

PŮVODNÍ ČLÁNEK

Srovnání monitorace srdečního výdeje metodou „Pulse wave transit time“ a analýzou arteriální křivky

Chobola M., Hruđa J., Lukeš M., Klimeš J., Šrámek V., Suk P.

Anesteziologicko-resuscitační klinika, Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně, Centrum mezinárodního klinického výzkumu ICRC, Masarykova univerzita

Anest intenziv Med. 2017;28:339–345

SOUHRN

Cíl studie: Cílem naší studie bylo porovnat neinvazivní monitoraci pomocí esCCO (monitor Vismo od firmy NihonKohden) s monitorací LiDCOrapid, na našem pracovišti rutinně používanou u rizikových pacientů podstupujících břišní operaci.

Typ studie: Observační.

Typ pracoviště: Operační sály (všeobecná chirurgie) fakultní nemocnice.

Materiál a metoda: Do studie byli zařazeni pacienti ASA III, u nichž byla plánována břišní operace delší než 90 minut. Srdeční výdej byl měřen metodami esCCO a LiDCOrapid zároveň. První měření bylo provedeno před úvodem do anestezie a poté každých 15 minut během operace. Poslední měření bylo zaznamenáno po extubaci pacienta. Výsledky obou technik byly porovnány metodami Bland-Altman a polárním grafem ke zjištění shody v srdečním výdeji a jeho změnách.

Výsledek: Celkem bylo shromážděno 141 párových měření od deseti pacientů. Bland-Altmanova analýza korigovaná pro opakovaná měření ukázala chybu (bias) +1,2 l/min, hranice shody (limits of agreement) $\pm 2,6$ l/min a procentuální chybu 57 %. Míra shody ve směru změny mezi dvěma po sobě jdoucími měřeními mezi monitorem esCCO a tomu odpovídajícím měřením pomocí LiDCOrapid byla 80 %. Metodikou polárního grafu byla určena úhlová chyba (angular bias) +11° s radiálními limity shody (limits of agreement) -40° a +62°.

Závěr: Monitorace hemodynamiky pomocí esCCO přináší výsledky odlišné od těch naměřených metodou LiDCOrapid. V současné době neinvazivní monitorace pomocí esCCO nepředstavuje plnohodnotnou náhradu pro monitoraci pomocí LiDCOrapid.

KLÍČOVÁ SLOVA

tranzitní čas pulzové vlny – srdeční výdej – esCCO – LiDCO – hemodynamika – perioperační péče

ABSTRACT

Chobola M., Hruđa J., Lukeš M., Klimeš J., Šrámek V., Suk P.: Comparison of cardiac output monitoring with the Pulse Wave Transit Time technique versus arterial waveform analysis

Objective: The aim of the study was to compare the esCCO Vismo (Nihon Kohden, Japan) monitor to the routinely used LiDCOrapid (LiDCO Group, Great Britain) monitor in patients undergoing abdominal surgery.

Design: Observational study.

Setting: General surgery operating theatres in a University Hospital.

Materials and methods: ASA III patients scheduled for elective major abdominal surgery with expected operation duration over 90 minutes were included in the study. Cardiac output measurements by esCCO and LiDCOrapid were recorded before induction of anaesthesia, every 15 min throughout the surgery and after extubation. The agreement and trending ability of the two methods were tested with the Bland-Altman analysis and polar plot, respectively.

Results: A total of 141 paired readings from 10 patients were collected. The Bland-Altman analysis corrected for repeated measures showed a bias of +1.2 l/min, limits of agreement ± 2.6 l/min and percentage error of 57 %. The direction of change between consecutive esCCO measurements and the corresponding LiDCOrapid measurements showed a concordance rate of 80 %. In the polar plot, the angular bias was +11° with radial limits of agreement from -40° to +62°.

Conclusion: Hemodynamic monitoring with esCCO yields cardiac output values different from those measured by LiDCOrapid. esCCO cannot be currently recommended as a reliable surrogate for LiDCOrapid.

