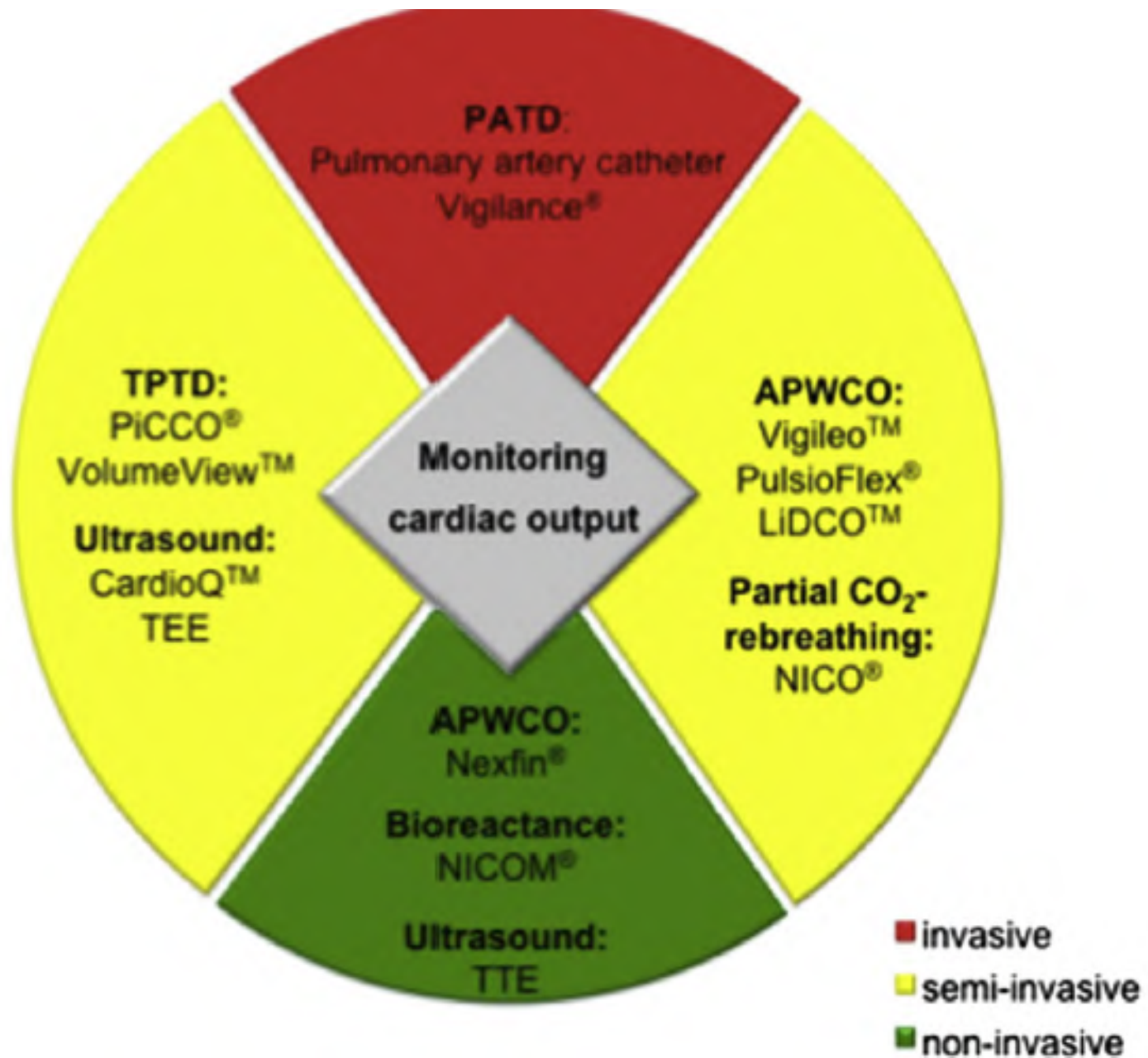


KARDİYAK FONKSİYON İZLEMİNDE MİNİMAL İNVAZİV MONİTÖRİZASYON

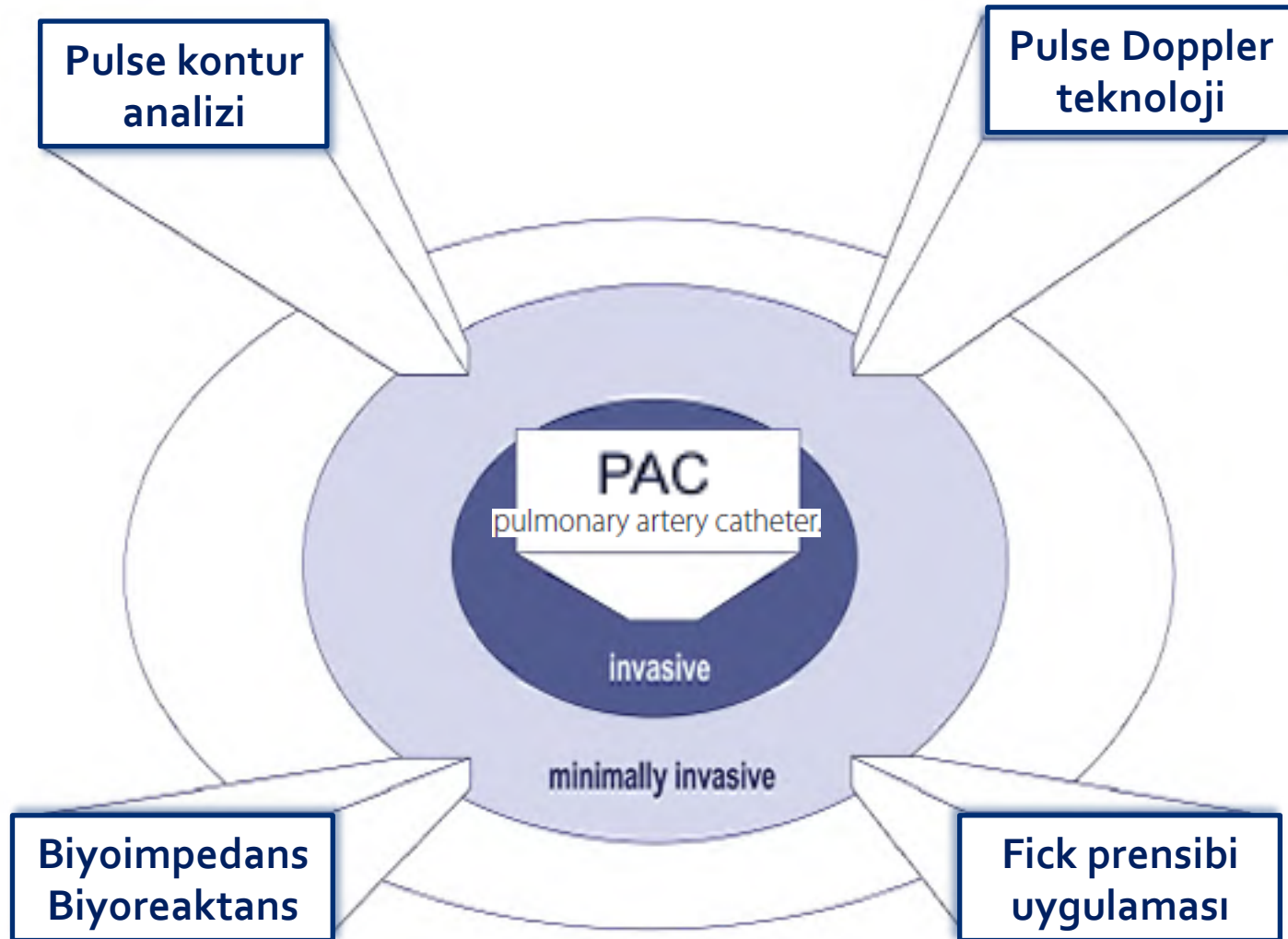
Prof. Dr. Ayşegül ÖZGÖK
Türkiye Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi
2014

- Hangi monitörler var?
- Kalp debisini ölçmek yeterli mi?
- Kalp debisini ölçmek için en iyi yöntem hangisi?

