

Strokovni prispevek/Professional article

OCENA NEPREKINJENE TERMODILUCIJSKE METODE ZA MERJENJE MINUTNEGA SRČNEGA IZTISA

EVALUATION OF CONTINUOUS THERMODILUTION METHOD FOR CARDIAC OUTPUT MEASUREMENT

Roman Parežnik, Gorazd Voga, Matej Podbregar, Rafael Skale, Bojan Krivec, Ivan Žuran

Oddelek za intenzivno interno medicino, Splošna bolnišnica, Oblakova 5, 3000 Celje

Prispelo 2001-02-12, sprejeto 2001-07-19; ZDRAV VESTN 2001; 70: Supl. I: 17-21

Ključne besede: minutni srčni iztis; hemodinamika; termomodilucijska metoda; pljučni arterijski kateter; kritično bolni

Key words: cardiac output; hemodynamics; thermodilution method; pulmonary artery catheter; critical illness

Izvleček – Izhodišča. Pri zdravljenju kritično bolnih je za zaznavo hitrih sprememb pogosto potreben neprekinjen nadzor hemodinamskih spremenljivk. Pri naših bolnikih smo primerjali novejšo neprekinjeno termomodilucijsko metodo za merjenje minutnega srčnega iztisa (CTD) s termomodilucijsko metodo z enkratnim odmerkom (BTD), ki velja za »zlati standard« za merjenje minutnega srčnega iztisa (MSI) v intenzivni medicini.

Abstract – Background. Continuous monitoring of haemodynamic variables is often necessary for detection of rapid changes in critically ill patients. In our patients recently introduced continuous thermodilution technique (CTD) for cardiac output measurement was compared to bolus thermodilution technique (BTD) which is a »golden standard« method for cardiac output (CO) measurement in intensive care medicine.

Metode. V retrospektivno opazovalno raziskavo smo vključili 10 kritično bolnih. S CTD smo neprekinjeno merili minutni srčni iztis (MSI). Občasno smo z isto opremo izmerili MSI z metodo BTD. Vrednosti MSI, ki smo jih dobili z metodo BTD, smo primerjali s tistimi, ki smo jih odčitali neposredno pred meritvami BTD (CTD-pred) in 2–3 minute po opravljenih meritvah BTD (CTD-po). Rezultate meritev smo glede na vrednost BTD razdelili v tri skupine: vse vrednosti MSI, $MSI > 4,5$ L/min, $MSI < 4,5$ L/min. Izračunali smo povprečno razliko med rezultati meritev, standardno deviacijo povprečne razlike, 95-odstotni interval zaupanja, relativno napako in napravili linearno regresijsko analizo. S t-testom za parne podatke smo statistično primerjali povprečno razliko med CTD-pred in BTD s povprečno razliko med CTD-po in BTD za posamezno skupino. Razliko smo šteli za statistično značilno pri vrednosti $p < 0,05$.

Methods. Ten critically ill patients were included in a retrospective observational study. Using CTD method cardiac output was measured continuously. BTD measurements using the same equipment were performed intermittently. The data obtained by BTD were compared to those obtained by CTD just before the BTD (CTD-before) and 2–3 minutes after the BTD (CTD-after). The CO values were divided into three groups: all CO values, $CO > 4.5$ L/min, $CO < 4.5$ L/min. The bias (mean difference between values obtained by two methods), standard deviation, 95% confidence limits and relative error were calculated and the linear regression analysis was performed. t-test for paired data was used to compare the biases for CTD-before and CTD-after for an individual group. The p value of less than 0.05 was considered statistically significant.

Rezultati. Skupno smo opravili 60 trojčkov meritev. CTD-pred je znašal od 1,9 do 12,6 L/min, CTD-po od 2,0 do 13,2 L/min in BTD od 1,9 do 12 L/min. Pri vseh vrednostih MSI smo dobili povprečno razliko med CTD-pred in BTD $0,13 \pm 0,52$ L/min (95-odstotni interval zaupanja 1,17–0,91 L/min), relativno napako $3,52 \pm 15,20\%$, enačbo linearne regresije CTD-pred = $0,96 \times BTD + 0,01$ in Pearsonov korelacijski koeficient 0,95. Povprečna razlika med CTD-po in BTD je bila $0,08 \pm 0,46$ L/min (95% interval zaupanja 1,0–0,84 L/min), relativna napaka $2,22 \pm 9,05\%$, enačba linearne regresije CTD-po = $0,98 \times BTD + 0,01$ in Pearsonov korelacijski koeficient 0,98. Med povprečnima razlikama CTD-pred – BTD in CTD-po – BTD ni bilo statistično pomembne razlike ($p = 0,51$).

