

Kardiopulmonální monitoring

Neinvazivní kardiopulmonální monitoring

Neinvazivní kardiopulmonální monitoring zahrnuje **údaje o srdeční frekvenci, dechové frekvenci, tlaku krve** (neinvazivní měření NIBP), **pulzní oxymetrii a EKG**.

Srdeční a dechová frekvence (SF, DF)

Nejlepší je kontinuální monitoring s nastavitelnými hodnotami alarmu. **Orientačně** lze SF určit **spočítáním tepů během 6 sekund a výsledek násobit 10x**. Při **hodnocení DF** je nutné určit hodnotu **počítáním během 1 minuty**, neboť dechová frekvence je pomalejší a variabilnější než srdeční a při kalkulaci za kratší časové období bychom riskovali chybný výpočet. **Vždy nastavujeme horní a spodní hranice alarmu**, hodnoty závisí na věku dítěte i na základním onemocnění. Z hlediska DF je nejdůležitější **alarm pro záchyt apnoe**, což je v medicíně superurgentní stav. Hranici pro apnoe obvykle stanovujeme na 15 sekund.

Normální hodnoty srdeční a dechové frekvence		
	normální dechová frekvence (za minutu)	normální srdeční frekvence (za minutu)
novorozenci	40–60	100–180
kojenci	30–50	80–150
batolata	25–40	80–130
předškoláci	25–35	80–120
mladší školáci	20–30	70–100
starší školáci	12–20	60–100
dospělí	12–16	60–90

Neinvazivní měření tlaku krve (NIBP)

Z obecného hlediska by měření TK by mělo být **rutinní u dětí starších 3 let**, jednoznačně **preferujeme rtuťový manometr s auskultačním měřením**. Při měření TK by se mělo stát pravidlem **současné měření výšky a hmotnosti dítěte**. Pokud při měření zjistíme hodnoty TK přesahující 90–95, automaticky změříme TK i na dolní končetině. **TK na dolních končetinách bývá o 10–20 mmHg vyšší**. V žádném případě by **TK na horních končetinách neměl přesahovat TK na dolních končetinách**. V takovém případě máme vážné podezření na koarktaci aorty.

Fyziologické hodnoty respirace				
	novorozenec	kojenec	batole	starší dítě
Tidal volume	8	8	8	8
Resistance	40	20–30	20	1–2
Compliance	3–5	10–20	20–40	70–100

U některých dětí jsou při měření TK ozvy slyšitelné případně až k hodnotě 0 mmHg. V těchto případech se doporučuje měření opakovat s menším tlakem na hlavu stetoskopu. Pokud stále ozvy slyšíme až k hodnotě 0 mmHg, je třeba zaznamenat hodnotu diastolického TK při prvním zřetelném oslabení ozev. **Šíře manžety tonometru** by měla představovat **cca 40 % obvodu paže**, úzká manžeta je zdrojem falešně vysokých hodnot TK, příliš široká manžeta je zase příčinou falešně nižších hodnot TK (v tomto případě je ale významnost chyby pouze malá). Šíří manžety tonometru se rozumí její **vnitřní, tj. gumová část**.

Paže na níž měříme TK, má být zcela volná (dítě by tedy mělo být alespoň do půli těla svlečené), manžetu umístíme do středu paže mezi olecranon a acromion. Zjistíme-li hraniční hodnoty TK, měření nutno opakovat.

Neinvazivní monitoring TK:

- **oscilometrický** (nejčastěji)
- **sphygmomanometrický** (rtuťový tonometr) – určujeme Korotkovovy fenomény (přesnost měření ovlivňuje správný výběr manžety)
- **dopplerovský princip**

U dětí na JIP je rtuťový tonometr nevýhodný u nejmenších dětí, u nespolupracujících a v případě nutnosti frekventního měření.

Dopplerovská technika je vhodná u malých dětí a u stavů se zhoršenou perfuzí. Malá dopplerovská sonda je umístěna nad radiální nebo brachiální arterii. Pohyb krve je výborně snímán senzitivním ultrazvukem. Manžeta umístěna na horní části paže je nafukována, dokud dopplerovský signál zcela nevymizí. Následně je pomalu

vypouštěna. Systolický tlak je odečten ve chvíli, kdy se objeví první dopplerovský signál, diastolický tlak je odečten ve chvíli, kdy délka a kvalita signálu klesá. Korelace s tlakem měřeným přímo intraarteriálně je dobrá, ale **metoda není vhodná ke kontinuálnímu měření**.

