

UMC St Radboud

Fysiologie cardiovasculaire systeem Hemodynamische berekeningen Module 2

M. Hilken
Internist- intensivist
J. Verweil
Internist- intensivist
A. van Veenendaal
Anesthesioloog-intensivist

UMC St Radboud

Wat gaan we vandaag doen?

1. Fysiologie van de circulatie
2. Swan Ganz catheter
3. Trans-oesophageale Doppler
4. Picco
5. Effect beademing op de circulatie

UMC St Radboud

Hoe herken ik een circulatie probleem?

- Klinische verschijnselen
- Afwijkingen bij standaard laboratorium onderzoek
- Afwijkingen bij meer gespecialiseerd onderzoek

Toestand van ineffektieve weefselperfusie m.a.w. anaëroob metabolisme

"Shock"

UMC St Radboud

Klinische verschijnselen

- Hypotensie en/of tachycardie
- Tachypneu
- Gevlekte en/of cyanotische huid
- Koude acra of toename ΔT
- Afgenomen bewustzijn
- Oligurie

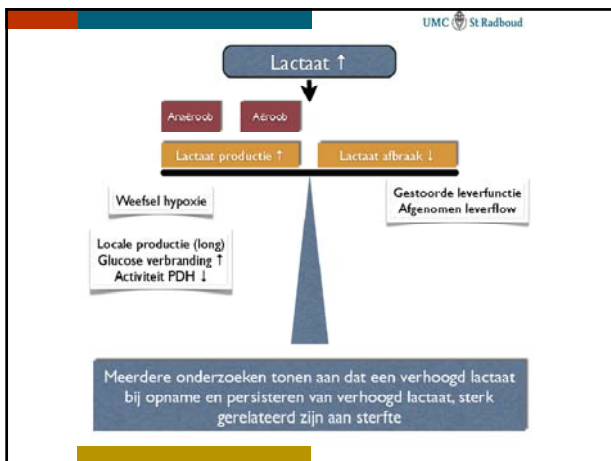
UMC St Radboud



UMC St Radboud

Standaard laboratorium onderzoek

- Toename lactaat concentratie
- Afname base excess (BE)
- Snelle stijging ALAT, ASAT, LDH

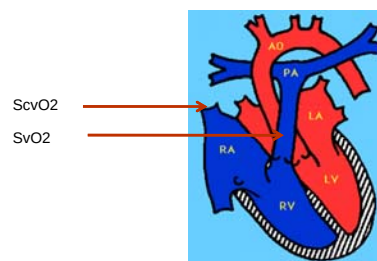


Afname Base Excess

- Door een stijging van lactaat
- Door een stijging van chloor
- Door een stijging van andere “ongemeten” zuren (ketonen, intoxicaties, nierinsufficiëntie, maar ook bij IC patiënt)
- Hyperfosfatemie en hyperalbuminemie

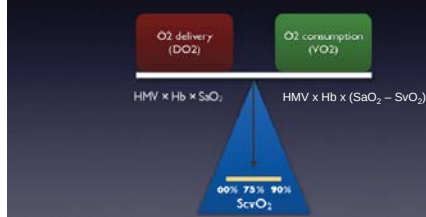
Gespecialiseerde onderzoeken

- Centraal Veneuze Saturatie (ScvO₂ / S(m)vO₂)
- Hemodynamische calculaties (oa. Cardiac Output mbv. Swan Ganz, Trans-oesophageale Doppler en/of PICCO)



ScvO₂= centraal veneuze O₂
SvO₂= gemengd veneuze O₂ (SG cath)