Results. A total of 60 data triplets were obtained. CTD-before ranged from 1.9 L/min to 12.6 L/min, CTD-after from 2.0 to 13.2 L/min and BTD from 1.9 to 12.0 L/min. For all CO values the bias for CTD-before was 0.13 ± 0.52 L/min (95% confidence limits 1.17–0.91 L/min), relative error was $3.52 \pm 15.20\%$, linear regression equation was CTD-before = $0.96 \times BTD + 0.01$ and Pearson's correlation coefficient was 0.95. The values for CTD-after were 0.08 ± 0.46 L/min (1.0–0.84 L/min), $2.22 \pm 9.05\%$, CTD-after = $0.98 \times BTD + 0.01$ and 0.98 respectively. For all CO values there was no statistically significant difference between biases for CTD-before and CTD-after ($p = 0,51$). There was no statistically significant difference between biases for CTD-before and CTD-after for $CO > 4.5$ L/min and $CO < 4.5$ L/min ($p = 0.90$ and $p = 0.24$ respectively).

Pri vrednostih $MSI > 4,5$ L/min in pri vrednostih $MSI < 4,5$ L/min med povprečnima razlikama CTD-pred – BTD in CTD-po – BTD ni bilo statistično pomembne razlike ($p = 0,90$ oziroma $p = 0,24$).

Conclusions. The continuous thermodilution cardiac output measurement shows clinically acceptable agreement with the bolus thermodilution technique in a wide range of CO values. There was no statistically significant difference between biases for CTD values before and after internal recalibration.

Zaključki. Metoda neprekinjenega termodilucijskega merjenja minutnega srčnega iztisa se v klinično sprejemljivi meri ujema s klasično termodilucijsko metodo z enkratnim odmerkom pri velikem razponu vrednosti MSI. Povprečna razlika med CTD pred samodejno umeritvijo in BTD se statistično značilno ne razlikuje od povprečne razlike med CTD po samodejni umeritvi in BTD. Metoda je primerna za neprekinjen nadzor MSI pri zdravljenju kritično bolnih.

CTD offers a reliable method of cardiac output monitoring in critically ill patients.

Uvod

Zdravljenje kritično bolnih zahteva natančno poznavanje hemodinamskih spremenljivk in kazalcev systemskega transporta kisika. Če želimo pravočasno zaznati hitre spremembe, je pogosto potreben neprekinjen nadzor.

Razvoj nadzora fizioloških spremenljivk je v zadnjih desetletjih usmerjen od občasnih k neprekinjenim metodam. Neprekinjeno lahko nadzorujemo EKG, frekvenco dihanja, telesno temperaturo, telesno težo, arterijski tlak, centralni venski tlak, tlake v pljučni arteriji, intrakranialni tlak, zasičenost arterijske krvi s kisikom, zasičenost mešane venske krvi s kisikom ter koncentracije kisika in ogljikovega dioksida v vdihanem in izdihanem zraku.

»Klasična« termodilucijska metoda z enkratnim odmerkom (bolus termodilucijska metoda, BTD) je danes najširše sprejeta metoda za merjenje minutnega srčnega iztisa (MSI) v vsakodnevni klinični praksi (1). Metoda je občasna, zato so razvili več metod za neprekinjeno nadzorovanje MSI: metoda analize krivulje arterijskega tlaka, metoda neprekinjenega merjenja minutnega volumna srca s pomočjo Fickovega principa, torakalna električna bioimpedanca, transtrahealna doplerska metoda, metoda z doplerjem v pljučni arteriji, metoda s slepim ezofagealnim doplerjem (2, 3).

Po letu 1990 so uvedli neprekinjeno termodilucijsko metodo za merjenje minutnega srčnega iztisa (4). Natančnost in zanesljivost metode so potrdile številne laboratorijske in klinične raziskave (3, 5-9).

Pri naših bolnikih smo primerjali neprekinjeno termodilucijsko metodo in bolusno termodilucijsko metodo za merjenje minutnega srčnega iztisa.

