Měření srdečního výdeje

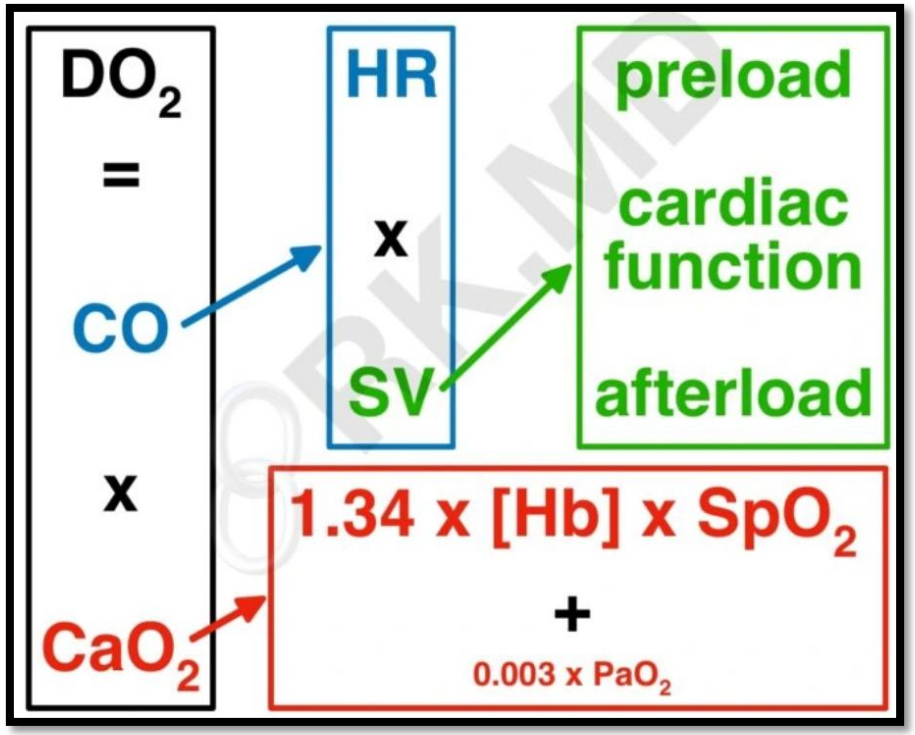
INTENZIVNÍ PÉČE V KARDIOLOGII
WORKSHOP ČAAK, Praha 2023

DANIEL ROB

II. interní klinika kardiologie a angiologie
Všeobecné fakultní nemocnice v Praze a
1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy

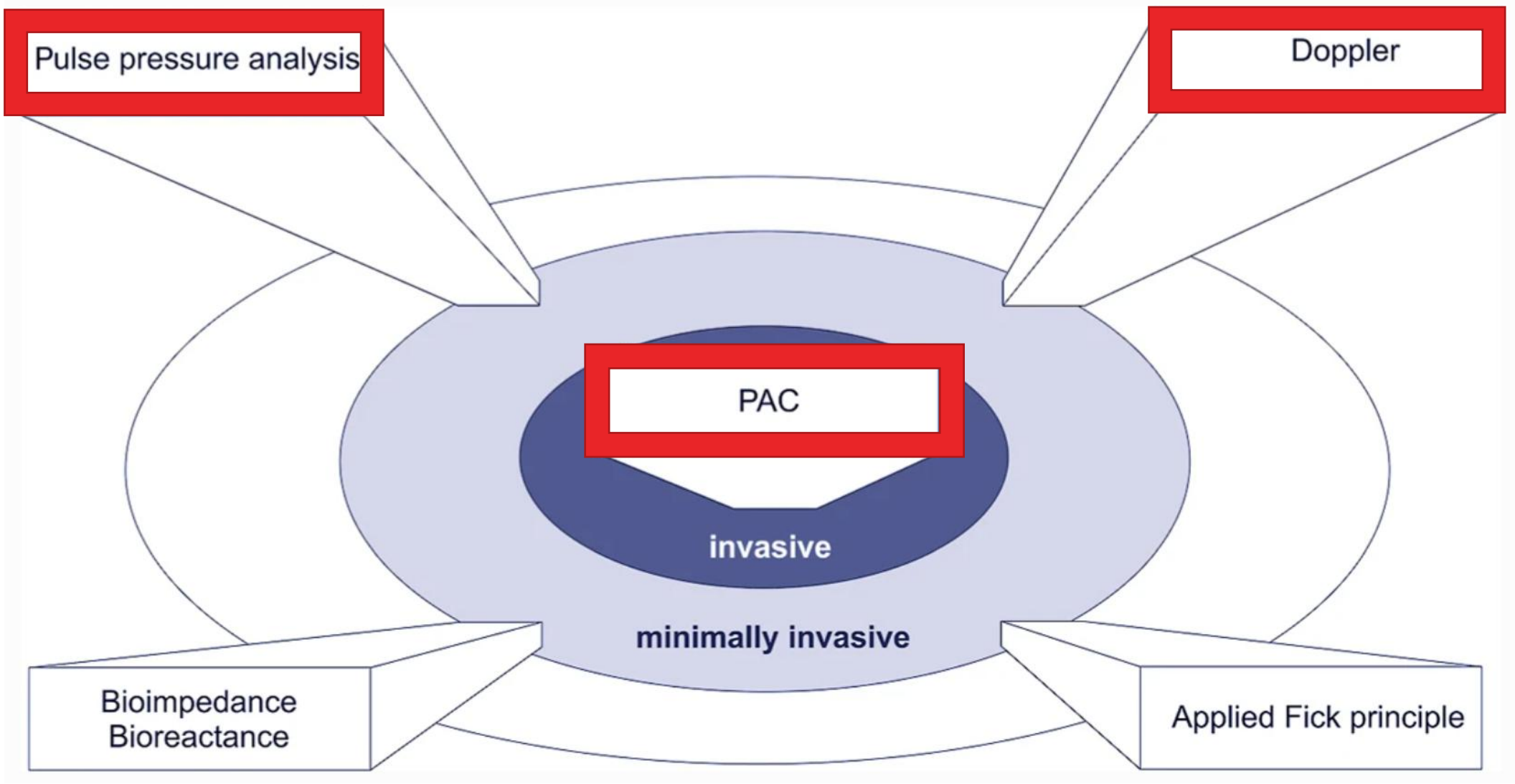
Měření srdečního výdeje (CO)

- **Cardiac output** = objem krve vypuzený z LK/PK do Ao/plicnice za čas (4-8 l/min)
- **Cardiac index** = CO/BSA (2.5-4 l/min/m^2)
- V dg., dif.dg., efekt léčby
- **Volba** metody měření CO je **individuální**
  - stav pacienta, klinický průběh
  - výhody a nevýhody/limitace
  - dostupnost
- Správná **monitorace – interpretace - odpověď**



