

Detta är ett svar från SBU:s Upplysningstjänst 2011-01-19. SBU:s Upplysningstjänst svarar på avgränsade medicinska frågor. Svaret är inte en systematisk litteraturoversikt från SBU och resultatet av litteratursökningen kan vara ofullständigt. Kvaliteten på refererade studier har inte bedömts. Detta svar har tagits fram av SBU:s kansli. Det har granskats av Jonas Claesson, med dr/ överläkare anestesi och intensivvård, men inte av SBU:s råd eller nämnd.

Dnr: 2010-231

Fråga

Kan cirkulatoriska parametrar erhållna från pulskonturanalysapparatur användas för att styra intraoperativ vätskebehandling och därmed påverka postoperativ sjuklighet?

Är cirkulatoriska parametrar erhållna från pulskonturanalysapparatur diagnostiskt tillförlitliga?

Sammanfattning

Pulskonturanalys är en relativt ny metod för cirkulatorisk monitorering. Den är mindre invasiv än den traditionella referensstandarden pulmonalisartärkateter (PAC). Det finns ett antal instrument för pulskonturanalys på marknaden, bland annat LiDCO, PiCCO och Vigileo/Flotrac.

Upplysningstjänsten har inte funnit några HTA-rapporter¹ eller systematiska översikter som har undersökt målstyrd vätskebehandling utifrån cirkulatoriska parametrar erhållna från pulskonturanalysinstrument eller som jämfört deras diagnostiska eller tekniska tillförlitlighet med PAC.

Vi har identifierat två randomiserade kontrollerade studier (RCT) som har undersökt hur sjuklighet och vårdtid påverkas av målstyrd intraoperativ vätskebehandling, utifrån olika cirkulatoriska parametrar uppmätta med pulskonturanalys. Vi har identifierat en studie som jämfört den diagnostiska tillförlitligheten² (accuracy) mellan Vigileo/Flotrac och PAC. Dessutom har vi identifierat 13 studier som behandlar teknisk tillförlitlighet³ för LiDCO, PiCCO samt Vigileo/Flotrac jämfört med PAC.

De identifierade studierna var generellt små. Den största studien, en behandlingsstudie, inkluderade totalt 120 patienter. Studierna för teknisk tillförlitlighet inkluderade i snitt 21 patienter. Observera att vi ej har bedömt kvaliteten på någon av studierna.

Sammantaget verkar monitoreringsinstrumenten för pulskonturanalys vara under utveckling. Det finns ännu för få studier med patientrelevanta utfall, som t ex sjuklighet, eller diagnostisk tillförlitlighet för att kunna dra säkra slutsatser om patientnytta. Det finns dock ett flertal små studier som utvärderat teknisk tillförlitlighet.

¹ HTA: Health Technology Assessment – en utvärdering av medicinska metoder med genomgång av ekonomiska, etiska och samhällliga aspekter. HTA-rapporter sammanställs av HTA-organisationer.

² Diagnostisk tillförlitlighet avser ett tests förmåga att skilja på individer med sjukdom och utan sjukdom.

³ Teknisk tillförlitlighet avser ett tests förmåga att ge användbar information under laboratorieförhållanden. Bland annat utvärderas reproducerbarheten och precision hos indextestet som påverkas av analytisk variabilitet (systematiska, slumpmässiga fel, observatörstolkningar m m).

Bakgrund

Målstyrd vätskebehandling kan vara betydelsefull för att optimera blodflöde till organen under operation. Detta kan i sin tur leda till färre komplikationer och minskad vårdtid efter kirurgiska ingrepp. För att adekvat kunna styra vätskebehandlingen kan cirkulationsmonitorering användas. Man kan då få en detaljerad översikt av patientens cirkulationsstatus [1,2].

I ett flertal studier har man utvärderat ifall cirkulatoriska parametrar, såsom hjärtminutvolym⁴, slagvolym⁵, slagvolymvariation⁶, pulstrycksvariation⁷, kan användas som mått på om patienter svarar på vätskebehandling eller ej [3-10].