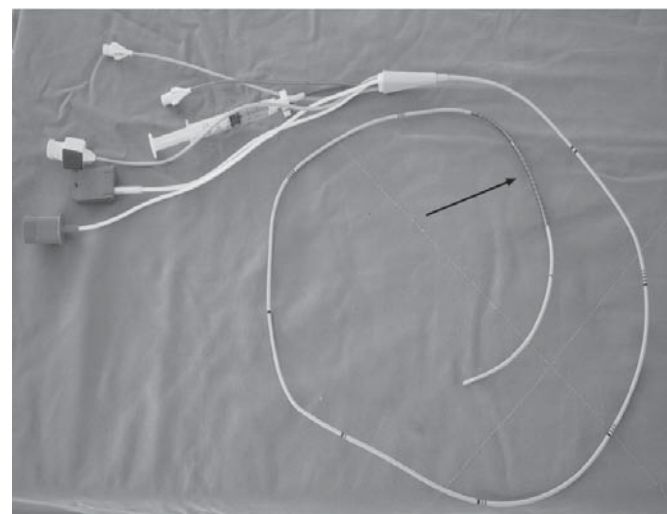
Bolniki in metode

Bolniki

Po odobritvi etične komisije Splošne bolnišnice Celje smo v retrospektivno raziskavo vključili 10 bolnikov, ki so se zdravili na Oddelku za intenzivno interno medicino Splošne bolnišnice Celje od junija do decembra leta 1996. Pri vseh bolnikih smo se zaradi spremljanja bolezni in terapevtskih ukrepov odločili za hemodinamski nadzor z vstavitvijo pljučnega arterijskega katetra po Swan-Ganzu. Zdravljenje (umetna ventilacija, farmakološka podpora, antibiotiki in hranjenje) je potekalo v skladu z načeli sodobne internistične intenzivne medicine.

Merjenje minutnega srčnega iztisa

Uporabili smo **pljučni arterijski kateter OptiQ®** (OptiQ® - Flow directed thermodilution fiberoptic continuous cardiac output pulmonary artery catheter, Abbott Critical Care System, North Chicago, IL, ZDA) in **računalniški sistem Qvue®** (Continuous cardiac output computer, Abbott Critical Care System, North Chicago, IL, ZDA). Kateter omogoča merjenje tlakov (centralni venski tlak, pljučni arterijski tlak, pljučni zagozditveni tlak), neprekinjeno termodilucijsko merjenje minutnega srčnega iztisa (CTD), merjenje minutnega srčnega iztisa s termodilucijsko metodo z enkratnim odmerkom (BTD)



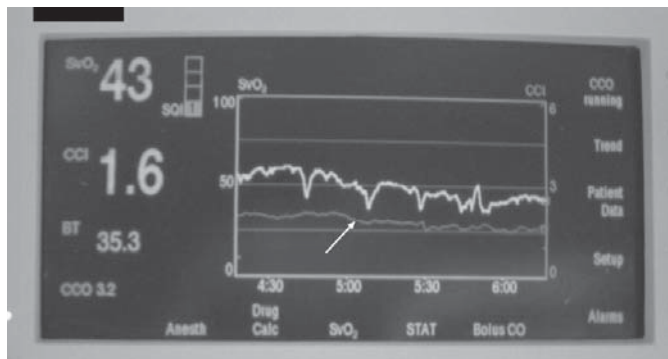
Sl. 1. Pljučni arterijski kateter za neprekinjeno termodilucijsko merjenje minutnega srčnega iztisa. Puščica kaže grelno navitje.

Fig. 1. Pulmonary artery catheter for continuous thermodilution cardiac output measurement. The heat filament is indicated by the arrow.

in neprekinjeno merjenje zasičenosti hemoglobina s kisikom v mešani venski krvi (SvO₂). Vsebuje 10 cm dolgo grelno navitje, ki je od distalnega dela katetra oddaljeno približno 13,5 cm (sl. 1). Podobno termodilucijski metodi z enkratnim odmerkom je tudi pri CTD kazalec toplota. Grelno navitje, ki se po vstavitvi katetra nahaja v desnem preddvoru in desnem prekatu srca, v presledkih segreva kri. Temperatura površine katetra je zaradi varnosti omejena, z njo pa tudi količina toplote, ki jo grelno navitje lahko odda v časovni enoti. Temperatura v pljučni arteriji se spontano ves čas spreminja, kar predstavlja »temperaturni hrup«. V takšnih pogojih oddaja grelno navitje majhne toplotne pulze v psevdo-naključnem binarnem zaporedju, posledične temperaturne spremembe v pljučni arteriji pa zaznava tipalo na konici katetra. S primerjavo vzorca oddanih toplotnih pulzov in temperaturnih sprememb v pljučni arteriji računalnik vsakih 30 sekund izračunava povprečni MSI v zadnjih 3-4 minutah (3). Zaradi varnosti je sistem uravnan tako, da lahko temperatura na površini grelnega navitja doseže največ 44 °C. Pri pretoku, večjem od 2,5 L/min, ima grelno navitje moč do 15 W, pri pretoku, manjšem od 2,5 L/min, pa do 10W. Pri pretoku, manjšem od 1 L/min, se sistem samodejno ustavi (sl. 2).

