacijenta s plućnom stenozom:
A - umjerena do teška stenozna (prominentna glavna plućna arterija, bez uvećanja srčane siluete);
B - teška plućna stenozna (DA + DV dilatirani, pluća oligemična)

Figure 14
X ray of a patient with pulmonary artery stenosis:
A - moderate up to severe stenosis (prominent main pulmonary artery, no heart enlargement);
B - severe pulmonary artery stenosis (RA + RV dilated, oligemic lungs).



nija dijagnostička pretraga u pedijatrijskoj kardiologiji. Davne 1973. godine prvi put je zaživio crno-bijeli "real time imaging" koristeći jednodimenzionalnu (M-mod) i dvodimenzionalnu (B-mod) tehniku. 1981. godine razvijen je spektralni Doppler s ciljem mjerenja brzine protoka. S izumom Color Dopplera 1985. godine počeo se validno pratiti i pravac krvnog protoka. Kvantifikacija kretanja zida putem tkivnog Dopplera omogućena je od 1994. godine - tkivni Doppler imaging (TDI), kada se iste godine razvila i trodimenzionalna ehokardiografija (3D).

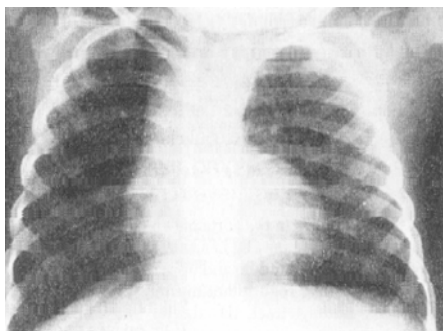
Ova tehnika je bezbolna i sigurna te se može često ponavljati s ciljem praćenja promjena u pacijentovom kardijalnom statusu uz monitoring efekata medicinskog i kirurškog tretmana.

Cilj ehokardiografije je da: determinira anatomiju srca, uključuje identifikaciju svih šupljina, valvula, njihovih veza (spojeva), analizira pojedine komponente, otkriva abnormalnosti kao što su: septalni defekti, prati normalan protok kroz valvule i otkriva abnormalan protok, kao što je valvularna regurgitacija ili L-D šantovi.

Transtorakalni ehokardiografski segmentalni pristup u kardijalnoj dijagnozi podrazumijeva: određivanje atrijalnog uređenja, atrioventrikularne konekcije i ventrikuloarterijalna konekcije.

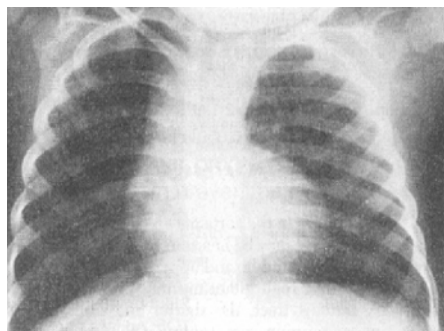
Tri standardne ehokardiografske metode su: dvodimenzionalna (2D), jednodimenzionalna (M-mod) i Doppler.

2D ehokardiografija ostvarila je davni san kardiologa da sagledaju unutrašnjost kucajućeg srca. Ona omogućava tomografske slike srca putem upravljanja zrake sondom duž selektiranih ravni presjeka (Slika 19.). Rutinski 2D eho se dobije analizom slike pomoću četiri po-



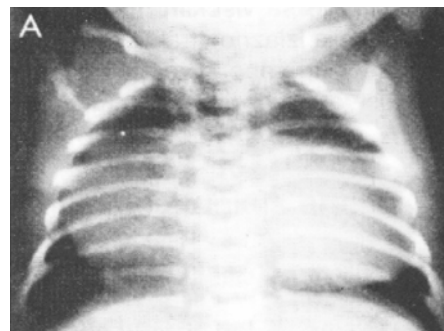
Slika 15.
Rentgenski snimak pacijenta s TVKS: uzak gornji medijastinum, srce oblika "jajeta". Plućni vaskularitet normalan ili lako naglašen.

Figure 15
X ray of a patient with TGA: narrow upper mediastinum, heart "egg" like. Pulmonary vascularity normal or mild increased.



Slika 16.
PA presjek rentgenograma kod TOF. Veličina srca normalna, plućni vaskularni crtež reduciran, hipoplastični segment glavne plućne arterije doprinosi obliku srčane siluete poput "čizme".

Figure 16
X ray: PA scan in TOF-heart size normal, pulmonary vascularity reduced, hypo plastic pulmonary artery segment which contributes to the "boot" shape heart.



Slika 17.
PA snimak dvomjesečnog dojenčeta s teškom Ebsteinovom anomalijom. Ekstremna kardio-megalija uključujući i DA sa smanjenim plućnim vaskularitetom.

Figure 17
X ray (PA) of 2 months old infant with severe Ebstein's anomaly. Extreme cardiomegaly including RA and decreased pulmonary vascularity.

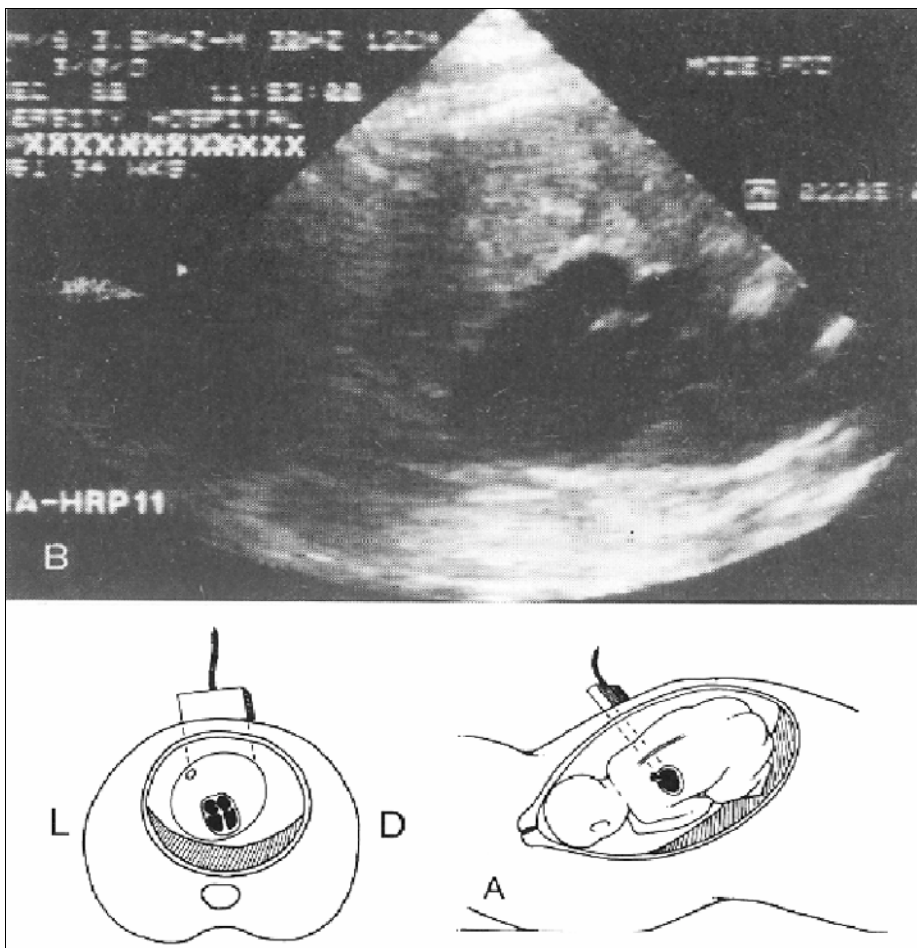
ložaja sonde: subkostalnog, apikalnog, parasternalnog i suprasternalnog.

