



Cardiac output and PiCCO technology

What is cardiac output and PiCCO?

Cardiac output (C.O.) is the amount of blood ejected by the heart every minute to the peripheral circulation. The C.O. is the product of the heart rate (HR) times the stroke volume (SV), whereby the SV is the amount of blood ejected by the ventricle with every beat. Normally both ventricles pump the same amount of blood in a minute.

The primary function of the heart is to deliver sufficient oxygen and nutrients to the tissues. Under normal conditions C.O. varies in order to comply with the total tissue needs. These may change secondary to exercise, infection, heart disease, trauma, surgery or administration of drugs. Measured C.O. can be normalized to a patient's body surface area (BSA) by dividing C.O. by the BSA. The resulting value is called cardiac index (CI).

PiCCO continuous cardiac output (CCO) measures cardiac output continuously, and it does not require right heart catheterization (pulmonary artery catheter). The measurement is calibrated by transpulmonary thermodilution. see Figure 1.

While the essence of PiCCO monitoring is around cardiac output, it also measures parameters related to preload, afterload, and contractility, and extra vascular lung water. Therefore, it can provide a more comprehensive view on a patient's hemodynamic status than just blood flow. Since PiCCO technology does not require right heart catheterization, it is less invasive than other technologies.

The use of PiCCO technology requires a standard central venous catheter for transpulmonary thermodilution and a specific PiCCO catheter, inserted in femoralis, radialis, brachialis, or axillary artery.

PiCCO has shown to be effective in terms of cost and information obtained for clinician's decision making.¹

How PiCCO parameters are measured

Flow

Transpulmonary thermodilution is utilized for calibrating the continuous cardiac output calculation. A known amount of cold injectate at a known temperature is injected through the central venous catheter. After the injection, the change in blood temperature is measured near the tip of the PiCCO catheter in the artery. A curve of the temperature change over time is displayed in the C.O. View of the patient monitor. This is called a thermodilution curve, see Figure 1. C.O. is calculated by using the formula of Stewart-Hamilton from the average of the selected/approved thermodilution curves. Since the bolus passes through the heart and the lungs, preload and extra vascular lung water values can also be determined. The calibration is recommended once in eight hours, or after a significant change in the hemodynamic status (e.g. due to medication, fluid loading). Intracardiac shunts and valve insufficiencies may impact the accuracy of transpulmonary thermodilution. The same is true for any thermodilution technology.²

PiCCO continuous cardiac output monitoring is based on pulse contour analysis of the invasive arterial blood pressure curve. Stroke volume is calculated for each pulse using the pulse contour analysis. With this and heart rate, continuous cardiac output can be defined; see Figure 2. The indexed value is the same divided by the body surface area.

