



Neonatologická klinika FNŠP Nové Zámky

---

## **FUNKČNÁ ECHOKARDIOGRAFIA NOVORODENCŮV**

MUDr. Monika Kováčsová



Neonatologická klinika FNsP Nové Zámky

---

Monika Kováčsová

## **FUNKČNÁ ECHOKARDIOGRAFIA NOVORODENCOV**

učebný text

**2015**

Obsah učebného textu neprešiel špecializovanou terminologickou, jazykovou, gramatickou a štylistickou korektúrou. Za uvedené stránky vzdelávacieho materiálu zodpovedá autor.

Všetky práva vyhradené. Publikácia ani žiadna jej časť sa nesmie reprodukovat', ukladať do informačných systémov alebo iným spôsobom rozširovať (fotografickou reprodukciou, elektronicky) bez predchádzajúceho písomného súhlasu autora.

Recenzenti: prof. MUDr. Mirko Zibolen, CSc.  
doc. MUDr. Alexander Jurko, PhD.

## **POĎAKOVANIE**

Úprimné poďakovanie patrí predovšetkým môjmu vzácnemu učiteľovi prof. MUDr. Františkovi Bauerovi, PhD., ktorý ma viedol k napísaniu tohto textu. Zároveň ďakujem doc. MUDr. Kataríne Matásovej, PhD. za povzbudenie a za nesmierne cenné praktické rady.

Zvlášť ďakujem MUDr. Zoltánovi Molnárovi, PhD. a MUDr. Tamásovi Kovácsovi, mojim kolegom, ktorí ma zasvecovali do tajov novorodeneckej echokardiografie a kolektívu Neonatologickej kliniky FNŠP Nové Zámky.

Taktiež ďakujem našim malým pacientom, ktorí svojou trpezlivosťou pri vyšetrovaní umožnili vznik pekných edukačných obrázkov.

## **PREDSLOV**

Funkčná echokardiografia – fECHO (POCT ECHO - „point-of-care“ echokardiografia, TNE - cielená novorodenecká echokardiografia) sa vo svete čoraz častejšie využíva v jednotkách novorodeneckej intenzívnej a resuscitačnej starostlivosti za účelom zhodnotenia stavu kardiovaskulárneho systému nezrelých a kriticky chorých novorodencov. Pomáha upresniť informácie o adekvátnosti systémového prietoku a orgánovej perfúzie, ktoré síce klinické príznaky (srdcová frekvencia, kapilárny návrat, hodnoty krvného tlaku) a laboratórne markery (laktát, BE) poskytujú, ale len v obmedzenej forme. Aplikácia fECHO pri rôznych patologických stavoch pomáha užšie vymedziť povahu chorobného procesu, a tým podporuje správne terapeutické rozhodovanie. Hoci ide iba o doplnkové vyšetrenie, jednoznačne prispieva k zvýšeniu kvality intenzívnej starostlivosti o novorodencov. Nadôvažok, je to metóda neinvazívna, aplikovaná priamo pri lôžku pacienta, výhodná na sledovanie dynamiky procesu a za určitých presne stanovených podmienok nemá negatívny dopad ani na extrémne nezrelých novorodencov.

**Recenzenti:** prof. MUDr. Mirko Zibolen, CSc.

doc. MUDr. Alexander Jurko, PhD.

## OBSAH

<b>Pod'akovanie.....</b>	<b>1</b>
<b>Predslov.....</b>	<b>2</b>
<b>Obsah.....</b>	<b>3</b>
<b>Zoznam skratiek.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Definícia pojmu a význam fECHO.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Fyziológia cirkulácie.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Fetálna cirkulácia.....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Myokard a cievy.....	12
3.1.2 Fetálny krvný obeh.....	13
<b>3.2 Tranzitórna cirkulácia.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Neonatálna cirkulácia.....</b>	<b>15</b>
<b>4. Praktické aspekty TNE.....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Základy realizácie.....</b>	<b>16</b>
4.1.1 Všeobecné zásady.....	16
4.1.2 Technické požiadavky.....	17
4.1.3 Bezpečnostné požiadavky.....	18
<b>4.2 Základné echokardiografické metódy.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 Transtorakálne prístupy.....</b>	<b>21</b>
<b>5. Merania a ich interpretácia.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1 Markery komorovej funkcie.....</b>	<b>24</b>
5.1.1 Systolická funkcia.....	24
5.1.1.1 Systolická funkcia ľavej komory.....	24
5.1.1.1.a M-mode.....	25
5.1.1.1.b Dopplerovská echokardiografia.....	28
5.1.1.2 Systolická funkcia pravej komory.....	29
5.1.2 Diastolická funkcia.....	29
5.1.3 Systolicko-diastolická funkcia.....	31
<b>5.2 Hodnotenie skratov.....</b>	<b>33</b>
5.2.1 Hodnotenie skratov na úrovni predsiení.....	33
5.2.2 Hodnotenie skratov na úrovni komôr.....	34

5.2.3 Hodnotenie skratu cez ductus arteriosus Botalli.....	35
<b>5.3 Hodnotenie tlaku v arteria pulmonalis.....</b>	<b>37</b>
5.3.1 Meranie PV cez insuficientnú trikuspidálnu chlopňu.....	38
5.3.2 Meranie PV cez duktálny skrat.....	39
5.3.3 Meranie času zrýchlenia toku v MPA.....	40
<b>5.4 Vyhodnocovanie krvného prietoku.....</b>	<b>42</b>
5.4.1 LVO.....	44
5.4.2 RVO.....	45
5.4.3 SVC flow.....	46
<b>6. Špeciálne stavy v neonatológii.....</b>	<b>50</b>
6.1 Novorodenci s VNPH s tranzitórnou cirkuláciou v prvých 24 hod .....	50
6.2 Posudzovanie a monitorovanie ductus arteriosus Botalli .....	52
6.3 Novorodenci s perinatálnou asfyxiou.....	60
6.4 Posudzovanie stavu a reakcie na liečbu u novorodencov pri PPHN.....	62
6.5 Novorodenci so sepsou a cirkulačným zlyhávaním.....	65
<b>7. Hodnotenie statických javov využitím ultrazvuku.....</b>	<b>66</b>
7.1 Intratorakálna patológia.....	66
7.2 Cievne prístupy.....	66
<b>8. Záver.....</b>	<b>69</b>
<b>Literatúra.....</b>	<b>71</b>
<b>Príloha.....</b>	<b>78</b>

## ZOZNAM SKRATIEK

Ao	aorta
AS	aortálna stenóza
ASD	atrioseptálny defekt
BE	base excess (deficit báz)
BP	blood pressure (krvý tlak)
CDH	congenital diaphragmatic hernia (vrodená bráničná prietrž)
Cdyn	dynamická poddajnosť pľúc
CFM	color flow mapping (farebné dopplerovské mapovanie)
CNS	centrálny nervový systém
CO	cardiac output (minutový objem srdca)
CoAo	koarktácia aorty
CSA	cross sectional area (plocha = $\pi r^2$ )
CW	continuous wave (kontinuálny doppler)
DA	ductus arteriosus
2D	dvojrozmerné ultrazvukové zobrazenie
EF	ejection fraction (ejekčná frakcia)
EKG	elektrokardiogram
ET	ejection time (ejekčný čas)
fECHO	funkčná echokardiografia
FoA	foramen ovale apertum
FS	fractional shortening (miera skrátania)
GIT	gastrointestinálny trakt
HLHS	hypoplastic left heart sy (hypoplastický ľavokomorový syndróm)
HR	heart rate (srdcová frekvencia)
hsDA	hemodynamically significant DA (hemodynamicky významný duktus arteriosus)
ICT	isovolumic contraction time (trvanie izovolumickej kontrakcie)
iNO	inhalačný nitric oxid
IR	index rezistencie
IRT	isovolumic relaxation time (trvanie izovolumickej relaxácie)



IVH	intraventricular haemorrhage (vnútrokomorové krvácanie)
IVSD	interventrikulárne septum v diastole
IVSS	interventrikulárne septum v systole
JRNS	jednotka resuscitačnej novorodeneckej starostlivosti
JVNS	jednotka vysokošpecializovanej novorodeneckej starostlivosti
LA	left atrium (ľavá predsieň)
LV	left ventricle (ľavá komora)
LVEDD	left ventricular end-diastolic diameter (rozmer ľavej komory na konci diastoly)
LVESD	left ventricular end-systolic diameter (rozmer ľavej komory na konci systoly)
LVET	left ventricular ejection time (ejekčný čas ľavej komory)
LVCO	left ventricle cardiac output (srdcový výdaj ľavej komory)
LVO	left ventricle output (výdaj ľavej komory)
ĽK	ľavá komora
ĽP	ľavá predsieň
Ľ - P	ľavo-pravý
MAc	metabolic acidosis (metabolická acidóza)
MAP	mean airway pressure (stredný tlak v dýchacích cestách)
mmHg	milimeter ortuťového stĺpca
M-mode	„motion“ – mode – jednorozmerné ultrazvukové zobrazenie
MHz	megaherc
MPA	main pulmonary artery (kmeň pľúcnice)
MPI	myocardial performance index
mVcfs	mean velocity of circumferential fibre shortening
NEC	nekrotizujúca enterokolitída
NICU	neonatal intensive care unit (jednotka novorodeneckej intenzívnej starostlivosti)
NIRS	near infrared spectroscopy (blízka infračervená spektroskopia)
PaO <sub>2</sub>	parciálny artériový tlak kyslíka
PBF	pulmonary blood flow (pľúcny prietok krvi)
PDA	patent ductus arteriosus (pretrvávajúci duktus arteriosus)
PET	preejection time (preejekčný čas)
PHT	pľúcna hypertenzia

P - Ľ	pravo-ľavý
POCT ECHO	„point of care“ echokardiografia
PPHN	perzistujúca pľúcna hypertenzia novorodenca
PV	peak velocity (vrcholová rýchlosť)
PW	pulse wave (pulzný doppler)
PWDD	posterior wall dimension (rozmer zadnej steny) v diastole
PWDS	posterior wall dimension (rozmer zadnej steny) v systole
RVET	right ventricle ejection time (ejekčný čas pravej komory)
RVCO	right ventricle cardiac output (srdcový výdaj pravej komory)
RV	right ventricle (pravá komora)
SV	stroke volume (vývrhový objem)
SVR	systemic vascular resistance (systémový cievny odpor)
SVC flow	superior vena cava flow (prietok cez hornú dutú žilu)
SBF	systemic blood flow (systémový krvný prietok)
STI	systolic time interval
TAPVD	total anomalous pulmonary vein drainage (totálny anomálny žilný návrat)
TGA	transposition of great artery (transpozícia veľkých ciev)
TNE	targeted neonatal echocardiography (cieľená novorodenecká echokardiografia)
TI	trikuspidálna insuficiencia
TPV	time to peak velocity (čas akcelerácie)
VCS	vena cava superior
VLBWI	very low birth weight infant (novorodenec s veľmi nízkou pôrodnou hmotnosťou)
VNPH	veľmi nízka pôrodná hmotnosť
VTI	velocity time integral (rýchlostne časový integrál)
WOB	work of breath (dychová práca)

## 1 ÚVOD

V ostatných dvoch desaťročiach došlo k významnému pokroku v starostlivosti o kriticky chorého či extrémne nezrelého novorodenca. Pri hodnotení a priebežnom monitorovaní kardiovaskulárneho systému však naďalej dominujú klinické ukazovatele s nízkou výpovednou hodnotou, ktoré sú len náhradnými ukazovateľmi stavu okysličenia tkanív. Definovanie povahy problému alebo chorobného procesu iba na základe klinických príznakov či výsledkov pomocných vyšetrení (laboratórnych, Rtg, EKG, ...) môže často viesť k chybným a nesprávnym liečebným zásahom.

V bezprostrednom popôrodnom období sa odohrávajú veľké hemodynamické zmeny ako reakcia na prechod z intrauterinného do extrauterinného prostredia. V priebehu adaptácie orgánových systémov (respirácia, cirkulácia, neuroendokrinná regulácia, ...) je samotné rozhodovanie o tom, či sú hemodynamické zmeny u vývojovo nezrelého myokardu spôsobené intrakardiálnymi alebo extrakardiálnymi poruchami, v systémovom alebo pľúcnom obeh, veľmi ťažké.

Pojem „funkčná echokardiografia“ zaviedol Kluckow a kolektív na označenie použitia echokardiografie na priebežné posúdenie funkcie myokardu, systémového a pľúcneho prietoku, intrakardiálnych a extrakardiálnych skratov a orgánových prietokov u kriticky chorých novorodencov s cieľom zhodnotiť srdcový výkon a systémovú hemodynamiku v reálnom čase, presnejšie charakterizovať a určiť povahu kardiovaskulárnej poruchy, a tým následne uľahčiť terapeutické rozhodovanie.

Funkčná echokardiografia (fECHO) by predovšetkým mala slúžiť na doplnenie a upresnenie tradičného posúdenia a nie ako náhrada za komplexné echokardiografické vyšetrenie so zhodnotením srdcových štruktúr.

Už v roku 1990 sa realizoval trojročný výskumný projekt s echokardiografiou u novorodencov. Po zhodnutí výsledkov a uznaní dôležitosti tejto metodiky sa začala echokardiografia pre neonatológov vyučovať.

Veľa predčasne narodených detí má na prvý deň života nízku tkanivovú perfúziu, ktorá s veľkou pravdepodobnosťou spôsobuje poškodenie orgánov a v dôsledku toho je často príčinou dlhodobého neurologického poškodenia, dokonca v niektorých prípadoch až smrti. U mnohých z týchto detí nie sú kardiovaskulárne poruchy tradičnými monitorovacími technikami zistené včas. Cieľom funkčného echokardiografického monitorovania je pomôcť porozumieť patofyziológii obehového systému nezrelého a kriticky chorého novorodenca a následne umožniť nasadenie včasnej a cielenej liečby.

## 2 DEFINÍCIA POJMU A VÝZNAM fECHO

Pod pojmom **funkčná echokardiografia** (fECHO) sa rozumie použitie ultrazvuku pri lôžku pacienta na priebežné sledovanie dynamiky cirkulačných zmien <sup>(1)</sup>, t.j. na posúdenie funkcie myokardu, systémovej a pľúcnej cirkulácie, intra a extrakardiálnych skratov a orgánového prietoku<sup>(2)</sup>. Poskytuje podrobné informácie o fyziologických a patologických zmenách hemodynamiky v reálnom čase, čo umožňuje rýchlu identifikáciu mechanizmu obehového zlyhávania u kriticky chorých pacientov a následne umožňuje určiť správny spôsob kardiovaskulárnej podpory.

Funkčná echokardiografia sa líši od echokardiografie v ponímaní detského kardiológa, kde hlavným cieľom je poskytnúť informácie o štrukturálnych srdcových ochoreniach a posúdiť funkcie v čase vyšetrenia. Vyvinula sa z potreby adekvátneho monitorovania hemodynamického stavu kriticky chorých pacientov. V mnohých jednotkách novorodeneckej intenzívnej a resuscitačnej starostlivosti (JVNS, JRNS) nie je možné mať kardiológa k dispozícii nepretržite 24 hodín denne. Detský kardiológ navyše neposkytne všetky želané informácie, ktoré sú potrebné pre prácu neonatológa. V ostatnom čase sú preto v odborných kruhoch snahy o to, aby sa vyšetrenie srdca pomocou fECHO stalo prístupným pre každé oddelenie novorodeneckej intenzívnej a resuscitačnej starostlivosti kontinuálne.

Funkčná echokardiografia má teda slúžiť ako **doplňkové ultrazvukové vyšetrenie srdca so zameraním na funkčné hodnotenie s cieľom doplniť neinvazívne monitorovanie hemodynamiky pri lôžku novorodenca.**

Napriek značnému pokroku v sledovaní komplexných a klinicky relevantných hemodynamických premenných sú kardiovaskulárne funkcie vo väčšine novorodeneckých jednotiek intenzívnej a resuscitačnej starostlivosti posudzované len podľa kontinuálne meranej srdcovej frekvencie, krvného tlaku alebo podľa iných klinických príznakov <sup>(3)</sup>. Posúdenie funkcie cirkulácie a perfúzie tkanív použitím nepriamych známk (tabuľka 1) je problematické hlavne u veľmi predčasne narodených novorodencov počas prvého postnatálneho dňa, kedy dochádza ku komplexným hemodynamickým zmenám v priebehu prechodu z intrauterinného na postnatálny život <sup>(3)</sup>. Hoci tieto merania poskytujú dôležité informácie, podávajú iba nepriamy a často obmedzený pohľad na zložitosť patologických zmien srdcovej funkcie a cirkulácie novorodenca. Neonatológ sa vo svojej praxi často stretáva s klinickými dilemami, ktoré sú náročné na interpretáciu, pretože nie je k dispo-

zícii dostatok základných informácií o hemodynamike. Nedávne publikácie upozornili na aktuálnu neistotu v otázkach optimálneho manažmentu hypotenzie<sup>(4)</sup> a otvoreného ductus arteriosus u novorodenca.

Rodiaci sa odbor funkčnej echokardiografie môže ponúknuť jasnejšie pochopenie fyziológie a patofyziológie týchto stavov a navigovať k voľbe správneho liečebného postupu a taktiež prispieť k odstráneniu iatrogenizácie, ktorá vzniká ako následok neadekvátnych terapeutických zásahov (napr. zbytočným ovplyvnením respirácie)<sup>(2, 5, 6)</sup>.

Tabuľka 1: Posudzovanie funkcie cirkulácie na základe nepriamych markerov

Hodnotenie funkcie srdca <b>NEPRIAME:</b>
<p>a. makro:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- tlak krvi (systolický, diastolický, stredný, pulzný)</li> <li>- akcia a ozvy srdca</li> <li>- aktivita prekordia</li> <li>- pečeň, edémy, respiračná tieseň</li> </ul> <p>(Rtg, EKG, Doppler CNS a ostatných orgánov)</p>
<p>b. mikro:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- prekrvenie kože</li> <li>- plnenie kapilár (vazokonstrikcia / vazodilatácia)</li> <li>- diuréza (prietok obličkami)</li> <li>- BE, laktát (prekrvenie tkanív)</li> </ul>

Funkčná echokardiografia je metóda neinvazívna, použiteľná pri lôžku pacienta v danom reálnom čase, ktorá umožňuje sledovať priebeh adaptácie cirkulácie, dynamiku patologického stavu, účinok liečby či akéhokoľvek terapeutického zásahu. V súhrne ide vďaka vymenovaným pozitívnym aspektom o vyšetrenie, ktoré podporuje patofyziologickú diagnostiku a jej výsledkom je cielená liečba (tabuľka 2). Vulnerabilita nezrelých novorodencov v prvých hodinách života do istej miery obmedzuje toto vyšetrenie, ale dodržaním základných princípov behaviorálneho prístupu je možné ho aplikovať kedykoľvek. Existujú síce štúdie, ktoré poukazujú na zlú diagnostiku v prípade použitia fECHO "nekardiologom"<sup>(7)</sup>, protiváhu však predstavujú štúdie, ktoré hovoria o vynikajúcej spoľahlivosti vyškolených neonatológov<sup>(5)</sup>. Faktom ostáva, že je to metóda do určitej miery zaťažená subjektivitou.

Tabuľka 2: Pozitívne a negatívne aspekty fECHO

<b>Pozitíva fECHO:</b>
neinvazívna metóda
pri lôžku „bedside“
v reálnom čase „real time“ (práve vtedy, keď potrebujeme)
sledovanie v čase (dynamika) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ adaptácia cirkulácie</li> <li>○ dynamika ochorenia</li> <li>○ odpoveď na liečbu</li> </ul>
patofyziologická diagnostika
cielená terapia
sledovanie hemodynamického účinku terapeutickej intervencie (akýkoľvek zásah – lieky, umelá pľúcna ventilácia, ošetrovateľská starostlivosť...)
<b>Negatíva fECHO:</b>
subjektivita <ul style="list-style-type: none"> <li>○ intraobservačná 10%</li> <li>○ interobservačná 15 – 20%</li> </ul>
behaviorálna negatívna reakcia (vulnerabilita VLBWI prvých 24 hodín života)

Praktické využitie funkčnej echokardiografie v neonatológii zahŕňa posúdenie adaptácie cirkulácie v prechodnom období bezprostredne po pôrode, stanovenie patofyziologickej diagnózy obsahujúcej odhalenie skratov, kvantifikovanie srdcového výdaja a perfúzie, ktoré slúži na optimalizáciu terapie a následne na posúdenie odpovede na terapeutickú intervenciu. Na základe echokardiografického vyšetrenia je možné predvídať niektoré patologické stavy, a tak včas pristúpiť ku krokom, ktoré vedú k prevencii. Samozrejme potenciálne využitie echokardiografie je rozšírené aj na hodnotenie statických javov ako je diagnostika vnútrohrodnej patológie, overovanie pozície katétrov alebo samotné odhalenie štrukturálnych odchýlok na srdci.

Funkčná echokardiografia realizovaná neonatológom pri posudzovaní stavu novorodenca sa v literatúre označuje ako **TNE – targeted neonatal echocardiography** (cielená novorodenecká echokardiografia).

### 3 FYZIOLOGIA CIRKULÁCIE

Cirkulácia plodu sa od novorodeneckej významne odlišuje. Novorodenec narodený v termíne musí úspešne zvládnuť prechod z fetálnej cirkulácie, ktorý je ovplyvnený náhlymi zmenami kardiorespiračného systému vrátane zmien v objeme cirkulujúcej tekutiny a poddajnosti pľúc, ako aj zmenami preloadu a afterloadu. Intrakardiálne a extrakardiálne skraty cez foramen ovale a ductus arteriosus Botalli fyziologické pre plod, majú rôzne účinky na bezprostrednú postnatálnu hemodynamiku. Novorodenec sa musí taktiež vyrovnáť s prípadnými štrukturálnymi ochoreniami srdca a s extrakardiálnymi vrodenými či získanými poruchami, ako sú napríklad vrodená bráničná prietrž (CDH), sepsa alebo pľúcna hypertenzia, ktoré sú tolerované rozlične v závislosti od zrelosti dieťaťa.

V prípade predčasného pôrodu nezrelosť kardiovaskulárneho systému a ostatných orgánových systémov ešte komplikuje situáciu novorodenca a jeho schopnosť vhodne reagovať na prechod z vnútromaternicového do mimomaternicového prostredia. Podrobné pochopenie fyziológie kardiovaskulárneho systému je nutné pre pochopenie informácií získaných v perinatálnej perióde echokardiografickým vyšetrením.

Je dôležité uvedomiť si, ako môže predčasný pôrod narušiť proces prechodu z fetálnej na neonatálnu cirkuláciu.

#### 3.1 FETÁLNA CIRKULÁCIA

##### 3.1.1 *Myokard a cievy*

Myocyty plodu sú menšie a zvyčajne majú jediné jadro v porovnaní s viacjadrovými myocyty, ktoré sa vyskytujú postnatálne. Architektonika myofibríl sa v priebehu tehotnosti mení. Plod má na bunkovej úrovni menej organizovaný myokard s menším počtom sarkomer na jednotku hmotnosti, rôzne izoformy kontraktálnych proteínov, vyvíjajúce sa sarkoplazmatické retikulum, celkovo vyšší obsah vody a nižší počet mitochondrií<sup>(8, 9, 10, 11, 12)</sup>. V dôsledku týchto faktorov je fetálne srdce menej poddajné a menej kontraktilné ako srdce novorodenca či dospelého.

Tieto rozdiely sa prejavujú v obmedzenej schopnosti plodu reagovať na zmeny preloadu a afterloadu. Hlavným mechanizmom kompenzácie plodu pri zmene srdcového výdaja je zmena srdcovej frekvencie<sup>(13, 14, 15, 16, 17, 18)</sup>.

Fetálne pľúcne cievy tiež vykazujú významné odlišnosti v porovnaní s adultnými. Pľúcne artérie a prealveolárne arterioly sa vyznačujú vyšším obsahom elastínu

a relatívnym nedostatkom hladkej svaloviny. V distálnejších pľúcnych prealveolárnych a alveolárnych cievach je naopak prevaha hladkej svaloviny aj v porovnaní s intraalveolárnymi arteriolami, ktorých cievna stena opäť neobsahuje žiadnu svalovinu<sup>(15)</sup>. Tieto rozdiely prispievajú k vysokej pľúcnej cievnej rezistencii, čo obmedzuje fetálny prietok krvi pľúcami (11% kombinovaného srdcového výdaja v ranej tehotnosti, 22% kombinovaného srdcového výdaja na konci tehotnosti)

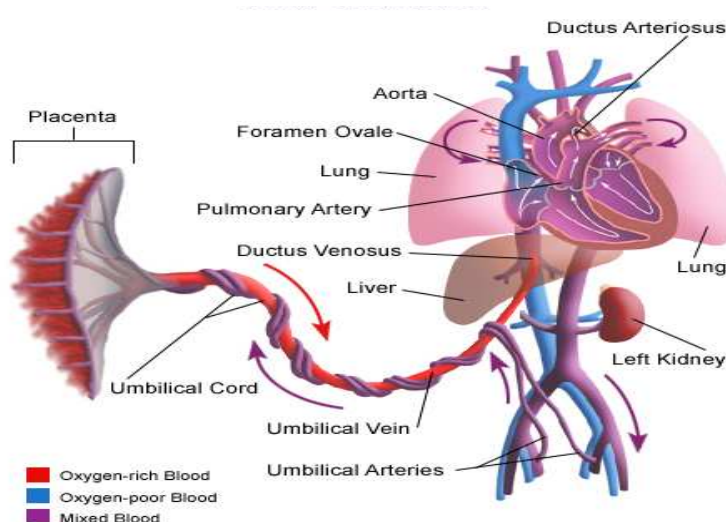
### **3.1.2 Fetálny obeh**

Zvýšený dopyt plodu po živinách a kyslíku sa zabezpečuje zo strany matky krvou cirkulujúcou vo fetoplacentárnej jednotke. Krv plodu sa transportuje cez dve umbilikálne artérie (vetvy a. iliaca interna) k placente, odkiaľ potom cez jednu pupočnú žilu (v. umbilicalis) sa živinami obohatená a okysličená krv vracia k plodu. Od pupočného prstenca smeruje v. umbilicalis do pečene. Nevýznamný podiel okysličenej krvi priamo vyživuje pečeň, avšak cez ductus venosus Arantii sa hlavný tok okysličenej krvi dostáva do vena cava inferior. Vďaka tomuto spojeniu sa do pravej predsieni dostane relatívne dobre okysličená krv, ktorá predominantným tokom smeruje cez foramen ovale do ľavej predsieni bez toho, aby sa v pravej predsieni zmiešala s odkysličenou krvou prichádzajúcou cez vena cava superior. Z ľavej predsieni sa potom krv dostane do ľavej komory a následne do aorty. Pečeň a orgány zabezpečované krvou z vetiev aortálneho oblúka (srdce, mozog, horné končatiny) sú zásobené najlepšie okysličenou krvou. Spojenie medzi oboma predsieňami má značný význam aj preto, že malý (pľúcny) krvný obeh síce morfológicky existuje, ale prakticky je nefunkčný. Množstvo krvi, ktoré prichádza do ľavej predsieni cez pľúcne vény, je teda zanedbateľné. Vo fetálnom období je pľúcna cievna rezistencia tak vysoká, že pravá komora nemá kontrakčnú schopnosť proti tomuto odporu vypudzovať krv do pľúcnych ciev. Nenahraditeľnú úlohu zohráva prítomnosť ductus arteriosus Botalli, cez ktorý sa z pravej komory, respektíve z truncus pulmonalis, krv cestou menšieho odporu dostáva do aorty a tak obchádza fetálny nefunkčný pľúcny obeh.

Plod je ideálne prispôsobený, pretože fetálny obehový systém zahŕňa nízkoodporovú placentu a ductus arteriosus, čo umožňuje obísť vysokoodporový okruh v pľúcach a otvorené foramen ovale, ktoré zasa umožňuje miešanie okysličenej krvi v ľavej predsieni (obrázok 1). V priebehu normálnej tehotnosti dochádza k veľkému nárastu fetálneho srdcového výdaja vďaka postupnému zvyšovaniu srdcovej kontraktilnosti<sup>(11, 19, 20)</sup>, dozrievaniu inervácie, rastu srdcových komôr<sup>(20)</sup>, pľúc a pľúcnych ciev a prerozdeleniu



toku krvi k jednotlivým orgánom plodu. Keď je tento proces prerušený, ako je tomu v prípade predčasného pôrodu, ďalší vývoj prebieha veľmi odlišným spôsobom a často za nepriaznivých okolností.



