

SOUBORNÝ REFERÁT

Novinky v monitorování hemodynamiky 2005 – část 2

Suk P., Šrámek V.

Anesteziologicko-resuscitační klinika, FN u svaté Anny v Brně

Souhrn

Souborný referát shrnuje novinky v monitorování celkové hemodynamiky, především za rok 2005. Tato část je zaměřena na méně invazivní měření srdečního výdeje, především na transezofageální dopplerometrii, a na využití venózní oxymetrie pro hodnocení oběhu. Dále je uveden přehled protokolů optimalizace hemodynamiky a dodávky kyslíku.

Klíčová slova: monitorování hemodynamiky – srdeční výdej – transezofageální dopplerometrie – venózní oxymetrie

Abstract

New developments in haemodynamic monitoring: Part II

This review article summarizes new trends in systemic haemodynamic monitoring in 2005. This part is aimed at the less invasive cardiac output measurement methods, particularly transoesophageal Doppler and venous oximetry, and the application of protocols for optimization of the haemodynamics and oxygen delivery.

Key words: haemodynamic monitoring – cardiac output – transoesophageal Doppler – venous oximetry

Anest. intenziv. Med., 17, 2006, č. 4, s. 220–223.

Tento přehled se týká novinek publikovaných v oblasti minimálně invazivního monitorování celkové hemodynamiky a protokolů optimalizace hemodynamiky. Zahrnuty jsou převážně publikace z roku 2005 a výjimečně z posledních měsíců roku 2004. Autoři zařadili i několik prací dosud publikovaných pouze formou abstraktu, protože je považovali za důležité.

Přehled témat

- I. Transezofageální dopplerometrie
- II. Neinvazivní techniky měření srdečního výdeje
- III. Venózní oxymetrie
- IV. Optimalizace hemodynamiky a dodávky O₂

• **Transezofageální dopplerometrie (TED)**

Hodnocení přesnosti stanovení srdečního výdeje (CO) je cílem mnoha prací. Dark a Singer [1] ve svém přehledu zhodnotili výsledky 21 studií (celkem 2400 měření u 314 pacientů). Při porovnání s hodnotami získanými termodilučním (TD) plicnicovým katétre (PAC) byla střední chyba pouze 0,2 l/min. Na druhou stranu klinicky akceptovatelnou odchylku (± 15 % od hodnot získaných PAC) překročilo 48 % měření s 95% intervalem spolehlivosti (IS) – 0,7 až 2,0 l/min. Zachycení trendu srdečního výdeje sledovalo 5 prací – v 86 % byl směr změny zachycen adekvátně. Využití TED v hemodynamickém monitorování je proto vhodné spíše k zachycení trendu než ke stanovení přesných hodnot, což však nemusí být v klinické praxi vždy limitující.

Přesnost odhadu srdečního výdeje může být

významně ovlivněna podílem krve protékající descendní aortou. Sawai et al. sledovali u 30 pacientů srdeční výdej pomocí TED a termodilučního PAC při různých hladinách paCO₂. Přestože byla zjištěna dobrá korelace obou metod (chyba měření < 0,33 l/min, 95% IS ± 1 l/min), při změně paCO₂ z 30 na 40 mm Hg došlo ke vzestupu CO měřeného TD pomocí PAC z 3,78 na 4,17 l/min, ale CO měřený TED zůstal bez změny (3,85 a 3,77 l/min) [2]. Pravděpodobným vysvětlením je vzestup CO při zvýšení průtoku mozku při hyperkapnii bez změny průtoku descendní aortou (průtok krve mozkem nebyl sledován).

V poslední době se rozšířily možnosti hodnocení preloadu pomocí TED. Kromě statických parametrů, jakými jsou doba průtoku korigovaná na tepovou frekvenci (FTc) a tepový index (SI), se pozornost zaměřuje na tzv. dynamické parametry preloadu, které využívají kardiovaskulární změny vyvolané změnami nitrohrudního tlaku při řízené ventilaci.