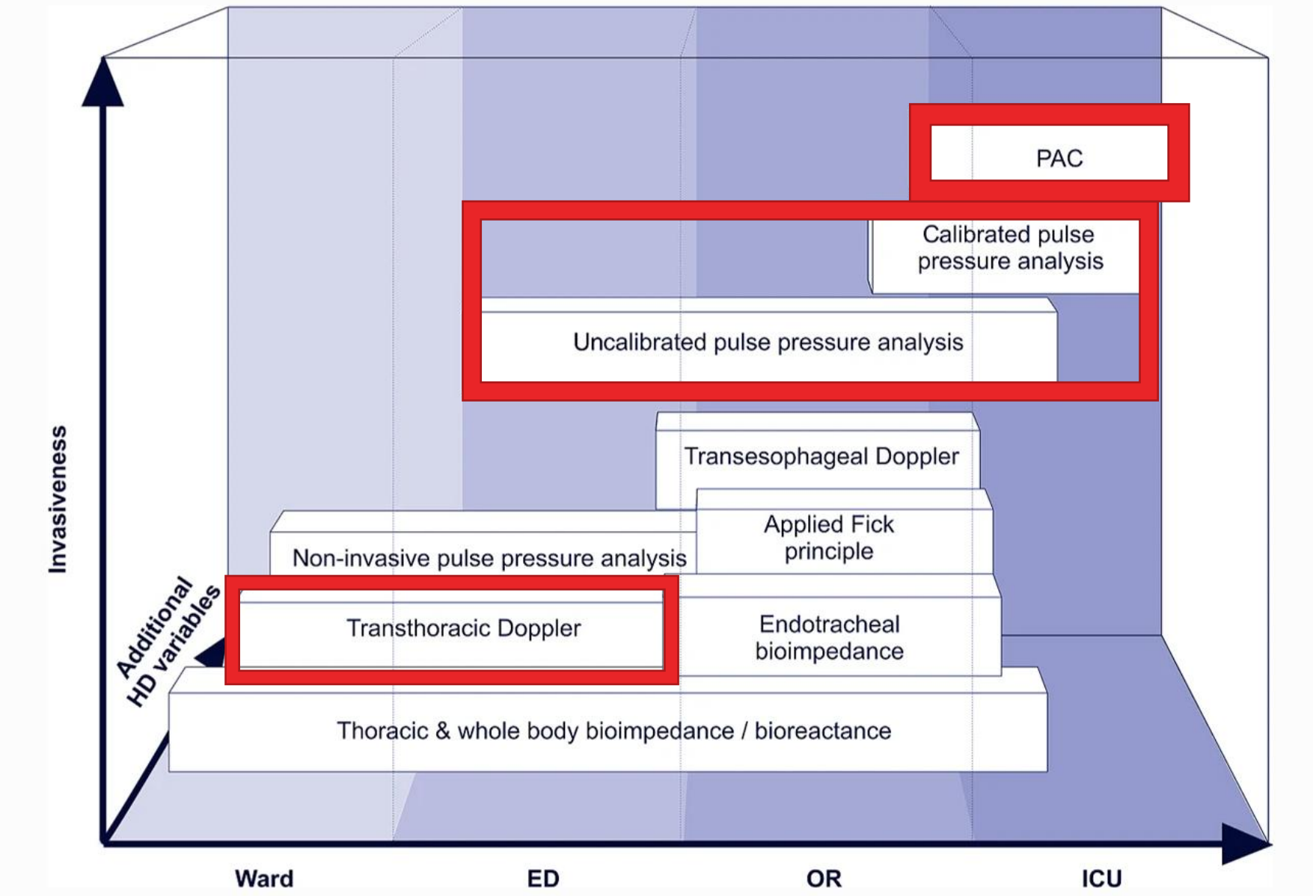
Alhashemi, Jamal A., *Critical Care* 15.2 (2011): 214.
https://rk.md/2017/oxygen-delivery-equation/

Možnosti měření srdečního výdeje



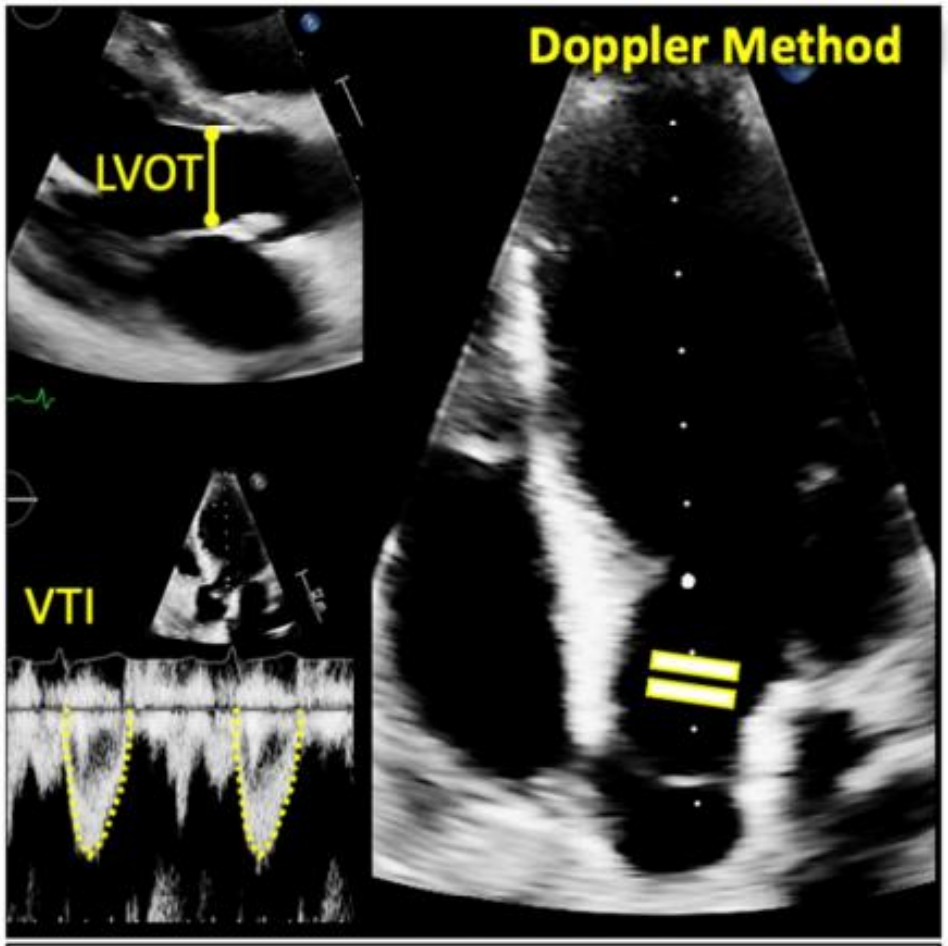
Alhashemi, Jamal A., *Critical Care* 15.2 (2011): 214.

Integrativní přístup k měření CO



Alhashemi, Jamal A., *Critical Care* 15.2 (2011): 214.