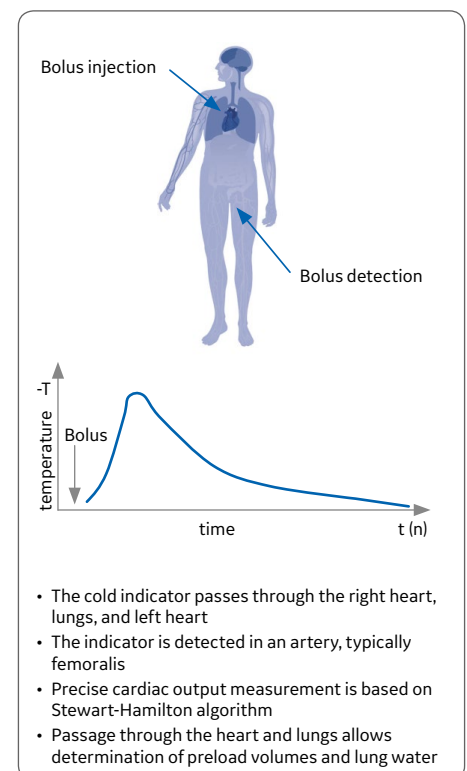


Figure 1. Transpulmonary thermodilution

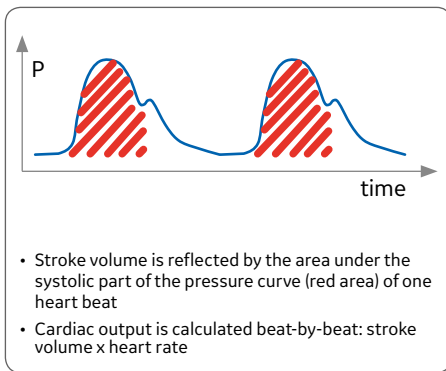


Figure 2. Pulse contour analysis

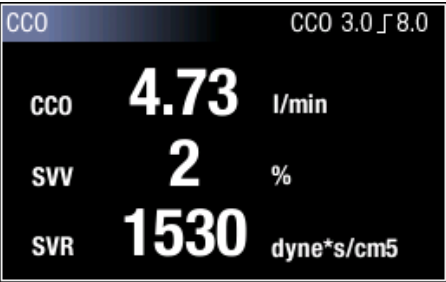


Figure 3. Continuous cardiac output parameter field on a CARESCAPE™ monitor's display. User may modify the number of parameters shown in this field*.

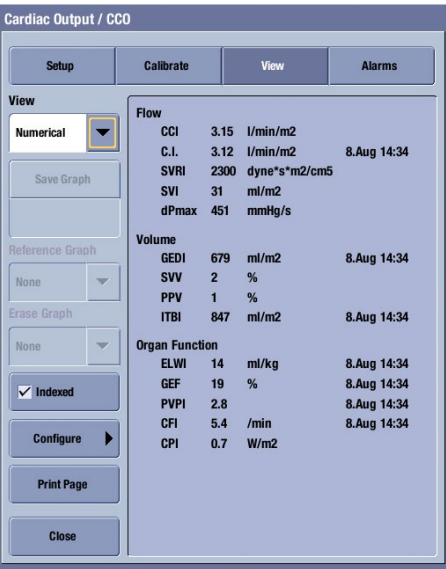


Figure 4. Continuous cardiac output parameter menu on a CARESCAPE monitor*

Factors affecting C.O. determination and calibration by transpulmonary thermodilution

It is important to check ECG, invasive pressures, and temperature while evaluating the C.O. Many factors may influence the C.O. value, for example, injection technique and time between measurements. The injection should be rapid and constant. The curve generated should have a steep rise and gradual return to baseline.

In the PiCCO algorithm, the injection is accepted only if the injection time is short enough. Otherwise the injection is automatically rejected and not considered in C.O. determination.

Prolonged injections or excess handling of the syringe can reduce the accuracy of the measurement. An inaccurate injectate volume can cause erroneous calculations. In most cases 10 ml of injectate is enough for a patient weighing 50-99 kg. The default injectate volume with GE PiCCO measurement is 15ml. There are recommended injectate volumes based on patient body weight and injectate temperature, see Table 1.

Rapid changes in heart rate, blood pressure, or pulmonary artery blood temperature may cause irregular curves. Measurements too closely together can also cause errors. Thus, it is recommended to wait five minutes between measurements with iced injectate and one minute between measurements with room temperature injectate.

It is generally recommended to make three to five consecutive determinations with less than 10% variation between the measurements and take the average result. All determinations used for averaging are recommended to be taken within 15 minutes. Irregular curves can be discarded in the Edit Average View of the GE patient monitor before confirming the average result, see Figure 5.

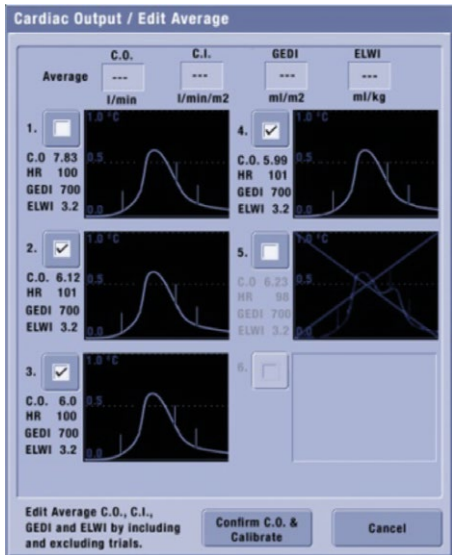


Figure 5. Transpulmonary thermodilution curves in the Edit Average view of GE CARESCAPE monitor*

Additional measurements captured

Preload and volume responsiveness

Global end diastolic volume (GEDV) represents the preload volume from all four chambers of the heart, i.e., the volume available to be ejected. GEDV is defined through transpulmonary thermodilution.