Oscilometrická metoda je snadno proveditelná. Při nafouknuté manžetě proud krve v arterii vyvolává oscilace. Pokud tlak v manžetě začne klesat, přístroj registruje hodnotu sTK, dTK a MAP. Všechny techniky však mají omezení u stavů s významným poklesem srdečního výdeje, těžké hypotenze nebo při systémové vazokonstrikci, u stavů s generalizovanými edémy, u extrémní obezity.

Doporučené rozměry manžet tonometru

Věková skupina	Rozměr manžety
Nedonošenci	3,75
Novorozenci	4,0
Malé děti < 5 let	7,0
Děti školního věku	11,0

Vedle systolického TK a diastolického tlaku je velmi důležité stanovení **tzv. středního arteriálního tlaku** (mean arterial pressure, **MAP**). MAP reprezentuje orgánový perfuzní tlak, je vhodný k posouzení oběhového selhání a k definování hypotenze. Není aritmetickým průměrem systolického sTK a diastolického dTK.

$$\text{MAP} = (\text{sTK} + 2 \times \text{dTK}) / 3$$

Nepřímé metody měření TK mají omezenou přesnost, proto **u závažných stavů** jako je šok, poruchy rytmu, podávání vazoaktivních látek je **nutný intraarteriální monitoring**.

Hodnoty MAP svědčící pro cirkulační selhání v mmHg

Věk	MAP
Novorozenec	< 40
3.-6. měsíc	< 40
6.-12. měsíc	< 45
1-4 roky	< 50
4-10 let	< 55
10-14 let	< 60
14-18 let	< 65
>18 let	< 70

Velkou výpovědní hodnotu u šokových stavů má tzv. **perfuzní tlak (perfusion pressure)**. Aritmeticky jde o **rozdíl mezi MAP a CVP: $PP = MAP - CVP$**

Dolní hranice normy pro hodnoty perfuzního tlaku v cm H₂O

Věk	Perfuzní tlak
Novorozenci	55
Kojenci	60
Batolata	65
Předškoláci	65
Školáci	65

Pulzní oxymetrie

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Pulzní oxymetrie.*

Pulzní oxymetrie **neinvasivně měří saturaci hemoglobinu kyslíkem v arteriální části krevního řečiště** (pulzatilní tok).

Astrup - vyšetření krevních plynů

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Laboratorní vyšetření acidobazické rovnováhy.*

Cílem vyšetření krevních plynů je získat údaje umožňující posoudit oxygenační funkci plic, adekvátnost alveolární ventilace a společně s dalšími parametry biochemického vyšetření detekovat případnou existenci poruchy ABR a určit stupeň její kompenzace.

Kapnometrie, kapnografie

Měření koncentrace CO₂ (**kapnometrie**) a grafické znázornění průběhu této hodnoty (**kapnografie**) ve vydechaném vzduchu je **založeno na měření absorpce infračerveného světla**.

Za normálních okolností je gradient mezi arteriální tenzí paCO₂ a tenzí CO₂ na konci výdechu (end-tidal CO₂ = etCO₂) 2–5 torr (0,25–0,66 kPa) a odráží velikost ventilačního mrtvého prostoru a poměr velikosti dechového objemu a mrtvého prostoru. Zvětšení anatomického nebo alveolárního mrtvého prostoru za patologických stavů, při nichž dochází ke snížení plicní perfuze, vede ke zvýšení gradientu mezi paCO₂ a etCO₂. V praxi se tato změna obvykle manifestuje snížením hodnoty etCO₂.

Klinické příčiny nárůstu gradientu mezi paCO₂ a etCO₂ :

- zvětšení anatomického mrtvého prostoru;
- zvětšení alveolárního mrtvého prostoru;
 - hypotenze;
 - nízký srdeční výdej;
 - vysoký PIP a/nebo PEEP;
 - plicní embolie;
- bronchospasmus.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Kapnometrie.*

Nejpoužívanější indexy hodnotící respirační složku

PF index

U nemocných se závažnými formami plicní dysfunkce se **pro posouzení oxygenační funkce plic** často používá PF index = **hypoxemický index** = **Horowitzův index**. Jeho stanovení vyžaduje vyšetření krevních plynů při znalosti FiO₂. Aktuální hodnota je výrazně závislá na použitém parametru FiO₂ a úrovni tlaků v dýchacích cestách v době vyšetření krevních plynů. U nemocných s hyperkapnií může být nutné zohlednit i vliv změn parciálního tlaku CO₂, neboť při výrazném vzestupu parciálního tlaku CO₂ v alveolech dochází k poklesu pAO₂ a následně i paO₂.

$$PFi = paO_2 : FiO_2$$

- FiO₂ uvádíme jako desetinné číslo
- paO₂ uvádíme v torrech

Normální hodnoty jsou > **500**, hodnoty < **300** představují **acute lung injury**, hodnoty < **200** jsou jedním z kritérií určujících definici **ARDS**. PFi < 200 odpovídá hodnotě plicního zkratu > 20 %.