- Invaziv
- Minimal invaziv
- Non invaziv



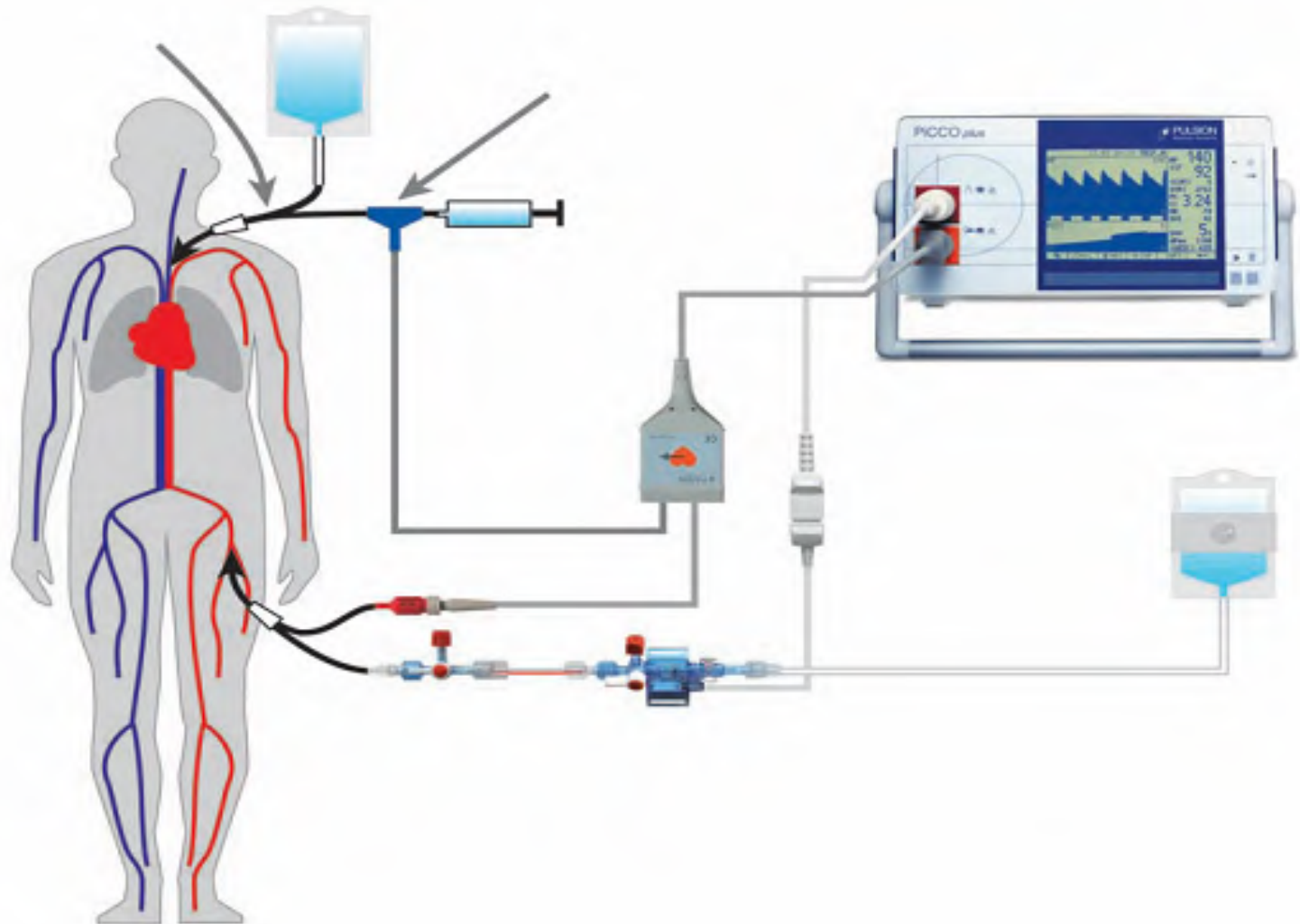
Minimal İnvaziv Monitörler



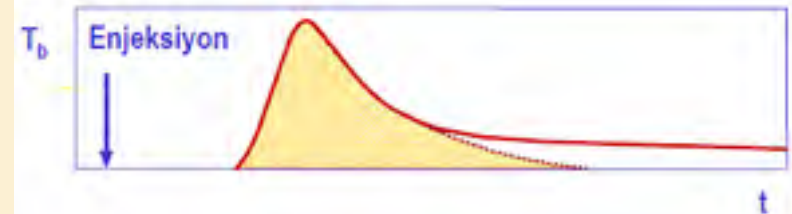
■ Transpulmoner termodilüsyon

- Santral venöz yol
 - Soğuk indikatör verilir
- Termistor uçlu özel arteriyel set
 - Kandaki ısı değişikliği tespit edilir

Transpulmoner termodilasyon



- Global enddiyastolik volüm (GEDV)
- Ekstra vasküler akciğer sıvısı (EVLW)
- Kardiyak fonksiyon indeksi (Kontraktilite)
- Ortalama geçiş zamanı (MTt)



Stewart-Hamilton metodu

$$CO_{TDa} = \frac{(T_b - T_i) \cdot V_i \cdot K}{\int \Delta T_b \cdot dt}$$

T_b = Kan sıcaklığı

T_i = Enjektat sıcaklığı

V_i = Enjektat hacmi

$\int \Delta T_b \cdot dt$ = Termodilüsyon eğrisi altında kalan alan

K = Kan ve enjektat sıcaklığına özel düzeltme sabiti

Klinik etki

- Yoğun bakımdaki kritik hastalar ve/veya yüksek riskli hastalarda avantajlıdır
- PAK yöntemine göre daha az invazivdir
- Santral venöz yol ve arteriyel yol bu tür hastalarda zaten bulunmaktadır
- İntra kardiyak şant varlığında eğri etkilenebilir
 - Kalp debisi ölçümü doğru
 - Volümetrik değişkenler yanlış (GEDV, EVLW)

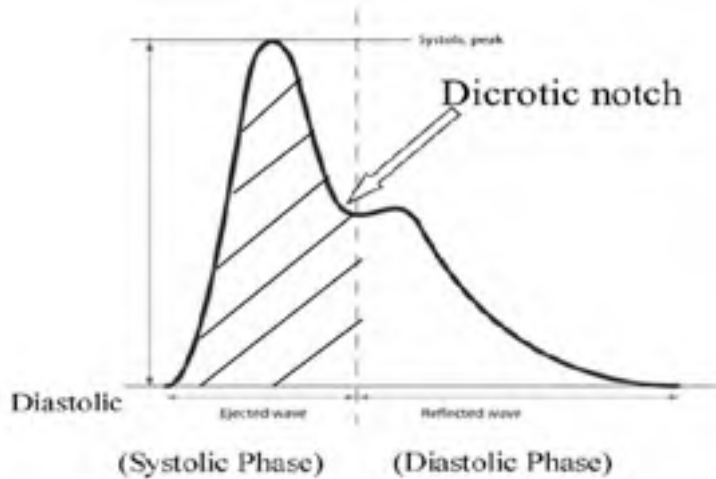
Pulse Kontur yöntemi kullananlar

- Kalibrasyon gerektirenler
 - PICCOplus, LiDCO plus, EV1000
- Kalibrasyon gerektirmeyenler
 - Temel nomogramlar antropometrik veriler kullanır
 - FloTrac /Vigileo, LiDCO rapid, Pulsio Flex, PRAM MostCare

Arter basınç dalga analizi

- Gerçek zamanlı strok volüm ölçümü
 - Pulse basıncı SV ile doğru orantılı
 - Vasküler kompliyansla ters orantılıdır

Pulse kontur analizi algoritmeleri



PiCCO system: Stroke volume is the area under systolic portion of arterial pulse waveform (shaded).

Porhomayon et al. *International Journal of Emergency Medicine* 2012, 5:18
<http://www.intjem.com/content/5/1/18>

Minimally Invasive Cardiac
Output Monitoring in the Year 2012
Lester Augustus Hall Critchley
<http://dx.doi.org/10.5772/54413>

- Basınç = Akım x Direnç
- Pulse basıncı kullanmak
- Pulsatil sistemde kapasitive ve rezistive iki element modeli (Windkessel model)
- 3. induktif element (model flow) (Wesseling model)
- Diyastolik komponent (Dikrotik çentik)
- Dolaşımdaki impedans ve kompiyansın kompensasyonu (Liljestrand-Zander model)

PICCOplus

- Termistor uçlu arter kateteri ve santral venöz yol gerekir
- Kalibrasyon için TPTD kullanır
- Arter dalgasının sistolik kısmının altındaki alandan SV hesaplar(Windkessel metod)
- Dalga şeklinin analiziyle, arteriyel kompliyans, SVR ve hastaya özel kalibrasyon faktörünü entegre eder
- Sık sık kalibre edilmeli



