

Monitorowanie hemodynamiczne metodą PiCCO – nowe możliwości

PiCCO a new concept of continuous cardiac output monitoring
– new possibilities

Dariusz Szurlej¹, Krzysztof Toczek¹, Paweł Żurek², Andrzej Węglarzy¹, Leszek Machej¹,
Krzysztof Paradowski¹, Andrzej Daszkiewicz¹

¹Zakład Kardioanestezji i Intensywnej Terapii Pooperacyjnej, Śląska Akademia Medyczna, Katowice-Ochojec

²II Katedra i Klinika Kardiochirurgii, Śląska Akademia Medyczna, Katowice-Ochojec

Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska 2005; 2 (4): 54–57



Streszczenie

Cewnik Swan-Ganza nadal pozostaje *złotym standardem* monitorowania hemodynamicznego, pomimo stosowania tej metody już od 1970 r. Ryzyko możliwych powikłań i stosunkowo duży koszt tej metody przyczyniły się do poszukiwania innych, mniej inwazyjnych i dokładniejszych sposobów oceny hemodynamicznej układu krążenia. Metoda PiCCO (*Pulse Continuous Cardiac Output*) łączy technikę termodilucji przezpłucnej z komputerową analizą kształtu fali ciśnienia tętniczego. Pozwala oznaczyć rzut minutowy serca, jego kurczliwość oraz precyzyjnie ocenić wielkość obciążenia wstępnego i następczego. Stwarza również nowe możliwości w zakresie ilościowej oceny stopnia uwodnienia mięszu płucnego, a uzyskane wyniki są łatwe w interpretacji klinicznej.

Słowa kluczowe: ciągły pomiar rzutu serca, termodilucja przezpłucna, wewnątrzkrążkowa objętość krwi, pozanaczyniowa woda wewnątrzkrążkowa

Wstęp

Wprowadzenie przez Swana i Ganza do użytku klinicznego w 1970 r. cewnika termodilucyjnego radykalnie zwiększyło możliwości monitorowania układu sercowo-naczyniowego i stało się doniosłym osiągnięciem intensywnej terapii. Jednak wysokie ryzyko możliwych powikłań i stosunkowo duży koszt tej metody przyczyniły się do poszukiwania innych, mniej inwazyjnych i dokładniejszych sposobów oceny hemodynamicznej układu krążenia [1].

Abstract

A Swan-Ganz catheter remains a *gold standard* in hemodynamic monitoring despite its presence on the market since the early 70s. It is an invasive procedure combined with a certain risk and cost. That is why some investigators keep searching for less invasive techniques.

The PiCCO method is a technique which combines thermodilution and computer analysis of arterial blood pressure curve. Such a technique enables readings of cardiac output, contractility and estimates preload and after load very accurately. New possibilities like estimation of lung water are also measured and are easy to interpret on a clinical basis.

Key words: continuous cardiac output, transpulmonary thermodilution, intrathoracic blood volume, extravascular lung water

Nową koncepcję ciągłego monitorowania hemodynamicznego zastosowano w metodzie PiCCO (*pulse continuous cardiac output*), w której połączono technikę termodilucji przezpłucnej z komputerową analizą kształtu fali ciśnienia tętniczego.

Na podstawie pomiaru termodilucji przezpłucnej wyliczana jest wartość rzutu minutowego serca – CO (*cardiac output*), oceniana jest wewnątrzkrążkowa objętość krwi – ITBV (*intrathoracic blood volume*), pozanaczyniowa woda

Adres do korespondencji: Dariusz Szurlej, Zakład Kardioanestezji i Intensywnej Terapii Pooperacyjnej, Śląska Akademia Medyczna, ul. Ziołowa 43/703, 40-635 Katowice, tel. +48 32 202 64 64, e-mail: dariszu@poczta.onet.pl

wewnątrzpłucna – EVLW (*extravascular lung water*) oraz indeks funkcji serca – CFI (*cardiac function index*).