Dynamic parameters have been shown to be better tools to assess volume responsiveness than filling pressures.³ Stroke volume variation (SVV) and pulse pressure variation (PPV) are percentage values predicting fluid responsiveness. SVV and PPV are continuously calculated. The higher the value, the higher the probability that fluid loading increases cardiac output. A threshold between 11% to 13% has been reported as predictive of fluid responsiveness.⁴

Global end diastolic volume (GEDV) represents the preload volume, i.e., the volume available to be ejected. In the PiCCO measurement, GEDV actually takes into account the volume of all chambers of the heart. GEDV is defined through transpulmonary thermodilution, whereas stroke volume variation (SVV) and pulse pressure variation (PPV) are continuously calculated.

* Available in CARESCAPE software v2 or later.

Afterload

Afterload is assessed with systemic vascular resistance $SVR = ((MAP - CVP) / CO) \times 80$. It indicates the resistance the heart needs to overcome in order to eject blood to the circulation. Cardiac output is inversely related to systemic vascular resistance (SVR). For instance, vasoconstriction increases resistance, and if there are no changes in other parameters, it leads to decreased cardiac output. It is a continuous measurement with PiCCO technology.

Contractility

Contractility indicates the condition of the cardiac muscle. With PiCCO technology, contractility is defined with cardiac function index (CFI). The formula is C.O. divided by global end diastolic volume. Also dPmx can be used to assess contractility. It represents the maximum pressure increase in the aorta. The third value used to assess cardiac function is global ejection fraction (GEF), which is $4 \times SV / GEDV$.

When preload and afterload have been optimized, the only way to increase C.O. is to increase contractility by administering inotropes. GEF and CFI are defined by transpulmonary thermodilution, while dPmx is calculated continuously.

Extra vascular lung water

When there is an abnormal accumulation of fluid in the extravascular space in the lung, it is called pulmonary oedema. Detection of pulmonary oedema may lead to negative fluid balance. Extra vascular lung water (EVLW) measurement reflects the pulmonary oedema and is an important piece of information when fluid therapy is discussed in hypoxemic patients during mechanical ventilation. EVLW is measured during transpulmonary thermodilution.

Pulmonary vascular permeability index (PVPI) is a relation of extra- and intravascular fluid, and can help to differentiate the origin of pulmonary oedema, whether that is inflammatory or cardiogenic.

Displaying the information

GE's CARESCAPE monitors take all of the information the PiCCO technology provides and display it in a graphical view, enabling the clinician to get an overview of the patient's hemodynamic status at one glance[†]. Parameters shown can be defined by the user, and the coloring of this view is based on the target zone values set by the clinician. see Figure 6.

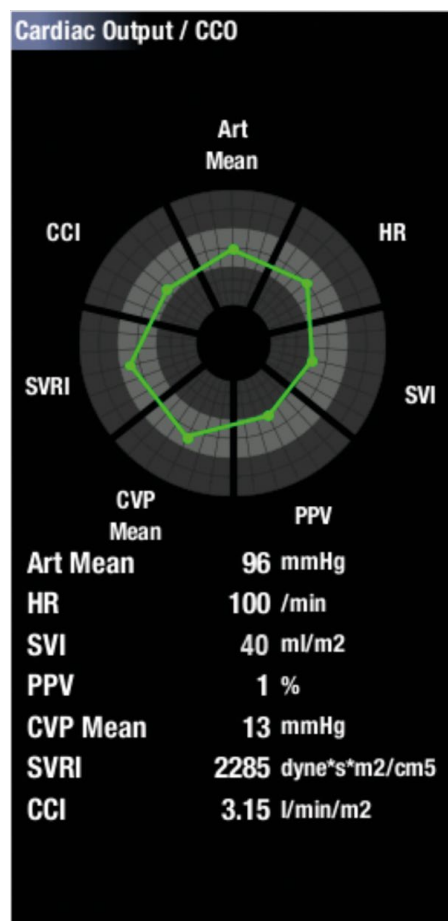


Figure 6. PiCCO graphical view on a CARESCAPE monitor[†]