V experimentálním hemoragickém šoku na králících Slama et al. [3] prokázali výbornou korelaci změny maximální rychlosti toku v descendní aortě (ΔV_{max}) s množstvím ztracené krve ($r = 0,96$). U ostatních sledovaných parametrů včetně běžně užívaných PPV a SPV byla závislost slabší ($r = 0,75$). Studii hodnotící variace toku descendní aortou (ΔABF) v predikci reakce na podání tekutin provedla skupina Monneta. U 38 objemově ventilovaných pacientů $\Delta ABF > 18$ % předpověděla s 90% senzitivitou

a 94% specificitou pozitivní reakci (vzestup CO o 15 %) na bolus 4 ml/kg 6% hydroxyetyl škrobu (HES; ROC 0,93). Sledovaný statický parametr FTc < 277 ms měl senzitivitu pouze 55% a specificitu 95% [4]. Podobný parametr – variaci indexu tepového objemu (Δ SOI), vypočteného jako SI děleno FTc, hodnotil Valle. Sledoval, zda po podání 4 ml/kg 6% HES dojde k vzestupu SI alespoň o 10 %. U 51 ventilovaných nemocných hodnoty Δ SOI > 11% měly 91% senzitivitu a 97% specificitu (ROC 0,994). Prediktivní hodnota statických parametrů – SI a FTc – byla mnohem slabší [5].

Další aplikací je průběžné měření „cross-sectional area (CSA)“ aorty nad bránicí transesofageálním ultrazvukem (HemoSonic 100). Tuto metodu použil De Vaal et al. při stanovení srdečního výdeje analýzou křivky arteriální tlaku. U 24 sledovaných nemocných na JIP došlo ke zpřesnění měření: střední chyba - 0,37 l/min (IS - 3,53 až 2,79) poklesla po kalibraci na -0,08 l/min (IS -1,48 až 1,32) a koeficient variace ve srovnání s termodilucí klesl z 28 na 12 % [6].

• Neinvazivní techniky měření srdečního výdeje

Měření bioimpedance je zcela neinvazivní metodou pro hodnocení CO, která prochází stálým vývojem. V práci Browna ukázala dobrou korelaci s PAC u nemocných s traumatem jak s normální hmotností (BMI < 30 kg/m²), tak i obézních ($r = 0,82$ a $0,84$; $p < 0,001$) [7]. Impedanční kardiografie vybavené novým algoritmem (electrical velocimetry) byla srovnávána s CO získaným transesofageální echokardiografií (kontinuální dopplerometrie na aortální chlopni). U kardiochirurgických nemocných po úvodu do anestezie byla nalezena velmi dobrá korelace ($r^2 = 0,86$) [8].

Gabbanelli et al. publikovali další práci, která potvrzuje, že iniciální distribuční objem (IDVG) po podání bolusu glukózy (25 ml G 20% během 30 s) lze využít jako indikátor preloadu. Hodnota IDVG dobře korelovala s nitrohrudním objemem krve měřeným systémem PiCCO ($r^2 = 0,79$, $p < 0,001$) [9].

Další z možností téměř neinvazivního měření CO je pulzní denzitometrie. Speciálním pulzním oxymetrem o 3 vlnových délkách je detekována distribuční křivka indocyaninové zeleně (ICG). Dvě studie na malých zvířatech přinesly poměrně nadějně výsledky [10, 11], ale práce Bauliga na kardiochirurgických pacientech již tak úspěšná nebyla. U 28 nemocných byl porovnán CO hodnocený pulzní denzitometrií a termodilučním PAC. Před operací bylo provedeno měření s 5 mg ICG, kdy denzitometrie podceňovala CO o 0,42 l/min (IS $\pm$ 1,96 l/min) a 20 mg ICG, kdy byl CO nadhodnocen o +0,57 l/min (IS $\pm$ 2,51 l/min). Po operaci nebylo možné měření provést pro nekvalitní signál [12]. Pulzní denzitometrie u anestezovaných pacientů se zdá být málo přesná a nespolehlivá metoda měření srdečního výdeje.

• Venózní oxymetrie

U kriticky nemocných pacientů je udržení dodávky O₂ (DO₂) jedním ze základních opatření v prevenci

orgánového poškození. O adekvátnosti DO₂ vzhledem ke spotřebě O₂ (VO₂) může informovat extrakce kyslíku (OER). Za fyziologických podmínek se OER pohybuje kolem 25 %, čemuž odpovídá 75% saturace smíšené žilní krve (SvO₂). V případě nedostatečného DO₂ vzhledem k spotřebě dochází ke kompenzačnímu zvýšení OER s odpovídajícím poklesem SvO₂.