Obrázok 1: Fetálny krvný obeh so skratkami – ductus arteriosus, ductus venosus a foramen ovale. Dostupné na: <http://www.stanfordchildrens.org/en/topic/default?id=blood-circulation-in-the-fetus-and-newborn-90-P02362>

### 3.2 TRANZITÓRNA CIRKULÁCIA

Bezprostredne po pôrode dochádza k prudkému zvýšeniu systémovej cievnej rezistencie v dôsledku odstránenia nízkoodporovej placenty a zvýšenia periférnej cievnej rezistencie ako reakcie na endogénne vyvolané uvoľňovanie vazoaktívnych hormónov a zároveň chladového stresu, ktorý vzniká pri prechode do mimomaternicového priestoru. V dôsledku zastavenia prítoku pupočnej žilovej krvi (podviazanie pupočníka) klesá plnenie pravého srdca <sup>(11)</sup>, súčasne dochádza k poklesu pľúcnej cievnej rezistencie v dôsledku expanzie pľúc, zvýšenia parciálneho tlaku kyslíka v alveolách (po prvom nádychu) a vplyvu endokrinných a parakrinných pľúcnych vazodilatátorov <sup>(11, 21)</sup>. Tieto zmeny vedú k zníženiu tlakov v pravom srdci, zároveň sa v dôsledku spontánneho dýchania, ktoré vytvára vnútrohruďný tlak nižší ako atmosferický, zníži intraperikardiálny tlak a tieto zmeny napomáhajú ľavej komore prispôbiť sa zvýšenému preloadu a afterloadu <sup>(18)</sup>. Krv tak začne prúdiť z truncus pulmonalis do pľúcnych artérií smerom k pľúcam. So zapojením pľúcneho obehu súvisí aj zvýšený návrat krvi do ľavej predsieni, takže vzrastá tlak v ľavej predsieni.

Štruktúrálné štvorkomorové srdce sa intrauterinne správa ako paralelne zapojená jedna predsieň a jedna komora. Znamená to, že obe komory pracujú pre systémový obeh. Po narodení sa však na okysličovanie začne využívať kyslík z atmosféry, t.j. zapojí sa pľúcny obeh a tým sa cirkulácia zmení na sériovo radenú systémovú a pľúcnu, kde systémový obeh zabezpečuje ľavé srdce a pľúcny obeh pravé srdce.

### 3.3 NEONATÁLNA CIRKULÁCIA

Z pohľadu fetálnej cirkulácie majú význam tri skraty - ductus venosus Arantii, foramen ovale apertum a ductus arteriosus Botalli, ktoré však po narodení strácajú význam a v krátkom časovom horizonte sa uzatvárajú (obrázok 2).

U detí narodených v termíne sa ductus venosus funkčne uzatvára takmer okamžite zastavením pupočného žilového prúdenia. Rovnako aj foramen ovale rýchlo prilne k fossa ovalis vďaka vyšším tlakom v ľavej predsieni. Ductus arteriosus sa zatvára o niečo pomalšie, v priebehu prvých niekoľkých hodín alebo dní, v závislosti na výške parciálneho tlaku kyslíka, hladiny lokálnych a cirkulujúcich prostaglandínov E<sub>2</sub> a ďalších vazoaktívnych faktorov. Na normálnu kontraktilnosť myokardu má vplyv zvýšenie hladiny hormónu štítnej žľazy, kortikosteroidy a prudký vzostup hladiny katecholamínov, ku ktorému dochádza počas pôrodu<sup>(22)</sup>.

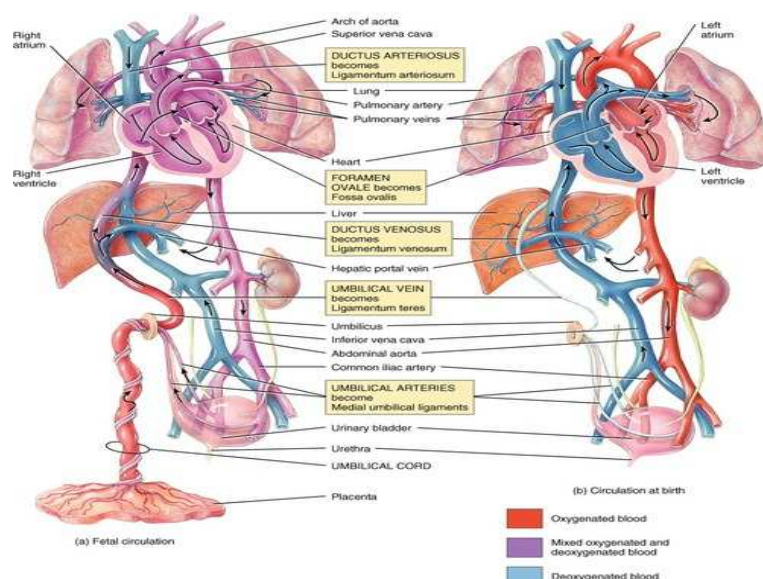
Ľavá komora sa postupne premieňa na pumpu vysokotlakového systému ako morfológicky (zhrubnutie steny ľavej komory a medzikomorového septa, nárast počtu a rozmerov svalových vlákien), tak aj funkčne (pracuje proti vysokému systémovému odporu). Zároveň sa znižujú nároky na pravú komoru (pokles pľúcnej cievnej rezistencie, uzáver ductus arteriosus) a tá sa mení na nízkotlakovú pumpu s odrazom na morfológickej stavbe (relatívne stenčenie steny pravej komory).

Prechodom do mimomaternicového prostredia sa výrazne zvyšujú metabolické nároky (udržanie telesnej teploty, dychová práca, trávenie...), čo postnatálne vyžaduje výrazné zvýšenie minútového vývrhového objemu srdca novorodenca (200-325 ml/min/kg)<sup>(23)</sup>.

Prechod z fetálneho do postnatálneho života je zložitejší u predčasne narodeného dieťaťa. Nezrelý myokard ľavej komory je súbežne vystavený náhlemu zvýšeniu afterloadu a zároveň prebiehajúcim zmenám preloadu, ktoré sú podmienené pôsobením prítomných, v tomto prípade patologických skratov (FoA, PDA)<sup>(12, 24)</sup>.

Predčasne narodené dieťa musí tiež zápasiť s nezrelosťou všetkých orgánových systémov, so stavom preexistujúcim už vo vnútramaternicovom prostredí, ktorý viedol

k predčasnému pôrodu, musí sa vysporiadať s jatrogénnymi zásahmi v podobe exogénneho surfaktantu, ventilačnej podpory či podávania vazoaktívnych látok<sup>(12, 13)</sup>.



Obrázok 2: Prechod z fetálnej na neonatálnu cirkuláciu po narodení , uzatvorenie fetálnych skratov.

Dostupné na internete:

[http://faculty.spokanefalls.edu/InetShare/AutoWebs/GaryB/AP%20243/Unit%203/Human%20Fetal%20Circulation-Lymphatic%20System\\_files/frame.htm](http://faculty.spokanefalls.edu/InetShare/AutoWebs/GaryB/AP%20243/Unit%203/Human%20Fetal%20Circulation-Lymphatic%20System_files/frame.htm)

## 4 PRAKTICKÉ ASPEKTY TNE

### 4.1 ZÁKLADY REALIZÁCIE

#### 4.1.1 Všeobecné zásady

Pri aplikácii TNE v praxi je dôležité dodržiavať niekoľko zásad, aby bolo samotné TNE vyšetrenie prínosom a aby sa zabránilo zlej interpretácii jeho výsledkov.

1. Nerobiť terapeutické rozhodnutia len na základe TNE, vždy prihliadať aj ku klinickému stavu novorodenca a k ostatným parametrom (laboratórne, zobrazovacie).
2. Pri prvom vyšetrení je nevyhnutné vylúčiť závažnú štrukturálnu chybu srdca.

Prvé echokardiografické vyšetrenie novorodenca by malo zahŕňať úplné morfológické zhodnotenie srdca za účelom vylúčenia závažných vrodených chýb srdca, ktoré by v značnej miere mohli ovplyvniť hodnotenie hemodynamických zmien.

Pre neonatológa je nereálne dosiahnuť takú kvalitu vyšetrenia, akú majú pediatrickí kardiológovia v diagnostike štrukturálnych ochorení srdca, avšak môžeme argumentovať, že pre neonatológa vykonávajúceho echokardiografické vyšetrenie je dôležité uvedomiť si, čo je normálne a čo je abnormálne.

Posúdenie srdcovej štruktúry je založené na zhodnotení<sup>(25, 26)</sup>:

- polohy srdca v hrudnej dutine (visceroatriálny situs)
- systémového žilového návratu
- veľkosti a morfológie oboch predsiení, prípadne prítomnosti medzipredsieňového skratu
- predsieňovo–komorového prechodu (atrioventricular connection)- konkordancia
- morfológie oboch komôr, ich veľkosti
- medzikomorového septa
- pozície veľkých ciev (ventriculoarterial connection)
- prítomnosti PDA
- odstupov koronárnych ciev
- anatómie aortálneho oblúka
- prítomnosti prípadnej perikardiálnej tekutiny

Je žiaduce dodržiavať určitý štrukturovaný prístup pri každom echokardiografickom vyšetrení. Odporúča sa vykonať základné štandardné zobrazenia v určitom logickom slede, čo je záruka akejsi primitívnej samokontroly.

3. Pri nejasnom náleze je potrebné konzultovať detského kardiológa.

#### ***4.1.2 Technické požiadavky na vykonávanie TNE***

Všetky ultrazvukové systémy používané pre zobrazovanie novorodeneckého srdca by mali byť vybavené funkciou M–mode, 2D–dvojrozmerného a dopplerovského zobrazenia a výhodné je mať možnosť súbežne sledovať EKG krivku.

Zároveň je vhodné mať k dispozícii multifrekvenčné sondy tak, aby si vyšetrujúci mohol vybrať najlepšiu sondu v závislosti na veľkosti dieťaťa (multifrekvenčné sondy 5–12 MHz). Nastavenie systému by malo byť optimalizované na zobrazenie kardiovaskulárneho aparátu novorodencov a VLBWI.

### 4.1.3 Bezpečnostné požiadavky na vykonávanie TNE

Pri vyšetrení nestabilných novorodencov je potrebné dodržiavať určité osobité bezpečnostné opatrenia, aby nedošlo k prehĺbeniu kardiorepiračnej lability.

- ✓ Zachovanie integrity kože a zabezpečenie prevencie infekcií

Prevencia infekcie je veľmi dôležitá, pretože predčasne narodené deti majú nezrelý imunitný systém a tendenciu k narušeniu integrity kože. Prevencia infekcie sa riadi v zmysle prísneho dodržiavania bariérovej ošetrovacej techniky.

- ✓ Starostlivosť o udržiavanie telesnej teploty a termoneutrálneho prostredia

Pri vyšetrovaní by malo byť dieťa v teple a mala by byť sledovaná telesná teplota. Výhodné je pracovať v uzatvorenom inkubátore, bez zbytočného otvárania postranných stien a použiť sonografický gél zahriaty na teplotu tela pacienta, aby sa vylúčil vplyv priameho ochladenia kože.

- ✓ Kardiorepiračné monitorovanie

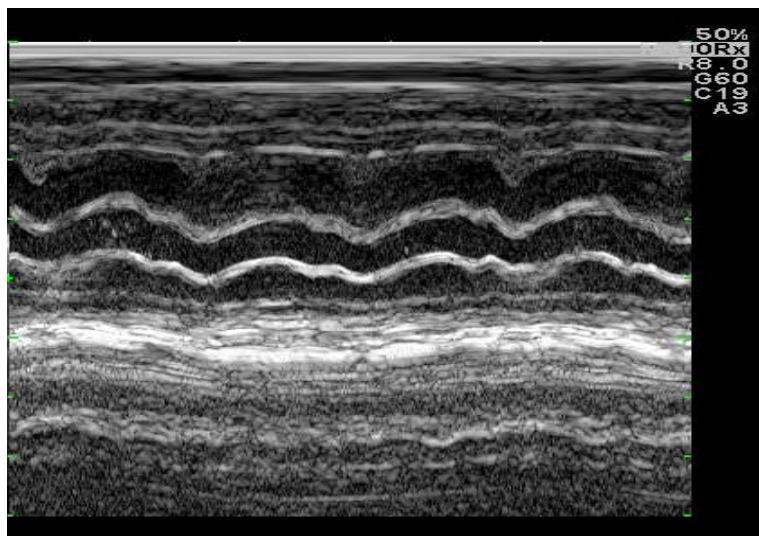
Predčasne narodení a kriticky chorí novorodenci – aj keď narodení v termíne – môžu byť veľmi nestabilní pri manipulácii. Nadmerné svetlo, tlak na brucho a hrudník môžu ovplyvňovať expanziu hrudníka a žilový návrat. Doba trvania vyšetrenia by mala byť minimalizovaná a to najmä u kriticky chorých detí .

## 4.2 ZÁKLADNÉ ECHOKARDIOGRAFICKÉ METÓDY

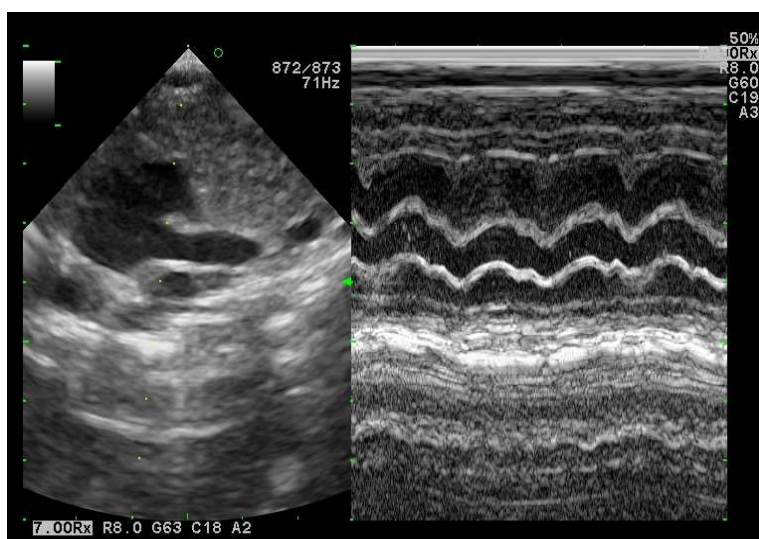
### *M-mode (jednorozmerné zobrazenie)*

- Princípom M- mode zobrazenia (M – z angl. motion, pohyb) je vysielanie jedného zväzku ultrazvukových impulzov, ktorého dráha pretína tkanivo srdca do hĺbky v určitej geometrickej rovine. Výsledné odrazené echá sa transformujú do stupňov šedi a premietajú sa na monitore v určitej hĺbke a čase. Každá zobrazená línia predstavuje jednu a tú istú štruktúru v danom reze, ale v rozličnom čase v priebehu srdcových cyklov. Na zázname je vertikálne hĺbka tkaniva a horizontálne čas (obrázok 3).
- Používa sa na meranie veľkosti srdcových dutín, hrúbky medzikomorovej prepážky a voľnej steny ľavej, prípadne pravej komory, a na meranie základných funkčných parametrov kinetiky myokardu a pohybu chlopňového aparátu.

- Výhodou je vysoká opakovacia frekvencia, ktorá umožňuje sledovať rýchle deje (pohyb srdcových chlopní) <sup>(27)</sup>.



Obrázok 3: M-mode zobrazenie (vlastné zdroje)



Obrázok 4: 2D zobrazenie v kombinácii s M-mode (vlastné zdroje)

### ***2D zobrazenie (dvojrozmerná echokardiografia)***

- Zobrazuje plošné rezy srdcom pri zachovaní pohybu jednotlivých štruktúr v tvare kruhovej výseče (obrázok 4).
- Dvojrozmerný obraz sa vytvára pomocou odrazených signálov vysielaných piezoelektrickými kryštálmi a elektronicky prevedenými do stupňov šedi s výsledným pohybom štruktúr v reálnom čase <sup>(27)</sup>.
- Multifrekvenčné sondy umožňujú kvalitné zobrazenie snímaných štruktúr v rôznych hĺbkach.

- Pre novorodenca je najvhodnejšia sonda s veľmi malou apertúrou a s vysielačou frekvenciou 5 – 10 MHz.

### ***Doppler***

- Dopplerovská echokardiografia využíva Dopplerov jav na funkčné hodnotenie pohybu tkanív (krvi, myokardu a chlopní).
- Ultrazvukové vlny s určitou presne definovanou vlnovou dĺžkou vysielať piezoelektrickým kryštálom proti pohybujúcemu sa objektu sa od neho odrazia so zmenenou vlnovou dĺžkou, ktorá je závislá od rýchlosti pohybu daného objektu. Rozdiel medzi frekvenciou vysielaťného a odrazeného vlnenia označujeme ako dopplerovský frekvenčný posun, z ktorého sa vypočíta rýchlosť pohybujúceho sa objektu.
- Pre praktické ultrazvukové vyšetrenie má veľký význam uhol snímání dopplerovských signálov a nastavenie tzv. incidenčného uhla (zameranie ultrazvukového lúča na os krvného prúdu). Ultrazvukový impulz musí smerovať proti alebo v smere toku krvi. Uhol snímání väčší ako 30° zaťažuje meranie významnou chybou. Uhlová korekcia, ktorú väčšina ultrazvukových prístrojov ponúka, by sa pri echokardiografickom vyšetrení nemala používať.
- Rozlišujeme *kontinuálnu dopplerovskú metódu*, ktorá využíva sondu s dvoma kryštálmi. Z nich jeden ultrazvukové vlnenie vysiela a druhý priebežne (kontinuálne) prijíma. Výhodou je možnosť registrácie tokov rôznych rýchlostí, nevýhodou je však snímání odrazených signálov v celej hĺbke šírenia ultrazvuku. Ďalšou metódou je *pulzná dopplerovská metóda*, ktorá je založená na princípe striedavého vysielaťnia a prijímania signálu jedným piezoelektrickým kryštálom. Výhodou je analýza malej vzorky rýchlostných zmien v mieste merania. Vzorkovací objem sa zameriava pomocou kurzora. Metóda je obmedzená len na menšie rýchlosti. *Farebné dopplerovské mapovanie* je metóda, ktorá pracuje na princípe pulzného dopplera, kde sa dopplerovský posun analyzuje a transformuje do farebného kódu tak, že informácia o frekvenčnom posune ultrazvuku odrazeného od krviniek smerujúcich k sonde je kódovaná v červenej farbe a pri pohybe krviniek od sondy v modrej farbe.

Vo všeobecnosti pulzný doppler (PW) používame k hemodynamickému hodnoteniu menej rýchlych tokov vo vybraných miestach (do 2m/s), kontinuálnu dopplerovskú metódu (CW) zase pri meraní vysokorýchlostných turbulentných tokov. Farebné dopplerovské

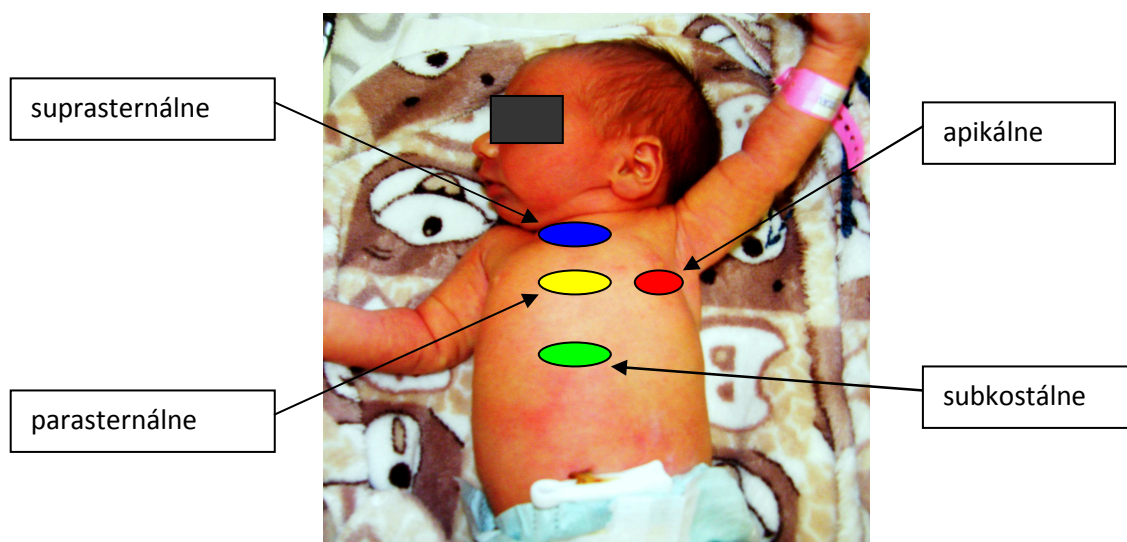


mapovanie (CFM) zobrazí toky krvi v srdci a v cievach, či už normálne alebo patologické, čím umožní presné zameranie kurzora pre PW a CW <sup>(27)</sup>.

#### 4.3 TRANSTORAKÁLNE PRÍSTUPY

Vzhľadom k tomu, že ultrazvukové vlny neprechádzajú vzduchom v pľúcach, srdce je pre ultrazvuk prístupné iba z miest, kde je málo alebo žiadny vzduch medzi snímačom a srdcom. Zlá kvalita ultrazvukového obrazu je často dôsledkom nesprávneho umiestnenia sondy, alebo je okno zakryté hyperexpandovanými pľúcami (emfyzém) pri chronickom pľúcnom ochorení alebo pneumothoraxe. Pri vyšetrení sa používajú 4 základné prístupy, tzv. ultrazvukové „okná“ (obrázok 5, tabuľka 3):

1. subkostálne
2. apikálne
3. parasternálne
4. suprasternálne



Obrázok 5: Transtorakálne prístupy (vlastné zdroje)



Pediatrický kardiológ konvenčne postupuje od subkostálneho okna. Tento prístup je však veľmi rušivý pre dieťa a preto pri TNE vyšetrení začíname od parasternálneho prístupu.

Tabuľka 3: Transtorakálne prístupy, popis polohy sondy a zobrazených štruktúr v jednotlivých rezoch.

<b>PRÍSTUP</b>		<b>POLOHA SONDY</b>	<b>ZOBRAZENÉ ŠTRUKTÚRY</b>
PARASTERNÁLNE	dlhá os	<ul style="list-style-type: none"> <li>- v oblasti dolnej tretiny sterna naľavo od stredovej čiary</li> <li>- ultrazvukové lúče smerujú k pravému ramenu</li> <li>- zárez na sonde je otočený k pravej strane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prierez ľavým srdcom</li> <li>- prierez pravým srdcom</li> <li>- pľúcnica (postupným jemným nakláňaním sondy)</li> </ul>
	krátka os	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ako predchádzajúce, ale sonda je zrotovaná v smere hodinových ručičiek</li> <li>- ultrazvukové lúče smerujú k ľavému ramenu</li> <li>- zárez na sonde smeruje k ľavému ramenu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aortálna chlopňa</li> <li>- pľúcnica</li> <li>- mitrálna chlopňa</li> <li>- papilárne svaly (postupným jemným nakláňaním sondy)</li> </ul>
SUPRASTERNÁLNE		<ul style="list-style-type: none"> <li>- tesne pod klavikulou naľavo od stredovej čiary</li> <li>- ultrazvukový lúč je v sagitálnej rovine</li> <li>- zárez na sonde smeruje hore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ascendentná aorta</li> <li>- pľúcnica</li> <li>- ductus arteriosus</li> <li>- aortálny oblúk (pomalým jemným otáčaním sondy v smere hodinových ručičiek)</li> </ul>
APIKÁLNE	dlhá os	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1-2cm po ľavou prsnou bradavkou</li> <li>- ultrazvukový lúč smeruje k pravému ramenu</li> <li>- zárez na sonde je vpravo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- výtokový trakt aorty</li> </ul>

	krátka os	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ako predchádzajúce, ale sonda je zrotovaná v protismere hodinových ručičiek</li> <li>- zárez na sonde smeruje dole a doprava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4-dutinový obraz</li> <li>- 5-dutinový obraz</li> </ul>
SUBKOSTÁLNE	longitudinálna rovina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pod processus xiphoideus v stredovej sagitálnej rovine</li> <li>- zárez na sonde smeruje hore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4-dutinový obraz</li> <li>- aorta</li> <li>- pľúcna chlopňa</li> </ul>
	transverzálna rovina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ako predchádzajúce, ale sonda je zrotovaná do transverzálnej pozície v protismere hodinových ručičiek</li> <li>- ultrazvukový lúč je nasmerovaný kraniálnym sklonom sondy hore „do srdca“ (sonda sklopená k brušnej stene)</li> <li>- zárez na sonde smeruje doľava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uloženie orgánov v dutine brušnej</li> <li>- poloha aorty a dutej žily vzhľadom k stredovým štruktúram (stavce hrudnej chrbtice)</li> </ul>

## 5 MERANIA A ICH INTERPRETÁCIA

### 5.1 MARKERY KOMOROVEJ FUNKCIE

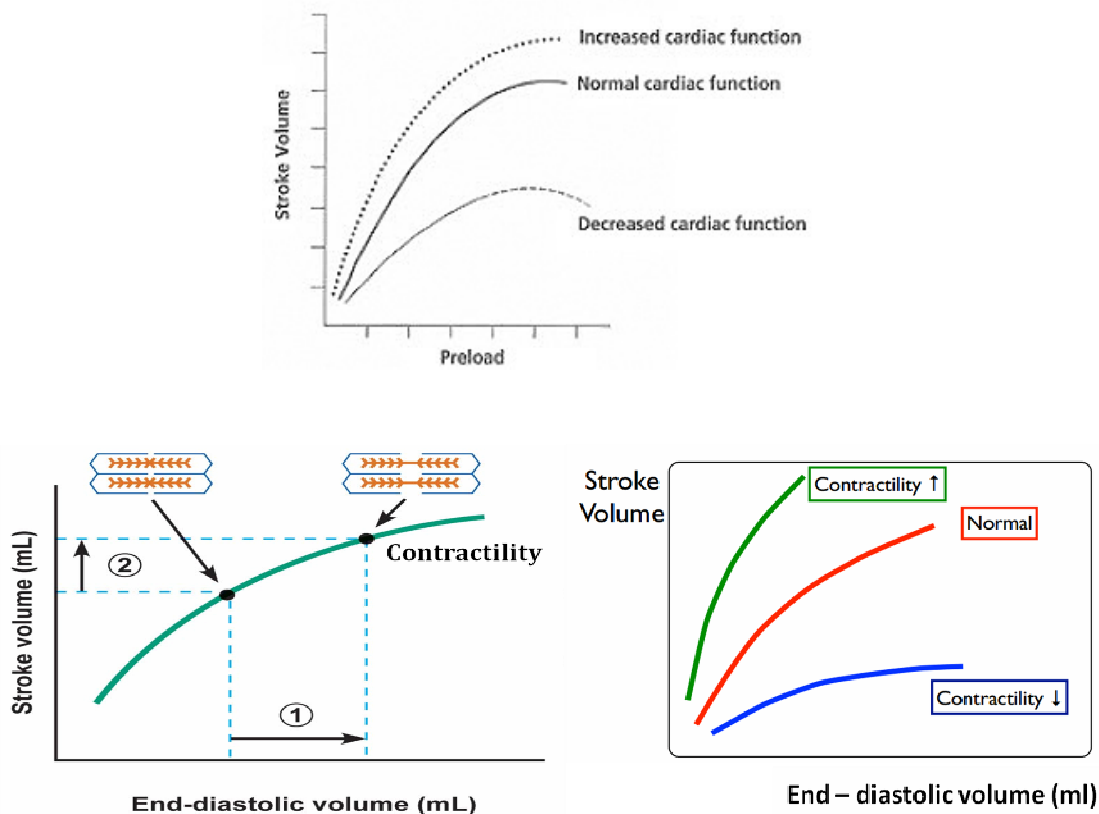
Komorová funkcia je postnatálne ovplyvňovaná rôznymi procesmi (hypoxia, sepsa, hemolytická choroba novorodenca, PPHN, prechodné tachypnoe novorodenca...). Funkciu srdca modifikujú aj terapeutické intervencie, či už cielene alebo neúmyselne. V porovnaní s dospelými je však veľmi ťažké funkciu srdca u novorodencov, obzvlášť u nezrelých, monitorovať. Akcia srdca a tlak krvi vôbec nevypovedá o funkčnej zdatnosti srdca. Dysfunkčné srdce môže byť tachykardické, bradykardické ale rovnako aj normokardické. Kardiálna funkcia u hypotenzného dieťaťa môže byť deprimovaná, normálna, dokonca až hyperdynamická <sup>(28)</sup>.