Body weight/kg	ELWI <10	ELWI ≥10	ELWI <10
	iced injectate	iced injectate	room temperature injectate
< 3	2 ml	2 ml	3 ml
< 10	2 ml	3 ml	3 ml
< 25	3 ml	5 ml	5 ml
< 50	5 ml	10 ml	10 ml
< 100	10 ml	15 ml	15 ml
≥ 100	15 ml	20ml	20 ml

Table 1. Recommended injectate volume

Conclusions

Cardiac output is a vital parameter when assessing cardiac function and when making therapy decisions for critically ill patients.^{5,6} C.O. is also routinely measured during and after major surgical procedures.

In addition to continuous cardiac output, PiCCO technology enables other parameters for a comprehensive evaluation of the hemodynamic status of the patient. Using the PiCCO technology is well suited in situations where the hemodynamics are unstable and/or when mechanical ventilation is needed for severe hypoxemia, such as:

- Septic shock
- Cardiogenic shock
- Burns
- Trauma/hypovolemic shock
- ARDS
- Pancreatitis
- Pediatrics
- Perioperative care

References

- 1 Malbrain, M. *et al.* Cost effectiveness of minimally invasive hemodynamic monitoring, *Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine*. **603-18**, (2005).
- 2 Genahr, A. *et al.* Transpulmonary thermodilution in the critically ill. *British Journal of Intensive Care* **6-10** (2004).
- 3 Michard, F. Changes in Arterial Pressuring during Mechanical Ventilation, *Anesthesiology*, **103**, 419-28 (2005).
- 4 Marik, P.E. *et al.* Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: A systematic review of the literature. *Critical Care Medicine*, **37(9)**, 2642-7(2009).
- 5 Kirby & Gravenstein, *Clinical Anesthesia Practice*, W.B. Saunders Company. St. Louis (1994).
- 6 Sakka, S.G. *et al.* Measurement of cardiac output: a comparison between transpulmonary thermodilution and uncalibrated pulse contour analysis. *British Journal of Anaesthesia*, **99 (3)**, 337-42 (2007).

[†] Available in CARESCAPE software v2 or later.



Additional resources

Arterial Pressure Variation quick guide (DOC0524295) for more information regarding these principles.

For white papers, guides and other instructive materials about our clinical measurements, technologies and applications, please visit

<http://clinicalview.gehealthcare.com/>

Imagination at work

Product may not be available in all countries and regions. Full product technical specification is available upon request. Contact a GE Healthcare Representative for more information. Please visit www.gehealthcare.com/promotional-locations.

Data subject to change.

© 2014 - 2016 General Electric Company.

GE, the GE monogram, Imagination at work and CARESCAPE are trademarks of General Electric Company.

Reproduction in any form is forbidden without prior written permission from GE. Nothing in this material should be used to diagnose or treat any disease or condition. Readers must consult a healthcare professional.

JB25868XX(1) 7/16

Srdcový výdaj a PiCCO technológia

Čo je srdcový výdaj a PiCCO?

Srdcový výdaj (C.O.) je množstvo krvi vypudenej srdcom každú minútu do periférneho obehu. Srdcový výdaj získame vynásobením srdcovej frekvencie (HR) a pulzového objemu (SV), kde SV je množstvo krvi vypudenej komorou pri každom údere. Normálne obe komory vytlačia rovnaké množstvo krvi za minútu.

Primárna funkcia srdca je dodať dostatočné množstvo kyslíka a živín do tkanív. Pri bežných podmienkach sa C.O. mení tak, aby boli uspokojené požiadavky tkanív. Tieto sa sekundárne môžu meniť pri cvičení, infekcii, srdcových ochoreniach, traume, chirurgickom zákroku, alebo podaním liekov. Merané C.O. môže byť normalizované k veľkosti povrchu tela pacienta (BSA) tým, že vydáme C.O. hodnotou BSA. Výsledná hodnota je nazývaná Srdcový index (CI)

PiCCO kontinuálny srdcový výdaj (CCO) meria srdcový výdaj kontinuálne, a nevyžaduje katétrizáciu pravého srdca (katéter v pulmonálnej artérii). Meranie je kalibrované pomocou transpulmonálnej termodilúcie vid' Obr. 1.

