

Petja Fister¹, Jerneja Peček², Samo Vesel³

Funkcionalni ultrazvok srca v neonatologiji

Functional Echocardiography in Neonatology

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: novorojenček, UZ srca, funkcionalni UZ srca, tarčni neonatalni UZ srca, obposteljni UZ

Funkcionalni UZ srca v neonatologiji je obposteljna metoda ocenjevanja delovanja srca in krvnega pretoka, s katero si pomagamo pri obravnavi in zdravljenju bolnih novorojenčkov v enoti intenzivne medicine. Uporabna je za oceno novorojenčkovega hemodinamskega stanja v realnem času in za nadzorovanje učinka ukrepov zdravljenja. Zelo uporabna je pri hipotenzivnih in šokiranih novorojenčkih, novorojenčkih s pljučno hipertenzijo ali odprtim Botallovim vodom in je zlati standard za oceno hemodinamske stabilnosti pri novorojenčkih s prirojenimi boleznimi srca ali zaklopk, perikardialnim izlivom in srčno tamponado. Podatki, ki jih pridobimo s funkcionalnim UZ srca, nam omogočajo izbiro tarčnega zdravljenja pri posameznem novorojenčku, kot je potreba po tekočinskem zdravljenju, zdravljenje s primernim inotropnim ali vazopresornim zdravilom in uporaba specifičnih zdravil, kot so selektivni pljučni vazodilatatorji pri pljučni hipertenziji ali zaviralci angiotenzin pretvarjajočega encima in diuretiki pri srčnem popuščanju. Podatki o hemodinamskem stanju pomagajo in izboljšajo zdravljenje bolnih novorojenčkov.

ABSTRACT

KEY WORDS: neonate, echocardiography, functional echocardiography, targeted neonatal echocardiography, point-of-care echocardiography, bedside cardiac ultrasound

Functional echocardiography in neonatology is a bedside method of evaluating cardiac function and blood flow, which helps in guiding the management and treatment of sick newborns in the neonatal intensive care unit. We use it for real-time assessment of hemodynamic status of newborns and for monitoring the effects of therapeutic measures. Functional echocardiography is very useful in newborns with hypotension and shock, pulmonary hypertension or patent ductus arteriosus, and is the gold standard for assessing hemodynamic stability in newborns with congenital heart disease, valvular disease, pericardial effusion or cardiac tamponade. The information obtained by functional echocardiography help us select the appropriate treatment for a given patient, such as the need for fluid therapy, treatment with a suitable inotropic or vasopressor drug, and the use of specific drugs such as selective pulmonary vasodilators for pulmonary hypertension or angiotensin-converting-enzyme inhibitors, and diuretics in heart failure. Data on hemodynamics help and improve the treatment of sick newborns.

¹ Doc. dr. Petja Fister, dr. med., Klinični oddelek za neonatologijo, Pediatrična klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Bohoričeva ulica 20, 1000 Ljubljana; Katedra za pediatrijo, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana; petja.fister@kclj.si

² Jerneja Peček, dr. med., Pediatrična klinika, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Bohoričeva ulica 20, 1000 Ljubljana

³ Doc. dr. Samo Vesel, dr. med., Otroški oddelek, Splošna bolnišnica Celje, Gregorčičeva ulica 5, 3000 Celje

UVOD

Funkcionalni UZ srca (angl. *functional echocardiography*, FECHO) je specifična UZ-preiskava, ki jo opravlja neonatolog na neonatalnem oddelku ob novorojenčkovi postelji. Sinonimi za preiskavo so tudi tarčni neonatalni UZ srca (angl. *targeted neonatal echocardiography*, TNE), obposteljni UZ srca (angl. *bed-side echocardiography*) in »point-of-care« UZ srca (angl. *point-of-care echocardiography*) (1–3). Ker preiskavo opravlja neonatolog, ki ima pridobljena dodatna znanja s področja neonatalne kardiografije, jo nekateri imenujejo tudi UZ srca, opravljen s strani neonatologa (angl. *neonatologist performed echocardiography*, NPE) (4).

Od prve uporabe UZ v navtiki leta 1914 in prve uporabe v medicini leta 1950 se je uporaba UZ hitro razširila na vsa področja medicine, najprej iz porodništva na preiskave mišično-skeletnega sistema, nato pa je bil UZ že zelo kmalu prepoznan kot uporabno diagnostično orodje za predoperativno oceno bolezni srčnih zaklopk. Od leta 1970, ko je Reggie Eggleton s prvim uspešnim dvodimenzionalnim (2D) UZ omogočil prikaz srca, so se indikacije za UZ eksponentno večale. Leta 1976 je Jarle Holen prvič uporabil tudi doplerski UZ. Pri novorojenčkih je bil UZ srca sprva uporabljan predvsem v raziskovalne namene, za ugotavljanje naravnega poteka zapiranja Botallovega voda (angl. *patent ductus arteriosus*, PDA), nato pa so ga uporabljali pediatri kardiologi, predvsem za morfološko oceno novorojenčkovega srca in diagnosticiranje ter spremljanje prirojenih srčnih napak in PDA. Od leta 2000, ko je bil prvič opisan pretok krvi skozi zgornjo votlo veno (angl. *superior vena cava*, SVC) kot nadomestni pokazatelj minutnega volumna srca, pa se UZ čedalje pogosteje uporablja tudi za spremljanje hemodinamike v prehodnem obdobju po rojstvu in v novorojenčkovem obdobju. V zadnjih treh desetletjih se je tako vloga UZ v neonatalnih enotah razvila in je UZ srca postal nepogrešljiv

pripomoček pri zdravljenju kritično bolnih novorojenčkov, ki se s čedalje večjo dostopnostjo UZ in zmanjševanjem velikosti tehnologije širi v neonatalne intenzivne enote po vsem svetu (5).

Leta 2011 smo dobili prve mednarodne smernice za izvajanje in usposabljanje neonatologov za TNE. Trenutno veljavne indikacije sicer niso bile osnovane na podlagi velikih kliničnih preizkusov, ampak predvsem na podlagi kliničnih izkušenj čedalje večjega števila neonatalnih enot po vsem svetu ter na osnovi nedavnih opazovalnih študij. V tujini so oblikovali standarde ustreznega izobraževanja za opravljanje TNE in pridobitve akreditacije (1, 6).

TNE opravlja pediater neonatolog z dodatnimi znanji UZ-preiskovanja srca pri novorojenčku brez suma na prirojeno srčno napako oz. po tem, ko je bila prirojena srčna napaka pri novorojenčku izključena. Prvi UZ pri novorojenčku mora vključevati celovito opredelitev tako anatomije (segmentna analiza srca) kot funkcije in jo mora interpretirati pediater kardiolog. Zlato pravilo za izvajanje TNE je, da v primeru patološkega izvida predrojstvenega UZ plodovega srca, suma na prirojeno srčno napako po rojstvu ali pa nejasnega izvida TNE na posvet pokličemo pediatričnega kardiologa in ga prosimo za UZ novorojenčkovega srca (tabela 1). Če ima novorojenček ugotovljeno prirojeno srčno napako, TNE ni primerna metoda za sledenje njegovega kliničnega stanja (1, 4).

Ultrazvočni aparat za TNE mora omogočati 2D-prikaz slike, M-mode in doplersko analizo. Na razpolago morajo biti ustrezne sonde (8–12 MHz). Omogočati mora hkratno beleženje elektrokardiografskega posnetka. Zaželeno je, da so preiskave shranjene v bazi podatkov, ki omogočajo pregled opravljenih preiskav tudi drugim preiskovalcem (1–4).

TNE omogoča oceno bolnikovega trenutnega hemodinamskega stanja in pomaga usmerjati njegovo zdravljenje. S TNE ocenjujemo anatomijo, znotrajsrčne tlake in

razlike tlakov preko zaklopk in žil, ugotovljamo smer toka krvi, razlike tlakov preko defektov, ocenjujemo osrednji venski (polnilni) tlak in odgovor na tekočinsko zdravljenje. S TNE kvantitativno ocenjujemo sistolično in diastolično delovanje prekatov, merimo utripni volumen, ocenjujemo pljučni arterijski krvni tlak (in s tem morebitno prisotnost pljučne hipertenzije), ugotovljamo prisotnost vegetacij, trombov in tekočine v osrčniku ali plevralnem prostoru (slika 1). TNE je klinično uporaben tudi za ocenjevanje stanja prehoda krvnega obtoka pri novorojenčku, od plodovega do porojstvenega, oceno velikosti, smeri toka in pretoka krvi po PDA ter s tem oceno hemodinamske pomembnosti PDA, in oceno lege konice katetrov ter kanil za zdravljenje z izventelesno membransko oksigenacijo. TNE izvajamo tudi pri novorojenčkih, ki so

utrpele perinatalno asfiksijo ali pa so se rodili s prirojeno kilo trebušne prepone (tabela 2) (1–3, 7).

Omejitve TNE so intermitentnost preiskave in trenutnost ocene kliničnega stanja. Težko jo izvajamo in vrednotimo pri novorojenčku, ki ga zdravimo z umetnim predihavanjem. Pomembno je, da podatke, ki jih pridobimo s TNE, vzporedimo s podatki kliničnega pregleda in kliničnih kazalnikov hemodinamskega stanja pri novorojenčku. Tako lahko boljše napravimo hemodinamsko oceno in oceno delovanja srca, polnitve krvnega obtoka ter odgovora na tekočinsko zdravljenje ali zdravljenje z zdravili. Najbolje je, če serijske preglede pri posameznem bolniku opravlja en preiskovalec, s čimer se zmanjša raznolikost meritev (2).

Delovanje prekata določajo njegovo krčenje, polnjenost votline in utripni volumen.

Tabela 1. Zlata pravila tarčnega neonatalnega UZ pri novorojenčku. TNE – tarčni neonatalni UZ srca (angl. *targeted neonatal echocardiography*).