Pri bolnikih smo poleg neprekinjenega nadzora MSI opravljali tudi občasne meritve BTD. Neprekinjeni MSI smo odčitali neposredno pred meritvami BTD (CTD-pred) in 2-3 min po opravljenih meritvah BTD (CTD-po), ko se je vrednost neprekinjenega MSI ustalila.

Meritve BTD smo opravili z vbrizgavanjem 10 ml mrzle vode v 3-4 sekundah s pomočjo zaprtega sistema za vbrizgavanje (K55/200 Cool injectate set, Kimal Scientific Products, Ux-



Sl. 2. Zaslona računalnika za neprekinjeno termodilucijsko merjenje minutnega srčnega iztisa. Puščica kaže krivuljo minutnega srčnega iztisa v času.

Fig. 2. Display of computer for continuous thermodilution cardiac output measurement. Trend graph of cardiac output is indicated by the arrow.

bridge, England) z neposrednim merjenjem temperature vbrizgane tekočine ob vstopu v kateter. Meritve smo izvajali naključno razporejeno med dihalnim ciklusom. Izračunali smo povprečje 3–5 meritev, pri čemer smo izključili meritve, ki so od povprečja odstopale več kot 10%. Termodilucijske krivulje smo pregledali in izključili morebitne artefakte. BTd smo rutinsko merili šestkrat dnevno ali kadar koli je bilo to potrebno zaradi kliničnega stanja.

Statistična obdelava

Rezultate meritev MSI smo razdelili v tri skupine:

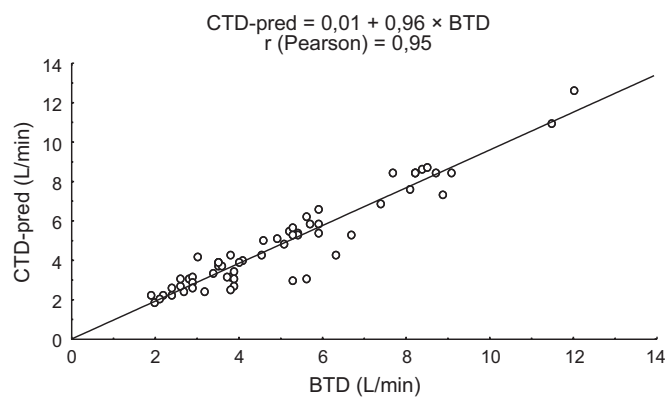
- vse vrednosti MSI,
- MSI > 4,5 L/min,
- MSI < 4,5 L/min.

Statistično smo primerjali *CTD-pred* in *CTD-po* z BTd. Izračunali smo povprečno razliko med rezultati meritev (*CTD-pred* – BTd oziroma *CTD-po* – BTd), ki predstavlja sistematično napako med dvema merilnima metodama. Standardna deviacija povprečne razlike predstavlja naključno napako med različnima merilnima metodama (10). Relativno napako (v odstotkih) smo definirali kot $100 \times (\text{BTd} - \text{CTD}) / \text{BTd}$. *CTD-pred* in *CTD-po* smo primerjali z BTd s pomočjo linearne regresije in po priporočilih Blanda in Altmana (10). Povprečne razlike smo primerjali s t-testom za parne podatke. Razliko smo šteli za statistično značilno pri vrednosti $p < 0,05$.

Rezultati

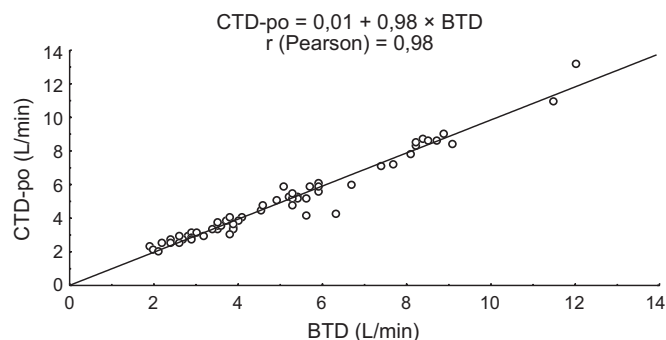
V raziskavo smo vključili 10 bolnikov. Pet bolnikov je imelo srčno popuščanje ob akutnem miokardnem infarktu, eden je imel srčno popuščanje zaradi dilatativne kardiomiopatije, štirje pa so bili v septičnem šoku. Značilnosti bolnikov prikazuje tabela 1.

