Současné možnosti měření perfuze u novorozenců

Zbyněk Straňák[1,2], Marta Jacevičová[1], Jan Širc[1,2], Peter Korček[1,2]

[1]Ústav pro péči o matku dítě, Praha
[2]3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Praha

SOUHRN
Poruchy tkáňové perfuze jsou u novorozenců častým symptomem. V klinické praxi hodnotíme poruchy perfuze nejčastěji fyzikálním vyšetřením, monitorováním krevního tlaku a stanovením některých biochemických parametrů (pH, base deficit, laktát). V současné době máme k dispozici nové metody, pomocí kterých jsme schopni perfuzi kontinuálně monitorovat, popsat změny perfuze kvantitativně i kvalitativně a odlišit od sebe jednotlivé patofyziologie. Spojení kontinuální přístrojové monitorace (near infrared spectroscopy, bioimpedance, bioreaktance) s funkční echokardiografií a klinickým vyšetřením nám může poskytnout detailní a komplexní informace o stavu orgánové perfuze organismu a optimalizovat terapii hemodynamické instability. Implementace nových diagnostických postupů může snížit i závažnost neonatální i postneonatální morbidity.

KLÍČOVÁ SLOVA
perfuze, hypotenze, srdeční výdej, monitoring, bioimpedance, bioreaktance

SUMMARY
Recent methods of perfusion measurement in newborn

Disorders of tissue perfusion are a common symptom in newborns. In clinical practice, we predominatly evaluate perfusion disorders by physical examination, blood pressure monitoring and assessment of some biochemical parameters (pH, base deficit, lactate). Recently new methods are available. These methods allow continuous monitoring of perfusion, describe quantitative and qualitative changes in perfusion, and distinguish among diferent pathophysiologies. The combination of continuous monitoring devices (near infrared spectoscopy, bioimpedance, bioreactance) with functional echocardiography and clinical examination can provide us with detailed and comprehensive information on the status of organ perfusion and optimize the therapy of hemodynamic instability. The implementation of newly branded diagnostic procedures can also reduce the severity of neonatal and post-neonatal morbidity.

KEYWORDS
perfusion, hypotension, cardiac output, monitoring, bioimpedance, bioreactance

Čes. Slov. Neonat. 2022; 28 (1) 5–11

ÚVOD

Hemodynamické změny, poruchy perfuze a jejich řešení jsou u novorozenců velmi časté. Příčiny hemodynamické instability u kriticky nemocných novorozenců jsou velmi variabilní, závislé na gestačním stáří, porodní hmotnosti, intrauterinním vývoji plodu, intrapartálních komplikacích a přítomnosti vrozených vývojových vad (zvl. srdečních). Změny při fyzikálním vyšetření, včetně hodnocení kvality prokrvení, jsou detekovatelné často až ve stadiu oběhové deteriorace a ireverzibilního šoku [2, 12, 16].

V posledních letech se technologický výzkum soustředí na nové možnosti standardizovaného hodnocení orgánové perfuze, které mají potenciál optimalizovat diagnosticko-terapeutické postupy a iniciovat adekvátní terapii.

Optimální monitoring stavu cirkulace a perfuze musí být kontinuální, minimálně invazivní, přesný a komplexní. Komplexní informaci o stavu cirkulace a perfuze získáme integrací monitoringu klinického stavu a metod, které hodnotí relevantní parametry cirkulace (preload, kontraktilita myokardu, afterload, kapilární a orgánová perfuze) [8].

Vzhledem k variabilitě příčin hemodynamické instability je však zjevné, že žádná metoda nemůže být univerzální.

V souborném referátu jsou prezentovány základní fyziologické determinanty cirkulace a současné možnosti kontinuálního měření stavu cirkulace a perfuze.