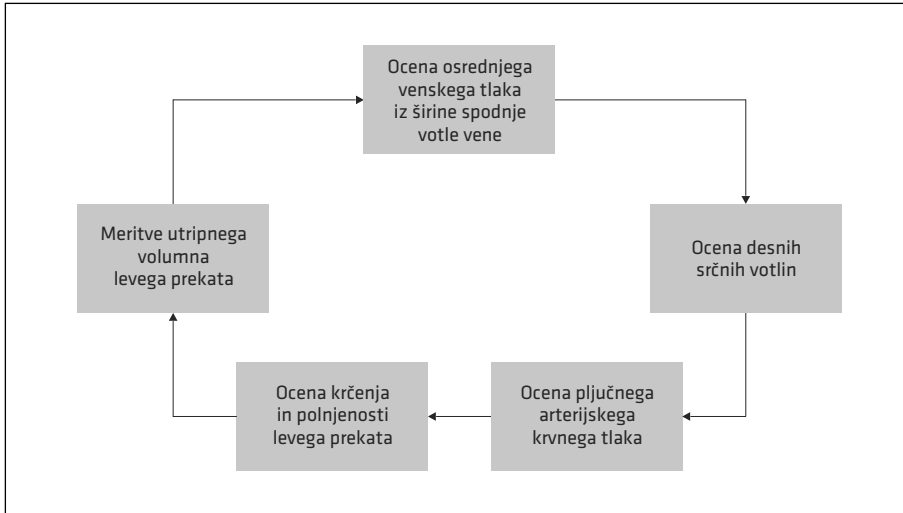
Zlata pravila TNE pri novorojenčku

- Pri prvem pregledu je nujno izključiti prirojeno srčno napako.
 - Pri ugotovljeni prirojeni srčni napaki ali nejasnem izvidu je nujen posvet z otroškimi kardiologom.
 - Terapevtske odločitve naj ne temeljijo le na osnovi najdb TNE, ampak naj se skladajo s kliničnim stanjem in ostalimi kazalniki novorojenčkovega hemodinamskega stanja.
-

Tabela 2. Indikacije za opravljanje tarčnega neonatalnega UZ pri novorojenčku (1, 4). TNE – tarčni neonatalni UZ srca (angl. *targeted neonatal echocardiography*).

Indikacije za opravljanje TNE pri novorojenčku

- ocena hemodinamskega stanja, opredelitev potrebe po tekočinskem zdravljenju ali cirkulatorni podpori in opredelitev učinka zdravljenja,
 - sum na prehodni krvni obtok in pljučno hipertenzijo,
 - centralna cianoza,
 - šum nad srcem,
 - odprt Botallov vod,
 - sum na trombozo,
 - sum na prisotnost tekočine v osrčniku ali v plevralnem prostoru,
 - določitev položaja konice znotrajžilnih katetrov, uvajanje kanil za zdravljenje z izventelesno membransko oksigenacijo,
 - perinatalna asfiksija ali hipoksično-ishemična encefalopatija ali
 - prirojena kila trebušne prepone.
-



Slika 1. Hemodinamski kazalniki, ki jih pridobimo s funkcionalno ehokardiografijo.

S TNE ocenjujemo krčenje levega prekata (njegovo sistolično funkcijo), ocenjujemo njegovo polnjenost s krvjo (diastolično funkcijo), z indeksom delovanja srca in tkivnim doplerskim UZ (angl. *tissue Doppler echocardiography*, TDE) pa njegovo sistolo-diastolično funkcijo. TNE omogoča meritve utripnega volumna levega in desnega prekata ter meritev pretoka v SVC. S TNE tudi ocenjujemo delovanje desnega prekata in pljučni arterijski tlak in s tem pljučno arterijsko hipertenzijo, ki se pri bolnih novorojenčkah pogosto pojavlja (1).

OCENA KRČENJA LEVEGA PREKATA (OCENA SISTOLIČNE FUNKCIJE LEVEGA PREKATA)

Vzrok hemodinamske nestabilnosti pri novorojenčku je lahko disfunkcija levega prekata, zato je ocena sistolične funkcije levega prekata oz. ocena krčenja levega prekata ključna komponenta TNE (1).

Sistolična srčna funkcija levega prekata je odvisna od njegove krčljivosti, predobremenitve (preload) in poobremenitve (afterload) ter srčne frekvence. Iz izkušeni lahko kvalitativno ocenimo krčenje levega prekata z 2D-prikazom štirih votlin v api-

kalni projekciji, iz parasternalne dolge osi, parasternalne kratke osi in subkostalnega okna. Temu rečemo ocena »na oko« (angl. *eyeball*), a je kvalitativna ocena sistolične funkcije levega prekata subjektivna in nagnjena k veliki raznolikosti pri posameznem preiskovalcu, še bolj pa med preiskovalci, zato so priporočene kvantitativne meritve, ki temeljijo na merjenju dimenzij ali velikosti levega prekata (1, 8).

Kvantitativne meritve velikosti srčnih votlin in debeline sten ter s tem meritve krčenja prekatov lahko naredimo na 2D-prikazu ali z M-mode tehniko v dolgi in/ali kratki parasternalni osi v ravnini vrha papilarnih mišic, izražamo jih v Z-vrednostih. Ker se sprednja stena levega prekata pri novorojenčkih med sistolo relativno malo giblje v primerjavi z zadajšjo in stransko steno, avtorji predlagajo merjenje dimenzij levega prekata v kratki osi. Krčenje levega prekata ocenimo z merjenjem premera levega prekata na koncu diastole (angl. *left ventricle end-diastolic diameter*, LVEDD) in na koncu sistole (angl. *left ventricle end-systolic diameter*, LVESD) (slika 2). Ta metoda predpostavlja, da je prekat cilindrične (eliptične) oblike (Simpsonovo pravilo).

Tabela 3. Parametri, ki jih ocenjujemo s tarčnim neonatalnim UZ srca, in priporočila za njihovo kvantifikacijo (1, 8). TNE – tarčni neonatalni UZ srca (angl. *targeted neonatal echocardiography*), LVEDD – premer levega prekata na koncu diastole (angl. *left ventricle end-diastolic diameter*), LVEDS – premer levega prekata na koncu sistole (angl. *left ventricular end-systolic diameter*), IVSd – debelina medprekatnega pretina ob koncu diastole (angl. *interventricular septum thickness at end diastole*), LVPWd – debelina zadnje stene levega prekata ob koncu diastole (angl. *left ventricular posterior wall thickness at end diastole*), mVCFs – srednja hitrost cirkumferentnega skrajšanja vlaken (angl. *mean velocity of circumferential fiber shortening*), EF – iztisni delež (angl. *ejection fraction*), PWD – pulzni doplerski UZ (angl. *pulsed wave Doppler*), MPI – indeks delovanja srčne mišice (angl. *myocardial performance index*), TDE – tkivni doplerski UZ (angl. *tissue Doppler echocardiography*), TAPSE – premik obroča trikuspidalne zaklopke proti konici desnega prekata med sistolo (angl. *tricuspid annular plane systolic excursion*), FAC – delež spremembe površine desnega prekata (angl. *fractional area change*).

Parametri in priporočila za oceno

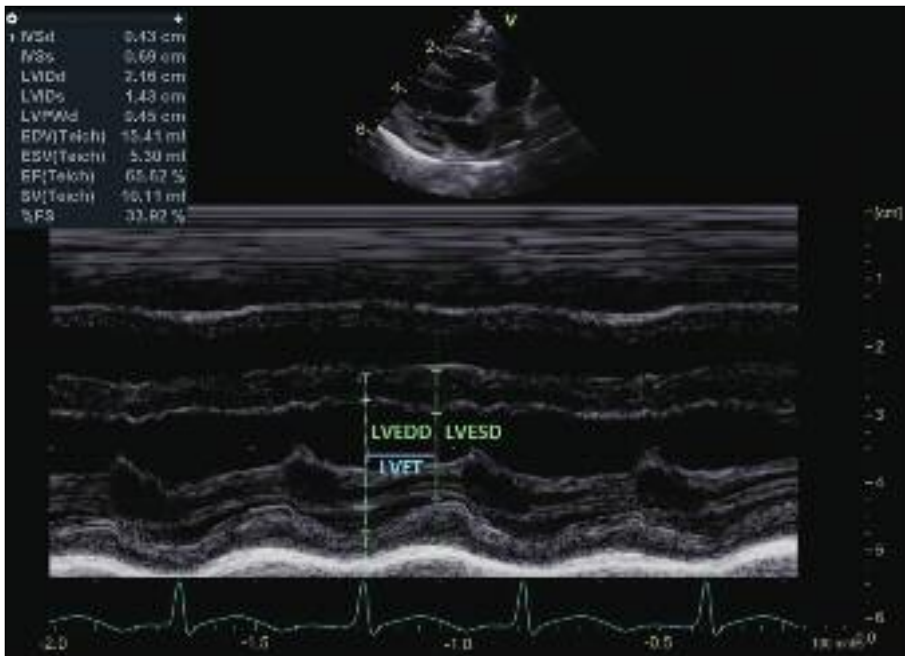
Sistolična funkcija levega prekata:	<ul style="list-style-type: none"> M-mode meritve premera levega prekata (LVEDD in LVEDS) in debeline njegovih sten (IVSd in LVPWd) ob koncu sistole in diastole, frakcijsko skrajšanje levega prekata (FS): določimo z M-mode, če ni regionalnih motenj krčenja, mVCFs, EF levega prekata: izračunamo z uporabo biplane volumetrične Simpsonove metode.
Diastolična funkcija levega prekata (malo podatkov za neonatalno obdobje):	<ul style="list-style-type: none"> velikost levega atrija, analiza polnjenja levega prekata s PWD.
Sistolo-diastolična funkcija levega prekata:	<ul style="list-style-type: none"> MPI, meritve hitrosti gibanja mitralnega obroča s TDE.
Sistolična funkcija desnega prekata:	<ul style="list-style-type: none"> TAPSE, FAC.
Diastolična funkcija desnega prekata (malo podatkov za neonatalno obdobje):	<ul style="list-style-type: none"> analiza polnjenja desnega prekata s PWD.
Sistolo-diastolična funkcija desnega prekata:	<ul style="list-style-type: none"> MPI, meritve hitrosti gibanja trikuspidalnega obroča s TDE.
Srčni iztis in krvni pretok:	<ul style="list-style-type: none"> minutni volumen levega prekata, minutni volumen desnega prekata, pretok skozi zgornjo votlo veno.
Volumski status:	<ul style="list-style-type: none"> premer levega prekata na koncu diastole, velikost desnih srčnih votlin, variacija pretoka skozi iztočni trakt levega prekata med vdihom in izdihom, indeks kolabiranja spodnje votle vene, indeks distenzibilnosti spodnje votle vene (ni natančnih podatkov za neonatalno obdobje).
Sistolični tlak v desnem prekatu in pljučni arterijski krvni tlak:	<ul style="list-style-type: none"> meritev trikuspidalne ali pulmonalne regurgitacije (gradient tlakov med desnim prekatom in desnim preddvorom), prisotnost in smer toka krvi preko Botallovega voda in medpreddvornega pretina, stopnja izravnave oz. vbočenja prekatnega pretina, razmerje velikosti desnega proti levemu prekatu, čas pospešitve toka krvi preko pljučne arterije in iztisni čas desnega prekata.
Botallov vod:	<ul style="list-style-type: none"> prisotnost in premer Botallovega voda, smer toka krvi skozi Botallov vod, največji in povprečni gradient med pljučno arterijo in aorto, hemodinamska pomembnost v primeru levo-desnega pretoka z oceno stopnje volumske obremenitve in meritvami velikosti levega srca.
Spoj na nivoju atrijev:	<ul style="list-style-type: none"> smer toka krvi skozi spoj, največji in povprečni gradient toka krvi skozi spoj.
Perikardialna tekočina:	<ul style="list-style-type: none"> debelina perikardialne tekočine ob koncu diastole, UZ-znaki tamponade srca: kolaps proste stene desnega preddvora ali desnega prekata v diastoli, spreminjanje vzorca doplerskih pretokov na srčnih zaklopkah z dihanjem, širina in indeks kolabiranja spodnje votle vene.