KEYWORDS

pulse wave transit time – cardiac output – esCCO – LiDCO – haemodynamics – perioperative care

ÚVOD

Je to již více než dvacet let, co Shoemaker a spol. přesvědčivě demonstrovali vztah mezi kyslíkovým dluhem a výskytem komplikací v perioperačním období [1]. Optimalizovat dodávku kyslíku nicméně není možné bez znalosti srdečního výdeje pacienta, který ve standardní perioperační monitoraci není dostupný. Přestože je plicnicový katétr stále považován za „zlatý standard“ pro měření srdečního výdeje, jeho invazivita, potenciální rizika a obtížnější použití na operačním sále vedly k vývoji technik méně invazivních, jako je jícnový Doppler, analýza tepové křivky, bioreaktance a dalších [2, 3]. V perioperační péči, kde se setkáváme s méně komplexními poruchami hemodynamiky, je možné spokojit se s nižší, ale přijatelnou přesností při současné menší invazivitě technik. Tento předpoklad, společně s evidencí, že cílená optimalizace hemodynamiky (tzv. goal-directed therapy) zlepšuje výsledky některých chirurgických pacientů [4], vedl k rozvoji používání nekalibrovaných systémů.

Monitorace pomocí „estimated continuous cardiac output“ (esCCO) je založena na měření běžnou perioperační monitorací (tj. EKG, neinvazivní krevní tlak a pulzní oxymetr) čili je zcela neinvazivní. Pracuje na principu „pulse wave transit time“ (PWTT) měřené jako zpoždění mezi vlnou R na EKG a vzestupem a vrcholovým bodem na pulzní vlně měřené pomocí pulzního oxymetru během jednoho srdečního cyklu [5]. Spolehlivost měření pomocí esCCO nebyla zatím dostatečně prokázána a zůstává spornou, především pak u hemodynamicky nestabilních nemocných [6].

Cílem této studie bylo srovnání monitoru Vismo (Nihon Kohden, Japonsko), využívající metodu esCCO, s rutinně používaným monitorem LiDCOrapid (LiDCO Group, Velká Británie) u pacientů podstupujících abdominální chirurgický zákrok. Naší hypotézou bylo, že monitor Vismo bude schopen měřit změny srdečního výdeje ve shodě klinicky akceptovatelné s monitorem LiDCOrapid.

SOUBOR A METODA

PRINCIP LiDCOrapid

Analýzou arteriální křivky algoritmem PulseCO [7] je vypočítán tzv. předkalibrační srdeční výdej (COa). Srdeční výdej (nCO) je vypočten vynásobením COa kalibračním faktorem, který je získán z nomogramu na základě demografických dat (věk, váha, výška). Data ukazují, že LiDCOrapid je v perioperační monitoraci srovnatelné s ostatními miniinvazivními metodami [8]. Přístroj LiDCOrapid je na našem pracovišti rutinně používán pro rizikové pacienty podstupující větší chirurgický výkon [9].

PRINCIP esCCO

Přístroj se kalibruje automaticky na základě demografických dat pacienta, neinvazivně změřeného krevního tlaku a PWTT. Tepový objem (SV) je dán vztahem mezi PWTT a současně změřeným krevním tlakem a může být vypočítán jako $SV = K * (\alpha * PWTT + \beta)$, kde K je konstanta zahrnující arteriální poddajnost a cévní rezistenci a konstanty α a β jsou experimentálně odvozeny z předchozích validačních studií [5, 10].