Doppler, echokardiografie



LVOT = 2.1 cm

VTI = 21 cm

SV = π (LVOT/2)^2 x VTI = 72 ml

Svi = 45 ml/m^2

Step 1	Calculate the LVOT area	LVOT Area = π x (LVOT Diameter/2)^2 **LVOT Area = _____ cm^2**
Step 2	Calculate Stroke Volume	SV (mL) = LVOT area (cm^2) x VTI (cm) **SV= _____ mL**
Step 3	Calculate Cardiac Output	CO (mL/min) = SV (mL/cycle) x HR (bpm) **CO = _____ mL/min**

SV = LVOT AREA X LVOT VTI

CO = (LVOT AREA X LVOT VTI) X HR

- Dobrá korelace s termodilucí – SD (0,24 l/min/m2)
- Alternativa měření RVOT, 2D, 3D (méně přesné)
- TEE (perioperační monitorace, descendentní Ao)

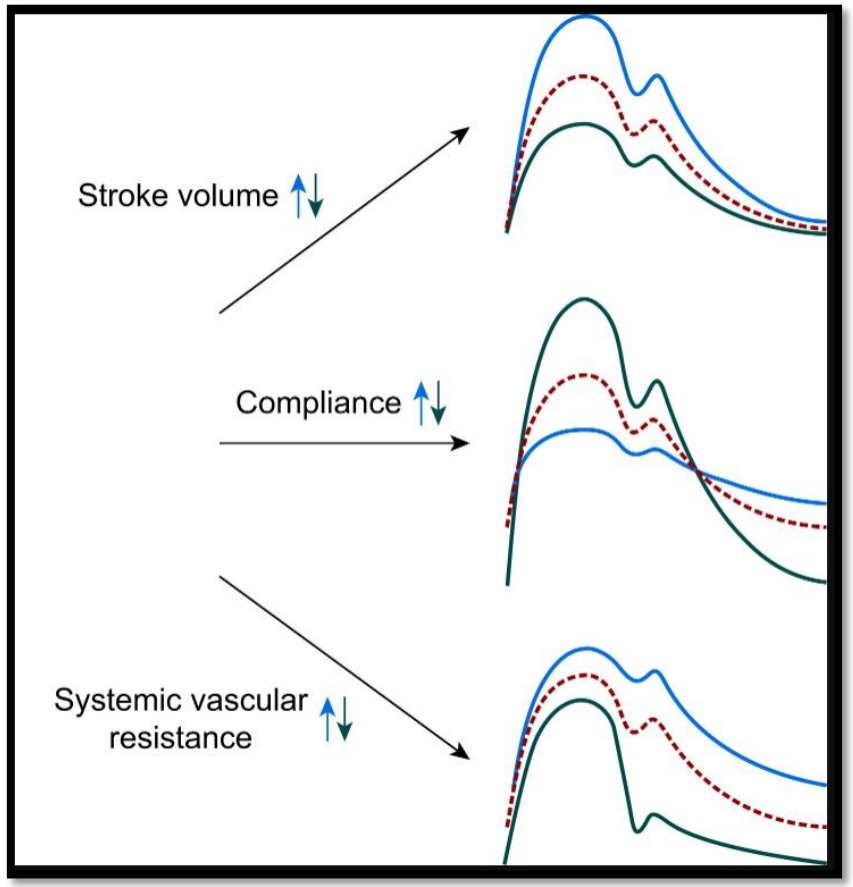
Patel, H. N., et al. (2021). Journal of the American Society of Echocardiography, 34(10), 1077-1085..
https://www.pocus101.com/measuring-cardiac-output-with-echocardiography-made-easy/

Výhody	Nevýhody / Limitace
Neinvazivní	Vyšetřitelnost
Opakovatelné – vývoj/trend	Měření LVOT
Reprodukovatelné	Incidenční úhel (podhodnocení)
Odpověď na tekutiny (PLR)	Regurgitace
Komplexní hodnocení funkce	Obstrukce LVOT (i dynamická)
Použitelné na VA ECMO	Fibrilace síní, četné extrasystoly
	Impella (lze užít RVOT)

Blanco, Pablo. *The ultrasound journal* 12 (2020): 1-9.

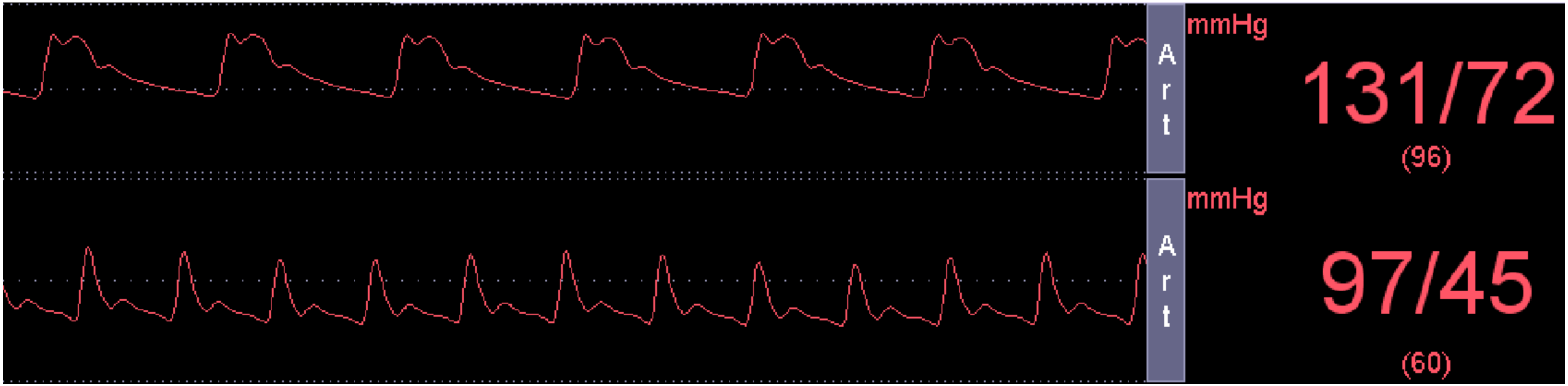
Analýza arteriální tlakové křivky
Pulse wave/contour/pressure analysis