#### 5.1.1 Systolická funkcia

Väčšina z toho, čo je známe o funkcii srdcovej komory u novorodenca, sa týka systolickej fázy, aj keď obe (systola a diastola) sú dôležité. Technicky je oveľa jednoduchšie posúdiť funkciu ľavej komory než pravej, a to vďaka tvaru komorovej dutiny.

Myokardiálna srdcová funkcia (miera skrátenia srdcových svalových vlákien, kontraktilnosť) a minutový srdcový výdaj CO (cardiac output) nie sú synonymá. Srdcový výdaj je výsledkom vývrhového objemu SV (stroke volume) a frekvencie srdca, pričom SV je determinované myokardiálnou funkciou a veľkosťou komory, ktoré sú ovplyvnené preloadom a afterloadom. Tak napríklad miera skrátenia svalových vlákien môže byť úplne normálna aj pri nízkom CO, a to pri hypovolémii (nízky preload), kedy adekvátny terapeutický zásah predstavuje objemová terapia a nie podanie inotropných látok. Kontraktilnosť je ovplyvnená frekvenciou srdca a metabolickými či farmakologickými faktormi. Komorová funkcia (schopnosť kontrakciou vypudiť daný vývrhový objem) je vzhľadom ku kontraktilnosti ovplyvňovaná preloadom a afterloadom podľa Frank-Starlingovho zákona (obrázok 6).

Myokardiálna funkcia a minutový vývrhový objem srdca sa hodnotí izolovane, aby sme mohli dostať skutočný obraz o hemodynamickom stave.



Obrázok 6: Frank-Starlingov zákon (stroke volume – vývrhový objem, preload – end-diastolické plnenie komory). Vzťah medzi vývrhovým objemom a objemom na konci diastoly u normálneho a zlyhávajúceho srdca. Dostupné na:

[http://droualb.faculty.mjc.edu/Course%20Materials/Physiology%20101/Chapter%20Notes/Fall%202011/chapter\\_13%20Fall%202011.htm](http://droualb.faculty.mjc.edu/Course%20Materials/Physiology%20101/Chapter%20Notes/Fall%202011/chapter_13%20Fall%202011.htm)

#### 5.1.1.1 Systolická funkcia ľavej komory

Hemodynamická nestabilitosť u novorodencov je veľmi často spôsobená dysfunkciou ľavej komory, a teda hodnotenie systolickej funkcie ľavej komory je základnou zložkou TNE.

Hoci subjektívne kvalitatívne posúdenie systolickej funkcie ľavej komory („eyeballing“) je pomerne jednoduché, je zaťažené interobservačnou a intraobservačnou variabilitou. Uprednostňujú sa preto kvantitatívne vyšetrenia založené na posúdení veľkosti ľavej komory. Rozmery ľavej komory sa získavajú pomocou M-mode alebo 2D zobrazenia <sup>(29)</sup>.

M-mode zobrazenie má lepšie časové rozlíšenie, čo môže byť výhoda pri vysokej frekvencii srdca, ale horšie priestorové rozlíšenie. 2D zobrazenie má naopak lepšie

priestorové, ale slabšie časové rozlíšenie. Normálne hodnoty pre rozmery ľavej komory u zrelých a nezrelých detí boli už publikované<sup>(30, 31, 32, 33)</sup>.

Zväčšený rozmer ľavej komory na konci diastoly (enddiastolický) naznačuje buď objemové preťaženie (v prípade skratu alebo regurgitácie na úrovni chlopní), alebo môže byť príznakom dysfunkcie ľavej komory v prípade dilatačnej kardiomyopatie, myokarditídy, ischemie... Ku zhrubnutiu steny ľavej komory môže dôjsť pri tlakovom preťažení alebo je to následok infiltratívneho ochorenia.

Globálne posúdenie systolickej funkcie ľavej komory je všeobecne založené na geometrickej kvantifikácii buď meraním miery skrátenia (FS – fractional shortening), alebo výpočtom ejekčnej frakcie (EF – ejection fraction) minimálne počas 3- 5 srdcových cyklov<sup>(29)</sup>.

U novorodencov, najmä predčasne narodených, s vysokou srdcovou frekvenciou a súčasne s pridruženým ochorením respiračného systému, môže byť pri vyšetrení výhodou použitie M-mode. Využitie merania SF, či už 2D, alebo M-mode zobrazením je limitované paradoxnými pohybmi medzikomorovej prepážky v dôsledku vplyvu zväčšenej pravej komory s relatívne vysokým tlakom. Pri interpretácii FS a meraní EF treba brať do úvahy aj vplyv preloadu a afterloadu. V prípade abnormálneho pohybu septa alebo abnormálnej geometrie komôr sa na meranie EF ľavej komory používajú iné (trojrozmerné) techniky objemovej kvantifikácie.

Novšie funkčné echokardiografické techniky vrátane **tkanivového doplerovského** vyšetrenia boli v poslednom čase študované u novorodencov, ale je potrebná ďalšia validácia a metodologické vylepšenia pred ich odporúčením pre použitie v bežnej klinickej praxi<sup>(34, 35)</sup>.

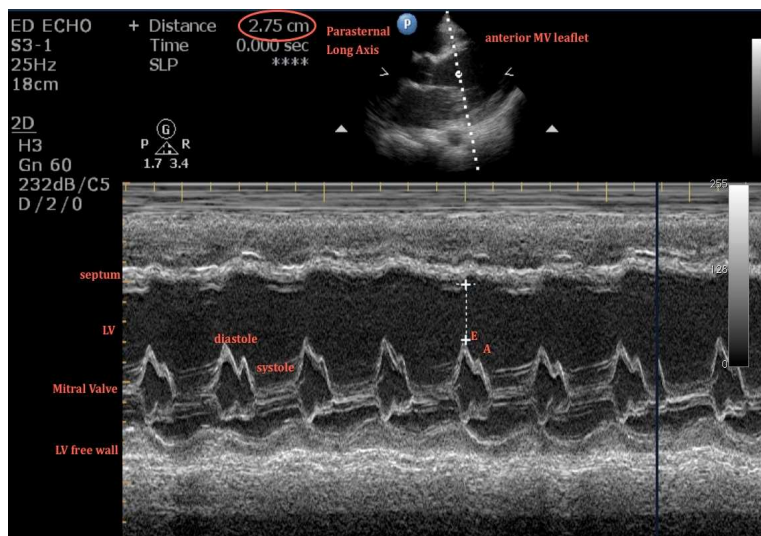
#### 5.1.1.1.a M-mode

Vyšetrenie systolickej funkcie pri TNE je založené na jednorozmernej (M-mode) echokardiografii (umožní posúdiť myokardiálnu funkciu) a doplerovskej echokardiografii (umožní posúdiť a vypočítať srdcový výdaj).

##### **M-mode:**

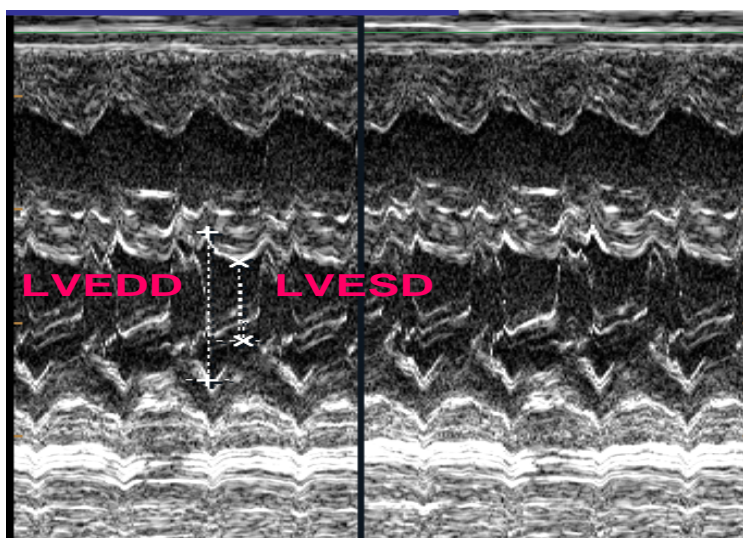
- pozícia sondy: parasternálna dlhá os (umožňuje hodnotiť ľavú predsieň, mitrálnu chlopňu, ľavú komoru a aortálnu chlopňu), pričom ultrazvukový lúč je vedený na úrovni špičky mitrálnej chlopne, kolmo na dlhú os komory (obrázok 7).
- merané parametre: hrúbka septa (IVSS), vnútorný rozmer ľavej komory (**LVESD**), hrúbka zadnej steny (PWDS) na konci systoly a hrúbka septa (IVSD), vnútorný

rozmer ľavej komory (**LVEDD**) a hrúbka zadnej steny (PWDD) na konci diastoly (obrázok 8), čas ejekcie ĽK (**LVET**) – čas od uzavretia po otvorenie mitráľnej chlopne v sekundách (obrázok 9).

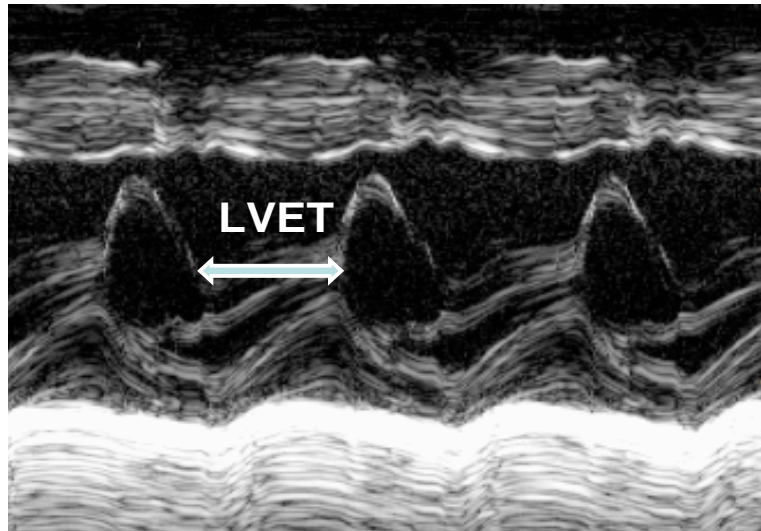


Obrázok 7: M-mode zobrazenie v parasternálnej dlhej osi zachytáva ľavú predsieň, mitráľnu chlopňu, ľavú komoru a aortálnu chlopňu, ultrazvukový lúč je vedený na úrovni špičky mitráľnej chlopne kolmo na dlhú os komory.

Dostupné na: [http://www.em.emory.edu/ultrasound/ImageWeek/fun\\_with\\_m-mode.html](http://www.em.emory.edu/ultrasound/ImageWeek/fun_with_m-mode.html)



Obrázok 8: M-mode zobrazenie – meranie vnútorných rozmerov ľavej komory na konci diastoly a na konci systoly (LVEDD – rozmer ĽK na konci diastoly, LVESD – rozmer ĽK na konci systoly) (vlastné zdroje)



Obrázok 9: M-mode zobrazenie – meranie ejekčného času ľavej komory (LVET – ejekčný čas ľavej komory – čas od uzavretia do otvorenia mitrálnej chlopne), dostupné na: <http://www.slideshare.net/MCH-org-ua/functional-echocardiography-targeted-neonatal-echocardiography-tne-point-of-care-echocardiography-poct-echo>

Z uvedených nameraných parametrov vypočítame (tabuľka 4):

- **FS – fractional shortening** (frakčné skrátenie), ktoré je ovplyvnené kontraktilnosťou myokardiálnej steny a závisí od preloadu a afterloadu.

$$FS (\%) = (LVEDD - LVESD) / LVEDD \times 100\%$$

Normálne hodnoty: u term 25 – 41%

u preterm 23 – 40%

Je to najlepšie reprodukovateľné meranie, závisí však na správnej pozícii sondy a kolmom priebehu ultrazvukového lúča (ak prebieha šikmo – meranie je nadhodnotené). U nezrelých novorodencov však môže byť ovplyvnené aj abnormálnymi pohybmi septálnej steny v dôsledku pravostrannej prevahy.

- **mVcf – mean velocity of circumferential fibre shortening** (stredná rýchlosť skrátenia obvodových svalových vlákien) ponúka taktiež veľmi dobre reprodukovateľnú alternatívu merania myokardiálnej kontraktilnosti.

$$mVcf = (LVEDD - LVESD) / LVEDD \times LVET$$

LVET – left ventricular ejection time (od uzavretia po otvorenie mitrálnej chlopne)

Normálne hodnoty:  $1.5 \pm 0.04$  circumferences / s

Rovnako ako FS je aj mVcf závislá od objemu ľavej komory a môže sa meniť s frekvenciou srdca. Využíva sa preto mVcf korigovaná frekvenciou srdca podľa vzorca

$$cVcf = mVcf / \sqrt{R-R}$$

- **SV – stroke volume** (vývrhový objem) kalkulovaný pomocou meraní M-mode.

Málo sa však využíva u novorodencov vzhľadom k tomu, že ľavá komora je deformovaná dominantnou pravou komorou

$$SV = LVEDD^3 - LVESD^3$$

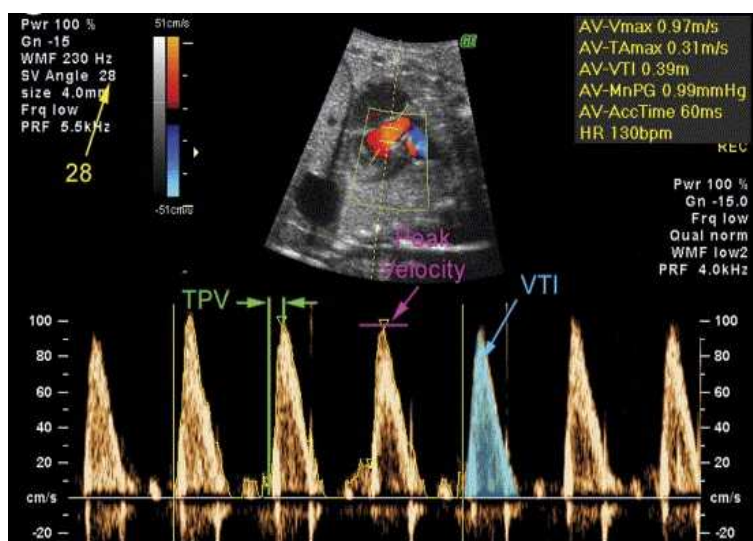
- **EF – ejection fraction** (ejekčná frakcia - frakcia objemu komory vyvrhnutá počas systoly do obehu).

$$EF = SV / LVEDD^3 = (LVEDD^3 - LVESD^3) / LVEDD^3 \times 100\%$$

Tieto výpočty (SV, EF) sú však výrazne zaťažené chybou, keďže všetky namerané parametre sa umocňujú na tretiu.

#### 5.1.1.1.b Doplerovská echokardiografia

Systolickú funkciu môžeme doplerovsky hodnotiť dvoma spôsobmi: meraním SV a CO. Princíp spočíva v meraní rýchlostne časového integrálu (VTI) a v hodnotení rýchlostnej charakteristiky ejekcie ľavej komory, z ktorej môžeme získať niekoľko parametrov: trvanie preejekčnej fázy (PET – preejection time), akceleráciu (TPV – time to peak velocity) a vrcholovú ejekčnú rýchlosť (PV- peak velocity) (obrázok 10). Bližšie v kapitole 5.4.



Obrázok 10: Dopplerovské meranie pomocou PW (VTI – velocity time integral – rýchlostne časový integrál, TPV – time to peak velocity – čas na dosiahnutie maximálnej rýchlosti, PV – peak velocity- vrcholová rýchlosť) (DeVore GR, 2005).



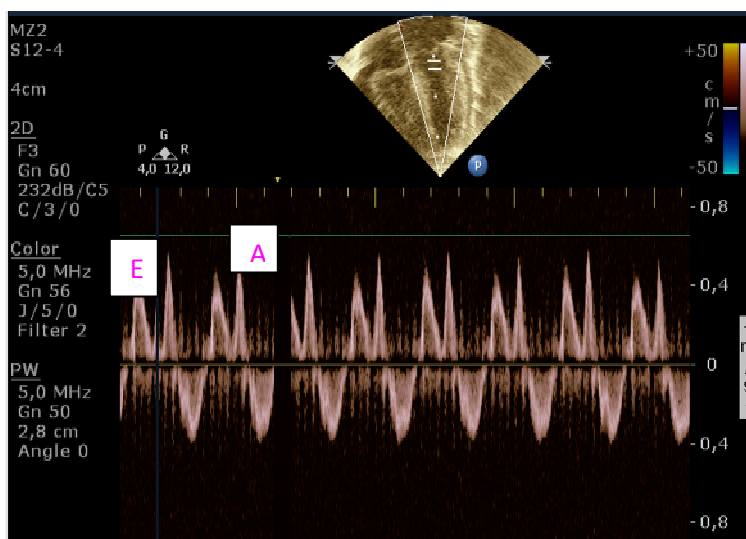
### 5.1.1.2 Systolická funkcia pravej komory

Vzhľadom k nepravidelnosti tvaru a uloženia pravej komory neexistuje vo funkčnej echokardiografii jednoducho použiteľný parameter, ktorý by reprezentoval jej funkciu okrem MPI (myocardial performance index), viď kapitolu 5.1.3.

### 5.1.2 Diastolická funkcia

Na rozdiel od systolickej dysfunkcie je vplyv diastolickej dysfunkcie na novorodeneckú hemodynamiku menej jasný a pomocou echokardiografie ťažšie definovateľný. Hodnotenie diastolickej funkcie je obmedzené a založené predovšetkým na *analýze prietokových kriviek na mitrálnej chlopni*, teda na analýze plnenia ľavej komory pomocou dopplerovského merania <sup>(36, 37, 38, 39)</sup>.

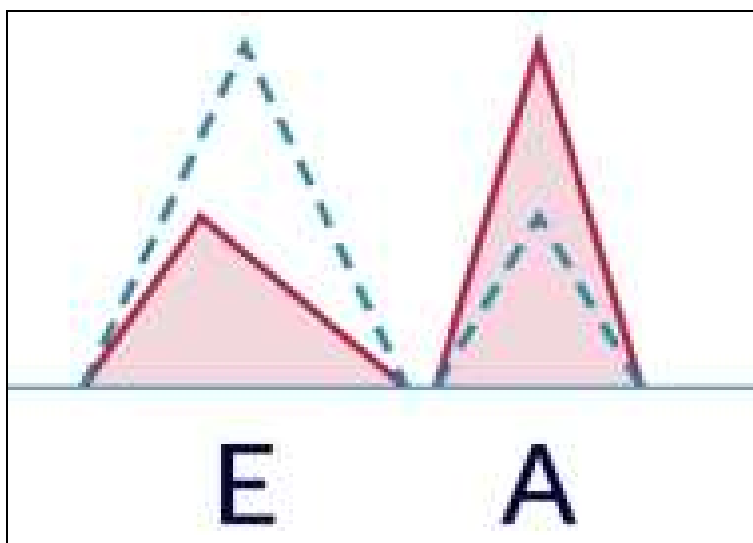
Plnenie má 2 fázy: včasné (pasívne plnenie komory - vlna E) a neskoré (plnenie pri kontrakcii predsiení - vlna A) (obrázok 11). Hodnotí sa maximálna rýchlosť vln, plochy pod krivkou, pomery rýchlostí a plôch a časové intervaly.



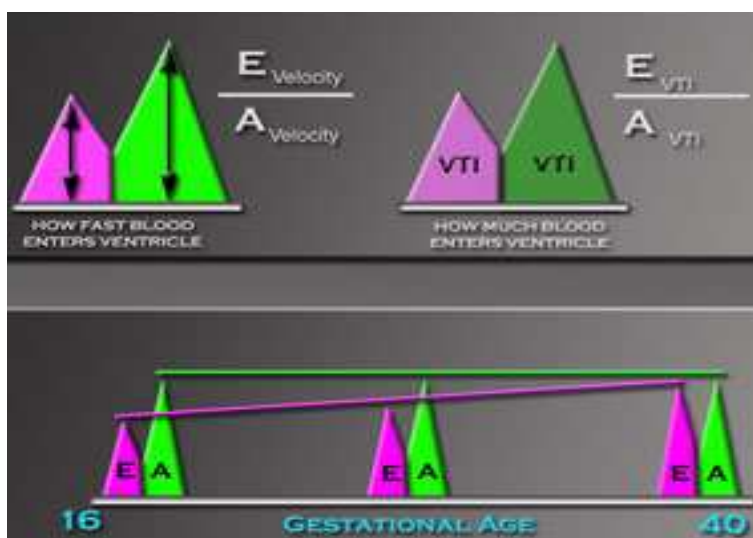
Obrázok 11: Prietoková krivka na mitrálnej chlopni (včasné pasívne diastolické plnenie komory – vlna E a neskoré plnenie pri kontrakcii predsiení - vlna A) (vlastné zdroje)

U zrelých novorodencov sú pozorované významné zmeny na prietokových krivkách počas prvých dní a týždňov života. Počas prvého týždňa dochádza k postupnej zmene z fetálneho typu diastolického plnenia, kde väčší podiel predstavuje plnenie počas predsieňovej kontrakcie (obrázok 12), na zrelý typ plnenia s väčším podielom včasného plnenia. Táto zmena je charakterizovaná postupným nárastom rýchlosti E - vlny, zvýšením

E/A pomeru a zväčšením frakcie skorého plnenia. U predčasne narodených detí je táto zmena zjavnejšia (obrázok 13)<sup>(40)</sup>.



Obrázok 12: Fetálny typ pomeru fáz diastolického plnenia komôr (E a A vlny) – dominuje vlna A

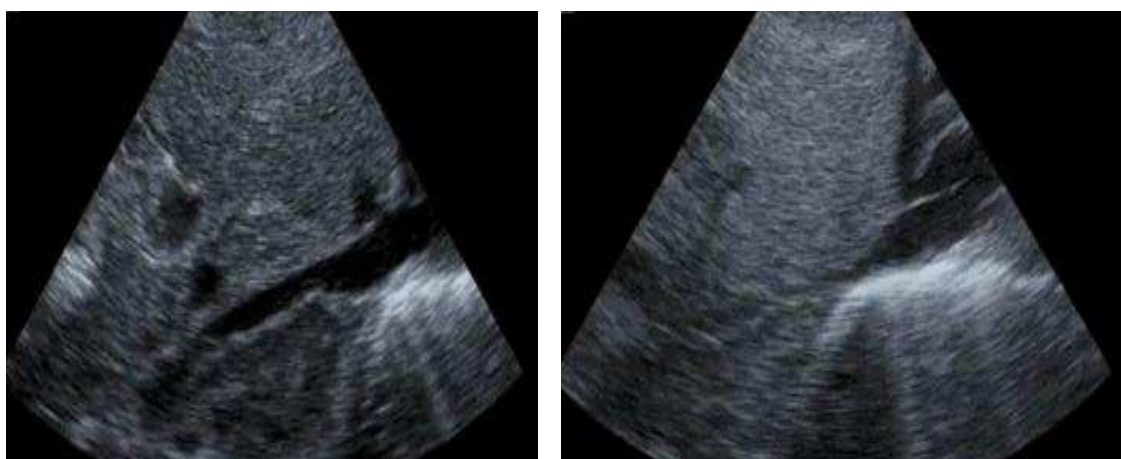


Obrázok 13: Zmeny pomeru E/A na prietokovej krivke cez mitrálnu chlopňu v závislosti od gestačného veku. Dostupné na: <http://www.fetal.com/FetalEcho/06%20Pulsed.html>

Pri vysokej frekvencii srdca sa však často vlny E a A nedajú rozlíšiť. Taktiež je problematické ich hodnotenie pri prítomnosti PDA, pretože zvýšený prietok pľúcami zvyšuje plniaci tlak v ľavej predsieni a tým zvyšuje aj rýchlosť toku krvi cez mitrálnu chlopňu počas včasného plnenia (vlna E).

Neinvazívne hodnotenie objemu cirkulujúcej tekutiny a plniacich tlakov by bolo nesmierne prospešné pre optimalizáciu tekutinového manažmentu u novorodenca. Je to však veľmi obtiažne. Posúdenie plnenia vena cava inferior (obrázok 14) („eyeballing“) je použiteľné ako náhrada a do istej miery vypovedá o objemovom statuse avšak iba u spontánne dýchajúceho dieťaťa. Jeho hodnotenie je problematické u novorodenca na umelej pľúcnej ventilácii pozitívnym tlakom.

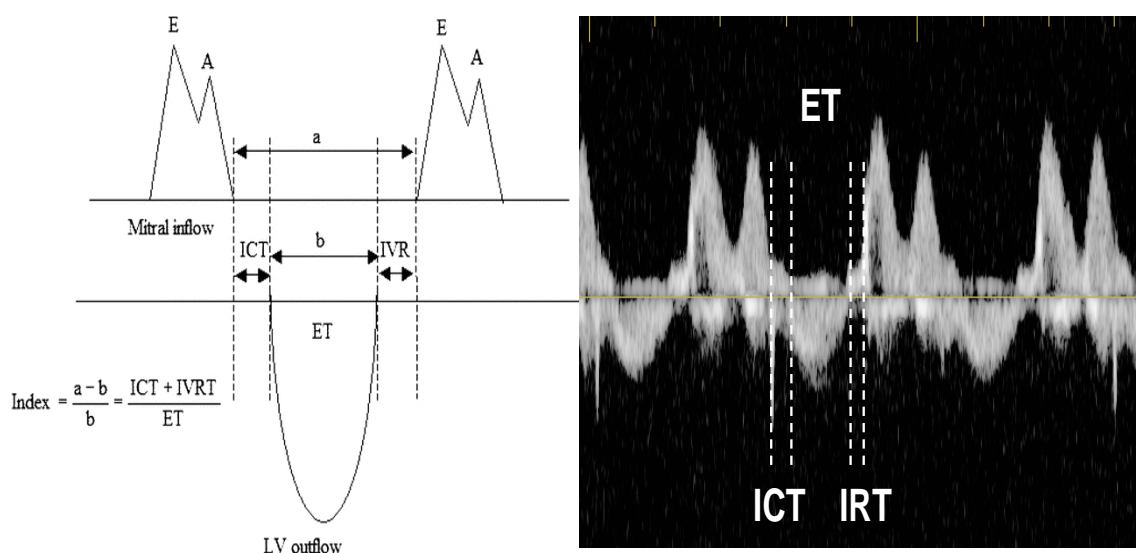
Aj keď posúdenie diastolickej funkcie a plniacich tlakov by v ideálnom prípade malo byť súčasťou TNE, v súčasnej dobe neexistujú dostatočné údaje pre použitie ich merania v klinickej praxi.



Obrázok 14: Vena cava inferior – plnenie (vľavo primerané – po podaní tekutinového bolusu, vpravo nedostatočné). Dostupné na: <http://www.neonatalechoskills.com/EstimationOfPreload.html>

### 5.1.3 Systolicko – diastolická funkcia

**MPI – myocardial performance index** (Tei index), je ukazovateľom globálnej funkcie komory. Vychádza z meraní časových intervalov. Pri systolicko-diastolickej dysfunkcii sa predlžuje izovolumický kontrakčný a relaxačný čas, skracuje sa ejekčný čas a vzrastá hodnota MPI (obrázok 15). Normálne hodnoty MPI sú 0,24-0,36<sup>(41)</sup>. Nevýhodou MPI je, že je nešpecifický pokiaľ ide o abnormality systolickej alebo diastolickej funkcie jednotlivo a je ovplyvnený preloadom a afterloadom<sup>(42)</sup>. Jeho použitie je obmedzené pri hodnotení hemodynamicky nestabilných detí. Okrem toho reprodukovateľnosť MPI pri tachykardii nie je overená.