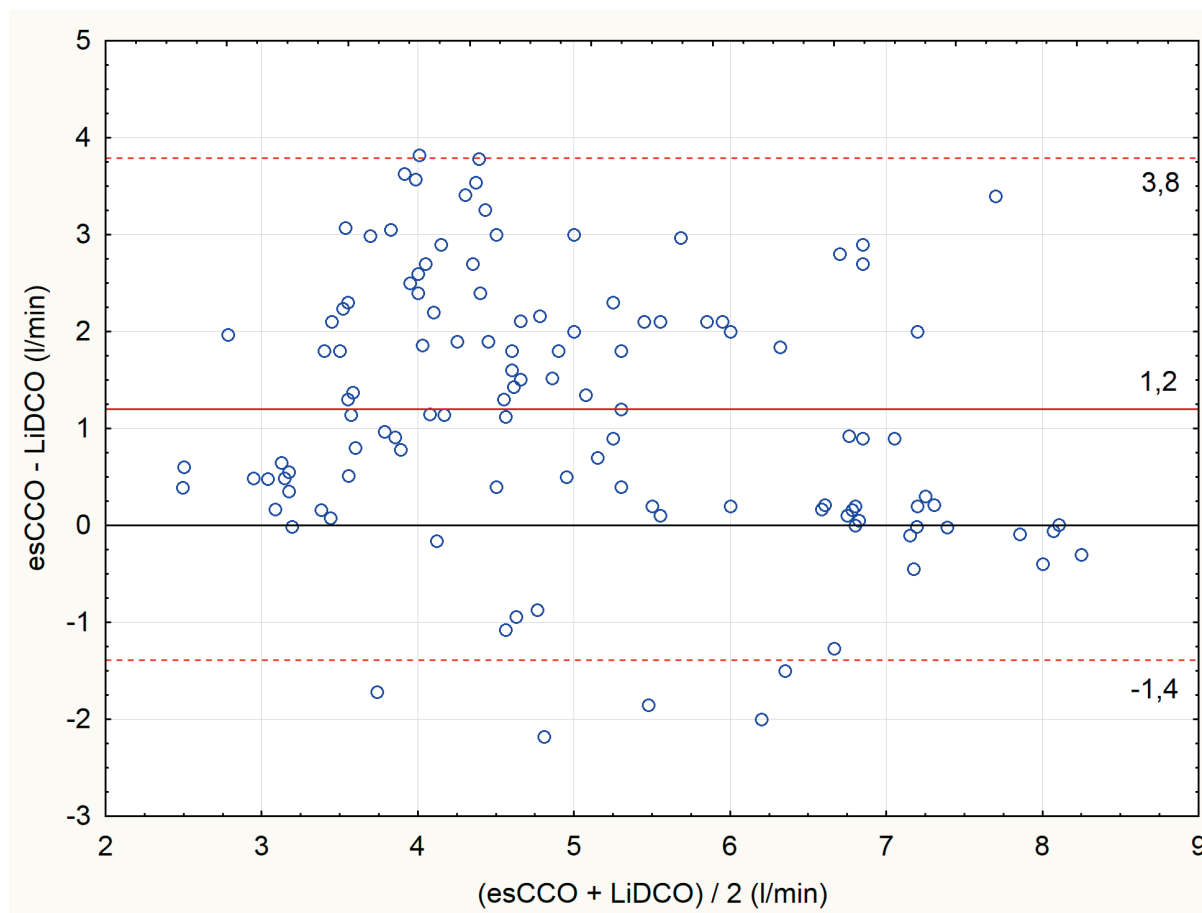
PACIENTI A VEDENÍ ANESTEZIE

Do studie provedené v období mezi 09/2012–03/2013 byli zařazeni pacienti s ASA skóre III a více, u kterých byl plánován břišní operační výkon s předpokládanou dobou operace delší než 90 minut. Vzhledem k nespolehlivosti obou monitorovacích metod při nepravidelném srdečním rytmu byli pacienti s arytmiemi vyloučeni.

Před úvodem do anestezie byla u každého pacienta zakanylována levá arteria radialis a bylo započato s monitorací invazivního krevního tlaku. Monitor LiDCOrapid byl připojen přes datový kabel k monitoru vitálních funkcí a byly do něj vloženy demografické údaje. Podobně byl pacient připojen k monitoru esCCO, kam byla zadána jeho demografická data: věk, výška a váha. EKG bylo vždy monitorováno v zapojení odpovídajícím II. svodu. Pulzní oxymetr byl umístěn na prostředníček levé ruky po celou dobu operace. Následoval pětiminutový interval za stálých podmínek, tj. bez podávání i. v. tekutin nebo vazoaktivních látek a bez manipulace s pacientem. Tento interval sloužil ke stabilizaci a prvnímu měření.

Všichni pacienti byli uvedeni do anestezie pomocí propofolu, anestezie byla vedena sevofluranem v nosné směsi se vzduchem, jako opioid byl zvolen sufentanil a pro relaxaci bylo použito atrakurium. Ventilace byla prováděna v režimu objemově řízené ventilace s těmito parametry: dechový objem 8–10 ml/kg, dechová frekvence 10–16 dechů za minutu k dosažení $etCO_2$ mezi 4,6 a 5,5 kPa, PEEP 5 až 8 cm H_2O .

Podávání tekutin a použití vazoaktivních/inotropně působících léků bylo vedeno pomocí „Protokolu perioperační hemodynamické optimalizace“, rutinně používaného na našem pracovišti jako součást perioperační péče pro rizikové pacienty podstupující náročnější chirurgické procedury. Tento protokol je založen na monitoraci přístrojem LiDCOrapid. Indikací k podání tekutinové výzvy je variabilita pulzového tlaku (PPV) nad 10 %. Pokud podání tekutinové výzvy ve formě bolusu 500–1 000 ml krystaloidu nevede k udržení srdečního výdeje alespoň na 80 % hodnoty před úvodem do anestezie, je použit dobutamin v dávce 5–10 $\mu g/kg/h$.



Graf 1 Porovnání srdečního výdeje měřeného LiDCOrapid a esCCO technikou Bland-Altman
Plná čára znázorňuje průměrnou chybu měření (bias); čárkované čáry 95% interval spolehlivosti.