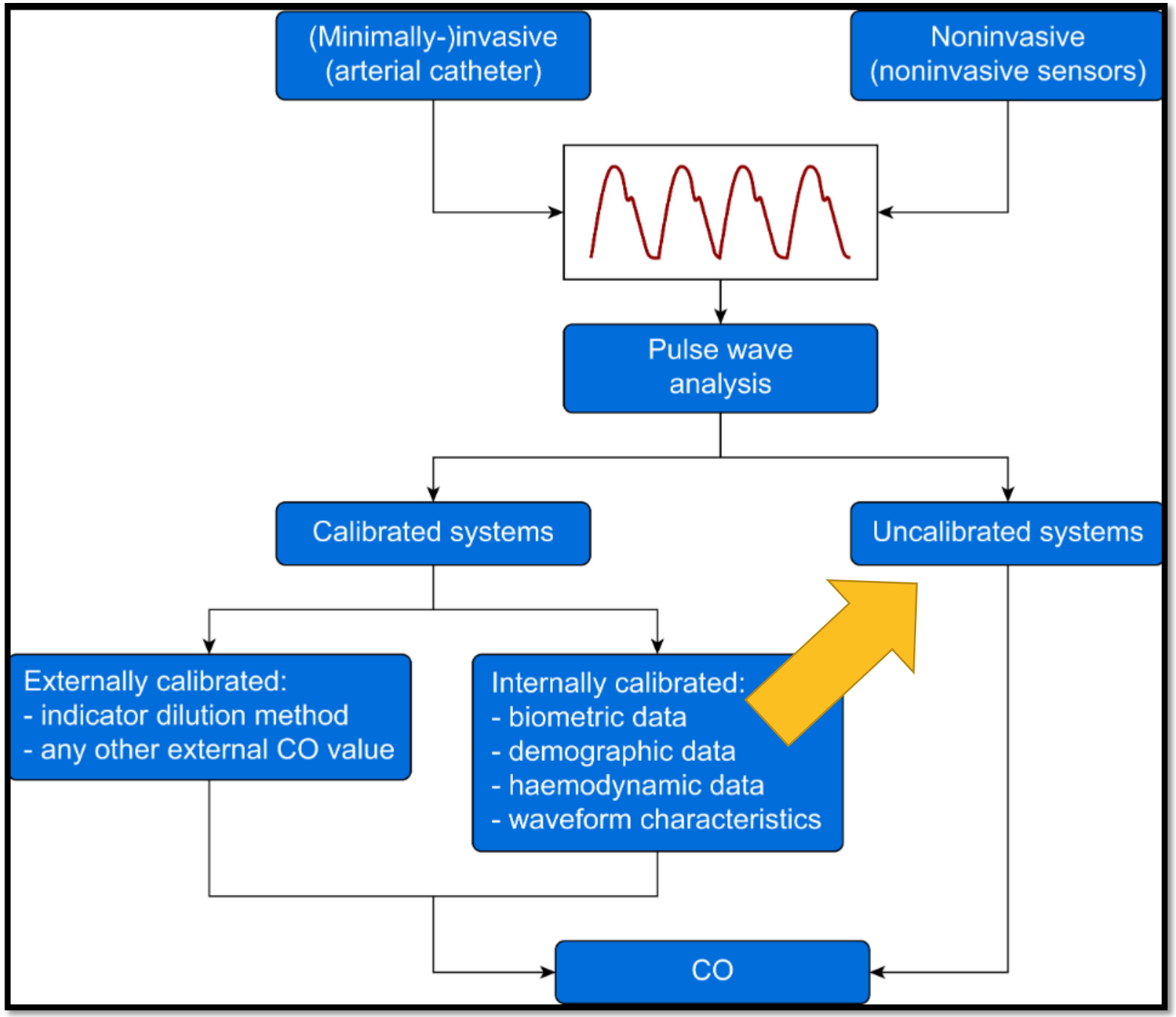
- Princip – SV může být kalkulován dle tvaru systolické fáze tlakové křivky a je úměrný amplitudě
- Nejen SV - compliance, Ao impedance a periférní arteriální rezistence



Alhashemi, Jamal A., Critical Care 15.2 (2011): 214.
Neinvazivní a invazivní monitorace hemodynamiky: na jednotce intenzivní péče, Petr Ostadal, Richard Rokyta et al.

Pohled na monitor





Alhashemi, Jamal A., *Critical Care* 15.2 (2011): 214.