Základní fyziologické determinanty cirkulace [1, 13]

- V neonatální intenzivní péči nejčastěji hodnotíme stav cirkulace pomocí měření srdeční frekvence, krevního tlaku (invazivně, neinvazivně) a periferní pulzní oxymetrie (SpO_2).

proLékaře.cz | 3.8.2025

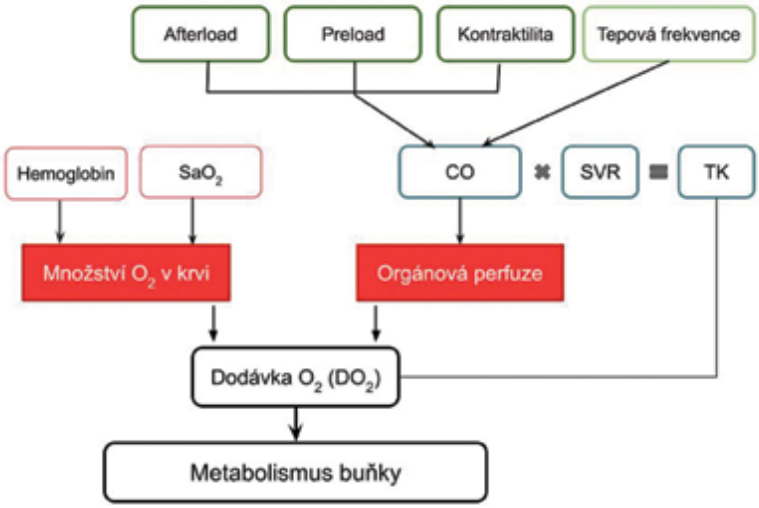


Schéma 1. Základní fyziologické determinanty, které ovlivňují tkáňovou perfuzi a dodávky kyslíku do tkání.

- Nejčastěji používaným parametrem cirkulační instability je hodnota středního arteriálního tlaku. Střední arteriální tlak (mean arterial pressure, MAP) je průměrnou hodnotou krevního tlaku v průběhu srdečního cyklu.
- Hodnota MAP je přímo závislá na srdečním výdeji (cardiac output, CO) a systémové vaskulární rezistenci (systemic vascular resistance, SVR).
- Srdeční výdej je definovaný jako množství krve, které srdce přečerpá za jednotku času (minutu). CO je součinem srdeční frekvence a systolického objemu. Determinanty systolického objemu jsou preload, afterload a kontraktilita myokardu.
- Rozhodujícím parametrem adekvátní funkce cirkulace je **tkáňová perfuze**. K zajištění tkáňové perfuze je důležité udržení odpovídajícího MAP. Vztah mezi jednotlivými faktory, které ovlivňují tkáňovou perfuzi (zajištění dodávky kyslíku do tkání) je uveden ve schématu 1.

Tkáňová perfuze (zajištění dodávky kyslíku do tkání)

- Perfuze je charakterizována průtokem krve kapilárním řečištěm v tkáních.
- Perfuze zajišťuje dodávku kyslíku do tkání, který je potřebný pro intracelulární aerobní metabolismus.
- Při snížené koncentraci kyslíku v krvi (hypoxii) dochází k přechodu z aerobního metabolismu na metabolismus anaerobní s následnou tvorbou laktátu.
- Množství O_2 dopraveného do tkání (DO_2) je určené srdečním výdejem a obsahem kyslíku v arteriální krvi. *DO_2 = srdeční výdej (CO) x obsah O_2 v krvi (CaO_2)*
- Množství kyslíku v arteriální krvi závisí na koncentraci hemoglobinu v krvi a saturaci hemoglobinu kyslíkem. Saturace hemoglobinu kyslíkem je závislá na dýchání a frakci vdechovaného kyslíku (FiO_2).

Dostatečná dodávka kyslíku do tkání (perfuze) je finálně závislá na ventilaci, srdečním výdeji, systémové vaskulární rezistenci a množství oxyhemoglobinu v krvi (viz schéma 1) [1, 13].

V klinické praxi musíme při řešení poruch perfuze zohlednit všechny výše uvedené faktory.