Alveolo-arteriální kyslíkový gradient A-aDO₂

Alveolo-arteriální kyslíkový gradient A-aDO₂, někdy označovaný jako **alveolo-arteriální difference** je parametr používaný **pro hodnocení stupně poruchy oxygenační funkce plic**. Ukazuje především na **kvalitu alveolokapilární difúze**.

$$A-aDO_2 = pAO_2 - paO_2$$

$$A-aDO_2 = (760 \times FiO_2) - \{(paO_2 + paCO_2) + 47\}$$

- FiO₂ uvádíme jako desetinné číslo
- paO₂ a paCO₂ uvádíme v torrech
- 760 = barometrický tlak na hladině moře
- 47 = parciální tlak vodních par ve vdechovaném vzduchu

Tento vzorec lze využít pokud máme k dispozici údaje o koncentraci inhalovaného O₂ a hodnoty arteriálních plynů. Hodnoty >**350** svědčí pro **respirační insuficienci**, hodnoty >**550** jsou jedním z kritérií k **ECMO** (mimotělní membránová oxygenace).

Oxygenační index

Oxygenační index **OI** se hojně využívá v pediatrii, na rozdíl od PFi **odráží i tlakové změny**.

$$OI = (FiO_2 \times P_{maw}) : paO_2$$

- FiO₂ uvádíme v procentech!

- P_{maw} uvádíme v cmH_2O .
- paO_2 uvádíme v *torrech*.

Normální hodnoty jsou < 5 .

Ventilace mrtvého prostoru

Pro orientační posouzení poměru mezi velikostí funkčního mrtvého prostoru a velikostí dechového objemu (V_d/V_t) je používáno stanovení rozdílu mezi arteriální tenzí CO_2 a tenzí CO_2 ve vydechované směsi na konci výdechu ($etCO_2$). Za normálních okolností je tento rozdíl minimální (2–5 torr), za patologických okolností výrazně stoupá.

$$V_d/V_t = (paCO_2 - etCO_2) : paCO_2$$

Dochází-li při zvyšování tlaku v dýchacích cestách (např. po úpravě PEEP) k nárůstu tohoto parametru bez současného příznivého vlivu zvýšení tlaku na oxygenaci, je to možné považovat za známku překročení optimální hodnoty tlaku v dýchacích cestách. Při poklesu srdečního výdeje nebo tlaku v plicním řečišti obdobně může docházet ke změnám velikosti poměru V_d/V_t .

U normálních subjektů je hodnota V_d/V_t v rozmezí **0,2–0,3**. Vzestup V_d/V_t je spojen jak s rozvojem hypoxemie, tak hyperkapnie. K **hyperkapnii** obvykle dochází, **je-li V_d/V_t větší než 0,5**.

Gastrická tonometrie

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Gastrická tonometrie.*

Principem metody je **regionální měření parciálního tlaku CO_2 ($PtCO_2$) sliznice žaludku**. Pomocí této metody můžeme velmi brzy **detekovat poruchy perfúze splachnické oblasti, která se projeví velmi časným vzestupem slizničního $PtCO_2$** .

Invazivní kardiopulmonální monitoring

Invazivní měření TK

Měření arteriálního krevního tlaku je nezbytnou součástí sledování každého akutního stavu. **Střední arteriální tlak MAP závisí na srdečním výdeji CO a systémovém odporu SVR:**

$$MAP = CO \times SVR$$

Pro děti je nutné použít indexované hodnoty uvedených parametrů, tj. hodnoty vztažené na povrch těla. Potom rovnice bude vypadat takto :

$$MAP = CI \times SVRI$$

Rovnice sama ukazuje na hranice v měření arteriálního krevního tlaku. **Krevní tlak neinformuje o proudění krve**. Může být proto normální i při stoupajícím periferním odporu a současně se snižujícím srdečním výdeji, a tedy i při sníženém prokrvení orgánů. **MAP tedy považujeme jen za hrubý indikátor prokrvení orgánů**, zvláště když mnohé orgány mají schopnost autoregulace, tj. jejich prokrvení je v širokém rozmezí perfuzních tlaků udržováno prostřednictvím změn cévního odporu konstantní.