Vzhledem k tomu, že jde o observační studii a oba monitorovací systémy, tj. Nihon Kohden Vismo a LiDCOrapid jsou v České republice certifikovány a běžně komerčně dostupné, nebyl etickou komisí vyžadován písemný souhlas pacientů.

DATA A STATISTIKA

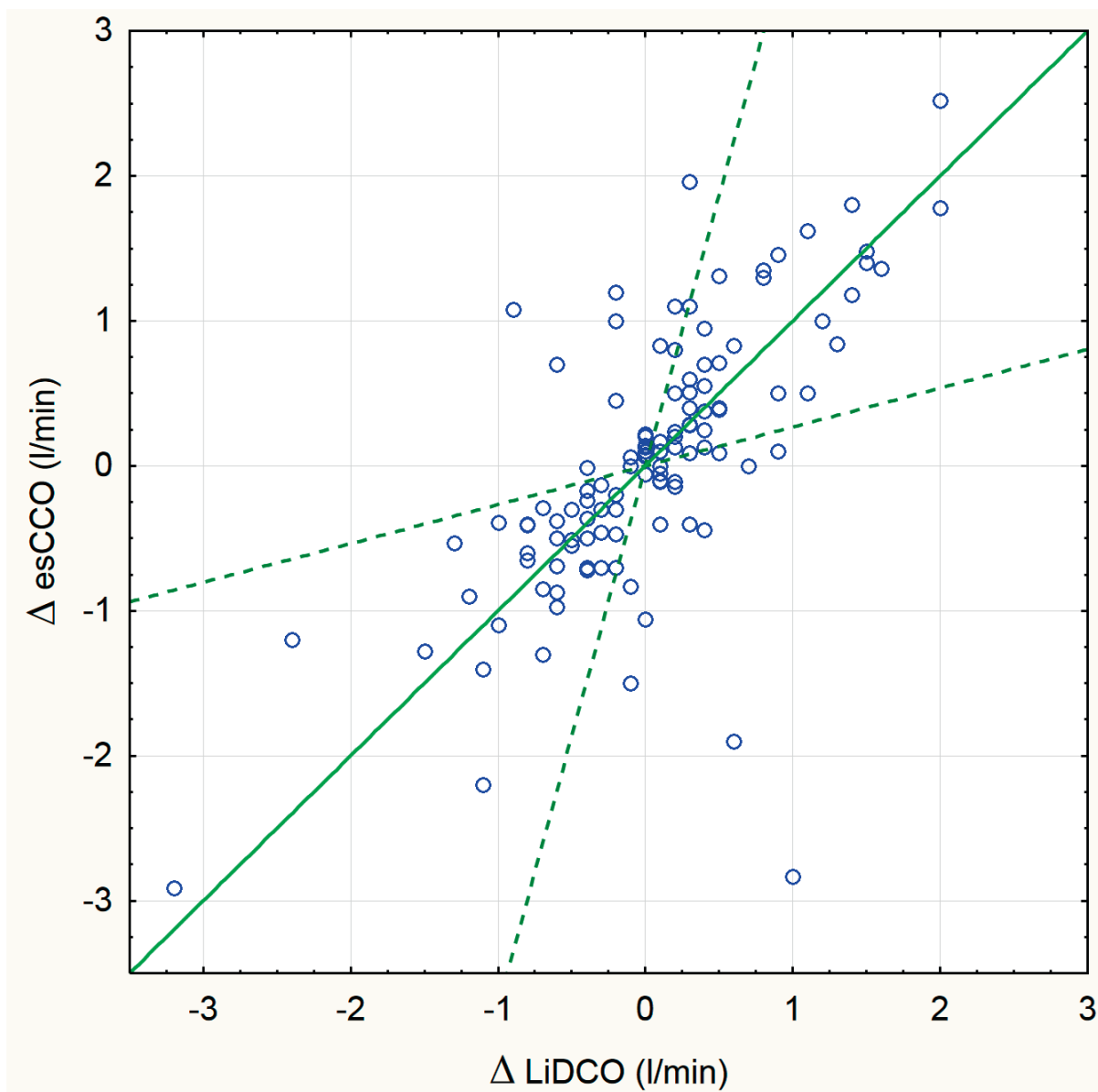
Data byla zapisována anesteziologem každých patnáct minut do předem připraveného protokolu. Hodnota CO měřená přístroji esCCO i LiDCO byla měřena a zaznamenána vždy ve stejnou dobu. Data byla zpracována programem Statistica 12. Shoda mezi oběma měřicími metodami byla vyhodnocena technikou Bland-Altman. K hodnocení schopnosti zachytit změny v CO („trending ability“) byly hodnoceny změny CO mezi následujícími měřeními, měřené oběma monitory. Po vyloučení změn CO menších než 0,5 l/min (odchylka může být více ovlivněna chybou měření než vlastní změnou CO), bylo hodnoceno, jaký podíl měření leží v intervalu $\pm 30^\circ$ od linie identity. Dále byl vytvořen polární