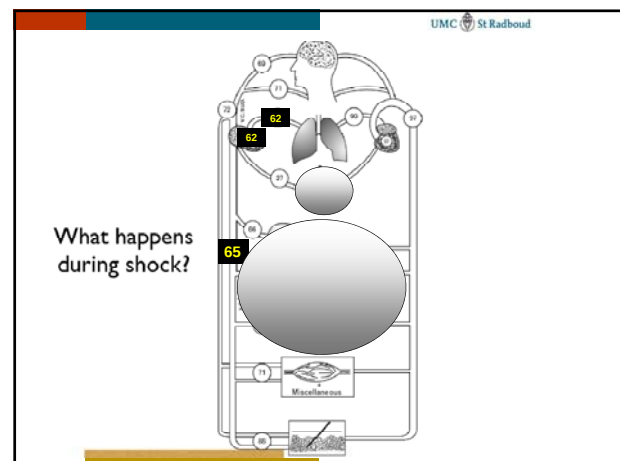
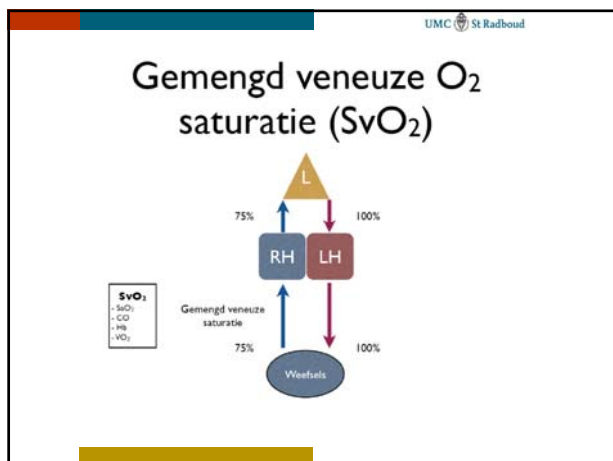
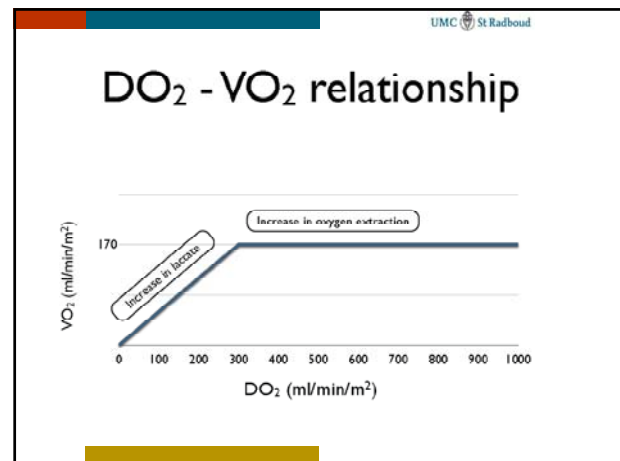
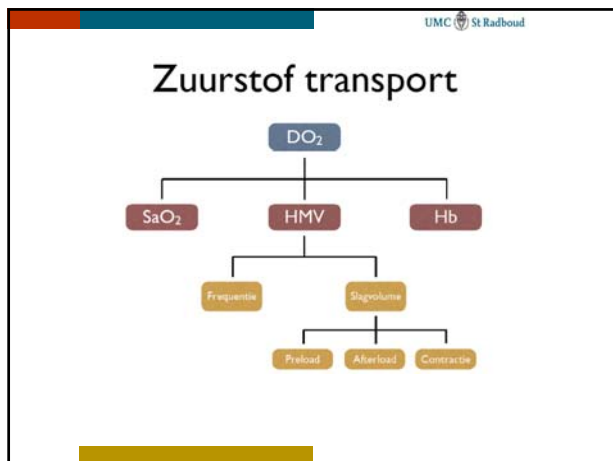
Central Venous Oxygen Saturation (ScvO₂)



SHOCK

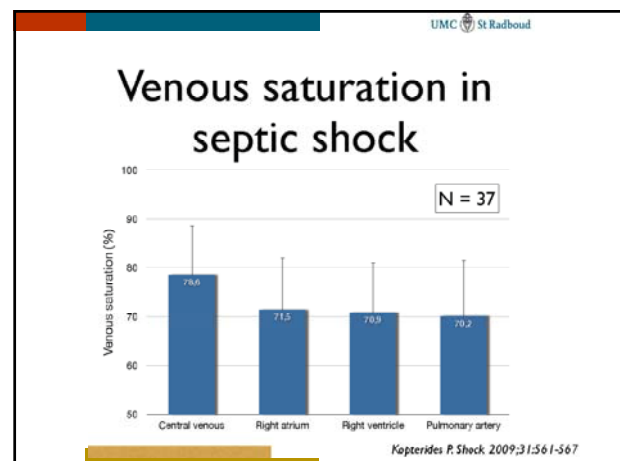
Klinisch beeld met **disbalans** tussen zuurstof aanbod en zuurstof vraag met als gevolg **weefsel hypoxie**

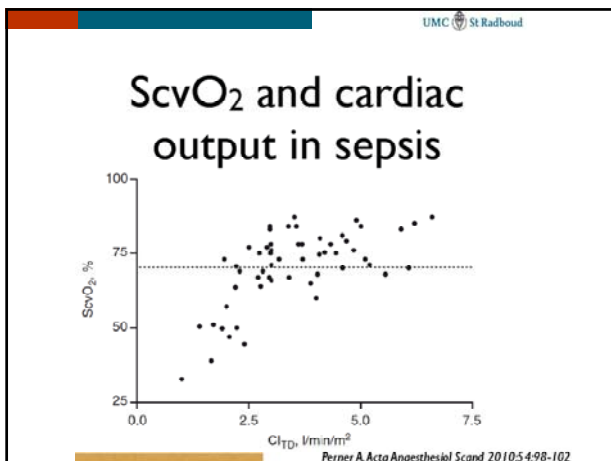
Verhoog zuurstofaanbod (DO₂)
of verlaag zuurstofvraag (VO₂)



Veneuze O₂ saturatie

- Bij gezonde personen is ScvO₂ (gemeten in VCS) lager dan SvO₂ (gemeten in AP) a.g.v. lage O₂ verbruik door buikorganen (nier)
- Dit verschil draait om bij septische of cardiogene shock doordat bloedstroom naar buikorganen relatief afneemt en de bloedstroom door coronairvaten toeneemt





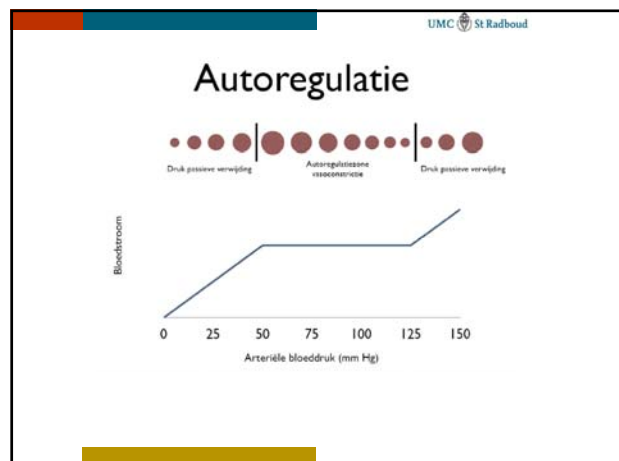
Relatie druk, flow en weerstand

Bloeddruk = perfusiedruk
 Bloedflow = CO

MAP = Mean arterial pressure
 (2 x diastole + 1 x systole) / 3

Perfusiedruk = MAP – CVD

Wet van Ohm: $V = I \times R$
 Weerstand is druk/flow
 $SVR = 80 \times (MAP - CVD) / CO$ in dyn.sec/cm⁵