Obrázok 15: Meranie systolicko-diastolickej funkcie komory (ICT - izovolumický kontrakčný čas, IRT alebo IVRT - izovolumický relaxačný čas, ET - ejekčný čas) (voľne prevzaté: Pediatric Research (2008) 64, 205–209; doi:10.1203/PDR.0b013e318176182b)

Tabuľka 4: Markery TNE na posúdenie komorovej funkcie (FS- fractional shortening, mVcf-mean velocity of circumferential fibre shortening, EF- ejection fraction, E – včasné diastolické plnenie, A- neskoré diastolické plnenie, MPI – myocardial performance index, LVEDD –left ventricular end-diastolic diameter, LVESD –left ventricular end-systolic diameter, LVET- left ventricular ejection time, ICT - izovolumický kontrakčný čas, IRT - izovolumický relaxačný čas, ET - ejekčný čas)

	prístup	metodika	výpočet	hodnoty
FS	parasternálny (dlhá os)	M-mode  na komorové septum)	$(\text{LVEDD}-\text{LVESD})/\text{LVEDD} \times 100$	term: 25-41% preterm: 23-40%
mVcf			$(\text{LVEDD}-\text{LVESD})/\text{LVEDD} \times \text{LVET}$	1,5 +/- 0,4 circum/s
EF			$(\text{LVEDD}^3-\text{LVESD}^3)/\text{LVEDD}^3 \times 100$	50-75%
E/A	apikálny (4-dutinový)	PW	pomer PV vlny E a vlny A	term: 1,1:1 (< 0,7:1) preterm: 1:1 (< 0,6:1)
MPI			$(\text{ICT} + \text{IVRT}) / \text{ET}$	0,25-0,38 (> 0,38)

## 5.2 HODNOTENIE SKRATOV

Kľúčovou komponentou TNE je aj hodnotenie intrakardiálnych a extrakardiálnych skratov a ich vplyvu na hemodynamickú a respiračnú instabilitnosť.

### 5.2.1 Skraty na úrovni predsieni

Posúdenie skratu cez predsieňové septum (cez foramen ovale apertum alebo atriálny septálny defekt - ASD) je požadovanou súčasťou TNE <sup>(43)</sup>.



Obrázok 16: Intaktné predsieňové septum zo subkostálneho 4-dutinového prístupu (vlastné zdroje)

Správna interpretácia dopplerovského vyšetrenia interatriálnych skratov je podmienená znalosťou tlakových pomerov v oboch predsieňach a ich rozdielov počas srdcového cyklu.

U novorodenca je za normálnych okolností tlak v ľavej predsieni vyšší ako v pravej, takže v prítomnosti septálneho defektu je prítomný *ľavo-pravý skrat*. V tranzitórnej perióde je normálny aj tzv. *bidirektný, obojsmerný skrat*, kedy krátkodobo počas komorovej diastoly srdcového cyklu (30% cyklu) tlak v pravej predsieni prevýši tlak v ľavej a krv tečie sprava doľava. Tento jav je spôsobený tým, že mitrálna chlopňa sa počas diastoly otvorí skôr ako trikuspidálna <sup>(44)</sup> a toto oneskorenie má za následok, že tlak v ľavej predsieni začne klesať o niečo skôr ako v pravej. Čistý *pravo-ľavý skrat* je abnormálny a po vylúčení vývojovej chyby srdca znamená zvýšený plniaci tlak v pravej predsieni, ktorý je často spojený

s pľúcnou hypertenziou alebo hypertrofiou pravej predsieni. Predsieňové septum sa najlepšie zobrazuje zo subkostálneho 4- dutinového prístupu (obrázok 16).

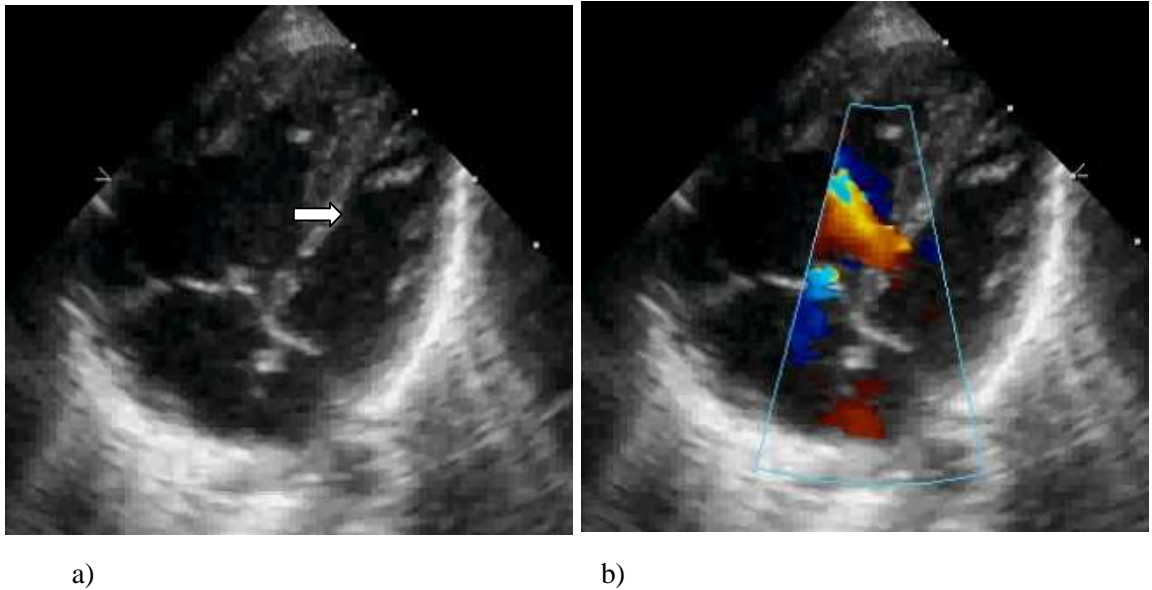
Farebné dopplerovské zobrazenie sa používa na vizualizáciu skratu a smeru toku krvi cez skrat. Ľavo-pravý predsieňový skrat sa pri farebnom mapovaní zobrazuje ako oranžový tok smerujúci k sonde, pravo-ľavý zase ako modrý smerujúci od sondy. Rýchlosť toku krvi cez predsieňový skrat je pomerne nízka. Pohybuje sa v rozmedzí 0.2 – 0.5 m/s. Po zameraní miesta predsieňového skratu farebným dopplerom sa do miesta skratu vloží kurzor vzorkovacieho objemu a zmeria sa rýchlosť toku krvi cez skrat. Niekedy sa môžu v danom mieste objaviť zmiešané farby počas rovnakej fázy srdcového cyklu, ktoré je dané prítomnosťou toku krvi z vena cava superior do pravej predsieni a sonograficky imituje ľavo-pravý skrat.

Dopplerovské vyšetrenie atriálneho skratu má svoje obmedzenia. Bez farebného mapovania sa dá identifikovať a hodnotiť len veľký predsieňový defekt pomocou PW vložení kurzora vzorkovacieho objemu priamo do miesta foramen ovale, ktorý zachytí typický prietokový vzor. Malý defekt sa však použitím tejto metódy môže veľmi ľahko prehliadnuť. Meranie rýchlosti toku krvi cez prípadný atriálny septálny defekt je obmedzené dvoma faktormi. Smer toku cez skrat je nepredvídateľný a tým aj korekcia veľmi nepresná, takže meranie vrcholovej rýchlosti cez skrat je zaťažené chybou, ktorú však minimalizuje použitie farebného dopplerovského mapovania. Napriek tomu treba takto namerané vrcholové rýchlosti považovať len za približné. Druhým obmedzením je, že tok cez skrat má tendenciu byť turbulentný, a tak je meranie vrcholových rýchlostí nepresné <sup>(45)</sup>.

### 5.2.2 Skraty na úrovni komôr

Komorový septálny defekt je dobre hodnotiteľný z parasternálneho prístupu v krátkej osi (obrázok 17). Tok cez defekt sa pri farebnom mapovaní najčastejšie zobrazuje ako úzky prúd vždy zľava doprava. Rýchlosť toku je vysoká a je dôsledkom toho, že tlak v pravej komore je oveľa nižší ako v ľavej. Vrcholová rýchlosť toku krvi cez defekt medzi ľavou srdcovou komorou a pravou komorou je 5 m/s. Pomocou modifikovanej Bernoulliho rovnice ( $\Delta p = 4 v^2$ ) vieme vypočítať rozdiel tlakov. Tlak v pravej komore teda musí byť približne o 100 mmHg nižší ako v ľavej komore.

Platí užitočné pravidlo: vrcholová rýchlosť ľavo-praveho skratu väčšia ako 4 m/s takmer vždy znamená normálny tlak v pľúcnej artérii, zatiaľ čo rýchlosť menšia ako 3 m/s znamená zvýšený pľúcny arteriálny tlak <sup>(45)</sup>.



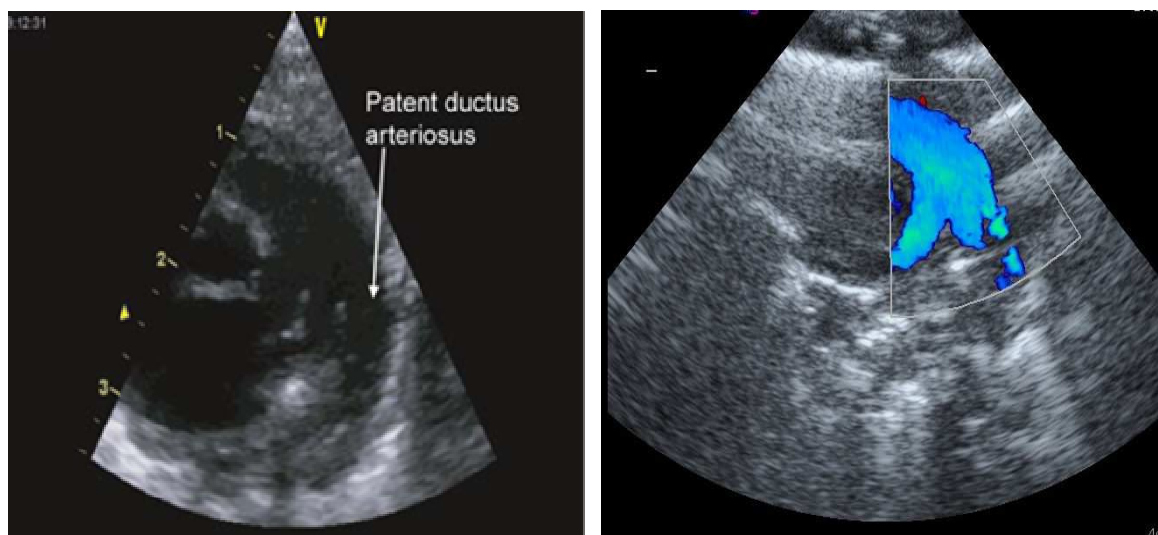
Obrázok 17: Parasternálny prístup - krátka os, 4-dutinový obraz na hodnotenie intaktnosti komorového septa. a) 2D ventrikuloseptálny defekt (šípka); b) farebné dopplerovské mapovanie – oranžový ľavo-pravý tok cez defekt (vlastné zdroje)

### 5.2.3 Skrat cez ductus arteriosus Botalli

Hodnotenie veľkosti Botalovho duku, smeru toku a tlakového gradientu cez perzistujúci duktus sú dôležitou súčasťou každého cieleného echokardiografického vyšetrenia novorodenca.

PDA (perzistujúci ductus arteriosus) je možné vizualizovať z 3 prístupov: cez subkostálny, modifikovaný parasternálny, tzv. „duktálny“ (obrázok 18) a suprasternálny prístup pomocou štandardnej vysokofrekvenčnej ultrazvukovej sondy. Výhodná je neutrálna pozícia hlavičky dieťaťa, prípadne podloženie ramienok. Z modifikovaného parasternálneho a suprasternálneho okna je možné zároveň vylúčiť významnú koarktáciu aorty zhodnotením distálneho aortálneho oblúka.

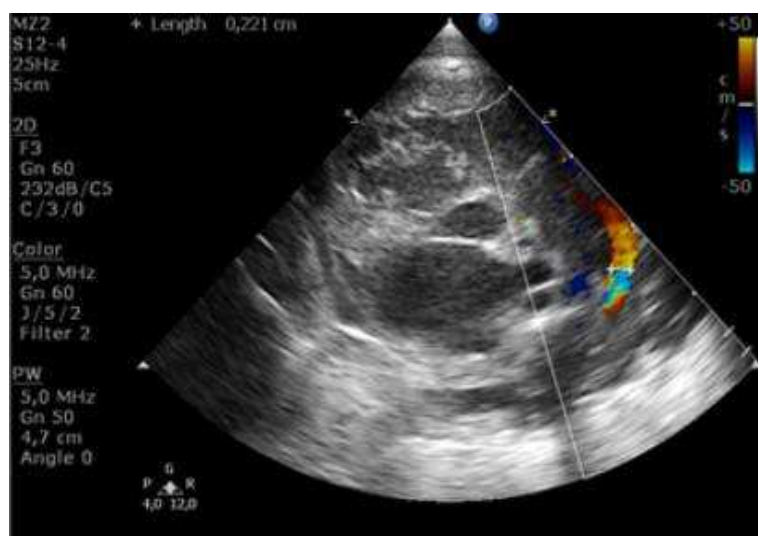




Obrázok 18: „Duktálne“ okno – vizualizácia PDA (obraz „trojnožky“) – vľavo 2D zobrazenie, vpravo farebné dopplerovské mapovanie.

Dostupné na: <http://www.neonatalechoskills.com/AssessPPHN.html>

Veľkosť duktus sa meria v najužšom mieste, čo je zvyčajne pulmonálny koniec duktus (obrázok 19).



Obrázok 19: Meranie diametra duktus pomocou farebného dopplerovského mapovania v najužšom mieste duktus (pulmonálny koniec) (vlastné zdroje)

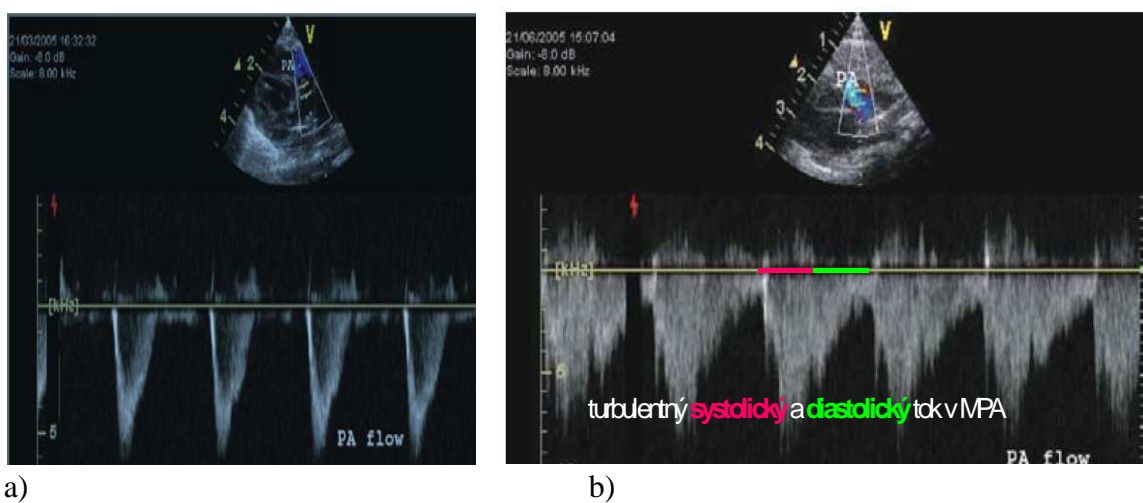
Farebné dopplerovské mapovanie uľahčuje vizualizáciu PDA a umožňuje vyhodnotenie smeru toku krvi cez duktus, ktorý odráža rozdiel tlakov v aorte a pľúcnici a relatívnu rezistenciu v pľúcnom a systémovom obeh.

Normálne je prítomný ľavo-pravý skrat, ktorý spôsobuje diastolický spätný tok v brušnej aorte. Stupeň reverzného diastolického toku v descendentnej aorte poskytuje



informácie o veľkosti ľavo-pravého skratu cez duktus <sup>(46)</sup>. O prítomnosti otvoreného duktu svedčí aj turbulentný tok v kmeni pľúcnice.

Zhodnotenie prietokového vzorca na pľúcnici je metóda pomerne jednoduchá a presná, aj keď poskytuje informácie len o prítomnosti duktu a nie o jeho významnosti <sup>(47)</sup>. V normálnom prietokovom vzorci v kmeni pľúcnej artérie (obrázok 20a) je prítomná len minimálna turbulencia, zatiaľ čo v prípade otvoreného duktu je tento vzorec charakterizovaný práve turbulentným tokom (obrázok 20b), ktorého stupeň závisí od veľkosti duktu.



Obrázok 20: Prietokový vzorec v kmeni pľúcnice (a- laminárny, b- turbulentný) (vlastné zdroje)

### 5.3 HODNOTENIE TLAKU V A. PULMONALIS

Pravo-ľavý intrakardiálny skrat a toky krvi v oboch obehoch sa odrážajú aj na tlaku v pľúcnici. Existujú tri nepriame echokardiografické metódy pre posudzovanie tohto tlaku <sup>(45)</sup>.

1. vrcholová rýchlosť toku na insuficientnej trikuspidálnej chlopni
2. rýchlosť toku cez duktálny skrat
3. meranie času zrýchlenia toku v kmeni pľúcnice

Každá z týchto metód má svoje výhody a nevýhody, preto sa pri meraní používa viac spôsobov ako krížová kontrola.

Meranie rýchlosti toku cez insuficientnú trikuspidálnu chlopňu alebo cez duktálny skrat s následným použitím modifikovanej Bernoulliho rovnice sú metódy veľmi presné, avšak obe sú obmedzené skutočnosťou, že u cca 50% detí nie je prítomný TI a nie je prítomný ani duktálny skrat. Použitie času akcelerácie v pľúcnici je menej presná metóda, ale sa dá merať u všetkých detí.

**Bernoulliho rovnica** definuje vzťah rýchlosti prúdenia tekutiny medzi dvoma dutinami a tlakového spádu medzi týmito dutinami. Zväčšovanie rýchlosti prúdenia tekutiny vo vodorovnej trubici môže spôsobiť len rozdielny tlak.

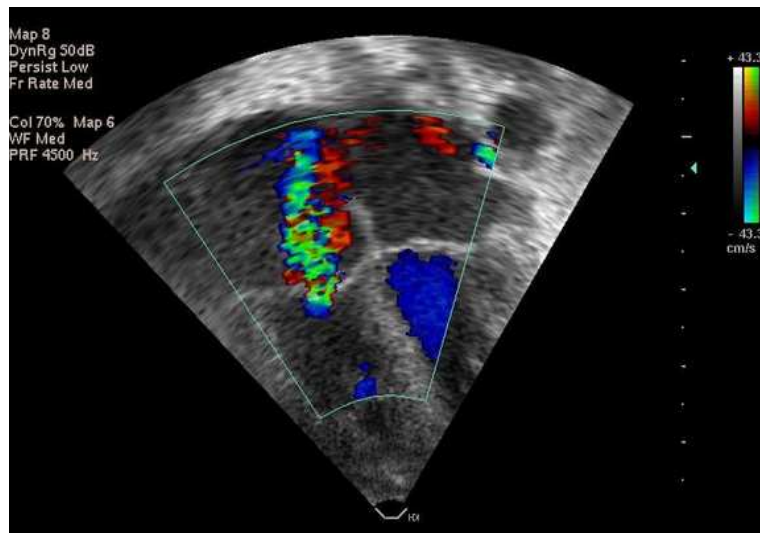
$$\text{tlakový gradient (mmHg)} = 4 \times \text{rýchlosť prúdenia tekutiny}^2$$

Ak poznáme rýchlosť toku krvi a tlak v jednej dutine, vieme jednoducho vypočítať tlak v druhej dutine.

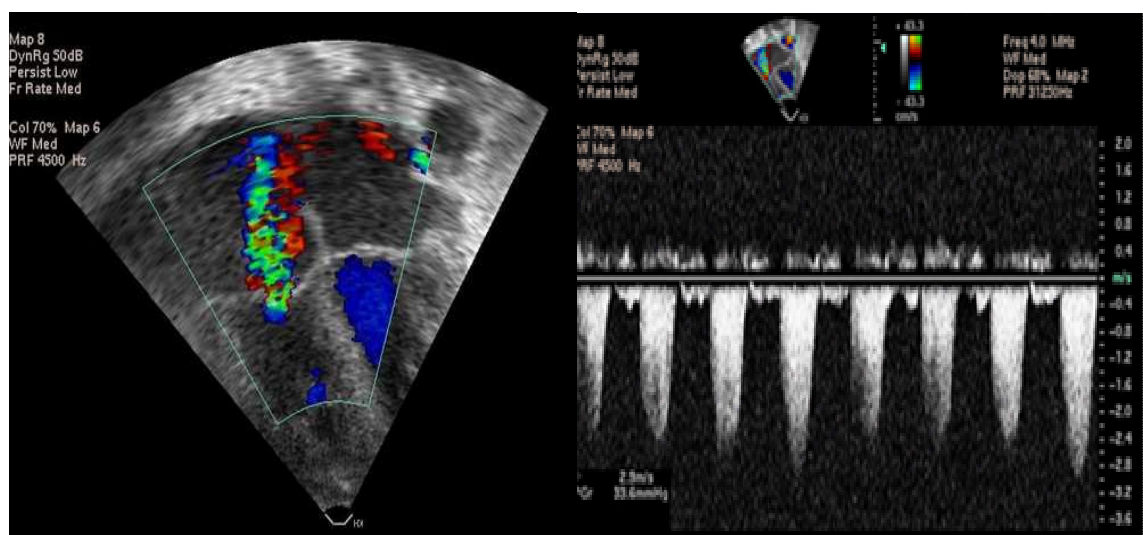
### 5.3.1 Meranie vrcholovej rýchlosti toku cez insuficientnú trikuspidálnu chlopňu (TI)

Na základe merania rýchlosti toku možno tlakový spád na chlopni odhadnúť ako štvornásobok druhej mocniny rýchlosti. Napríklad rýchlosť 2 m/s znamená gradient 16 mmHg, rýchlosť 4 m/s, 64 mmHg. Približný tlak v pravej predsieni je okolo 5-10 mmHg.

Časť detí má fyziologickú trikuspidálnu insuficienciu (TI). Zvýšený tlak v pľúcnici zvyšuje pravdepodobnosť, že TI bude prítomná. Problémom tejto metódy je však skutočnosť, že ani v prípade pľúcnej hypertenzie mnohé deti (cca 50%) TI nemajú. Na vizualizáciu TI je najvýhodnejší parasternálny prístup v dlhej osi (pravé srdce) alebo subkostálna 4-dutinová projekcia. Farebným dopplerom je v oblasti trikuspidálnej chlopne viditeľný úzky modrý tok (obrázok 21). Tam sa umiestni kurzor vzorkovacieho objemu a odmeria sa rýchlosť toku (obrázok 22). Hodnota gradientu (mmHg) + 5 mmHg (tlak v pravej predsieni) zodpovedá tlaku v pľúcnom riečisku.



Obrázok 21: Vizualizácia TI zo 4-dutinovej subkostálnej projekcie pomocou farebného dopplerovského mapovania (vlastné zdroje)

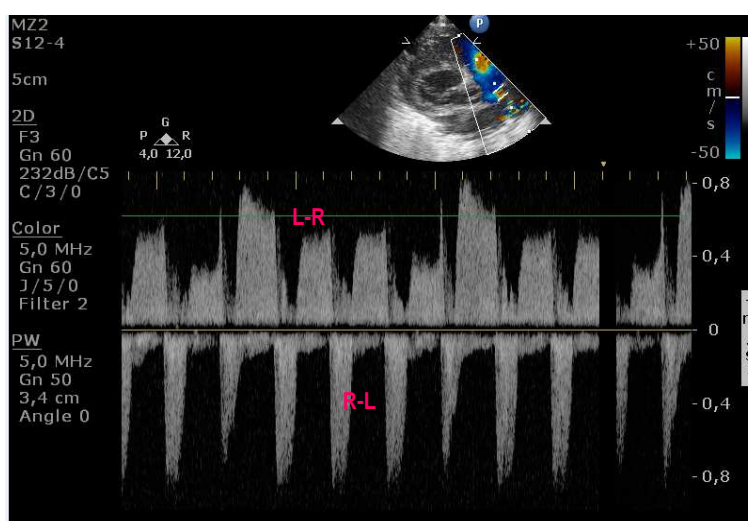


Obrázok 22: 4-dutinová projekcia: trikuspidálna insuficiencia (color doppler), meranie vrcholovej rýchlosti toku (pulzný doppler) (vlastné zdroje)

Rovnako ako u všetkých meraní rýchlosti aj v tomto prípade je dôležité minimalizovať uhol priebehu ultrazvukových lúčov (najideálnejší je paralelný priebeh s tokom krvi). Výhodné je z oboch prístupových okien nájsť ten najlepší obraz s minimálnym odklonom a odmerať tak maximálnu rýchlosť toku cez insuficientnú trikuspidálnu chlopňu.

### 5.3.2 Meranie rýchlosti toku cez duktálny skrat

Smer a rýchlosť prúdenia krvi cez PDA závisí na rovnováhe tlakov v aorte a pľúcnej tepne. Vzostup tlaku v pľúcnici mení charakter prietokovej krivky na bidirektný (kombinovaný sprava doľava a zľava doprava). Pri zvýšenom pulmonálnom tlaku sa doba trvania toku sprava doľava predĺži. Ak tvorí pravo-ľavá zložka menej ako 30% z celkového srdcového cyklu, potom je tlak v pľúcnici nižší ako systémový (subsystémový). Ak však predstavuje viac ako 30%, je veľká pravdepodobnosť, že pľúcny tlak je vyšší ako systémový (suprasystémový) <sup>(48)</sup>. Zdraví novorodenci majú bidirektný duktálny skrat v prvých hodinách života (v dôsledku fyziologickej prevahy pravej komory a vysokej pľúcnej vaskulárnej rezistencie), ktorý však do 12 hodín prechádza na jednoznačný ľavo-pravý (obrázok 23).



Obrázok 23: Obojsmerný skrat cez ductus s prevahou ľavo-pravého skratu (vlastné zdroje).

Čistý pravo-ľavý duktálny skrat sa nikdy nevyskytuje u zdravého novorodenca. Je prejavom zlyhávania tranzitórnej cirkulácie alebo sa objavuje u hypoxických detí so závažným respiračným zlyhávaním. Obzvlášť dôležité je zároveň vylúčiť štrukturálne srdcové ochorenie ako je aortálna koarktácia alebo anomálny pľúcny žilový návrat, či hypoplastický ľavokomorový syndróm.

### 5.3.3 Meranie času zrýchlenia toku v kmeni pľúcnice (TPV / RVET pomer)

Táto metóda je pravdepodobne z neinvazívnych meraní najmenej presná. Jej hlavnou prednosťou však je, že sa dá takmer vždy merať. Opiera sa o zistenie, že ako tlak v pľúcnici stúpa, doba pre dosiahnutie maximálnej rýchlosti (čas zrýchlenia) sa skracuje. Pri normálnom tlaku v pľúcnici sa maximálna rýchlosť dosiahne za čas, ktorý predstavuje 35 – 45% systolického ejekčného času. Ak je tlak (a zároveň aj pľúcna vaskulárna rezistencia) v pľúcnej artérii vysoký, vrcholovú rýchlosť dosiahne skôr.

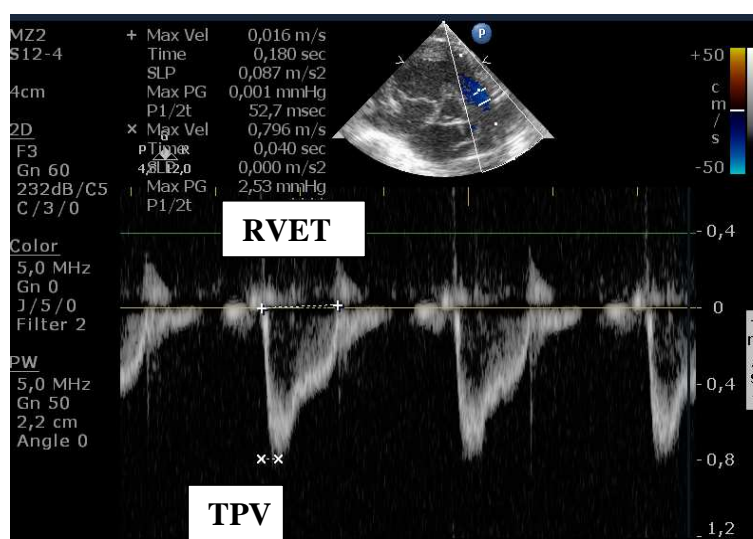
Zrýchlenie je ovplyvnené niekoľkými faktormi, predovšetkým srdcovou frekvenciou, preto sa hodnotí pomer doby akcelerácie a ejekčného času pravej komory (obrázok 24):

TPV : RVET

> 0.3 – norma

< 0.2 – pľúcna hypertenzia

(TPV – time to peak velocity, RVET – right ventricle ejection time)



Obrázok 24: Meranie času zrýchlenia toku v kmeni pľúcnice (TPV – time to peak velocity, RVET – right ventricle ejection time) (vlastné zdroje)

Okrem srdcovej frekvencie je TPV ovplyvnená aj umiestnením kurzora vzorkovacieho objemu, najvýhodnejšie tesne za odstupom pľúcnej chlopne do stredu pľúcnice. Musí sa zabezpečiť zachytenie dobrého laminárneho signálu.