Slike srca mogu se snimati na video traku ili zamrznuti i analizirati. Veoma je važno izvršiti pregled u različitim presjecima logičnim putem s ciljem izbjegavanja propusta pojedinih anatomskih detalja. M-mod tehnika omogućava važnu evaluaciju određenih srčanih struktura, posebno mjerenja dimenzija, proučavanja pokreta valvula i funkcije lijevog ventrikula (LV).

Ona određuje vremenske intrakardijalne događaje i vrši evaluaciju frakcije skraćivanja (FS) LV. FS predstavlja postotak promjene u kratkoj osi LV koje se javljaju sa sistolom, a izračunava se formulom: $FS = (EDD - ESD) / EDD$. Normalna FS varira od 28% do 40%. Povećana FS javlja se kod:

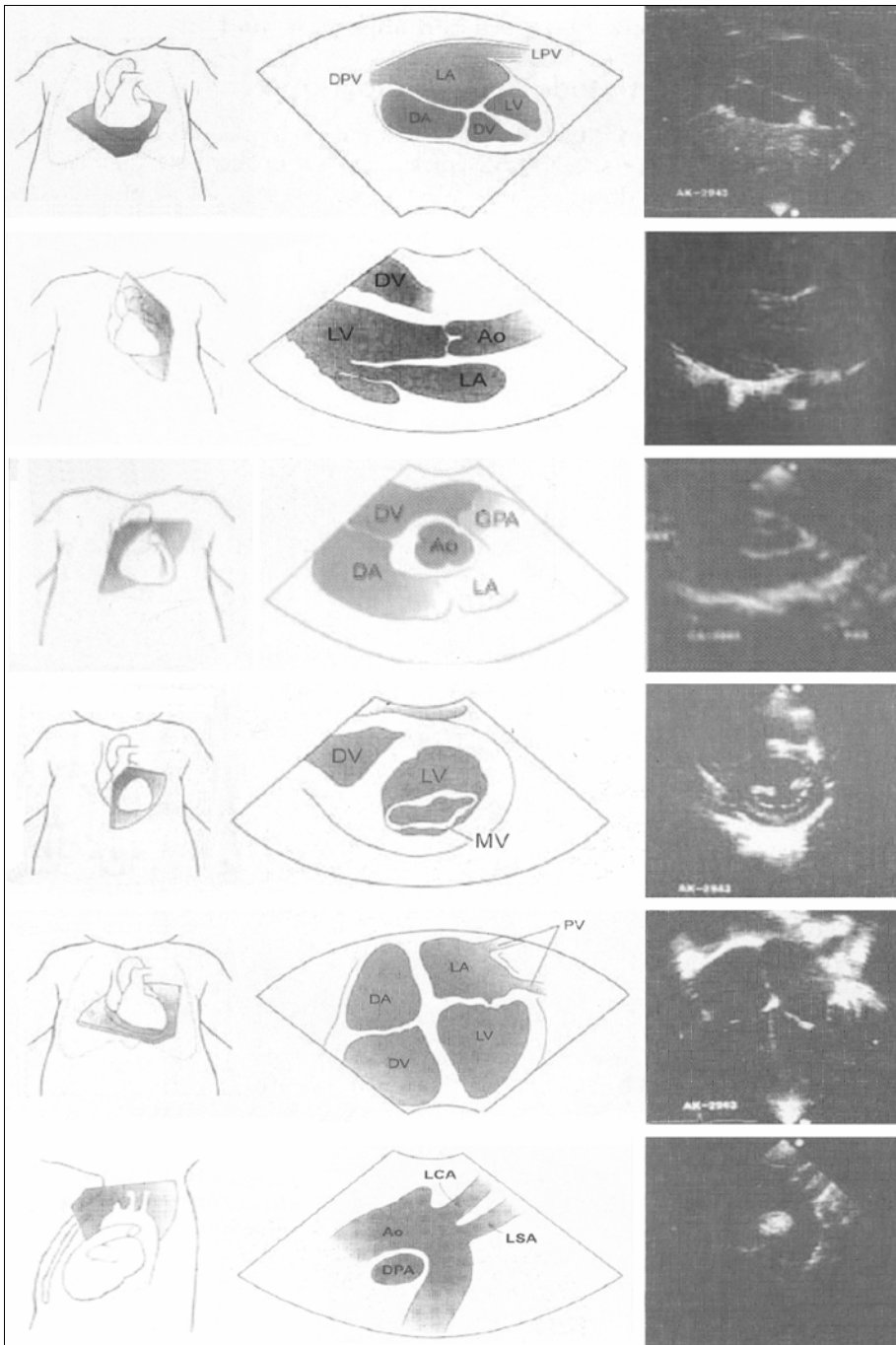
- kompenzatornog LV s volumenom PDA, AR, MR;
- kompenzatornog pritiska volumenom: umjerena do teška AS ili opstruktivna kardiomiopatija.

Smanjena FS javlja se kod: siromašno kompenziranog LV bez obzira na etiologiju (npr. pritiskom ili volumenom opterećen); idiopatske ili reumatske kongestivne kardiomiopatije ili kardiotoksičnosti adriamycinom.



Slika 18.
Položaj fetusa tijekom skeniranja: A - s kralješnicom usmjerenom gore, B - ehogram četvorokomornog presjeka dobivenog straga.

Figure 18
Fetal position during scanning: A - with a spine directed upwards; B - echo scan four chamber view obtained from posterior position.



Slika 19.
Dvodimenzionalni ehogrami srca: standardni presjeci.

Figure 19
2D echogram of the heart: standard views.

Povećanje ili smanjenje FS veće od 5% vjerojatno predstavlja signifikantnu promjenu u hemodinamici.

M-mod tehnikom dobiven sonografski podatak iz jedne linije dvodimenzionalnog sektora, je predstavljen kao funkcija vremena, te je simultano uz srčani nalaz, snimljen kontinuirani elek-

trokardiogram i elektrofonokardiogram (Slika 20.).

Kontrastna ehokardiografija: iniciranjem dekstroze ili krvi u perifernu venu ili centralnu venu produciraju se mikrokaviteti na kraju igle ili katetera (2). Oni kreiraju multiple ultrazvučne refleksije koje se vizualiziraju kao oblak

eho odjeka na osciloskopu (Slika 21.). Tehnika se koristi kod: određivanja struktura, detekcije šantova i identifikacije oblika protoka unutar srca.