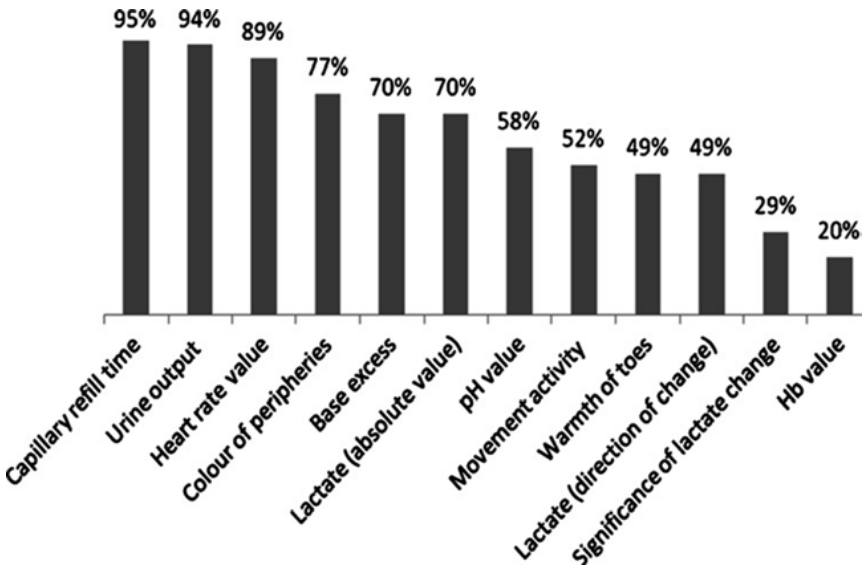
KLINICKÉ A LABORATORNÍ HODNOCENÍ PROKRVENÍ (PERFUZE)

Studie zaměřená na hodnocení oběhového selhání u novorozenců prokázala extrémní variabilitu v používání parametrů, které hodnotí nepřímo poruchu perfuze a systémovou cirkulaci. Nejčastěji hodnocenými parametry byly: kapilární návrat, diuréza, tepová frekvence, deficit bazí, hodnoty laktátu, poruchy prokrvení a hodnota pH (obr. 1). Celkem 73 % jednotek intenzivní péče pro novorozence (z 38 zemí) používá v klinické praxi definici hypotenze (v prvních 72 hodinách po narození) jako střední tlak nižší než gestační stáří novorozence v týdnech.

Zásadním problémem měření výše uvedených parametrů je:

1. skutečnost, že dosažené patologické hodnoty jsou již důsledkem poruchy orgánové perfuze (tzn., že jsou měřitelné nebo detekovatelné ve fázi dekompenzovaného nebo již ireverzibilního cirkulačního selhání). Cílem adekvátního monitorování cirkulace by však mělo být diagnostikovat změny perfuze v iniciálním stadiu dysfunkce.
2. definice hypotenze podle gestačního stáří a MAP. Důvodem, proč se v klinické praxi soustředíme na hod-

proLékaře.cz | 3.8.2025



Obr. 1. Frekvence měření jednotlivých parametrů oběhové deteriorace na NICU ve 38 zemích [15]

noty středního tlaku krve je jeho jednoduché měření a fakt, že MAP relativně dobře odráží perfuzní tlak. Hranice MAP daná gestačním stářím však nemá dostatečně podložená data z robustních klinických studií.

3. komplexní zhodnocení stavu perfuze organismu nám poskytne mnohem více informací než izolované sledování MAP. Systolický a diastolický tlak poskytují důležité informace o kontraktilitě, plnění a systémové vaskulární rezistenci [8].

MONITORING NEONATÁLNÍ CIRKULACE

Optimální monitoring stavu cirkulace a perfuze musí být kontinuální, minimálně invazivní, přesný a komplexní. Komplexní informaci o stavu cirkulace a perfuze získáme integrací monitoringu následujících parametrů: preload, kontraktilita myokardu, afterload, kapilární a orgánová perfuze. Současné možnosti monitoringu jsou uvedeny v tabulce 1 [8].

Preload

Preload je definován jako napětí srdečního svalu na samém začátku stahu, tedy na konci diastoly. Preload závisí na cirkulujícím objemu krve, poddajnosti srdce a na žilní kapacitanci. Poddajnost srdce popisuje Frankův-Starlingův zákon: schopnost myokardu změnit sílu kontrakce je dána množstvím krve v komoře na konci diastoly (end-diastolic volume, EDV). Velmi důležitá je tedy diastolická funkce srdce a dostatečné plnění komor.