Arteriální TK měříme přímo nebo nepřímo. Nepřímé metody jsou jednoduché a neinvazivní. Přímé metody jsou přesnější. Rozdíly mezi nepřímým a přímým měřením krevního tlaku jsou zřejmé především u šoku, hypertenze, hypotermie a obezity.

Výhody přímého měření TK:

- nepřetržité sledování;
- trvalá přesnost měření;
- rychlé rozeznání oběhových poruch;
- přímé sledování hemodynamických účinků poruch srdečního rytmu;
- nepřímé hodnocení kontraktility myokardu z rychlosti vzestupu arteriální tlakové křivky;
- odhad tepového objemu ze systolické části tlakové křivky;
- přístup do arterie k odběru krevních vzorků: Astrup a další laboratoř.

Indikace:

- hemodynamicky nestabilní pacient: šokové stavy, hypertenzní krize, hypotenze;

- nitrolební hypertenze;
- nutnost podávání vazomotorických látek: katecholaminy, nitroprusid sodný;
- ventilačně nestabilní pacient (nutnost opakovaného a častého vyšetření krevních plynů);
- nutnost opakovaných krevních odběrů;
- pravidelné odběry krevních vzorků;
- angiografické vyšetření;
- hemofiltrace/hemoperfuze.

Centrální žilní tlak, CVP

Centrální žilní katetr je katetr, jehož distální konec leží v duté žíle. **Normální hodnoty** centrálního žilního tlaku CVP jsou **2-12 cm H₂O** (ideál 3-10 cm H₂O).

Převodní vztahy:

- 1 cm H₂O = 0,74 mmHg
- 1 mmHg = 1,36 cm H₂O
- 1 kPa = 7,5 mmHg = 10,2 cm H₂O

Snížené hodnoty CVP nacházíme **při hypovolemii**.

Zvýšené hodnoty CVP při hypervolemii, insuficienci pravého srdce, plicní embolii, obstrukci horní duté žíly, srdeční tamponádě.

Katetry pro dlouhodobé zavedení jsou **opatřeny povrchem s antibakteriálním působením**. V současné době jsou všechny katetry **radiokontrastní**. K eliminaci rizik jsou nejnovější katetry **opatřeny jednocestnou chlopní k prevenci vzduchové embolie**.

Při volbě přístupu do horní duté žíly je třeba respektovat zvláště tyto faktory: zkušenosti lékaře s určitou metodou, přístupnost žil vhodných k punkci, rizika jednotlivých přístupů pro určitého pacienta a předpokládanou dobu zavedení katetru.

K dlouhodobé kanylaci dáváme přednost centrálnímu přístupu (*v. jugularis interna, v. subclavia*), protože takto zavedené katetry mají nižší riziko infekčních a trombotických komplikací než katetry zavedené z periferie (**swimming katetry**). Nikdy nezavádíme katetry infikovaným místem vpichu.

Centrální žilní kanylace je v intenzivní péči velmi častým výkonem. Dostupnost kvalitních setů rozšířila její použití i bezpečnost. V této souvislosti je vhodné zdůraznit potřebu správné indikace a odbornou pokoru lékaře v rozhodovacím postupu, včetně striktního dodržování metodiky pro jednotlivé přístupy.

Polohu každého CVK musíme zkontrolovat a popřípadě upravit, abychom předešli těžkým komplikacím. **Optimální poloha je bezprostředně před ústím horní duté žíly do pravé síně**. V této oblasti již nejsou žádné žilní chlopně. Jsou vhodné dva postupy: RTG snímek hrudníku a EKG kontrola svodem ze špičky katetru. Na RTG kontrolním snímku hrudníku je důležitým orientačním bodem pro polohu konce centrálního žilního katetru carina tracheae. Karina leží vždy kraniálně od perikardu. Z hlediska bezpečnosti musí ležet konec katetru těsně nad karinou. EKG diagnostika je jednoduchá, bez velkých nákladů, a proto bychom jí měli dávat přednost před méně pohodovým a dražším RTG zobrazením. **Polohu špičky katetru v pravé siní poznáme podle zřetelně zvýšené vlny P v EKG obrazu** na monitoru. Katetr pak povytáhneme tak daleko, dokud se na monitoru opět neobjeví normální vlna P. Konec katetru nyní leží správně v horní duté žíle.