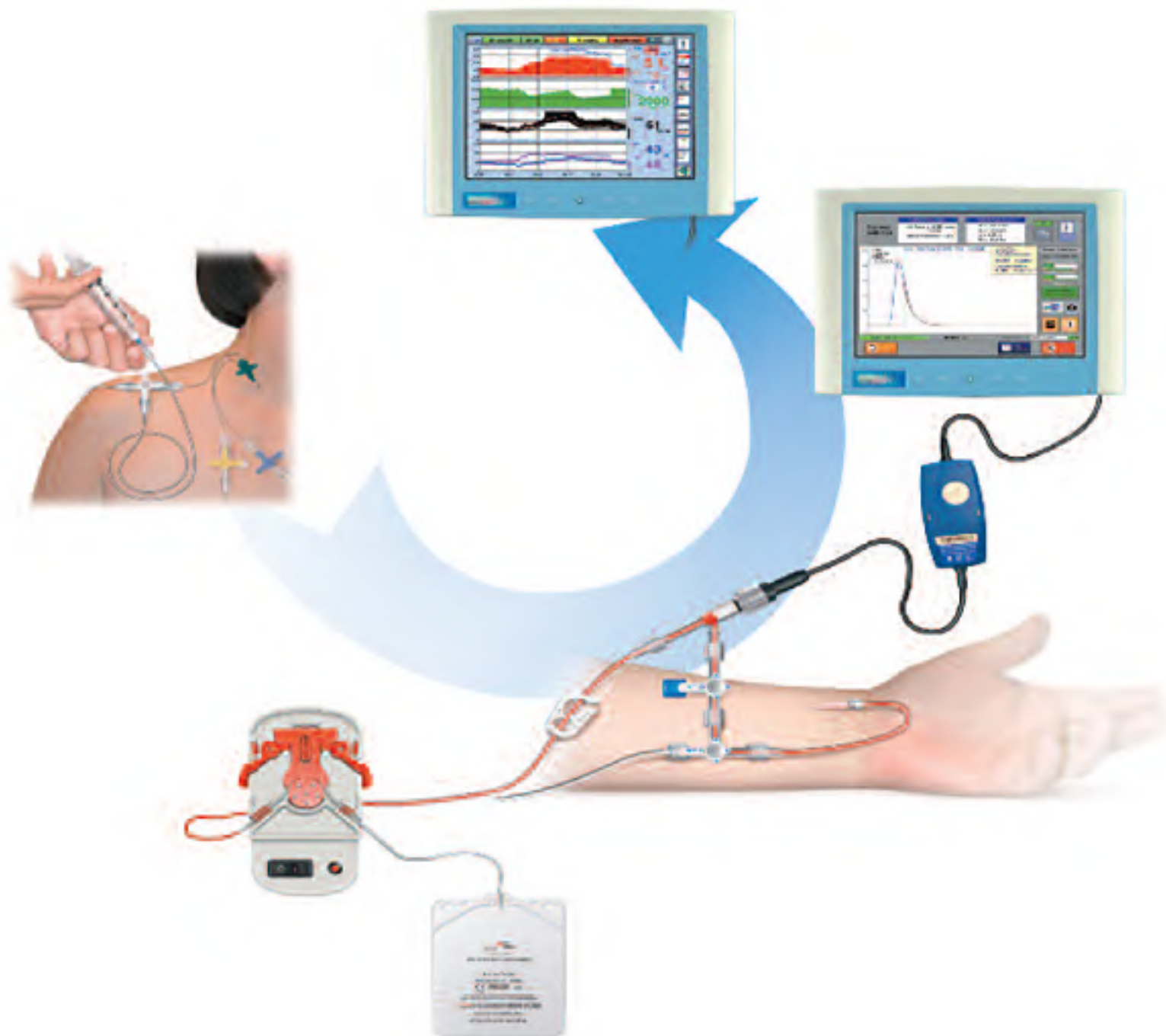
- Devamlı kalp debisi ölçümü
- Fonksiyonel parametreler
 - Strok volüm varyasyon (SVV)
 - Nabız basınç varyasyonu (PPV)
- Statik parametreler
 - İntratorasik kan volümü (ITBV)
 - Ekstra vasküler akciğer sıvısı (EVLW)
 - Kardiyak fonksiyon indeksi (CFI)

Klinik etki

- PATD CO a göre kabul edilebilir sonuçlar
- Hızlı değişen hemodinamik durumlarda ve farmakolojik destek alanlarda sık kalibrasyon
- PiCCO bazlı hemodinamik optimizasyon protokolleri tartışmalıdır
- Outcome ` a etkisini belirlemek için ilave çalışmalar gereklidir

LIDCOplus

- Periferik venden düşük doz Lityum enjeksiyonu
- Arteriyel yolda iyon seçici elektrod
- Lityum dilüsyon yöntemi
- Lityum konsantrasyon eğrisinin altındaki alan hesabı ile CO ölçülür
- Kalibrasyon gerekir
- Yüksek doz kas gevşeticilerden etkilenir (kros reaksiyon)
- LIDCO , PAK, PiCCO sistemleri arasında iyi uyum gösterilmiş



LIDCO rapid

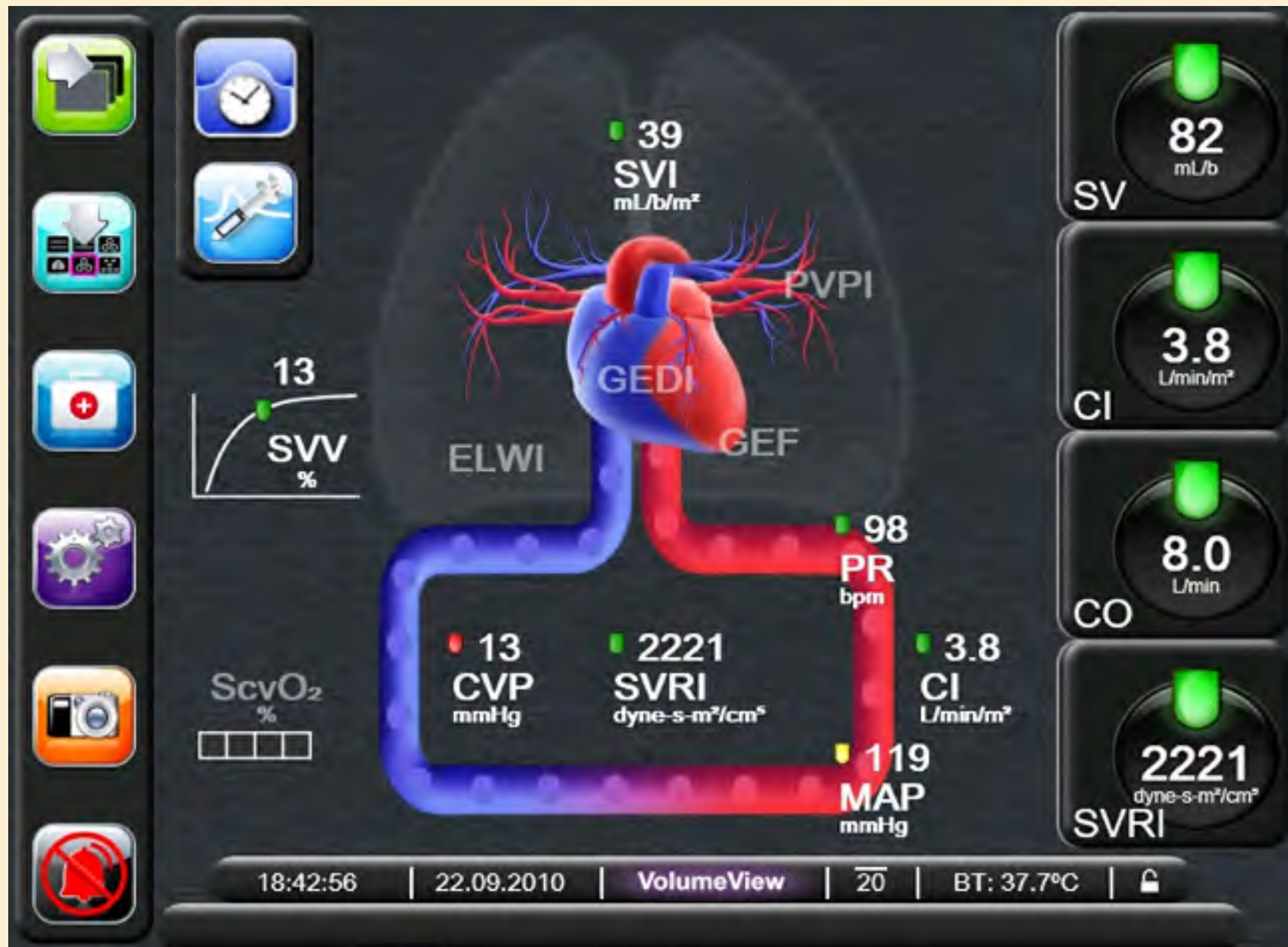
- Nomogramlar kullanır
- PulseCo algoritması kullanır
- Kalibrasyon gerekmez
- Kesin değerler vermez Trend analizi ile CO'un zaman duyarlı ölçümünü yapar
- Arteriyel yol gerekir
- Damar tonus değişiklikleri ve vazoaaktif ilaç uygulamasından etkilenir
- Yüksek riskli hastalarda sıvı cevabının tahmininde TPTD ve OD ile karşılaştırıldığında yetersiz kalmıştır

Broch O, Crit care 2011; 15:R76

NordstromJ, Br J Anaesth 2013; 110:374-80

EV1000 Vigileo

- TPTD kalibrasyonu kullanır
- Santral venöz yol ve termistor uçlu arter kateteri kullanır
- Vasküler tonus analizi yapar
- Fonksiyonel parametreler
 - CO, CI, SVV
- Statik parametreler
 - EVLW, GEDV