Pulmonalisartärkatetern (PAC) har traditionellt varit referensstandard för cirkulatorisk monitorering. Denna metod är dock invasiv och förknippad med risker och felkällor. Förmågan att målstyra patienters vätskebehandling utifrån PAC har även ifrågasatts [11]. Därför har utvecklingen under det senaste decenniet gått mot mindre invasiva eller icke-invasiva metoder [2].

Pulskonturanalys är en mindre invasiv metod än PAC. Med denna metod kan slagvolym bestämmas utifrån artärtryckskurvan. Det finns ett antal instrument för pulskonturanalys på marknaden, bland annat LiDCO, PiCCO och Vigileo/Flotrac [12].

De olika monitoreringsinstrumenten har olika grad av invasivitet och påverkas olika av bland annat rytmrubbningar. Det är därför viktigt att bedöma, utifrån instrumentens olika styrkor och begränsningar, för vilka patientgrupper som de lämpar sig bäst [13-15].

Avgränsningar

Detta svar inkluderar studier som har undersökt effekten av att styra intraoperativ vätskebehandling utifrån cirkulatoriska parametrar erhållna från pulskonturanalysinstrument. Svaret inkluderar även studier som undersökt instrumentens diagnostiska tillförlitlighet. Vi har dessutom inkluderat studier som behandlar teknisk tillförlitlighet för LiDCO, PiCCO samt Vigileo/Flotrac jämfört med PAC. Vi har dock inte inkluderat studier som enbart syftar till att utvärdera olika cirkulatoriska parametrars förmåga att mäta ifall patienter svarar på vätskebehandling eller ej.

⁴ Hjärtminutvolymen (cardiac output, CO) är produkten av slagvolymen gånger hjärtfrekvensen

⁵ Slagvolymen (SV) är mängden blod som pumpas från hjärtat vid varje slag.

⁶ Slagvolymvariationen (SVV) är differensen mellan maximumvärdet och minimumvärdet för slagvolymen delat med summan av maximumvärdet och minimumvärdet för slagvolymen.

⁷ Pulstrycksvariationen (PPV) är differensen mellan maximumvärdet och minimumvärdet för pulstrycket delat med summan av maximumvärdet och minimumvärdet för pulstrycket. Pulstryck är skillnad mellan systoliskt och diastoliskt blodtryck

Resultat

Upplysningstjänstens litteratursökning genererade totalt 664 unika träffar. Av dessa identifierades 16 studier vara av intresse för frågeställningen. Observera att vi varken har bedömt kvaliteten på studierna eller läst alla artiklarna i sin helhet. Det är sannolikt att flera av studierna nedan kan ha lägre kvalitet än vad SBU inkluderar i sina ordinarie utvärderingar.

Vi har inte funnit några HTA-rapporter eller systematiska översikter som har undersökt målstyrd vätskebehandling utifrån cirkulatoriska parametrar erhållna från pulskonturanalysinstrument eller jämfört deras tekniska tillförlitlighet med PAC. Enskilda studier som behandlat fältet, listas nedan. De identifierade studierna var generellt små. Den största studien, en behandlingsstudie, inkluderade totalt 120 patienter. Studierna för teknisk tillförlitlighet inkluderade i snitt 21 patienter.

Effekten av målstyrd vätskebehandling

Vi har funnit två RCT [16,17] med patientrelaterade utfallsmått. Dessa behandlingsstudier har undersökt hur sjuklighet och vårdtid påverkas av målstyrd intraoperativ vätskebehandling, utifrån olika cirkulatoriska parametrar uppmätta med pulskonturanalys. I båda studierna har man använt Vigileo/FloTrac som monitoreringsinstrument, se Tabell 1. Observera att studierna behandlar en specifik patientgrupp samt att man inte jämfört Vigileo/FloTrac specifikt med PAC utan med standardcirkulationsmonitorering.

Tabell 1.

