



# Inne mniej inwazyjne metody pomiaru rzutu minutowego serca

**Sergiusz Chmielniak**

**Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii  
Szpital Wojewódzki w Bielsku-Białej**

# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)
- NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)
- NICOMO (Bioimpedancja)

## Metody małoinwazyjne:

- PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)
- LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)
- FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- **Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)**
- NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)
- NICOMO (Bioimpedancja)

## Metody małoinwazyjne:

- PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)
- LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)
- FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

# Doppler przezprzełykowy

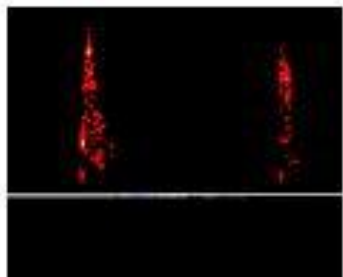
Metoda do nieinwazyjnego monitorowania rzutu serca, wykorzystuje efekt Dopplera do pomiaru prędkości krwi w aorcie piersiowej.

# Umiejscowienie sondy

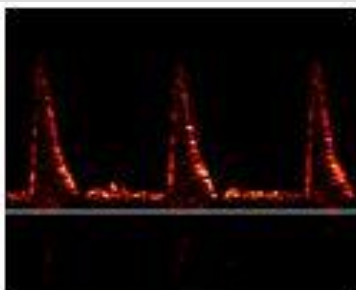


## Prawidłowe umiejscowienie:

- sygnał najczystszy, najjaśniejszy (CardiaQ, WakiTO)
- zobrazowanie ścian aorty w M-mode (Hemosonic)
- dla wszystkich systemów najwyższa uzyskana PV (peak velocity) .



Poorly defined waveform.

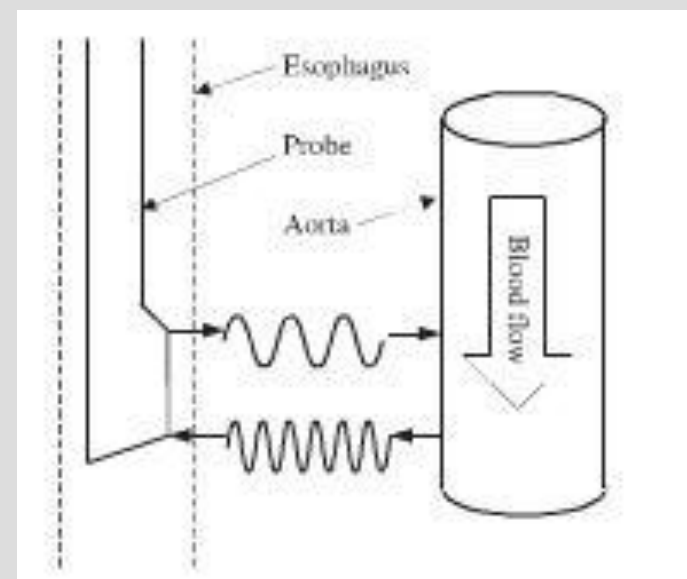


Good signal

# Zasada działania

## Założenia:

- przekrój aorty (dane demograficzne, pomiar bezpośredni)
- uwzględnienie części rzutu serca przepływającego przez naczynia wieńcowe, dogłowe
- pomijalny przepływ w czasie rozkurczu