Ak je myokard pravej komory poškodený, napríklad pri ťažkej PPHN, potom TPV môže byť predĺžený, pretože myokard nemá dostatočnú vypudzovaciu silu.

## 5.4 VYHODNOCOVANIE KRVNÉHO PRIETOKU

**Srdcový výdaj CO** (cardiac output) je jedným z hlavných faktorov krvného obehu, ktorý zabezpečuje dodávku kyslíka ku tkanivám celého tela (schéma 1).

$$\text{prísun O}_2 \sim \text{CO} \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2 \text{ (PaO}_2, \text{ disociačná krivka Hb)}$$

(O<sub>2</sub> – kyslík, CO – cardiac output, Hb – hemoglobín, SaO<sub>2</sub> – saturácia hemoglobínu kyslíkom, PaO<sub>2</sub> – parciálny arteriálny tlak O<sub>2</sub>)

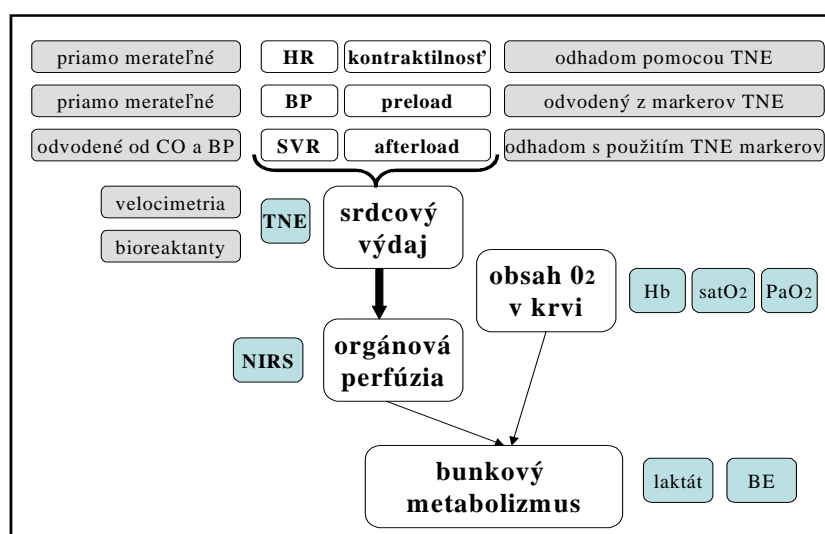


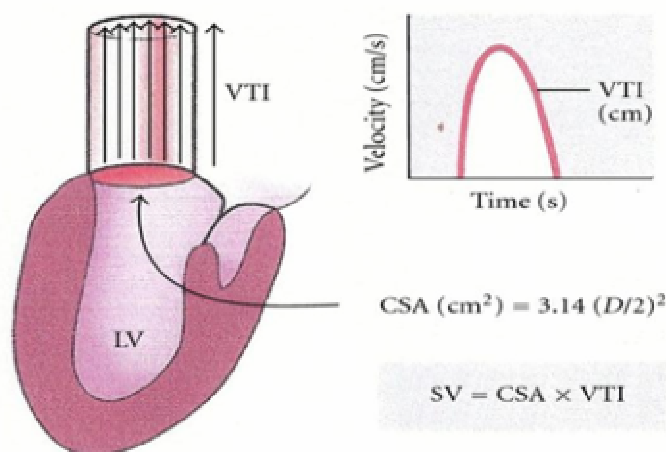
Schéma 1: Determinanty bunkového metabolizmu

Vysvetlivky: HR- heart rate, srdcový frekvencia, BP – blood pressure, tlak krvi, SVR – systemic vascular resistance, TNE- targeted neonatal echocardiography, NIRS – near infrared spectroscopy, Hb – hemoglobin, satO<sub>2</sub> – saturácia kyslíka, PaO<sub>2</sub> – parciálny arteriálny tlak O<sub>2</sub>, BE – base excess; (Modifikované podľa El-Khuffash A, J McNamara P. Enhanced Cardiovascular care in The Neonatal Intensive Care Unit. J Gynecol Pediatr. 2014;1 (1):1-4.)

Vyhodnocovanie srdcového výdaja je dôležité na včasné zachytenie a korekciu nedostatočnosti, aby sa zabránilo poškodeniu tkanív hypoxiou a zabezpečil primeraný systémový prísun kyslíka na zachovanie funkcie orgánov. Monitorovanie krvného tlaku je bežnou praxou u kriticky chorých a predčasne narodených novorodencov, ale je to len nepriamy ukazovateľ prietoku krvi, pretože je závislý na systémovej cievnej rezistencii a na srdcovom výdaji.

$$\text{tlak krvi (BP)} = \text{srdcový výdaj (CO)} \times \text{systémová vaskulárna rezistencia (SVR)}$$

Princíp merania prietoku krvi spočíva v meraní rýchlostne – časového integrálu (VTI) násobeného plochou prietokového kanála. Tak dostaneme objem krvi, ktorý preteká danou oblasťou za určitý čas, tzv. vývrhový objem (SV – stroke volume) (obrázok 25).



Obrázok 25: Schematicky znázornený princíp merania prietoku krvi (Obrázok uverejnený v Textbook of Clinical Echocardiography, 3 rd edition, Elsevier, Ltd, 2004, str.147, vysvetlivky: LV- ľavá komora, VTI – rýchlostne časový integrál, CSA – plocha prietokového kanála, SV – vývrhový objem, D – priemer kanála)

Ak tento objem vynásobíme počtom cyklov za minútu, dostaneme srdcový výdaj (CO).

$$CO = SV \times \text{heart rate} / \text{min.}$$

Neinvazívne kvantitatívne echokardiografické meranie srdcového výdaja je užitočným doplnkovým vyšetrením u novorodencov s hemodynamickou nestabilitnosťou. Bohužiaľ neexistuje žiadna priama echokardiografická technika na jeho stanovanie.

U novorodencov sa srdcový výdaj meria na 3 miestach. Výdaj ľavej komory (LVO) v mieste aortálnej chlopne, výdaj pravej komory (RVO) na pľúcnej chlopni a venózný návrat cez hornú dutú žilu (SVC flow), ktorý sa meria v mieste prechodu vena cava superior (VCS) do pravej predsieni<sup>(49, 50)</sup>.

RVO je tradične spojený s pľúcny a LVO so systémovým krvným obehom. Avšak predpokladaný súvis nie je pravdivý, pokiaľ sú prítomné veľké skraty. S odvolaním sa na základné princípy, LVO odráža objem krvi vracajúci sa z pľúc do ľavej predsieni (teda aj duktálnu zložku) a RVO je daný objemom žilového systémového návratu a množstvom krvi, ktorá prejde ľavo-pravým skratom cez foramen ovale (schéma 2). To by znamenalo,

že počas tranzitórnej periódy RVO lepšie odráža systémový krvný obeh a LVO prietok krvi pľúcami <sup>(51)</sup>.

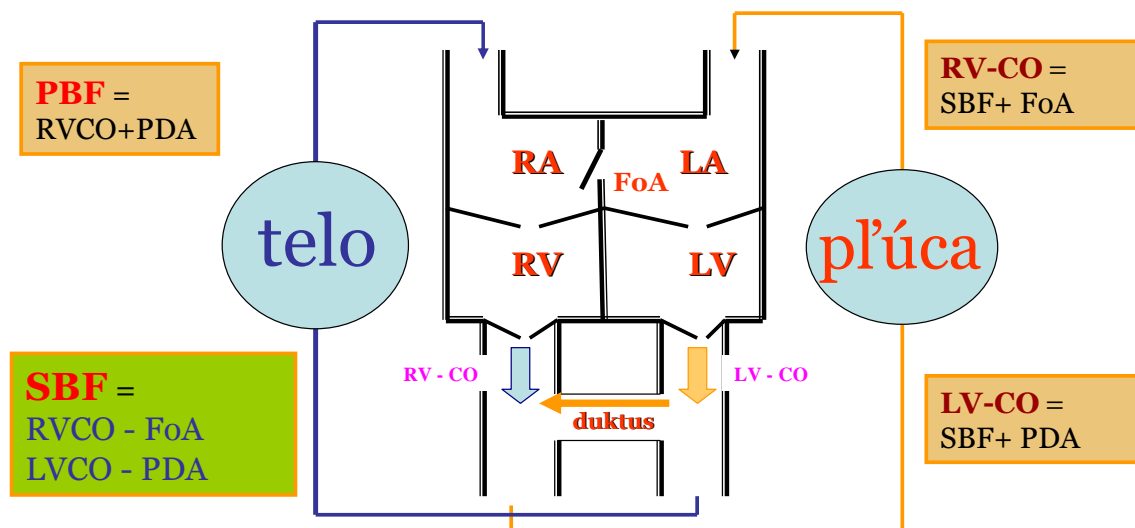


Schéma 2: Srdcový výdaj ovplyvnený prítomnosťou skratov. Vysvetlivky: PBF – pulmonary blood flow (pľúcny krvný prietok), SBF – systemic blood flow (systémový krvný prietok), RA – right atrium (pravá predsieň), LA – left atrium (ľavá predsieň), RV – right ventricle (pravá komora), LV – left ventricle (ľavá komora), FoA – foramen ovale apertum, PDA- patent ductus arteriosus, LV-CO- left ventricle cardiac output (ľavokomorový výdaj), RV-CO- right ventricle cardiac output (pravokomorový výdaj) (Voľne podľa Kluckow M, 2011)

Ako už bolo spomenuté predtým, posúdenie intrakardiálnych a extrakardiálnych skratov (PDA, FoA) je neoddeliteľnou súčasťou správnej interpretácie srdcového výdaja meraného na rozličných miestach.

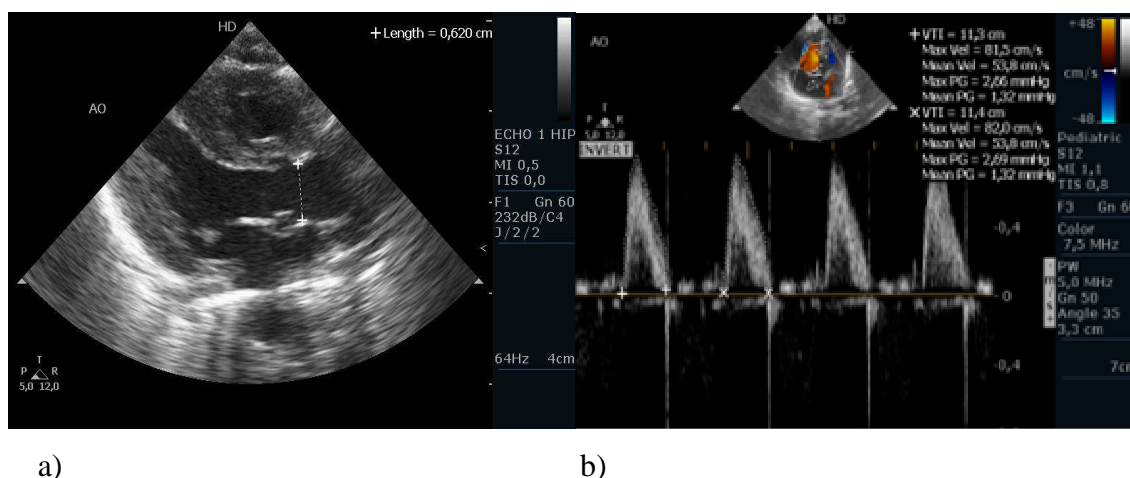
#### 5.4.1 LVO

Na vypočítanie výdaja ľavej komory je potrebné získať hodnotu diametra a VTI výtokového traktu ľavej komory. Takto získaný údaj však nezodpovedá skutočnému výdaju ľavej komory, nakoľko v prípade otvoreného DA môže veľká časť objemu vypudeného ľavou komorou uniknúť do pľúcneho obehu.

Meriame vnútorný rozmer ascendentnej aorty z parasternálneho prístupu v dlhej osi u nezrelých novorodencov v mieste odstupe koronárnych artérií (obrázok 26a), u zrelých v mieste prstenca aortálnej chlopne, pretože u predčasne narodených detí je anulus



aortálnej chlopne približne o 0,9 mm menší než je rozmer vzostupnej aorty, čím sa pri výpočte hodnota LVO môže znížiť až o 100 ml/kg/min<sup>(52)</sup>.



Obrázok 26: a) Meranie vnútorného rozmeru ascendentnej aorty z parasternálneho prístupu v dlhej osi v mieste odstupu koronárnych artérií. Dostupné na: [www.neonatalechoskills.com](http://www.neonatalechoskills.com) b) Prietoková krivka v ascendentnej aorte tesne nad aortálnou chlopňou a meranie VTI (vlastné zdroje).

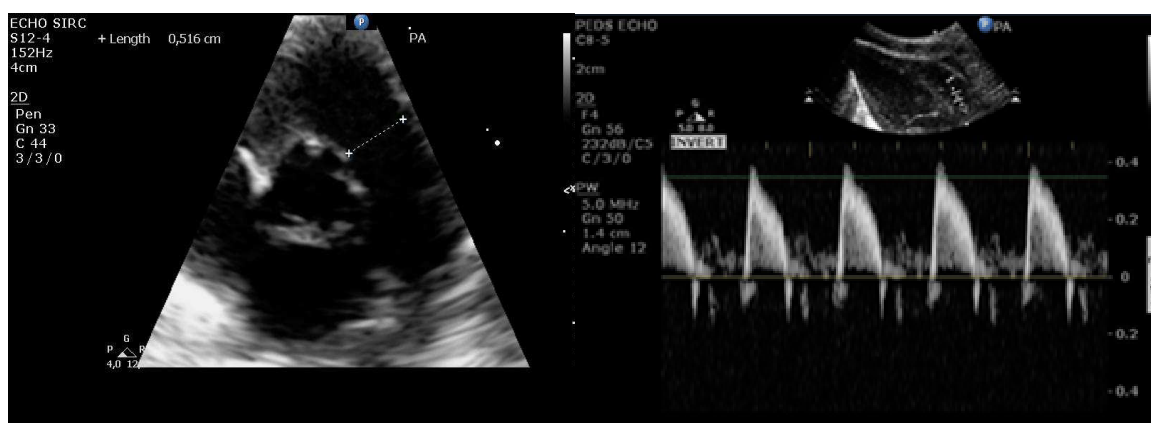
Prietokovú krivku zachytávame z apikálnej 5 – dutinovej projekcie (priebeh ascendentnej aorty je paralelný s priebehom ultrazvukových lúčov) (obrázok 26b). Je pomerne ťažké dosiahnuť minimalizovanie odklonu ultrazvukových lúčov a práve výhodou apikálneho pohľadu je, že odklon je dobre viditeľný a je možné aplikovať korekciu uhla, ktorá by však nemala byť väčšia ako 20 – 30°.

#### 5.4.2 RVO

Hodnotenie výdaja pravej komory je často ignorovanou metódou, nakoľko za ideálnych okolností zodpovedá výdaju ľavej komory. Tento stav je však charakteristický pre zrelého novorodenca bez intrakardiálnych skratov. Prítomnosť predsieňového skratu na úrovni foramen ovale signifikantne ovplyvňuje veľkosť výdaja pravej komory obzvlášť pri súčasnom perzistujúcom ductus arteriosus Botalli. Je pravda, že v prvých 24 hodinách života je skrat cez FoA omnoho menší ako cez PDA, preto sa výdaj pravej komory približuje reálnemu srdcovému výdaju viac ako LVO.

Na odvodenie veľkosti výdaja pravej komory je nutné získať (obdobne ako pri LVO) diameter a VTI výtokového traktu pravej komory, t.j. diameter arteria pulmonalis na úrovni pulmonálnej chlopne a rýchlostne – časový integrál kmeňa pľúcnice.

Pľúcna artéria nie je taká ideálna na meranie priemeru ako aorta. Podstata správneho merania spočíva v optimalizácii obrazu. Najlepší spôsob, ako získať ideálny pohľad na steny pľúcnice, je umiestniť sondu do suprasternálnej polohy tak, aby ultrazvukový lúč prechádzal chlopňou kolmo na steny pľúcnice. Meriame vnútorný priemer pľúcnice na úrovni úponu pľúcnych chlopní (obrázok 27a).



a)

b)

Obrázok 27: a) Meranie vnútorného priemeru pľúcnice na úrovni úponu pľúcnych chlopní. b) Meranie rýchlosti toku krvi pľúcnou artériou, kurzor vzorkovacieho objemu je umiestnený tesne pod chlopňou v kmeni pľúcnice. Dostupné na: [www.neonatalechskills.com](http://www.neonatalechskills.com)

Pľúcna artéria zobrazená z parasternálneho prístupu v dlhej osi je ideálna na meranie rýchlosti toku krvi, nakoľko ultrazvukové lúče prebiehajú paralelne s krvným tokom. Kurzor vzorkovacieho objemu umiestnime tesne pod chlopne do kmeňa pľúcnice a zachytíme laminárny tok v pľúcnici (obrázok 27b). Tak následne získame VTI výtokového traktu pravej komory.

Turbulentný tok pri pulmonálnej stenóze prípadne pri výraznom ľavo-pravom skrate cez PDA môže narušiť charakter prietokovej krivky, takže presné určenie vývrhového objemu je veľmi ťažké.

### 5.4.3 SVC flow – prietok cez vena cava superior

Pri absencii intrakardiálnych skratov by srdcový výdaj pravej a ľavej komory boli rovnocenné a korelovali by so systémovou perfúziou. U novorodenca to tak však nie je práve pre prítomnosť skratov: ductus arteriosus Botalli

foramen ovale apertum

iné patologické septálne skraty

Srdcový výdaj ľavej komory ani výdaj pravej komory teda v prítomnosti perzistujúcich skratov nepredstavuje skutočný systémový prietok. Ten je ochudobnený o objem krvi, ktorý uniká skratom, čo znamená, že ak prítomnosť skratov pri hodnotení komorového výdaja nezohľadníme, môžeme systémový prietok preceniť až o 50%. Vzhľadom k uvedeným skutočnostiam sa v neonatálnej medicíne na posúdenie systémovej perfúzie používa hodnotenie prietoku krvi cez vena cava superior (SVC flow – superior vena cava flow), nakoľko reálnejšie odráža prietok krvi mozgom.

Objem VCS tvorí krv zbieraná z oblasti hlavy (70 - 80%), teda z cerebrálnej cirkulácie, pričom tento objem predstavuje 40% výdaja ľavej komory a čo je najpodstatnejšie, nie je ovplyvnený prítomnosťou skratov<sup>(50)</sup>.

Pre odvodenie SVC flow musíme odmerať diameter vena cava superior (VCS) a VTI v mieste influxu krvi z VCS do pravej predsene.

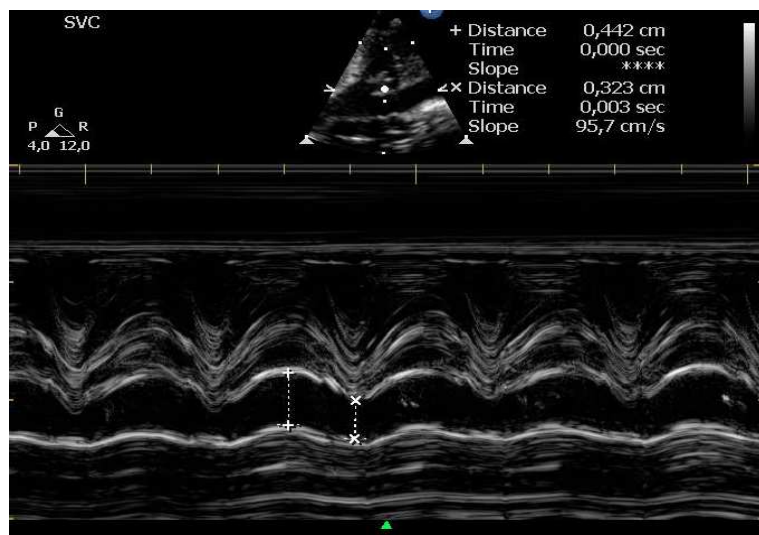
Smer toku krvi cez VCS je pre meranie rýchlosti vzhľadom k polohe sondy najideálnejší zo subkostálneho prístupu a pre meranie priemeru z parasternálnej projekcie. Hlavnou nevýhodou je, že diameter VCS je variabilnejší ako diametre hlavných tepien, hlavne v situáciách hyperinflácie pľúc. Pomerne jednoduché je zobrazit' ho v prvých 48 hodinách, ale potom má pravý pľúcny lalok tendenciu prekryť ultrazvukové okno, takže sa VCS vizualizuje len veľmi ťažko.

Diameter meriame v mieste prechodu VCS do pravej predsene, ktorý má tvar lievika. Správny bod merania je báza „lievika“ – kónického zúženia VCS (obrázok 28).



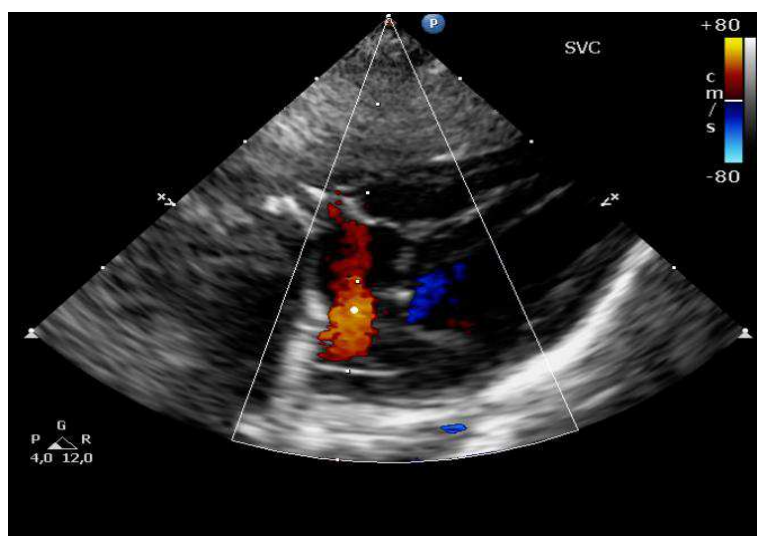
Obrázok 28: Parasternálna projekcia v dlhej osi – meranie diametra VCS v mieste prechodu VCS do pravej predsieni (kónické zúženie – „lievik“) (vlastné zdroje)

Keďže diameter VCS sa mení so srdcovým cyklom, výsledná hodnota sa získa vypočítaním priemeru maximálneho a minimálneho diametra aspoň z 3 za sebou nasledujúcich cyklov, ktoré sa najľahšie odmerajú použitím M-mode režimu (obrázok 29).



Obrázok 29: Získavanie hodnôt maximálneho a minimálneho diametra VCS použitím M-mode zobrazenia (vlastné zdroje)

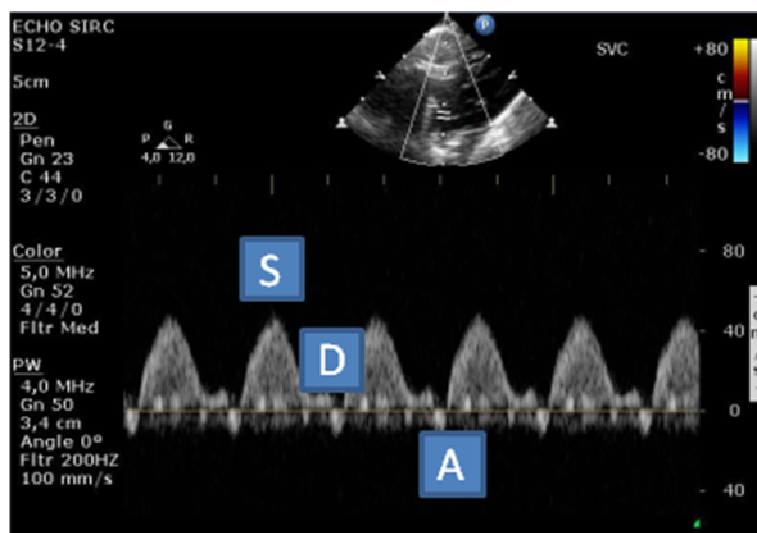
Vizualizácia toku krvi vo VCS je najoptimálnejšia zo subkostálneho prístupu použitím farebného dopplera (sonda umiestnená čo najbližšie k pupku s takmer horizontálnym priebehom ultrazvukových lúčov) (obrázok 30).



Obrázok 30: Vizualizácia toku krvi vo VCS zo subkostálneho prístupu použitím farebného dopplera (vlastné zdroje)

Prietok krvi cez VCS zachytíme pulzným dopplerom, pričom kurzor vzorkovacieho objemu umiestnime do bodu prechodu VCS do pravej predsienie a zaznamenáme prietokovú krivku, ak je to možné s laminárnym tokom. Prietoková krivka VCS je veľmi polymorfná vzhľadom k spontánnemu dýchaniu. Charakteristické sú 3 vlny: 2 pozitívne (S, D), ktoré predstavujú plnenie predsiení počas komorovej systoly a včasnej diastoly. Tretia vlna (A) predstavuje pasívne plnenie komory v systole predsiení, ktoré je poznamenané znížením rýchlosti toku krvi (reverzný, negatívny tok) (obrázok 31). Vzhľadom na vplyv dýchacích pohybov na prietokovú krivku, VTI meriame minimálne z 5-10 za sebou nasledujúcich srdcových cyklov.

Prítomnosť kriticky nízkych hodnôt SVC flow ( $< 40$  ml/kg/min) v prvých 24 hodinách života je rizikovým faktorom pre zlé dlhodobé výsledky neurologického vývoja u predčasne narodených novorodencov .



Obrázok 31: Prietoková krivka cez vena cava superior (VCS) – charakteristické 3 vlny: 2 pozitívne – vlna S: pasívne plnenie predsiení počas komorovej systoly, vlna D: plnenie počas včasnej komorovej diastoly, 1 negatívna – vlna A: reverzný tok počas predsieňovej systoly. (vlastné zdroje)

## 6 ŠPECIÁLNE NEONATÁLNE STAVY

V novorodeneckej intenzívnej starostlivosti existuje niekoľko klinických situácií, kedy ďalšie informácie získané pomocou fECHO môžu pomôcť pri terapeutickom rozhodovaní<sup>(54)</sup>.