Komputerowa analiza kształtu fali ciśnienia tętniczego pozwala na ocenę w sposób ciągły (podczas każdego skurczu serca) rzutu minutowego serca – CCO (*continuous cardiac output*), objętości wyrzutowej – SV (*stroke volume*), systemowego oporu naczyniowego – SVR (*systemic vascular resistance*) i wskaźnika czynności skurczowej lewej komory – dPmax (*index of left ventricular contractility*).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie podstawowych założeń teoretycznych metody PiCCO oraz jej nowych możliwości w zakresie monitorowania hemodynamicznego układu krążenia.

Termodilucja przezpłucna

Układ pomiarowy PiCCO nie wykorzystuje cewnika Swan-Ganza. Warunkiem koniecznym jest wprowadzenie metodą Saldingera do tętnicy udowej (w przyszłości być może również do tętnicy pachowej lub promieniowej) specjalnego cewnika dotętniczego, celem monitorowania ciągłego zapisu ciśnienia tętniczego metodą bezpośrednią, a wbudowany w ścianę kaniuli termistor rejestruje temperaturę krwi. Niezbędne jest również założenie standardowego cewnika dożylnego (np. dwu- lub trójświatłowego, długość i średnica bez znaczenia), którego koniec dystalny należy umieścić w okolicy prawego przedsionka, najlepiej z dostępu przez żyłę szyjną wewnętrzną. Do odprowadzenia proksymalnego cewnika podłącza się przepływowy czujnik temperatury, który mierzy temperaturę iniektatu.

Aby zmierzyć CO metodą termodilucji przezpłucnej, należy wstrzyknąć określoną objętość znacznika temperaturowego (np. schłodzoną sól fizjologiczną) poprzez cewnik dożylny, w okolicę prawego przedsionka. Wstrzyknięty znacznik przepływa przez prawe serce, krążenie płucne, następnie lewe serce i dociera do aorty brzusznej, gdzie następuje rejestracja zmian temperatury przepływającej krwi. Wykreślona przez urządzenie rejestrujące krzywa termodilucji przezpłucnej, w porównaniu z krzywą uzyskiwaną przy użyciu cewnika S-G jest znacznie wydłużona w czasie i bardziej płaska. Pole pod krzywą jest obliczane w sposób tradycyjny za pomocą algorytmu Stewarta-Hamiltona, poszerzonego o algorytmiczną korekcję podstawowego dryfu temperaturowego.

Pomimo długiej drogi, jaką musi pokonać znacznik temperaturowy od miejsca iniekcji do miejsca detekcji, czynnik ten nie wpływa na dokładność pomiaru rzutu minutowego. W licznych pracach klinicznych nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy wartościami CO, uzyskiwanymi podczas pomiaru metodą termodilucji przezpłucnej i termodilucji z zastosowaniem cewnika umieszczonego w tętnicy płucnej [2, 3]. Nieprawidłowa krzywa termodilucyjna

PiCCO może powstać w przypadku przecieków wewnątrzsercowych, znacznej niedomykalności zastawki trójdzielnej, stenozы aortalnej, tętniaków aorty i krążenia pozaustrojowego, co prowadzi do zafałszowania wyników.

Ciągły pomiar rzutu minutowego serca na podstawie analizy tętna

Aby prowadzić monitorowanie CCO, konieczne jest wcześniejsze przeprowadzenie kalibracji układu pomiarowego, czyli dokonanie pomiaru CO metodą termodilucji przezpłucnej. Uzyskanej wartości CO jest przypisywany aktualny kształt krzywej ciśnienia tętniczego, co stanowi punkt wyjściowy w dalszej analizie komputerowej. Ponadto, podczas kalibracji obliczany jest współczynnik kalibracyjny oraz mierzona podatność aorty na podstawie zależności pomiędzy przyrostem ciśnienia wewnątrzaoortalnego a objętością wyrzutową, obliczoną na podstawie rzutu minutowego.

Komputerowa kalkulacja CCO opiera się na algorytmie Weselinga, który oprócz ustalonego współczynnika kalibracji (cal), częstości akcji serca (HR), podatności aorty (Cp), oblicza powierzchnię pola pod częścią systoliczną krzywej ciśnienia tętniczego (P(t)/SVR) odpowiadającej objętości wyrzutowej oraz uwzględnia jej kształt, będący wynikiem zmian ciśnienia w jednostce czasu (dP/dt) [4, 5] (ryc. 1):

$$CCO = cal \times HR \times \int (P(t)/SVR + Cp \times dP/dt) dt$$

Komputerowej analizie poddawane są 3 kolejne fale ciśnienia tętniczego, a uzyskane wartości CCO, SV i SVR wyświetlane są w postaci liczbowej w sposób ciągły na ekranie monitora.