Aj keď podstata PiCCO monitorovania je sústredená na srdcový výdaj, dokáže merať aj parametre spojené s preload-om, afterload-om, kontraktilitou a extravaskulárnou pľúcnou vodou. Preto môže poskytnúť ucelenejší pohľad na hemodynamický stav pacienta v porovnaní s bežným prietokom. Keďže PiCCO technológia nevyžaduje katétrizáciu pravého srdca, je menej invazívna ako iné technológie.

Použitie PiCCO technológie vyžaduje štandardný centrálny žilný katéter pre transpulmonálnu termodilúciu a špecifický PiCCO katéter zavedený v a. femoralis, radialis, brachialis alebo axilárnej artérii.

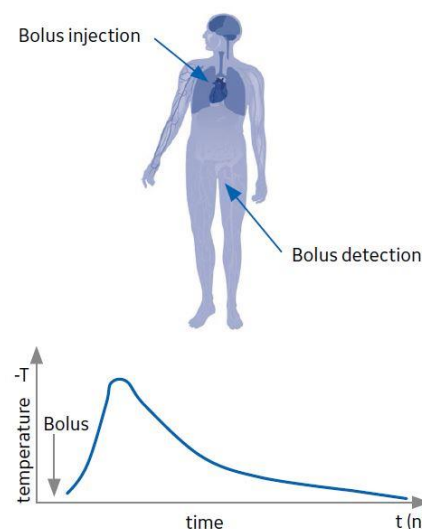
PiCCO sa ukázala ako efektívna technológia, čo sa týka nákladov a získaných informácií pre klinické rozhodovanie.¹

Ako sú merané PiCCO parametre

Prietok

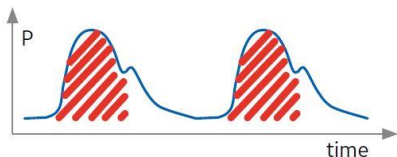
Transpulmonálna termodilúcia je použitá na kalibráciu výpočtov kontinuálneho srdcového výdaja. Známe množstvo chladného injektátu pri známej teplote je podané cez centrálny venózný katéter. Po vstreknutí, je meraná zmena teploty krvi v blízkosti špičky PiCCO katétra v artérii. Krivka zmeny teploty za čas je zobrazená v C.O. pohľade na patientskom monitore. Toto nazývame termodilučná krivka, vid' Obr.1. C.O. je vypočítané použitím Stewart-Hamilton-ovho vzorca z priemeru vybraných/schválených termodilučných kriviek. Keďže bolus prechádza srdcom a pľúcami, môžu byť tiež stanovené hodnoty preload a extravaskulárnej pľúcnj vody. Kalibrácia sa odporúča raz za 8 hodín, alebo po výraznej zmene hemodynamického stavu (napr. pre medikáciu, podanie tekutín). Srdcové skraty a nedomykavosť chlopní môže ovplyvniť presnosť transpulmonálnej termodilúcie. To isté ale platí pre každú termodilučnú technológiu.²

Monitorovanie srdcového výdaja pomocou PiCCO je založené na analýze pulzovej vlny (pulse contour analysis) z krivky invazívne meraného arteriálneho krvného tlaku. Pulzový objem je vypočítaný pre každý pulz použitím pulse contour analýzy. S týmto a srdcovou frekvenciou môžeme zdefinovať kontinuálny srdcový výdaj, vid' Obr.2. Hodnota indexu je vypočítaná vydelením hodnotou povrchu tela (BSA).



- Chladný indikátor prejde pravé srdce, pľúca a ľavé srdce
- Indikátor je detegovaný v artérii, typicky femorálnej
- Presné meranie srdcového výdaja je založené na Stewart-Hamiltonovom algoritme
- Prechod cez srdce a pľúca dovoľuje určiť objem Preload a pľúcnu vodu