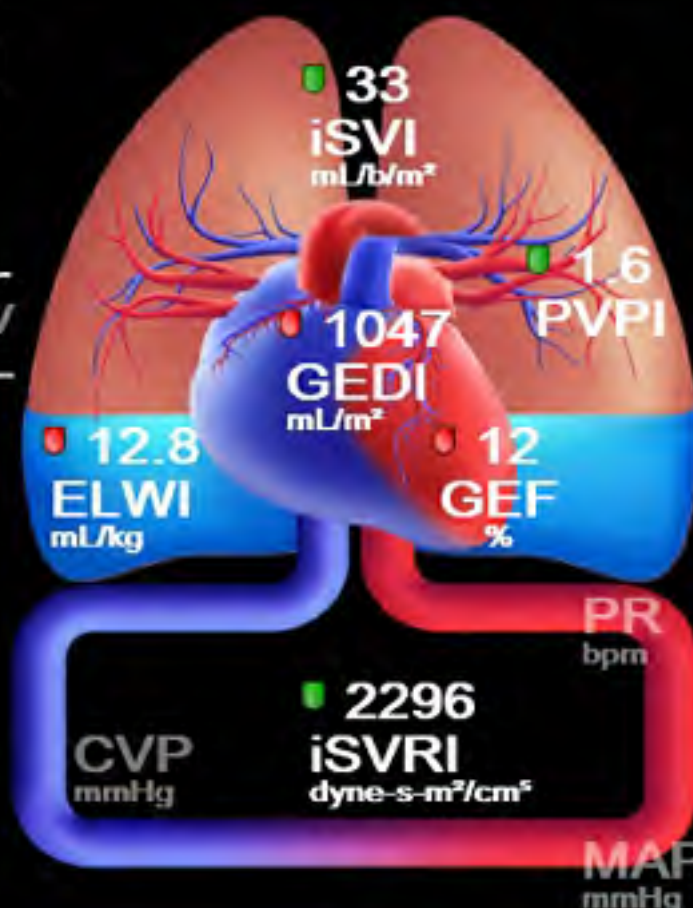




2:01 am
04/04/12



- 00:06



CI

2.2
L/min/m²

SVV

13
%

SVI

32
mL/b/m²

SVRI

2381
dyne-s-m²/cm⁵

2:08:30 am

04/04/2012

20

BT: 39.5°C



FloTrac

- Arteriyel basınç dalga analizi yapar
- Arteriyel yol özel FloTrac sensörüne bağlanır
- Dış kalibrasyon gerekmez, her 20 sn' de örnekleme 60 sn de kalibrasyon
- $CO = \text{Kalp hızı} \times APsd \times K$
- Sürekli SVV ölçümü
- Major abdominal cerr. de sıvı optimizasyonu

Benes J, et al. Crit care 2010 14(3):R118



Klinik etki

- Bugün 3. jenerasyon cihazlar
- Hiperdinamik ve vazoplejik hastaların basınç traseleri ile veri tabanı genişletilmiş
- PATD ve TPTD ile uyumlu sonuçlar
- Son validasyon çalışmalarında eski versiyonlarına göre bir fark yok
- Volüm yüklenmesi veya vazopressör verilmesi sonrası SV değişikliklerini izlemede yetersiz
 - Arteriyel artifaktlarda,
 - Aortik regürjitasyonda,
 - Yoğun periferik vazokonstrüksiyonda,
 - İrregüler pulse ve ciddi kardiyak hipofonksiyonda doğruluğu sorgulanmakta

Sotomi Y, et al. Masui 2011, 60(2):203-207

Biancofiore et al. Anesth analg 2011, 113:515-22

Hadian et al. Crit care 2010, 14:R212

PRAM

(Pressure Recording Analytic Method)

- Pulse kontur analiz ile CI ölçer
- Kalibrasyonsuz
- Basınç dalgasının bütün kısımlarını alır
- Ondaki düzensizliği kullanır
- Örnekleme hızı 1000Hz
- Diğer metodlarda kaybedilen önemli bilgileri korur
- Preload parametrelerini sağlamaz
- VAD, Hemofiltrasyon hastalarında da kull
- Çok fazla çalışma yok

Cardiac Index Assessment by the Pressure Recording Analytic Method in Unstable Patients With Atrial Fibrillation

Giulia Maj, MD, Fabrizio Monaco, MD, Giovannini Landoni, MD, Luigi Barile, MD, Davide Nicolotti, MD, Marina Pieri, MD, Giulio Melisurgo, MD, Federico Pappalardo, MD, and Alberto Zangrillo, MD

Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, Vol 25, No 3 (June), 2011: pp 476-480

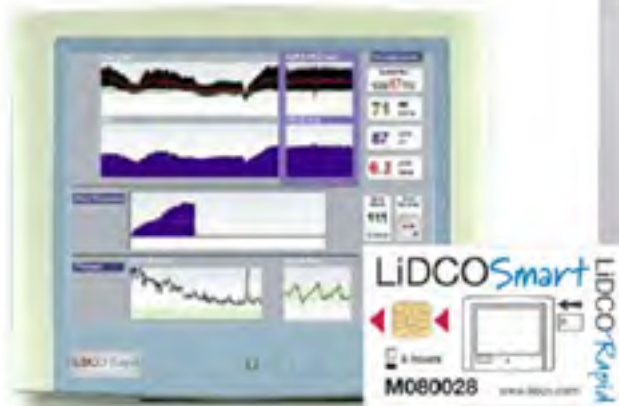
- Kalp cerrahisi sonrası 59 hasta, 94 ölçüm
- Yüksek doz inotropik , IABP ve CI <2 hastalar dahil
- Düşük doz inotrop alanlar ve CI >4.5 hariç
- PAK takılmış eş zamanlı ölçümler
- Bland-Altman analizi ile hata oranı %29
 - AF li hastalarda %69
 - IABP da %30
 - Hemofiltrasyonlularda %23
- Hemodinamik anstabil hastalarda TD yöntemiyle uyumlu bulunmuş

Pulse Kontur Monitörleri

FloTrac-Vigileo



PiCCO with femoral artery catheter that provides transpulmonary thermodilatation



LiDCO with user card



PRAM-MostCare

Noninvasive Cardiac Output Monitors: A State-of the-Art Review

Paul E. Marik, MD, FCCM, FCCP

Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, Vol 27, No 1 (February), 2013: pp 121-134

Overview of the Pulse Contour-Based Hemodynamic Monitoring Devices⁴³

System Characteristic	ReTrac System	PiCCO System	LiDCO System	PRAM
Arterial waveform analysis	SD of 2000 arterial waveform points	Area under the systolic portion of the arterial waveform	RMS method applied to the arterial pressure signal	Area under curve
Requirements	Peripheral or central arterial catheter	Central arterial catheter and subclavian or IJ CVC	Peripheral or central arterial catheter	Peripheral or central arterial catheter
Calibration	Uncalibrated/Internal	Transpulmonary thermodilution	Lithium Indicator dilution Manual	Uncalibrated/Internal Automatic
Recalibration	Automatically		Manual	
Indicator	None	Saline	Lithium	None
Additional parameters		SVV	SVV, PPV, GEDV, EVLW, SVR	SVV, PPV
Advantages	Minimally invasive Operator independent Easy to use	Broad range of hemodynamic parameters More robust during hemodynamic instability	Minimally invasive More robust during hemodynamic instability	Minimally invasive
Disadvantages	Inaccurate especially in vasoplegic patients Does not accurately track changes in SV	More invasive	Requires lithium	Few validation studies

ProAQT pulsioflex

- Kan basınç ölçüm sistemine entegre edilebilir
- Arteriyel basınç dalga analizi
 - Akım değişkenleri (SV, CO)
 - Volüm değişkenleri (PPV SVV)
 - Afterload (SVRI)
 - Kontraktilite (kardiyak power indeks)
- PICCO teknolojisi
- Ayrıca manuel kalibrasyon
- CO ölçümünün doğruluğuyla ilgili çalışma yok

Özofageal Doppler

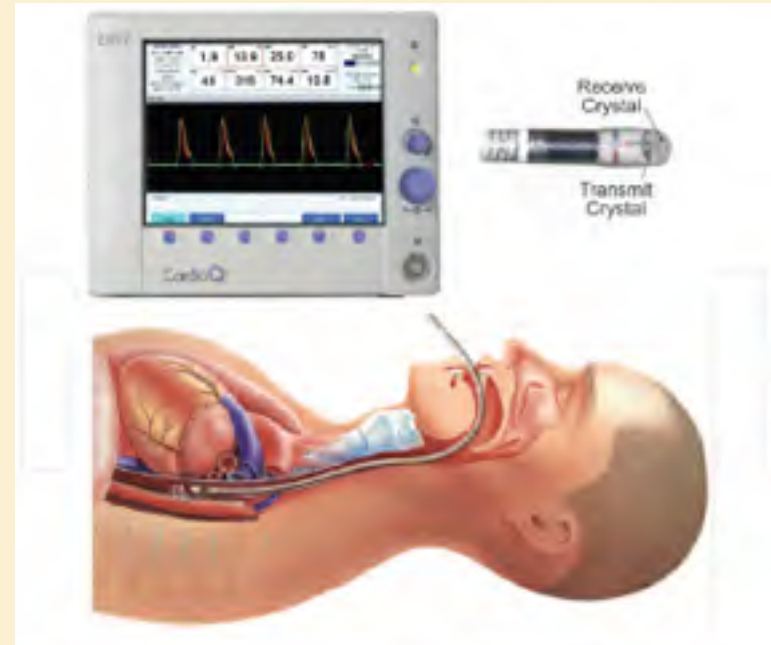
- Desendan aortadan özofageal fleksibl prob ile kan akımını ölçer
 - Kesit yüzey alanı (M mod veya nomogram)
 - Kan akım hızı (pulse wave Doppler)

$$SV = v \times ET \times CSA$$

- Total CO'un % 70 desenden aortaya
- %30 koronerler , üst ekstremiteler ve beyine gider
- SV nomogramlardan hesaplar

Özofageal Doppler

- Özofagus ve aortanın paralel olduğu seviyeye yerleştirilmelidir (35 cm) T5-6 aralığı
- Aortik kesit alanı sabit kalmalı
- Desandan aort akımı total akımın sabit oranı olarak kalmalı
- Yeni cihazlar 2 US transduseri içerir



Özofageal Doppler Avantajları

- Kolay kullanım
- Entübe hast YBÜ de günlerce kull
- PAK ile uyumlu
- Sürekli ölçüm sağlar

Özofageal Doppler

Dezavantajları

- Sadece total debinin tahminini verir
- AD,AY, torasik aort hast yanlış sonuç
- Des. Ao kan oranı hemodinamik instabilitede değişebilir
 - Hamilelik, aortik kros klemp, KPB sonrası
- Probu TEE probundan ufaktır, pozisyon değişebilir
- Kullanıcıya bağımlıdır (deneyim)
- Aort çapı kişiye göre değişebilir (nomogram)
- Entübe olmayanlarda kolay uygulanmaz
- Özofagus patolojisi olanlarda uygulanmaz
- Doppler sinyali için akustik pencere bazılarında yetersizdir.