- Testje**
- Meest voorkomende reden van hoge SvO₂
 1. Hypovolemie
 2. Slechte LV
 3. Sepsis
 4. Exercise

- Lage SvO₂
 1. Verhoogd O₂ vraag/consumptie
 2. Verminderde O₂ afgifte
 3. Beide
 4. Geen van beide

Swan Ganzcatheter Arteria pulmonaliscatheter

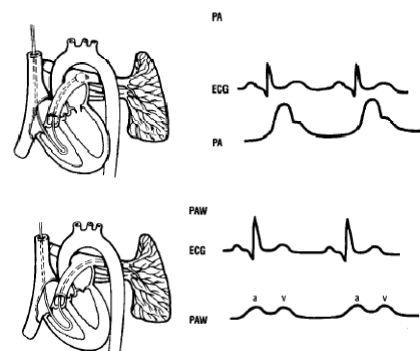
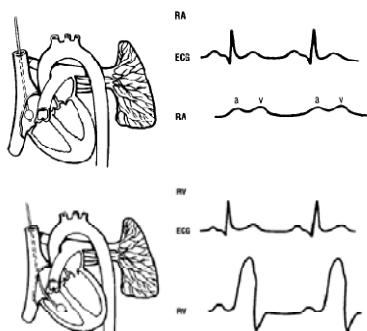
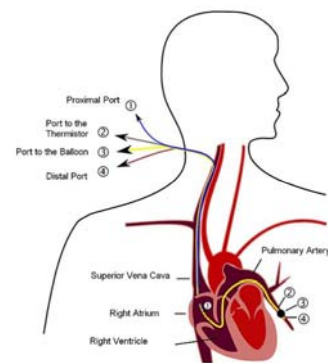
arteria pulmonaliscatheter

- Synoniem met **Swan-Ganz-catheter**, **AP-catheter**
- Lange medische geschiedenis
- 10 jaar geleden nog zeer bruikbaar geacht
- Nu beperkt bruikbaar geacht, vanwege de grote invloed op de wiggedrukmeting van de compliance van de linker ventrikel en de invloed van andere intrathoracale drukken op de metingen.
- Toch blijft een Swan-Ganz-catheter praktisch voor het vervolgen van de cardiac output na vulling of gebruik van inotropica.

Inbrengen AP-catheter

Indicaties

Post-cardiochirurgie
Refractaire shock (vullinstoestand, CO, etc..)
Pulmonale hypertensie (diagnose, etc..)
Evaluatie myocardfunctie (oa. cardiaal falen tijdens ontwennen van de beademing)



UMC St Radboud

The PAOP Waveform

- Inflation of the balloon of the PAC stops measurement of the PA waveform
- The waveform changes to a PAOP waveform with a and v waves
- The mean PAOP value is close to the PA diastolic value



The PAOP Waveform

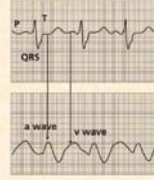
- The PAOP may contain 3 positive waves
 - a wave- occurs with atrial contraction
 - c wave- occurs with closure of the mitral valve
 - v wave- due to blood filling the atrium when the mitral valve is closed
- c wave is often not visible on the PAOP waveform

UMC St Radboud

Identifying the PAOP Waves Using the ECG

- Because the PAOP is a backward reflection of the LA, the timing of the waves with the ECG is slightly delayed:
 - the a wave is found near the end or after the QRS
 - the v wave is found well after the T wave

Timing of the PAOP Waves with the ECG



UMC St Radboud

Correct PAC Position



Respiratory Effects

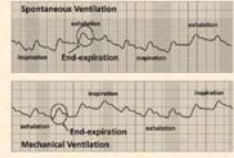
- To minimize the respiratory effects:
 - Always measure all hemodynamic waveforms at END-EXPIRATION (when pleural pressure is closest to zero)

UMC St Radboud

How to Measure a Waveform at End-Expiration

- Locate end-expiration:
 - With spontaneous breathing, locate waveform just before pressures decline with inhalation
 - With mechanical breathing, locate waveform just before the pressures rise with inhalation

End-Expiration



UMC St Radboud

Information Obtained from the PA Catheter

- Directly measured
 - CVP
 - PA pressure
 - PAOP/wedge pressure
 - Cardiac output
 - SvO₂
- Calculated from directly measured data
 - Stroke volume/index
 - Cardiac index
 - Systemic vascular resistance
 - Pulmonary vascular resistance
 - Oxygen delivery

Typical Hemodynamic Pressure Values

Location	Normal Values in mm Hg
Right Atrium	
Right Atrial (RA)P	-1 to +7
Mean (MFAP)	4
Right Ventricle	
Systolic (RVSP)	15 to 25
Diastolic (RVDP)	0 to 8
Pulmonary Artery	
Systolic (PASP)	15 to 25
Diastolic (PADP)	8 to 15
Mean (MPAP)	10 to 20
Wedge (PAWP)	6 to 12
Left Atrial (LAP)	6 to 12

UMC St Radboud

Pulmonale Capillaire Wiggedruk (PWCP of PAOP)

Slechte maat voor preload linker ventrikel
(en moeilijk te interpreteren)

Compliance linker ventrikel (myocardinfarct, sepsis)
Kleproblemen (mitralisinsufficiëntie)
Beademing (PEEP)

CO-meting: thermodilutie methode volgens Fick

- Injectie bolus koude vloeistof rechter atrium
- Evaluatie temperatuursbeloop in art. pulmonalis



Lage cardiac output



Hoge cardiac output

vervolg AP-catheter

Wat kan ik met de resultaten van een SG-catheter?