[Ref] Författare (år)	Population & antal	Intervention	Mätvariabler	Utfallsmått	Författarnas slutsatser
[16] Benes (2010)	Högriskpatienter för större bukkirurgiska ingrepp N=120 (I=60, C=60)	Vigileo/FloTrac jmf. standard cirkulationsmonitorering	SVV, CI	Primär: Postoperativ sjuklighet Sekundär: Vårdtid samt dödlighet	"In this study, fluid optimization guided by SVV during major abdominal surgery is associated with better intraoperative hemodynamic stability, decrease in serum lactate at the end of surgery and lower incidence of postoperative organ complications."
[17] Mayer ⁸ (2010)	Högriskpatienter för större bukkirurgiska ingrepp N=60 (I=30, C=30)	Vigileo/FloTrac jmf. standard cirkulationsmonitorering	CI, SVI, SVV	Primär: Vårdtid. Sekundär: Perioperativa komplikationer	"In high-risk patients undergoing major abdominal surgery, implementation of an intraoperative goal-directed hemodynamic optimization protocol using the FloTrac/Vigileo device was associated with a reduced length of hospital stay and a lower incidence of complications compared to a standard management protocol."

N=antal patienter, I=interventionsgrupp, C=kontrollgrupp, SVV=slagvolymvariation, CI=hjärtindex, SVI=slagvolymindex

⁸ Andreförfattaren (Boldt) är för närvarande under utredning för forskningsfusk. Han har nyligen tvingats dra tillbaka en publicerad artikel i *Anesthesia & Analgesia*, där han står som förstaförfattare [33].

Diagnostisk tillförlitlighet

Vi har identifierat en studie [18] som utvärderat både diagnostisk och teknisk tillförlitlighet för Vigileo/FloTrac jämfört med PAC och transthorakalt ekokardiogram (TTE). Se tabell 2. I denna studie jämfördes den diagnostiska tillförlitligheten för olika cirkulatoriska parametrars förmåga att mäta om patienten svarar på vätskebehandling. Denna studie jämförde även de olika instrumentens tekniska tillförlitlighet för att mäta hjärtminutvolym (CO).

Tabell 2.

[Ref] Författare (år)	Indikation & antal	Intervention	Mätvariabler	Utfallsmått	Författarnas slutsatser
[18] Biais (2008)	Levertransplantation N=40	Vigileo/FloTrac jmf. med PAC och TTE	CO, SVV, PPV, CVP och PAOP uppmätta före och efter VE	Sensitivitet/specificitet Fluid responsiveness	"The SVV obtained by the Vigileo system may be used as a predictor of fluid responsiveness in patients with circulatory failure after liver transplantation. CO-Vigileo is able to track the change in CO induced by VE."

N=antal patienter, PAC=pulmonalisartärkateter, TTE=transthorakalt ekokardiogram, CO=hjärtminutvolym, SVV=slagvolymvariation, PPV=pulstrycksvariation, CVP=centralt venttryck, PAOP=pulmonary artery occlusion Pressure, VE=volume expansion

Teknisk tillförlitlighet

Vi har identifierat 13 studier [19-31] som behandlar teknisk tillförlitlighet för LiDCO, PiCCO och Vigileo/FloTrac jämfört med PAC. Se tabell 3. I dessa studier har man utvärderat de olika instrumentens tillförlitlighet att mäta CO eller hjärtminutvolym-index (CI) jämfört med PAC. Observera att vissa studier har olika gränsvärden för acceptabel tillförlitlighet⁹.

Tabell 3.