Vzhledem k tomu, že centrální žilní přístup v ploví v. cava superior je součástí standardního zajištění kriticky nemocných a k získání SvO₂ je nutné zavedení PAC, je snaha nahradit hodnoty SvO₂ údaji získanými analýzou krve z v. cava superior nebo pravé síně (ScvO₂). Za normálních podmínek je ScvO₂ asi o 2–3 % nižší než SvO₂. Hlavním příčinou je tzv. funkční prokrvení ledvin – v 25 % srdečního výdeje protékajícího ledvinami neklesá SatHb pod 90 %. U kriticky nemocných je však situace obvykle opačná. Hlavní příčinou je zvýšení OER v oblasti gastrointestinálního traktu.

Porovnáním ScvO₂ a SvO₂ a přesností fiberoptických katétrů se zabýval Reinhart et al. [13]. Ve skupině 32 nemocných bylo kontinuálně sledováno ScvO₂, u 29 z nich i SvO₂. Přesnost kontinuálních katétrů byla velmi dobrá, rekaliibrace byla nutná je u 10 % (při chybě > 3 %) a nebyla významně ovlivněna hodnotami hemoglobinu, methemoglobinu, pH a tělesné teploty. Byla zjištěna dobrá korelace mezi ScvO₂ a SvO₂ – průměrný rozdíl byl 7 % (ScvO₂ vyšší než SvO₂), 95% IS 1–15%. Největší rozdíly byly pozorovány ve skupině nemocných s vysokým intracerebrálním tlakem (ovlivnění vysokou saturací krve z mozku?) a u nemocných s nižšími hodnotami SvO₂ (ovlivnění nízkou saturací krve z hepatosplanchnické oblasti?). Při hodnocení trendu ScvO₂ zachytilo směr změny SvO₂ v 90 % z 1498 případů.

K podobným závěrům dospěl i Chawla et al. u 53 interních a chirurgických nemocných. SvO₂ bylo porovnáno s krví z proximálního vstupu PAC umístěného 3 cm nad trikuspidální chlopni. Průměrný rozdíl dosahoval 5,2 % s intervalem shody -5,2 % až 15,5 % [14].

Naopak Bedjelid porovnával hodnoty získané z fiberoptického PAC s *in vitro* oxymetrem u 10 nemocných. Obě měření však korelovala poměrně slabě ($r^2 = 0,49$) a 36 % měření bylo mimo toleranci $\pm$ 3%. U hodnot SvO₂ < 65 % bylo mimo stanovený interval spolehlivosti dokonce 56 % měření [15].

Odlíšné výsledky (odpovídají fyziologickému stavu) byly pozorovány u neurochirurgických nemocných podstupující elektivní operaci vsedě. U 70 pacientů byly hodnoty SvO₂ průměrně o 1,24 % vyšší než ScvO₂ (IS -6,83 % až 9,30 %), k výrazným změnám nedošlo ani při změnách polohy [16]. Vzhledem k širokému intervalu shody nelze ani u stabilních pacientů použít ScvO₂ ke stanovení SvO₂, ale je dostačující ke stanovení trendu.

K hodnocení SvO₂ je nutné použít poměrně invazivní techniku – zavedení PAC. Při hledání méně invazivního přístupu bylo využito anatomické blízkos-

ti levé větve *arteria pulmonalis* a levého hlavního bronchu, který je dostupný při selektivní intubaci. Wei et al. porovnali data získaná z pulzního oxymetru umístěného na bronchiální části biluminální kanyly se vzorky odebranými z distálního konce PAC u 10 pacientů podstupujících nitrohrudní operaci. Byla zjištěna vynikající shoda – střední chyba měření byla pouze 0,12 % a 95% interval shody -3,67 až +3,91 %. Výsledky naznačují, že v porovnání s ScvO₂ je odhad SvO₂ přesnější [17].

Podobná práce na prasatech dosahovala srovnatelných výsledků (95% IS $\pm$ 4 %, u hemoragického šoku $\pm$ 6 %), ale potvrdila i nezávislost metody na FiO₂ a tlaku v manžetě biluminální rourky [18].