1. cardiac output vervolgen:

- effect inotropica vervolgen
- de vullingstoestand van de patiënt beoordelen: verloop cardiac output na snelle vulling (fluid challenge: 250 ml in 5 min.)

2. de vullingstoestand vaatbed beoordelen, door:

- verloop wiggedruk (de beperkingen in aanmerking genomen)
- verloop cardiac output na snelle vulling (fluid challenge)

Sommige catheters berekenen m.b.v. een computer ook volumina, zoals de rechter ventrikel ejectiefractie (REF)-catheter. Dat concept is iets mooier dan dat van de SG-catheter.

vervolg AP-catheter

- Het praktische gebruik van een Swan-Ganz catheter houdt in: het vervolgen van de wedge en de CO bij een bepaald vochtbeleid, waarbij de **trend** van de waarden relevanter is dan de absolute waarden.
- Er zijn momenteel **nieuwere technieken** om de vullingstoestand van een patiënt te berekenen, waarbij gebruik gemaakt wordt van indicator-dilutie-technieken, gecombineerd met temperatuur-dilutie-technieken, en zelfs van de oppervlakte onder de arteriële curve ($\sim$ CO). (PiCCO, NICO, oesophagusdoppler)

vervolg AP-catheter

- Formule voor SVR = **mathematische oversimplificatie** van ons vaatstelsel!

Het is geen rechte buis met constante druk, maar eerst pulsatiele flow, dan laminaire flow, dan traag kabbelende flow gevolgd door watervalletjes; dit is niet in een formule te vatten!

- Enkele jaren terug dacht men sepsische shock optimaal te behandelen als werd gestreeft naar maximale, ja zelfs **supra-fysiologische DO₂-waarden** (Shoemaker). Dit concept is inmiddels **achterhaald**.
- Berekenen DO₂ en $\dot{V}O_2$ is niet zinvol bij de behandeling, maar wel zinvol als **concept** om te begrijpen.

Normaalwaarden:

CI	2,5-4 l/m ² /min
RA	5 mm Hg
RV	20-30/2-8
PAP	20-30/5-15
PCWP	5-14

Ejectiefractie : (EDV-ESV)/EDV

Hypovoleemisch	Cardiogeen	Vasodilatator
Lage CVD	Hoge CVD	lage CVD
Lage CI	Lage CI	Hoge CI
Hoge SVR	hoge SVR	Lage SVR

A Randomized, Controlled Trial of the Use of Pulmonary-Artery Catheters in High-Risk Surgical Patients

James Dean Sandham, M.D., Russell Douglas Hull, M.B., B.S., Rolin Frederick Brant, Ph.D., Linda Knox, R.N., Graham Frederick Pineo, M.D., Christopher J. Doig, M.D., Denny P. Laporta, M.D., Sidney Viner, M.D., Louise Passerini, M.D., Hugh Devitt, M.D., Ann Kirby, M.D., and Michael Jacka, M.D. for THE CANADIAN CRITICAL CARE CLINICAL TRIALS GROUP
N ENGL J MED 2003; 348:5-14

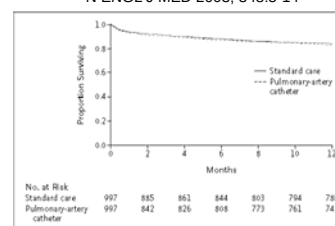


Figure 1. Kaplan-Meier Survival Curves to One Year.

Transoesophageale Doppler

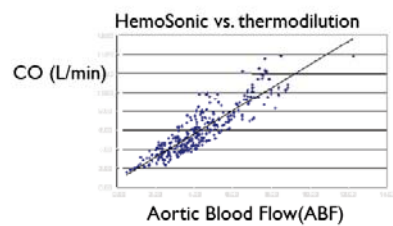
Realtime continue haemodynamische monitoring

Swan Ganz of oesophagusdoppler?

Er zijn grote voordelen aan de oesophagus-doppler verbonden vergeleken met de Swan Ganz-catheter:

1. Geen risico op prikken pneumothorax
2. Geen risico op aanprikken arteria subclavia/jugularis
3. Geen lijninfecties, geen ritmesstoornissen, geen thromboses
4. Kan 10 dagen blijven zitten
5. Verpleegkundige kan probe inbrengen
6. Even betrouwbaar als Swan Ganz!

Betrouwbaarheid



[Herold, Invasieve Hemodynamica, UPMC St Radboud Pijlmeijer]

Waarom dit apparaat?