Przeprowadzone badania porównawcze opisanej metody z tradycyjnym pomiarem CO za pomocą cewnika S-G, dowodzą jej dużej dokładności i powtarzalności [3, 5]. Aby odczyt CCO był wiarygodny należy układ pomiarowy ponownie wykalibrować po upływie 8 godz. lub gdy dochodzi do znacznej zmiany SVR, tj. >20%.

Stosunek dP/dt przedstawiany jako dPmax jest pomiarem szybkości przyrostu ciśnienia w jednostce czasu w fazie systolicznej skurczu serca, dzięki czemu uzyskujemy dane o jego kurczliwości. Śledząc wartości tego parametru, można oceniać np. efekt działania stosowanych amin katecholowych.

Objętości wewnątrzkratkowe

Metoda PiCCO opiera się na założeniu, że można wyliczyć objętość poszczególnych kompartmentów wewnątrzkratkowych, przez które przepływa znacznik temperaturowy, czyli objętość płynów pomiędzy cewnikiem żylnym a cewnikiem tętnicznym, która jest określana jako całkowita obję-

tość wewnątrzskłatkowa – ITTV (*intrathoracic thermal volume*). Składa się ona z wewnątrzskłatkowej objętości krwi – ITBV oraz pozanaczyniowej wody wewnątrzskłatkowej – EVLW. Natomiast w obrębie ITBV można wyróżnić całkowitą objętość końcoworozkurczową zawartą w jamach serca – GEDV (*global end diastolic volume*) oraz wewnątrzskłatkową objętość krwi – PBV (*pulmonary blood volume*), co można przedstawić równaniami:

$$\begin{aligned} \text{ITTV} &= \text{ITBV} + \text{EVLW} \\ \text{ITBV} &= \text{GEDV} + \text{PBV} \end{aligned}$$

Powyższe równania zinterpretowano graficznie na ryc. 2.

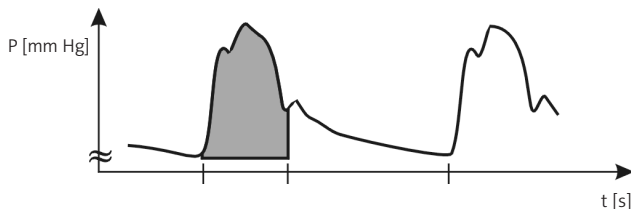
W metodzie PiCCO powyższe objętości nie są mierzone, lecz obliczane na podstawie uzyskanej wartości CO oraz ściśle zdefiniowanych odcinków czasowych krzywej termodilucyjnej, tj. czasu pojawiania się wskaźnika – At (*appearance*

time), średniego czasu przepływu – MTt (*mean transit time*), czy czasu zanikania wskaźnika – DSt (*downslope time*) – ryc. 3. Iloczyn poszczególnych odcinków czasowych i rzutu minutowego pozwalają wyliczyć poszczególne objętości, np.:

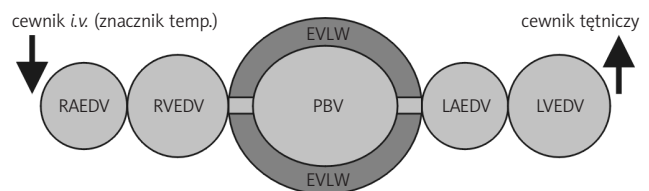
$$\begin{aligned} \text{ITTV} &= \text{MTt} \times \text{CO} = \text{GEDV} + \text{PBV} + \text{EVLW} \\ \text{PTV} &= \text{DSt} \times \text{CO} = \text{PBV} + \text{EVLW} \end{aligned}$$