Saturace hemoglobinu v centrálním venózním systému - SvO₂

U kriticky nemocného pacienta je zásadní určit, jestli je dodávka kyslíku do tkání adekvátní vzhledem ke tkáňové potřebě kyslíku. **Monitorace SvO₂ umožňuje** celkem přesně **stanovit schopnost, zda je tkáňová potřeba kyslíku v rovnováze s její dodávkou**. SvO₂ představuje **průměrné procento s navázaným kyslíkem ve smíšené žilní krvi**.

Dodávka kyslíku tkáním je základním úkolem kardiovaskulárního systému a přímo závisí na srdečním výdeji, saturaci O₂ v arteriální krvi SaO₂ a koncentraci hemoglobinu. **Dostatečnou dodávku kyslíku** tkáním zajišťuje **SaO₂ > 92 %** a optimální hodnota hemoglobinu (závisí na věku dítěte). Srdeční výdej je neméně důležitou komponentou udržení dobré oxygenace tkání. V kritických stavech je vždy úsilím maximalizovat srdeční výdej manipulací s preloadem, afterloadem, kontraktilitou a srdeční frekvencí.

Fyziologická hodnota SvO₂ představuje rozmezí **60-80 %** a znamená, že tkáňová potřeba kyslíku je pokryta dostatečnou dodávkou. Při významných odchylkách je třeba vždy přehodnotit hodnoty SaO₂, Hb, CO/CI a spotřeby O₂.

Změny hodnot SvO₂, které požadují přehodnocení stavu pacienta:

- změna o plus/mínus 10 % přetrvávající minimálně 5 minut
- pokles < 60 % nebo vzestup > 80 %

- trend ukazující postupný, ale trvalý pokles

Pokles SvO₂ ukazuje, že pacient musí využít zásoby O₂ pro pokrytí své potřeby. Dochází k tomu v situaci, kdy klesá dodávka O₂ navzdory stejné nebo zvýšené potřebě O₂, nebo pokud potřeba O₂ vzrůstá navzdory stejné nebo snížené dodávce O₂.

Zvýšenou hodnotu SvO₂ nacházíme v případě zvýšené dodávky O₂ navzdory stejné nebo snížené potřebě, nebo při snížené potřebě O₂ navzdory stejné nebo zvýšené dodávce.

Stavy se sníženou hodnotou SvO₂:

- snížená dodávka O₂:
 - snížený srdeční výdej,
 - vysoký PEEP,
 - kardiogenní šok,
 - hypovolemie,
 - hypotenze,
 - arytmie.
- snížení SaO₂:
 - hypoxie,
 - respirační selhání,
 - dyspnoe,
 - pokles hemoglobinu (anémie, krvácení).
- zvýšená potřeba O₂:
 - hypertermie,
 - bolest,
 - zvýšená fyzická aktivita,
 - křeče,
 - zvýšená dechová práce.

Stavy se zvýšenou hodnotou SvO₂:

- zvýšená dodávka O₂:
 - zvýšený srdeční výdej (inotropika, seps),
 - zvýšení SaO₂ (vysoké FiO₂, hyperoxie),
 - zvýšený Hb (transfuze).
- snížená potřeba O₂:
 - hypotermie,
 - anestezie.
- další příčiny zvýšení SvO₂:
 - VVV srdce s L-P zkratem,
 - nekróza tkáně,
 - toxicita nitroprusidu,
 - septický šok.

Základní fyziologické výpočty ventilace

Dodávka kyslíku (oxygen delivery, DO₂)

Dodávka kyslíku (oxygen delivery, DO₂) je **přímo úměrná srdečnímu výdeji a obsahu kyslíku v arteriální krvi** (arterial oxygen content, CaO₂). Pro pediatrii vždy volíme indexované hodnoty, tj. hodnoty vztažené k tělesnému povrchu.

$$\text{DO}_2 (\text{index}) = \text{CI} \times \text{CaO}_2 \times 10$$

$$\text{CI} = \text{HR} \times \text{SV}$$

$$\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times 1,34 \times \text{SaO}_2) + (0,003 \times \text{PaO}_2)$$

$$\text{CvO}_2 = (\text{Hb} \times 1,34 \times \text{SvO}_2) + (0,003 \times \text{PvO}_2)$$

$$\text{a-v DO}_2 = \text{CaO}_2 - \text{CvO}_2$$

DO₂ = oxygen delivery, představuje kyslík dodávaný tkáním za minutu, referenční hodnoty DO₂ = 550-650 ml/min/m²