Klinik etki

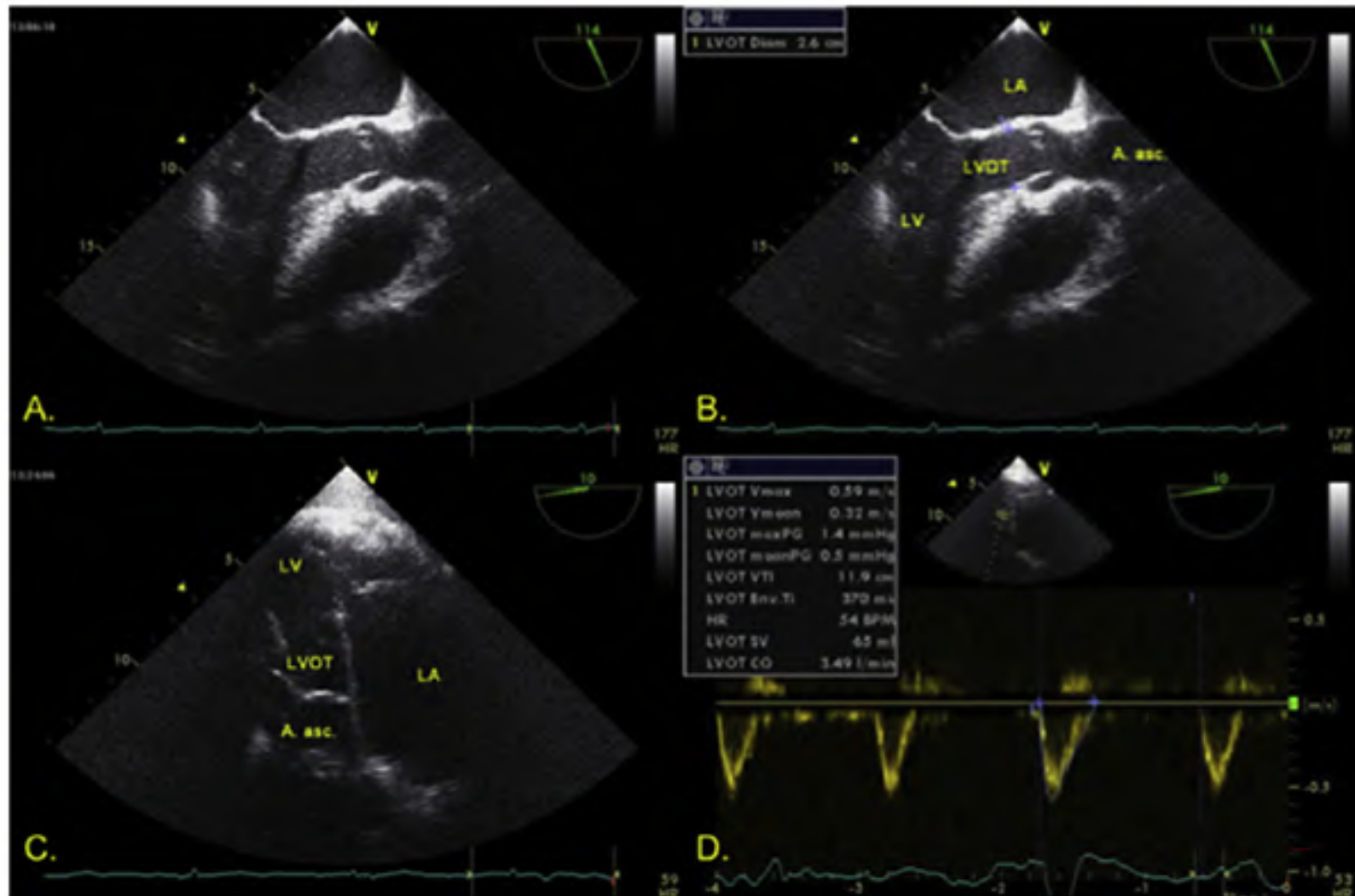
- İntraoperatif global hemodinami ve sıvı optimizasyonu
- Trend olarak CO ölçümünde yararlı olabilir
- PAK ile iyi korelasyon
- İngilterede major ve yüksek riskli cerr. de kullanılmakta

Dark PM et al. Intensive Care Med 2004 30(11):2060-2066
Seoudi HM et al. J Trauma 2003, 55(49):720-25

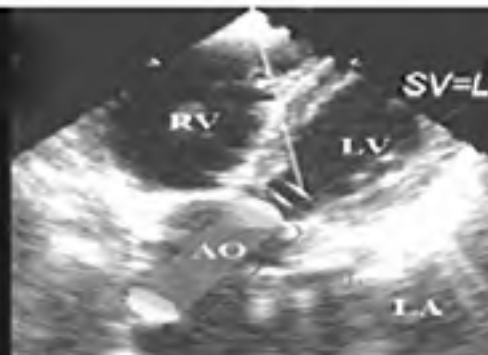
Ekokardiyografi

- Kardiyak anatomi ve akım dinamikleri direk izlenir
- Perikardiyal tamponad, elektromekanik disosiasyon ayrımı
- Acilde resüsitasyonun etkinliği
- Hemodinamik durum açıklanamayan hipotansiyon, konjestif kalp yetmezliği, pulmoner emboli hızlıca değerlendirilebilir
- Duvar hareket bozuklukları, preload için IVC kollapsibilitesi
- Dezavantajları:
 - Eğitim gerekli
 - Trend analizi için uygun değil

Transözofageal Ekokardiyografi



40dB 2 +/-1/0/1
Pw Depth= 74mm
Pw Gate= 3.0mm



$$SV = LVOT(area) \times LVOT(VTI)$$

PW:2MHz

0.20

m/s

0.80

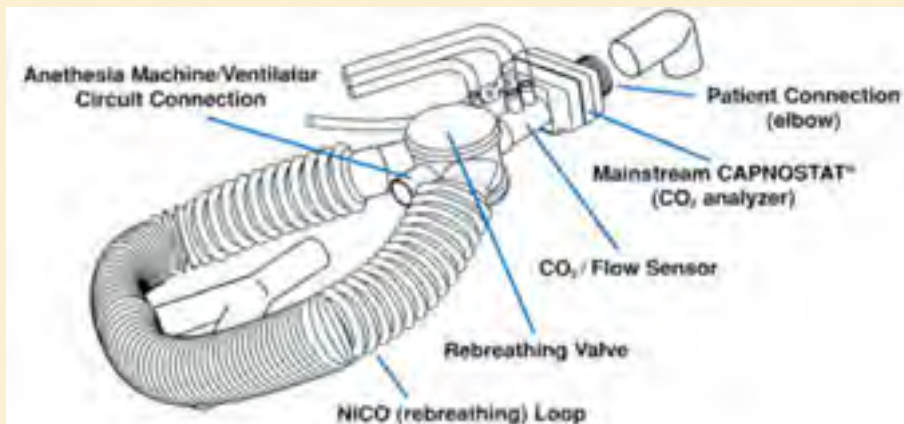
LVOT vti

Fick prensibi (NICO)

$$Q = \frac{VO_2}{(CaO_2 - CvO_2) \times 10}$$

$$Q = \frac{VCO_2}{(CvCO_2 - CaCO_2)}$$

- Fick prensibinin CO₂ uyarlaması
- Entübe ve mekanik ventile edilen hastalarda 3 dk da bir pnömatik valv ölü boşluğu 50 sn lik periyodlarla uzatarak dışarı verilen gazların reinspirasyonu sağlanır.
- Ortaya çıkan CO₂ üretimi ve endtidal CO₂deki değişimler kullanılarak CO hesaplanır



Fick prensibi (NICO)

Doğruluğu azaltan faktörler;