- Er zijn twee merken op de markt
- Beide apparaten zijn in uitgebreide proefplaatsing geweest
- De Staf IC heeft op basis hiervan de CardioQ van Deltex gekozen
- De probe is goedkoper dan alles wat nodig is voor een Swan Ganz (sheath, SG-catheter,

De Deltex CardioQ®

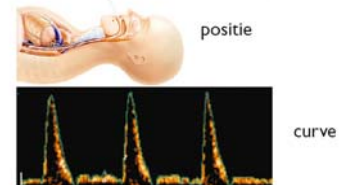


En kinderen?

- CardioQP geheel geschikt voor kinderen vanaf 3 kg BW
- Voor kinderen zijn er speciale dunne probes

Techniek van inbrengen

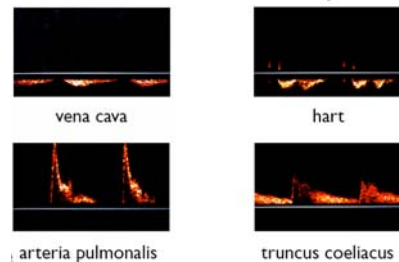
Eerst wat Instillagel® over de probe, en daarna de probe als maagsonde inbrengen, tot de neus tussen de twee markeringen zit



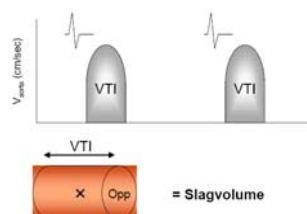
Aansluiten en instellen

- Stroomkabel aansluiten en aanzetten met zwarte knop aan de achterkant
- Opstartscherm: drie getallen invullen:
 - draaien aan grote groene knop, en bevestigen door erop te drukken
 - leeftijd, lengte, gewicht - druk op "accept data" (vanaf nu onveranderbaar)
- Dan: "probe focus"-scherm: dit is het instelscherm
 - kleine groene knop naar rechts draaien voor geluid aan/harder zetten
 - probe goedleggen (zoeken naar de hoogste piek); in/uit-schuiven en draaien
- Druk op "run"; er wordt een groene lijn om de curve gelegd ("follower"), en drie meetpunten (witte driehoekjes) verschijnen
- Na 20 seconden komen CI, CO, en FTc in beeld

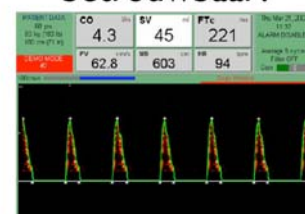
Positioneren van de probe



Fysiologisch principe



Wanneer is het beeld betrouwbaar?





UMC St Radboud

Wat staat waarvoor?

- FTc = flowtijd = LV ejectietijd = preload
- Δ acceleratie ~ pompkracht (i.s.m. afterload)
- pieksnelheid PV ~ pompkracht
- de cardiac output/index wordt berekend

UMC St Radboud

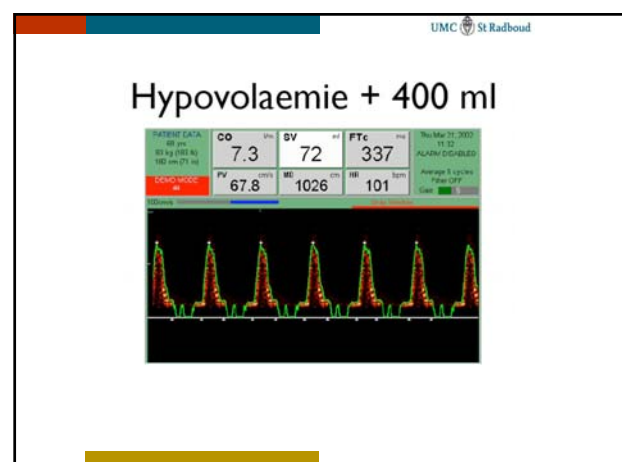
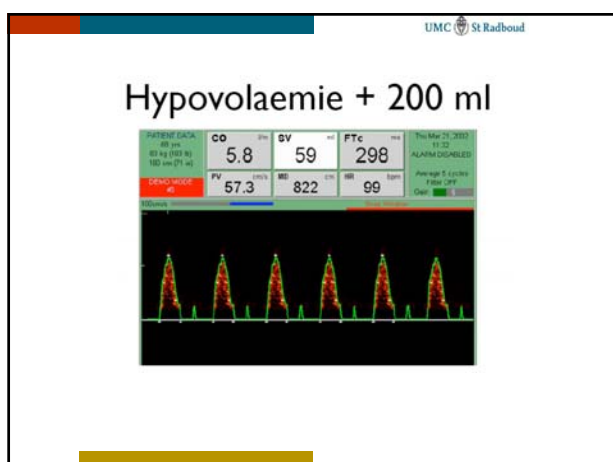
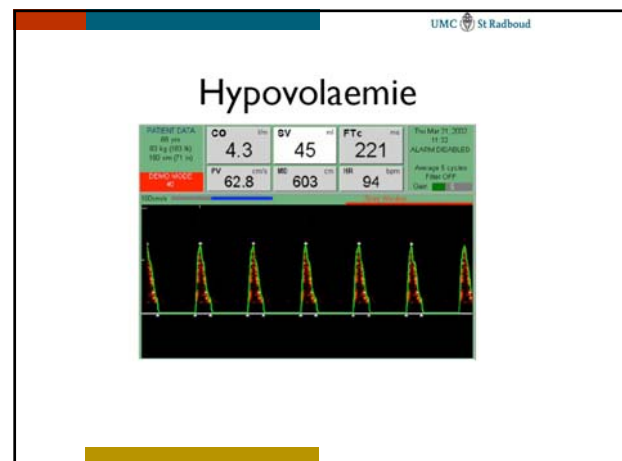
Welke waarden wijzen op hypovolemie?