[Ref] Författare (år)	Indikation & antal	Intervention	Författarnas slutsatser
[19] Hadian (2010)	Postoperativ hjärtkirurgi. N=17	LiDCO, PiCCO och FloTrac jmf. med PAC	"Although PAC (COtd/CCO), FloTrac, LiDCO and PiCCO display similar mean CO values, they often trend differently in response to therapy and show different inter-device agreement. In the clinically relevant low CO range (<5 L/min) agreement improved slightly. Thus, utility and validation studies using only one CO device may potentially not be extrapolated to equivalency of using another similar device."
[20] Hamm (2010)	OPCAB N=9	Vigileo/FloTrac jmf. med PAC	"In our clinical setting, we report a significant difference with continuous thermodilution by PAC, especially in the operating room. Further studies should be directed towards the ability of this device to track haemodynamic changes."
[21] McCoy (2009)	Postoperativ hjärtkirurgi. N=8	LiDCO jmf. med PAC	"This calibrated minimally invasive (i.e. radial arterial line and peripheral IV) technique demonstrated low bias compared with CCI measured by PAC. However, the relatively wide confidence limits indicate that differences in the two measurements could still be clinically significant."
[22] Zimmerman (2008)	CABG N=30	Vigileo/FloTrac jmf. med PAC	"The described deviation from the standard must be regarded according to the user's needs. Considering the 30% limits of agreement, the Vigileo system (version 1.01) seems sufficiently accurate; applying the 20% criteria, it is not."

⁹ Vissa har bedömt instrumentens tillförlitlighet i enlighet med PAC:s mätfelmargin, som är mellan $\pm 10\%$ och $\pm 20\%$ [21,22]. Några har i enlighet med Critchley [32] bedömt en mätfelmargin på $\pm 30\%$ som acceptabel tillförlitlighet [19,20,22,27,28,30]. Vissa anger tillförlitligheten som två standardavvikelser av de jämförda resultaten [23,25,26,29,31]. I en studie anges inga gränsvärden för tillförlitligheten [24].

[23] Button (2007)	CABG N=31	Vigileo/FloTrac och PiCCO jmf. med PAC	"The performance of the FloTrac/Vigileo system, the PiCCO plus, and the Vigilance CCO monitoring for CO measurement were comparable when tested against intermittent thermodilution in patients undergoing elective cardiac surgery."
[24] Cannesson (2007)	CABG N=11	Vigileo/FloTrac jmf. med PAC	"We found clinically acceptable agreement between CO-FT and CO-PAC in this setting. This new device has potential clinical applications."
[25] Chakravarthy 2007	OPCAB N=15	CCO, PiCCO och Flowtrac jmf. med TDCO (PAC),	"We conclude that the cardiac output measured by CCO technique and the pulse contour as measured by PiCCO and FC-CO were interchangeable with TDCO more than 80% of the times."
[26] de Wilde (2007)	CABG N=24	LiDCO, PiCCO, Wesseling's (cZ), Modelflow och Hemac jmf. med PAC	"In this group of subjects, without congestive heart failure, with normal heart rhythm and reasonable peripheral circulation, the best results in absolute values as well as in tracking changes in cardiac output were measured using the Modelflow and Hemac pulse contour methods, based on non-linear three-element Windkessel models."
[27] Halvorsen (2007)	OPCAB N=30	PiCCO jmf. med PAC	"PC-CO and STAT-CO show large discrepancies in CO during OPCAB surgery. Clinically acceptable agreement was seen only for trends in CO during haemodynamically stable periods."
[28] Mayer ¹⁰ (2007)	CABG N=40	Vigileo/FloTrac jmf. med PAC	"In conclusion, semi-invasive arterial pressure waveform analysis using the first generation FloTrac/Vigileo TM device does not appear to adequately agree with the invasive pulmonary artery thermodilution technique for determination of CO in patients undergoing major cardiac surgery."
[29] Spöhr (2007)	Septisk chock N=14	PiCCO jmf. med PAC	"In patients with septic shock, the averaged bias in continuous measurement of cardiac output by both a modified pulmonary artery catheter and pulse-contour analysis was small, but variability was large."
[30] Halvorsen 2006	OPCAB N=30	PiCCO jmf. med PAC och transthorakal thermodilution	"In OPCAB surgery, limits of agreement comparing thermodilution methods were smaller than comparing PC-CI with thermodilution. Recalibration of PC-CI is therefore advisable."
[31] Østergaard 2006	CABG eller OPCAB N=25	PiCCO jmf. med PAC	"Postoperatively, cardiac output measurements with the PA-TD and pulse contour methods did not agree, but the pulse contour method reliably tracked pacing-induced changes in cardiac output."