V primerih, ko ima levi prekat spremenjeno obliko (npr. enojen prekat, desni prekat, globularni levi prekat), omenjena metoda ni uporabna. Dodatno omejitve predstavljajo umetno predihavani in tahikardni novorojenčki.

Dilatacija levega prekata lahko predstavlja volumsko obremenitev (prirojene srčne napake s spoji, pomembne regurgitacije zaklopk) ali pa je znak disfunkcije levega prekata v primeru dilatativne kardiomiopatije. Zadebelitev sten levega prekata lahko nastopi v primeru tlačne obremenitve (npr. zaradi obstruktivne srčne

napake), po gestacijskem diabetesu ali pa predstavlja hipertrofično kardiomiopatijo (1).

UZ-kazalniki, ki omogočajo kvantitativno oceno delovanja levega prekata, so: frakcijsko skrajšanje levega prekata (angl. *fractional shortening*, FS), srednja hitrost cirkumferentnega skrajšanja vlaken (angl. *mean velocity of circumferential fibre shortening*, mVCFs), iztisni delež levega prekata (angl. *ejection fraction*, EF), analiza poljnjenja levega prekata (merjenje vala E in A na mitralni zaklopki s pulznim doplerskim UZ (angl. *pulsed wave Doppler*, PWD)), indeksi delovanja srčne mišice ter TDE. Na FS in



Slika 2. Kvantitativne meritve premera levega prekata z M-mode tehniko v dolgi parasternalni osi v ravnini vrha papilarnih mišic. IVSd – debelina medprekatnega pretina ob koncu diastole (angl. *interventricular septum thickness at end diastole*), IVSs – debelina medprekatnega pretina ob koncu sistole (angl. *interventricular septum thickness at end systole*), LVIDd – notranji premer levega prekata ob koncu diastole (angl. *left ventricular internal diameter at end diastole*), LVIDs – notranji premer levega prekata ob koncu sistole (angl. *left ventricular internal diameter at end systole*), LVPWd – debelina zadnje stene levega prekata ob koncu diastole (angl. *left ventricular posterior wall thickness at end diastole*), EDV – končni diastolni volumen (angl. *end-diastolic volume*), ESV – končni sistolni volumen (angl. *end-systolic volume*), EF – iztisni delež (angl. *ejection fraction*), SV – utripni volumen (angl. *stroke volume*), FS – frakcijsko skrajšanje levega prekata (angl. *fractional shortening*), LVEDD – premer levega prekata na koncu diastole (angl. *left ventricle end-diastolic diameter*), LVESD – premer levega prekata na koncu sistole (angl. *left ventricle end-systolic diameter*), LVET – iztisni čas levega prekata (angl. *left ventricular ejection time*).

EF vplivajo pred- in poobremenitev, geometrija prekatov in deviacija medprekatnega pretina (1, 2, 9).

V odrasli kardiologiji se uporabljajo tudi novejšje tehnike, kot so metoda sledenja UZ-vzorca (angl. *speckle tracking imaging*), meritev hitrosti deformacije (angl. *strain rate*) in 3D-snemanje, v neonatologiji pa omenjene metode še niso v vsakdanji klinični uporabi (1, 2, 8).

Frakcijsko skrajšanje levega prekata

FS je najpogosteje uporabljan kazalnik krčljivosti srčne mišice (tabela 4). Njegova slabost je, da je precej odvisen od pred- in poobremenitve ter od oblike levega prekata. Izmerimo ga lahko, če ni področnih motenj krčenja in če je gibanje medprekatnega pretina normalno, sicer moramo izračunati EF levega prekata s Simpsonovo metodo (1).

Srednja hitrost cirkumferentnega skrajšanja vlaken

mVCFs je v primerjavi s FS manj odvisna od predobremenitve in nepravilne oblike prekata ter nenormalnega gibanja medprekatnega pretina (npr. pri pljučni hipertenziji), še vedno pa je odvisna od poobremenitve (tabela 5) (1, 2).

Klinična uporabnost tega kazalnika v neonatologiji še ni dobro raziskana, obstajajo pa dokazi, da mVCF korelira z vrednostmi troponina v zgodnjem neonatalnem obdobju (10).

Iztisni delež levega prekata

EF pri novorojenčku merimo s Simpsonovo ali modificirano Simpsonovo metodo v projekciji štirih ali dveh votlin, tako da označimo endomiokardno linijo na koncu sistole in na koncu diastole, kar omogoča boljšo oceno funkcije srca predvsem v primeru nepravilnosti krčenja sten levega prekata

Tabela 4. Frakcijsko skrajšanje levega prekata (2, 8). FS – frakcijsko skrajšanje (angl. *fractional shortening*), LVEDD – premer levega prekata na koncu diastole (angl. *left ventricle end-diastolic diameter*), LVESD – premer levega prekata na koncu sistole (angl. *left ventricular end-systolic diameter*).

UZ-projekcija	dolga in/ali kratka parasternalna os v ravnini vrha papilarnih mišic
Metoda merjenja kazalnika	M-mode, žarek pravokoten na pretin v dolgi parasternalni osi in/ali preko sredine levega prekata v kratki osi
Izračun kazalnika	$FS = [(LVEDD - LVESD)/LVEDD] \times 100$
Normalna vrednost pri donošenem novorojenčku	donošeni: 26-46 % nedonošeni: 23-40 %

Tabela 5. Srednja hitrost cirkumferentnega skrajšanja vlaken (1, 2). mVCFs – srednja hitrost cirkumferentnega skrajšanja vlaken (angl. *mean velocity of circumferential fibre shortening*), LVEDD – premer levega prekata na koncu diastole (angl. *left ventricle end-diastolic diameter*), LVESD – premer levega prekata na koncu sistole (angl. *left ventricular end-systolic diameter*), LVET – iztisni čas levega prekata (angl. *left ventricular ejection time*).

UZ-projekcija	dolga in/ali kratka parasternalna os v ravnini vrha papilarnih mišic
Metoda merjenja kazalnika	M-mode, žarek pravokoten na septum v dolgi parasternalni osi in/ali preko sredine levega prekata v kratki osi
Izračun kazalnika	$mVCFs = \text{povprečni } [(LVEDD - LVESD)/LVEDD] \times LVET$
Normalna vrednost pri donošenem novorojenčku	1,46-1,54 circum/s

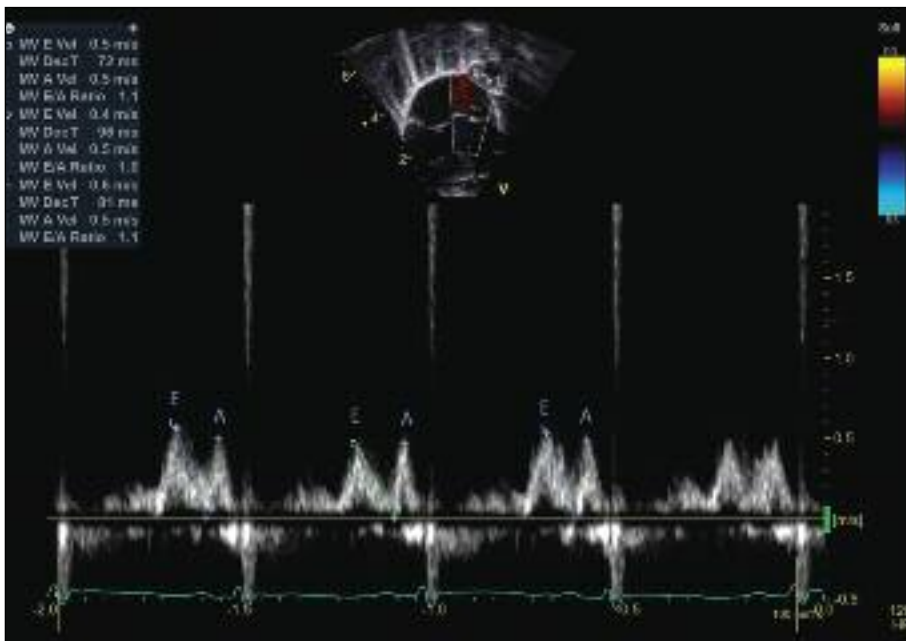
Tabela 6. Iztisni delež levega prekata (1, 3, 8). EF – iztisni delež levega prekata (angl. *ejection fraction*). LVEDV – končni diastolični volumen levega prekata (angl. *left ventricular end-diastolic volume*), LVESV – končni sistolični volumen levega prekata (angl. *left ventricular end-systolic volume*).

UZ-projekcija	apikalna projekcija štirih votlin in apikalna projekcija dveh votlin
Metoda merjenja kazalnika	2D-ocena volumnov: obris endokardija votline levega prekata ob koncu sistole in diastole in avtomatski izračun volumnov (dvoravninska metoda diskov po Simpsonu)
Izračun kazalnika	$EF = [(LVEDV - LVESV)/LVEDV] \times 100$
Normalna vrednost pri donošenem novorojenčku	> 55 % blago zmanjšana EF: 41-55 % zmerno zmanjšana EF: 31-40 % pomembno zmanjšana EF: < 30 %

ali medprekatnega pretina (pri sploščenem ali paradoksnem gibanju medprekatnega pretina zlasti pri pljučni hipertenziji). Tako kot pri FS je tudi pri merjenju EF treba upoštevati pred- in poobremenitev levega prekata, kar je še posebej pomembno, ko primerjamo meritve pred zapiranjem PDA in tik po njem (1).

OCENA POLNJENOSTI LEVEGA PREKATA (OCENA DIASTOLIČNE FUNKCIJE LEVEGA PREKATA) Analiza polnjenja levega prekata

Analizo polnjenja levega prekata naredimo s pomočjo PWD preko mitralne zaklopke, ki ima dve fazi: pretok v zgodnji diastoli, ki predstavlja pasivno polnjenje prekatov in



Slika 3. Analiza polnjenja levega prekata s pulznim doplerskim UZ preko mitralne zaklopke. MV – mitralna zaklopka (angl. *mitral valve*) E – hitrost polnjenja levega prekata v zgodnji diastoli – pasivno polnjenje, A – hitrost polnjenja levega prekata v pozni diastoli – med skrčenjem preddvorov, HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).