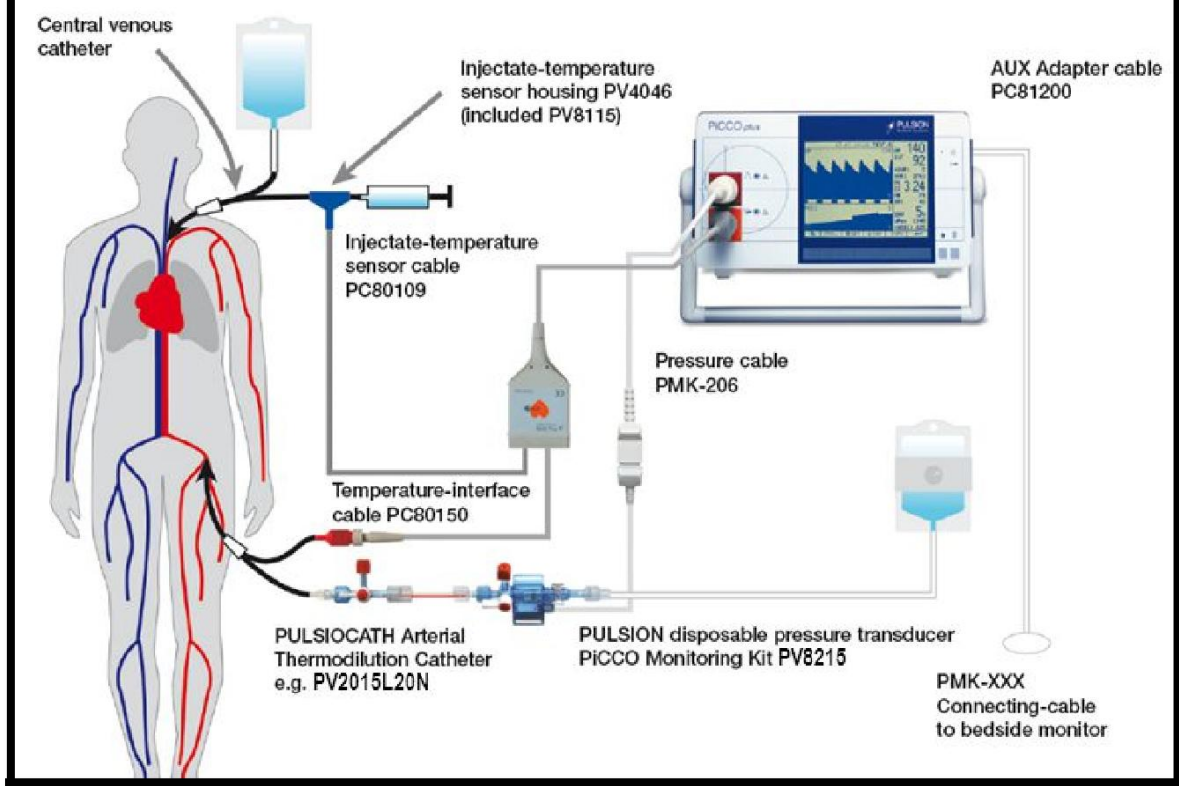
Nekalibrované systémy

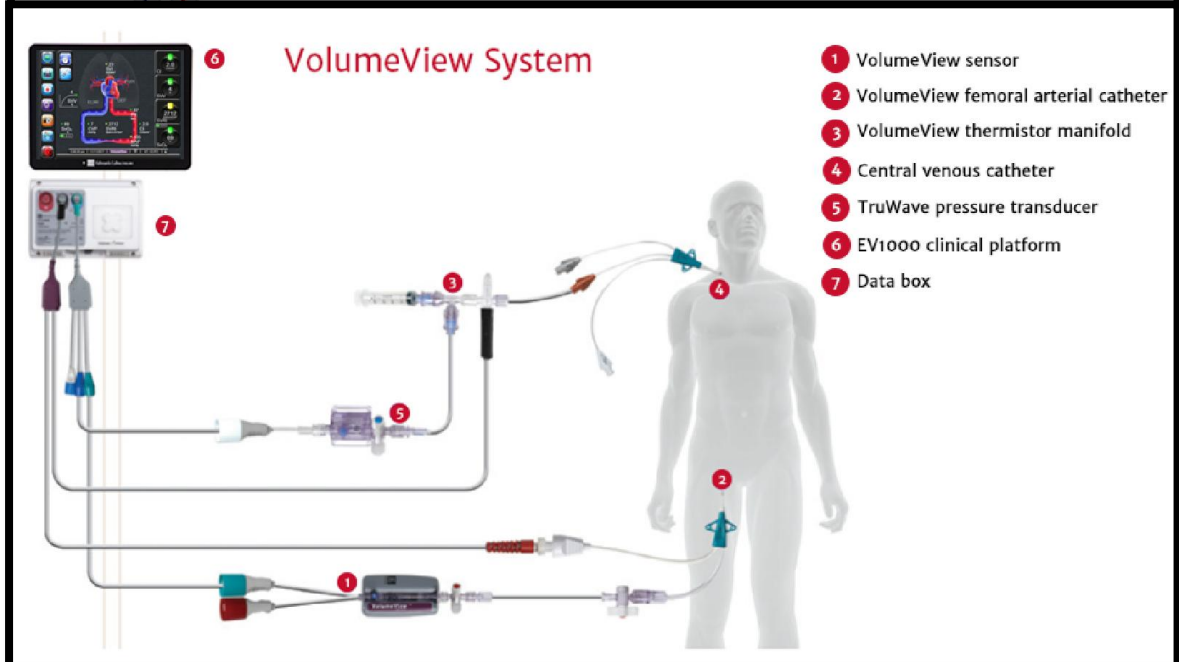
- Nutný pouze arteriální katetr
- Jednodušší
- Nepřesné (odhad compliance a impendance)
- Pozor u AoS, AoR
- Lehčí pacienti (trend nikoli hodnota)
- Flotrac, LiDCO rapid, Pulsioflex, MostCare

Alhashemi, Jamal A., Critical Care 15.2 (2011): 214.
Neinvazivní a invazivní monitorace hemodynamiky: na jednotce intenzivní péče, Petr Ostadal, Richard Rokyta et al.

Kalibrované systémy

- **Transpulmonální diluce (termodiluce/lithium)**
- Změna teploty CŽK - femorální tepna
- Přesnější než nekalibrované
- Přesnost klesá s dobou od kalibrace
- V případě nestability časté kalibrace
- PiCCO a VolumeView (přesné validační studie)
- LiDCO plus (lithium – cross reakce s rocuroniem a atracuriem)





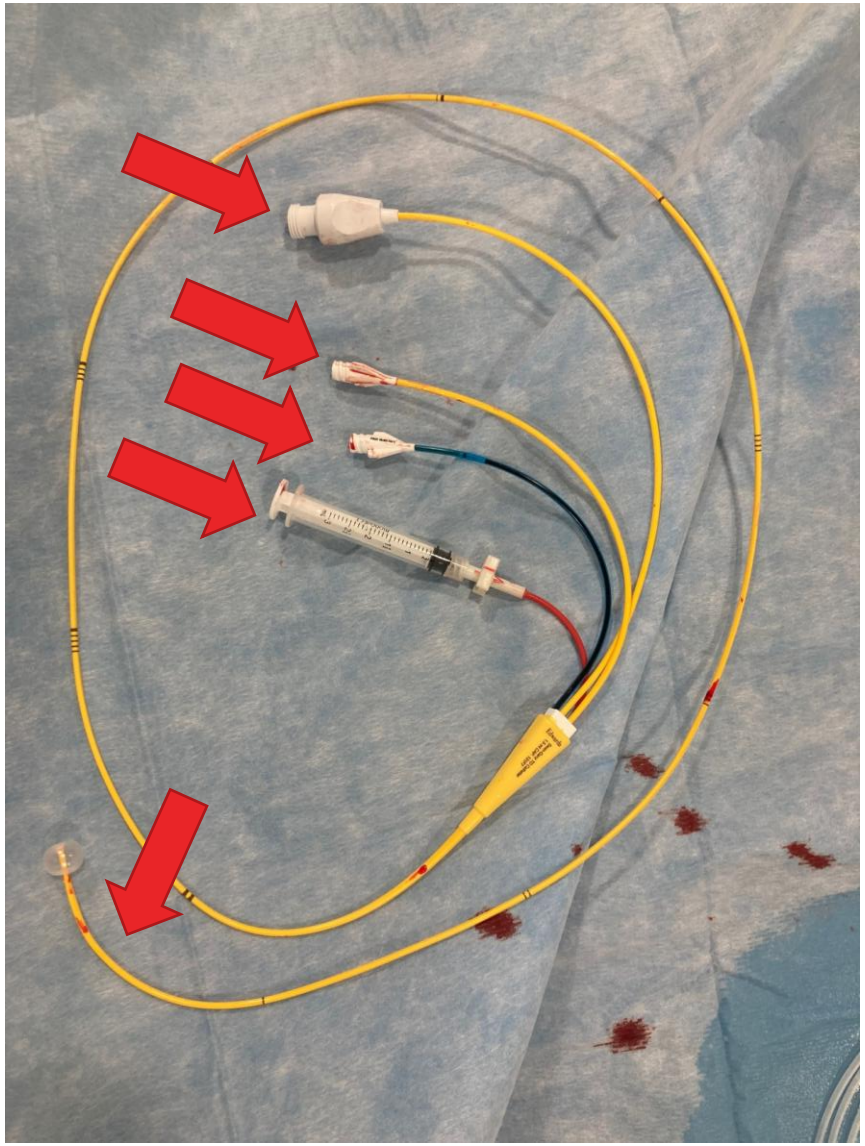
Alhashemi, Jamal A., Critical Care 15.2 (2011): 214.
Andreas Kruger in Neinvazivní a invazivní monitorace hemodynamiky: na jednotce intenzivní péče, Petr Ostadal, Richard Rokyta et al.

Výhody	Nevýhody / Limitace
Semiinvazivní	Nepřesné (absolutní hodnoty) u velmi nízkého CO ≤ 2 l/min
Kontinuální - trend	Artefakty, damping
Odpověď na tekutiny/intervence	Aortální regurgitace
Další parametry (SVV, EVLW, GEDV, GEF)	Arytmie
	Mechanické srdeční podpory
	Rychlé změny stavu/tonu
	Cena

Monnet, X., et al. *British journal of anaesthesia* 114.2 (2015): 235-243.