N=antal patienter, PAC=pulmonalisartärkateter, COtd=cardiac output obtained by thermodilution, CCO=continuous cardiac output CO=hjärtminutvolym, OPCAB=off-pump coronary artery bypass, CCI=continuous cardiac index, CABG=coronary artery bypass grafting, TDCO=thermodilution cardiac output, CO-FT=cardiac output obtained by Flowtrac, CO-PAC= cardiac output obtained by pulmonary artery catheter, FC-CO=Flowtrac cardiac output, PC-CO=PiCCO cardiac output, STAT-CO= STAT pulmonary artery catheter, PC-CI= PiCCO cardiac index, PA-TD= pulmonary artery thermodilution

Projektgrupp

Detta svar är sammanställt av Sally Saad, Susanna Kjellander och Jan Liliemark vid SBU:s kansli.

Medicinskt sakkunnig

Detta svar är granskat av Jonas Claesson, överläkare i anesthesi och intensivvård, intensivvårdsavdelningen, Norrlands Universitetssjukhus samt verksamhetschef för Läkemedelscentrum, Norrlands Universitetssjukhus.

¹⁰ Andreförfattaren (Boldt) är för närvarande under utredning för forskningsfusk. Han har nyligen tvingats dra tillbaka en publicerad artikel i Anesthesia & Analgesia, där han står som förstaförfattare [33].

The Cochrane Library, The INATHA database, CRD Databases

"stroke volume variation" OR "stroke volume variations" OR "arterial pressure variation" OR "arterial pressure variations" OR ("delta pulses" AND "pressure variation") OR "pulse contour analysis" OR ppv OR svv OR "deltapp" OR "pulse pressure variation" OR "pulse pressure variations" OR picco OR lidco OR flotracc OR vigileo OR "Stroke Volume"[MeSH Terms]

PubMed

("stroke volume variation"[Title/Abstract] OR "stroke volume variations"[Title/Abstract] OR "arterial pressure variation"[Title/Abstract] OR "arterial pressure variations"[Title/Abstract] OR ("delta pulses"[Title/Abstract] AND "pressure variation"[Title/Abstract]) OR "pulse contour"[Title/Abstract] OR "deltapp"[Title/Abstract] OR "pulse pressure variation"[Title/Abstract] OR "pulse pressure variations"[Title/Abstract] OR "picco"[Title/Abstract] OR "lidco"[Title/Abstract] OR "flotracc"[Title/Abstract] OR "vigileo"[Title/Abstract] OR "svv"[Title/Abstract] OR "ppv"[Title/Abstract]) AND ("fluid therapy"[Title/Abstract] OR "fluid therapy"[MeSH Terms] OR "fluid responsiveness"[Title/Abstract] OR "monitoring, intraoperative"[MeSH Terms] OR hemodynamic*[Title/Abstract] OR "Intraoperative Care"[Mesh] OR "Intraoperative"[Title/Abstract])

Avgränsningar: Engelska, svenska, danska och norska

Embase

("stroke volume variation":ti,ab OR "stroke volume variations":ti,ab OR "arterial pressure variation":ti,ab OR "arterial pressure variations":ti,ab OR ("delta pulses":ti,ab AND "pressure variation":ti,ab) OR "pulse contour":ti,ab OR "deltapp":ti,ab OR "pulse pressure variation":ti,ab OR "pulse pressure variations":ti,ab OR "ppv":ti,ab OR "svv":ti,ab OR "picco":ti,ab OR "lidco":ti,ab OR "flotracc":ti,ab OR "vigileo":ti,ab) AND ("fluid therapy":ti,ab OR "fluid therapy/exp OR "fluid responsiveness":ti,ab OR "hemodynamic monitoring/exp OR hemodynamic*:ti,ab OR "peroperative care/exp OR "Intraoperative":ti,ab OR "perioperative monitoring":ti,ab)