Obr. 1 Transpulmonálna termodilúcia

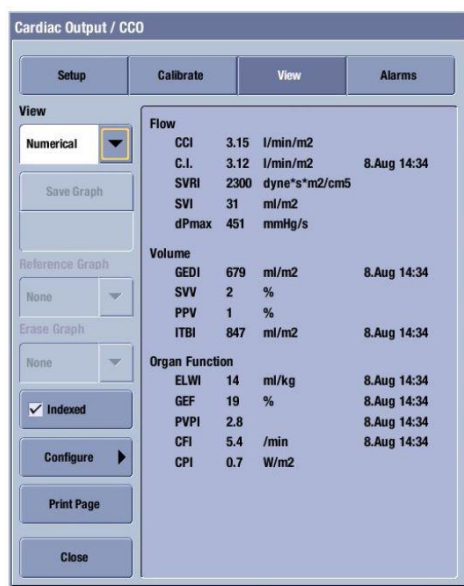


- Pulzový objem je zobrazený ako oblasť pod systolickou časťou tlakovej krivky (červená oblasť) jedného úderu srdca
- Srdcový výdaj je počítaný úder za úderom: pulzový objem x srdcová frekvencia

Obr.2 Analýza pulse contour



Obr. 3 Pole parametra Kontinuálny srdcový výdaj na displeji monitora CARESCAPE™. Užívateľ môže zmeniť počet parametrov zobrazených v tomto poli¹.



Obr. 4 Menu parametra Kontinuálny srdcový výdaj na monitore CARESCAPE¹.

Faktory ovplyvňujúce určenie a kalibráciu srdcového výdaja pri transpulmonálnej termodilúcii

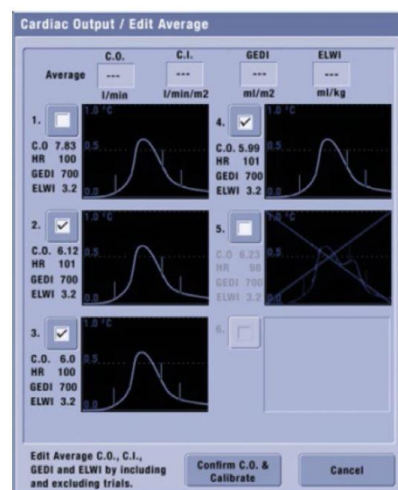
Je dôležité skontrolovať EKG, invazívne tlaky a teplotu, keď vyhodnocujete srdcový výdaj. Mnohé faktory môžu ovplyvniť hodnotu srdcového výdaja, napríklad: spôsob podania injekcie a čas medzi meraniami. Injekcia by mala byť podaná svižne a stálou rýchlosťou. Generovaná krivka by mala mať strmý nárast a postupný návrat do základnej polohy.

Algoritmus PiCCO akceptuje injektáž iba, ak je čas podania dostatočne krátky. Inak je injekcia automaticky odmietnutá a nepoužije sa na určenie srdcového výdaja.

Zbytočne dlhé podávanie injekcie, alebo zaobchádzanie so striekačkou, môže znížiť presnosť merania. Nepresný objem injektátu môže spôsobiť chybu výpočtu. Vo väčšine prípadov je 10 ml injektátu dostatok pre pacienta vážiaceho 50-99 kg. Základný objem injektátu pri meraní GE PiCCO je 15 ml. Existujú odporúčané objemy injektátu v závislosti na váhe pacienta a teplote injektátu, viď tabuľku 1.

Rýchle zmeny v srdcovej frekvencii, krvnom tlaku, teplote krvi v pulmonálnej artérii môžu mať za následok nepravidelné krivky. Merania príliš často po sebe môžu tiež spôsobiť chyby. Preto je odporúčané čakať medzi meraniami 5 minút (ľadový injektát) alebo 1 minútu (injektát izbovej teploty).

Vo všeobecnosti sa odporúča urobiť 3 až 5 po sebe idúcich stanovení s odchýlkou medzi meraniami pod 10%, a vziať priemerný výsledok. Všetky stanovenia použité na priemerovanie odporúčame vykonať počas 15 minút. Nepravidelné krivky môžu byť zahodené v Edit Average View GE patientskeho monitora, predtým ako potvrdíte priemerný výsledok, viď Obr. 5.



Obr.5 Transpulmonálne termodilučné krivky v Edit average view na GE CARESCAPE monitore¹

Zaznamenané dodatkové merania

Preload a objemová reaktivita

Globálny end diastolický objem (GEDV) reprezentuje preload objem zo všetkých 4 častí srdca, teda objem dostupný na vypudenie. GEDV je definované pomocou transpulmonálnej termodilúcie.