Klinickým využitím ScvO₂, hlavně v predikci pooperačních komplikací, ze zabývalo několik prací. Observační studii u 118 pacientů po velké všeobecné chirurgii provedla skupina Pearse [19]. Byla sledována hemodynamika systémem LiDCO a ScvO₂ 24 hodin po operaci. Nejnižší hodnota srdečního indexu a ScvO₂ během 24 hodin po poperaci byla prediktorem pooperačních komplikací. Nejlepší rozlišovací schopnost mělo ScvO₂ 64 %, přesto 67% senzitivita a 56% specifická zůstaly poměrně nízké. Podobnou observační studii provedli Divatia et al. [20] u 83 pacientů po velkém výkonu ve všeobecné chirurgii. Pacienti s ScvO₂ pod 70 % po operaci vyžadovali delší ventilaci (3,5 vs 1,5 dne; $p < 0,01$), delší pobyt na JIP (5,6 vs 1,8 dne; $p < 0,01$), měli častější pooperační komplikace (56,8 vs 18,7; $p < 0,01$) včetně dehiscence anastomózy (26 vs 9 %; $p = 0,03$). Vliv na mortalitu však nebyl zaznamenán.

Matos Nogueira et al. [21] sledovali, zda nízká hodnota ScvO₂ může predikovat úmrtí u kardiocirurgických pacientů. U 132 sledovaných nemocných bylo ScvO₂ během 24 hodin po operaci významně nižší u zemřelých (57 ± 8 %) než u přežívajících (68 ± 5 %, $p < 0,001$).

• Optimalizace hemodynamiky a dodávky O₂

Optimalizace hemodynamiky a/nebo dodávky O₂ do tkání může snížit morbiditu a případně i mortalitu [Shoemaker, W. C., 1988]. Použití PAC je stále kontroverzní, proto je snaha o méně invazivní monitorování. Hodnocení srdečního výdeje systémem LiDCO použil Pearse et al. u 122 pacientů podstupujících větší výkony všeobecné chirurgie [22]. V terapeutické skupině bylo cílem dosáhnout DO₂ minimálně 600 ml/min/m² podáním tekutin a případně dopexaminu, u kontrolní skupiny probíhala léčba standardně. Cíle bylo dosaženo v terapeutické skupině v 79 % (u kontrolní ve 29 %) díky většímu množství podaných koloidů a většímu podílu nemocných s podáním dopexaminu. Výsledkem bylo snížení počtu komplikací z 68 na 44 % ($p = 0,003$) a zkrácení mediánu pobytu v nemocnici ze 14 na 11 dní. Rozdíl v délce pobytu na JIP a mortalitě nebyl významný.

Jiný typ miniinvazivního monitorování – TED – využil Wakeling et al. k optimalizaci podání tekutin u kolorektální chirurgie [23]. U kontrolní skupiny byly tekutiny indikovány podle hodnot centrálního žilního tlaku. Skupina TED měla vyšší CO, tepový objem i DO₂ a současně nižší počet komplikací (14,1 vs 45,3 %, $p < 0,01$) a kratší pobyt v nemocnici (medián 10 vs 11,5 dne, $p < 0,05$).

TED k optimalizaci hemodynamiky u kardiocirurgických pacientů použil McKendry v prospektivní randomizované kontrolované studii u 174 pacientů [24]. Terapie řízená sestrami podle protokolu zahrnovala koloidy, adrenalin a nitráty a cílem bylo dosažení SI > 35 ml/m². V intervenční skupině bylo dosaženo cílové hodnoty v 61 % a v kontrolní skupině ve 44 %. V intervenční skupině poklesl medián pobytu v nemocnici z 9 na 7 dní, byl i trend ke snížení komplikací, kratšímu pobytu na JIP a nižší mortalitě.

Multifaktoriální analýza 28 kriticky nemocných hodnotila predikční schopnost hodnot globální (objem krve, objem pravé komory na konci diastoly) a regionální hemodynamiky (rychlost eliminace ICG, gastrická tonometrie) [25]. Při příjmu se nelišily v predikci prognózy (nemocniční mortalita), ale v průběhu resuscitace se významnými prediktory mortality stávaly gastrické pH, mucosal-end tidal pCO₂ a clearance ICG. Podobná studie naopak neprokázala, že úroveň monitorování hemodynamiky a podle ní sestavený léčebný protokol (základní monitorování vs globální hemodynamika vs globální hemodynamika současně s gastrickou tonometrií) rozhoduje o prognóze traumatizovaných nemocných [26].