- novorodenci s veľmi nízkou pôrodnou hmotnosťou (VLBWI) s tranzitórnou cirkuláciou v prvých 24 hodinách života
- novorodenci s perzistujúcim ductus arteriosus Botalli
- novorodenci s perinatálnou asfyxiou
- novorodenci s pľúcnou hypertenziou
- novorodenci so sepsou a cirkulačným zlyhávaním

## 6.1 NOVORODENCI S VEĽMI NÍZKOU PÔRODNOU HMOTNOSŤOU (VLBWI – VERY LOW BIRTH WEIGHT INFANT) S TRANZITÓRNOU CIRKULÁCIOU V PRVÝCH 24 HODINÁCH ŽIVOTA

Prvých 24 hodín postnatálneho života predstavuje u extrémne nezrelých novorodencov periódu výraznej zraniteľnosti obehového systému <sup>(55)</sup>. Fyziológia opisuje prechod z fetálnej cirkulácie na cirkuláciu novorodenca ako zmenu nízkoodporovej placentárnej na vysokoodporovú systémovú cirkuláciu v kombinácii so znížením pľúcnej vaskulárnej rezistencie a uzáverom fetálnych skratov <sup>(56)</sup>. Cirkuláciu u VLBWI ovplyvňuje predovšetkým prechodná dysfunkcia myokardu, prítomný ductus arteriosus, ventilácia vysokými tlakmi a nezrelá vazoregulácia. Po odstránení nízkoodporovej placenty následne po pôrode ľavá komora začína pracovať proti vzrastajúcej periférnej vaskulárnej rezistencii, čo má za následok prechodné zníženie orgánovej perfúzie. Veľký ľavo-pravý skrat cez ductus arteriosus počas tranzitórnej periódy spôsobuje zníženie systémového prietoku (SBF) presmerovaním objemu krvi do pľúcneho riečiska. Umelá pľúcna ventilácia s vysokým MAP (mean airway pressure) znižuje výdaj ľavej komory a tým aj SBF. Medzi neonatológmi však ešte často prevláda názor, že normálny krvný tlak zodpovedá normálnej systémovej perfúzii a že pri vzostupe tlaku automaticky narastá aj systémový prietok. Hypotenzia ale neznamená vždy hypoperfúziu. Perfúzia je závislá na tlakovom gradiente a na vaskulárnej rezistencii. Aby sme pochopili skutočnú hemodynamickú podstatu hypotenzie u VLBWI, potrebujeme informáciu o systémovej prietoku krvi k správne odhadu vaskulárnej rezistencie. Okrem toho je nutné mať informáciu o prítomnosti a veľkosti skratov a smere toku krvi cez skrat. Je zrejmé, že krvný tlak je iba jedným z komponentov, ktoré určujú celkovú perfúziu tkanív a tým aj prísun kyslíka ku tkanivám <sup>(57)</sup>.

Pomerne presné informácie o srdcovom výdaji a zároveň o systémovej prietoku krvi poskytuje meranie SVC flow, nakoľko nie je zaťažovaný prítomnosťou skratov. Meraním srdcového výdaja ľavej komory (LVCO) sa samotný systémový prietok môže nadhodnotiť o takmer 50%, predovšetkým v priebehu tranzitórnej periódy kvôli významnému ľavo-pravému skratu cez ductus arteriosus. Približné údaje môže poskytnúť aj meranie výdaja pravej komory (RVCO). Ten je však ovplyvnený prítomnosťou foramen ovale, samozrejme v podstatne menšej miere ako LVCO <sup>(56)</sup>.

U chorých predčasne narodených novorodencov v tranzitórnom období postnatálneho života nízky tlak krvi nekoreluje s nízkym orgánovým prietokom. Na druhej strane však v tejto perióde môžeme sledovať aj inverzný vzťah medzi krvným tlakom a objemom SVC

flow, čo nasvedčuje tomu, že vysoká systémová vaskulárna rezistencia redukuje efektívny systémový prietok krvi <sup>(58)</sup>.

Po tranzitórnej perióde (prvých 24 hodín života), kedy dominuje nízky SBF, nastupuje obdobie hypotenzie, avšak obvyčajne s normálnym alebo vyšším SBF vďaka nízkej periférnej vaskulárnej rezistencii spôsobenej pravdepodobne abnormálnou reguláciou napätia cievnej steny. Táto zmena systémového prietoku zohráva úlohu pri rozvoji intraventrikulárnej hemorágie (IVH - intraventricular hemorrhage) <sup>(59)</sup>.

Na základe údajov o systémovom prietoku sa posudzuje klinická závažnosť hypotenzie a následne sa pristupuje k účinnejšej liečbe pomocou medikamentov podľa ich známych účinkov na myokardiálnu kontraktilitu a vaskulárnu rezistenciu (tabuľka 5). Nízky SBF s hypotenziou pri neprítomnosti skratov predpokladá vysokú vaskulárnu rezistenciu. Takáto situácia môže mať najväčší prospech zo zvýšenia kontrakility a redukcie afterloadu znížením vaskulárnej rezistencie <sup>(54)</sup>.

Len v ojedinelých prípadoch je hypotenzia u VLBWI hypovolemická. Predchádza jej však vždy anamnestický údaj zrejmej straty krvi – napríklad pri placenta praevia <sup>(60)</sup>.

Tabuľka 5: Účinok biogénnych amínov na myokardiálnu kontraktilitu a vaskulárnu rezistenciu na základe pôsobenia na jednotlivé typy receptorov (voľne podľa Seri I., 2011)

receptor	adrenergný				dopaminergný	vasopresínový
	$\alpha_1/\alpha_2$	$\beta_2$	$\alpha_1$	$\beta_1/\beta_2$	DA <sub>1</sub> / DA <sub>2</sub>	V <sub>1a</sub>
	vaskular.	vaskular	kardial.	kardial.	kardial./vaskular.	vaskular.
Fenylefrin	++++	0	0	+	0	0
Norepinefrin	++++	0/+	0/+	++	++++	0
Epinefrin	++++	+++	++	++	++++	0
Dopamin**	++++	++	++	++	+++	++++
Dobutamin*	+/0	++	++	++	++++	0
Isuprenalin	0	+++	+++	+++	++++	0
Vasopresin	0		0	0	0	0

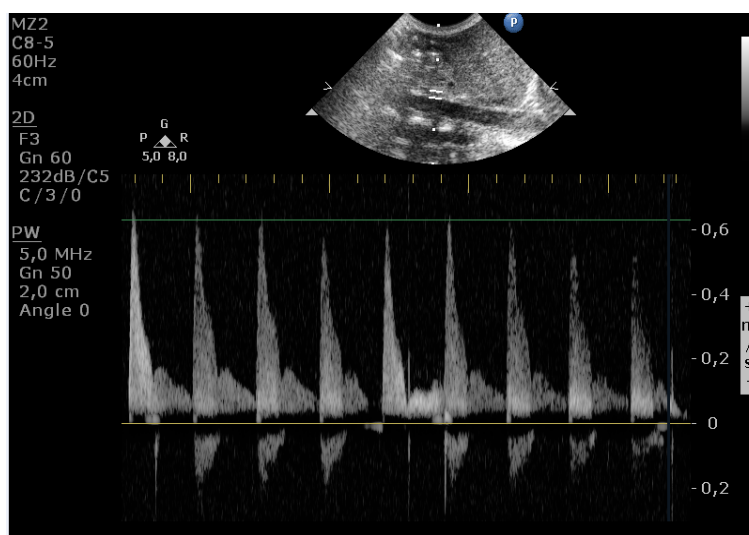
\* účinnosť dobutamínu (DOB) je nezávislá od afinity ku AR (adrenergný receptor)

\*\* dopamín (DA) má na periférii aj serotonergný účinok



## 6.2 POSUDZOVANIE A MONITOROVANIE DUCTUS ARTERIOSUS BOTALLI

Ductus arteriosus (DA) sa za fyziologických okolností efektívne uzatvorí za niekoľko hodín po narodení. U niektorých novorodencov však naďalej perzistuje bez známkov uzatvárania sa (PDA – patent ductus arteriosus). U predčasne narodených detí je riziko perzistujúceho DA v inverznom vzťahu ku gestačnému veku. Vo včasnom postnatálnom období je dominantný ľavo-pravý skrat cez DA. Ak sa neuzatvorí, vďaka postupnému znižovaniu pľúcnej vaskulárnej rezistencie sa veľký objem krvi zo systémovej cirkulácie presmeruje do pľúcneho obehu, čo má za dôsledok nepriaznivé účinky na jednej strane na pľúca – *pľúcna hyperperfúzia* s následným rozvojom pľúcneho edému, pľúcnej hemorágie a neskôr bronchopulmonálnej dysplázie pri zmenených pľúcnych funkciách (poddajnosť, dychová práca), na druhej strane na systémovú cirkuláciu – *systémová hypoperfúzia* so znížením postduktálneho SBF napriek vysokému srdcovému výdaju, so znížením BP a s tachykardiou (tabuľka 6). Sledovanie zmien na PDA longitudinálne v čase pomocou funkčnej echokardiografie nám okrem prítomnosti či veľkosti skratu poskytuje aj ďalšie informácie pre predikciu možného spontánneho uzavretia, či pre rozhodovanie sa v liečbe. Hodnotenie hemodynamických dôsledkov, ako je napríklad prietok cez descendentnú aortu, nám podáva obraz o vplyve DA na perfúziu<sup>(55)</sup> a zároveň o riziku rozvoja klinických prejavov (napr. NEC pri „steal fenoméne“ na brušnej aorte, obrázok 32).



Obrázok 32: Aorta descendens – v úrovni odstupe a. caeliaca: vylúčenie „steal“ efektu otvoreného duktu (prítomný dopredný tok aj v diastole – DA uzavretý) (vlastné zdroje)

Napriek niekoľko rokov prebiehajúcim štúdiám sú postoje k perzistujúcemu DA a jeho nepriaznivým vplyvom na krátkodobú či dlhodobú chorobnosť kontroverzné. Nejednotné sú názory na definíciu hemodynamicky signifikantného DA (hsDA – hemodynamically significant DA). Častou témou diskusií je aj hľadanie najlepšej diagnostickej metódy a vhodného načasovania diagnózy vo vzťahu k liečbe <sup>(61)</sup>. V súčasnosti existujú 3 terapeutické postupy v liečbe PDA: profylaktická terapia (v prvých 12 hodinách života), včasná cielená (v prvých 3 dňoch) a terapia, ktorá sa aplikuje až po objavení sa klinických následkov PDA. Profylaktická liečba nevyžaduje echokardiografické vyšetrenie a diagnostiku ductu, nakoľko sa nasadzuje všetkým rizikových novorodencom. Postupne sa však od nej upúšťa, nakoľko štúdie dokazujú, že až v 40% je terapia nasadená zbytočne, pretože by došlo k spontánnemu uzáveru DA. Včasná cielená terapia umožňuje selektovať pacientov na základe echokardiografického vyšetrenia, ktoré stanoví pravdepodobnosť spontánneho uzavretia DA alebo naopak, pravdepodobnosť nutnosti nasadiť liečbu. Výhodou posledného postupu je, že sa vyvaruje zbytočnej terapii u detí s už uzavretým DA, ktorá samozrejme má svoje vedľajšie nežiadúce účinky. Jednoznačne je potrebný ďalší výskum nielen ohľadom správneho načasovania liečby, ale aj definície hsDA a klinických parametrov spojených s veľkým DA.

Tabuľka 6: Účinky otvoreného ductu

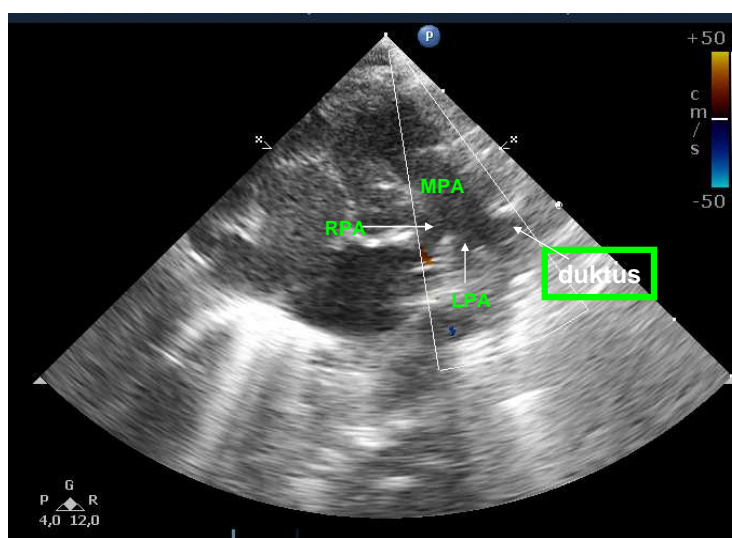
Účinky otvoreného DA:	
<b>Hemodynamické zmeny</b> (už v prvých hodinách života)	L-P skrat ↑ prietok pľúcnym riečiskom ( <b>tachypnoe</b> ) distenzia L <sup>P</sup> ↑ záťaž L <sup>K</sup> ( <b>pulzujúce prekordium</b> ) ↑ prietok cez Ao ascendens ↓ prietok cez Ao descendens ↓ <b>perfúzia terminálnych orgánov</b> CNS GIT ( <b>intolerancia, NEC,...</b> ) obličky ( <b>oligo-, anúria</b> ) <b>tachykardia</b>
<b>Respiračné zmeny</b> (neskôr, do 48 hodín)	↓ dynamickej poddajnosti pľúc - C <sub>dyn</sub> ↑ dychová práca - WOB

Hemodynamicky významný ductus arteriosus (hsDA) zhoršuje pľúcne a srdcové funkcie. Existuje celý rad klinických a ultrazvukových kritérií na jeho definovanie. Klinické príznaky otvoreného duku boli preddefinované: cirkulačné klinické príznaky (mrštný pulz – bounding puls), hyperaktívne prekordium, šelest, tachykardia, zvýšený pulzný tlak), respiračné klinické príznaky (ťažkosti pri odpájaní od ventilačnej podpory alebo zlyhanie neinvazívnej ventilácie, prípadne apnoe vyžadujúce napojenie na umelú pľúcnu ventiláciu) a závažné orgánové príznaky (pľúcne krvácanie alebo ťažká pľúcna kongescia s chronickým srdcovým zlyhaním, ...).

Pri echokardiografickom vyšetrení otvoreného duku je na zhodnotenie jeho hemodynamickej závažnosti nutné posúdiť niekoľko anatomických a funkčných parametrov.

Predovšetkým sú to **priame merania** veľkosti duku, ktoré sú potrebné pre odvodenie veľkosti prietoku na základe zákonov dynamiky tekutín, kedy prietok je výsledkom prierezu cievy a tlakového gradientu.

Na meranie *priemeru duku* je najvýhodnejšie tzv. duktálne okno zo suprasternálneho alebo parasternálneho prístupu v krátkej osi. PDA spolu s vetvami pľúcnice vytvárajú obraz „trojnožky“. Pre dobré zobrazenie je k 2D režimu výhodné použiť aj farebné dopplerovské mapovanie (obrázok 33).



Obrázok 33: Parasternálny prístup v krátkej osi – vizualizácia MPA s 3 vetvami (RPA, LPA a 3. „nožička“ – duktus) vysvetlivky: MPA – main pulmonary artery, RPA – right pulmonary artery, LPA – left pulmonary artery (vlastné zdroje)

U detí s bronchopulmonálnou dyspláziou alebo pneumotoraxom nie je z týchto prístupov PDA vždy viditeľný, preto sa používa aj subkostálna projekcia s výrazne naklonenou sondou. Meria sa najužšia časť PDA, najčastejšie na pulmonálnom konci. Ak sa meria veľkosť pomocou farebného dopplera, kvôli vylúčeniu falošne vysokých hodnôt je správne nastaviť farebnú škálu v nízkom rozmedzí.

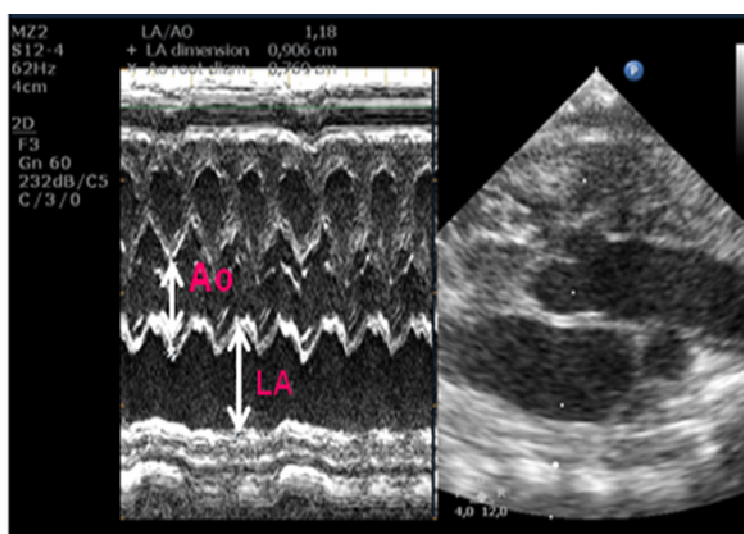
*Tlakový spád* sa dá odhadnúť podľa dopplerovsky meraných rýchlostí toku a *objem krvi*, ktorý pretečie cez PDA zasa vypočítať obdobne ako srdcový výdaj, podľa vzorca:

$$\text{objem (cm}^3\text{)} = \text{VTI (cm)} \times \pi r^2 \text{ (cm}^2\text{)},$$

(VTI je velocity time integral,  $\pi$  - 3.14, r – diameter duktu)

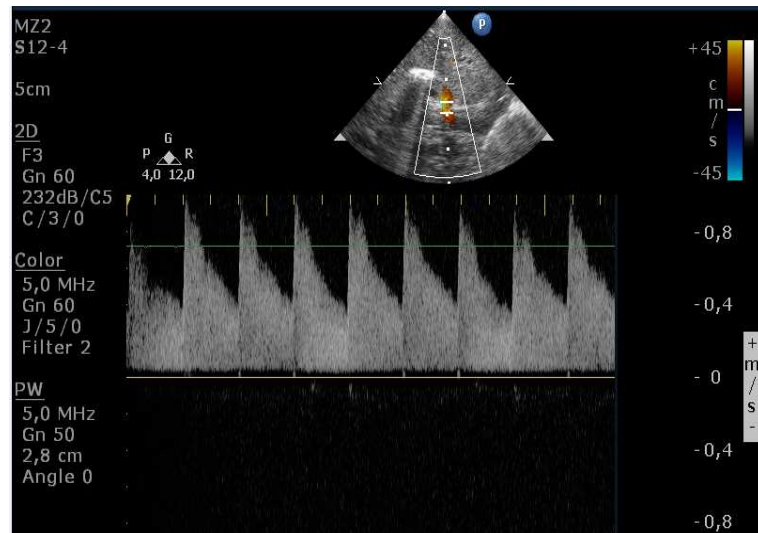
**Nepriame hodnotenia** PDA sú založené na posúdení vplyvu ľavo-pravého skratu na charakter prietokovej krivky na oboch stranách kanála a na dilatáciu srdca. Krv prúdiaca zľava doprava cez kanál obíde pravé srdce, zvýši prietok krvi pľúcami a zvyšuje objemovú záťaž ľavého srdca. Výsledkom je zväčšenie ľavej predsieni.

*Pomer veľkosti ľavej predsieni k aorte (LA/Ao)* je teda ukazovateľom ľavostranného objemového preťaženia (obrázok 34). Priemer aorty a maximálny rozmer ľavej predsieni sa získa z parasternálneho prístupu v dlhej osi zobrazením v M-mode režime na konci systoly, pričom ultrazvukový lúč prechádza kolmo na aortu a pretína cípy aortálnej chlopne. Metóda má nízku senzitivitu a špecificitu predovšetkým v prvých 48 hodinách života, pretože je výrazne ovplyvnená prítomnosťou predsieňových skratov.

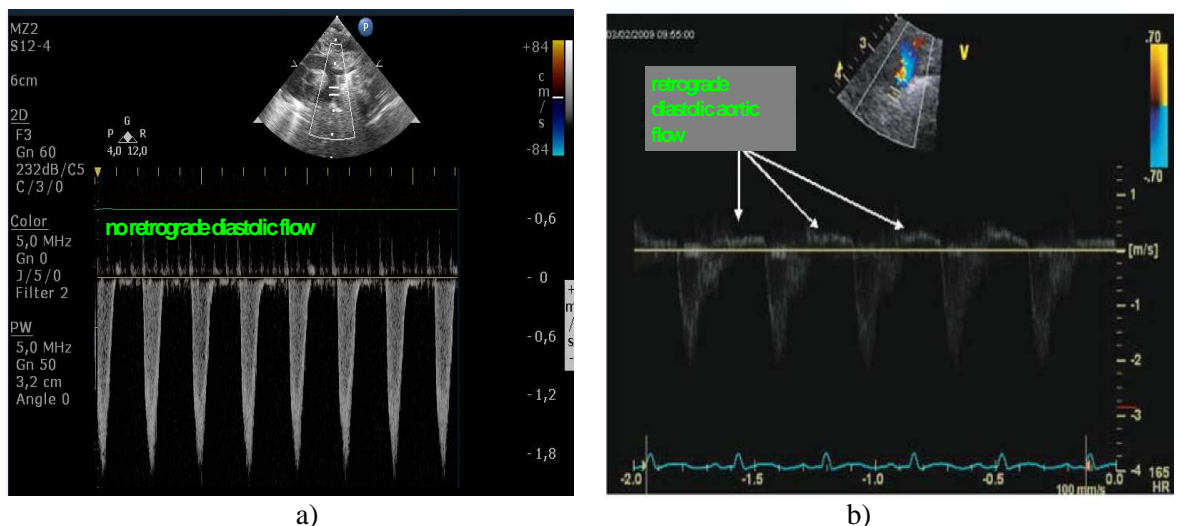


Obrázok 34: Meranie LA/Ao pomeru v M-mode zobrazení. Bodkovaná čiara predstavuje priebeh M-mode ultrazvukového lúča na 2D zobrazení (LA – left atrium, Ao- aorta) (vlastné zdroje)

Ďalším menej závažným nepriamym dôsledkom ľavo-pravého skratu cez PDA je narušenie prúdenia vo veľkých cievach. V priebehu srdcového cyklu zvyčajne viac krvi pretečie počas systoly ako počas diastoly (obrázok 35). Takže normálne nízka rýchlosť dopredného diastolického toku v postduktálnej descendentnej aorte sa postupne s rastúcou veľkosťou duktu ešte znižuje (obrázok 36 a) až napokon tok vymizne alebo sa stáva retrográdnym. (obrázok 36 b).



Obrázok 35: Prietokový vzorec cez descendentnú „postduktálnu“ aortu – v mieste odstupu a. iliaca, bez „steal fenoménu“: prítomný je tok aj počas diastoly –  $IR > 0.5$  (vlastné zdroje)



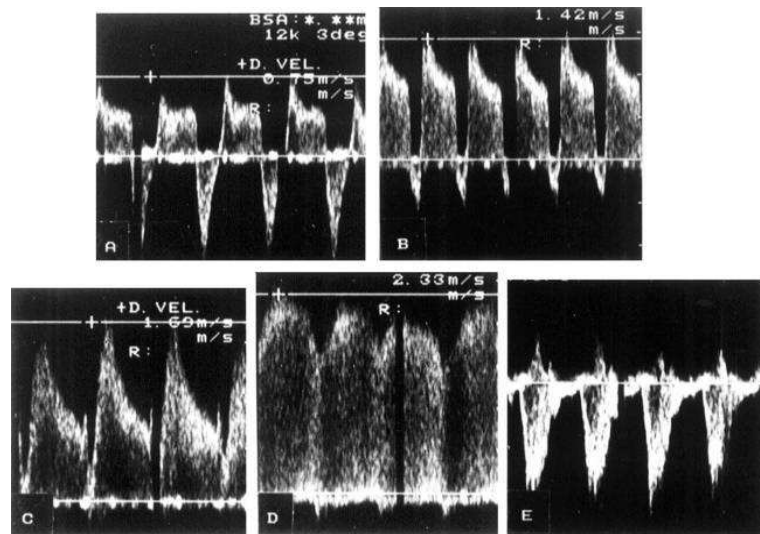
Obrázok 36: Prietokový vzorec cez postduktálnu descendentnú aortu a) nulový tok počas diastoly, b) retrográdný (spätný) tok počas diastoly – tzv. „steal fenomén“ (vlastné zdroje)

Na dôkaz prítomnosti duku, hodnotenie jeho veľkosti a klasifikáciu sa okrem farebného dopplerovského mapovania využíva aj rýchlosť diastolického toku v ľavej pľúcnej artérii <sup>(62)</sup>, meranie LVO a pomeru LVO / SVCflow <sup>(63)</sup>, prietoková charakteristika v descendentnej aorte (DAo) <sup>(64)</sup> a prietokové vzory v mozgových, obličkových alebo črevných tepnách.

Tabuľka 7: Parametre potrebné na hodnotenie PDA pomocou TNE

parameter	prístup	metodika	meranie	normy
<b>priemer duku</b>	parasternálny v krátkej osi („duktálny“) / suprasternálny	2D +color doppler	vnútorný priemer najužšej časti	malý PDA: < 1.5mm stredný PDA: 1.5 -2.0mm veľký PDA: > 2.0mm
<b>prietokový vzorec cez dukus</b>	parasternálny v krátkej osi („duktálny“) / suprasternálny	PW/ CW	prietokové krivky (obrázok 37)	charakter krivky → charakter duku
<b>LA:Ao</b>	parasternálny v dlhej osi	M-mode	ultrazvukový lúč prechádza kolmo na Ao a pretína cípy Ao-chlopne	malý PDA: < 1.4 : 1 stredný PDA: 1.4 : 1- 1.6 : 1 veľký PDA: > 1.6 : 1
<b>prietok cez PA</b>	parasternálny v krátkej osi („duktálny“) / suprasternálny	PW	nad pľúcnou chlopňou	laminárny tok (turbulentný tok = prítomnosť PDA)
<b>diastolické toky v LPA</b>	parasternálny v krátkej osi („duktálny“) / suprasternálny	PW +color doppler	hodnotenie diastolického toku (max. rýchlosť toku na konci diastoly)	malý PDA: < 20 cm/s stredný PDA: 20-50cm/s veľký PDA: > 50 cm/s
<b>diastolické toky v brušnej Ao</b>	subkostálny	PW	v strede Ao na úrovni bránice	malý PDA: - antegrádny tok stredný PDA: - krátky retrográdny tok veľký PDA: - holodiastolický retrográdny tok (tzv: „steal fenomén“)
<b>TI</b>	apikálny 4-dutinový	color doppler	pod mitrálnou chlopňou	prítomnosť TI = prítomnosť PDA

*Charakter prietokovej krivky* meriame pulzným alebo kontinuálnym dopplerom s minimálnym insonačným uhlom (obrázok 37).



Obrázok 37: Prietokové krivky cez PDA – a) obojsmerný - bidirectional (v prvých hodinách života), b) obojsmerný predominantne s ľavo-pravým skratom a zmenšujúcou sa pravo-ľavou zložkou, c) pulzatilný - čistý ľavo-pravý skrat s vrcholovou rýchlosťou cca 1,5 m/s a charakteristickým pulzatilným profilom, d) reštriktívny (uzatvárajúci sa) – jednoznačne ľavo-pravý skrat s charakteristickým kontinuálnym profilom vrcholovej rýchlosti cca 2m/s, e) pravo-ľavý skrat. Dostupné na:

[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/core/lw/2.0/html/tileshop\\_pmc/tileshop\\_pmc\\_inline.html?title=Click%20on%20image%20to%20zoom&p=PMC3&id=1720677\\_96717.f2.jpg](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/core/lw/2.0/html/tileshop_pmc/tileshop_pmc_inline.html?title=Click%20on%20image%20to%20zoom&p=PMC3&id=1720677_96717.f2.jpg)



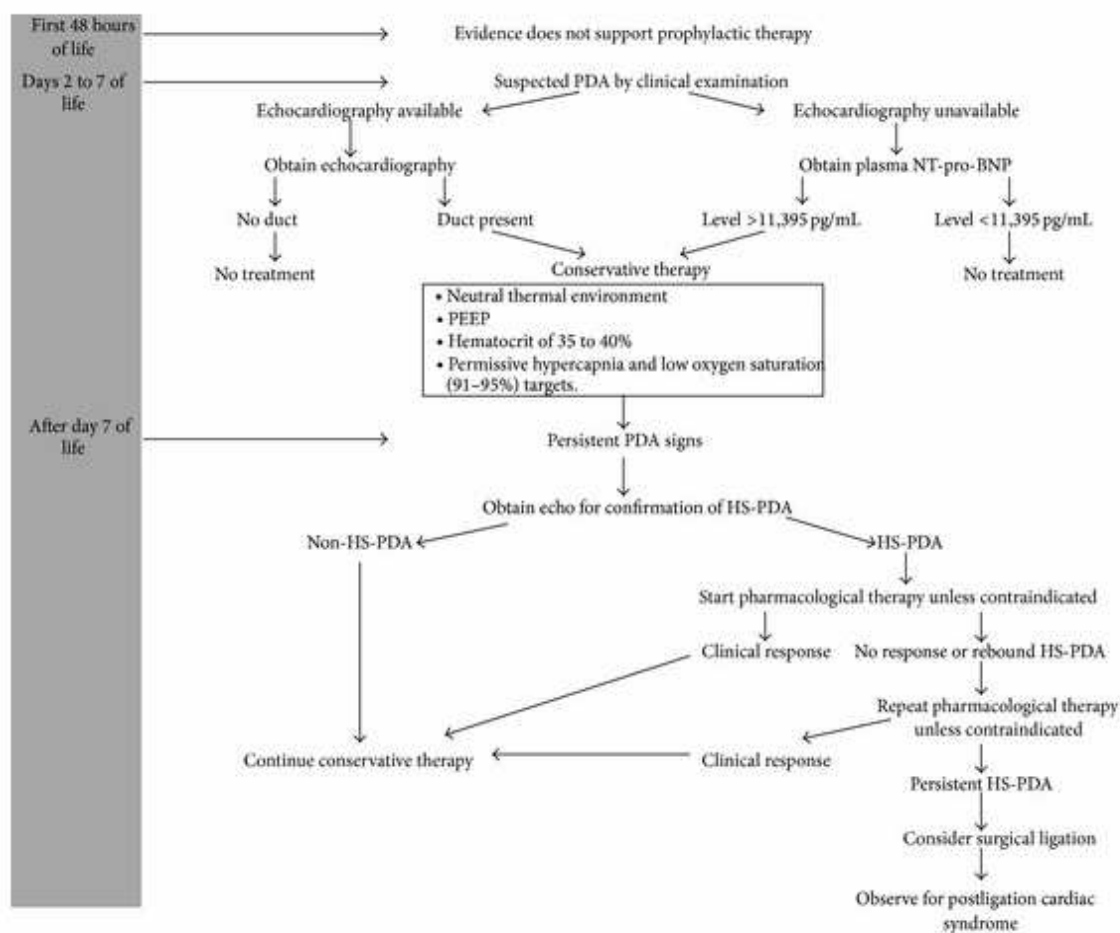


Schéma 3: Menežment PDA u prematúrnych novorodencov. Dostupné na:

[www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3885207/figure/fig1](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3885207/figure/fig1)

### 6.3 NOVORODENCI S PERINATÁLNOU ASFYXIOU

Neonatálna asfyxia je spojená s hypoxicko-ischemickým postihnutím viacerých orgánov s následnou dysfunkciou. Kardiovaskulárny systém v snahe kompenzovať účinky spojené s asfyxiou a zároveň zachovať schopnosť dodávať kyslík do najdôležitejších vitálnych tkanív a tým zabezpečiť prežitie, reaguje typicky centralizáciou obehu, čiže zvýšením prietoku krvi mozgom, srdcom a nadobličkami v rôznej miere v závislosti od typu inzultu <sup>(65)</sup>. Avšak aj samotný kardiovaskulárny systém je ischemiou postihnutý.