**Efekt Dopplera**

# Uzyskiwane dane

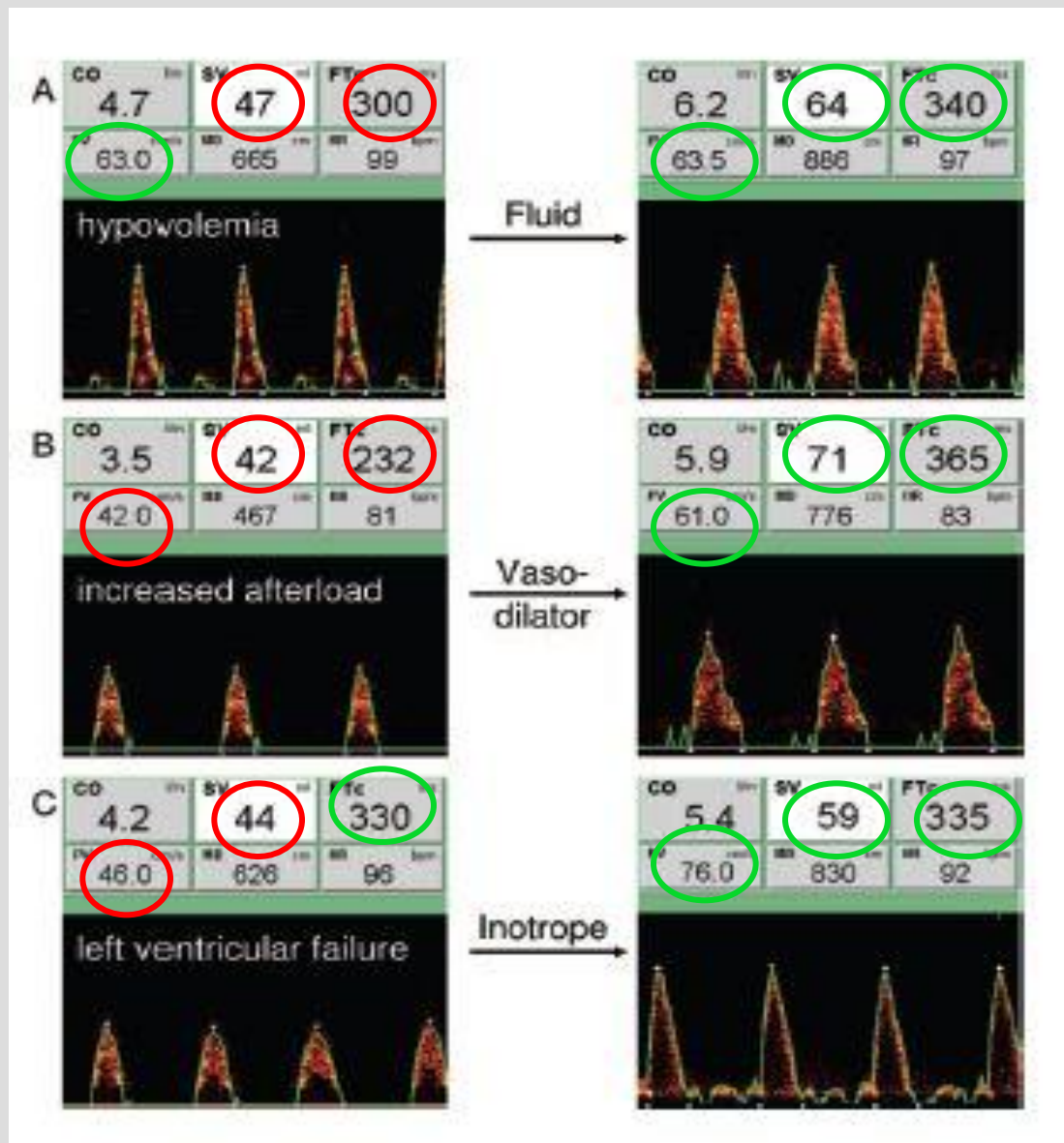
- **Stroke Volume (SV)** - u zdrowych dorosłych N: 60-100ml (SVI N:35-65ml/m<sup>2</sup>)
- **Stroke distance (SD)** - odległość w cm jaką kolumna krwi pokonuje w aorcie podczas każdego skurczu
- **Flow Time Corrected (FTc)** koreluje ze zmianami preload i afterload N: 330-360 ms
- **Peak Velocity (PV)** koreluje ze zmianami w kurczliwości mięśnia sercowego. Wartości prawidłowe zależą od wieku i wynoszą dla 20l 90-120cm/s ; 50l 70-100cm/s ; 70l 50-80cm/s

# Interpretacja danych

- oceny sytuacji hemodynamicznej dokonuje się na podstawie wyglądu krzywej przepływ-prędkość oraz mierzonych parametrów (SV, SD, FTc, PV)
- żaden **pojedynczy parametr** nie świadczy o obciążeniu wstępnym, następczym czy kurczliwości serca.