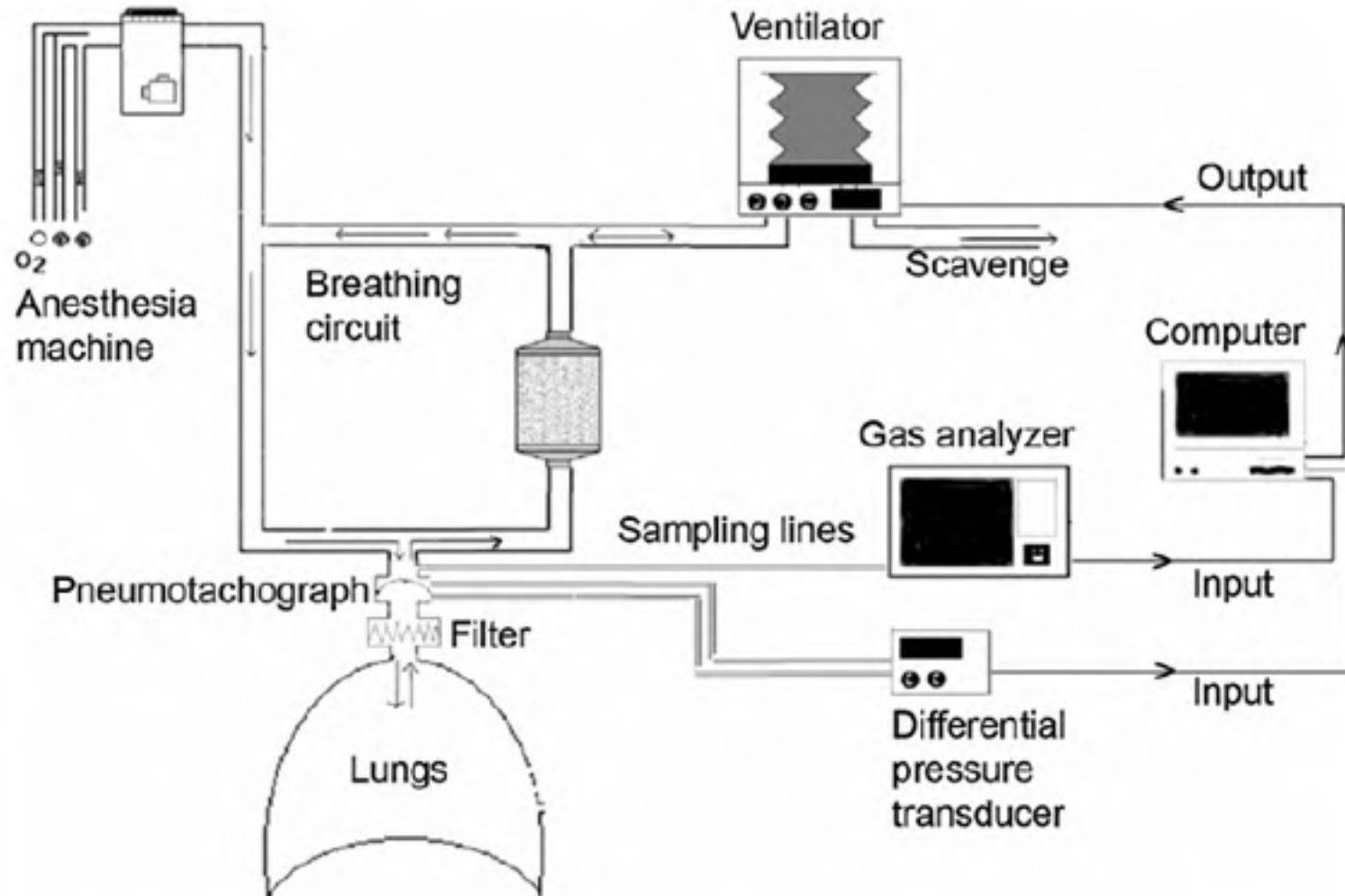
- Ventilasyon modlarındaki değişiklik
- Mekanik asiste spontan solunum
- Şant fraksiyonu artmış akciğer hast.

Continuous minimally invasive peri-operative monitoring of cardiac output by pulmonary capnotracking: comparison with thermodilution and transesophageal echocardiography

Philip J. Peyton

[Journal of Clinical and Computing Monitoring](#)

April 2012, Volume 26 Issue 2, pp 121-132



- Modern anestezi cihazına entegre edilerek otomatik ölçmektedir (prototip)
- Bazal ölçümler sonrası alveoler ventilasyonda kısa bir değişiklik yapılır
- CO değişikliklerinin soluktan soluğa monitorizasyonu
- Anstabil hemodinami sırasında pulm kan akımı değişikliklerini doğru olarak yansıtabilmiştir
- TD ile karşılaştırılmış
 - Hata oranı %44, konkordans %80
- Ventile edilen hastalarda periop monitorizasyon için bir alternatif olabilir

Klinik geçerlilikleri

- Yeni monitör referans metoddan daha iyi veya onun kadar iyi performans gösteriyorsa klinik pratiğe kabul edilebilir
- İki önemli konu,
 - Bireysel okuma doğruluğu (doğru ölçüyor mu?)
CO düşük mü? Yüksek mi?
 - Değişiklikleri tespit edebilme yeteneği (trend)
Tedaviye hemodinamik cevaptaki değişiklikleri takip etmek
- Bu iki yönden değerlendirmek için gereken klinik veriler ve istatistiksel analizler farklıdır

İstatistiksel yöntemler

Korelasyon

Bland-Altman

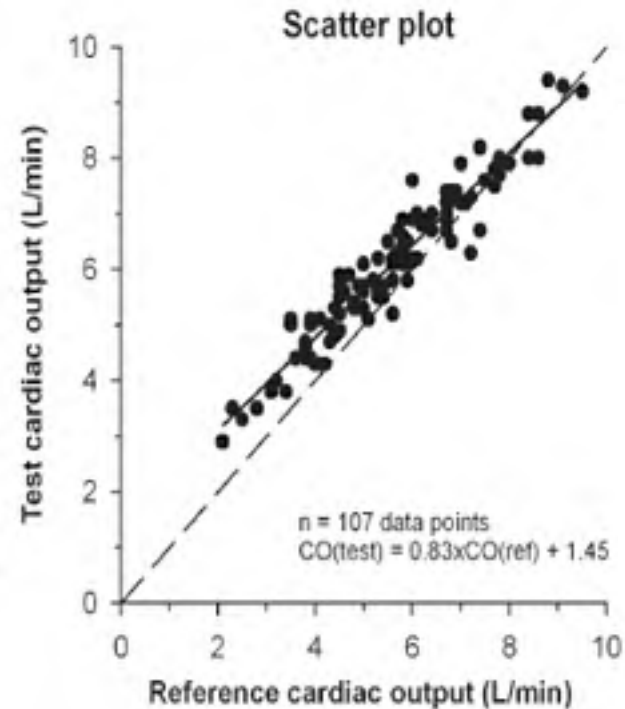
4 Kadran plot

Polar plot

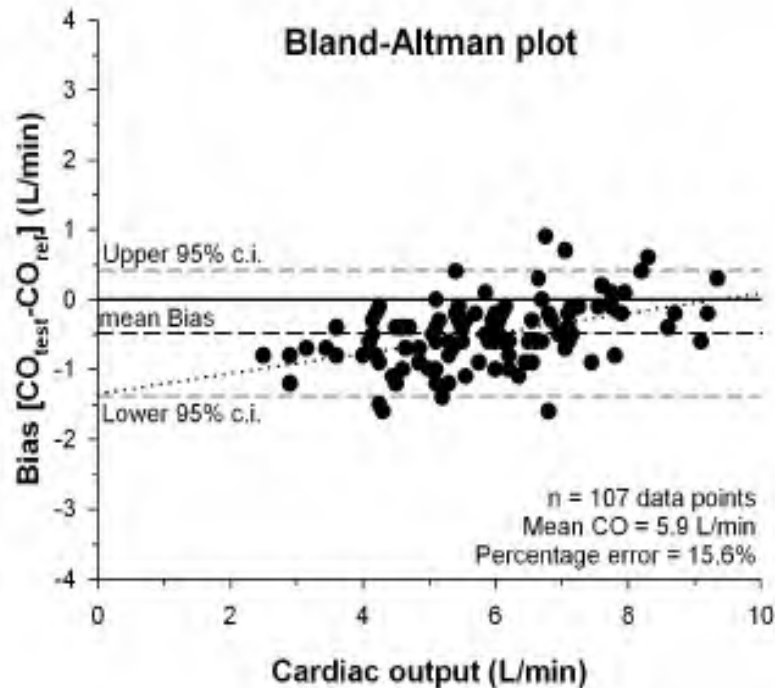
İstatistiksel yöntemler

Korelasyon

İki test
arasındaki ilişki



İstatistiksel yöntemler



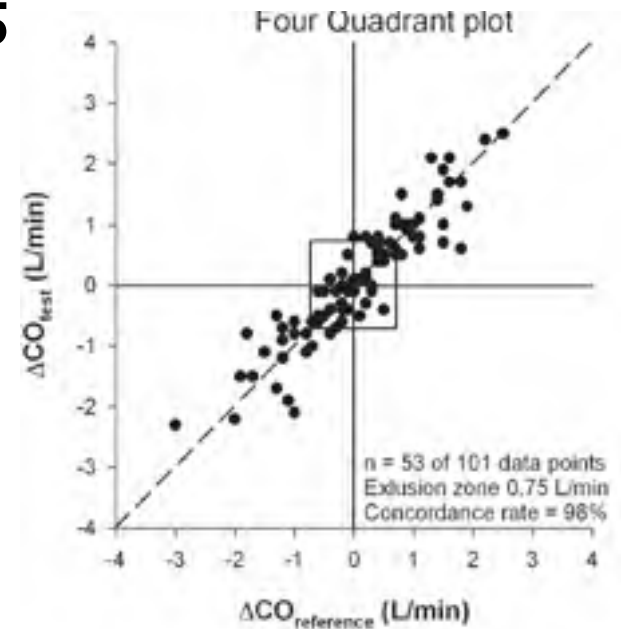
Bland-Altman

- İki metod arasındaki uyumluluk
- Trendi göstermez
- Hata oranı < %30

İstatistiksel yöntemler

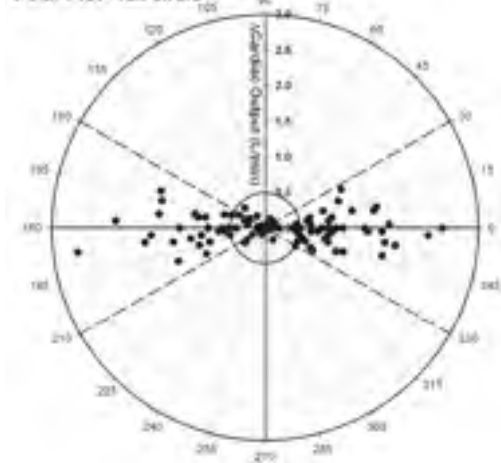
- Trendi değerlendirir
- Santral zon dışlaması yapılmalı
- Konkordans oranı > %90-95