graf podle Critchleyho a byla stanovena průměrná úhlová odchylka a 95% interval shody [11]. Data jsou uvedena jako medián (rozpětí mezi kvartily) nebo průměr $\pm$ směrodatná odchylka.

VÝSLEDKY

Do studie bylo zařazeno celkem deset pacientů ve věku 69 (65–77) let. Délka operace byla 3,6 (3,0–3,9) hodin a parenterálně bylo podáno 9,5 (7,8–12,0) ml/kg/h tekutin. Dva pacienti měli podporu oběhu noradrenalinem a 3 pacienti dobutaminem. Celkem bylo získáno 141 párových hodnot CO. Průměrná hodnota CO byla 5,5 l/min pro esCCO a 4,3 l/min pro LiDCOrapid. Bland-Altmanova analýza zjistila chybu (bias) +1,2 l/min a 95% interval shody (limits of agreement) $\pm 2,6$ l/min (graf 1). Procentuální chyba (percentage error) měření srdečního výdeje byla 57 %.

Schopnost zachytit změny srdečního výdeje (trend) je zobrazena na bodovém grafu (graf 2)



Graf 2 Závislost změny srdečního výdeje měřeného přístroji LiDCOrapid a esCCO

Plná čára znázorňuje linii shody; čárkovaná čára $\pm 30^\circ$ hranici pro akceptovatelnou odchylku (tj. v daném páru měření dosahuje menší naměřená hodnota srdečního výdeje alespoň 58 % větší hodnoty).

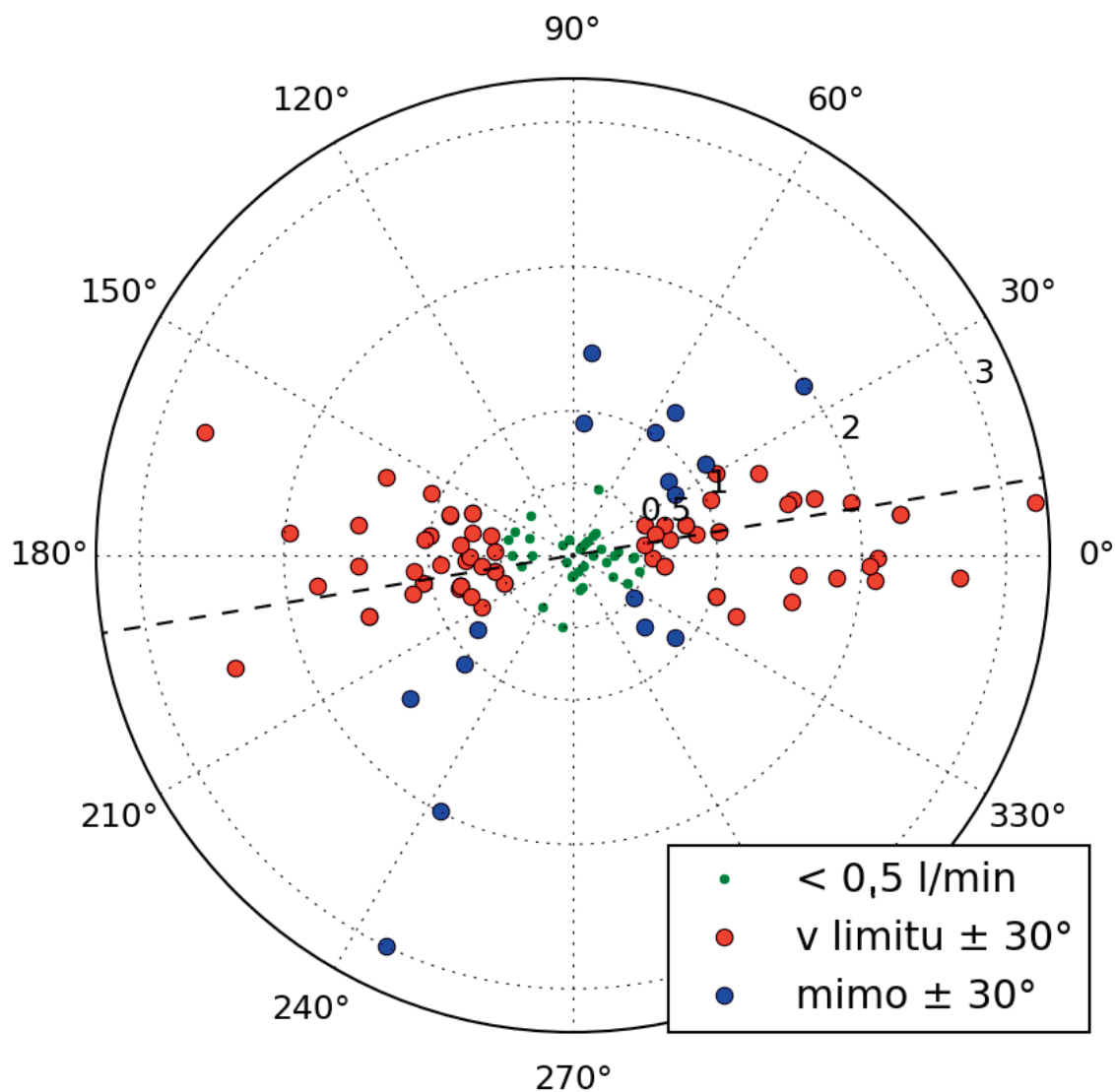
a polárním grafu (graf 3). Po vyloučení 42 dvojic měření, kde byla změna CO menší než 0,5 l/min, byla změna CO v limitu $\pm 30^\circ$ od linie identity u 72 (80 %) z 90 dvojic měření. Průměrná úhlová chyba (angular bias) byla $+11^\circ$ s radiálními 95% limity shody (radial limits of agreement) -40° až $+62^\circ$.