Tab. 1. Současné možnosti invazivního a neinvazivního měření stavu systémové cirkulace [8]

	Funkční ECHO	Neinvazivní monitoring	Invazivní monitoring
Preload	měření průtoku SVC měření pulzatility IVC měření plnění komor (LV EDV, RV EDV)	bioimpedance bioreaktance	CVP
Srdeční funkce	systolická funkce LV, RV diastolická funkce LV, RV	bioimpedance bioreaktance	
Afterload (systolic vascular resistance, SVR)		neinvazivní měření TK (oscilometrie) bioimpedance (SVR)	invazivní měření TK (arteriální katetr)
Kapilární perfuze		pulzní oxymetrie (SpO_2) pulzatilní index (PI)	
Orgánová perfuze		NIRS - rSO_2, FTOE	

CVP – central venous pressure/centrální žilní tlak, IVC – inferior vena cava/dolní dutá žíla, LV EDV – left ventricular end-diastolic volume/enddiastolický objem levé komory, NIRS – near-infrared spectroscopy/blízká infračervená spektroskopie, RV EDV – right ventricular end-diastolic volume/enddiastolický objem pravé komory, SVC – superior vena cava/horní dutá žíla

proLékaře.cz | 3.8.2025

Ztráta cirkulujícího objemu vede ke snížení preloadu (např. krvácení, capillary leak syndrome, ztráty do třetího prostoru u nekrotizující enterokolitidy). Přetížení tekutinami může způsobit ventrikulární dysfunkci se snížením srdečního výdeje.

Změny krevního tlaku spolehlivě korelují se změnami preloadu při hypovolemických stavech (hypotenze je již příznakem při selhání kompenzačních mechanismů).

Neinvazivně můžeme hodnotit preload echokardiograficky – měření EDV, průtok SVC a IVC. Minimálně používanou metodou měření preloadu je elektrická kardiometrie (viz tab. 1).

Kontraktilita myokardu

Kontraktilitu můžeme měřit pomocí echokardiografie, elektrické bioimpedance a bioreaktance (viz kapitola Měření srdečního výdeje).

Afterload

Afterload je definován jako síla, proti které musí působit srdce při kontrakci komory (při vypuzení systolického objemu). Afterload závisí na rozměrech komory, krevním tlaku a systémové vaskulární rezistenci. Se zvyšujícím se afterloadem dochází ke zvyšování napětí ve stěně komory, následkem čehož klesá kontraktilita a systolický objem (stroke volume). Vysoký afterload je typický pro novorozence krátce po porodu, v rámci postligačního syndromu a při tzv. studeném šoku (nízký srdeční výdej a vysoká systémová vaskulární rezistence). Nízký afterload je naopak součástí tzv. teplého šoku (nízká vaskulární rezistence v systému a vysoký srdeční výdej).

Kapilární perfuze

V klinické praxi nejčastěji používáme měření kapilárního návratu. U novorozence kapilární návrat vyšetřujeme typicky na kůži hrudníku, tlakem po dobu 3–5 sekund a následně měřením doby návratu zbarvení kůže. Normální kapilární návrat trvá maximálně 3 sekundy. Toto vyšetření nelze použít u novorozenců podstupujících léčbu řízenou hypotermií.

Kapilární perfuzi můžeme kvantifikovat použitím perfuzního indexu (PI). Perfuzní index popisuje amplitudu pulzní vlny, kterou měříme pomocí pulzní oxymetrie. Vyjadřuje poměr pulzatilního signálu (variabilní průtok) k nepulzatilnímu signálu (konstantní průtok). PI se vyjadřuje v % (0,02–20). Výsledná hodnota je % objemu krve, které protéká snímanou tkání s každým novým srdečním stahem. Perfuzní index popisuje i kvalitu snímání pulzní oxymetrie [8].