Tabela 7. Analiza polnjenja levega prekata s pulznim doplerskim UZ (9). Pulzni doplerski UZ (angl. *pulsed wave Doppler*, PWD).

UZ-projekcija	projekcija štirih votlin, merjeno s PWD na vrhu mitralne zaklopke
Metoda merjenja kazalnika	najpogosteje merjen kazalnik je razmerje maksimalnih hitrosti valov E in A (razmerje E : A)
Normalne vrednosti pri donošenem novorojenčku	donošeni 1,1 : 1; patološke vrednosti < 0,7 : 1 nedonošeni 1,0 : 1; patološke vrednosti < 0,6 : 1

ga označuje E-val, in pozno polnjenje prekata med krčenjem preddvorov, ki ga označuje A-val. Ocenjujemo največjo hitrost valov, površino pod krivuljo, razmerja hitrosti in površine ter različne časovne intervale (tabela 7) (slika 3). Pri bolnikih z diastolično disfunkcijo in pri nezreli srčni mišici pri plodu in nedonošenčku večina polnjenja prekatov poteka v pozni fazi (med skrčenjem preddvorov), ker toga prekatna stena preprečuje zgodnji pasivni pretok krvi skozi mitralno zaklopko. Pri novorojenčkih je takoj po rojstvu v doplerskem vzorcu preko mitralne zaklopke zato dominanten val A, s starostjo pa se v prvih dnevih in tednih povečuje razmerje hitrosti zgodnje in kasne diastolične polnitve levega prekata na mitralni zaklopki (večanje razmerja valov E : A). Pri novorojenčkih je E-val odvisen od predobremenitve. Pri srčnih napakah z levo-desnimi spoji je prtok v levi preddvor povečan in posledično izmerimo višje hitrosti E-vala preko mitralne zaklopke. Tovrstna analiza je manj uporabna pri tahikardiji, ko prihaja do spajanja valov (1, 2).

OCENA SISTOLO-DIASTOLIČNE FUNKCIJE LEVEGA PREKATA Indeks delovanja srčne mišice

Indeks delovanja srčne mišice (angl. *myocardial performance index*, MPI) ali indeks Tei je kazalnik globalnega delovanja levega prekata, ki ga dobimo z merjenjem časovnih intervalov med začetkom in koncem pretoka krvi skozi mitralno zaklopko in časom iztisa skozi levi iztočni trakt. Pri sistolo-diastolični disfunkciji se podaljšujeta čas izovolumetričnega krčenja (angl. *isovolumetric contraction time*, IVCT) in čas izovolumetrične relaksacije (angl. *isovolumetric relaxation time*, IVRT), skrajšuje se iztisljni čas (angl. *ejection time*, ET) in povečuje MPI. Zaradi nepravilne oblike levega prekata od naštetih kazalnikov delovanje levega prekata s TNE najbolje izmerimo z MPI (tabela 8). Slabosti MPI so, da z njim ne moremo razlikovati med sistolično in diastolično disfunkcijo in da nanj vplivajo spremembe v pred- in poobremenitvi, zaradi česar metoda ni zanesljiva pri hemodinamsko nestabilnemu šokiranemu bolniku (1, 2).

Tabela 8. Indeks delovanja srčne mišice (1, 2, 9). PWD – pulzni doplerski UZ (angl. *pulse wave Doppler*), CWD – zvezni doplerski UZ (angl. *continuous wave Doppler*), MPI – indeks delovanja srčne mišice (angl. *myocardial performance index*), IVCT – čas izovolumetričnega krčenja (angl. *isovolumetric contraction time*), IVRT – čas izovolumetrične relaksacije (angl. *isovolumetric relaxation time*), ET – iztisljni čas (angl. *ejection time*).

UZ-projekcija	modificirana projekcija štirih votlin, sonda je nagnjena k iztočnemu traktu levega prekata
Metoda merjenja kazalnika	PWD ali CWD s posnetkom polnjenja in praznjenja prekata
Izračun kazalnika	$MPI = (IVCT + IVRT)/ET$
Normalne vrednosti pri donošenem novorojenčku	0,25–0,38

Tkivni doplerski UZ srca

TDE omogoča merjenje gibanja srčne mišice in s tem oceno sistolične in diastolične funkcije srčne mišice. Med srčnim ciklom se mitralni oz. trikuspidalni obroč atrioventrikularnih (AV) zaklopk kot posledica krčenja levega in desnega prekata v sistoli premakne proti srčni konici, v diastoli (med sprostitvijo srčne mišice) pa stran od srčne konice. To longitudinalno deformacijo pri gibanju miokarda in s tem globalno ter področno krčenje najbolje ocenimo z merjenjem longitudinalnih hitrosti tkiva na AV-zaklopki in medprekatnem pretinu z uporabo pulznega TDE v projekciji štirih votlin. Analizo sistolo-diaastolične funkcije levega prekata izvedemo, tako da na prikazu štirih votlin postavimo kazalnik na stik med prekatoma in preddvoroma na medprekatnem pretinu (septalni rob mitralnega obroča) in na prosti steni levega prekata (lateralni rob mitralnega obroča). Posnetek vsebuje tri valove: zgodnji diastolični val (e'-val), pozni diastolični val (a'-val) in sistolični val (s'-val) (tabela 9) (slika 4). Hitrost vala s' je povezana s sistolično funkcijo levega prekata, hitrosti vala e' in a' pa sta odvisni od sprostitve levega prekata in tako kažeta na diastolično funkcijo (11). Prednost te metode je neodvisnost od geometrije prekata, polnjenja in poobremenitve srca, odvisna pa je od kota merjenja: pomembno je,

da je UZ-žarek čim bolj vzporeden srčni mišici. S TDE lahko izmerimo tudi časovne intervale IVCT, IVRT in ET (slika 5) in izračunamo MPI, podobno kot s PWD ali zveznim doplerskim UZ (angl. *continuous wave Doppler*, CWD) (slika 5) (8, 9, 12).

Treba je poudariti, da TDE rutinsko ne sodi v področje TNE, saj za zdaj meritve pri novorojenčkih niso dobro raziskane in standardizirane. Vrednosti s- in e-valov so odvisne od gestacijske starosti in s starostjo novorojenčka naraščajo (9, 12).

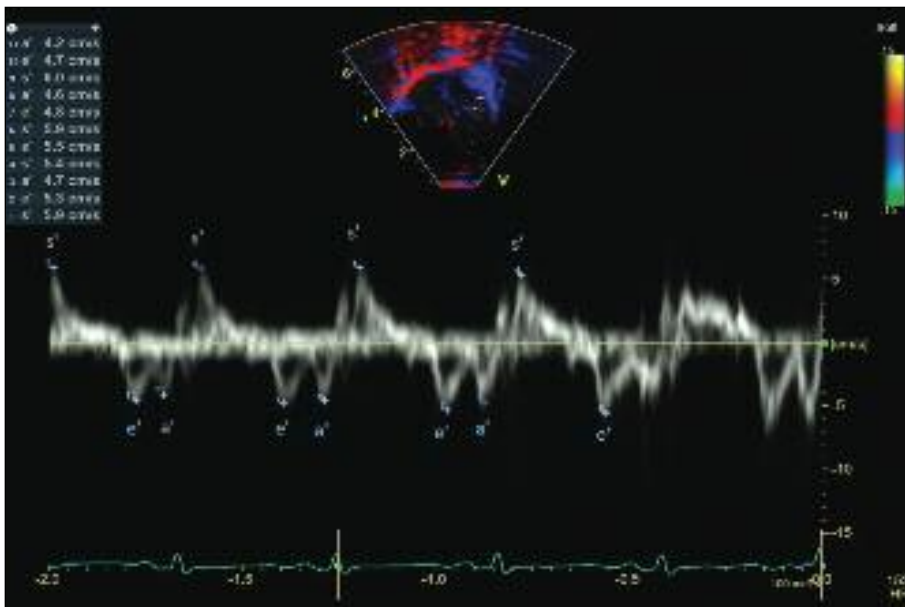
Podobno kot ocenimo sistolo-diaastolično funkcijo levega prekata, je mogoča tudi ocena funkcije desnega prekata (z merjenjem časovnih intervalov med začetkom in koncem pretoka krvi skozi trikuspidalno zaklopko in časa iztisa skozi desni iztočni trakt izračunamo indeks delovanja miokarda, s TDE pa izmerimo hitrosti trikuspidalnega obroča na njegovem lateralnem robu) (13).

OCENA SRČNEGA IZTISA IN KRVNEGA PRETOKA

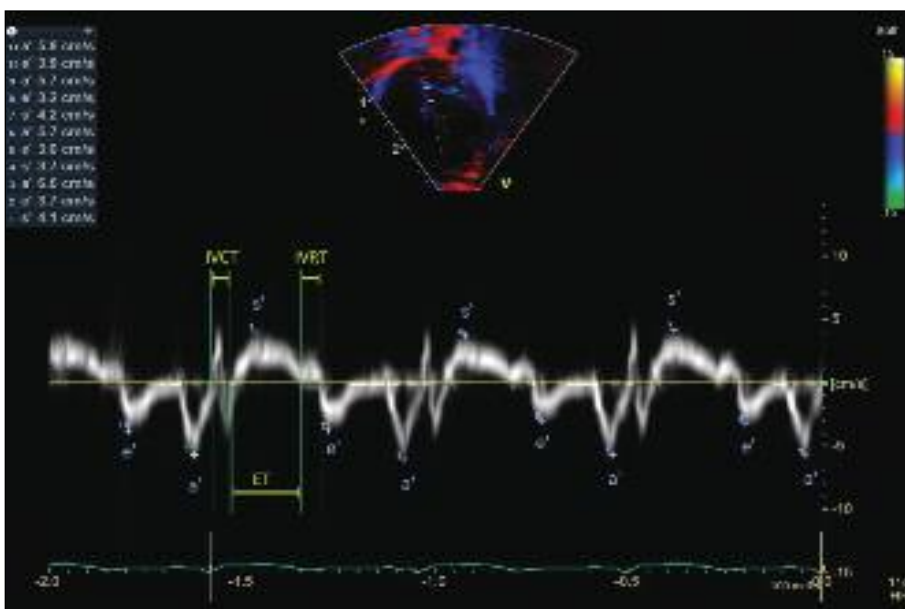
UZ-oceno količine krvnega pretoka preko določene žile ali iztočnega trakta prekatov naredimo z zmnožkom preseka žile ali iztočnega trakta in integrala hitrosti po času (angl. *velocity time integral*, VTI) krvnega pretoka preko določene točke. Površino preseka (angl. *cross sectional area*, CSA) izračunamo

Tabela 9. Meritev hitrosti mitralnega obroča s tkivnim doplerskim UZ (angl. *tissue Doppler echocardiography*, TDE). S – septalni rob mitralnega obroča, L – lateralni rob mitralnega obroča, s' – hitrost sistoličnega vala, e' – hitrost zgodnjega diastoličnega vala, a' – hitrost poznega diastoličnega vala (9, 12).