Skupno smo opravili 60 trojčkov meritev. *CTD-pred* je znašal od 1,9 do 12,6 L/min, *CTD-po* od 2,0 do 13,2 L/min in BTd od 1,9 do 12 L/min. Pri vseh vrednostih MSI smo dobili povprečno razliko med *CTD-pred* in BTd $0,13 \pm 0,52$ L/min (95-odstotni interval zaupanja $1,17/-0,91$ L/min), relativno napako $3,52 \pm 15,20\%$, enačbo linearne regresije *CTD-pred* = $0,96 \times \text{BTd} + 0,01$ in Pear-



Sl. 3. Primerjava *CTD-pred* in BTd pri vseh meritvah: linearna regresija ($n = 60$). Prikazani sta regresijska enačba in premica. r je korelacijski koeficient po Pearsonu.

Fig. 3. Comparison of all measurements *CTD-before* to BTd: the linear regression analysis ($n = 60$). Correlation line and equation are shown. r is Pearson's correlation coefficient.



Sl. 4. Primerjava *CTD-po* in BTd pri vseh meritvah: linearna regresija ($n = 60$). Prikazani sta regresijska enačba in premica. r je korelacijski koeficient po Pearsonu.

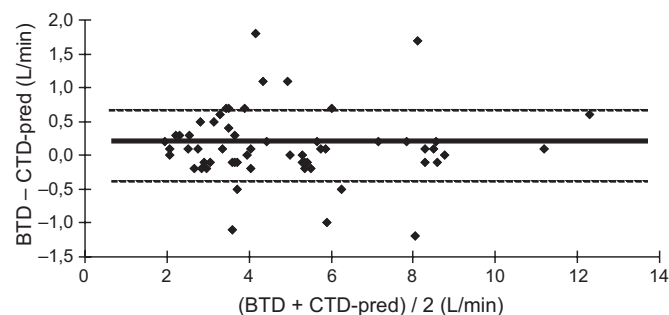
Fig. 4. Comparison of all measurements *CTD-after* to BTd: the linear regression analysis ($n = 60$). Correlation line and equation are shown. r is Pearson's correlation coefficient.

Tab. 1. Osnovne značilnosti bolnikov.

Tab. 1. Basic characteristics of patients.

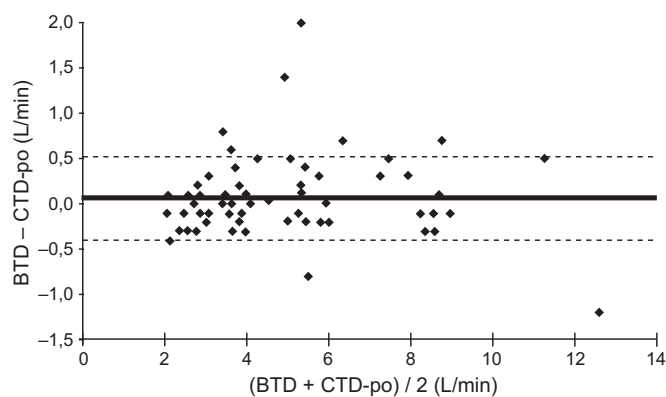
Zaporedna številka bolnika	Spol	Starost (leta)	Diagnoza	Srčni ritem	Srčna frekvenca (utr./min)	Telesna temperatura (°C)	Čas od vstavitve katetra (dnevi)
No. of patient	Gender	Age (years)	Diagnosis	Heart rhythm	Heart frequency (beats/min)	Body temperature (°C)	Time from catheter implantation (days)
1	moški / male	60	Dil. KMP	AF	85–110	36,8–39,1	4
2	ženski / female	77	Sep. šok	sinus	95–120	38,5–39,4	2
3	ženski / female	76	AMI	sinus	70–95	37,4–38,2	1
4	ženski / female	69	AMI	sinus	115–130	36,6–36,8	1
5	moški / male	71	AMI	sinus	95–100	36,5–37,0	1
6	moški / male	19	Sep. šok	sinus	150–180	37,1–38,7	1
7	moški / male	87	Sep. šok	sinus	75–110	36,4–38,5	1
8	moški / male	73	AMI	PM	70	36,0–37,2	1
9	moški / male	71	AMI	sinus	65–85	36,3–36,8	1
10	moški / male	66	Sep. šok	sinus	130–160	35,8–36,2	2

AMI = akutni miokardni infarkt, acute myocardial infarction
 Sep. šok = septični šok, septic shock
 Dil. KMP = dilatativna kardiomiopatija, dilatative cardiomyopathy
 sinus = sinusni ritem, sinus rhythm
 AF = atrijska fibrilacija, atrial fibrillation
 PM = srčni spodbujevalnik, pace maker (PM)



Sl. 5. Primerjava CTD-pred in BTD pri vseh meritvah: Bland-Altmanov diagram ($n = 60$). Neprekinjena črta prikazuje povprečno razliko. Prekinjeni črti prikazujeta območje \pm ene standardne deviacije.