Použité zkratky:

ΔABF – aortic blood flow (variace toku descendentní aortou)
CO – cardiac output (srdeční výdej)
DO₂ – dodávka O₂
FTc – corected flow time (doba průtoku korigovaná na tepovou frekvenci)
HES – hydroxyetylškrob
IDVG – initial distribution volume of glucose (iniciální distribuční objem glukózy)
IS – interval spolehlivosti
OER – oxygen extraction ratio (koeficient extrakce kyslíku)
PAC – pulmonary artery catheter (plicnicový katétr)
ROC – receiver operating curve
ScvO₂ – saturace krve ve v. cava superior
SI – stroke index (tepový index)
SvO₂ – saturace smíšené žilní krve
SOI – stroke output index (variace indexu tepového objemu)
TD – termodiluce
TED – trasezofageální dopplerometrie
VO₂ – spotřeba O₂

Literatura

1. Dark, P. M., Singer, M. The validity of trans-esophageal Doppler ultrasonography as a measure of cardiac output in critically ill adults. *Intensive Care Med.*, 2004, 30, p. 2060–2066.
2. Sawai, T., Nohmi, T., Ohnishi, Y., Takauchi, Y., Kuro, M. Cardiac Output Measurement Using the Transesophageal Doppler Method Is Less Accurate Than the Thermodilution Method When Changing PaCO₂. *Anesth. Analg.*, 2005, 101, p. 1597–1601.
3. Slama, M., Masson, H., Teboul, J. L., Arnould, M. L., Nait-Kaoudj, R., Colas et al. Monitoring of respiratory variations of aortic blood flow velocity using esophageal Doppler. *Intensive Care Med.*, 2004, 30, 6, p. 1182–1187.
4. Monnet, X., Rienzo, M., Osman, D., Anguel, N., Richard, C., Pinsky, M. R. et al. Esophageal Doppler monitoring predicts fluid responsiveness in critically ill ventilated patients. *Intensive Care Med.*, 2005, 31, 9, p. 1195–1201.
5. Valle, F., Fourcade, O., De Soyres, O., Angles, O., Sanchez-Verlaan, P., Pillard, F. Stroke output variations calculated by esophageal Doppler is a reliable predictor of fluid response. *Intensive Care Med.*, 2005, 31, p. 1388–1393.
6. de Vaal, J. B., de Wilde, R. B., van den Berg, P. C., Scgreuder, J. J., Jansen, J. R. Less invasive determination of cardiac output from the arterial pressure by aortic diameter-calibrated pulse contour. *Br. J. Anaesth.*, 2005, 95, 3, p. 326–331.
7. Brown, C. V., Martin, M. J., Shoemaker, W. C., Wo, C. C., Chan, L., Azarow, K. et al. The effect of obesity on bioimpedance cardiac index. *Am. J. Surg.*, 2005, 189, 5, p. 547–550.
8. Schmidt, C., Theilmeier, G., Van Aken, H., Korsmeier, P., Wirtz, S. P., Berendes, E. et al. Comparison of electrical velocimetry and transoesophageal Doppler echocardiography for measuring stroke volume and cardiac output. *Br. J. Anaesth.*, 2005, 95, 5, p. 603–610.
9. Gabbanelli, V., Pantanetti, S., Donati, A., Montozzi, A., Carbin, C., Pelaia, P. Initial distribution volume of glucose as noninvasive indicator of cardiac preload: comparison with intrathoracic blood volume. *Intensive Care Med.*, 2004, 30, 11, p. 2067–2073.
10. Maarek, J. M., Holschneider, D. P., Harimoto, J., Yang, J., Scremin, O. U., Rubinstein, E. H. Measurement of Cardiac Output with Indocyanine Green Transcutaneous Fluorescence Dilution Technique. *Anesthesiology*, 2004, 100, p. 1476–1483.
11. Taguchi, N., Nakagawa, S., Miyasaka, K., Fuse, M., Aoyagi, T. Cardiac output measurement by pulse dye densitometry using three wavelengths. *Pediatr. Crit. Care Med.*, 2004, 5, p. 343–350.
12. Baulig, W., Bernhard, E. O., Bettex, D., Schmidlin, D., Schmid, E. R. Cardiac output measurement by pulse dye densitometry in cardiac surgery. *Anaesthesia*, 2005, 60, 10, p. 968–973.