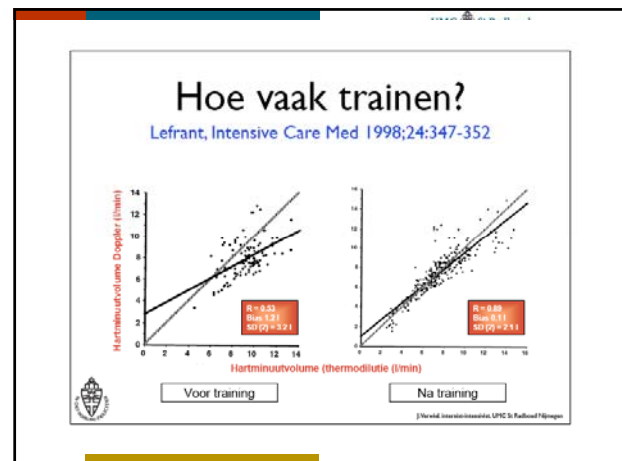
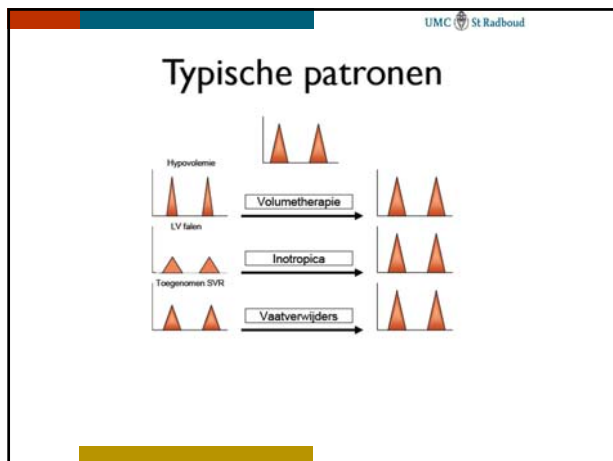
Belangrijkste:

- FTc (FT/√CC) of FTc < 300-400 ms

Verder:

- SV ↓ bij normale of ↑ acceleratie
- Δ Pieksnelheid veranderingen onder invloed van beademing





UMC St Radboud

Complicaties

- schade aan oesophagus (varices)
- probe in luchtwegen:

UMC St Radboud

PICCO

Pulsatile continuous cardiac output

UMC St Radboud

Waarom wéér iets nieuws?

- Swan Ganz-catheter heeft bij inbrengen veel risico's (pneumothorax, arterieel prikken, ritmestoornissen, lijninfecties, thrombose)
- CVD en wiggedruk (wedge, PCWP) zijn geen betrouwbare maten voor de vullingstoestand
- Oesophagusdoppler prima, maar iedere keer weer opnieuw moet de positie van de probe worden gecorrigeerd; niet echt "continu" CO

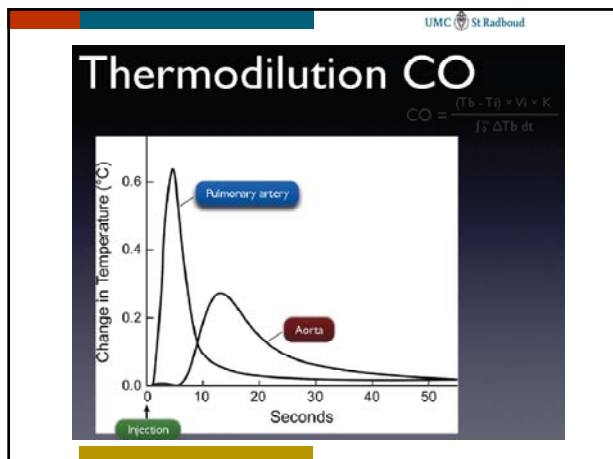
J. Verweil, internist-intensivist, UMCN

UMC St Radboud

Wat moet je doen?

- Voor de cardiac output/index: niets! Verschijnt gewoon op de monitor!
- Voor extra metingen: 20 ml koud NaCl 0,9% in de centrale lijn spuiten, 1 x per dienst (zie verderop welke metingen)

J. Verweil, internist-intensivist, UMCN



Wat meet PiCCO?

- Continu cardiac output/index
- Twee nieuwe haemodynamische parameters:
 - IntraThoracaal BloedVolume = ITBV
een maat is voor de vullingstoestand
 - ExtraVasculair LongWater = EVLW
een maat is voor het teveel aan vocht (pleuravocht en longoedeem)

J. Verweil, internist-intensivist, UMCN

Hoe meet PiCCO de CO?