Fig. 5. Comparison of all measurements CTD-before to BTD: Bland-Altman diagram ($n = 60$). Full line indicates the bias. Discontinuous line indicates range of \pm one standard deviation.



Sl. 6. Primerjava CTD-po in BTD pri vseh meritvah: Bland-Altmanov diagram ($n = 60$). Neprekinjena črta prikazuje povprečno razliko. Prekinjeni črti prikazujeta območje \pm ene standardne deviacije.

Fig. 6. Comparison of all measurements CTD-after to BTD: Bland-Altman diagram ($n = 60$). Full line indicates the bias. Discontinuous line indicates range of \pm one standard deviation.

Tab. 2. Primerjava vseh meritev CTD-pred z BTD in CTD-po z BTD ($n = 60$).

Tab. 2. Comparison of all measurements CTD-before to BTD and CTD-after to BTD ($n = 60$).

	CTD-pred - BTD CTD-before - BTD	CTD-po - BTD CTD-after - BTD	Vrednost p p value
Povprečna razlika (L/min) \pm SD	0,13 \pm 0,52	0,08 \pm 0,46	0,51
Bias			
95-odstotni interval zaupanja (L/min)	1,17 / -0,91	1,0 / -0,84	
95 percent confidence interval			
Relativna napaka (%)	3,52 \pm 15,20	2,22 \pm 9,05	
Relative error			

SD - standardna deviacija / standard deviation

Tab. 3. Primerjava meritev CTD-pred z BTD in CTD-po z BTD pri BTD $> 4,5$ L/min ($n = 30$).

Tab. 3. Comparison of CTD-before to BTD and CTD-after to BTD for BTD $> 4,5$ L/min ($n = 30$).

	CTD-pred - BTD CTD-before - BTD	CTD-po - BTD CTD-after - BTD	Vrednost p p value
Povprečna razlika (L/min) \pm SD	0,16 \pm 0,64	0,14 \pm 0,59	0,90
Bias			
95-odstotni interval zaupanja (L/min)	1,44 / -1,12	1,32 / -1,04	
95 percent confidence interval			
Relativna napaka (%)	4,57 \pm 14,28	2,25 \pm 9,07	
Relative error			

SD - standardna deviacija / standard deviation

Tab. 4. Primerjava meritev CTD-pred z BTD in CTD-po z BTD pri BTD $< 4,5$ L/min ($n = 30$).

Tab. 4. Comparison of CTD-before to BTD and CTD-after to BTD for BTD $< 4,5$ L/min ($n = 30$).

	CTD-pred - BTD CTD-before - BTD	CTD-po - BTD CTD-after - BTD	Vrednost p p value
Povprečna razlika (L/min) \pm SD	0,10 \pm 0,38	0,02 \pm 0,29	0,24
Average difference			
95-odstotni interval zaupanja (L/min)	0,86 / -0,66	0,6 / -0,56	
95 percent confidence interval			
Relativna napaka (%)	2,46 \pm 16,25	-0,41 \pm 8,99	
Relative error			

SD = standardna deviacija / standard deviation

sonov korelacijski koeficient 0,95. Pri vseh vrednostih MSI je bila povprečna razlika med CTD-po in BTD $0,08 \pm 0,46$ L/min (95-odstotni interval zaupanja 1,0/-0,84 L/min), relativna napaka $2,22 \pm 9,05\%$, enačba linearne regresije $CTD-po = 0,98 \times BTD + 0,01$ in Pearsonov korelacijski koeficient 0,98. Med povprečnima razlikama CTD-pred - BTD in CTD-po - BTD ni bilo statistično pomembne razlike ($p = 0,51$) (tab. 2).