DOPPLER EHOKARDIOGRAFIJA

Princip promjene frekvencije u svjetlu prvi put je opisan 1842. godine od strane Christian J. Dopplera, austrijskog matematičara i naučnika, tokom njegovog proučavanja astronomije. Promjene u valnoj dužini svjetla u astronomskim događajima, sugeriraju na pojavu pojedinih zvijezda u boji, što je uzrokovano njihovim pokretima relativnim u odnosu na Zemlju; plave boje se kreću ka Zemlji, a crvene od Zemlje. Ovaj princip je nazvan "Dopplerov" efekt i prvi put je apliciran u cirkulaciji 1956. godine. Princip Dopplera zvuka nije komplicirano razumjeti; ukoliko promatrač miruje i osluškuje zvuk: što je distanca promatrača i zvuka duža, zvuk je niže frekvencije i obrnuto.

Sušтина principa koje je opisao Doppler jeste da objekti koji se kreću mijenjaju frekvenciju zvučnih valova koji oni reflektiraju. U ehokardiografiji on se primjenjuje za detekciju protoka krvi, mjerenje brzine protoka, jer je količina alteracije reflektirane frekvencije proporcionalna brzini. Kombinirano s drugim važnim fizičkim principom, da krv mora teći velikom brzinom kroz usko ušće, omogućeno je mjerenje protoka gradijenta kroz valvule.

Dopplerov efekt danas se primjenjuje u modernoj astronomiji, ima praktičnu primjenu u radarskoj detekciji oluja i meteorološkoj prognozi vremena, čak i u policiji na autoputovima pri otkrivanju prekoračenja brzina automobilom pomoću radara.

Doppler Color ehokardiografija je neinvazivno promatranje toka krvi kroz srca na dvodimenzionalnoj slici srca za razliku od 2D ehokardiografije koja primarno omogućava anatomsku informaciju (5). Doppler ehokardiografija daje obje i kvalitativnu i kvantitativnu informaciju toka krvi kroz srce i velike krvne sudove. Ona omogućava detekciju normalnog i patološkog protoka krvi i kvantifikaciju težine abnormalnosti protoka krvi.

Obzirom da sve urođene srčane anomalije uzrokuju abnormalnosti krvnog protoka, Doppler pregled je integralni dio neinvazivne evaluacije djeteta sa srčanim defektom.

Većina ultrazvučnih strojeva ima Doppler mogućnosti i prikaz pravca i brzine krvnog protoka. Doppler signali iz protoka prema sondi su registrirani iznad nulte linije na ultrazvučnom ekranu, a signali protoka krvi od sonde, su registrirani ispod nulte linije. Kada je protok krvi kroz srčane šupljine ili periferne sudove laminaran (Slika 22.), javlja se slijedeće:

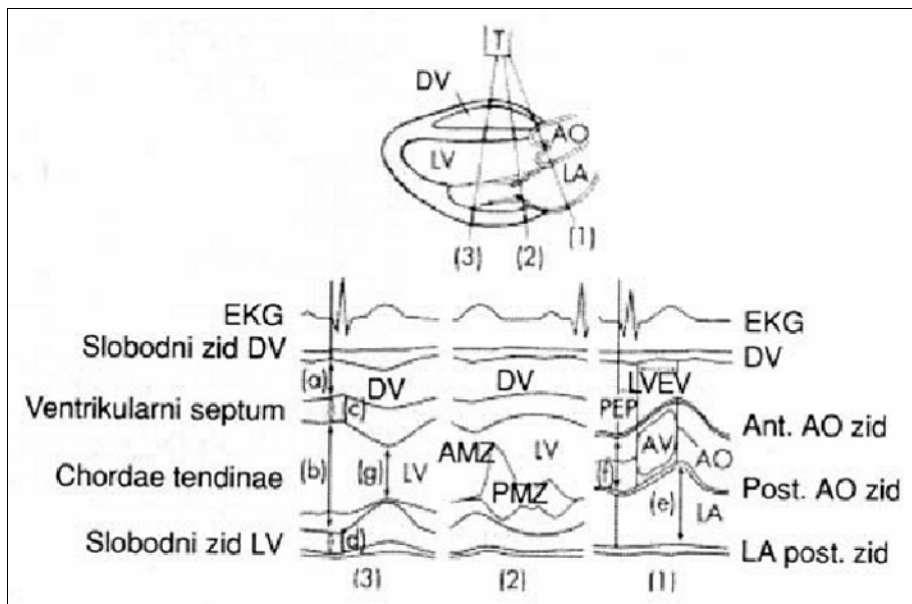
- pokreti crvenih krvnih zrnaca su paralelni i slične brzine;
- Doppler frekventne promjene su uniformne;
- zvučni signal je tonski;
- grafički prikaz pokazuje širine traka uske frekvencije.

Kada je protok krvi abnormalan (turbulentan) (Slika 23.) registriraju se sljedeće promjene:

- crvene krvne stanice kreću se različitim smjerovima i različitom brzinom;
- Doppler spektar sastoji se od multiplih široko varirajućih frekvencija;
- audio (zvučni) izlaz (output) je oštar;
- grafički prikaz ima širinu trake široke frekvencije.

CW (Kontinualni val = Continuous wave) (Slika 24.) Doppler je prvi razvijeni tip Dopplera i uključuje dvije sonde postavljene jedna do druge: prva koja kontinuirano emitira ultrazvučni signal, dok druga prima kontinuirani signal. Doppler signali iz čitavog krvnog protoka duž puta ultrazvučnog signala su primljeni i prikazani kao kompozicija.

Pregled intrakardijalnog protoka s CW Dopplerom je kao odašiljanje svjetlećeg snopa u srce. Glavna prednost ove tehnike je da nema granice maksimuma brzine koju može mjeriti. Ograničenja uključuju nedostatak rezolucije i nemogućnosti selekcije brzine uzoraka protoka iz poznate pozicije unutar srca.



Slika 20. Presjek lijeve strane srca kroz parasternalno dugu i kratku os.

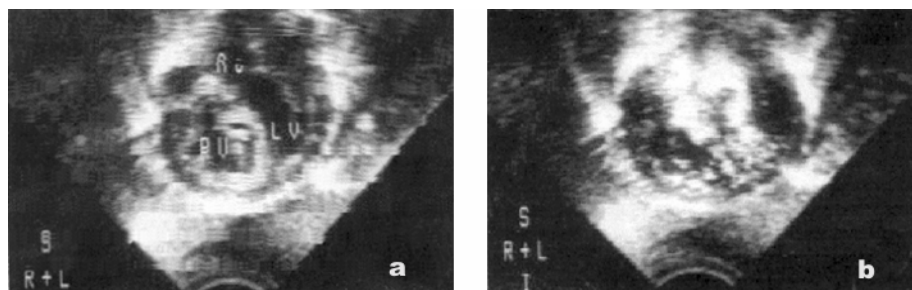
Figure 20 Left side of the heart through parasternal long and short axis.

PW (pulsni val = pulse wave) (Slika 24.) Doppler omogućava operatoru da selektira ne samo pravac već i dubinu s koje se mjeri brzina. Pozicija raspona stanica ili uzorka volumena je duž kursorne linije i kontrolirana je od strane operatora i predstavljena na ekranu kursorom.

Prednost PW je dijapazon rezolucije ili mogućnost uzimanja protoka krvi iz malih specifičnih područja čija lokalizacija i dubina može varirati. Glavno ograničenje je da PW Doppler ne može točno opisati brzi protok krvi, posebno ukoliko strukture nisu blizu sonde.