UZ-projekcija	apikalna projekcija štirih votlin, vzorčna okna na bazi medprekatnega pretina in stene levega prekata na septalnem (S) in lateralnem (L) robu mitralnega obroča
Metoda merjenja kazalnikov	maksimalne hitrosti vrhov s', e', a'
Normalne vrednosti pri donošenem novorojenčku	Ss' 6,9 (5,6–8,6) Se' 7,0 (5,5–11,3) Sa' 8,6 (6,4–11,4) Ls' 7,3 (5,8–9,2) Le' 8,4 (5,6–11,7) La' 8,7 (6,5–11,7)



Slika 4. Meritev hitrosti na lateralnem robu mitralnega obroča s tkivnim doplerskim UZ srca (angl. *tissue Doppler echocardiography*, TDE). s' – hitrost sistoličnega vala, e' – hitrost zgodnjega diastoličnega vala, a' – hitrost poznega diastoličnega vala, HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).



Slika 5. Meritev hitrosti in časovnih intervalov na septalnem robu mitralnega obroča s tkivnim doplerskim UZ srca (angl. *tissue Doppler echocardiography*, TDE). s' – hitrost sistoličnega vala, e' – hitrost zgodnjega diastoličnega vala, a' – hitrost poznega diastoličnega vala, IVCT – čas izovolumetričnega krčenja (angl. *isovolumetric contraction time*), IVRT – čas izovolumetrične relaksacije (angl. *isovolumetric relaxation time*), ET – iztisni čas (angl. *ejection time*), HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).

iz premera na določenem mestu v določeni osi. Krvni pretok je: $CSA \times VTI \times$ srčna frekvenca; delimo ga s telesno težo. Na ta način ocenjujemo iztok iz levega in desnega prekata in pretok krvi v SVC. Minutni volumen levega in desnega prekata sta pomembna pokazatelja sistemskega pretoka, ki se po rojstvu povečujeta, njune vrednosti pa so pomembno odvisne od spojev med sistemskim in pljučnim obtokom: utripni volumen levega prekata se povečuje z naraščanjem pretoka skozi PDA, utripni volumen desnega prekata pa z naraščanjem

pretoka preko odprtega ovalnega okna (angl. *patent foramen ovale*, PFO) (8).

Meritve minutnega volumna levega prekata

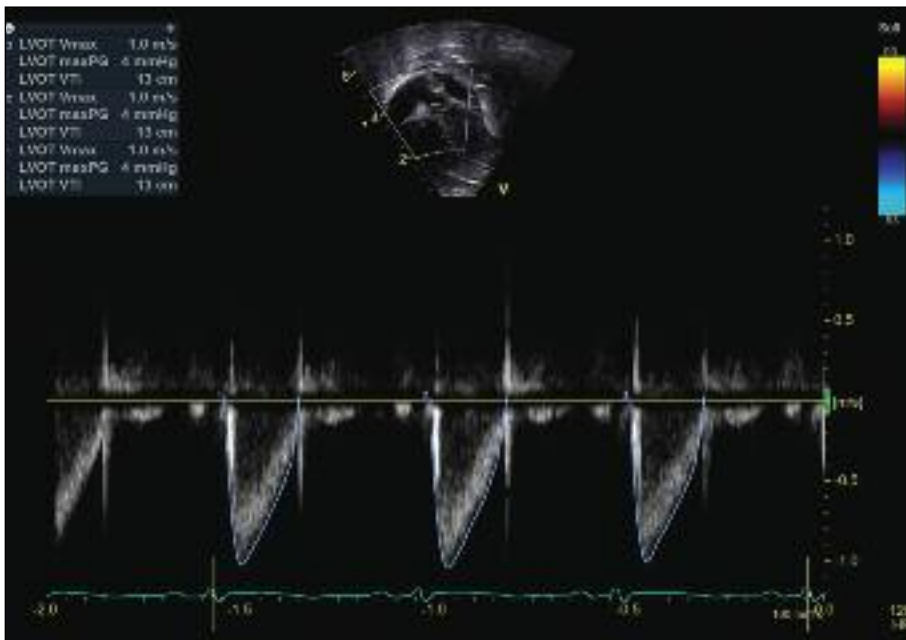
V odsotnosti zunaj- in znotrajsrčnih spojev je sistemski krvni pretok enak iztoku iz levega prekata. Takšna UZ-ocena minutnega volumna levega prekata (angl. *left ventricular output*, LVO) je v dobrem soodnosu z ostalimi tehnikami, kot sta merjenje tlakov s srčnim katetrom in Fickova dilucijska metoda (tabela 10) (8).

Tabela 10. Minutni volumen levega prekata (1, 2, 8, 9). d – premer aorte, VTI – integral hitrosti po času (angl. *velocity time integral*), pulzni doplerski UZ (angl. *pulsed wave Doppler*, PWD), LVO – minutni volumen levega prekata (angl. *left ventricular output*), HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).

UZ-projekcija	Premer aorte (d) merimo na mestu obroča na koncu sistole v dolgi parasternalni osi (slika 6). Pretok (VTI) merimo proksimalno od aortne zaklopke v projekciji štirih votlin, usmerjeni v smeri aorte (slika 7), v projekciji petih votlin, v dolgi osi, premaknjeni na vrh, ali pa v suprasternalni projekciji. Vedno je treba prikazati ascendentno aorto, najbolje vzporedno s sondo.
Metoda merjenja	PWD v času polnjenja in praznjenja prekata
Izračun kazalnika	$LVO = [\pi \times (d^2/4) \times VTI \times HR] / \text{masa}$
Normalna vrednost pri donošenem novorojenčku	150–300 ml/kg/min



Slika 6. Meritev premera aorte v dolgi parasternalni osi. LVOT Diam – premer iztočnega trakta levega prekata (angl. *left ventricle outflow tract diameter*).



Slika 7. Meritev pretoka skozi aorto v projekciji štirih votlin. LVOT – iztočni trakt levega prekata (angl. *left ventricle outflow tract*), Vmax – največja hitrost (angl. *maximum velocity*), maxPG – največji gradient tlaka (angl. *maximum pressure gradient*), VTI – integral hitrosti po času (angl. *velocity time integral*).

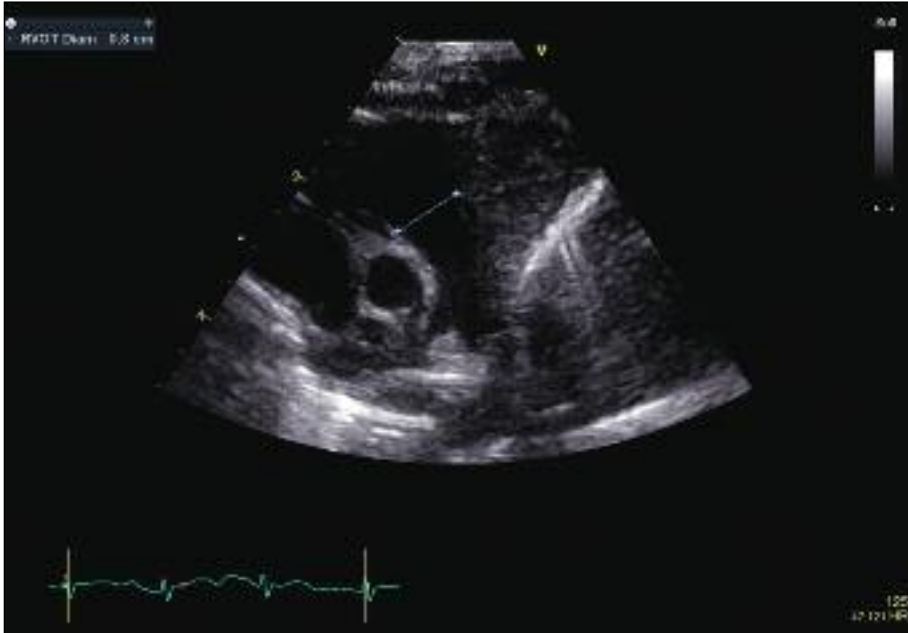
Meritve minutnega volumna desnega prekata

Minutni volumen desnega prekata (angl. *right ventricular output*, RVO) izračunamo na podoben način kot LVO in je v odsotnosti znotraj- in zunajsrčnih spojev enak sistemskemu venskemu prilivu v srce (tabela 11). CSA izračunamo z merjenjem premera plju-

čne arterije v nizki parasternalni dolgi osi (slika 8), VTI pa izmerimo tik pod pulmonalno zaklopko v isti projekciji (slika 9). Če sta prisotna PDA in PFO, RVO bolje predstavlja sistemski krvni pretok kot LVO, ker je pretok skozi interatrijski spoj tipično mnogo manjši kot pretok skozi PDA (2).

Tabela 11. Minutni volumen desnega prekata (1, 2, 8, 9). PWD – pulzni doplerski UZ (angl. *pulsed wave Doppler*), RVO – minutni volumen desnega prekata (angl. *right ventricular output*), d – notranji premer pljučne arterije, VTI – integral hitrosti po času (angl. *velocity time integral*), HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).

UZ-projekcija	nizka parasternalna kratka os
Metoda merjenja	notranji premer pljučne arterije na nivoju obroča na koncu sistole (slika 8), pretok: proksimalno od pulmonalne zaklopke s PWD (slika 9)
Izračun kazalnika	$RVO = [\pi \times (d^2/4) \times VTI \times HR]/masa$
Normalna vrednost pri donošenem novorojenčku	150-300 ml/kg/min



Slika 8. Meritev premera pljučne arterije na nivoju obroča pulmonalne zaklopke. RVOT Diam – premer iztočnega trakta desnega prekata (angl. *right ventricle outflow tract diameter*).



Slika 9. Meritev pretoka skozi pljučno arterijo proksimalno od pulmonalne zaklopke. RVOT – iztočni trakt desnega prekata (angl. *right ventricle outflow tract*), Vmax – največja hitrost (angl. *maximum velocity*), VTI – integral hitrosti po času (angl. *velocity time integral*), HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).