MĚŘENÍ SRDEČNÍHO VÝDEJE (CARDIAC OUTPUT, CO)

V neonatální intenzivní péči neexistuje jednoznačně doporučený postup pro monitorování srdečního výdeje (CO) u kriticky nemocných novorozenců. Invazivní metody měření CO (termodiluce), používané v pediatrické a dospělé populaci, mají u novorozenců řadu technických a medicínských omezení. Nejzávažnějšími komplikacemi jsou infekce, poškození okolních tkání a tvorba trombů. K dalším obtížím, které jsou spojené s invazivními technikami, patří nutnost odběru vzorků arteriální a venózní krve a potencionální objemové přetížení v důsledku bolusového podávání měřeného substrátu.

Minimálně invazivní metody měření CO

Analýza pulzní křivky

Analýza plochy a síly pulzní vlny umožňuje na základě periferně změřené arteriální pulzové vlny usuzovat na CO a další parametry centrálního průtoku krve. Technika měření je závislá na kanylaci periferní arterie a představuje jednu z nejrozsáhleji zkoumaných, minimálně invazivních technologií měření CO u dospělé populace. Analýza pulzní křivky vztahuje křivku arteriálního tlaku v čase k zdvihovému objemu a systémové cévní rezistenci. Matematický algoritmus vypočítá CO na základě měření provedených ze snímače průtoku krve v periferní tepně (monitor pulzního indexu kontinuálního srdečního výdeje, PICCO). Analýza pulzní křivky byla úspěšně použita u starších dětí s vrozenou srdeční vadou.

Analýza pulzní síly je podobná technologie, která se spoléhá na periferně získaná měření v tepnách k odvození měření centrálního průtoku. Analýza pulzní síly vychází z myšlenky, že periferně zjištěné změny pulzní síly jsou ekvivalentní zdvihovému objemu minus objem krve, odeslaný do periferie těla. K výpočtu CO se pomocí matematického algoritmu používá síla arteriální pulzace, nikoli její obrys. Přístroje pro měření síly pulzu nebyly dosud u dětských pacientů rozsáhle zkoumány, protože použití této technologie má řadu nevýhod (kanylace arterie, vrozené srdeční vady, změny systémové rezistence) [8,17].

Funkční echokardiografie

Měřením výdeje levé komory (left ventricular output, LVO) pomocí echokardiografie získáme hodnotu objemu okysličené krve, která se dostává do systémové cirkulace. Při absenci extrapulmonálního zkratu (otevřený duktus arteriosus, PDA) představuje LVO systémový průtok krve, a tedy kumulativní průtok krve všemi hlavními orgány. Teoreticky změny LVO odrážejí změny průtoku krve do periferie novorozence. Měření LVO je relativně snadno proveditelné a představuje měření systémového průtoku krve v reálném čase, což usnadňuje rychlé rozhodování na novorozenecké jednotce intenzivní péče (JIP). LVO dobře koreluje s tradiční srdeční katetrizací a termodilucí u donošených novorozenců. Měření LVO u nedonošených novorozenců má řadu technických omezení v přesnosti měření a vlivu PDA. Podle odborných doporučení LVO nereprezentuje

proLékaře.cz | 3.8.2025

systémový průtok krve v případě přítomnosti PDA. V kombinaci s dalšími parametry můžeme měření LVO používat k celkovému přehledu stavu cirkulace u předčasně narozených novorozenců [5, 7].

MĚŘENÍ VÝDEJE PRAVÉ KOMORY (RIGHT VENTRICULAR OUTPUT, RVO)

RVO představuje další, relativně dostupnou a snadnou metodu měření centrálního průtoku krve. Při absenci zkratu odráží RVO kumulativní přítok deoxygenované krve, a tedy žilní návrat. Podobně jako měření levé komory byla RVO poprvé popsána u novorozenců přibližně před 30 lety. Technika měření umožňuje použití RVO i u nedonošených dětí. Analogicky s ostatními parametry funkční echokardiografie poskytuje RVO výsledky v reálném čase a je neinvazivní. Nejsou však k dispozici žádné informace o přesnosti RVO ve vztahu k invazivním metodám v populaci předčasně narozených novorozenců. Stejně jako LVO je i RVO ovlivněna přítomností zkratu, v tomto případě foramen ovale apertum (FOA) nebo jiných defektů septa, což vede k nepřesnosti měření [5, 7].