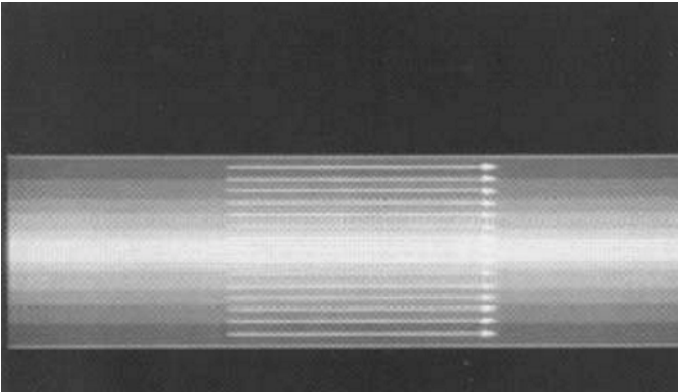
Namekawa i suradnici 1982. godine u Japanu, te Bommer i Miller u SAD iste godine, kreirali su Color Flow Doppler (Slika 25.). Razvijen je kao odgovor potrebi sistema koji će prikazati i kombinirati informacije kardijalnih struktura i protoka simultano. Podaci Doppler signala su kolor-kodirani na osnovu pravca i brzine:

- protok prema sondi je crvene boje;
- protok od sonde je plave boje;
- intenzitet boje korespondira s brzinom protoka.



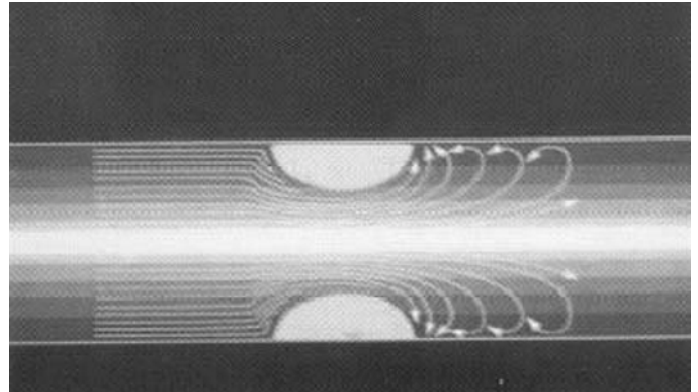
Slika 21. Postoperativna evaluacija korekcije ventrikularnog septalnog defekta, subkostalni presjek, kratka os. A - kontrastna injekcija iz femoralne arterije puni descendentnu aortu; B - kontrast puni aortni korjen i lijevi ventrikul dijagnosticirajući aortnu insuficijenciju.

Figure 21 Postoperative evaluation of VSD closure, sub costal view, short axis: A - contrast injection from femoral vein fills descending aorta; B - contrast fills aortic root and LV diagnosing aortic insufficiency.



Slika 22.
Laminarni protok.

Figure 22
Laminar flow.



Slika 23.
Turbulentni protok.

Figure 23
Turbulent flow.

Kada brzina protoka prelazi sposobnost sistema da ga prikaže, signal postaje mozaičko zelene ili žute boje. Ova tehnika značajno skraćuje trajanje pregleda pacijenta.

Kliničke aplikacije

U kliničkoj praksi većina sonografičara promjenjuje Color Doppler kao intrakardijalni stetoskop. Iz svakog presjeka primijenjenog da se dobije 2D ehokardiogram, skeniraju se područja aktiviranim Color Flow sistemom. Tako je omogućeno proučavanje protoka koji ulazi i izlazi iz svake srčane šupljine uz

promatranje područja poremećenog protoka. Područja turbulentnog protoka unutar srca odmah se prikažu, a sumnjiva područja se mogu evaluirati CW Dopplerom radi mjerenja stvarnog protoka krvi. Naziv ove pretrage je i "ultrazvučni angiogram" jer su opisane promjene komparabilne onima na cineangiografiji. Područja ispitivanja uključuju:

- atrijalna i ventrikularna septa za znake intrakardijalnog šantiranja;
- srčane šupljine proksimalne valvulama za retrogradni protok što indicira valvularnu insuficijenciju;

- šupljine distalno valvulama, za protok visoke brzine indicirajući valvularne stenozе.

PW i CW Doppler može se primijeniti za kvantifikaciju brzine protoka.

KVANTITATIVNE DOPPLER TEHNIKE

Simplificirana Bernoulijeva jednadžba

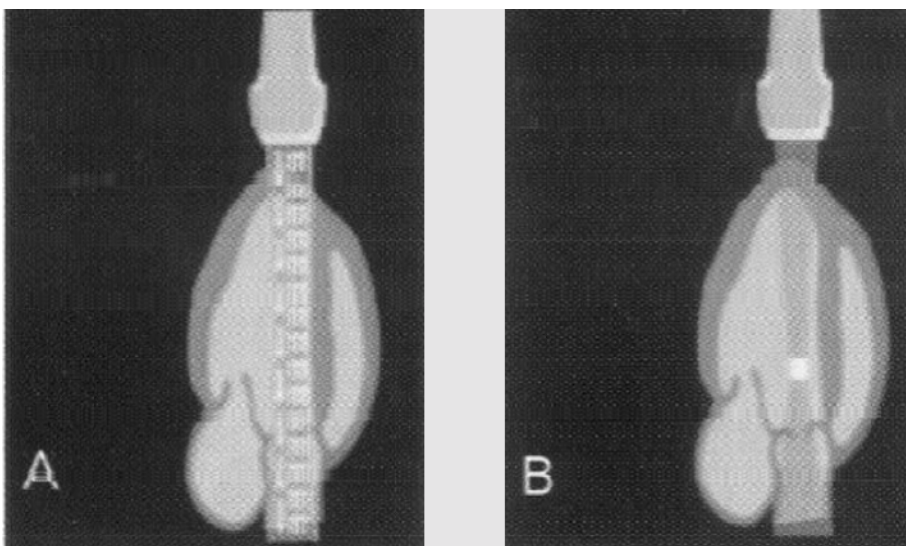
Jedan od najvećih napredaka u kliničkoj ehokardiografiji je mogućnost simplificiranja kompleksne Bernoulijeve jednadžbe, koja opisuje odnos gradijenta pritiska i brzine protoka u rigidnim sudovima. Ona glasi: $PG = 4V^2$ - gdje je V brzina u metrima/sekundi, a PG je u mmHg.

Procjena težine valvularne stenozе

Primjenom ove jednadžbe moguće je procijeniti: PG kroz stenotičnu valvulu, regurgitantnu valvulu ili septalni defekt. PG je dobiveni trenutni pik PG a ne protok od vrha do vrha. PG koji se mjeri tokom srčane kateterizacije manji je nego trenutni PG.