SV = stroke volume = tepový objem

HR = heart rate = srdeční frekvence

CI = cardiac index = srdeční index → jde o srdeční výdej vztahený na jednotku povrchu těla

CaO₂ = obsah kyslíku v arteriální krvi, referenční hodnoty CaO₂ = 17–20 ml

CvO₂ = obsah kyslíku ve smíšené venosní krvi, referenční hodnoty CvO₂ = 12–15 ml

SaO₂ = saturace arteriální krve O₂, je uváděna jako SaO₂/100

SvO₂ = saturace smíšené žilní krve, je uváděna jako SvO₂/100

PaO₂ = parciální tlak kyslíku v arteriální krvi, je uváděn v torrech

PvO₂ = parciální tlak kyslíku ve smíšené žilní krvi, je uváděn v torrech

a-v DO₂ = arteriovenosní rozdíl kyslíku (oxygen content difference), referenční hodnoty a-v DO₂ = 3–5 ml/dl

Hb = hemoglobin, je uváděn v množství g/dl !

Spotřeba kyslíku (oxygen consumption, oxygen uptake, VO₂)

Mírou spotřeby O₂ je VO₂ (oxygen consumption, oxygen uptake), referenční hodnoty **VO₂ (index) = 120–200 ml/min/m²**

$$\text{VO}_2 \text{ (index)} = \text{CI} \times (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \times 10$$

Základním úkolem kardiopulmonální jednotky je zabezpečit **rovnováhu mezi VO₂ a DO₂**. Rovnováhu určuje :

- *obsah kyslíku ve smíšené venozní krvi CvO₂*
- *extrakce O₂* (oxygen extraction, O₂ER), tj. podíl mezi množstvím spotřebovaného a dodaného kyslíku VO₂/DO₂, které se vyjadřuje v procentech.

Normální jsou hodnoty **extrakce** kolem **25 %**, ale při výrazně zvýšené potřebě tkání může extrakce O₂ stoupnout k 50 %. V rámci šokových stavů se snažíme udržovat extrakci kyslíku pod 30 %.

$$\text{O}_2\text{ER} = \text{VO}_2 / \text{DO}_2$$

CvO₂ i O₂ER závisí na hodnotách saturace smíšené žilní krve SvO₂ a srdečním výdeji CO. CO/CI závisí na hodnotě srdeční frekvence, tepovém objemu, preloadu, afterloadu a kontraktilitě. Zvýšení srdeční frekvence, zlepšení kontraktility a relaxace myokardu v diastole, optimalizace preloadu a afterloadu zvyšují CO/CI. Kapacita přenášeného kyslíku může být zlepšena optimalizací hematokritu. Zlepšením všech těchto parametrů může být navýšena DO₂. V některých specifických situacích (horečka, sepse, trauma, tyreotoxikóza) mohou metabolické potřeby převýšit i normální DO₂.

Základní fyziologické výpočty ventilace		
Parametr	Jednotka	Norma
CaO ₂	ml	17–20
CvO ₂	ml	12–15
a-vDO ₂	ml/dl	3–5
DO ₂ (index)	ml/min/m ²	550–650
VO ₂ (index)	ml/min/m ²	120–200
O ₂ ER	%	20–35

Hemodynamika

Možnosti monitoringu

Systém PiCCO

Systém PiCCO (*Pulse Contour Cardiac Output*) je oproti Swan-Ganzovu plicnicovému katétu **metodou méně invazivní** – ke stanovení srdečního výdeje vyžaduje zavedení centrálního žilního katétu a termodilučního arteriálního katétu (zavedeného cestou a.axillaris resp. a.radialis nebo častěji a.femoralis), **bez nutnosti katetrizace pulmonální artérie**. Pomocí tohoto systému lze vedle srdečního výdeje **stanovit i objemové parametry preloadu a kvantifikovat plicní edém**.

Srdeční výdej je intermitentně měřen transpulmonální termodilucí a kontinuálně analýzou tepové křivky. Během tří bolusových termodilučních měření dochází k analýze a kalibraci tvaru tepové křivky, trvalým porovnáváním těchto „kalibrovaných“ křivek a několika po sobě jdoucích tepových křivek je potom kontinuálně monitorován srdeční výdej. Vzhledem k tomu je nutný pravidelný srdeční rytmus, **systém selhává v přítomnosti arytmií** (např. fibrilace síní).