Avgränsningar: Engelska, svenska, danska och norska

Referenser

1. Funk DJ, Moretti EW, Gan TJ. Minimally invasive cardiac output monitoring in the perioperative setting. *Anesth Analg* 2009;108:887-97.
2. Mayer J, Suttner S. Cardiac output derived from arterial pressure waveform. *Curr Opin Anaesthesiol* 2009;22:804-8.
3. Biais M, Bernard O, Ha JC, Degryse C, Sztark F. Abilities of pulse pressure variations and stroke volume variations to predict fluid responsiveness in prone position during scoliosis surgery. *Br J Anaesth* 2010;104:407-13.
4. Gouvea G, Diaz R, Auler L, Toledo R, Martinho JM. Evaluation of the pulse pressure variation index as a predictor of fluid responsiveness during orthotopic liver transplantation. *Br J Anaesth* 2009;103:238-43.
5. Hofer CK, Muller SM, Furrer L, Klaghofer R, Genoni M, Zollinger A. Stroke volume and pulse pressure variation for prediction of fluid responsiveness in patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting. *Chest* 2005;128:848-54.
6. Wyffels PA, Sergeant P, Wouters PF. The value of pulse pressure and stroke volume variation as predictors of fluid responsiveness during open chest surgery. *Anaesthesia* 2010;65:704-9.
7. Perner A, Faber T. Stroke volume variation does not predict fluid responsiveness in patients with septic shock on pressure support ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006;50:1068-73.

8. de Waal EE, Rex S, Kruitwagen CL, Kalkman CJ, Buhre WF. Dynamic preload indicators fail to predict fluid responsiveness in open-chest conditions. *Crit Care Med* 2009;37:510-5.
9. Mutoh T, Ishikawa T, Nishino K, Yasui N. Evaluation of the FloTrac uncalibrated continuous cardiac output system for perioperative hemodynamic monitoring after subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg Anesthesiol* 2009;21:218-25.
10. Lopes MR, Oliveira MA, Pereira VO, Lemos IP, Auler JO, Jr., Michard F. Goal-directed fluid management based on pulse pressure variation monitoring during high-risk surgery: a pilot randomized controlled trial. *Crit Care* 2007;11:R100.
11. National Heart, Lung, and Blood Institute Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Clinical Trials Network, Wheeler AP, Bernard GR, Thompson et al. Pulmonary-artery versus central venous catheter to guide treatment of acute lung injury. *N Engl J Med.* 2006;354(21):2213-24.
12. de Waal EE, Wappler F, Buhre WF. Cardiac output monitoring. *Curr Opin Anaesthesiol* 2009;22:71-7.
13. Hashim B, Lerner AB. The FloTrac system--measurement of stroke volume and the assessment of dynamic fluid loading. *Int Anesthesiol Clin* 2010;48:45-56.
14. Oren-Grinberg A. The PiCCO Monitor. *Int Anesthesiol Clin* 2010;48:57-85.
15. Sundar S, Panzica P. LiDCO systems. *Int Anesthesiol Clin* 2010;48:87-100.
16. Benes J, Chytra I, Altmann P, Hluchy M, Kasal E, Svitak R, et al. Intraoperative fluid optimization using stroke volume variation in high risk surgical patients: results of prospective randomized study. *Crit Care* 2010;14:R118.
17. Mayer J, Boldt J, Mengistu AM, Rohm KD, Suttner S. Goal-directed intraoperative therapy based on autocalibrated arterial pressure waveform analysis reduces hospital stay in high-risk surgical patients: a randomized, controlled trial. *Crit Care* 2010;14:R18.
18. Biais M, Nouette-Gaulain K, Cottenceau V, Revel P, Sztark F. Uncalibrated pulse contour-derived stroke volume variation predicts fluid responsiveness in mechanically ventilated patients undergoing liver transplantation. *Br J Anaesth* 2008;101:761-8.
19. Hadian M, Kim HK, Severyn DA, Pinsky MR. Cross-comparison of cardiac output trending accuracy of LiDCO, PiCCO, FloTrac and pulmonary artery catheters. *Crit Care* 2010;14:R212.
20. Hamm JB, Nguyen BV, Kiss G, Wargnier JP, Jauffroy A, Helaine L, et al. Assessment of a cardiac output device using arterial pulse waveform analysis, Vigileo(trademark), in cardiac surgery compared to pulmonary arterial thermodilution. *Anaesthesia and Intensive Care* 2010;38:295-301.
21. McCoy JV, Hollenberg SM, Dellinger RP, Arnold RC, Ruoss L, Lotano V, et al. Continuous cardiac index monitoring: A prospective observational study of agreement between a pulmonary artery catheter and a calibrated minimally invasive technique. *Resuscitation* 2009;80:893-7.
22. Zimmermann A, Kufner C, Hofbauer S, Steinwendner J, Hitzl W, Fritsch G, et al. The accuracy of the Vigileo/FloTrac continuous cardiac output monitor. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2008;22:388-93.
23. Button D, Weibel L, Reuthebuch O, Genoni M, Zollinger A, Hofer CK. Clinical evaluation of the FloTrac/Vigileo system and two established continuous cardiac output monitoring devices in patients undergoing cardiac surgery. *Br J Anaesth* 2007;99:329-36.