Prechodná ischemia myokardu je potvrdenou pridruženou komplikáciou perinatálnej asfyxie s incidenciou od 30 do 82 % u ťažko asfyktických novorodencov <sup>(66)</sup>. Výskyt myokardiálnej dysfunkcie je vyšší u predčasne narodených novorodencov, ktorí už majú rizikové faktory k infarktu z dôvodu nezrelosti myokardu <sup>(12)</sup>. Príznaky prechodnej



ischémie myokardu však nachádzame dokonca aj u mnohých zdanlivo zdravých novorodencov v prvých niekoľkých dňoch po narodení <sup>(67, 68)</sup>.

Existujú dva hlavné modely myokardiálnej dysfunkcie: Prvý predstavuje depresia ľavej komory (LV) so zníženou kontraktilnosťou a srdcovým výdajom alebo znížením rýchlosti prietoku cez aortálnu chlopňu. Druhý model zahŕňa stredne ťažkú až ťažkú pľúcnu hypertenziu, ktorá spôsobuje trikuspidálnu regurgitáciu a následne dysfunkciu pravej komory (RV). Pridružiť sa môžu aj nepravidelnosti srdcového rytmu (najčastejšie sú SVT - supraventrikulárne tachykardie) <sup>(69)</sup>.

Príznaky ischémie zahŕňajú zmeny na EKG (ST-segment, T vlna, odchýlka srdcovej osi doprava), kardiomegáliu a prítomnosť šelestu s trikuspidálnou či mitrálnou regurgitáciou v pozadí. Zmeny na EKG a biochemické zmeny pozorované u starších detí a dospelých sú u novorodencov menej časté, preto k posúdeniu ischémie myokardu a dysfunkcii môže prispieť vo väčšej miere TNE <sup>(70)</sup>.

Znížený srdcový výdaj, ako priamy dôsledok postihnutia myokardu, môže výrazne komplikovať perinatálnu starostlivosť a prispieť k zvýšeniu chorobnosti a mortality. Navyše terapeutické intervencie, vrátane celotelovej hypotermie a použitie liekov ako je fenobarbital, midazolam a morfín, môže mať ďalšie nepriaznivé hemodynamické účinky. Terapeutická hypotermia zmení systémovú a pľúcnu hemodynamiku zvýšením vaskulárnej rezistencie a znižuje pokojovú tepovú frekvenciu, čo znižuje srdcový výdaj. Posúdenie kardiovaskulárnych prejavov asfyxie, najmä v prípadoch klinicky zjavného nízkeho srdcového výdaja, preto môže byť pre nasadenie zodpovedajúcej liečby veľmi užitočné. Znamky komorovej dysfunkcie sa echokardiograficky preukážu približne u 30% až 50% detí vystavených perinatálnej asfyxii <sup>(71)</sup>.

K echokardiograficky detekovateľným nálezom patrí znížená kontraktilnosť, znížený vývrhový objem (SV) a tým aj znížený srdcový výdaj (CO) a zvýšený pľúcny arteriálny tlak <sup>(68)</sup>.

Všetci novorodenci s klinickými znakmi asfyxie vyžadujú posúdenie miery poškodenia myokardu vyhodnocovaním klinických hemodynamických prejavov a biomarkerov poškodenia myokardu (napríklad troponín). Ak nie je elevovaná hladina biomarkerov a nie je prítomný žiadny klinický dôkaz kardiovaskulárneho postihnutia, je málo pravdepodobné, že by echokardiografické vyšetrenie malo väčší prínos. V prípade prítomnosti klinických prejavov, ktoré naznačujú zlé prekrvenie koncových orgánov, môže byť komplexné echokardiografické vyšetrenie užitočné pre identifikáciu možných

funkčných, prípadne základných štrukturálnych zmien. Ak sa odhalia abnormality, štandardné TNE môže byť použité na monitorovanie funkčnej regenerácie a hemodynamického účinku liečby.

#### 6.4 POSUDZOVANIE STAVU A REAKCIE NA LIEČBU U NOVORODENCOV S PLŮCNOU HYPERTENZIOU

Perzistujúca pľúcna hypertenzia novorodenca (PPHN) je potenciálne život ohrozujúci stav charakterizovaný zlyhaním poklesu pľúcnej vaskulárnej rezistencie. Klinickým obrazom PPHN je hypoxická respiračná nedostatočnosť s cyanózou a so známami pravokomorového zlyhávania. Škála etiológie PPHN je veľmi široká od reverzibilného pľúcneho poškodenia až po irreverzibilné štrukturálne abnormality pľúc, cez hematologické a infekčné ochorenia a mnohé ďalšie príčiny. Potrebné je však v prvom rade vylúčiť vývojovú chybu srdca (TAPVD, HLHS, kritická AS, CoAo, Ebsteinova anomália, TGA...), ktorá prebieha pod obdobným klinickým obrazom. Krátko po pôrode sa na diagnostiku pľúcnej hypertenzie môže použiť TNE vyšetrenie s využitím otvoreného DA na posúdenie veľkosti pravo-l'avej skraty. Stav, keď prítomnosť P-L skraty tvorí viac ako 30% srdcového cyklu, sa považuje za signifikantnú pľúcnu hypertenziu. U mnohých detí sa však DA uzavrie pomerne skoro (do 24 hod po narodení).

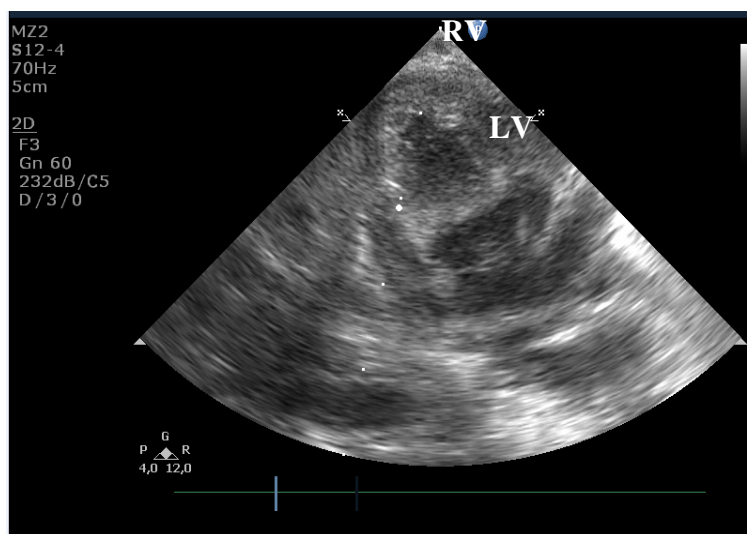
Interpretácia TNE nálezov pri PPHN je obtiažna pre jej zložitosť a závisí od času, kedy sa vyšetrenie realizuje.

Vysoké požiadavky na kyslík pri PPHN však nie sú vždy spôsobené len extrapulmonálnymi skratami krvi cez DA alebo foramen ovale. Dôležitú komponentu často tvoria intrapulmonálne skraty spôsobujúce ventilačno-perfúzny nepomer. Vzhľadom k tomu menežment PPHN vyžaduje riešenie ako respiračnej tak aj kardiovaskulárnej podpory. Pred nasadením terapie iNO je teda nutné upraviť funkciu ľavej komory a zabezpečiť adekvátny systémový tlak krvi. Existuje veľa kontroverzných a nevyriešených otázok ohľadom najefektívnejšej terapie PPHN. Sériové TNE merania môžu kvantifikovať reakciu na akúkoľvek liečbu a tak poskytnúť lepšiu predstavu o ďalších terapeutických krokoch vrátane vysadenia iNO<sup>(54)</sup>.

Medzi sekundárne následky PPHN patrí nízky srdcový výdaj z dôvodu zlyhania ľavokomorového preloadu, ktorý je výsledkom zníženého pľúcneho žilového návratu a nepriaznivého mechanického účinku tlaku objemovo preťaženej pravej komory na plnenie ľavej srdcovej komory (obrázok 38). Pravostranné srdce funguje proti vyššiemu

tlaku a objemu, čo môže spôsobiť hypertrofiu a dilatáciu pravej komory, v ťažkých prípadoch až jej zlyhávanie.

Neadekvátne ventilácia a zníženie ľavokomorového výdaja môže viesť k respiračnej a metabolickej acidóze, čo spôsobuje dysfunkciu myokardu, zhoršenie pľúcnej hypertenzie, hypoxiu, progresívnu systémovú hypoperfúziu a hypotenziu (circulum viciosus).



Obrázok 38: Parasternálna krátká os, „septálne D“: pri zvýšenom tlaku v pravej komore (RV) dochádza počas systoly k pretlačeniu komorového septa do ľavej komory (LV) a nie ku kontrakcii komory (LV nadobúda tvar veľkého tlačeneho písmena D) (vlastné zdroje)

Zvýšený sklon k pľúcnej hypertenzii (PHT) v novorodeneckom období v porovnaní s ostatnými fázami života prevažne súvisí s dvoma faktormi: s poruchou fyziologického poklesu pľúcnej vaskulárnej rezistencie (PVR), ktorý je potrebný pre úspešný prechod na postnatálny život a pretrvávanie anatomických zmien v srdci a na pľúcnych cievach, ktoré sú spoločne označované ako vaskulárna remodelácia. Medzi štrukturálne a funkčné dôsledky patologickej remodelácie patrí zúženie priesvitu cievy, prehnaná reakcie na vazokonstriktory, znížená schopnosť cievnej relaxácie a zníženie plnenia, z ktorých všetky môžu prispieť k rozvoju progresívnej a potenciálne nezvratnej chronickej formy PHT, v extrémnych prípadoch až k rozvoju cor pulmonale. K faktorom prispievajúcim k tejto patologickej pľúcnej vaskulárnej remodelácii patrí kyslíková toxicita, asfyxia a účinky mechanickej ventilácie s inflamáciou v pozadí <sup>(72)</sup>.

Pľúcna hypertenzia sa môže vyskytnúť aj u predčasne narodených detí, kedy je podmienená existenciou už abnormálneho cievneho riečiska (zvyšená muskularizácia pľúcnych ciev – rozšírenie svalových vlákien distálne do nemuskulárnych ciev).

K echokardiografickému vyšetreniu sú indikovaní všetci predčasne narodení novorodenci alebo novorodenci s klinickým podozrením na pľúcnu hypertenziu (tabuľka 8 a 9). Prvé komplexné echokardiografické vyšetrenie by malo byť zamerané na vylúčenie štrukturálnej srdcovej poruchy spojenej s pľúcnou hypertenziou (napr. anomálny pľúcny žilový návrat). Pri potvrdenej pľúcnej hypertenzii je indikované na posúdenie efektu liečby.

Echokardiografia pri PPHN je náročná vzhľadom ku koexistencii ochorenia pľúc a mechanickej ventilácie. Použitie štandardnej TNE na zobrazovanie srdca z niekoľkých štandardných prístupov je však užitočné pri dokumentovaní odpovede na liečbu, a to najmä keď je klinická odpoveď nejednoznačná alebo je ťažké zhodnotiť ju kvôli zložitosti zdravotnej situácie.

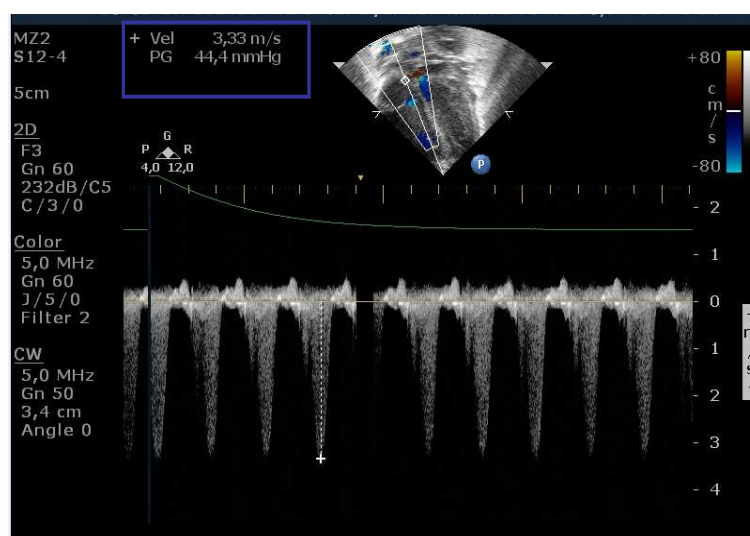
Tabuľka 8: TNE markery pľúcnej hypertenzie

<b>MARKERY PPHN - 2D</b>	
<b>normálna anatomická štruktúra</b>	
<b>adekvátne plnenie</b>	
predsiene	RA - veľká LA - malá medzipredsieňové septum vyklenuté doľava P – Ľ skrat
komory	RV - veľká LV – malá „septálne D“ – paradoxné pohyby postihnuté komorové funkcie
veľké cievy	veľká PA

<b>MARKERY PPHN – Doppler</b> (rýchlosti tokov, prietokové krivky)
• P-Ľ skrat na úrovni predsiení
• trikuspidálna regurgitácia
• bidirektný tok / P-Ľ skrat cez PDA
• PA- nízka prietoková rýchlosť
• retrográdny tok v aortálnom oblúku

Tabuľka 9: Základné TNE markery na zhodnotenie závažnosti PPHN

<b>TNE POSÚDENIE PPHN</b>	
➤	FoA – smer toku krvi (dominantne P-E skrat)
➤	TI – gradient (obrázok 39)
➤	„septálne D“
➤	MPA – prietok (TPV < 0.2m/s)
➤	prítomnosť duktu – smer skratu a prietok



Obrázok 39: Prietokový vzorec cez trikuspidálnu chlopňu. Pri posúdení PPHN sa pomocou Bernoulliho modifikovanej rovnice vypočíta tlakový gradient (PG) medzi pravou predsieňou a pravou komorou ( $PG = v^2 \times 4$ : tlakový gradient (mmHg) = 4x rýchlosť prúdenia tekutiny <sup>2</sup>)(vlastné zdroje)

## 6.5 NOVORODENCI SO SEPSOU A CIRKULAČNÝM ZLYHÁVANÍM

Sepsa a následný septický šok je spojený z dôležitými a zložitými hemodynamickými zmenami, ktoré sa odohrávajú na úrovni mikrocirkulácie. V dôsledku zvýšenej permeability cievnej steny a pôsobením lokálnych mediátorov zápalu dochádza k obrovskému úniku tekutín z obehu a rozvoju hypotenzie. Tento scenár však platí predovšetkým pre dospelých. Veľmi málo informácií máme k dispozícii o sepe u novorodencov. Štúdie sledujúce cirkuláciu u predčasne narodených novorodencov so suspektnou sepsou a so známkami periférnej vazodilatácie, myokardiálnej dysfunkcie, hypovolémie (relatívnej i absolútnej) a zvýšenej pľúcnej hypertenzie (následkom asfyxie)

zistili prítomnosť vysokého srdcového výdaja ako pravej tak aj ľavej komory a nízku systémovú vaskulárnu rezistenciu <sup>(73)</sup>.

Funkčná echokardiografia môže pomôcť pri popise východiskovej situácie a sledovať rozvíjajúce sa zmeny v cirkulácii vrátane zmien objemu cirkulujúcej tekutiny, srdcového výdaja a komorovej funkcie.

## 7 HODNOTENIE STATICKÝCH JAVOV VYUŽITÍM ULTRAZVUKU

Ultrazvukové vyšetrenie v neonatológii nachádza široké uplatnenie. Jedným z mnohých je aj hodnotenie statických javov v zmysle intratorakálnej patológie (CDH, fluidothorax, tamponáda srdca, PTX) a pre klinikov veľmi jednoduché a pacienta minimálne zaťažujúce využitie ultrazvuku na overovanie pozície a funkčnosti cievnych katétrov.

### 7.1 INTRATORAKÁLNA PATOLÓGIA

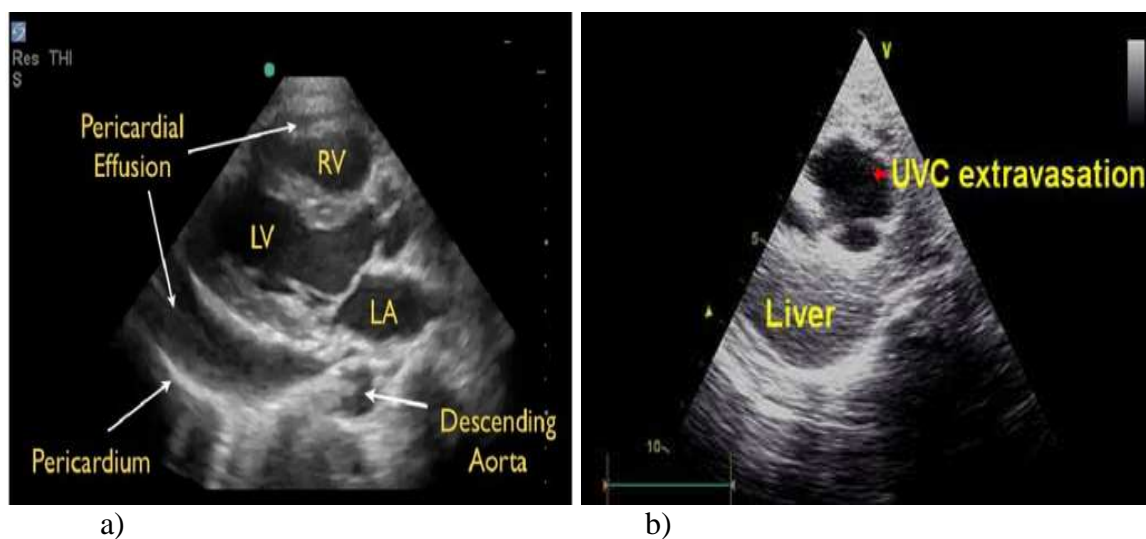
*Perikardiálna či pleurálna efúzia* (obrázok 40a) u predčasne narodených alebo kriticky chorých donosených novorodencov v jednotkách intenzívnej starostlivosti môže mať rôznu etiológiu vrátane infekcie, nádorového ochorenia, obštrukčných stavov (zvyčajne lymfatického systému), ale môže ísť aj o idiopatickú alebo iatrogénne vyvolanú situáciu (perforácia alebo *extravazácia* (obrázok 40b) intravenózne tekutiny erodovanou cievnu stenou spojená so zlou *pozíciou katétrov* v prípade dlhodobo zavedeného katétra).

Echokardiografia môže byť užitočná pri odhaľovaní *prítomnosti výpotkov*, ktoré nie sú zrejmé z rentgenologického nálezu, taktiež môže byť použitá pri *realizácii intervenčných postupov* (napr. perikardiocentézy) pod ultrazvukovou kontrolou. Nie je však vhodná na určovanie objemu prítomného výpotku.

### 7.2 CIEVNE PRÍSTUPY

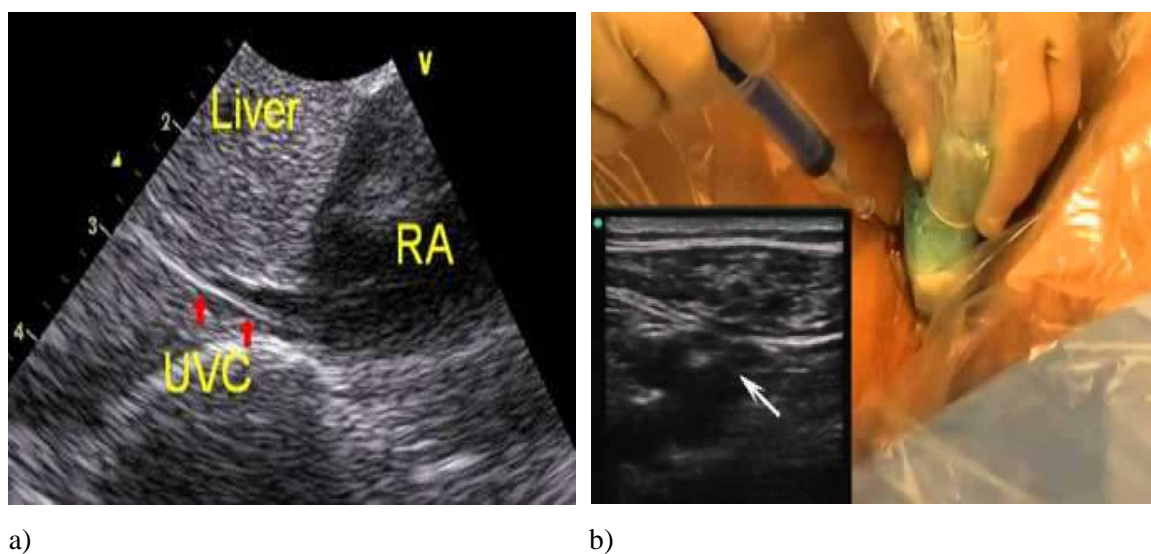
Fokusovaná TNE môže byť použitá na identifikáciu pozície špičky katétra (obrázok 41a), jej umiestnenia a potenciálnych komplikácií, ako je infekcia, trombóza, abnormálna poloha, embolizácia či cievne oklúzie. Echokardiografické vyšetrenie na vylúčenie vegetácií by však malo byť vykonané alebo interpretované detským kardiológom.

V neposlednom rade sa v klinickej praxi rozmáha využitie možnosti zabezpečovania cievnych prístupov za ultrazvukovej kontroly (obrázok 41b).



Obrázok 40: Parasternálny prístup v dlhej osi. a) perikardiálny výpotok, b) extravazácia do pečene pri zlej pozícii UVC (umbilikálny venózný katéter). Dostupné na:

[http://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3485910\\_CCRP2012-503254.003&req=4](http://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3485910_CCRP2012-503254.003&req=4)



Obrázok 41: a) Správna pozícia UVC (umbilikálny venózný katéter) – na prechode vena cava inferior do pravej predsieni, b) Inzercia katétra pod ultrazvukovou kontrolou. Dostupné na:

[http://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3485910\\_CCRP2012-503254.003&req=4](http://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3485910_CCRP2012-503254.003&req=4)

## 8 ZÁVER

Jednou z najdôležitejších úloh pokrokovej medicíny je neustále rozširovanie a prehĺbovanie vedomostí a zavádzanie skúsenosťami overených a štúdiami podporených znalostí do každodennej praxe. Mnohé práce poukazujú na to, že bez zvyšovania kvalifikácie a zručností lekárov pracujúcich na úsekoch novorodeneckej intenzívne resuscitačnej starostlivosti je ďalšie znižovanie neonatálnej mortality a morbidity nepredstaviteľné.

V oblasti funkčnej echokardiografie u novorodencov sú pomerne veľké rezervy. Existujúcimi prostriedkami by sa však tento diagnosticko-terapeutický „hiatus leucemicus“ dal odstrániť, a to adekvátnou edukáciou, praktickým tréningom pod primeraným dohľadom, udržiavaním zručností opakovanými školeniami a následnou aplikáciou vedomostí a získaných praktických znalostí do práce na oddelení pri starostlivosti o novorodeneckých pacientov.

V celosvetovom meradle záujem o použitie TNE na hodnotenie kardiovaskulárneho systému postupne rastie. Vzrastajúci záujem a snaha o zavedenie tejto vyšetrovacej techniky v jednotkách intenzívnej starostlivosti o chorých a extrémne nezrelých novorodencov vychádza z nutnosti kontinuálne sledovať zmeny, ktoré sa odohrávajú na úrovni cirkulácie. Pribúdajú dôkazy o tom, že rutinné použitie funkčnej echokardiografie u novorodencov v jednotkách intenzívno resuscitačnej starostlivosti pomáha identifikovať etiopatogézu kardiovaskulárneho zlyhávania a ovplyvňuje riadenie cieľenej liečby.

Dôležitý je predovšetkým fakt, že echokardiografické vyšetrenie predstavuje účinný neinvazívny prostriedok na získanie potrebných informácií, ktorý je použiteľný priebežne kedykoľvek, priamo pri lôžku pacienta, v reálnom čase a predstavuje len malú záťaž pre dieťa nakoľko vyžaduje len minimálnu manipuláciu a ak je vykonaná s náležitou starostlivosťou, nenaruší kardiorespiračný stav ani termálny komfort dieťaťa.

Existuje celý rad parametrov, ktorých dynamika môže byť hodnotená pomocou funkčnej echokardiografie (prítomnosť skratov na úrovni predsiení a duku, smer prúdenia krvi týmito skratmi, stupeň závažnosti skratov, tlak v pľúcnej artérii, rýchlosti prúdenia krvi a funkčnosť myokardu). Jednotlivé parametre sa navzájom ovplyvňujú, z čoho teda vyplýva, že nie je možné hodnotiť jednu nezávislú a jedenkrát izolovane nameranú hodnotu, nakoľko nám neposkytne potrebné informácie na zhodnotenie skutočného systémového prietoku, ktorý v zásade determinuje mieru adekvátneho prekrvenia tkanív terminálnych orgánov.



Ako každá diagnostická zobrazovacia metóda aj TNE má svoje obmedzenia. Merania sú náchylné k chybám. Nie je ľahké kvantifikovať náplň srdca, hodnotenie kontraktilnosti je zaťažené subjektívnym posúdením kvôli nepravidelnému tvaru ľavej komory a kvantifikácia objemového prietoku sa realizuje na základe merania priemeru a rýchlosti, takže pri výpočtoch dochádza k znásobeniu potenciálnych chýb. Okrem toho sú tieto merania zaťažené aj intraobservačnou variabilitou (okolo 10%) a tiež interobservačnými rozdielmi (asi 20%). Ak sa na meranie funkcie ako krížová kontrola použije viac ako jeden marker, realizujú sa opakované merania na získanie priemerných hodnôt a ak sa obmedzí aj počet vyšetrujúcich na jedného pozorovateľa, tak je možné tieto nepresnosti minimalizovať. Získané výsledky je potrebné interpretovať s dôrazom na tieto limity.