Dále byla hodnocena schopnost zachytit trend změny CO u 15 objemových výzev. Byla zjištěna úhlová chyba -2° s radiálními 95% limity shody -52° až $+48^\circ$; 77 % měření leželo v intervalu $\pm 30^\circ$ od linie identity.

DISKUSE

Klinicky akceptovatelnou shodu mezi metodami esCCO a LiDCO se nám nepodařilo prokázat. Jak střední chyba měření 1,2 l/min, tak procentuální chyba 57 % jsou mimo klinicky akceptovatelné rozmezí. Podobně schopnost zachytit změnu CO byla slabá – průměrná odchylka 11° i 95% limit shody -40° až $+62^\circ$ výrazně překračují doporučené hranice 5° a 30° [11]. Ani v případě hodnocení odpovědi na podání tekutin nebyla přesnost vyšší.

Data o spolehlivosti esCCO jsou nedostatečná a rozporuplná. U zdravých dobrovolníků se



Graf 3 Schopnost zachytit směr změn srdečního výdeje znázorněná pomocí polárního grafu

Čárkovaná černá čára znázorňuje průměrnou odchylku. Vzdálenost od středu grafu odpovídá velikosti změny srdečního výdeje (CO). Úhel 0° odpovídá shodné pozitivní změně CO (např. 1,2 a 1,2 l/min), úhel 180° je shodná negativní změna CO (-1,2 a -1,2 l/min). Úhly 90° a 270° odpovídají opačné změně CO zachycené jednotlivými monitory (např. -1,2 a 1,2 l/min). V ideálním případě jsou jednotlivá měření (body) umístěna podél vodorovné osy znázorňující shodu.

spolehlivost jevila slibně [12]. V multicentrické studii o 213 pacientech (587 měření) byla prokázána dobrá korelace a malá odchylka mezi esCCO a termodiluční metodou měření srdečního výdeje, přičemž měření esCCO byla srovnatelná s přesností metody analýzy pulzové křivky [13]. Nicméně jiné studie srovnávající esCCO s termodiluční metodou neprokázaly klinicky akceptovatelnou shodu ve schopnosti sledovat trend. Procentní chyba však byla srovnatelná s analýzou tepové křivky [14, 15]. Jiná studie prokázala poměrně slušnou korelaci při porovnání meto-

dy esCCO s metodami měření srdečního výdeje 2-D dopplerem a s technikou měření srdečního výdeje zpětným vdechováním inertního plynu. Nicméně hodnota bias zde byla příliš velká [16]. U pacientů v intenzivní péči nebylo esCCO srovnatelné s CO měřeným echokardiografií [6, 10, 12]; esCCO selhalo i při stanovování rychlých změn CO u pacientů po kardiochirurgickém zákroku [17]. Bez klinicky významné korelace se ukázalo i porovnání esCCO s měřením CO dilucí indocyanové zeleni u pacientů po transplantaci ledviny [18]. Navíc se objevila data naznačující,

že rychlost pulzní vlny je ovlivněna náplní krevního řečiště [19].