Omejitve merjenja minutnega volumna levega in desnega prekata

LVO in RVO se spreminita v prisotnosti zunaj- ali znotrajsrčnih spojev, kot sta PDA ali interatrijski spoj (npr. PFO, defekt preddvornega pretina (angl. *atrial septal defect*, ASD)). V prisotnosti PDA izmerjeni LVO odseva vsoto sistemskega pretoka in pretoka preko PDA, zato je za merjenje minutnega volumna levega prekata bolje uporabljati doplerske metode merjenja pretoka preko SVC. Podobno v prisotnosti PFO ali ASD RVO odseva vsoto sistemskega in pretoka preko interatrijskega spoja. Tako v prisotnosti znotrajsrčnih spojev, kot sta defekt prekatnega pretina (angl. *ventricular septal defect*, VSD) ali ASD, izmerjeni LVO ali RVO precenimo (8).

Merjenje CSA ni točno, saj se izmerjeni premer kvadrira in se napaka pomnoži. Merjenje VTI zahteva natančnost, saj mora biti kot med doplerskim signalom in krvnim tokom minimalen. Če je kot merjenja večji kot 5 do 10°, srčni iztis podcenimo. Izračun VTI je običajno ročen, saj spektralno PWD-krivuljo nekaj zaporednih srčnih iztisov ročno obrišemo (8).

Tako pri enem kot tudi pri več preiskovalcih je prisotna velika raznolikost UZ-ocene krvnega pretoka (8).

Uporaba meritev minutnega volumna levega in desnega prekata v klinični praksi

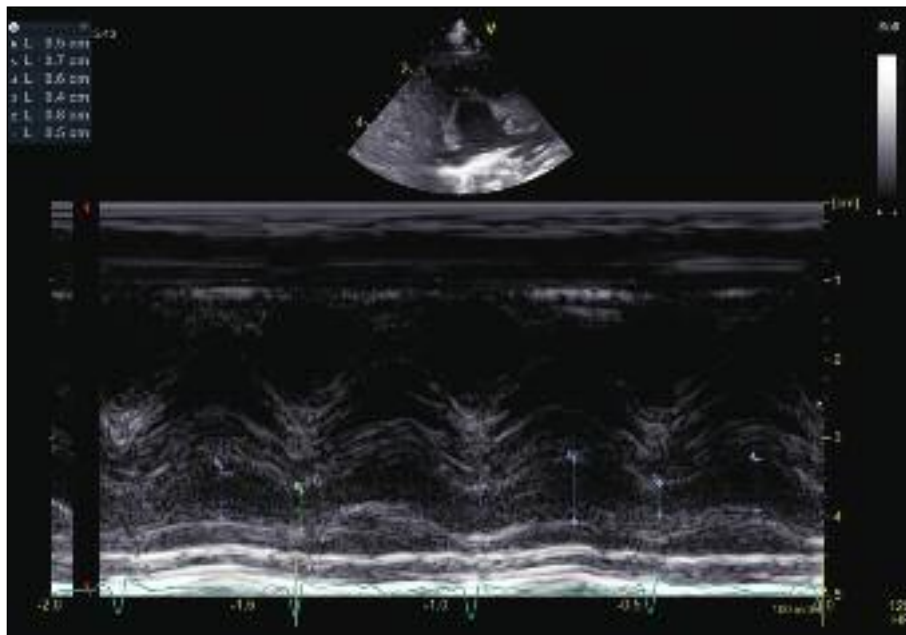
Kljub omenjenim omejitvam je ocena LVO in RVO v rokah izkušenih preiskovalcev pri novorojenčkih brez znotraj- in zunajsrčnega spoja zanesljiva. Uporaben je tudi trend absolutnih vrednosti (serijsko ocenjevanje VTI namreč pomaga pri vodenju bolnikovega stanja in pokaže učinek ukrepov zdravljenja) (8).

Pretok skozi zgornjo votlo veno

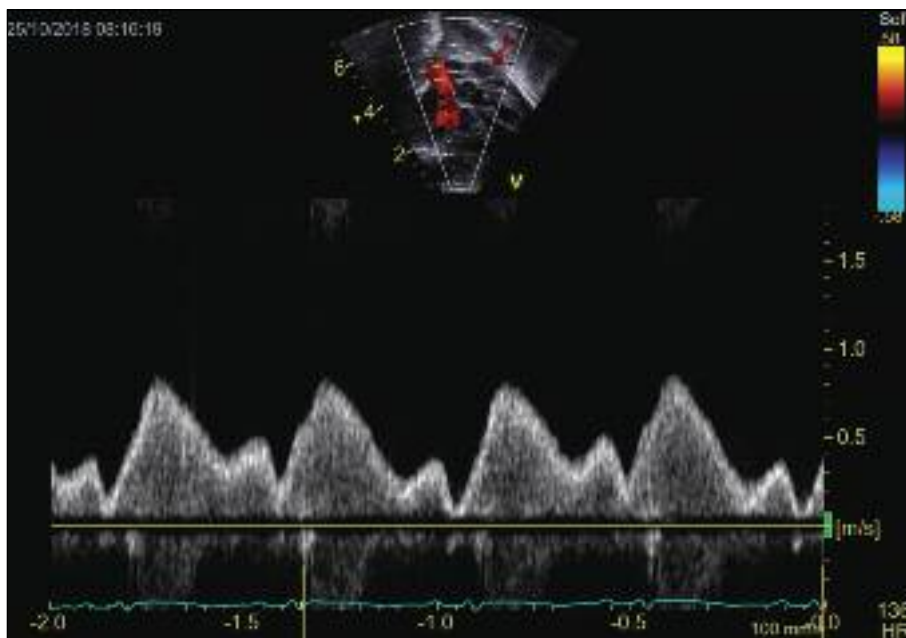
Pri merjenju pretoka skozi SVC uporabljamo enak pristop kot pri merjenju RVO in LVO (tabela 12). SVC je tako kot RVO in LVO kazalnik sistemskega pretoka krvi, saj odseva venski priliv iz zgornjega dela telesa, nanj pa ne vplivajo znotraj- in zunajsrčni spoji, npr. PDA. Večina krvi v SVC (70–80%) predstavlja kri, ki se vrača iz možganov. Pretok skozi SVC je tako nadomestna meritev pretoka krvi skozi možgane in je povezana s kratko- in dolgoročnimi nevrološko-razvojnimi izidi pri novorojenčkih (14). SVC je venska struktura, ki ima obliko črke D in je kolapsibilna, njen premer pa se med srčnim ciklom močno spreminja. Tako je merjenje pretoka krvi skozi SVC nagnjeno k veliki napaki pri meritvi. Priporočajo, da

Tabela 12. Pretok skozi zgornjo votlo veno (1, 2, 8, 9). SVC – zgornja votla vena (angl. *superior vena cava*), d – premer zgornje votle vene, VTI – integral hitrosti po času (angl. *velocity time integral*), HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).

UZ-projekcija	Premer: modificirana parasternalna dolga os, vzdolžni premer SVC pri vstopu v desni preddvor na nivoju desne pljučne arterije (slika 10). Pretok: subkostalna projekcija z naklonom sonde v smeri popka ali desno suprasternalno okno (slika 11).
Metoda merjenja kazalnika	Premer: povprečna vrednost maksimalnega in minimalnega premera SVC proksimalno pred koničnim razširjenjem žile pred vstopom v desni preddvor z M-mode (slika 10) ali z 2D-prikazom. Pretok: merjen s pulznim doplerskim UZ (slika 11). Oblika krivulje je po navadi sestavljena iz dveh ali treh pozitivnih valov in enega negativnega. Negativni val lahko manjka.
Izračun kazalnika	$SVC \text{ pretok} = [\pi \times (d^2/4) \times VTI \times HR] / \text{masa}$
Normalna vrednost pri donošenem novorojenčku	40–120 ml/kg/min



Slika 10. Meritev premera zgornje votle vene. L – premer zgornje votle vene, HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).



Slika 11. Meritev pretoka skozi zgornjo votlo veno. HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*)

premer SVC povprečimo preko 5–10 srčnih ciklov in jo najbolje izmerimo z M-mode tehniko (slika 10). Podobno tudi VTI povprečimo preko 5–10 srčnih ciklov (1, 2, 8).

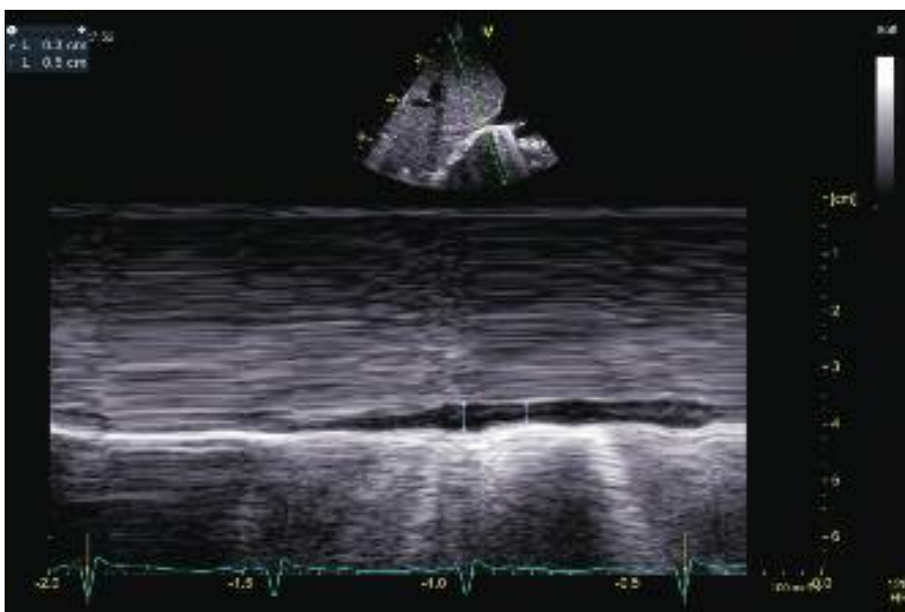
OCENA POLNJENOSTI SISTEMSKEGA KRVNEGA PRETOKA

Pri oceni polnjenosti sistemskega krvnega pretoka pregledamo LVEDD, spodnjo votlo veno in desno srce. Kadar je levi prekat zmanjšan na koncu diastole (angl. *kissing ventricles*), to pomeni hipovolemijo. Velikosti desnega prekata so normalno manjše kot velikosti levega prekata, zato dilatacija desnega prekata pomeni volumsko preobremenitev desne strani srca ali pljučno hipertenzijo, ki je v prvih urah po rojstvu pri novorojenčkih normalna. Povečan desni preddvor z bočenjem medpreddvornega pretina proti levemu preddvoru pomeni povišan tlak v desnem preddvoru. Tako kolapsirajoča, majhna votlina levega prekata, velikost desnega prekata in normalen

ali majhen desni preddvor pomenijo hipovolemijo pri spontano dihalo novorojenčkih. Omenjena triada pa ni uporabna pri novorojenčkih, ki so umetno predihavani ali imajo napet trebuh (1, 8).