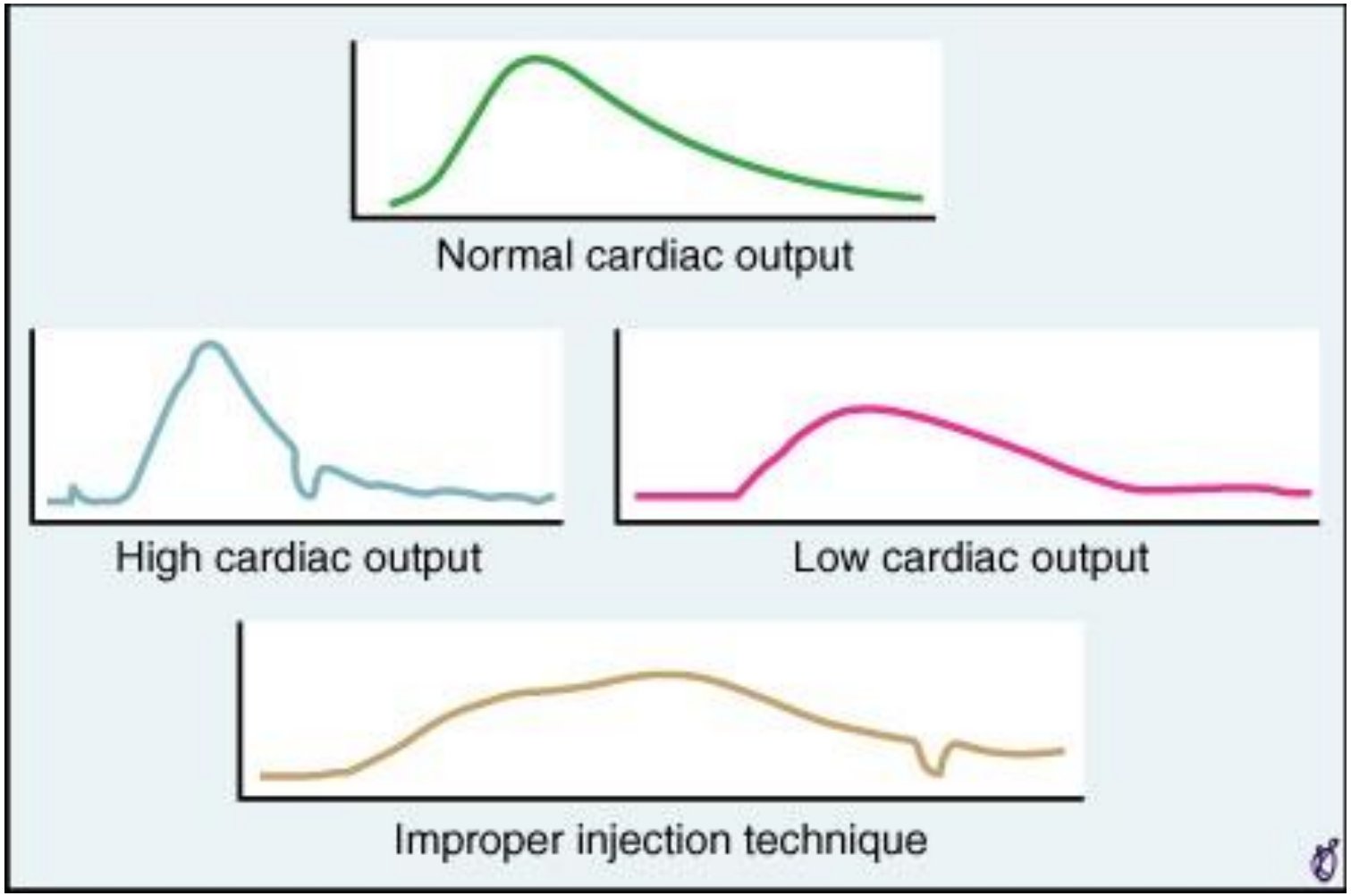
Plicnicový S-G katetr a měření CO

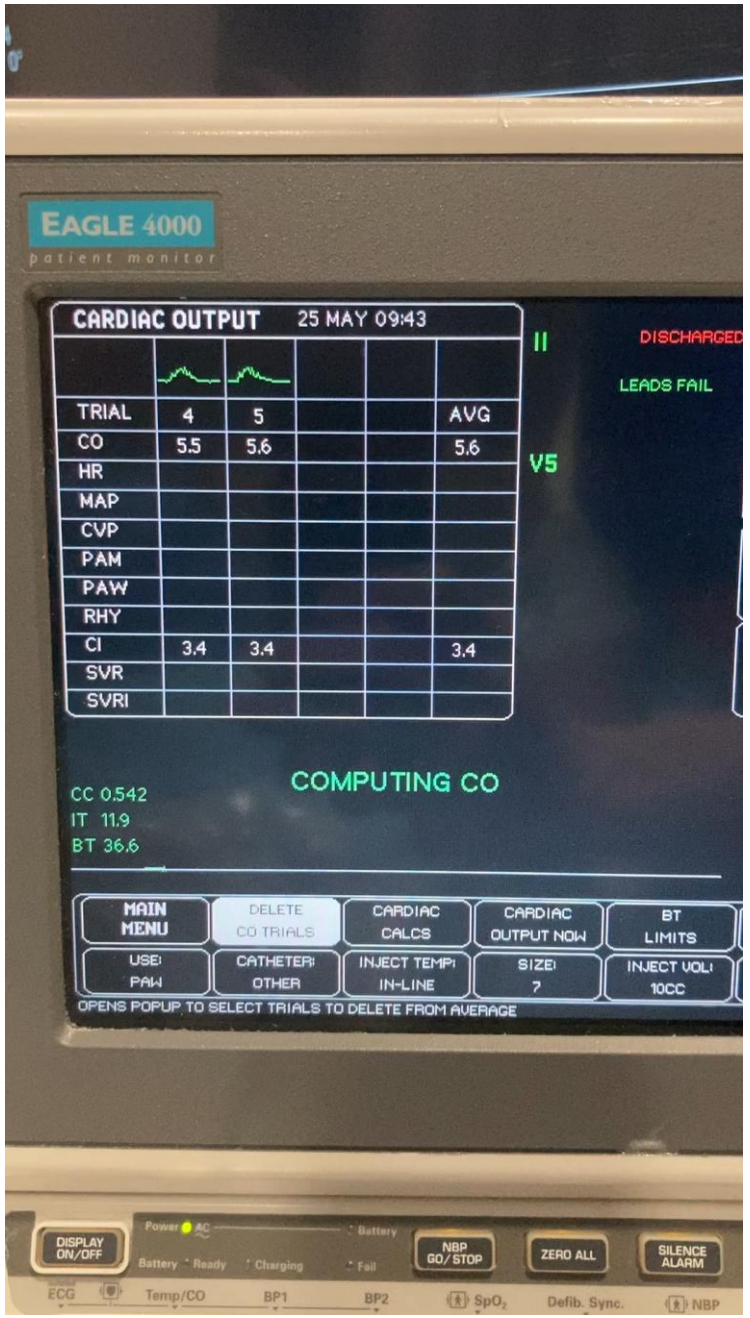
- Robustní klinická evidence
- Princip registrace **změn teploty** po vstříknutí definovaného objemu tekutiny
- **Intermitentní bolus** (roztok 10 ml o určené teplotě)
- **Kontinuální měření** (termofilamentum)
- Rezervované pro kombinované šoky a špatnou odpověď na iniciální terapii



Thiele, Robert H., *Critical care medicine* 43.1 (2015): 177-185.