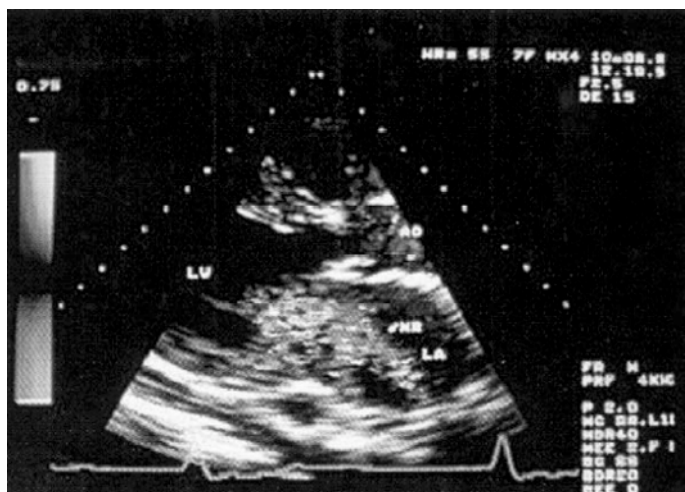
Procjena intrakardijalnih tlakova

Kod pacijenata s trikuspidnom insuficijencijom, brzina "jeta" insuficijencije se upotrebljava za određivanje sistemnog pritiska DV i tada u odsustvu PS, ujedno i pritisak u PA. Kod pacijenata s VSD primjenjuje se ista metodologija za određivanje razlika intraventrikularnog tlaka; što je brži protok kroz defekt, veća je razlika u tlakovima. Pretpostavljajući



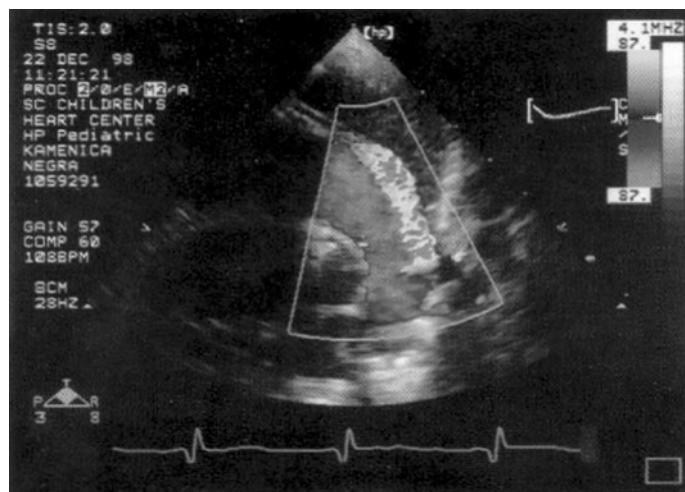
Slika 24.
A - Kontinualno valni Doppler sa konstantnom, nezavisnom transmisijom i recepcijom,
B - Pulsno valni Doppler gdje je transmisija prema i iz jedne točke unutar signala.

Figure 24
A - Continual wave Doppler with constant, independent transmission and reception;
B - Pulse wave Doppler where transmission is towards and from one spot inside of signal.



Slika 25. Parasternalno duga os, demonstrira mitralnu insuficijenciju primjenom Color Dopplera.

Figure 25 Parasternal long axis, showing mitral insufficiency by Color Doppler.



Slika 26. 2D ehokardiogram, Color Doppler demonstrira PDA.

Figure 26 2D echogram, Color Doppler demonstrates PDA.

da je tlak u LK normalan, protok visoke brzine je indikacija za nizak tlak u DK. Kod pacijenata s DAP "jet" visoke brzine indicira veliku razliku tlakova između aorte i PA.

Doppler Color protok mapiranje jeste novi i zapanjujući napredak u kardiološkom ultrazvuku. To je metoda gdje je protok krvi vizualiziran i prikazan na slici 2D ehokardiograma (Slika 26. do Slika 30.). Doppler informacija daje prostornu orijentaciju koja čini da je

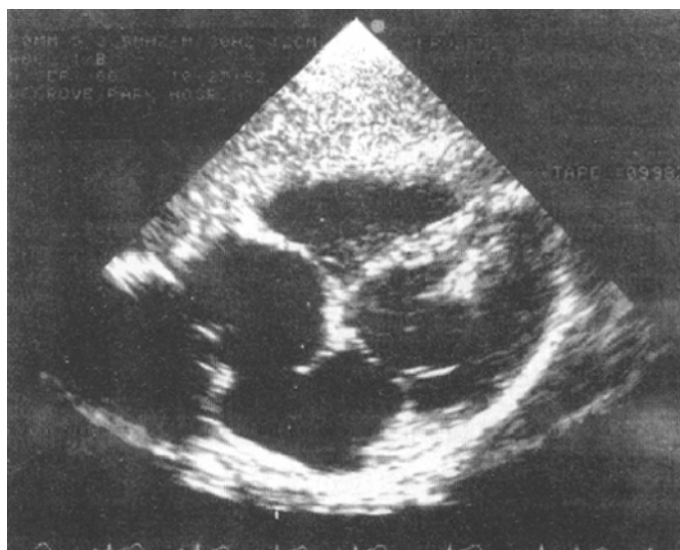
protok jasnije shvaćen, nego ona informacija kada je komparirana konvencionalnim pristupom.

TRANSEZOFAGEALNA EHOKARDIOGRAFIJA (TEE)

Originalne transezofagealne sonde razvile su se u kasnim 1970. godinama. Dio ovih sondi su pulsni, kontinuirani i Color Doppler. TEE je otvorila novi prozor u srce i uvećala dijagnostičke mogućnosti kliničke kardiologije (2, 3).

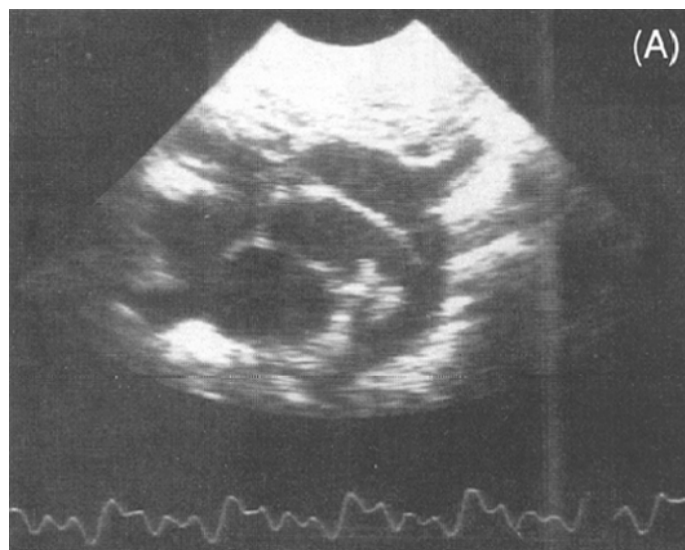
Transezofagealni ehokardiogram nije zamjena za pažljiv transtorakalni, informacije dobivene TEE su komplementarne, te se ove dvije metode dopunjuju (Slika 31.). Prednosti TEE nad TTE su: proksimitet srca bez umetnutog pluća i kosti, veća frekvencija sondi, a samim tim i poboljšanja slike. Indikacije za primjenu TEE:

- kompletna sekvencijalna anatomska dijagnoza;



Slika 27. 2D ehokardiogram, subkostalni četvorokomorni presjek, prikazuje ostium secundum ASD.

Figure 27 2D echocardiogram, sub costal four chamber view, showing ostium secundum ASD.



Slika 28. 2D ehokardiogram, parasternalno duga os, aorta je u anteriornoj poziciji iz DV, paralelan tok dvije velike krvne žile.