Dynamické parametre sa ukázali ako lepší nástroj na posúdenie objemovej reaktivity, ako plniace tlaky.³ Zmeny pulzového objemu (SVV) a zmeny pulzového tlaku (PPV) sú percentuálne hodnoty predpovedajúce tekutinovú reaktivitu. SVV a PPV sú kontinuálne prepočítavané. Vyššia hodnota znamená vyššiu pravdepodobnosť, že plnenie tekutinami zvyšuje srdcový výdaj. Hodnota medzi 11% až 13% sa ukázala ako prediktívna pre tekutinovú reaktivitu.⁴

Globálny end-diastolický objem (GEDV) reprezentuje preload objem t.j. objem dostupný na vypudenie. Pri PiCCO meraní, GEDV berie do úvahy objem všetkých 4 častí srdca. GEDV je definované pomocou transpulmonálnej termodilúcie kde SVV a PPV sú nepretržite prepočítavané.

¹Dostupné vo verzii softvéru CARESCAPE v2 a novších.

Afterload

Afterload je určený použitím systémového cievneho odporu $SVR = ((MAP - CVP) / CO) * 80$. Vyjadruje odpor, ktorý musí srdce prekonať, keď chce vypuďiť krv do cirkulácie. Srdcový výdaj je nepriamo závislý na systémovej cievnej odpore (SVR). Napríklad vazokonstrikcia zvyšuje odpor, a ak nie sú zmeny v iných parametroch, vedie to k zníženému srdcovému výdaju. S PiCCO technológiou je to kontinuálne meranie.

Kontraktilita

Kontraktilita poukazuje na stav srdcového svalu. S PiCCO technológiou je kontraktilita definovaná Indexom srdcovej funkcie (CFI). Vzorec je $C.O. / GEDV$. Na posúdenie kontraktility môže byť použité aj dPmx. Predstavuje maximálny nárast tlaku v aorte. Tretí údaj používaný na posúdenie funkcie srdca je globálna ejekčná frakcia (GEF), čo je $4 \times SV / GEDV$.

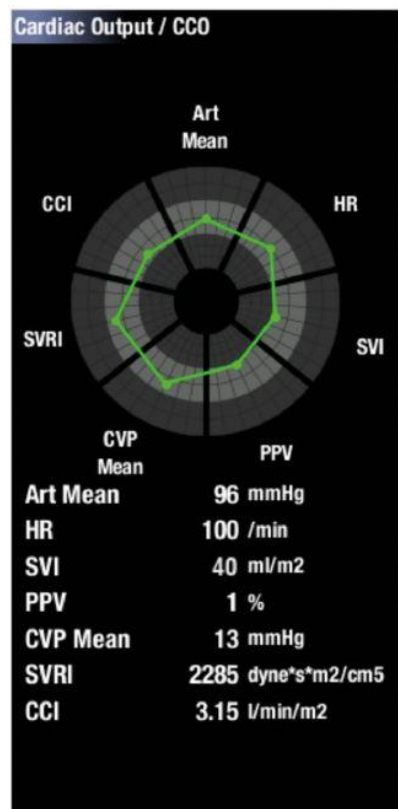
Keď boli preload aj afterload optimalizované, jediná cesta ako zvýšiť srdcový výdaj, je podaním inotropných látok. GEF a CFI sú určené transpulmonálnou termodilúciou, kým dPmx je neustále prepočítavané.

Extravaskulárna pľúcna voda

Keď sa vyskytne abnormálne nahromadenie tekutín v extravaskulárnom priestore pľúc hovoríme o pľúcnom edéme. Objavenie pľúcneho edému môže viesť k negatívnej rovnováhe tekutín. Meranie extravaskulárnej pľúcnej vody (EVLW) odráža pľúcny edém a je dôležitou informáciou pri diskusii o podávaní tekutín u hypoxických pacientov počas mechanickej pľúcnej ventilácie. EVLW je merané počas transpulmonálnej termodilúcie. Index pľúcnej cievnej priepustnosti (PVPI) je vzťah medzi extra- a intravaskulárnou tekutinou a môže pomôcť rozlíšiť pôvod pľúcneho edému, či je zápalový alebo kardiogénny.