24. Cannesson M, Attof Y, Rosamel P, Joseph P, Bastien O, Lehot JJ. Comparison of FloTrac cardiac output monitoring system in patients undergoing coronary artery bypass grafting with pulmonary artery cardiac output measurements. *Eur J Anaesthesiol* 2007;24:832-9.
25. Chakravarthy M, Patil TA, Jayaprakash K, Kalligudd P, Prabhakumar D, Jawali V. Comparison of simultaneous estimation of cardiac output by four techniques in patients undergoing off-pump coronary artery bypass surgery--a prospective observational study. *Ann Card Anaesth* 2007;10:121-6.
26. de Wilde RB, Schreuder JJ, van den Berg PC, Jansen JR. An evaluation of cardiac output by five arterial pulse contour techniques during cardiac surgery. *Anaesthesia* 2007;62:760-8.
27. Halvorsen PS, Sokolov A, Cvancarova M, Hol PK, Lundblad R, Tonnessen TI. Continuous cardiac output during off-pump coronary artery bypass surgery: pulse-contour analyses vs pulmonary artery thermodilution. *Br J Anaesth* 2007;99:484-92.
28. Mayer J, Boldt J, Schollhorn T, Rohm KD, Mengistu AM, Suttner S. Semi-invasive monitoring of cardiac output by a new device using arterial pressure waveform analysis: a comparison with intermittent pulmonary artery thermodilution in patients undergoing cardiac surgery. *Br J Anaesth* 2007;98:176-82.
29. Spohr F, Hettrich P, Bauer H, Haas U, Martin E, Bottiger BW. Comparison of two methods for enhanced continuous circulatory monitoring in patients with septic shock. *Intensive Care Med* 2007;33:1805-10.
30. Halvorsen PS, Espinoza A, Lundblad R, Cvancarova M, Hol PK, Fosse E, et al. Agreement between PiCCO pulse-contour analysis, pulmonary artery thermodilution and transthoracic thermodilution during off-pump coronary artery by-pass surgery. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006;50:1050-7.
31. Ostergaard M, Nielsen J, Rasmussen JP, Berthelsen PG. Cardiac output--pulse contour analysis vs. pulmonary artery thermodilution. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006;50:1044-9.
32. Critchley LA, Critchley JA. A meta-analysis of studies using bias and precision statistics to compare cardiac output measurement techniques. *J Clin Monit Comput* 1999;15:85-91.
33. Shafer SL., Notice of retraction. *Anesth Analg.* 2010 Dec;111(6):1567. <http://www.aeditor.org/NoticeofRetraction.pdf>