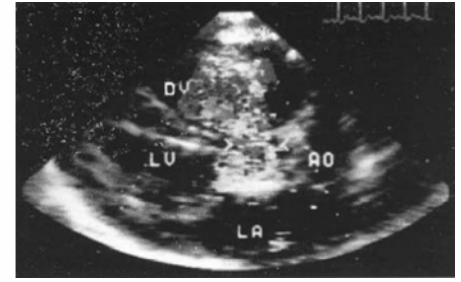
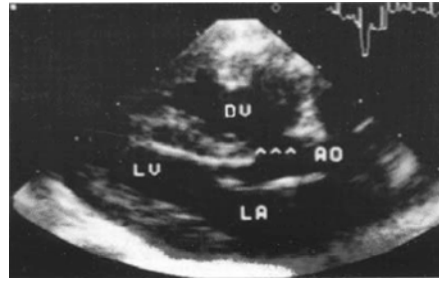
Figure 28 2D echocardiogram, parasternal long axis, aorta is anteriorly from RV, parallel flow of two great vessels.

- infektivni endokarditis prirodne ili vještačke valvule; vegetacije, apces;
- funkcija prirodne ili vještačke valvule; stenozе, regurgitacije;
- abnormalnosti atrija i atrijalnog septuma;
- anomalije plućnih vena; ulivanje, opstrukcije;
- konduit, šant, funkcije bafla;
- perikardni izljev;
- funkcije ventrikula;
- intrakardijalni izvor embolizma;
- oboljenja aorte: disekcija, ruptura, aneurizmatiska dilatacija.

Aplikacije TEE

Kateterizacijski laboratorij; dijagnoza, intervencijske procedure (zatvaranje ASD, balon dilatacija stenozirane valvule i dr.). Operacijska dvorana: potvrđivanje dijagnoze, hemodinamski monitoring i održavanje tekućine, monitoring ventrikularne funkcije, utvrđivanje kirurške popravke / kompetentnosti valvula / rezidualni septalni defekti itd. Jedinica intenzivne njege: ventrikularna funkcija, poslijeoperacijska kompetentnost valvula, perikardni izljev i tamponada, endokarditis i apces.

TEE je neophodna kardiolozima, kardijalnim kirurzima i anesteziolozima. Njene indikacije i prednosti su prepoznate i metoda se široko primjenjuje u kardiologiji. Trodimenzionalna ehokar-



Slika 29.

A - 2D tehnika u parasternalno dugoj osi, veliki subaortni VSD (strijelica), B - isti presjek kolor Doppler zeleno-žuti mozaik krvi iz izlaznog trakta LK kroz VSD u DV.

Figure 29

A - 2D technique in parasternal long axis, big subaortic VSD (arrow); B - same scan Color Doppler green-yellow mosaic of blood from LV outflow tract through VSD into RV.

diografija ima veliku implikaciju u anatomsko-morfološkim prijeoperativnim i operativnim studijama. Tkivni Doppler ehokardiogram ima primjenu u kliničkoj praksi kod oboljenja koronarnih krvnih sudova, kardiomiopatije, restriktivne kardiomiopatije, hiperkinezija i hipokinezija.

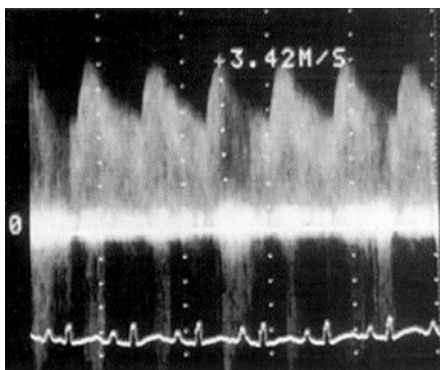
MRI

Postoje različite tehnike MRI zavisno od načina kako su informacije dobivene i obrađene. Neke sekvence uključuju spin echo sekvence (anatomija, ukupni i regionalni pokreti zida, udarni volumen i e젝ciona frakcija) i gradijent echo sekvence (tzv. Cine protok MRI). Ovom tehnikom je omogućeno praćenje kretanja krvi visokim signalom tzv. mapiranje brzine (velocity mapping). Dobivene informacije su kvalitativne i kvantitativne: valvularna funkcija, protok krvi, uključujući intrakardijalne i ekstra-

kardijalne šantove, pokrete zida ventrikula (Slika 32.) (1, 3). MRI angiografija koristi se kod naučno istraživačkih projekata. Indikacije kardijalne MRI:

- torakalna aorta;
- volumeni srčanih šupljina i masa;
- regionalna ventrikularna funkcija;
- urođene srčane anomalije;
- perikardij;
- tumori i trombusi.

Specijalizirane indikacije MRI su protoci, brzine infiltracije, kardiomiopatije, prohodnost venskih graftova, koronarna angiografija. Vrijeme pretrage iznosi od 60 do 90 minuta. Pozicija pacijenata je važna: mirno i ravno ležanje, ponekad uz sedaciju. Kontrast nije potreban kod MRI zbog prirodnog kontrasta između cirkulirajuće krvi i tkiva.

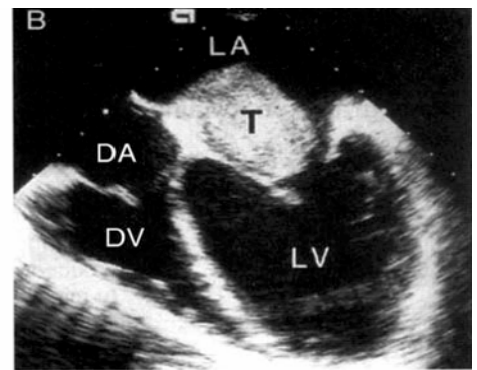
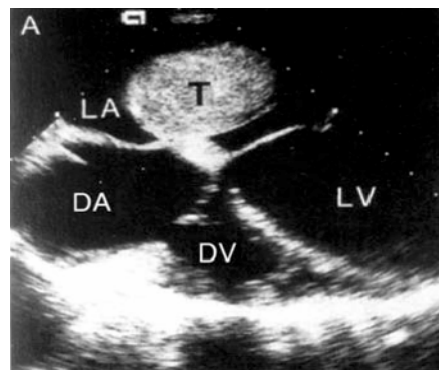


Slika 30.

Kontinuirani Doppler iz područja BT šanta brzine od 3,42 m/sec.

Figure 30

Continual Doppler from area of BT shunt with velocity of 3.42 m/sec.

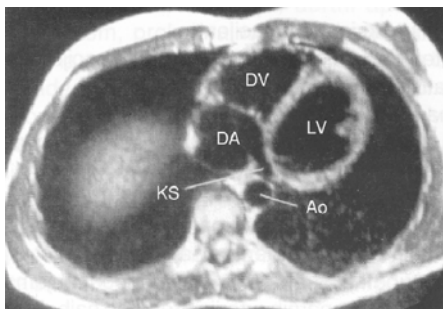


Slika 31.

Apikalni četvorokomorni presjek, transezofagealni ehokardiogram.

Figure 31

Apical four chamber view, transoesophageal echocardiogram.



Slika 32.
Slika magnetne rezonance koja pokazuje normalne srčane strukture u transverzalnom presjeku.

Figure 32
Magnetic resonance imaging which shows normal heart structure in transverse view.