- De oppervlakte onder de arteriëlecurve wordt berekend op de volgende manier:

$$PiCCO = cal \cdot HR \cdot \left(\frac{P(t)}{SVR} + C(p) \cdot \frac{dP}{dt} \right) dt$$

P (mmHg)
 HR (Heart rate)
 SVR (Systemic vascular resistance)
 $C(p)$ (Compliance)
 $\frac{dP}{dt}$ (Derivative of pressure)

Pulmonary specific calibration factor (determined by thermodilution)

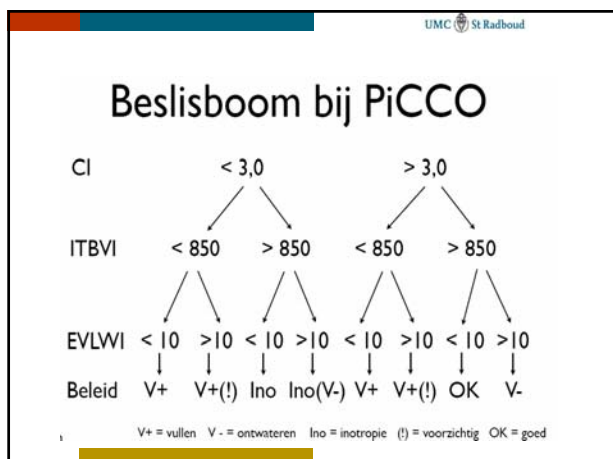
J. Verweil, internist-intensivist, UMCN

Hoe meet PiCCO het ITBV en EVLW?

$GEDV = ITTV + PTV$
 $ITBV = 1,25 \times GEDV$
 $ITTV - ITBV = EVLW$

$ITTV = MTt \times CO$
 $PTV = DSt \times CO$

J. Verweil, internist-intensivist, UMCN



Hoe ziet het eruit?

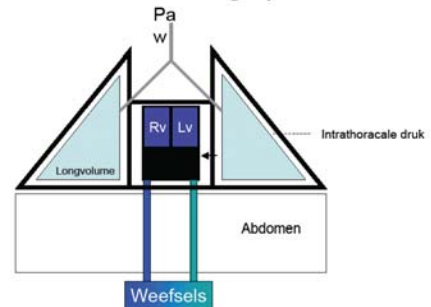
- Module in monitorsysteem (geen apart apparaat op de plank)
- Kabel vanaf module splitst: één naar arteriële lijn en één naar temperatuursonde in centrale lijn
- Arteriële lijn is speciaal: meet ook temperatuur; kost veel meer dan normaal en is iets dikker
- Centrale lijn kan iedere soort lijn zijn

J. Verweil, internist-intensivist, UMCN

Beademing en de circulatie

- Preload rechter ventrikel
- Afterload rechter ventrikel
- Preload linker ventrikel
- Afterload linker ventrikel

Effecten van beademing op circulatie



Long- en thoraxwand compliantie (1)

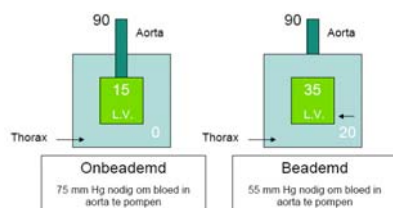
- Long compliantie laag: longvolume voor een zelfde Paw lager waardoor intrathoracale druk lager en daarmee effect op circulatie minder (ARDS)
- Long compliantie hoog: longvolume voor een zelfde Paw hoger waardoor intrathoracale druk hoger en daarmee effect op circulatie groter (emfyseem)

Long- en thoraxwand compliantie (2)

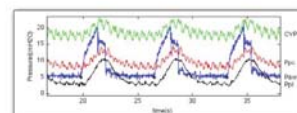
- Thoraxwand compliantie laag: intrathoracale druk hoger en daarmee effect op circulatie groter (oedeem, ↑ intra-abdominale druk)
- Thoraxwand compliantie hoog: intrathoracale druk lager en daarmee effect op circulatie kleiner