Pri vrednostih MSI $> 4,5$ L/min in pri vrednostih MSI $< 4,5$ L/min med povprečnima razlikama CTD-pred - BTD in CTD-po - BTD ni bilo statistično pomembne razlike ($p = 0,90$ oziroma $p = 0,24$) (tab. 3 in 4). Primerjavo CTD-pred in CTD-po z BTD s pomočjo linearne regresije prikazujeta sliki 3 in 4, primerjavo po priporočilih Blanda in Altmana pa sliki 5 in 6.

Razpravljanje

V klinični praksi pomeni termodilucijska metoda z enkratnim odmerkom »zlati standard« za merjenje MSI. Najpomembnejša pomanjkljivost termodilucijske metode z enkratnim odmerkom je v tem, da daje le občasne podatke. Če merimo MSI poredko, lahko ostanejo hitre spremembe MSI neopažene. Pogoste meritve s to metodo lahko povzročijo preobremenitev s tekočino pri bolnikih z okrnjenim srčnim in/ali ledvičnim delovanjem. Preprost izračun pokaže, da bi bolnika obremenili z okoli 720 ml tekočine dnevno, če bi merili MSI vsako uro. Vbrziganje tekočine spremlja nevarnost vnosa mikroorganizmov v krvni obtok. Pogoste meritve z BTD so zamudne in obremenjujejo osebe. Možne so napake pri meritvah, saj je natančnost metode BTD odvisna od enakomernosti vbrziganja in temperature vbrziganje tekočine (11, 12) Sistem za CTD daje podatke neprekinjeno, sesam umeri in meri MSI povsem samodejno. Izračunava povprečni MSI za različno dolgo preteklo obdobje, zato je od nastavitve tega obdobja odvisen čas, v katerem zaznamo spremembe MSI. Ni potreben vnos tekočine, zato ni z njim povezanih zapletov (obremenitev s tekočino, okužbe). V vsakem trenutku je možno z istim sistemom napraviti kontrolno meritev z metodo BTD.

Zaradi respiratorne spremenljivosti MSI, meritve BTD glede na čas dihalnega cikla izvajajo na koncu izdiha, na koncu vdiha ali ne glede na dihalni cikel. Predlagali so tehnike povprečenja več meritev: treh meritev v istem delu dihalnega cikla ali štirih do petih meritev, opravljenih ne glede na dihalni cikel (13–15). Nепrekinjena termodilucijska metoda izračunava povprečni MSI v določenem časovnem intervalu ne glede na dihalni cikel.

V primerjavi z BTD ima CTD tudi nekatere pomanjkljivosti. Metoda je nova in še potrebuje preverjanje. Ne deluje pri telesni temperaturi, ki je višja od 40° C.

V naši raziskavi smo želeli ugotoviti, kako natančna je CTD pri nizkih (MSI < 4,5 L/min) in višjih vrednostih MSI (MSI > 4,5 L/min), izmerjenih z BTD. Iz predstavljenih rezultatov je razvidno, da se CTD, ne glede na velikost minutnega srčnega iztisa, dobro ujema z BTD. Pri vrednotenju dobljenih rezultatov smo upoštevali precejšnje spontano spremenljivost MSI (16).

Zanimalo nas je, ali samodejna umeritev (sistem za CTD jo izvede ob preklopu iz »BTD« v način delovanja »CTD«) vpliva na sistematično in naključno napako. Vrednosti *CTD-po* se boljše ujema z BTD kot *CTD-pred* ne glede na vrednost MSI, vendar razlika ne doseže statistične pomembnosti. Ujemanje CTD z BTD ne glede na čas, ki je pretekel od zadnje samodejne umeritve, pomeni, da ostane naprava za CTD dolgo časa umerjena. Pomanjkljivost naše raziskave je v tem, da nismo kvantitativno proučili vpliva časa, ki je potekel od zadnje umeritve, na merilno napako.

Podobne rezultate so dobili tudi v drugih kliničnih raziskavah. Yelderman in sod. so na 222 meritvah pri postoperativnih bolnikih dobili povprečno razliko 0,02 L/min (95-odstotni interval zaupanja: -1,03 do 1,07 L/min) relativno napako 0,3% ± 11,5%, enačbo linearne regresije $CTD = 0,99 \times BTD + 0,02$ in korelacijski koeficient 0,94 (6). Boldt in sod. so na 404 meritvah pri kirurških bolnikih pokazali dobro ujemanje CTD z BTD pri MSI > 10 L/min (povprečna razlika: $0,16 \pm 0,57$ L/min (95% interval zaupanja: 1,09 do -0,77 L/min), relativna napaka: $7,0 \pm 3,3\%$), pri MSI < 4,5 L/min (povprečna razlika: $-0,17 \pm 0,50$ L/min (95-odstotni interval zaupanja: 1,11 do -1,06 L/min), relativna napaka: $5,8 \pm 4,2\%$), pri srčni frekvenci > 120 utripov/min (povprečna razlika: $0,01 \pm 0,31$ (95% interval zaupanja: 0,63 do -0,61 L/min), relativna napaka: $4,4 \pm 2,7\%$), pri rektalni temperaturi > 39 °C in po petih dneh po vstavitvi katetra (7). V večini dosedanjih raziskav so posamezno vrednost CTD dobili tako, da so izračunali povprečne vrednosti, odčitane neposredno pred meritvijo BTD in po njej. To povprečno vrednost CTD so nato primerjali z BTD. Niso posebej primerjali *CTD-pred* z BTD in posebej *CTD-po* z BTD, kot smo to storili v naši raziskavi.