Przydatność kliniczna mierzenia objętości wewnątrzskłatkowych ITBV

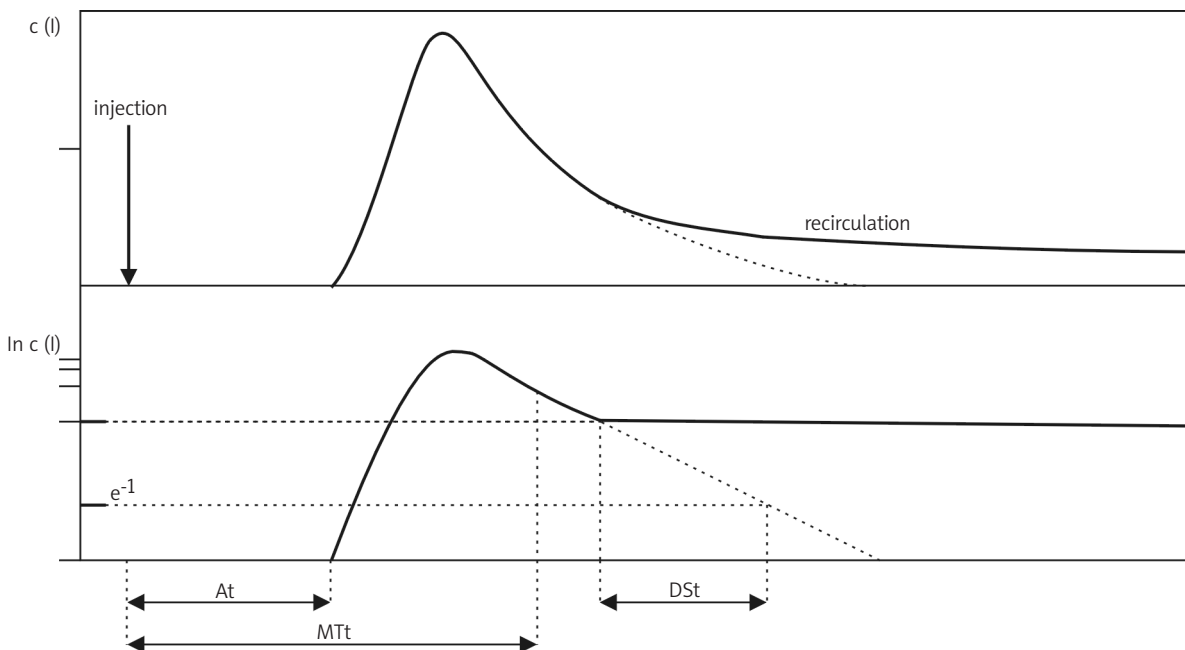
W chwili obecnej, obciążenie wstępne jest przy łóżku chorego oceniane za pomocą parametrów ciśnieniowych, tj. ośrodkowego ciśnienia żylnego, czy ciśnienia zaklinowania w tętnicy płucnej. Wartości te są osobniczo zmienne, wykazują małą czułość w przypadku hipowolemii, a ponadto ich wartość jest zależna nie tylko od stopnia wypełnienia łóżyska naczyniowego, lecz również od kurczliwości



Ryc. 1. Pole pod krzywą systoliczną ciśnienia tętniczego – objętość wyrzutowa (wg materiałów szkoleniowych firmy PULSION)



Ryc. 2. Objętości wewnątrzskłatkowe (wg materiałów szkoleniowych firmy PULSION)



Ryc. 3. Odcinki czasowe krzywej termodilucyjnej (wg materiałów szkoleniowych firmy PULSION)

mięśnia sercowego, podatności naczyń oraz ciśnień wewnątrzskatkowych.

Wiele badań eksperymentalnych i klinicznych dowodzi, że ITBV, na którą w 80% składa się GEDV i w 20% PBV, jest bardzo dokładną miarą objętościową obciążenia wstępnego serca i pozwala na pewne i precyzyjne prowadzenie terapii płynowej. Nie bez znaczenia w tym wypadku pozostaje również fakt, że wszystkie receptory biorące udział w regulacji objętościowej krążenia znajdują się w obrębie przestrzeni ITBV [6, 7].