Za oceno odgovora na tekočino pri novorojenčkih lahko uporabljamo tri meritve (8):

- Variacijo VTI iztočnega trakta levega prekata, ki ga merimo proksimalno od aortne zaklopke med vdihom in izdihom. Variacija za več kot 15 % pomeni, da novorojenček potrebuje več znotrajžilne tekočine.
- Indeks kolabiranja spodnje votle vene, ki ga izmerimo iz največjega in najmanjšega premera spodnje votle vene, ki si jo prikazemo subkostalno (slika 12). Indeks kolapsibilnosti več kot 55 % pomeni, da bo otrok odgovoril na tekočinsko zdravljenje.
- Indeks distenzibilnosti spodnje votle vene zopet izmerimo iz istih premerov. Indeks, ki presega 18 %, pomeni, da novorojenček potrebuje dodatek tekočine.



Slika 12. Meritev največjega in najmanjšega premera spodnje votle vene v subkostalnem pogledu. L – premer zgornje votle vene, HR – frekvenca srčnega utripa (angl. *heart rate*).

Metode so bile sprva uporabljene in ovrednotene pri spontano dihajočih odraslih, zato je pri uporabi v neonatologiji potrebna previdnost (8).

OCENA DELOVANJA DESNEGA PREKATA

Zaradi soodvisnosti delovanja prekatov okvarjeno delovanje desnega prekata vodi v okvarjeno delovanje levega prekata in obratno. Oblika desnega prekata je drugačna od oblike levega prekata, kar otežuje oceno delovanja desnega prekata v M-mode načinu, poleg tega pa pri gibanju stene prekatnega pretina prevladuje levi prekat, zato je računanje FS in EF manj smiselno. V projekciji štirih votlin lahko kvalitativno ocenimo delovanje desnega prekata z vizualno inspekcijo (glede na njegovo velikost, debelino sten in krčenje ter glede na velikost desnega preddvora in prisotnost trikuspidalne regurgitacije). Z dodatno oceno gibanja medprekatnega pretina pa je treba pregledati prekat tudi iz drugih presekov (dolgega in kratkega parasternalnega ter subkostalnega). Merjenje velikosti desnega prekata zaradi kompleksne geometrije in zaradi trabekulacij v votlini desnega prekata ni priporočeno, zaradi česar merjenja FS in EF desnega prekata ne izvajamo. Tradicionalno smo sistolično funkcijo desnega prekata ocenjevali le kvalitativno z inspekcijo, nove tehnike (TDE in longitudinalno

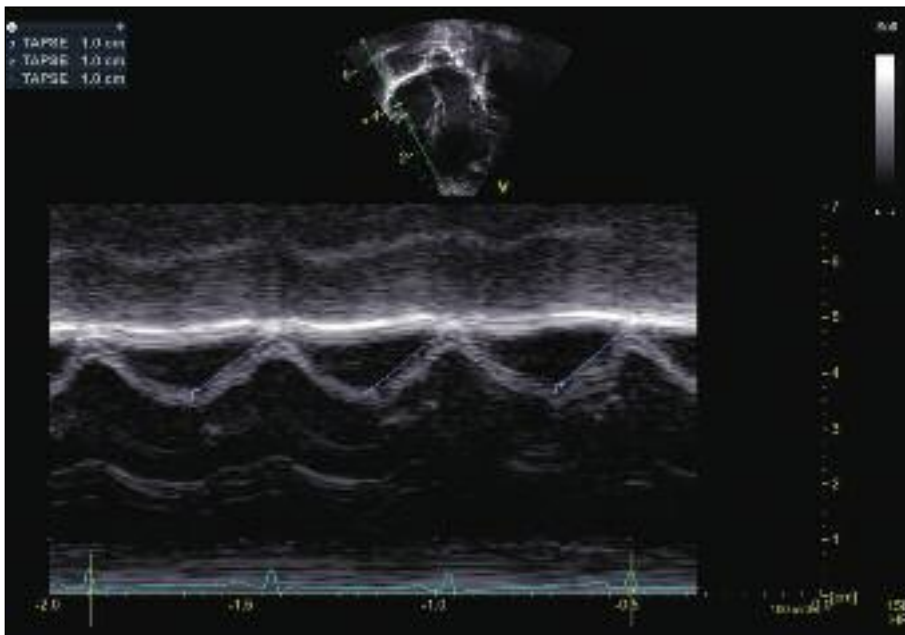
gibanje trikuspidalnega obroča) pa omogočajo zanesljivejšo oceno delovanja desnega prekata. Kvantitativno tako lahko ocenimo funkcijo desnega prekata z merjenjem premika obroča trikuspidalne zaklopke proti konici desnega prekata med sistolo (angl. *tricuspid annular plane systolic excursion*, TAPSE), z merjenjem največje hitrosti gibanja trikuspidalnega obroča med sistolo (angl. *tricuspid annular plane peak systolic velocity*, TAPSV) ter z izračunom deleža spremembe površine desnega prekata (angl. *right ventricle fractional area change*, RV FAC). Meritve izražamo v Z-vrednostih (1, 2, 8).

Premik obroča trikuspidalne zaklopke proti konici desnega prekata med sistolo

TAPSE pomeni premik obroča trikuspidalne zaklopke proti konici desnega prekata med sistolo v longitudinalni osi in odseva EF desnega prekata. Izmerimo ga tako, da kazalnik M-mode postavimo skozi lateralni del trikuspidalnega obroča in merimo velikost longitudinalnega premika obroča v sistoli (tabela 13) (slika 13). Meritev je enostavna in neodvisna od geometrije desnega prekata, odvisna pa je od velikosti srca, zato se normalne vrednosti spreminjajo z rastjo in so odvisne od gestacijske starosti (1, 8, 13, 15).

Tabela 13. Premik obroča trikuspidalne zaklopke proti konici desnega prekata med sistolo (8, 15). GS – gestacijska starost.

UZ-projekcija	projekcija štirih votlin
Metoda merjenja kazalnika	M-mode skozi lateralni del trikuspidalnega obroča
Izračun kazalnika	meritev velikosti longitudinalnega premika obroča v sistoli
Normalna vrednost pri donošenem novorojenčku	0,82 (0,68–0,96) po dopolnjenem 37. tednu GS 0,86 (0,75–0,97) po dopolnjenem 38. tednu GS 0,90 (0,77–1,02) po dopolnjenem 39. tednu GS 0,95 (0,81–1,10) po dopolnjenem 40. tednu GS 1,03 (0,85–1,21) po dopolnjenem 41. tednu GS



Slika 13. Longitudinalno gibanje trikuspidalnega obroča. TAPSE – premik obroča trikuspidalne zaklopke proti konici desnega prekata med sistolo (angl. *tricuspid annular plane systolic excursion*).

Največja hitrost gibanja trikuspidalnega obroča med sistolo

TAPSV izmerimo s TDE, tako da izmerimo hitrost vala s' na lateralnem robu trikuspidalnega obroča, podobno kot izvajamo meritve hitrosti mitralnega obroča za oceno funkcijo levega prekata (tabela 9). Pri novorojenčkih TAPSV povprečno znaša 7,2 cm/s oz. med 4,8 in 9,5 cm/s (z score ± 2) (16).

Delež spremembe površine desnega prekata

RV FAC pomeni razmerje med sistolično in diastolično površino desnega prekata, ki jo izmerimo v apikalnem pogledu treh ali štirih votlin, tako da ročno obrišemo endokardno mejo desnega prekata in ga izračunamo po formuli: $RV\ FAC = \frac{\text{površina desnega prekata ob koncu diastole} - \text{površina desnega prekata ob koncu sistole}}{\text{površina desnega prekata ob koncu diastole}}$. Pomembno je, da si prikažemo celotni desni prekat, vključno z iztočnim traktom in nje-

govo lateralno steno, v površino pa vključimo tudi trabekulacije znotraj votline prekata (13, 17, 18).

Za razliko od TAPSE na RV FAC poleg longitudinalnega vpliva tudi radialno, bazalno in apikalno krčenje desnega prekata (13).

RV FAC se v neonatalnem obdobju zelo spreminja. Pri donošenih novorojenčkih povprečno znaša $33 \pm 5\%$ ob rojstvu in $39 \pm 4\%$ v starosti 1 mesec (povprečje \pm standardna deviacija) (17, 18).

OCENA PLJUČNEGA ARTERIJSKEGA KRVNEGA TLAKA IN PLJUČNE HIPERTENZIJE

Zvišan pljučni arterijski tlak (angl. *persistent pulmonary hypertension of the newborn*, PPHN) je pogosto stanje, ki prizadene novorojenčke, zato je ocena pljučnega arterijskega krvnega tlaka in s tem pljučne hipertenzije ena najbolj uporabljanih metod, ki jih nudi TNE (8).

Ocena trikuspidalne ali pulmonalne regurgitacije

Za ocenjevanje pljučnega arterijskega krvnega tlaka najpogosteje uporabljamo meritev trikuspidalne regurgitacije. S CWD izmerimo gradient tlakov med desnim prekatom in desnim preddvorom iz projekcije štirih votlin ali dolge parasternalne projekcije z naklonom sonde proti trikuspidalni zaklopki. Merimo najvišjo hitrost regurgitacije toka krvi preko trikuspidalne zaklopke s pomočjo PWD ali CWD. Kadar ni obstrukcije iztoka iz desnega prekata, lahko srednji pljučni arterijski tlak ocenimo, tako da tlaku v desnem preddvoru, ki je po navadi med 5 in 10 mmHg, prištejemo maksimalno razliko tlakov med desnim srčnim votlinama, ki jo dobimo s CWD (8, 13).

Ker polovica novorojenčkov z zvišanim uporom v pljučnem krvnem obtoku nima trikuspidalne regurgitacije, pa lahko za oceno srednjega pljučnega arterijskega krvnega tlaka uporabimo tudi merjenje hitrosti regurgitacije preko pulmonalne zaklopke, če je le-ta prisotna (13).