Stewart-Hamilton rovnice

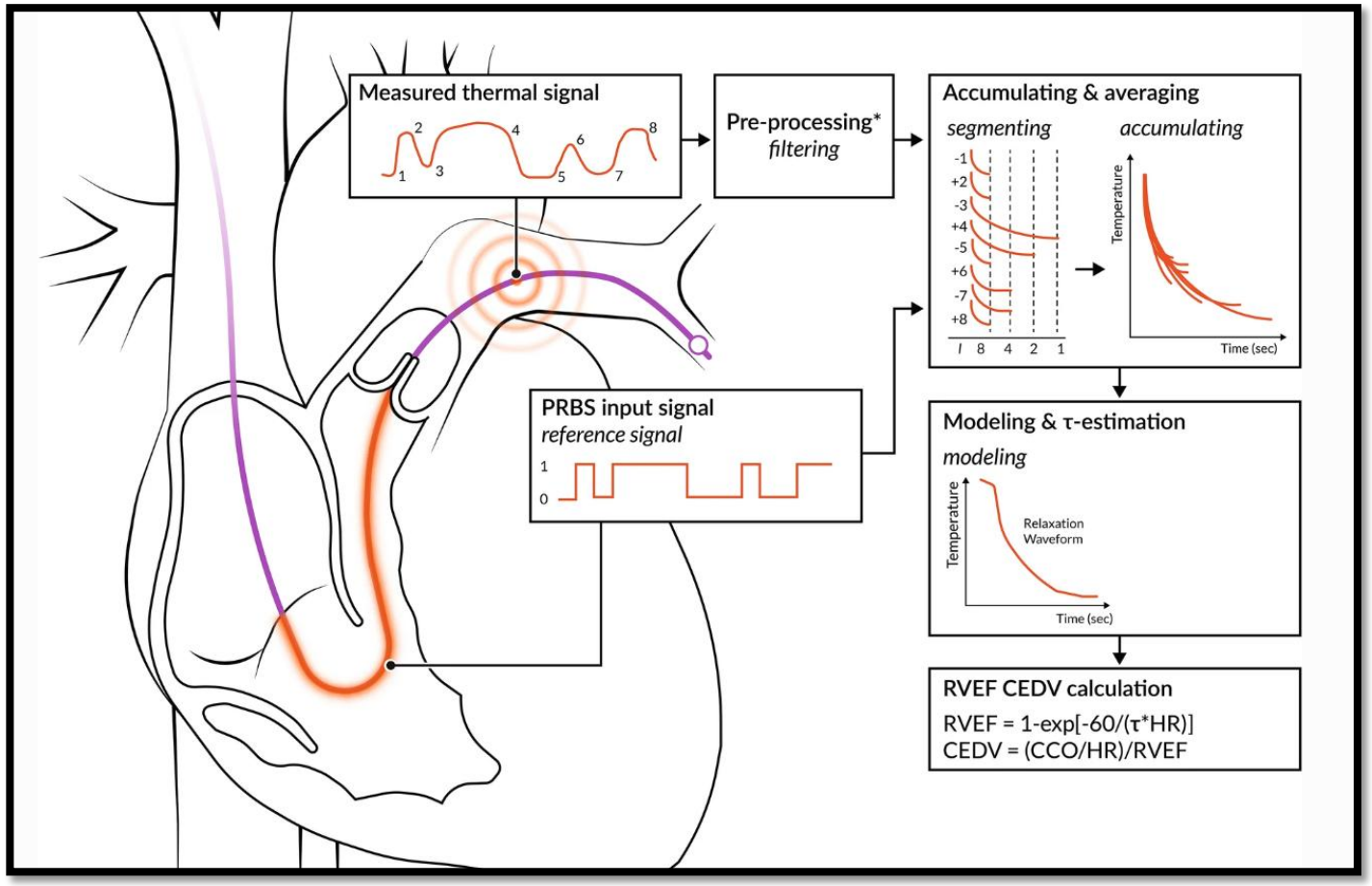




Kobe, Jeff, et al. *Annals of cardiac anaesthesia* 22.1 (2019): 6.
Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine.

Kontinuální měření CO

- Nezávislé na aplikaci bolusu
- 10 cm termofilamentum v PK
- Teplotní pulzy 30-60s
- Vysoká frekvence vzorkování
- Infuze - ↓ T a ↓ CO



Bootsma, I. T., et al. Journal of clinical monitoring and computing (2021): 1-15.

Výhody	Nevýhody / Limitace
Zlatý standard, evidence	Invazivní, komplikace
Kontinuální - trend	Chyby v měření (teplota, objem, poloha katetru)
Komplexní HD profil (PCW)	Zkraty (L→P nadhodnocení)
Impella	Trikuspidální reg. (typicky podhodnocení)
	VA ECMO
	Hypotermie
	Arytmie

Monnet, X., et al. *British journal of anaesthesia* 114.2 (2015): 235-243.

Měření CO na VA ECMO

- Vlastní a extrakorporální průtok
- Zavedení plicnicového katetru před / poté pod skiaskopickou kontrolou
- Zásadní echokardiografie, termodiluce zkreslená, analýza arteriální křivky nepoužitelná

Table 1. Validity of monitoring during extracorporeal membrane oxygenation

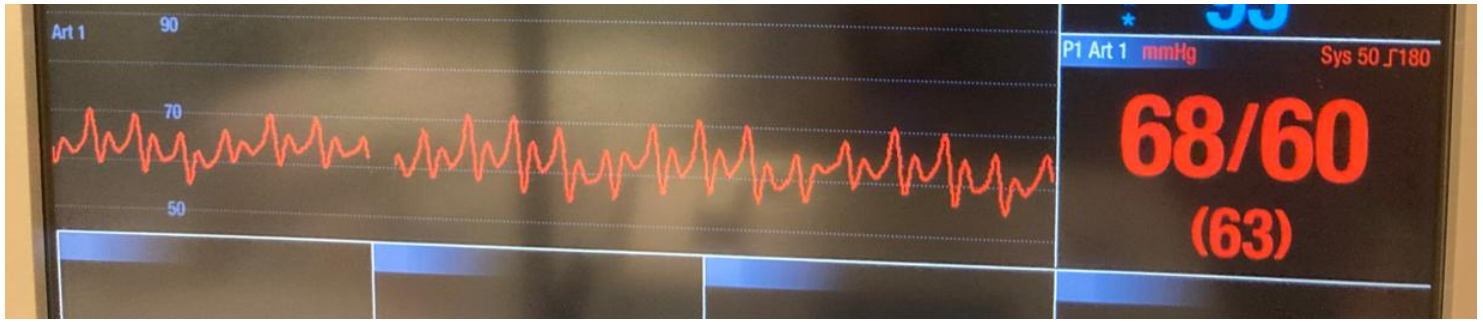
	VV ECMO	VA ECMO	Comment
Venous oxyhemoglobin saturation	Potentially valid	Valid	Depends on the site of the venous cannula and how much recirculation is present. Note the arteriovenous saturation difference for those with arterial hypoxemia
Pulse oximetry	Usually valid	Lacks validity	During VA ECMO, lack of pulsatility and differential hypoxia make pulse oximetry invalid
Indicator dilution	Lacks validity	Lacks validity	May be valid during VV ECMO at low blood-flow rates
NIRS	Valid	Valid	May also be useful to monitor extremity perfusion during VA ECMO
LVOT VTI	Valid	Lacks validity	Can confirm the presence of LV ejection during VA ECMO
Pulse contour stroke volume	Valid	Lacks validity	
POCUS	Valid	Valid	But does not allow assessment of global perfusion during VA ECMO, and may not reflect LV function accurately when the ECMO circuit has unloaded the heart
PPV/SVV to predict fluid response	Lacks validity	Lacks validity	Value compromised by small tidal volume, reduced lung compliance, and ventricular dysfunction