MĚŘENÍ PRŮTOKU VE VENA CAVA SUPERIOR (SVC)

Vzhledem k limitacím metod LVO a RVO bylo u novorozenců zavedeno měření průtoku horní dutou žílou (SVC) jako alternativní měřítko centrálního průtoku krve, které není ovlivněno přítomností zkratu.

Původní práce prokázaly, že nízký průtok SVC u novorozenců koreluje se závažnou krátkodobou i dlouhodobou morbiditou. Ve srovnání s ostatními popsanými echokardiografickými technikami má průtok SVC tu výhodu, že není ovlivněn zkratem, a proto je považován za vhodnou echokardiografickou techniku pro měření centrálního průtoku krve. Podobně jako u jiných diskutovaných metodik však existují obavy ohledně spolehlivosti metody, která je dána rozdíly v měření průměru SVC a poddajnosti cévní stěny (při stlačení sondy dochází ke změnám průsvitu měřené cévy). Intra- i interpersonální variabilita je u této metody relativně vysoká [9, 14].

Měření bioimpedance a bioreaktance

Metoda bioimpedance je založená na fyzikálním principu měření proudění tekutiny a odporu vůči elektrickému proudění. Průtok krve se mění v závislosti na CO mezi jednotlivými údery srdce, proto se mění i relativní odpor vůči elektrickému proudění v závislosti na průtoku aortou. Bioimpedance využívá tohoto principu k měření CO tím, že mezi elektrodami napříč hrudníkem propouští elektrický signál o známé amplitudě a frekvenci a měří odpor proti průtoku. Při větším průtoku krve v aortě je odpor proti průchodu elektrického signálu nižší, jak se vypočítá podle poměru napětí a amplitudy proudu. Proto lze rozdíly v odporu použít k odhadu CO. Tradiční bioimpedance je měřením kontinuálním, neinvazivním a vyžaduje relativně málo odborných znalostí, ale je omezena rušivými vlivy elektrického šumu, potřebou přesného umístění elektrod pro zajištění přesnosti a absencí referenčních dat u novorozenců.

Inovativní metodou založenou na měření elektrického vedení intrathorakálně je bioreaktance, která měří fázový posun elektrického signálu při jeho průchodu tkáněmi a je považována za méně senzitivní k rušivým vlivům než tradiční bioimpedance. Bioreaktance se opírá o skutečnost, že ke změnám fázového posunu může dojít pouze v prostředí pulzujícího proudění, a vzhledem k tomu, že většinu pulzujícího proudění v hrudníku představuje aorta, bude fázový posun odrážet proudění v aortě, a tedy odpovídat hodnotám CO. Podobně jako u bioimpedance se pro měření umisťují elektrody na hrudník. Při bioreaktanci měří elektrody na horní a dolní části hrudníku bioreaktanci na levé a pravé straně hrudníku zvlášť a výsledky se zprůměrují pro stanovení CO. Navzdory počátečním obavám ohledně přesnosti této techniky u menších dětí se ukázalo, že bioreaktance je proveditelná jak u donošených, tak u nedonošených novorozenců. V současné době se obě techniky používají především v klinickém výzkumu, přestože existují relativně slibné výsledky i u nedonošených novorozenců (obr. 2) [3, 10, 11].