Mechanische beademing en afterload

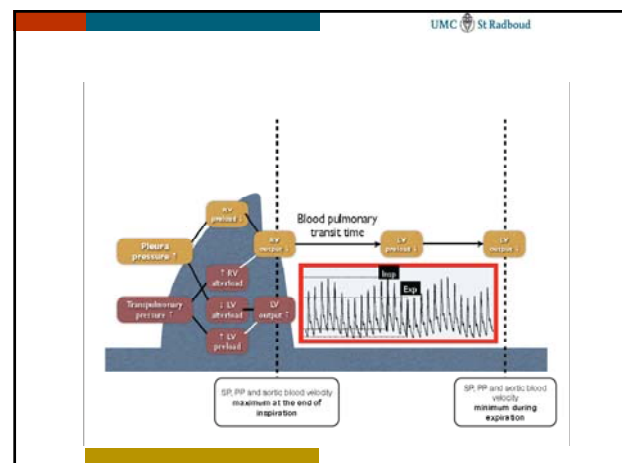
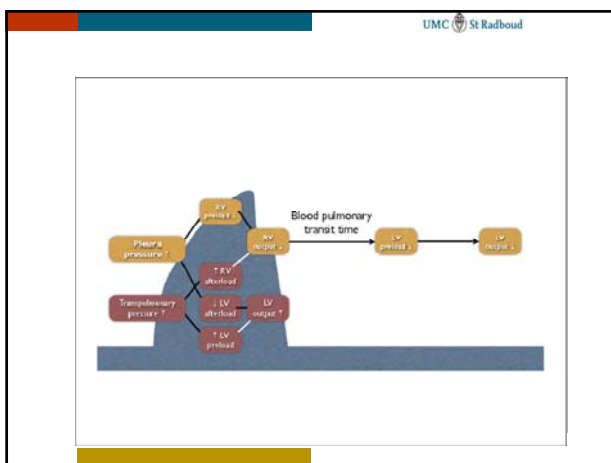
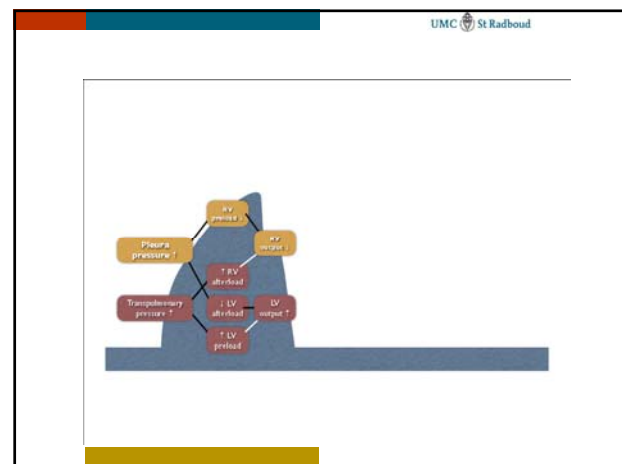
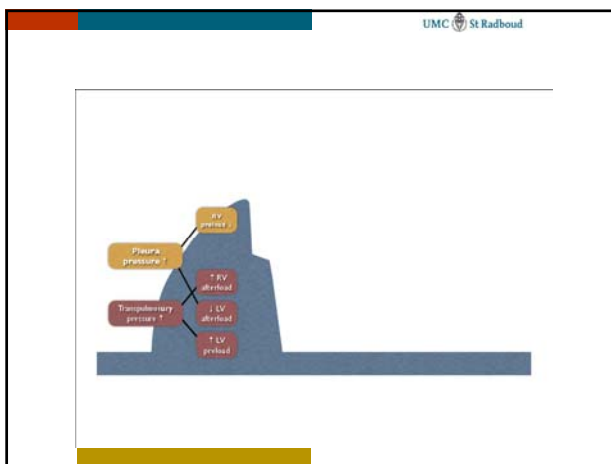
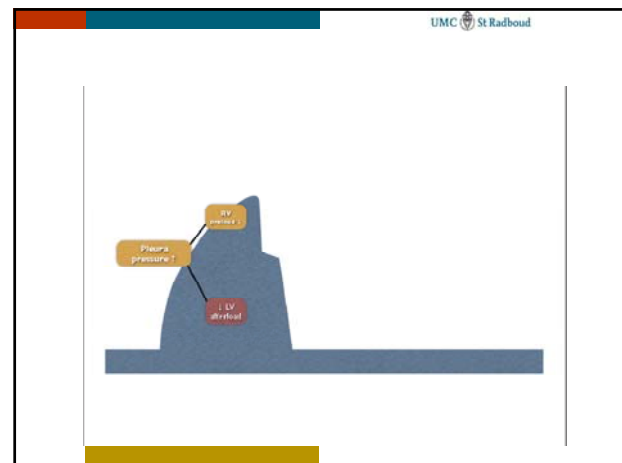
$$\text{Wandspanning} = P_{\text{transmurale}} \times \text{Straal}$$

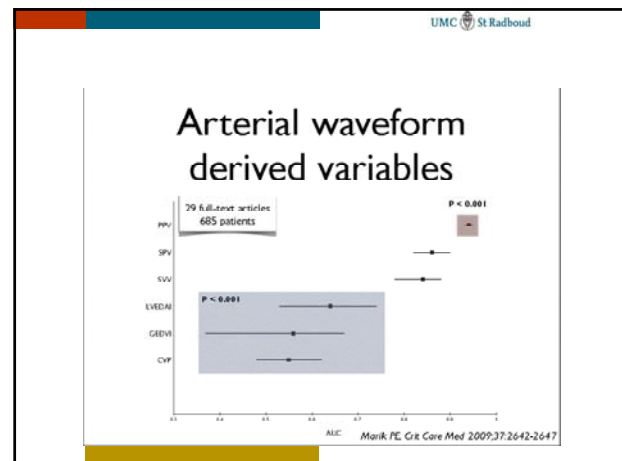
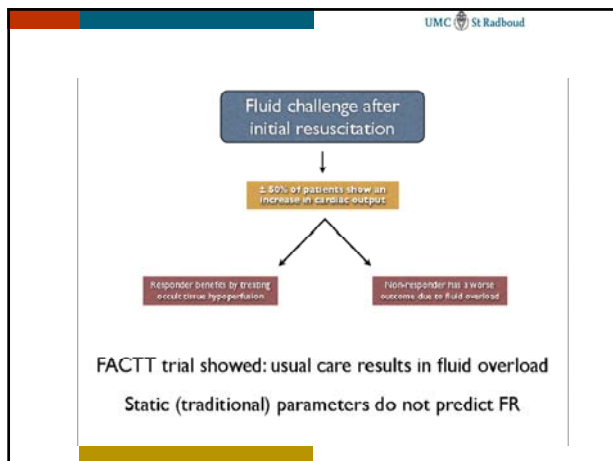


Intrathoracale druk tijdens beademing



	Total Volume (ml/kg)	Δ Pressure (mmHg)	Δ Pressure (mmHg)	Δ Pressure (mmHg)
2	20.000.0	0.000.0	0.000.0	0.000.0
4	40.000.0	0.000.0	0.000.0	0.000.0
6	60.000.0	0.000.0	0.000.0	0.000.0
8	80.000.0	0.000.0	0.000.0	0.000.0
10	100.000.0	0.000.0	0.000.0	0.000.0





- UMC St Radboud
- ### Important conditions
- Passive mechanical ventilation
 - Tidal volume ≥ 8 ml/kg
 - No arrhythmia's
 - No pulmonary hypertension
 - No right ventricular failure