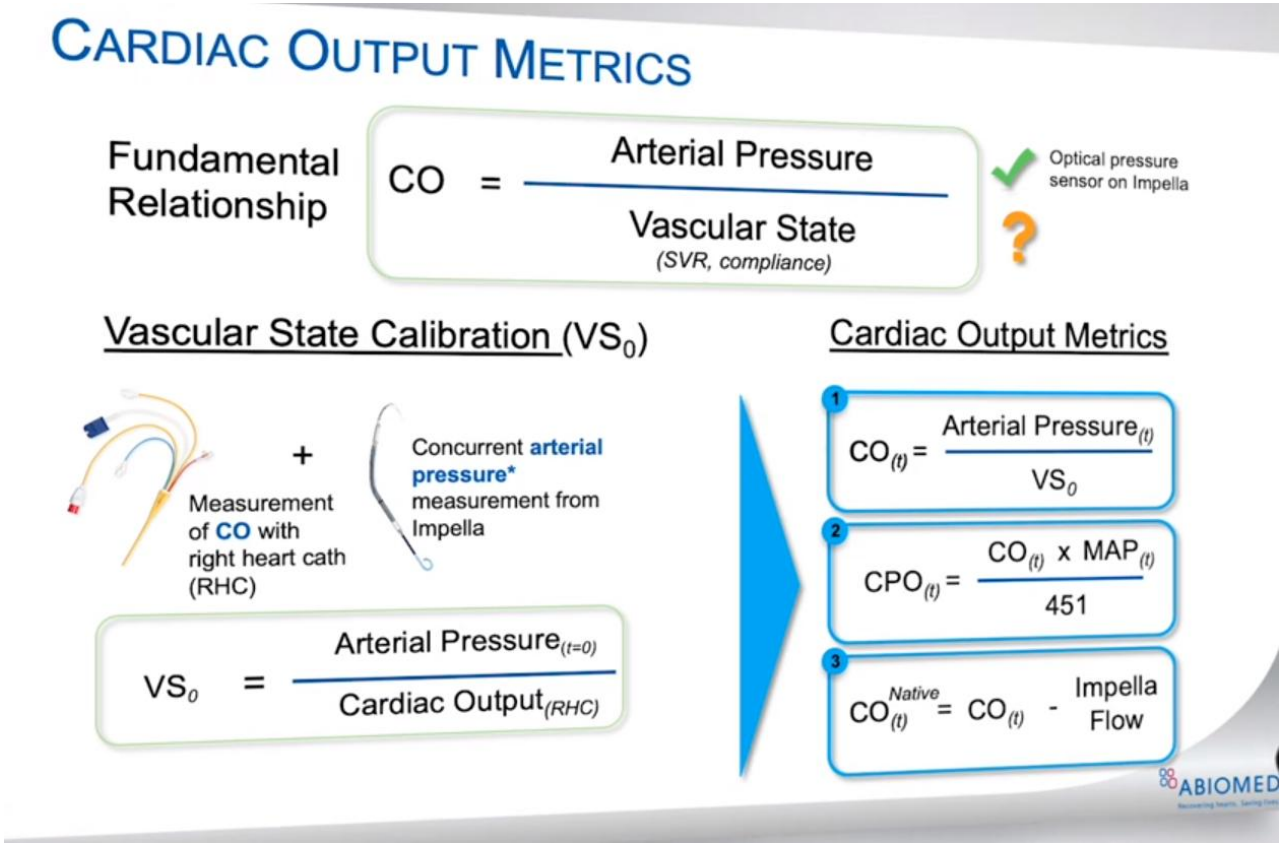
ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; LVOT VTI, left ventricular outflow tract velocity-time integral; NIRS, near-infrared spectroscopy; POCUS, point-of-care ultrasound; PPV, pulse pressure variation; SVV, stroke volume variation; VA, venoarterial; VV, venovenous.

Krishnan, Sundar, and Gregory A. Schmidt. Current opinion in critical care 25.3 (2019): 285-291.

Měření CO na Impella

- S-G katetr, teoreticky měření Doppler RVOT, nelze analýzu art. křivky





Závěr

- Volba metody měření CO je **individuální** dle stavu pacienta s vědomím výhod a nevýhod/limitací metody.
- Měření **Doppler TTE** je základem (u všech pacientů vstupně).
- Měření pomocí plicnicového katetru zůstává zlatým standardem.
- Sledování **trendu** je často důležitější než absolutní hodnota.
- Hodnocení **v kontextu** situace a ostatních (HD, lab) parametrů.
- **Monitorace - interpretace - odpověď** může ovlivnit prognózu pacienta.

Děkuji za pozornost

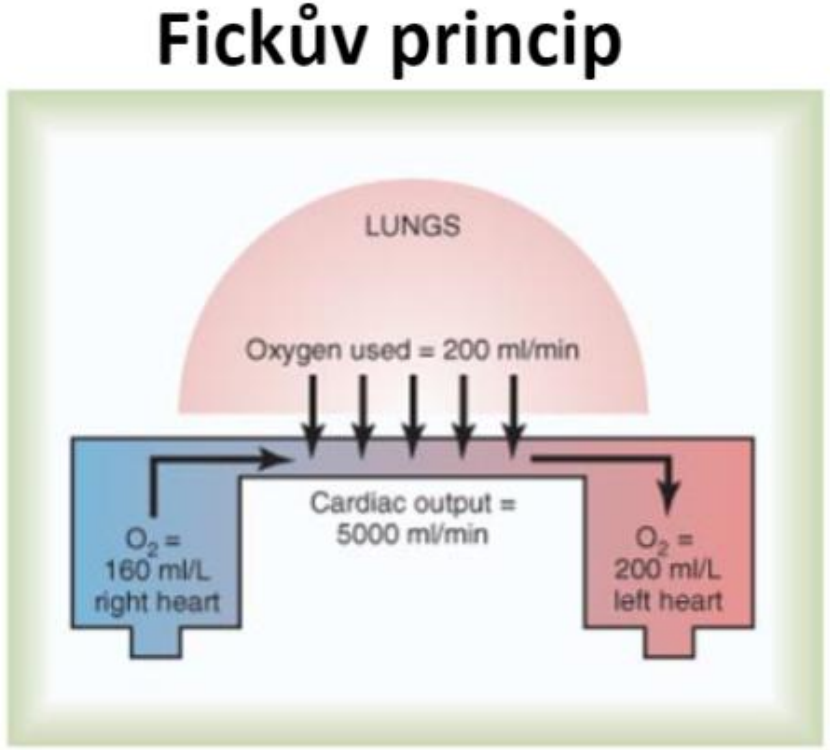
Extremes of mechanical support

Porizka, M., Rulisek, J., Flaksa, M., Otahal, M., Lips, M., Belohlavek, J., & Balik, M. (2022). Dual veno-arterial extra-corporeal membrane oxygenation support in a patient with refractory hyperdynamic septic shock: a case report. *Perfusion*, *37*(3), 306-310.

Fickův princip

- Zákon zachování hmoty
- Příjem a výdej substance z orgánu = krevní průtok x AV rozdíl koncentrace
- **CO = VO2 / ([CaO2-CvO2] × 100)**

- Modifikace - spotřeba O2 podle normogramu/rovnice (nepřesné)



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

Thiele, Robert H., *Critical care medicine* 43.1 (2015): 177-185.