Pozanacyniowa woda wewnątrzpłucna EVLW

W codziennej praktyce klinicznej, ocena ilościowa stopnia uwodnienia mięszu płucnego jest praktycznie niemożliwa. Stany nadmiernego uwodnienia są rozpoznawane najczęściej osłuchowo lub na podstawie zdjęcia rentgenowskiego, a nierzadko dopiero wtedy, gdy dochodzi do pogorszenia saturacji krwi tętnicznej. W metodzie PiCCO, podczas pomiaru przepłucnego rzutu serca (CO), oceniany jest stopień uwodnienia płuc w ml/kg m.c. na podstawie obliczenia EVLW wg poniższego wzoru:

$$EVLW = ITTV - ITBV$$

Metoda ta stwarza nowe możliwości i jest w chwili obecnej jedynym badaniem przytóżkowym, pozwalającym określić w sposób ilościowy zawartość pozanacyniowej wody w mięszu płucnym. Ponadto, klinicznie przydatną informacją w przypadku zwiększonej przepuszczalności śródbłonna naczyń płucnych jest zależność EVLW i ITBV wyrażone w postaci ilorazu. Fizjologicznie wartość ta wynosi 0,25 i wzrasta wraz z przepuszczalnością śródbłonna [6, 7].

Całkowita objętość końcowo-rozkurczowa zawarta w jamach serca GEDV

Podczas pomiaru CO metodą termodilucji przepłucnej określana jest wartość CFI, która jest ilorazem wskaźnika

sercowego – CI (*cardiac index*) i GEDV; wartość bezwzględna CFI maleje wraz z pogorszeniem czynności skurczowej serca. Śledzenie zmian tego parametru pozwala na podejmowanie kluczowych decyzji klinicznych – optymalizację obciążenia wstępnego lub/i zastosowanie leków o działaniu inotropowo dodatnim [7].

Podsumowanie

PiCCO jest dynamiczną i małoinwazyjną metodą monitorowania układu krążenia, pozwalającą oznaczyć rzut minutowy serca, jego kurczliwość oraz precyzyjnie ocenić wielkość obciążenia wstępnego i następczego. Stwarza również nowe możliwości w zakresie ilościowej oceny stopnia uwodnienia mięszu płucnego, a uzyskane wyniki są łatwe w interpretacji klinicznej.

Piśmiennictwo

1. Ramsey SD, Saint S, Sullivan SD, Dey L, Kelley K, Bowdle A: Clinical and economic effects of pulmonary artery catheterization in nonemergent coronary artery bypass graft surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2000; 14: 113-118.
2. Goedje O, Hoeke K, Lichtwarck-Aschoff M, Faltchauser A, Lamm P, Reichart B: Continuous cardiac output by femoral arterial thermodilution calibrated pulse contour analysis: comparison with pulmonary arterial thermodilution. *Crit Care Med* 1999; 27: 2407-2412.
3. Sakka SG, Reinhart K, Wegscheider K, Meier-Hellmann A: Is the placement of a pulmonary artery catheter still justified solely for the measurement of cardiac output? *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2000; 14: 119-124.
4. Jellema WT, Wesseling KH, Groeneveld AB, Stoutenbeek CP, Thijs LG, van Lieshout JJ: Continuous cardiac output in septic shock by simulating a model of the aortic input impedance: a comparison with bolus injection thermodilution. *Anesthesiology* 1999; 90: 1317-1328.
5. Zollner C, Haller M, Weis M, Morstedt K, Lamm P, Kilger E, Goetz AE: Beat-to-beat measurement of cardiac output by intravascular pulse contour analysis: a prospective criterion standard study in patients after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2000; 14: 125-129.
6. Wiesenack C, Prasser C, Keyl C, Rodig G: Assessment of intrathoracic blood volume as an indicator of cardiac preload: single transpulmonary thermodilution technique versus assessment of pressure preload parameters derived from a pulmonary artery catheter. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2001; 15: 584-588.
7. Sakka SG, Ruhl CC, Pfeiffer UJ, Beale R, McLuckie A, Reinhart K, Meier-Hellmann A: Assessment of cardiac preload and extravascular lung water by single transpulmonary thermodilution. *Intensive Care Med* 2000; 26: 180-187.