# Interpretacja danych



# EBM dla ODM

- W licznych badaniach porównujących pomiar rzutu serca za pomocą termodilucji i dopplera przezprzełykowego wykazano, że uzyskiwane wartości znacząco się różnią. Nie można stosować tych metod zamiennie.
- Metoda przezprzełykowego dopplera dobrze koreluje ze zmianami rzutu serca, szczególnie związanymi z obciążeniem płynami.
- Powinna być używana dla zobrazowania trendu zmian, a nie wartości bezwzględnych rzutu serca.

*Dark PM, Singer M. The validity of trans-esophageal Doppler ultrasonography as a measure of cardiac output in critically ill adults Intensive Care Med 2004 Nov;30(11):2060-2066.*

# ODM - podsumowanie

Zalety	Wady
Ciągły pomiar	Wysokie koszty (sonda, osłonki)
Niska częstość jatrogennych powikłań	Może być tylko stosowany u zaintubowanych chorych
Sonda może pozostawać założona nawet powyżej 2 tygodni	Może wymagać częstego poprawiania pozycji
Krótką krzywa uczenia (12 przypadków)	Zmienność w interpretacji danych
Niewielkie ryzyko infekcji	
Szybkie założenie	

# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)
- **NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)**
- NICOMO (Bioimpedancja)

## Metody małoinwazyjne:

- PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)
- LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)
- FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

# NICO

- **Non-Invasive Cardiac Output**
- system przeznaczony do nieinwazyjnego monitorowania rzutu serca oraz parametrów wentylacji u chorych wentylowanych mechanicznie
- do nieinwazyjnego pomiaru rzutu serca wykorzystuje się zasadę Ficka dla  $\text{CO}_2$  czyli zależność wydalanego  $\text{CO}_2$  od objętości krwi pompowanej przez serce

# NICO

Elementy składowe systemu:

- Monitor NICO
- Czujnik NICO z pętlą oddechu zwrotnego
- Czujnik ciśnienia i przepływu
- Kapnograf
- Pulsoksymetr