4 Kadran plot



İstatistiksel yöntemler

Polar Plot - full circle

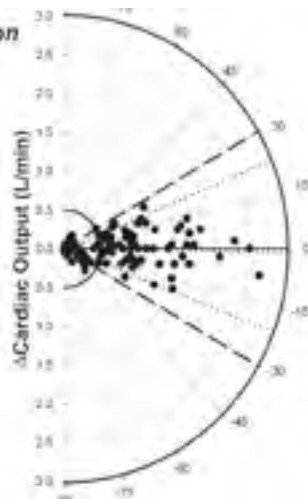


- Çoklu hastalardan alınan trend verileri
- 30° radyal limit

Polar Plot - half moon

Polar plot set up:
Exclusion zone 0.5 L/min
n = 69 of 114 data pairs

Polar analysis:
Angular bias = -0.4 degrees
Radial limits (95% c.i.)
= 22 to 21 degrees
Polar concordance
(at <30 degrees) = 100%



Polar plot

Minimally Invasive Measurement of Cardiac Output during Surgery and Critical Care

A Meta-analysis of Accuracy and Precision

Philip A. Peyton, M.D., M.B.B.S., F.A.N.S.A.,¹ Simon W. Chung, M.B.B.S.²

Anesthesiology 2010; 113:1220-35

Table 2. Agreement between Each of the Four Methods and Thermodilution

Method (N Studies)	n	Bias L/min Mean [±95% CI]	Precision L/min	Percentage Error Mean [±95% CI]
Pulse contour (N = 24)	714	-0.00 [±0.09]	1.22	41.3 [±2.7]%
Esophageal Doppler (N = 2)	57	-0.77 [±0.29]	1.07	42.1 [±9.9]%
Pco ₂ RB (N = 8)	167	-0.05 [±0.17]	1.12	44.5 [±6.0]%
TEB (N = 13)	435	-0.10 [±0.11]	1.14	42.9 [±3.6]%

Pooled weighted data, showing agreement between each of the four methods and bolus thermodilution from the studies that met the statistical criteria for inclusion in the meta-analysis, where a single independent measurement from each subject could be identified. 95% CI = 95% confidence intervals; n = total number of pooled measurements; Pco₂RB = partial carbon dioxide rebreathing method; Percentage Error = limits of agreement (1.96 SD)/mean cardiac output; Precision = one standard deviation (1 SD) of the difference between paired measurements; TEB = transthoracic electrical bioimpedance.

Table 3. Correlation between the Four Methods and Thermodilution

Method (N Studies)	n	r
Pulse contour (N = 12)	359	0.75
Esophageal Doppler (N = 2)	57	0.69
Pco ₂ RB (N = 5)	104	0.57
TEB (N = 8)	288	0.79

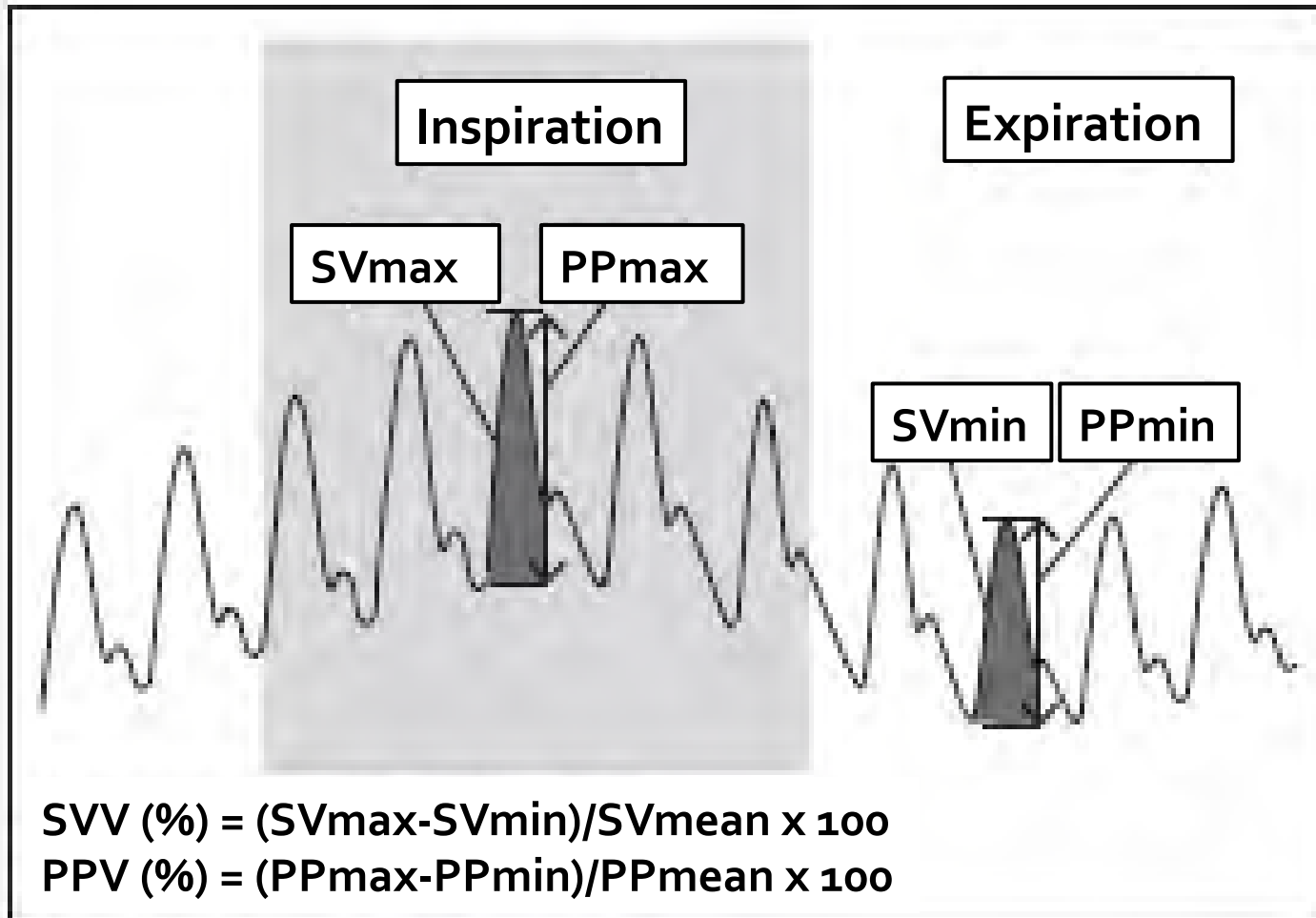
Bu 4 metodun hiç biri TD ile uyumlulukta beklenen %30 limitini aşamadı. Bunun klinik pratikle ilişkisi yeniden değerlendirilmeli

CO ölçmek yeterli mi?