Naše studie má několik limitací. Nejdůležitější je bezpochyby použití nekalibrovaného monitoru LiDCOrapid jako referenční metody. Ačkoliv je LiDCOrapid schopno měřit změny srdečního výdeje v návaznosti na podání tekutin, zůstává předmětem debat jeho spolehlivost a přesnost v situacích oběhové nestability nebo podání katecholaminů [20, 21]. Účelem této práce bylo nicméně udržet analogii s reálnou klinickou situací. LiDCOrapid je na našem pracovišti běžně používanou modalitou k monitoraci rizikových pacientů a jeho použití je spojeno s protokolem perioperační optimalizace hemodynamiky. Práce tak měla usnadnit odpověď na otázku, zda lze nahradit monitoraci LiDCOrapid přístrojem esCCO, a tím se vyhnout kanylaci tepny, např. u rizikových pacientů podstupujících menší výkony v celkové anestezii.

Druhou limitací naší studie je poměrně malé množství pacientů. Počet párových čtení je na druhé straně dostačující. Určitým omezením je i fakt, že párová měření byla prováděna simultánně a nezaslepeně jedním lékařem, což mohlo vést k subjektivnímu zkreslení.

Při srovnání dvou technicky rozdílných nekalibrovaných systémů lze data interpretovat pouze s maximální obezřetností. Klíčovou byla schopnost monitoru sledovat změny srdečního výdeje, která však byla v případě esCCO nedostatečná. Spolehlivost PWTT je zřejmě sporná, pokud dochází ke změnám systémové vaskulární rezistence (jako u jakéhokoliv jiného nekalibrovaného systému) a pravděpodobně dochází ke snížení přesnosti měření v klinických situacích, jako je krvácení či použití vazoaktivních látek.

Je třeba také připomenout, že obě metody používají ve svých výpočtech konstanty odvozené z de facto observačních studií na vybraných validačních populacích. Konstituční a fyziologické rozdíly mezi těmito populacemi (Evropané u LiDCO vs. Asiaté u esCCO) mohou samy být zdrojem „vestavěné“ odchylky mezi těmito monitorovacími systémy.

ZÁVĚR

I přes omezení daná především velikostí souboru, monitorace hemodynamiky u rizikových pacientů v průběhu břišní operace přístrojem esCCO přináší výsledky odlišné od monitoru LiDCOrapid. Přes výhodu neinvazivity nepředstavuje v současné době monitorace pomocí esCCO plnohodnotnou náhradu za LiDCOrapid.

LITERATURA

1. Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB. Role of oxygen debt in the development of organ failure sepsis, and death in high-risk surgical patients. *Chest*. 1992;102:208–215.
2. Vincent JL. The pulmonary artery catheter. *Clin Monit Comput*. 2012;26:341–345.
3. Ramsingh D, Alexander B, Cannesson M. Clinical review: Does it matter which hemodynamic monitoring system is used? *Crit Care*. 2013;17:208.
4. Cecconi M, Corredor C, Arulkumaran N, Abuella G, Ball J, Grounds RM, Hamilton M, Rhodes A. Clinical review: Goal-directed therapy-what is the evidence in surgical patients? The effect on different risk groups. *Crit Care*. 2013;17:209.
5. Sugo Y, Ukawa T, Takeda S, Ishihara H, Kazama T, Takeda J. A novel continuous cardiac output monitor based on pulse wave transit time. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2010;2010:2853–2856.
6. Biais M, Berthezène R, Petit L, Cottenceau V, Sztark F. Ability of esCCO to track changes in cardiac output. *Br J Anaesth*. 2015;115:403–410.
7. Rhodes A, Sunderland R. Arterial Pulse Power Analysis: The LiDCOTMplus System In: Pinsky MR, Payen D, editors. *Functional Hemodynamic Monitoring (Update in Intensive Care and Emergency Medicine)*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2005, p. 183–192.
8. Phan TD, Kluger R, Wan C, Wong D, Padayachee A. A comparison of three minimally invasive cardiac output devices with thermodilution in elective cardiac surgery. *Anaesth Intensive Care*. 2011;39:1014–1021.
9. Klimes J, Hruda J, Lukes M, Suk P, Sramek V. Adherence to the nurse-driven hemodynamic protocol during postoperative care. *Critical Care*. 2014;18(Suppl 1):P138.
10. Bataille B, Bertuit M, Mora M, Mazerolles M, Cocquet P, Masson B, Moussot PE, Ginot J, Silva S, Larche J. Comparison of esCCO and transthoracic echocardiography for non-invasive measurement of cardiac output intensive care. *Br J Anaesth*. 2012;109:879–886.
11. Critchley LA, Yang XX, Lee A. Assessment of trending ability of cardiac output monitors by polar plot methodology. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2011;25:536–546.
12. Sugo Y, Sakai T, Terao M, Ukawa T, Ochiai R. The comparison of a novel continuous cardiac output monitor based on pulse wave transit time and echo Doppler during exercise. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:236–239.
13. Yamada T, Tsutsui M, Sugo Y, Sato T, Akazawa T, Sato N, Yamashita K, Ishihara H, Takeda J. Multicenter study verifying a method of noninvasive continuous cardiac output measurement using pulse wave transit time: a comparison with intermittent bolus thermodilution cardiac output. *Anesth Analg*. 2012;115:82–87.
14. Ishihara H, Sugo Y, Tsutsui M, Yamada T, Sato T, Akazawa T, Sato N, Yamashita K, Takeda J. The ability of a new continuous cardiac output monitor to measure trends in cardiac output following implementation of a patient information calibration