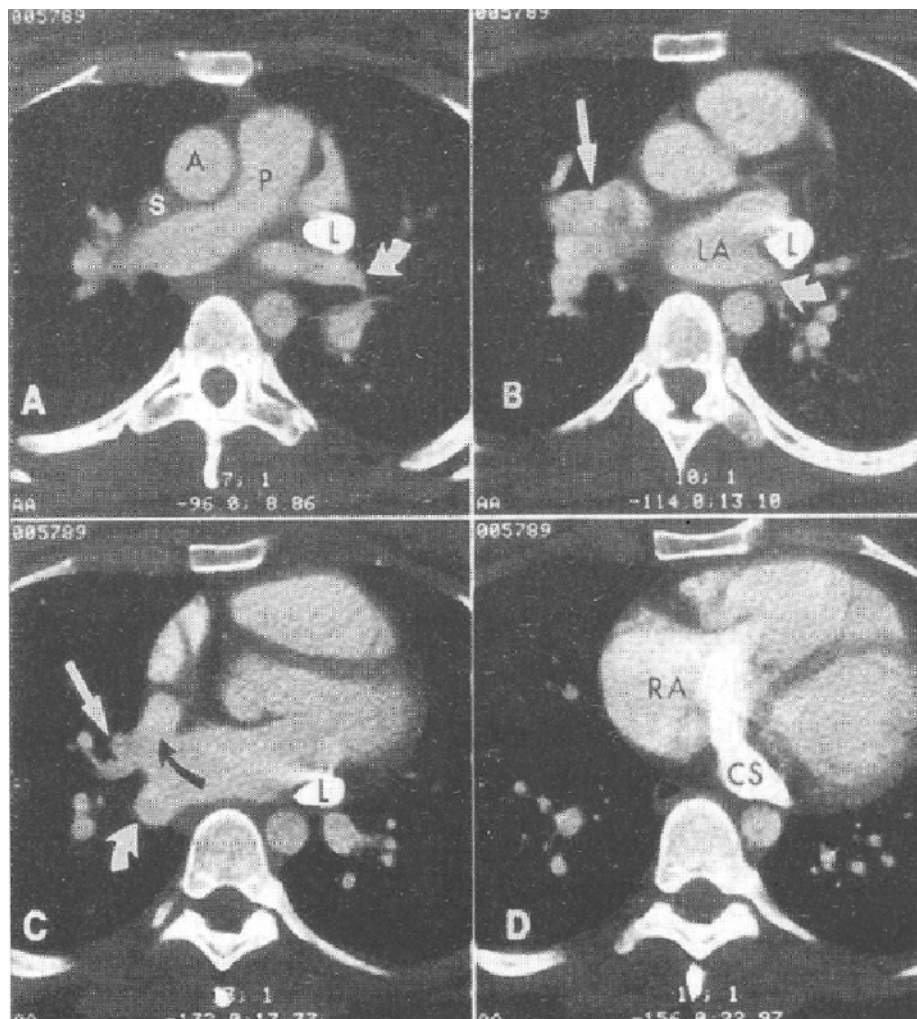
Prednosti i ograničenja tehnike (MRI + CT)

Prednosti: neinvazivne i sigurne, niska stopa morbiditeta i rizika, izvrsne trodimenzionalne slike dobivene u različitim presjecima. Tehnike su nezavisne od kvaliteta akustičnih prostora za razliku od eho Doppler studija. Mogu se evaluirati pacijenti s izmijenjenom postoperativnom anatomijom, anatomske regije na primjer kod tinejdžera: aortni luk, descendentna aorta, visceralni situs, postoperativna patologija.

Ograničenja: klaustrofobija i anksioznost pacijenta, teško primjenjive tehnike kod bolesnog pacijenta, te neposredno nakon operativnog tretmana. Visoka cijena tehnike, pacijentova pozicija i kooperacija, pojava aritmija, relativno visoka doza X zraka i kontrasta kod ultra brzog CT. Ove tehnike su kontraindicirane kod pacijenata sa specijalnim stanjima: trudnoća i pejsmejker.

Slaba vizualizacija koronarnih arterija, MRI nije pogodna za defekte u fossi ovalis i membranoznom dijelu ventrikularnog septuma zbog niskih signala koji se dobiju iz ovih tankih struktura, srčane valvule: MRI ne daje dobre anatomske detalje ali omogućava kvantitativne podatke, suprotno važi za ultra brzi CT.

Specifične indikacije za MRI i CT: velike krvne žile, pre i postoperativna evaluacija kompleksnih kardijalnih lezija (TOF: lijeva anteriorna descendentna koronarna arterija polazi iz desne koronarne arterije i križa izlazni trakt desne klijetke) postoperativna evaluacija intra i



Slika 33.
CT: selektivane slike demonstriraju sinus venosus ASD

Figure 33
CT: Selective pictures demonstrates sinus venosus ASD.

ekstrakardijalnih šantova, nakon Fontan, Mustar i Senninga, Rasteilija. Sistemska i pulmonalna venozna drenaža može se demonstrirati CT, a MRI može pokazati kontinuitet azygos vene i vene kave inferior, perzistiranje lijevostrane VCI, MRI kod potvrde dijagnoze totalnog i parcijalnog anomalnog utoka plućnih vena. CT + MRI korisni su kod evaluacije kardijalne funkcije. Buduće mogućnosti su:

- brže tehnologije skeniranja: na primjer ehoplaner MRI predstavlja gotovo realno vrijeme skeniranja;
- poboljšana neinvazivna angiografija (koronarne arterije);
- cine CT i cine MRI stres studije (farmakološke, primjena dobutamina);

- slike miokardne perfuzije upotrebom MRI s kontrastnim agensima;
- studije karakterizacije tkiva uz pregled biokemijskog sastava tkiva i metabolizma s MRI.

Obje tehnike su indicirane kod pacijenata sa:

- slabim akustičnim prozorom kod kojih je Doppler eho teško izvodiv;
- evaluacije pacijenata s bolestima aorte;
- praćenja postoperativnih pacijenata posebno onih s kirurškim baflima, konduktom i razrušenom postoperativnom anatomijom.

CT

Glavni napredak u CT je razvoj ultra brzog cine CT skenera (Imatron) koji omogućava višeslojnu brzu akumulaciju podataka (Slika 32.) (1). Razlikuju se tri glavna ultra brza CT skenirajuća modela, koja omogućavaju različite informacije:

- oblik protoka (srčani izbačaj, veličina šanta, anatomske detalje na primjer: plućne vene);
- Cine oblik (regionalni pokreti zida, debljine miokarda, mase i volumena, ejskzione frakcije);
- oblik volumena (anatomske informacije o aorti i plućnim arterijama).

Vrijeme pretrage iznosi oko 60 minuta, kontrast se daje u perifernu venu. Primjena kontrasta kod CT skeniranja može imati lakše i teže posljedice. Lakše su česte: mučnina, povraćanje, crvenilo u licu, prolazna hipotenzija i urtikarija. Teže anafilatične reakcije mogu biti fatalne i zaista su rijetke (manje od 1:40000 procedura).