13. Reinhart, K., Kuhn, H. J., Hartog, C. et al. Continuous central venous and pulmonary artery oxygen saturation monitoring in the critically ill. *Intensive Care Med.*, 2004, 30, p. 1572–1578.
14. Chawla, L. S., Zia, H., Gutierrez, G., Katz, N. M., Seneff, M. G., Shah, M. Lack of Equivalence Between Central and Mixed Venous Oxygen Saturation. *Chest*, 2004, 126, p. 1891–1896.
15. Bendjelid, K., Schutz, N., Suter, P. M., Romand, J. A. Continuous SvO₂ measurements and co-oximetry are not interchangeable immediately after cardiopulmonary bypass. *Can. J. Anaesth.*, 2004, 51, 6, p. 610–615.
16. Dueck, M. H., Klimek, M., Appenrodt, S., Weigand, C., Boerner, U. Trends but Not Individual Values of Central Venous Oxygen Saturation Agree with Mixed Venous Oxygen Saturation during Varying Hemodynamic Conditions. *Anesthesiology*, 2005, 103, p. 249–257.
17. Wei Wei, Zhaoqiong Zhu, Lunxu Liu, Yunxia Zuo et al. A Pilot Study of Continuous Transtracheal Mixed Venous Oxygen Saturation Monitoring. *Anesth. Analg.*, 2005, 101, p. 440–443.
18. Wang, X. R., Zheng, Y. J., Tian, J., Wang, Z. H., Pan, Z. Y. A preliminary study on the monitoring of mixed venous oxygen saturation through the left main bronchus. *Crit. Care*, 2005, 10, 1, R7 [Epub před tiskem].
19. Pearce, R., Dawson, D., Fawcett, J., Rhodes, A., Grounds, R. M., Bennett, E. D. Changes in central venous saturation after major surgery, and association with outcome. *Critical Care*, 2005, 9, p. 694–699.
20. Divatia, J., Priya, V., Shingade, R. Impact of low postoperative central venous oxygen saturation on postoperative morbidity. *Critical Care*, 2005, 9, Suppl. 1, p. 46.
21. Matos Nogueira, P., Viera Gomes, R., Rouge, A., Fernandes, M., Tura, B., Rocco, J. et al. Can central venous oxygen saturation intermittently measured within the first 24 postoperative hours of cardiac surgery predict death? *Critical Care*, 2005, 9, Suppl. 1, p. 47.
22. Pearce, R., Dawson, D., Fawcett, J., Rhodes, A., Grounds, R. M., Bennett, E. D. Early goal-directed therapy after major surgery reduces complications and duration of hospital stay. A randomised, controlled trial. *Critical Care*, 2005, 9, p. 687–693.
23. Wakeling, H. G., McFall, M. R., Jenkins, C. S., Woods, W. G., Miles, W. F., Barclay, G. R., Fleming, S. C. Intraoperative oesophageal Doppler guided fluid management shortens postoperative hospital stay after major bowel surgery. *Br. J. Anaesth.*, 2005, 95, p. 634–642.
24. McKendry, M., McGloin, H., Saberi, D., Caudwell, L., Brady, A. R., Singer, M. Randomised controlled trial assessing the impact of a nurse delivered, flow monitored protocol for optimisation of circulatory status after cardiac surgery. *BMJ*, 2004, 329, p. 258–262.
25. Poeze, M., Solberg, B. C., Greve, J. W., Ramsay, G. Monitoring global volume-related hemodynamic or regional variables after initial resuscitation: What is a better predictor of outcome in critically ill septic patients? *Crit. Care Med.*, 2005, 33, 11, p. 2494–2500.
26. Miami Trauma Clinical Trials Group Splanchnic hypoperfusion-directed therapies in trauma: a prospective, randomized trial. *Am. Surg.*, 2005, 71, 3, p. 252–260.

Došlo 24. 5. 2006.

Přijato 26. 6. 2006.

Adresa pro korespondenci:
MUDr. Pavel Suk
ARK FN u sv. Anny v Brně
Pekařská 53
656 91 Brno
e-mail: pavel.suk@fnusa.cz