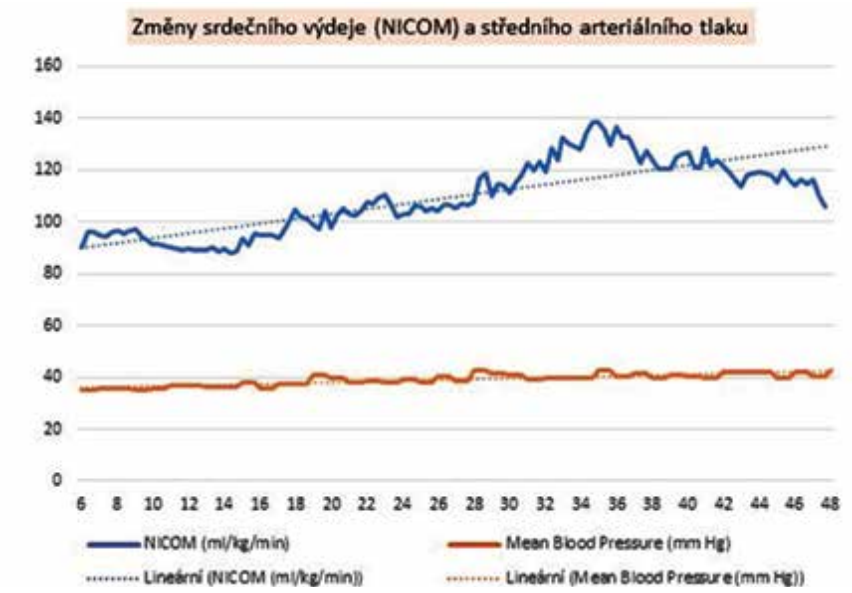
Přenosný Doppler

Přístroje, jako je ultrazvukový monitor srdečního výdeje (USCOM), měří průtok dopplerovskou metodou ve velkých cévách hrudníku transthorakálně. Tato technika spočívá v externím umístění malé dopplerovské sondy, která při správném úhlu může měřit průtok v aortě a vypočítat CO na základě algoritmu, který využívá výšku pacienta k odhadu plochy průřezu. Technika je neinvazivní, kontinuální a snadno proveditelná. Technika byla porovnávána s termodilucí u dětské populace a výsledky naznačují, že tato technika není přesná pro stanovení skutečných hodnot CO. Metoda byla úspěšně použita u populace předčasně narozených novorozenců a vykazovala dobrou korelaci s echokardiografickým měřením CO. Metaanalýza hodnotící přesnost a preciznost neinvazivního měření CO u dětí však naznačila, že dopplerovské techniky průtoku jsou senzitivní k vysokému procentu chyb [4].

Magnetická rezonance

Magnetická rezonance (MR) byla bezpečně použita v populaci předčasně narozených novorozenců k získání měření centrálního krevního průtoku. MR má lepší přesnost a opakovatelnost ve srovnání s jinými technikami pro měření CO u novorozenců a starších dětí. Nevýhodou MR je, že tato technika je pomalá,

proLékaře.cz | 3.8.2025



Obr. 2. Kontinuální měření srdečního výdeje pomocí bioreaktance u novorozenců s porodní hmotností pod 1250 gramů (změny srdečního výdeje v prvních 48 hodinách) [10]

drahá, nekontinuální, není rutinně dostupná neonatologům a není přenosná. Technika také dosud nebyla srovnávána s tradičními invazivními technikami u novorozenecké populace. V důsledku toho není magnetická rezonance ideální metodou hodnocení CO u předčasně narozených novorozenců, protože ji nelze provádět u lůžka a usnadnit tak rozhodování u kriticky nemocných dětí. V současné době je proto CO z MR omezeno na experimentální použití, ale může hrát roli při vývoji budoucích technik pro hodnocení CO nebo pro zlepšení stávajících technologií [6].

ZÁVĚR

Hemodynamické komplikace a poruchy perfuze jsou velmi časté u kriticky nemocných novorozenců. Adekvátní, validní, kontinuální a minimálně invazivní monitorování parametrů cirkulace může zásadním způsobem změnit a optimalizovat terapeuticko-diagnostický protokol intenzivní péče. Nové metody měření srdečního výdeje a tkáňové perfuze jsou velmi slibným příslibem do budoucnosti, přestože další studie jsou nutné pro potvrzení jejich spolehlivosti a použitelnosti v klinické praxi.