Při náhlých výkyvech v hemodynamice je **nutné znovu kalibrovat** pomocí termodiluce (standardně se kalibrace provádí minimálně po 6 hodinách).

Systém PiCCO užívá analýzu termodiluční křivky a znalost jednotlivých objemů (end-diastolické objemy komor i síní) z termodilučních měření mezi místem aplikace a detekce indikátoru (roztok o známé teplotě). **Z objemů určených termodilučními technikami mezi místem aplikace a detekce lze dále vypočítat „extravaskulární plicní tekutinu“** (*extravascular lung water, EVLW*) ke kvantifikaci plicního edému. Jde o rozdíl mezi celkovým obsahem tekutiny v plicích (*pulmonary thermal volume, PTV*) a intravaskulární plicní tekutinou (*pulmonary blood volume, PBV*).

Systém LiDCCO

Variantou tohoto systému je **systém využívající místo termodiluce diluci chloridu lithia** (*LiDCO*). Kalibrace se provádí detekcí přítomnosti LiCl v periferní arteriální krvi (a. radialis) po jeho bolusovém podání do venózní části cévního řečiště. Následným **porovnáváním tepových křivek** je kontinuálně **monitorován srdeční výdej**.

Vedle rutinních metod jako je měření CVP nebo aTK umožňují moderní termodiluční metody a možnost analýzy pulzové křivky arteriálního tlaku (např. metoda PiCCO) určit podrobnější hemodynamické parametry. Pro potřebu pediatrie jsou nejdůležitější indexované hodnoty jednotlivých parametrů, které jsou vztaženy na povrch těla a dovolují tak srovnání mezi hodnotami různých pacientů.

Parametry definující preload

Vedle CVP (tlakový parametr definující preload pravé komory), který je nejčastěji užívaným markerem preloadu, můžeme v rámci podrobnějších hemodynamických měření sledovat řadu dalších parametrů :

- **global enddiastolic volume (GEDV)** udává objem krve obsažený ve všech 4 dutinách srdce na konci diastoly
- **intrathoracic blood volume (ITBV)** udává objem krve obsažený ve všech 4 dutinách srdce na konci diastoly + objem krve v plicních cévách

ITBV a GEDV **vykazují větší senzitivitu a specificitu** k určení srdečního preloadu než standardní plnicí tlaky CVP a PAWP, ale také než enddiastolický objem pravé komory vypočtený echokardiografií. Další výhodou ITBV a GEDV je, že **neinterferují s umělou plicní ventilací**. U dětí, jak již bylo řečeno výše, je nutno využívat **indexované hodnoty**, tj. GEDVI a ITBVI.

U pacientů na UPV můžeme využít dalšího parametru hemodynamiky – **variace tepového objemu** (stroke volume variation, **SVV** – parametr dynamický). SVV odráží změny srdečního preloadu v závislosti na cyklech UPV. Vzestup hodnoty SVV může predikovat potřebu volumexpanze

Parametry definující afterload

V praxi jako determinantu afterloadu **vyhodnocujeme systémovou a plicní vaskulární rezistenci** (na principu Ohmova zákona). Při znalosti hodnot CO můžeme vypočítat **hodnotu systémové vaskulární rezistance** (systemic vascular resistance, **SVR**) :

$$\text{SVR} = (\text{MAP} - \text{CVP}) \times 80 / \text{CO}$$

$$\text{PP} = \text{MAP} - \text{CVP}$$

$$\text{SVR} = (\text{MAP} - \text{CVP}) \times 80 / \text{CO} = \text{PP} \times 80 / \text{CO}$$

- **PP** = perfusion pressure; rozdíl středního arteriálního tlaku a centrálního žilního tlaku

Indexovanou hodnotou SVR vztaženou na plochu těla je **SVRI** :

$$\text{SVRI} = (\text{MAP} - \text{CVP}) \times 80 / \text{CI} = \text{PP} \times 80 / \text{CI}$$

Na základě těchto vztahů je tedy možné snížením vaskulární rezistance zvýšit srdeční výdej, zároveň z toho vyplývá, že dobrý krevní tlak nemusí značit dobrý srdeční výdej – vaskulární rezistence může stoupat při současně klesajícím srdečním výdeji!