# Zasada działania

- Równanie Ficka

$$CO = \frac{VO_2}{CaO_2 - CvO_2}$$

- Równanie Ficka dla CO<sub>2</sub>

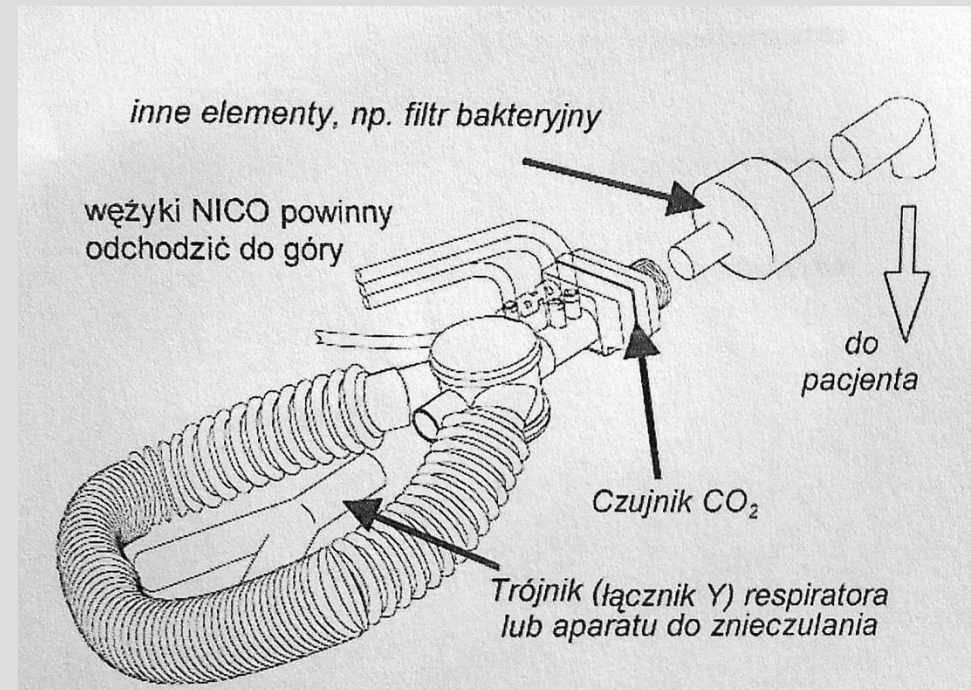
$$CO = \frac{VCO_2}{CvCO_2 - CaCO_2}$$

- Różnicowe równanie Ficka przy oddechu częściowo zwrotnym

$$CO = \frac{VCO_{2b} - VCO_{2rb}}{(CvCO_{2b} - CaCO_{2b}) - (CvCO_{2rb} - CaCO_{2rb})}$$

$$CO = \frac{\Delta VCO_2}{\Delta CaCO_2}$$

$$CO = \frac{\Delta VCO_2}{\Delta etCO_2 \cdot S}$$



# Zasada działania

- co 3 minuty zawór czujnika NICO wydłuża na 50 sekund układ wentylacyjny między pacjentem a trójnikiem respiratora (do wydłużenia układu służy pętla z rury karbowanej),
- część wydychanego gazu pozostaje w układzie dodając się do wdechu (oddech częściowo zwrotny),
- dokonywany jest pomiar  $V\text{CO}_2$  (stężenie  $\text{CO}_2$ , objętość oddechowa) i  $\text{ETCO}_2$ ).



# Zasada działania

- wszystkie wyliczenia aparat wykonuje dla części krwi biorącej udział w wymianie gazowej
- dla zapewnienia dokładności pomiaru konieczne jest uwzględnienie przecieku płucnego
- przeciek obliczany jest na podstawie saturacji krwi tętniczej ( $paO_2$ ), zawartości tlenu w mieszaninie oddechowej ( $FiO_2$ ) i prężności tlenu w krwi tętniczej ( $paO_2$ )
- w schorzeniach układu krążenia i układu oddechowego należy wprowadzić dodatkowo wartość hemoglobiny

# Uzyskiwane parametry

## Układ krążenia:

- rzut serca (CO)
- objętość wyrzutowa (SV)
- włóściwkowy przepływ płucny (PCBF)

## Układ oddechowy:

- parametry wentylacji (PIP, MAP, VT, MV)
- podatność/opór dróg oddechowych ( $C_{dyn}/R_{aw}$ )
- minutowe wydalanie  $CO_2$ -  $VO_2$
- pęcherzykowa/aparaturowa przestrzeń martwa ( $V_{dAlw}/V_{dAw}$ )

# Wątpliwości

## ➤ Dobór metody do sytuacji klinicznej:

- Chorzy po operacjach kardiochirurgicznych (shunt) ?
- Chorzy z ALI , ARDS (heterogeniczność, uszkodzenie, włóknienie, zmienne  $V_t$ )?

## ➤ Zwiększenie zawartości $CO_2$ we krwi tętniczej.

- Chorzy z nadciśnieniem śródczaszkowym?

# NICO - podsumowanie

Zalety	Wady
Prawdziwie nieinwazyjny pomiar	Wysokie koszty
Pomiar prawie ciągły	Tylko u chorych wentylowanych mechanicznie
	Wątpliwa dokładność u chorych z uszkodzeniem płuc
	Nieznane ryzyko dla chorych z hiperkapnią i z nadciśnieniem wewnątrzczaszkowym

# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)
- NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)
- **NICOMO (Bioimpedancja)**

## Metody małoinwazyjne:

- PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)
- LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)
- FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

# NICOMO

- Metoda ta wykorzystuje do pomiaru rzutu serca zjawisko bioimpedancji
- Przez klatkę piersiową przepuszczany jest prąd o małej amplitudzie a wysokiej częstotliwości
- Wzrost objętości krwi w klatce piersiowej podczas skurczu serca powoduje spadek oporu dla przepływającego prądu
- Pomiar impedancji odbywa się dzięki elektrodą umieszczonym wzdłuż kierunku przepływu prądu

# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)
- NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)
- NICOMO (Bioimpedancja)

## Metody małoinwazyjne:

- **PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)**
- LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)
- FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

# PiCCO

Pomiar rzutu serca odbywa się na dwa sposoby:

## 1. Termodilucja przezpłucna

- znana objętość wskaźnika (10-15ml) o temperaturze przynajmniej 10 st. niższej od temperatury krwi jest podawana dożylnie w możliwie krótkim czasie
- rejestrowany jest spadek temperatury zależny od przepływu i objętości
- PiCCO wykrywa obecność zimnego płynu w układzie tętniczym (cewnik założony do tętnicy udowej, końcówka sięga aorty brzusznej)
- algorytm Stewarta-Hamiltona do obliczenia rzutu serca



# PICCO

## 2. Analiza fali tętna

- analiza fali tętna pulse contour
- wymaga kalibracji metodą niezależną co 8h (termodilucja przezpłucna)
- cewnik może być założony do tętnicy udowej, ramiennej lub pachowej

# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)
- NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)
- NICOMO (Bioimpedancja)

## Metody małoinwazyjne:

- PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)
- **LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)**
- FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

# LiDCO

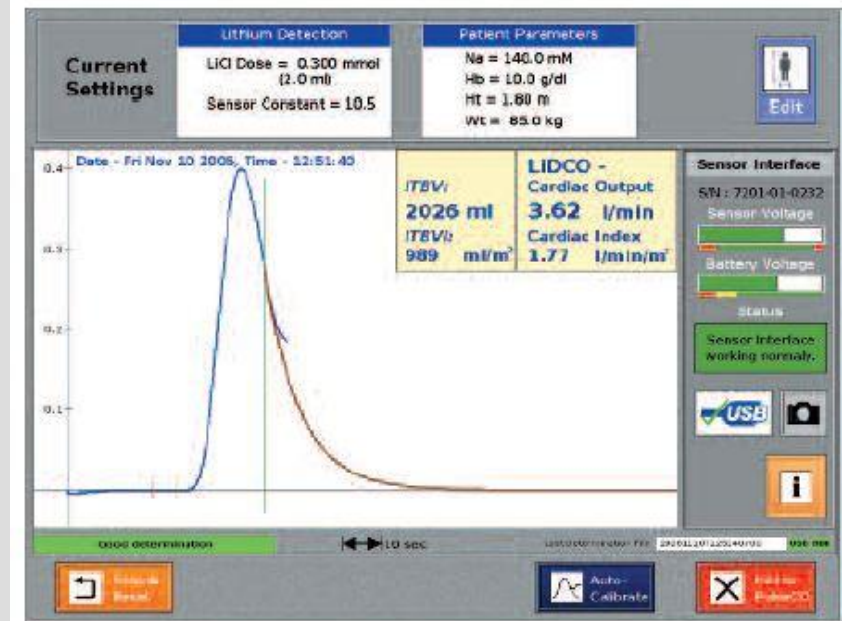
Wykorzystuje dwa sposoby pomiaru rzutu serca:

- pomiar rzutu serca metodą termodilucji przy udziale znacznika (chlorek litu)
- ciągły pomiar rzutu serca na podstawie analizy krzywej ciśnienia tętniczego krwi (PulseCO)