LITERATURA

1. **DeMers D, Wachs D.** Physiology, mean arterial pressure. [Updated 2021 Apr 21]. In: StatPearls [Internet]. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538226/
2. **Dempsey EM, Barrington KJ, Marlow N et al.** Hypotension in preterm infants (HIP) randomised trial. Arch Dis Child Fetal Neonatal 2021; 106(4): 398–403. doi: 10.1136/archdischild-2020-320241.
3. **Forman E, Breatnach CR, Ryan S et al.** Noninvasive continuous cardiac output and cerebral perfusion monitoring in term infants with neonatal encephalopathy: Assessment of feasibility and reliability. Pediatr Res 2017; 82(5): 789–795. doi: 10.1038/pr.2017.154.
4. **Fraga MV, Dysart KC, Rintoul N et al.** Cardiac output measurement using the ultrasonic cardiac output monitor: A validation study in newborn infants. Neonatology 2019; 116(3): 260–268. doi: 10.1159/000501005.
5. **McGovern M, Miletin J.** Cardiac output monitoring in preterm infants. Front Pediatr 2018; 3(6): 84. doi: 10.3389/fped.2018.00084.
6. **Groves AM, Chiesa G, Durighel G et al.** Functional cardiac MRI in preterm and term newborns. Arch Dis Child Fetal Neonatal 2011; 96(2): F86–91. doi: 10.1136/adc.2010.189142.
7. **Groves AM, Singh Y, Dempsey E et al.** Introduction to neonatologist-performed echocardiography. Pediatr Res 2018; 84(Suppl 1): 1–12. doi: 10.1038/s41390-018-0076-y.
8. **Gupta S, Donn SM.** Assessment of neonatal perfusion. Semin Fetal Neonatal Med 2020; 25(5): 101–144. doi: 10.1016/j.siny.2020.101144.
9. **Miletin J, Stranak Z, Ó Catháin N et al.** Comparison of two techniques of superior vena cava flow measurement in preterm infants with birth weight less than 1250 grams in the transitional period-prospective observational cohort study. Front Pediatr 2021; 7(9): 661–698. doi: 10.3389/fped.2021.661698.
10. **Miletin J, Semberova J, Martin AM et al.** Low cardiac output measured by bioreactance and adverse outcome in preterm infants with birth weight less than 1250 grams. Early Hum Dev 2020; 149: 105–153. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2020.105153.
11. **Narula J, Chauhan S, Ramakrishnan S, Gupta SK.** Electrical cardiometry: A reliable solution to cardiac output estimation in children with structural heart disease. J Cardiothorac Vasc Anesth 2017 Jun; 31(3): 912–917. doi: 10.1053/j.jvca.2016.12.009.
12. **Schwarz CE, Dempsey EM.** Management of neonatal hypotension and shock. Semin Fetal Neonatal Med 2020; 25(5):101–121. doi: 10.1016/j.siny.2020.101121.
13. **Shead SL.** Pathophysiology of the cardiovascular system and neonatal hypotension. Neonatal Netw 2015; 34(1): 31–39. doi: 10.1891/0730-0832.34.1.31. PMID: 26803043.
14. **Sirc J, Dempsey EM, Miletin J.** Cerebral tissue oxygenation index, cardiac output and superior vena cava flow in infants with birth weight less than 1250 grams in the first 48 hours of life. Early Hum Dev 2013; 89(7): 449–452. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2013.04.004.

proLékaře.cz | 3.8.2025

15. **Stranak Z, Semberova J, Barrington K et al.** International survey on diagnosis and management of hypotension in extremely preterm babies. Eur J Pediatr 2014; 173(6): 793–798. doi: 10.1007/s00431-013-2251-9.
16. **Su BH, Lin HY, Huang FK et al.** Circulatory management focusing on preventing intraventricular hemorrhage and pulmonary hemorrhage in preterm infants. Pediatr Neonatol 2016; 57(6): 453–462. doi: 10.1016/j.pedneo.2016.01.001.
17. **Van Laere D, O'Toole JM, Voeten M et al.** Decreased variability and low values of perfusion index on day one are associated with adverse outcome in extremely preterm infants. J Pediatr 2016; 178: 119–124.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2016.08.008.

Konflikt zájmu: žádný.

Došlo do redakce: 2. 3. 2022

Adresa pro korespondenci:
prof. MUDr. Zbyněk Straňák, CSc., MBA
Novorozenecké oddělení
Ústav pro péči o matku a dítě
Podolské nábřeží 157
147 00 Praha 4
e-mail: zbynek.stranak@upmd.eu