Analogicky **pro plicní vaskulární rezistance platí :**

$$\text{PVR} = (\text{MPAP} - \text{PAOP}) \times 80 / \text{CO}$$

resp.

$$\text{PVRI} = (\text{MPAP} - \text{PAOP}) \times 80 / \text{CI}$$

MPAP je **střední tlak v plicnici** (mean pulmonary artery pressure) a **PAOP** je **zaklíněný tlak v a.pulmonalis** (pulmonary artery opening pressure). ⚠ **Nezaměňovat s tlakem v zaklínění a.pulmonalis PAWP (pulmonary artery wedge pressure).**

Extravaskulární plicní voda

Extravascular lung water (EVLW) a její index EVLWI udává **objem volné vody v plicích** a umožňuje bedside kvantifikaci závažnosti plicního edému. Vedle plicního edému koreluje se závažností ARDS nebo s délkou UPV. Je lepším **indikátorem plicního edému** než RTG hrudníku.

Hemodynamické parametry			
	Parametr	Jednotka	Norma
Srdeční výdej	CI (cardiac index)	l/min/m ²	3,0–4,5 (5,5)
	SVI (stroke volume index)	ml/m ²	30–60
	SvcO ₂	%	65–75 %
Preload	CVP (central venous pressure) <i>parametr tlakový</i>	cm H ₂ O	3–10
	GEDVI (global enddiastolic volume index) <i>parametr objemový</i>	ml/m ²	390–590
	ITBVI (intrathoracic blood volume index) <i>parametr objemový</i>	ml/m ²	550–850
	SVV (stroke volume variation) <i>parametr dynamický</i>	%	≤ 10
	PPV (pulse pressure variation) <i>parametr dynamický</i>	%	≤ 10
Plíce	EVLWI (extravascular lung water index)	ml/kg	3,0–7,0
Afterload	MAP	torr (mmHg)	dle věku
	SVRI (systemic vascular resistance index)	dyne.s.cm/5.m/2	800–1600 1600–2400 (u dospělých)
	PVRI (pulmonary vascular resistance index)	dyne.s.cm/5.m/2	250–430
Kontraktilita	CFI	l/min	4,5–6,5
	GEF	%	25–35
	EF (ejekční frakce)	%	55–75

Kontraktilita

Kontraktilita je **vlastní inotropní aktivita myokardu nezávislá na předtížení a dotížení**. Je ovlivněna ionizovaným kalcie, poddajností a dodávkou energetických substrátů myokardu.

Ukazatelem kontraktility je **schopnost vyvinout tlak za časovou jednotku**, v praxi se užívá :

- hodnot tepové práce levé resp. pravé komory: **LVSW** resp. **RVSW** (*left/right ventriculus stroke work*)

$$\text{LVSW} = 0,0136 \times \text{SV} \times (\text{MAP} - \text{PAOP})$$

$$\text{RVSW} = 0,0136 \times \text{SV} \times (\text{MPAP} - \text{CVP})$$

- globální ejekční frakce (**GEF**) a indexu srdeční funkce (**CFI**, *cardiac function index*) odvozených z parametrů měřených systémem PiCCO;
- úroveň kontraktility myokardu lze též odhadnout ze strmosti vzestupu pulzové křivky během přímého měření arteriálního tlaku.

Srdeční výdej

V rámci možností podrobnější hemodynamiky jsme schopni určit **tepový objem** (stroke volume, **SV**). Na základě této hodnoty můžeme vypočítat **srdeční výdej** (cardiac output, **CO**), který je součinem tepového objemu a srdeční minutové frekvence (heart rate):

$$CO = HR \times SV$$

Přepočtem na povrch těla získáváme cardiac index = CI.

Výpočet CO využitím Fickova vzorce:

$$CO = \{VO_2 / (CaO_2 - CvO_2)\} \times 10$$

Měření TK v zaklínění plicnice, PAWP

Hodnotu **PAWP měříme Swan-Ganzovým katetrem**. Je výslednicí rezistence plicního řečiště a funkce levého srdce. Jeho hodnoty se blíží tlaku v levé síni. **Používá se na exaktní určení CI**. V pediatrii má raritní uplatnění.

- **referenční hodnoty:** 6–16 cm H₂O (ideál 7–15 cm H₂O)

Indikace zavedení Swan-Ganzova katetru:

- nejasný intravaskulární objem
- PEEP > 12 cm H₂O
- srdeční selhání
- potřeba intenzivní inotropní podpory myokardu

Odkazy

Související články

Zdroj

- HAVRÁNEK, Jiří: *Kardiopulmonální monitoring*