Pri aplikácii TNE vyšetrovacej metódy si treba uvedomiť, že je to len doplnkové vyšetrenie. Nenahrádza echokardiografické vyšetrenie realizované kardiológom. Hodnotenie pacienta je založené na komplexnom pohľade a interpretácia opakovaných meraní sa nedeje izolovane, ale vrámci dôkladného posúdenia v klinickom kontexte.

Napriek všetkým vymenovaným obmedzeniam je TNE vyšetrenie dôležitým nástrojom účinného menežmentu kriticky chorého novorodenca. Pracoviská zabezpečujúce intenzívnu starostlivosť pre nezrelých a kriticky chorých novorodencov by sa mali zamerať na diagnostické možnosti aj na tejto úrovni. Umožňuje sledovať dynamiku a pomáha identifikovať patologické stavy v procese postnatálnej adaptácie, zabezpečuje možnosť zasiahnuť cielene v adekvátnom čase. Prispieva k potvrdeniu uvedených diagnóz a predovšetkým na vytypovanie a sledovanie účinku cielenej terapie. Podporuje prechod z uniformnej liečby na individuálnu, "šitú" na mieru <sup>(74)</sup> (Willem –Pieter de Boode, ESPR Porto 2013: „pressure based approach - one size fits all protocol change to physiology based approach - individualized management“).

Funkčné echokardiografické hodnotenie stavu obehového systému neonatológom u predčasne narodených a kriticky chorých novorodencov má jednoznačne obrovský potenciál zvýšiť úroveň neonatálnej intenzívnej starostlivosti a tak znížiť novorodeneckú mortalitu a morbiditu s následným pozitívnym dopadom na kvalitu života prežívajúcich.

## LITERATÚRA

1. KLUCKOW, M., SERI, I., EVANS, N. Echocardiography and the Neonatologist. *Pediatr Cardiol*, 2008 Nov, 29(6):1043-7
2. KLUCKOW, M.,SERI, I., EVANS, N. Functional echocardiography: an emerging clinical tool for neonatologist. *J Pediatr*, 2007, 150:125-130
3. OSBORN, D.A., EVANS, N., KLUCKOW, M. Clinical detection of low upper body blood flow in very premature infants using blood pressure, capillary refill time, and centralperipheral temperature difference. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2004, 89:F168-73.
4. EVANS, N. Which inotrope for which baby? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2006, 91:F213-20.
5. MOSS, S., KITCHINER, D.J., YOXALL, C.W., SUBHEDAR, N.V. Evaluation of echocardiography on the neonatal unit. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2003, 88:F287-9.
6. SERI, I. Hemodynamics during the first two postnatal days and neurodevelopment in preterm neonates. *J Pediatr*, 2004, 145:573-5.
7. WARD, C.J. et al. Diagnostic accuracy of paediatric echocardiograms interpreted by individuals other than paediatric cardiologists. *J Paediatr Child Health*, 2001, 37:331-6
8. RUDOLPH, A.M. Myocardial growth before and after birth: clinical implications. *Acta Paediatr*, 2000, 89:129–33.
9. NADAL-GINARD, B., MAHDAVI, V. Molecular basis of cardiac performance. Plasticity of the myocardium generated through protein isoform switches. *J Clin Invest*, 1989, 84:1693–700.
10. TEITEL, D. Developmental aspects of cardiac performance. In: SHADDY, R., WERNOVSKY, G. editors. *Pediatric heart failure*. London: Taylor & Francis, 2005, pp. 31–63.
11. RUDOLPH, A.M. Congenital diseases of the heart: clinical-physiological considerations. 3rd ed. Chichester, United Kingdom: Wiley-Blackwell; 2009, ISBN: 978-1-405-16245-6.
12. KLUCKOW, M. Low systemic blood flow and pathophysiology of the preterm transitional circulation. *Early Hum Dev*, 2005, 81:429–37.

13. EVANS, N. Assessment and support of the preterm circulation. *Early Hum Dev*, 2006, 82:803–10.
14. HAWKINS, J., HARE, G.F. van, SCHMIDT, K.G., RUDOLPH, A.M. Effects of increasing afterload on left ventricular output in fetal lambs. *Circ Res*, 1989, 65:127–34.
15. KISERUD, T., ACHARYA, G. The fetal circulation. *Prenat Diagn*, 2004, 24:1049–59.
16. KLOPFENSTEIN, H.S., RUDOLPH, A.M. Postnatal changes in the circulation and responses to volume loading in sheep. *Circ Res*, 1978, 42:839–45.
17. REED, K.L., SAHN, D.J., MARX, G.R., ANDERSON, C.F., SHENKER, L. Cardiac Doppler flows during fetal arrhythmias: physiologic consequences. *Obstet Gynecol*, 1987, 70:1–6.
18. RUDOLPH, A.M. Circulation in the normal fetus and cardiovascular adaptations to birth. In: YAGEL, S., SILVERMAN, N.H., GEMBRUCH, U. editors. *Fetal cardiology*. New York: Informa Healthcare, 2008, pp. 131–52.
19. HARADA, K., OGAWA, M., TANAKA, T. Right ventricular pre-ejection myocardial velocity and myocardial acceleration in normal fetuses assessed by Doppler tissue imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2005, 18:370–4.
20. YOUNOSZAI, A.K., SAUDEK, D.E., EMERY, S.P., THOMAS, J.D. Evaluation of myocardial mechanics in the fetus by velocity vector imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008, 21:470–4.
21. BLACKBURN, S. Placental, fetal, and transitional circulation revisited. *J Perinat Neonatal Nurs*, 2006, 20:290–4.
22. BASCHAT, A., GEMBRUCH, U. Development of fetal cardiac and extracardiac Dopple flows in early gestation. In: YAGEL, S., SILVERMAN, N.H., GEMBRUCH, U. editors. *Fetal cardiology*. New York: Informa Healthcare, 2008, pp. 153–71.
23. JAVORKA, K. a kol. *Klinická fyziológia pre pediatrov*, vydavateľstvo Osveta, 1996, str.122-125, ISBN 80-217-0512-4
24. OSBORN, D.A. Diagnosis and treatment of preterm transitional circulatory compromise. *Early Hum Dev*, 2005, 81:413–22.
25. LAI, W.W., GEVA, T., SHIRALI, G.S., FROMMELT, P.C., HUMES, R.A., BROOK, M.M. et al. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the

- American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006, 19:1413-30.
26. LAI, W.W., MERTENS, L.L., COHEN, M.S., GEVA, T. Echocardiography in pediatric and congenital heart disease: from fetus to adult. In: RUDOLPH, A.M. Congenital diseases of the heart: clinical-physiological considerations. 3rd ed. Chichester, United Kingdom: Wiley-Blackwell; 2009, ISBN: 978-1-405-16245-6.
  27. MAREK, J., Echokardiografia, In: CHALOUPECKÝ, V., *Dětská kardiologie*, 1. vydanie, Praha: Galén, 2006, str. 53-66, ISBN 80-7262-406-5.
  28. WYLLIE, J.P. Ventricular function, In: SKINNER, J., ALVERSON, D., HUNTER, S. *Echocardiography for the Neonatologist*. 1.vydanie, London: Churchill Livingstone, 2000, str.114-20, ISBN 0-443-05480-0
  29. LOPEZ, L., COLAN, S.D., FROMMELT, P.C., ENSING, G.J., KENDALL, K., YOUNOSZAI, A.K. et al. Recommendations for quantification methods during the performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010, 23:465-95.
  30. ZECCA, E., ROMAGNOLI, C., VENTO, G., CAROLIS, M.P. de, ROSA, G. de, TORTOROLO, G. Left ventricle dimensions in preterm infants during the first month of life. *Eur J Pediatr*, 2001, 160:227-30.
  31. SKELTON, R., GILL, A.B., PARSONS, J.M. Reference ranges for cardiac dimensions and blood flow velocity in preterm infants. *Heart (Br Card Soc)*, 1998, 80: 281-5.
  32. NAGASAWA, H. Novel regression equations of left ventricular dimensions in infants less than 1 year of age and premature neonates obtained from echocardiographic examination. *Cardiol Young*, 2010, 20:526-31.
  33. KAMPMANN, C., WIETHOFF, C.M., WENZEL, A., STOLZ, G., BETANCOR, M., WIPPERMANN, CF. et al. Normal values of M mode echocardiographic measurements of more than 2000 healthy infants and children in central Europe. *Heart (Br Card Soc)*, 2000, 83:667-72.
  34. PENA, J.L., SILVA, M.G. da, ALVES, J.M. Jr., SALEMI, V.M., MADY, C., BALTABAEVA, A. et al. Sequential changes of longitudinal and radial myocardial deformation indices in the healthy neonate heart. *JAm Soc Echocardiogr*, 2010, 23:294-300.

35. PENA, J.L., SILVA, M.G. da, FARIA, S.C., SALEMI, V.M., MADY, C., BALTABAEVA, A. et al. Quantification of regional left and right ventricular deformation indices in healthy neonates by using strain rate and strain imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009, 22:369-75.
36. HARADA, K., SHIOTA, T., TAKAHASHI, Y., TAMURA, M., TOYONO, M., TAKADA, G. Doppler echocardiographic evaluation of left ventricular output and left ventricular diastolic filling changes in the first day of life. *Pediatr Res*, 1994, 35:506-9.
37. RIGGS, T.W., RODRIGUEZ, R., SNIDER, A.R., BATTON, D. Doppler echocardiographic evaluation of right and left ventricular diastolic function in normal neonates. *J Am Coll Cardiol*, 1989, 13:700-5.
38. SCHMITZ, L., KOCH, H., BEIN, G., BROCKMEIER, K. Left ventricular diastolic function in infants, children, and adolescents. Reference values and analysis of morphologic and physiologic determinants of echocardiographic Doppler flow signals during growth and maturation. *J Am Coll Cardiol*, 1998, 32:1441-8.
39. SCHMITZ, L., STILLER, B., PEES, C., KOCH, H., XANTHOPOULOS, A., LANGE, P. Doppler-derived parameters of diastolic left ventricular function in preterm infants with a birth weight <1500 g: reference values and differences to term infants. *Early Hum Dev*, 2004, 76:101-14.
40. HARADA, K., TAKAHASHI, Y., TAMURA, M., ORINO, T., TAKADA, G. Serial echocardiographic and Doppler evaluation of left ventricular systolic performance and diastolic filling in premature infants. *Early Hum Dev*, 1999, 54:169-80.
41. EIDEM, B.W., TEI, C., O'LEARY, P.W., CETTA, F., SEWARD, J.B. Nongeometric quantitative assessment of right and left ventricular function: myocardial performance index in normal children and patients with Ebstein anomaly. *J Am Soc Echocardiogr*, 1998, 11:849-56.
42. CHEUNG, M.M., SMALLHORN, J.F., REDINGTON, A.N., VOGEL, M. The effects of changes in loading conditions and modulation of inotropic state on the myocardial performance index: comparison with conductance catheter measurements. *Eur Heart J*, 2004, 25:2238-42.
43. MERTENS, L., SERI, I., MAREK, J. et al. Targeted Neonatal Echocardiography in the Neonatal Intensive Care Unit: Practice Guidelines and Recommendations for Training. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011, 24:1057-78.

44. STEINFELD, L., ALMEIDA, O.D., ROTHFELD, E.L. Asynchronous atrioventricular valve opening as it relates to right to left interatrial shunting in the normal newborn. *Journal of the American College of Cardiology*, 1988, 12:712-718)
45. EVANS, N. Assessment of interatrial shunting. In: SKINNER, J., ALVERSON, D., HUNTER, S. *Echocardiography for the Neonatologist*. 1.vydanie, London: Churchill Livingstone, 2000, str.102-110, ISBN 0-443-05480-0
46. GROVES, A.M., KUSCHEL, C.A., KNIGHT, D.B., SKINNER, J.R. Does retrograde diastolic flow in the descending aorta signify impaired systemic perfusion in preterm infants? *Pediatr Res*, 2008, 63:89-94.
47. CD-Rom, EVANS, N., MALCOLM, G. Practical echocardiography for the neonatologist: Part 1.Normal 2D imaging and Doppler: an interactive multimedia CD-ROM. Royal Prince Alfred Hospital, Sydney, Australia, 2006.
48. MUSEWE, N.N., POPPE, D., SMALLHORN, J.F. et al. Doppler echocardiographic measurement of pulmonary artery pressure from ductal Doppler velocities in newborn. *J Am Coll Cardiol*, 1990,15:446-56
49. EVANS, N., KLUCKOW, M. Early determinants of right and left ventricular output in ventilated preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 1996, 74(2):F88-94
50. KLUCKOW, M., EVANS, N. Superior vena cava flow in newborn infants: a novel marker of systemic blood flow. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2000, 82(3):F182-7)
51. KLUCKOW, M., EVANS, N. Low systemic blood flow in the preterm infant. *Semin Neonatol*, 2001, 6(1):75-84
52. KAHN, A., LAKKUNDI, A., WAAL, K.A. de. Variability in measurement of the left ventricular outflow diameter and flow velocity. Abstract PSANZ Hobart, Tasmania, Australia 2011.
53. HAWKINS, J., HARE, G.F. van, SCHMIDT, K.G., RUDOLPH, A.M. Effects of increasing afterload on left ventricular output in fetal lambs. *Circ Res*, 1989, 65:127-34.
54. WAAL, K.A. de, KLUCKOW, M. Functional echokardiography; from physiology to treatment, *Early Hum Dev*, 2010, 86(3):149-54
55. KLUCKOW, M., SERI, I., EVANS, N. Functional Echocardiography: An Emerging Clinical Tool for Neonatologist. *J Pediatr*, 2007, 150: 125-130

56. EVANS, N. Assessment and support of the preterm circulation. *Early Hum Dev*, 2006, 82(12):803-10
57. VARGO, L., SERI, I. The Management of Hypotension in the VLBWI: Guideline for Practice, *Advances in Neonatal Care*, 2011, vol 11, No 4, s.272-278
58. GROVES, A.M., KUSCHEL, C.A., KNIGHT, D.B., SKINNER, J.R. Relationship between blood pressure and blood flow in newborn preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2008, 93: F29.F32
59. KLUCKOW, M., EVANS, N. Low superior vena cava flow and intraventricular haemorrhage in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2000, 82:188-94
60. TURNER, M.A., BAINES, P. Which inotrope and when in neonatal and paediatric intensive care? *Arch Dis Child Pract Ed*, 2011, 96:216-22
61. BENITZ, W.E. Treatment of persistent patent ductus arteriosus in preterm infants: time to accept the null hypothesis? *J Perinatol*, 2010, 30(4):241-52
62. SUZUMURA, H., NITTA, A., TANAKA, G., ARISAKA, O. Diastolic flow velocity of the left pulmonary artery of patent ductus arteriosus in preterm infants. *Pediatr Int*, 2001, 43(2):146-51
63. EL HAJJAR, M., VAKSMANN, G., RAKZA, T., KONGOLO, G., STORME, L. Severity of the ductal shunt: a comparison of different markers. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2005, 90(5):F419-22
64. GROVES, A.M., KUSCHEL, C.A., KNIGHT, D.B., SKINNER, J.R. Does retrograde diastolic flow in the descending aorta signify impaired systemic perfusion in preterm infants? *Pediatr Res*, 2008, 63(1):89-94
65. JENSEN, A., GARNIER, Y., BERGER, R. Dynamics of fetal circulatory responses to hypoxia and asphyxia. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 1999, 84:155-72
66. SHAP, P., RIPHAGEN, S., BEYENE, J., PERLMAN, M. Multiorgan dysfunction in infants with post-asphyxial hypoxic-ischaemic encephalopathy. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2004, 89:F152-5
67. JEDEIKIN, R., PRIMHAK, A., SHENNAN, A.T., SWYER, P.R., ROWE, R.D. Serial electrocardiographic changes in healthy and stressed neonates. *Arch Dis Child*, 1983, 58:605-11
68. LEONE, T.A., FINER, N.N. Shock: A common Consequence of Neonatal Asphyxia. *J Pediatr*, 2011, 158:e9-12

69. RAJAKUMAR, P.S., VISHNU BHAT, B., SRIDHAR, M.G., BALACHANDER, J., KONAR, B.C., NARAYANAN, P. et al. Electrocardiographic and echocardiographic changes in perinatal asphyxia. *Indian J Pediatr*, 2009, 76:261–4.
70. KLUCKOW, M. Functional Echocardiography in Assessment of the Cardiovascular System in Asphyxiated Neonates. *J Pediatr*, 2011, 158:e13-8
71. WEI, Y., XU, J., XU, T., FAN, J., TAO, S. Left ventricular systolic function of new-borns with asphyxia evaluated by tissue Doppler imaging. *Pediatr Cardiol*, 2009, 30: 741–6.
72. McNAMARA, P.J., MURTHY, P., KANTORES, C., TEIXEIRA, L., ENGELBERTS, D., VLIET, T. van et al. Acute vasodilator effects of Rho-kinase inhibitors in neonatal rats with pulmonary hypertension unresponsive to nitric oxide. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 2008, 294:L205–13.
73. WAAL, K.A. de, EVANS, N. Hemodynamic presentation of late onset sepsis in preterm infants. *J Paediatr Child Health*, 2009, 45(1)suppl 1:A84
74. BOODE, W.P. de, ESPR, Porto 2013
75. WAAL, K.A. de The Methodology of Doppler-Derived Central Blood Flow Measurements in Newborn Infants. *International Journal of Pediatrics*, 2012, Article ID 680162, str. 13.
76. TAMURA, M., HARADA, K., TAKADA, G. Changes in superior vena cava velocity patterns in normal neonates. *Am J Cardiol.*, 1998, 81(3):362-5.
77. GROVES, A., KUSCHEL, C. A., KNIGHT, D. B. , SKINNER, J. R. Echocardiographic assessment of blood flow volume in the superior vena cava and descending aorta in the newborn infant. *Archives of Disease in Childhood: Fetal and Neonatal Edition*, 2008, 93 (1): F24–F28.



## PRÍLOHA

Príloha 1: Súhrn metodík meraní, ktoré sú potrebné pre získanie centrálneho prietoku krvi.

<b>Centrálny prietok krvi</b>	<b>meraný parameter</b>	<b>prístupové okno</b>	<b>miesto merania</b>
<b>LVCO</b>	diameter výtokového traktu ľavej komory - aorty	parasternálne okno – dlhá os	odstup koronárnych artérií / anulus aortálnej chlopne
	VTI	5- dutinová apikálna projekcia	prietoková krivka v ascendentnej Ao
<b>RVCO</b>	diameter výtokového traktu pravej komory - pľúcnica	suprasternálne okno	v mieste odstupu chlopní
	VTI	parasternálne okno – dlhá os	prietoková krivka v artéria pulmonalis
<b>SVC flow</b>	diameter VCS	vysoký parasternálny prístup- dlhá os s vytočením ultrazvukových lúčov doprava v sagitálnej rovine	v mieste prechodu VCS do pravej predsiene
	VTI	subkostálne okno	v mieste vtoku VCS do pravej predsiene

(vysvetlivky: LVCO – srdcový výdaj ľavej komory, RVCO – srdcový výdaj pravej komory, SVC flow – prietok cez vena cava superior, VTI – rýchlostne- časový integrál, Ao – aorta, VCS – vena cava superior)

Príloha 2: Normálne hodnoty prietokových rýchlostí

miesto merania	term (m/s) *	preterm (m/s)
<b>PA</b>	0.7 ± 0.09	0.6 ± 0.11**
<b>TV</b>	E vlna 0.4 ± 0.1 A vlna 0.5 ± 0.11 E : A 0.8 ± 0.15	0.4 ***
<b>Ao</b>	0.9 ± 0.13	0.8 ± 0.12**
<b>MV</b>	E vlna 0.5 ± 0.1 A vlna 0.45 ± 0.12 E : A 1.15 ± 0.25	0.39***

(vysvetlivky: PA- pľúcnica, TV – trikuspidálna chlopňa, Ao – aorta, MV – mitrálna chlopňa, zdroje: \* Am Heart J 1987; \*\* Arch Dis Child 2000; \*\*\* Heart 1998)

Príloha 3: Normálne hodnoty LVCO a RVCO

Systémový výdaj	hodnota (ml/kg/min)	determinanta	hodnota
<b>LVCO</b>	140 - 270	Ao diameter	3.8 – 5.2 mm
		Ao peak velocity	0.6 – 0.9 m/s
		Ao VTI	0.065 – 0.117 m
<b>RVCO</b>	130 – 265	PA diameter	4.2 – 5.6 mm
		MPA peak velocity	0.45 – 0.7 m/s
		MPA VTI	0.049 – 0.1 m
<b>SVC flow</b>	43 – 114	SVC diameter	
		max	2. 2.0 – 3.3 mm
		min	6 – 4.0 mm
		SVC peak velocity	0. 32 – 0.62 m
		SVC VTI	0.063 – 0.13 m/s

(vysvetlivky: LVO – výdaj ľavej komory, RVO – výdaj pravej komory, SVC flow – prietok cez vena cava superior, Ao – aorta, VTI – velocity time integral, MPA – mean pulmonary artery, SVC – superior vena cava

EVANS, N., MALCOLM, G. Practical echocardiography for the neonatologist: Part 1.Normal 2D imaging and Doppler: an interactive multimedia CD-ROM. Royal Prince Alfred Hospital, Sydney, Australia, 2006.)

Príloha 4: Determinanty RVCO a hodnoty srdcového výdaja u zrelých a predčasne narodených novorodencov

(WAAL, K.A. de. The Methodology of Doppler-Derived Central Blood Flow Measurements in Newborn Infants. *International Journal of Pediatrics*, 2012, Article ID 680162, str.28.)

Study	RVO diameter	RVO flow velocity	Angle correction	Time after birth	RVO (ml/kg/min)					
					Preterm infants			Term infants		
					n	Mean	SD	n	Mean	SD
Tanaka 1987 <sup>24</sup>	not done	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	24 hours						
Sholler 1987 <sup>25</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal short axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	14 days				25	310	70
Shirashi 1988 <sup>27</sup>	Pulmonary artery M mode leading edge parasternal long axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	1-2 days				10	200	
Walther 1990 <sup>16</sup>	mean systolic diameter of the Pulmonary artery	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	unknown	26	254	48	16	254	48
Evans 1996 <sup>7</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal axis	no	24 hours	19	202*	71			
Evans 1996 <sup>7</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal axis	no	4 days	20	287*	60			
Yanowitz 1999 <sup>26</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal short axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	24 hours	20	355	40			
Yanowitz 1999 <sup>26</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal short axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	7 days	20	450	50			
Tsai-Goodman 2001 <sup>20</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal short axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	24 hours	10	255		16	255	
Grooves 2008 <sup>34</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal short axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal short axis	no	24 hours	80	400	90			
Sloot 2010 <sup>22</sup>	Pulmonary annulus at end systole in 2D parasternal axis	RVOT 2D guided PW Doppler parasternal axis	no	7 days	57	429	116			

Priloha 5: Determinanty LVCO a hodnoty srdcového výdaja u zrelých a nezrelých novorodencov (WAAL, K.A. de. The Methodology of Doppler-Derived Central Blood Flow Measurements in Newborn Infants. *International Journal of Pediatrics*, 2012, Article ID 680162, str.28.)

Study	LVO diameter	LVO flow velocity	Angle correction	Time after birth	LVO (ml/kg/min)			Term infants		
					Preterm infants	Mean	SD	n	Mean	SD
Alverson 1984 <sup>9</sup>	Ascending Aorta M mode trailing edge parasternal long axis	Ascending Aorta unguided CW Doppler high suprasternal view	no	1-5 days	8	221	56	14	236	47
Walther 1985 <sup>6</sup>	Aortic Root M mode leading edge parasternal long axis	Ascending Aorta unguided CW Doppler high suprasternal view	no	1-5 days	59	260	35	62	230	30
Hirsimaki 1988 <sup>14</sup>	Aortic Root M mode parasternal short axis	Ascending Aorta unguided CW Doppler high suprasternal view	no	24 hours				22	273	59
Winberg 1989 <sup>15</sup>	Ascending Aorta M mode trailing edge parasternal long axis	Ascending Aorta unguided CW Doppler high suprasternal view	no	24 hours				16	187	35
Walther 1990 <sup>16</sup>	Ascending aorta 2D internal diameter parasternal long axis	Ascending Aorta unguided CW Doppler high suprasternal view	no	unknown	26	250	41	16	250	41
Agata 1991 <sup>17</sup>	Ascending Aorta M mode leading edge parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler apical view	no	24 hours				34	245	56
Mandelbaum 1991 <sup>18</sup>	Aortic Annulus 2D internal diameter parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler apical view	no	5-48 hours				18	150	40
Evans 1996 <sup>7</sup>	Ascending Aorta 2D internal diameter parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler apical view	< 20°	24 hours	20	233 <sup>#</sup>	55			
Evans 1996 <sup>7</sup>	Ascending Aorta 2D internal diameter parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler apical view	< 20°	4 days	20	282 <sup>#</sup>	60			
Pladys 1999 <sup>19</sup>	Ascending Aorta M mode trailing edge parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler subcostal view	no	24 hours	17	245 <sup>†</sup>	60			
Tsai-Goodman 2001 <sup>20</sup>	Aortic Root M mode trailing edge parasternal long axis	Ascending Aorta unguided CW Doppler high suprasternal view	no	24 hours	10	241		16	241	
Murase 2002 <sup>21</sup>	Ascending Aorta 2D internal diameter parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler high suprasternal view	no	24 hours	11	144 <sup>†</sup>	37			
Grooves 2008 <sup>34</sup>	Ascending Aorta 2D internal diameter parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler apical view	< 20°	24 hours	43	288 <sup>†</sup>	80			
Sloot 2010 <sup>22</sup>	Aortic Annulus 2D internal diameter parasternal long axis	Ascending Aorta 2D guided PW Doppler subcostal view	no	7 days	57	296	74			

Príloha 6: Odporúčané cut-off hodnoty pre nízky a vysoký systémový prietok krvi u predčasne narodených novorodencov (WAAL, K.A. de. The Methodology of Doppler-Derived Central Blood Flow Measurements in Newborn Infants. *International Journal of Pediatrics*, 2012, Article ID 680162, str.28.)

	<b>Pathologically low blood flow</b>	<b>Low blood flow</b>	<b>High blood flow</b>
RVO	< 120	< 150	> 600
LVO	< 120	< 150	> 600
SVC flow	< 40	< 45	> 150

(vysvetlivky: RVO – výdaj pravej komory, LVO – výdaj ľavej komory, SVC flow – prietok cez vena cava superior, hodnoty sú udané v ml/kg/min)

Príloha 7: Hodnoty VTI a prietoku pre VCS a DAo v 5, 12, 24 a 48 hodine života u 14 zdravých predčasne narodených novorodencov a u 13 zdravých termínových novorodencov (GROVES, A., KUSCHEL, C. A., KNIGHT, D. B. , SKINNER, J. R. Echocardiographic assessment of blood flow volume in the superior vena cava and descending aorta in the newborn infant. *Archives of Disease in Childhood: Fetal and Neonatal Edition*, 2008, 93 (1): F24–F28.)

	5 h	12 h	24 h	48 h
<b>Preterm infants</b>				
SVC velocity time integral (cm)	10.0 (5.5–12.2)	9.0 (5.0–15.4)	11.0** (7.6–16.6)	12.6** (8.0–17.3)
SVC flow (ml/kg/min)	90 (41–132)	101 (40–183)	112 (64–193)	113* (82–179)
DAo velocity time integral (cm)	7.2 (4.7–15.0)	8.4 (4.3–13.7)	9.6 (4.0–14.7)	9.3 (2.8–15.1)
DAo flow (ml/kg/min)	133 (78–186)	134 (81–193)	180* (93–233)	161 (87–242)
<b>Term infants</b>				
SVC velocity time integral (cm)	10.3 (7.1–19.6)	13.2 (11.0–16.3)	13.6 (10.1–20.1)	10.4 (9.6–15.6)
SVC flow (ml/kg/min)	68 (32–166)	87 (53–127)	89* (54–167)	60 (41–167)
DAo velocity time integral (cm)	12.2 (8.6–15.9)	13.8 (11.0–18.3)	12.1 (7.9–19.4)	15.3 (11.2–17.6)
DAo flow (ml/kg/min)	123 (115–190)	171* (118–236)	133 (108–305)	154* (136–235)

\*p<0.05, \*\*p<0.01, when compared with values at 5 h.

(vysvetlivky: SVC – superior vena cava, DAo- descendntná aorta)