Ocena spoja preko Botallovega voda in medpreddvornega pretina

O višini tlaka v pljučnem krvnem obtoku lahko sklepamo glede na značilnosti krvnega pretoka preko zunaj- in znotrajsrčnih spojev, če so le-ti prisotni. V duktalnem pogledu merimo doplerske kazalnike s PWD ali CWD v Botallovem vodu, če je le-ta odprt. Levo-desni spoj pomeni, da je pljučni arterijski krvni tlak nižji od sistemskega tlaka. Dvosmerni pretok preko PDA pomeni, da je pljučni arterijski krvni tlak enak sistemskemu krvnemu tlaku, desno-levi pretok pa, da je pljučni arterijski krvni tlak višji od sistemskega krvnega tlaka (2, 8).

Treba je oceniti hemodinamski pomen PDA. Povečani pretoki preko PDA lahko namreč prispevajo k prekomernemu pretoku skozi pljučni krvni obtok in povzročajo

pljučno arterijsko hipertenzijo ter hkrati sistemsko hipoperfuzijo (zmanjšanje pretoka krvi skozi sistemski krvni obtok).

Novorojenčki imajo pogosto prisoten PFO. Velik levo-desni spoj povečuje utripni volumen desnega prekata in znižuje volumsko breme levega prekata. Medpreddvorni pretin in PFO pregledujemo s subkostalnega ali subksifoidnega okna v kratki in dolgi osi. Ocenjujemo prisotnost in smer toka krvi ter merimo velikost spoja. Z barvnim doplerskim UZ ocenimo smer toka krvi, ki je normalno levo-desna. Pri PPHN je spoj preko medpreddvornega pretina običajno dvosmeren, lahko je tudi levo-desen. Pretok preko medpreddvornega pretina je odvisen predvsem od diastolične funkcije desnega prekata. Kontinuiran desno-levi spoj preko medpreddvornega pretina je vedno nenormalen in je odraz povečanega polnilnega tlaka desnega prekata. V tem primeru je nujno zmeraj izključiti cianotično prirojeno srčno napako. Kontinuiran desno-levi spoj preko medpreddvornega pretina je lahko znak pljučne hipertenzije, hipertrofije desnega prekata ali pa nenormalnega vtoka pljučnih ven (13).

Ocena medprekatnega pretina in obrisa levega prekata

Na kratkem parasternalnem prikazu srčnih votlin je levi prekat okrogle oblike, ker je tlak v levem prekatu veliko višji kot tlak v desnem. Z naraščanjem pljučne arterijske hipertenzije se medprekatni pretin postopno izravnava, ob suprasistemski pljučni arterijski hipertenziji pa se lahko pojavi paradokсно gibanje medprekatnega pretina in levi prekat dobi obliko črke D, prisotni so znaki disfunkcije levega prekata, kar najlažje ocenimo ob koncu sistole tik nad nivojem papilarnih mišic. Stopnjo pljučne hipertenzije lahko ocenimo z oceno stopnje izravnave oz. vbočenja prekatnega pretina (8, 13).

Razmerje velikosti desnega proti levemu prekatu

Razmerje velikosti desnega proti levemu prekatu najbolje izračunamo v kratki parasternalni osi in je takoj po rojstvu normalno večje od ena, že nekaj ur kasneje pa je pri novorojenčkih tako kot pri odraslih normalno levi prekat večji od desnega (8, 19).

Čas pospešitve toka krvi preko pljučne arterije in iztisni čas desnega prekata

PWD-signal toka krvi preko pljučne arterije, ki ima bikrotični vozle, lahko nakazuje prisotnost pljučne hipertenzije. Občutljivost in specifičnost tega kvalitativnega testa je nizka, saj je lahko tudi pri hudi pljučni hipertenziji odsoten. Iz PWD-signala toka krvi preko pljučne arterije lahko izračunamo čas pospešitve toka krvi preko pljučne arterije (angl. *pulmonary artery acceleration time*, PAAT). PAAT, ki je < 90 ms, je dober napovednik pljučne hipertenzije. PAAT se spreminja s starostjo otroka in s srčno frekvenco. Za izračun potrebujemo tudi podatke o iztisnem času iz desnega prekata (angl. *right ventricular ejection time*, RVET). Razmerje PAAT/RVET < 0,31 pomeni pljučno hipertenzijo z občutljivostjo in specifičnostjo > 90 % (8, 13).

PERIKARDIALNI IZLIV IN SRČNA TAMPONADA

2D UZ je metoda izbora za diagnozo perikardialnega izliva in oceno srčne tamponade. Perikardialni izliv se pokaže kot hipoehogeni prostor med dvema listoma perikarda. Najbolje se vidi na parasternalni dolgi osi ali skozi subkostalno okno, izmerimo ga od površine epikarda do maksimalne dimenzije ob koncu diastole. Velikost hipoehogenega prostora je odvisna od količine tekočine in se spreminja v času srčnega cikla.

Vedno moramo velikost prostora meriti v diastoli. Hemodinamski učinek perikardialnega izliva je odvisen od količine perikardialne tekočine in pa tudi od hitrosti ter lokalizacije izliva. UZ-znaki tamponade srca so kolaps proste stene desnega preddvora v pozni diastoli, kolaps desnega prekata v zgodnji diastoli in pomembno spreminjanje vzorca doplerskih pretokov z dihanjem na trikuspidni, mitralni in/ali aortni zaklopki (več kot 25 %). Za srčno tamponado je značilno tudi povečanje polnilnega tlaka desnega srca, na kar kaže razširjena spodnja votla vena, katere premer se ne spreminja z dihanjem (1, 3).

ZAKLJUČEK

UZ srca so v pediatriji začeli uporabljati pri diagnostiki prirojenih srčnih napak, v zadnjih letih pa spremljamo hiter razvoj funkcionalnega oz. tarčnega UZ srca pri novorojenčku za hemodinamsko oceno, sledenje in vodenje zdravljenja kritično bolnih novorojenčkov. Klinični kazalniki, kot so srčna frekvenca, arterijski krvni tlak, frekvenca dihanja, nasičenost arterijske krvi s kisikom, diureza in serumski laktat, so nadomestni kazalniki delovanja srčno-žilnega sistema, TNE pa omogoča neposredno obposteljno oceno hemodinamskega stanja. S TNE lahko ocenimo delovanje srca, odziv na tekočine in pljučni arterijski krvni tlak, pri pljučni hipertenziji omogočimo specifične ukrepe in glede na UZ-najdbe spremljamo odgovor na zdravljenje, izbiramo inotrope ali vazopresorje. Obposteljni UZ je dodatek h kliničnemu pregledu in ga pri odločitvah o zdravljenju uporabljamo skupaj s kliničnimi kazalniki. Fiziološki podatki omogočajo pravočasno, točno in primerno diagnozo. Kliniki moramo poznati omejitve teh kazalnikov in potrebo po kvalitetnih slikah za natančno merjenje.

LITERATURA

1. Mertens L, Seri I, Marek J, et al. Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: practice guidelines and recommendations for training. Writing Group of the American Society of Echocardiography (ASE) in collaboration with the European Association of Echocardiography (EAE) and the Association for European Pediatric Cardiologists (AEPC). *J Am Soc Echocardiogr*. 2011; 24 (10): 1057–78.
2. El-Khuffash AF, McNamara PJ. Neonatologist-performed functional echocardiography in the neonatal intensive care unit. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2011; 16 (1): 50–60.
3. Tissot C, Muehlethaler V, Sekarski N. Basics of functional echocardiography in children and neonates. *Front Pediatr*. 2017; 5: 235.
4. Groves AM, Singh Y, Dempsey E, et al. Introduction to neonatologist-performed echocardiography. *Pediatr Res*. 2018; 84: 1–12.
5. Browning Carmo K. The history of ultrasound and its use at point of care: Neonatal ultrasound in transport. *Curr Treat Options Pediatr*. 2017; 3 (4): 305–12.
6. Singh Y, Roehr CC, Tissot C, et al. Education, training, and accreditation of neonatologist performed echocardiography in Europe – framework for practice. *Pediatr Res*. 2018; 84: 13–7.
7. Vesel S. Fiziologija razvoja kardiovaskularnega sistema in prehod s fetalnega na neonatalni krvni obtok. In: Paro Panjan D, ed. Hemodinamsko, tekočinsko in elektrolitsko ravnovesje pri novorojenčku. Ljubljana: Klinični oddelek za neonatologijo, Pediatrična klinika, UKC Ljubljana; 2016. p. 9–21.
8. Singh Y. Echocardiographic evaluation of hemodynamics in neonates and children. *Front Pediatr*. 2017; 5: 201.
9. Širc J. Ultrazvukove vyšetreni srdce; Funkční echokardiografie v neonatologii. In: Straňák Z, Janota J, eds. Neonatologie. Praha: Mlada fronta; 2015. p. 504–17.
10. El-Khuffash A, Davis PG, Walsh K, et al. Cardiac troponin T and N-terminal-pro-B type natriuretic peptide reflect myocardial function in preterm infants. *J Perinatol*. 2008; 28 (7): 482–6.
11. Tretjak M, Koželj M. Ocena funkcije levega prekata s tkivno doplersko ehokardiografijo. *Zdravniški vestnik*. 2004; 73 (9): 663–6.
12. Cantinotti M, Giordano R, Scalese M, et al. Nomograms for mitral inflow Doppler and tissue Doppler velocities in Caucasian children. *J Cardiol*. 2016; 68 (4): 288–99.
13. de Boode WP, Singh Y, Molnar Z, et al. Application of neonatologist performed echocardiography in the assessment and management of persistent pulmonary hypertension of the newborn. *Pediatr Res*. 2018; 84 Suppl 1: 68–77.
14. Hunt RW, Evans N, Rieger I, et al. Low superior vena cava flow and neurodevelopment at 3 years in very preterm infants. *J Pediatr*. 2004; 145 (5): 588–92.
15. Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, et al. Systolic right ventricular function in preterm and term neonates: reference values of the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in 258 patients and calculation of Z-score values. *Neonatology*. 2011; 100 (1): 85–92.
16. Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, et al. Reference values of tricuspid annular peak systolic velocity in healthy pediatric patients, calculation of z score, and comparison to tricuspid annular plane systolic excursion. *Am J Cardiol*. 2011; 109 (1): 116–21.
17. Levy PT, Dioneda B, Holland MR, et al. Right ventricular function in preterm and term neonates: reference values for right ventricle areas and fractional area of change. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015; 28 (5): 559–69.
18. Jain A, Mohamed A, El-Khuffash A, et al. A comprehensive echocardiographic protocol for assessing neonatal right ventricular dimensions and function in the transitional period: normative data and z scores. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014; 27 (12): 1293–304.
19. Sahn DJ, Lange LW, Allen HD, et al. Quantitative real-time cross-sectional echocardiography in the developing normal human fetus and newborn. *Circulation*. 1980; 62 (3): 588–97.