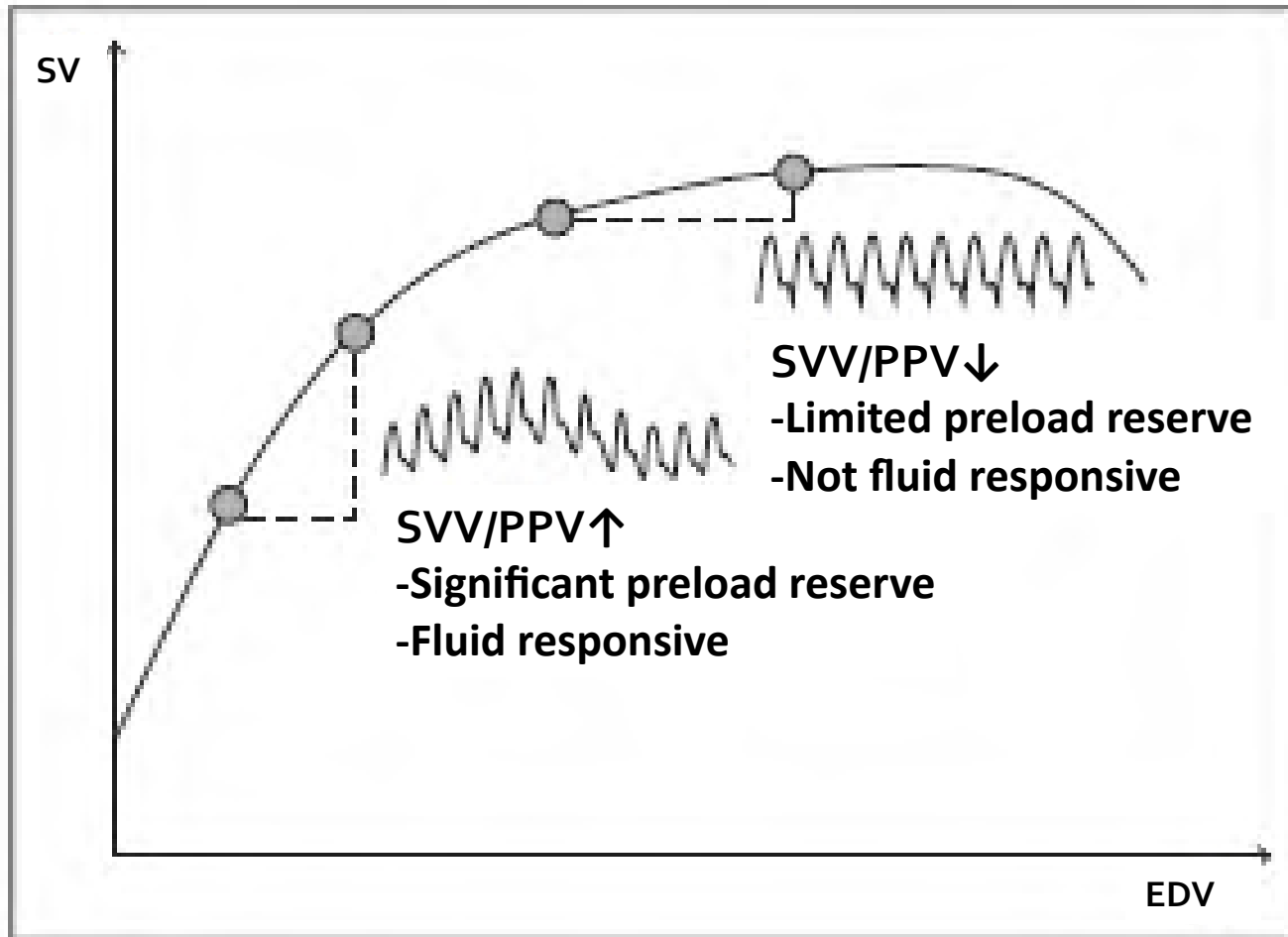
Kardiyak output hemodinamik
monitörizasyonun kutsal kasesidir

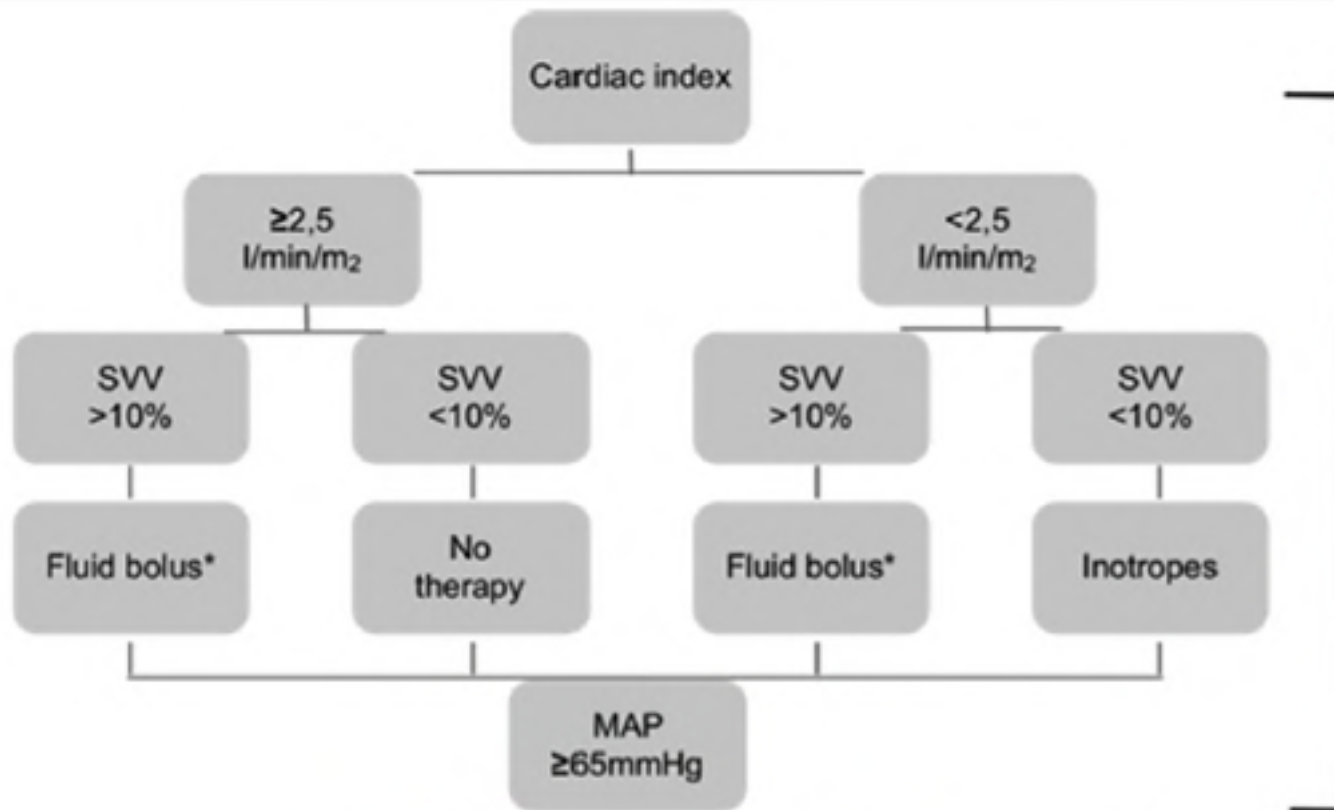
- İnotropik destek altında övolemiyi sürdürebilmek için sıvı cevabının monitörizasyonu gerekir

Stroke Volume Variations (SVV) Pulse Pressure Variations (PPV)



Stroke Volume Variations (SVV) Pulse Pressure Variations (PPV)





Basic requirements:
Hb ≥ 8 g/dl
SaO₂ $\geq 94\%$
Normothermia
Tidal volume 8 ml/kg

* 250 ml of colloids

Sıvı tedavi rehberi algoritmeler

SVV ve PPV rehberliğinde sıvı tedavisi

- Spontan soluyanlarda güvenilir değil (<8L TV), pozisyonun da etkilenir
- Değişiklikleri tesbit ve yansıtabildiğini gösteren az sayıda çalışma var
- Yeni tedavi algoritmalarında advers etkiler de araştırılmalıdır
- Sıvı tedavi stratejisini belirlerken hemodinamik optimizasyonun bu kadar basit olmadığı anlaşılmıştır
- Birden çok klinik değişkenin entegrasyonu ve doğru hasta seçimi gerekebilir
- Minimal inv monit . kullanılması için geniş klinik outcome çalışmaları kadar validasyon çalışmaları da gerekir

Farklı senaryolarda farklı monitörler kullanılmalı mı?

Yüksek riskli kardiyak cerrahide

İleri invaziv hemodinamik
monitorizasyon , TEE, arteriyel
yol, CVP

Sağ kalp yetm ve

pulm HT

PAK ilave

Yüksek riskli major abd. cerr

Pulse kontur analiz
teknolojisi, ilave
parametreler, SVV, PPV

YB ciddi septik şoktaki hasta

İleri hemodinamik
monitorizasyon
parametreleri,
GEDV, EVLW

En iyi yöntem hangisidir?

- Bütün klinik ihtiyaçları karşılayacak tek bir cihaz yoktur
- Kalibre edilmeyen pulse kontur cihazlar
 - periop dönemde fonksiyonel hemodinamik değişkenleri (SVV, PPV) sağladıkları için primer seçenek olabilir.
 - Ancak periferik direnç değişikliklerinde başarısızdırlar

En iyi yöntem hangisidir?

- Kalibre edilen sistemler
 - postop komplikasyon ve hemodinamik instabilite oluştuğunda cihazın doğruluğunu artırmak ve
 - ilave volumetrik değişkenler gerektiğinde kull.
- Minimal invaziv cihazların doğruluğunu etkileyecek durumlarda , PAB izlemi veya sağ kalp yetm tedavisinde PAK takılması gerekebilir

En iyi yöntem hangisidir?

- Özofageal Doppler intra operatif ve YB da faydalı, yüksek riskli hastalarda amaca yönelik sıvı tedavisinde kullanımı başarılı

Sonuç

- Hangi cihaz kullanılırsa kullanılsın
- Monitör anesteziistin uygun aksiyona karar vermesini sağlayan basit bir araçtır
- Kullanımı kaliteyi değiştirir
- Önemli olan onu kullanan kişidir