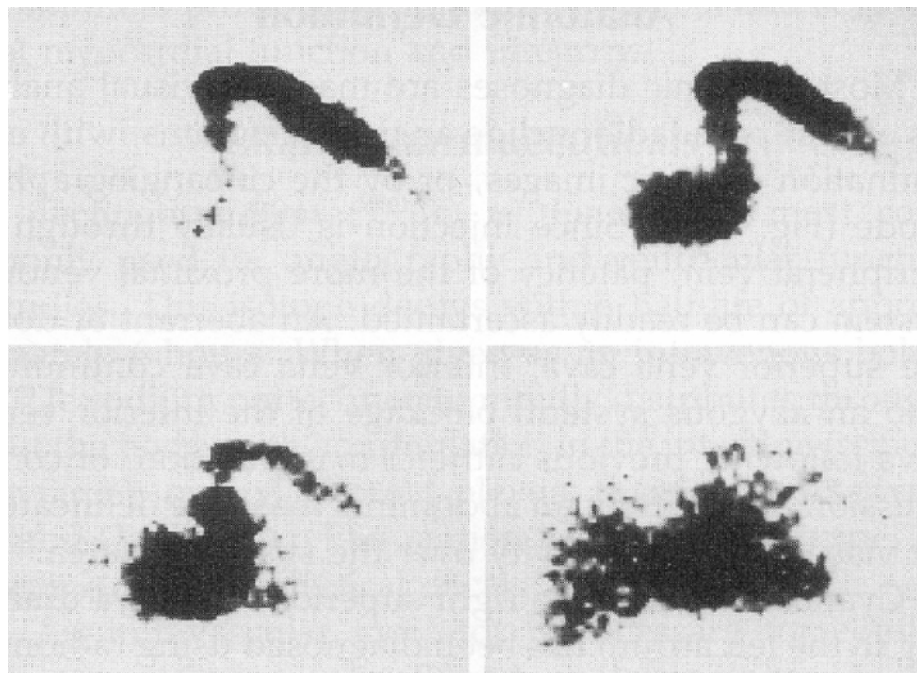
RADIOIZOTOPSKA SCINTIGRAFIJA SRCA

Razvoj farmaceutskih agensa s niskom dozom radijacije kao i gama scintilacijske kamere, proširio je primjenu radioizotopskih studija u kliničkoj evaluaciji dojenčadi i djece (1). Tri glavne metode primjene u pedijatrijskoj kardiologiji su: angiokardiografija (Slika 34.), ekvilibrijum ventrikulografija i miokardna scintigrafija.

Miokardna scintigrafija primjenjuje se za dijagnozu anomalnog isteka lijeve koronarne arterije, Kawasakijeve bolesti i praćenja pacijenata nakon operacije arterijalnog sviča za transpoziciju velikih krvnih žila.

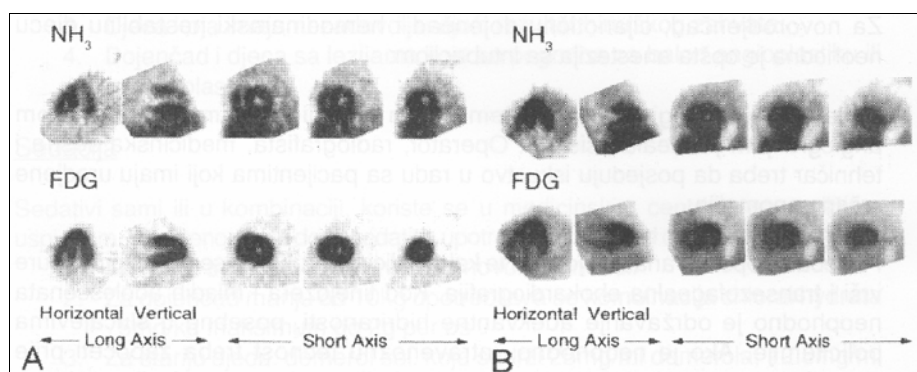
PET

Slike presjeka srca postale su moguće i ovom tehnikom, omogućavajući neinvazivne prikaze kvantificirajućeg regionalnog miokardnog metabolizma i perfuzije (Slika 35.) (1). Postoje tri tipa kardijalne PET studije: regionalni krvni protok (koje se može mjeriti u miru i za vrijeme farmakološki inducirano testu) supstratni metabolizam i kemijsko pre-



Slika 34.
Radionuklearni angiokardiogram u 15° desnoj anteriornoj kosoj projekciji s identifikacijom perzistentne lijeve superiorne vene cave.

Figure 34
Radionuclide radiography in 15° right anterior oblique projection with identification of persistent left superior vena cava.



Slika 35.
Pozitron emisija tomografija kod dojenčeta s TVKS. Slike prikazuju: A - regionalnu perfuziju i metabolizam glukoze prije revaskularizacije; B - poslije revaskularizacije.

Figure 35
Positron emission tomography in infant with TGA. Figures shows: A - perfusion and metabolism of glucose prior revascularization; B - after revascularization.

poznavanje (uključujući enzime i receptore).

Glavna primjena je u dijagnozi bolesti koronarnih arterija (aneurizme, miokardna perfuzija, koronarna tromboza, koronarna arteriopatija nakon transplantacije), evaluacije odnosa između hormona i njihovih receptora, određivanje celularne abnormalnosti udružene s raz-

vijem kardiomiopatija, aritmija, ateroskleroze i tromboze, dilatirane ili hipertrofične kardiomiopatije, metaboličke kardiomiopatije. U budućnosti je primjena PET kao metoda istraživanja stečenih ili urođenih srčanih defekata.

LITERATURA

1. Moss and Adams: Heart Disease in Infants, Children, and Adolescents Including the Fetus and Young Adult, Williams & Wilkins, 1998.
2. Silverman. Pediatric echocardiography, Williams & Wilkins, 1993.
3. S. Mesihović-Dinarević. Dječja kardiologija (od fetusa do adolescenta), Medicinski fakultet, Sarajevo 2000.
4. S. Mesihović-Dinarević. Pedijatrijski ultrazvučni atlas srčanih anomalija, SaVart 2001.
5. Duncan. Color Doppler in Clinical cardiology, W.B. Saunders company, 1988.

Summary

IMAGING TECHNIQUES IN PAEDIATRIC CARDIOLOGY

S. Mesihović-Dinarević

Paediatric cardiology is an exact science thanks to embryological knowledge, morphological anatomy and segmental analysis. Congenital heart anomalies were always considered as mysterious, especially if they consisted of a combination of rare lesions. From the development of cross-sectional echocardiography, completed by magnetic resonance imaging, they became clearer. Detail intracardiac structures can be presented with accuracy and detail. The progress made in imaging techniques of congenital heart malformations in the last twenty years is phenomenal. The modern diagnostic and therapeutic approach in paediatric cardiology means, with detailed history and clinical examination, the application of imaging techniques as follows: electrocardiogram, 24 hrs electrocardiogram, X ray, echosonography, magnetic resonance imaging, computerized tomography, radioisotope scintigraphy and positron emission tomography. The focus of physicians and health care system messengers should not only be aimed for searching better and higher treatment standards, but the primary aim should be prevention. Having in mind that, the definition of etiology and pathogenesis of congenital heart cardiovascular malformations which by application of imaging techniques in paediatric cardiology is achieved, leads to the ultimate goal; researching the ways of preventing of illness and curing them.

Descriptors: IMAGING TECHNIQUES; PAEDIATRIC CARDIOLOGY