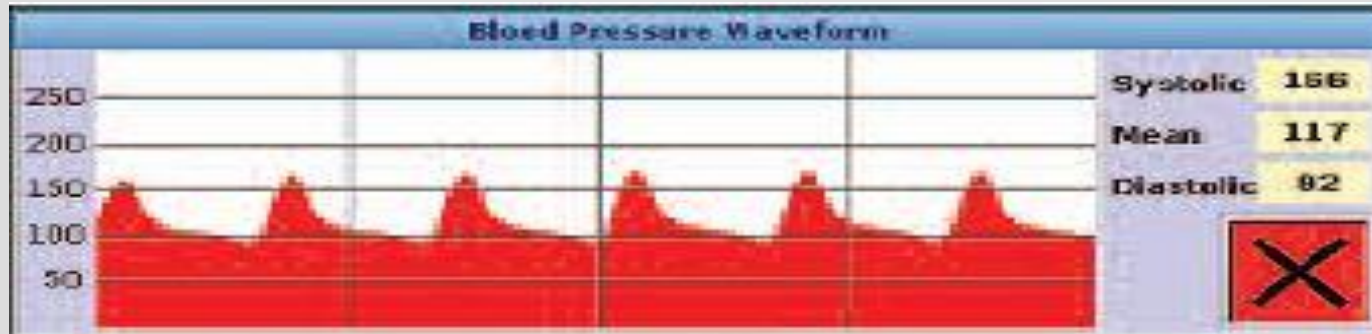
# Zasada działania

- pomiar rzutu metodą termodilucji przez podanie niewielkiej dawki chlorku litu (0.15 - 0.3 mmol) do żyły centralnej bądź obwodowej,
- stężenie litu w powracającej krwi tętniczej mierzone przez specjalny czujnik dołączony do linii tętniczej,
- rzut minutowy serca obliczany z pola pod krzywą, a średni czas przejścia wykorzystywany jest do obliczenia całkowitej objętości krwi wewnątrzkrążkowej (ITBV).

# Zasada działania



# Zasada działania



- ciągły pomiar rzutu serca na podstawie analizy krzywej fali tętna metodą „*pulse power*”
- pomiar tą metodą może zachodzić w każdej tętnicy (nie tylko w centralnej)
- system wymaga kalibracji (co 8h) metodą niezależną (w przypadku LIDCO jest nią dilucja chlorku litu)

# Optymalizacja preload przy udziale LiDCO

- Zmiany ciśnień w klatce piersiowej spowodowane wentylacją mechaniczną powodują cykliczne zmiany w objętości wyrzutowej serca. Uważa się że ta zmienność może być wskaźnikiem obciążenia wstępnego serca.
- Dwa parametry mogą odzwierciedlać obciążenie wstępne mięśnia sercowego :
  - **Stroke Volume Variation (SVV)**
  - **Pulse Pressure Variation (PPV)**
  - Norma < 10-15%, zmiany mniejsze niż 10% świadczą o prawidłowym wypełnieniu łożyska

# LIDCO - podsumowanie

- badania porównujące LIDCO do termodilucji wykazały zbliżoną dokładność pomiarów,
- pojedyncze podanie chlorku litu pozwala na uzyskanie dokładności porównywalnej z trzykrotnym podaniem zimnego płynu w termodilucji,
- uzyskuje się ciągły pomiar rzutu serca (kalibracja wymagana co 8h) i ciągły pomiar dostarczania tlenu,
- można uzyskać wartościowe parametry dynamiczne określające preload (SVV, PPV).



# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)
- NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)
- NICOMO (Bioimpedancja)

## Metody małoinwazyjne:

- PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)
- LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)
- **FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)**

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

# FloTrac Vigileo

Pomiar rzutu serca odbywa się na podstawie analizy fali tętna (algorytm APCO):

- algorytm oparty na zależności pomiędzy ciśnieniem pulsu, objętością wyrzutową i podatnością naczyń
- ocena krzywej ciśnienia następuje co 20s – pomiar ciągły
- system nie wymaga ręcznej kalibracji
- autokalibracja aktualizuje pomiar uwzględniając zmiany napięcia naczyń

# Podział metod pomiaru rzutu serca

## Metody nieinwazyjne:

- Doppler przezprzełykowy (Efekt dopplera)
- NICO (Zasada Ficka dla CO<sub>2</sub>)
- NICOMO (Bioimpedancja)

## Metody małoinwazyjne:

- PICCO (Technika termodilucji przez płucnej oraz ciągła analiza fali tętna - pulse contour)
- LIDCO (Termodilucja z użyciem wskaźnika- chlorek litu oraz ciągła analiza fali tętna-pulse power)
- FloTrac Vigileo (analiza fali tętna algorytm APCO)

## Metody inwazyjne

- Cewnik Swana-Ganza (Termodilucja z użyciem wskaźnika-zimna 0,9%NaCl)