Zobrazenie informácií

Monitory GE CARESCAPE využívajú všetky informácie, ktoré PiCCO technológia poskytuje a zobrazia ich v grafickom zobrazení, čím umožňujú zdravotníkom získať prehľad o pacientovom hemodynamickom stave na prvý pohľad. Zobrazené parametre môžu byť vybrané užívateľom a zafarbenie tohto zobrazenia je založené na hodnotách cieľových zón nastavených zdravotníkom. Viď Obr.6.



Obr. 6 PiCCO grafické zobrazenie na monitore CARESCAPE¹

Váha (kg)	ELWI <10	ELWI ≥10	ELWI <10
	ľadový injektát	ľadový injektát	Inj. Izbovej teploty
< 3	2 ml	2 ml	3 ml
< 10	2 ml	3 ml	3 ml
< 25	3 ml	5 ml	5 ml
< 50	5 ml	10 ml	10 ml
< 100	10 ml	15 ml	15 ml
≥ 100	15 ml	20 ml	20 ml

Tabuľka 1 Odporúčaný objem injektátu

Zhrnutie

Srdcový výdaj je rozhodujúci ukazovateľ pri posudzovaní srdcovej funkcie a pri rozhodovaní pri kriticky chorých pacientoch.^{5,6} C.O. je tiež rutinne využívaný počas a po veľkých chirurgických výkonoch.

Okrem merania kontinuálneho srdcového výdaja, PiCCO technológia sprístupňuje iné parametre na prehľadné zhodnotenie hemodynamického stavu pacienta. Použitie PiCCO technológie je vhodné v situáciách kedy je hemodynamika nestabilná a/alebo keď je potrebná mechanická ventilácia kvôli vážnej hypoxémii, ako napríklad:

- Septický šok
- Kardiogénny šok
- Popáleniny
- Trauma/hypovolemický šok
- ARDS
- Pankreatitída
- Pediatria
- Perioperačná starostlivosť

Referencie

- 1 Malbrain, M. et al. Cost effectiveness of minimally invasive hemodynamic monitoring, Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine. 603-18, (2005).
- 2 Genahr, A. et al. Transpulmonary thermodilution in the critically ill. British Journal of Intensive Care 6-10 (2004).
- 3 Michard, F. Changes in Arterial Pressuring during Mechanical Ventilation, Anesthesiology, 103, 419-28 (2005).
- 4 Marik, P.E. et al. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: A systematic review of the literature. Critical Care Medicine, 37(9), 2642-7(2009).
- 5 Kirby & Gravenstein, Clinical Anesthesia Practice, W.B. Saunders Company. St. Louis (1994).
- 6 Sakka, S.G. et al. Measurement of cardiac output: a comparison between transpulmonary thermodilution and uncalibrated pulse contour analysis. British Journal of Anaesthesia, 99 (3), 337-42 (2007).

¹Dostupné vo verzii softvéru CARESCAPE v2 a novších.



Dodatočné zdroje

Stručný sprievodca zmenami arteriálneho tlaku
(DOC0524295) pre viac informácií
pokiaľ ide o tieto zásady.

Na biele knihy, príručky a iné
inštruktážne materiály o našich klinických
meraniach, technológiách a
aplikáciách, navštívte

<http://clinicalview.gehealthcare.com/>

Imagination at work

Produkt nemusí byť k dispozícii vo všetkých krajinách a regiónoch. Úplná
technická špecifikácia produktu je

K dispozícii na požiadanie. Ďalšie informácie vám poskytne zástupca
spoločnosti GE Healthcare. Prosím navštívte
www.gehealthcare.com/promotional-locations.

Údaje podliehajú zmenám.

© 2014 - 2016 General Electric Company.

GE, monogram GE, Imagination at work a CARESCAPE sú ochranné známky
spoločnosti General Electric Company.

Reprodukcia v akejkoľvek podobe je bez predchádzajúceho písomného
súhlasu spoločnosti GE zakázaná. Nič v tomto materiáli by sa malo používať
na diagnostikovanie alebo liečenie akejkoľvek choroby alebo stavu.

Čitatelia musia konzultovať so zdravotníkom.

JB25868XX (1) 7/16