- and an automated exclusion algorithm. *J Clin Monit Comput.* 2012;26:465–471.
15. Ball TR, Tricinella AP, Kimbrough BA, Luna S, Gloyna DF, Villamaria FJ, Culp WC Jr. Accuracy of noninvasive estimated continuous cardiac output (esCCO) compared to thermodilution cardiac output: a pilot study in cardiac patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2013;27:1128–1132.
 16. Raissuni Z, Zores F, Henriot O, Dallest S, Roul G. Can We Obtain a Noninvasive and Continuous Estimation of Cardiac Output? Comparison Between Three Noninvasive Methods. *Int Heart J.* 2013;54:395–400.
 17. Fischer MO, Balaire X, LeMauff de Kergal C, Boisselier C, Gérard JL, Hanouz JL, Fellahi JL. The diagnostic accuracy of estimated continuous cardiac output compared with transthoracic echocardiography. *Can J Anaesth.* 2014;61:19–26.
 18. Terada T, Maemura Y, Yoshida A, Muto R, Ochiai R. Evaluation of the estimated continuous cardiac output monitoring system in adults and children undergoing kidney transplant surgery: a pilot study. *J Clin Monit Comput.* 2014;28:95–99.
 19. Kocyigit I, Sipahioglu MH, Orselik O, Unal A, Celik A, Abbas SR, Zhu F, Tokgoz B, Dogan A, Oymak O, Kotanko P, Levin NW. The association between arterial stiffness and fluid status in peritoneal dialysis patients. *Perit Dial Int.* 2014;34:781–790.
 20. Davies SJ, Minhas S, Wilson RJ, Yates D, Howell SJ. Comparison of stroke volume and fluid responsiveness measurements in commonly used technologies for goal-directed therapy. *J Clin Anesth.* 2013;25:466–474.
 21. Nordström J, Hållsjö-Sander C, Shore R, Björne H. Stroke volume optimization in elective bowel surgery: a comparison between pulse power wave analysis (LiDCORapid) and oesophageal Doppler (CardioQ). *Br J Anaesth.* 2013;110:374–380.

Práce je původní, in extenso nebyla publikována ani není zaslána k recenznímu řízení do jiného média.

Předběžné výsledky byly prezentovány formou posteru na XX. kongresu ČSARIM (19.–21. 9. 2013 v Brně), abstrakt byl publikován v časopise Anesteziologie a intenzivní medicína (Chobola M., Lukeš M., Suk P., Klimeš J., Šrámek V., Hruša J. Perioperační neinvazivní monitorování hemodynamiky technikou pulse wave transit time. *Anest intenziv Med.* 2014;25:161–162).

Autoři prohlašují, že v souvislosti s tématem práce nemají střet zájmů. Všichni autoři rukopis četli, souhlasí s jeho zněním a zasláním do redakce časopisu Anesteziologie a intenzivní medicína.

Poděkování: Monitor Nihon Kohden Vismo byl zapůjčen firmou A.M.I. – Analytical Medical Instruments s.r.o.

Do redakce došlo dne 19. 5. 2017.

Do tisku přijato dne 22. 9. 2017.

Adresa pro korespondenci:
MUDr. Pavel Suk, Ph.D.
 pavel.suk@fnusa.cz