Neinvazivne tehnike za merjenje MSI imajo prednost pred invazivnimi zaradi manjšega tveganja, ki mu je izpostavljen bolnik. Pri kritično bolnih je potrebno poleg MSI nadzorovati tudi druge hemodinamske spremenljivke. Kateter za CTD nam

poleg neprekinjenega nadzora MSI omogoča spremljanje tudi drugih hemodinamskih spremenljivk, česar neinvazivne metode za neprekinjeno merjenje MSI ne zmorejo. Neinvazivne metode za neprekinjen nadzor MSI tudi ne dajejo dovolj natančnih podatkov (17).

Zaključki

Metoda neprekinjenega termodilucijskega merjenja minutnega srčnega iztisa se v klinično sprejemljivi meri ujema s klasično termodilucijsko metodo z enkratnim odmerkom pri velikem razponu vrednosti CO. Zato je primerna za neprekinjen nadzor CO pri zdravljenju kritično bolnih.

Literatura

- Forrester JS, Ganz W, Diamond G et al. Thermodilution cardiac output determination with a single flow-directed catheter. *Am Heart J* 1972; 83: 306–11.
- Nelson LD. The new pulmonary arterial catheters. *Critical Care Clinics* 1996; 12: 795–818.
- Boldt J, Menges T, Wollbrueck M et al. Is continuous cardiac output measurement using thermodilution reliable in the critically ill patient? *Crit Care Med* 1994; 12: 1913–8.
- Yelderman ML. Continuous measurement of cardiac output with the use of stochastic system identification techniques. *J Clin Monit* 1990; 6: 322–32.
- Yelderman ML, Quinn MD, McKown RC et al. Continuous thermodilution cardiac output measurement in sheep. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1992; 104: 315–20.
- Mihaljević T, Von Segesser LK, Toenz M et al. Continuous versus bolus thermodilution cardiac output measurements – A comparative study. *Crit Care Med* 1995; 23: 944–9.
- Yelderman ML, Quinn MD, McKown RC et al. Continuous thermodilution cardiac output measurement in intensive care unit patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1992; 6: 270–4.
- Boettiger BW, Soder M, Rauch H. Semi-continuous versus injectate cardiac output measurement in intensive care patients after cardiac surgery. *Intensive Care Med* 1996; 22: 312–18.
- Haller M, Zoellner C, Briegel J, Forst H. Evaluation of a new continuous thermodilution cardiac output monitor in critically ill patients: A prospective criterion standard study. *Crit Care Med* 1995; 5: 860–6.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307–10.
- Elkayam U, Berkley R, Stanley et al. Cardiac output by thermodilution technique: Effects of injectate volumen and temperature on the accuracy and reproducibility in the critically ill patients. *Chest* 1983; 34: 418–22.
- Renner RE, Morton MJ, Sakuma GJ. Indicator, amount, temperature, and intrinsic output affect thermodilution cardiac output accuracy and reproducibility. *Crit Care Med* 1993; 21: 586–97.
- Daper A, Parqui JN, Preis JC. Timing of cardiac output measurements during mechanical ventilation. *Acute Care* 1986; 12: 113–6.
- Snyder JV, Powner DJ. Effects of mechanical ventilation on the measurement of cardiac output by thermodilution. *Crit Care Med* 1982; 10: 677–82.
- Jansen JR, Vesprille A. Improvement of cardiac output estimation by thermodilution method during mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 1986; 12: 71–9.
- Sasse SA, Chen PA, Berry RB et al. Variability of cardiac output over time in medical intensive care unit. *Crit Care Med* 1994; 22: 225–32.
- Dobb GJ, Donovan KD. Non-invasive methods of measuring cardiac output. *Intensive Care Med* 1987; 13: 304–9.