

*Sint-Augustinus*  
GZA . Ziekenhuizen



# ULTRAFILTRATIE STRATEGIEEN

**Nefrologiedag 19/03/2011**

**Manu Henckes  
GZA Sint Augustinus**

# Overzicht

- Ultrafiltratie en pathofysiologie van volumeregeling tijdens dialyse
- Evaluatie van 'droog gewicht'
- Ultrafiltratiestrategieën

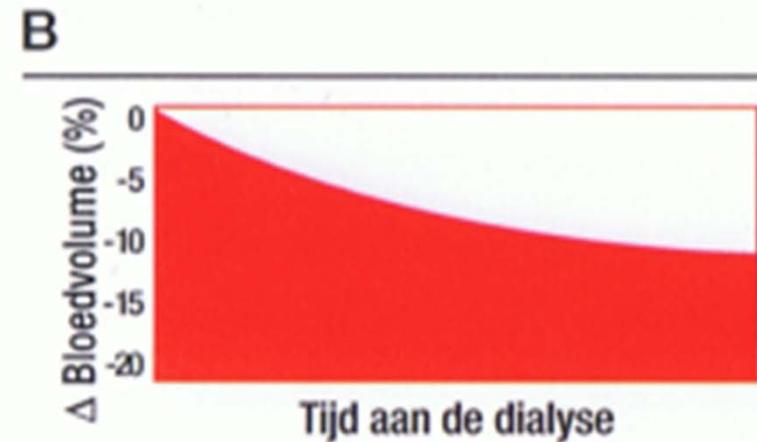
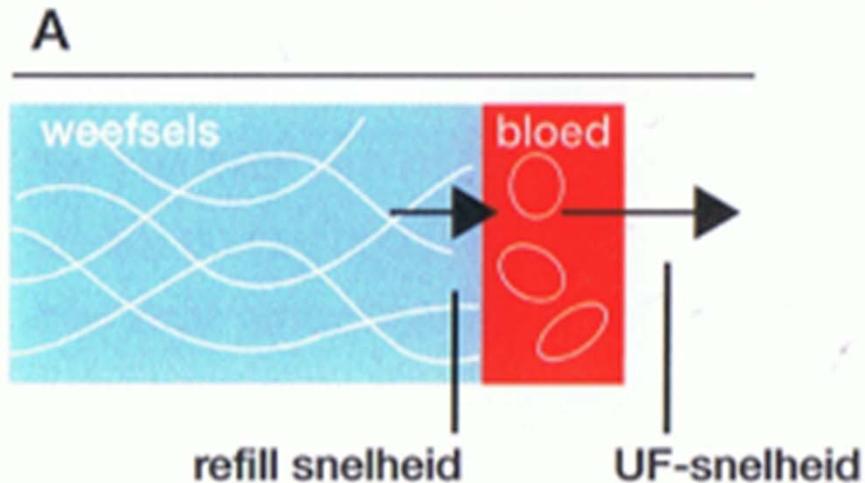


# Overzicht

- Ultrafiltratie en pathofysiologie van volumeregeling tijdens dialyse
- Evaluatie van 'droog gewicht'
- Ultrafiltratiestrategieën



# Pathofysiologie

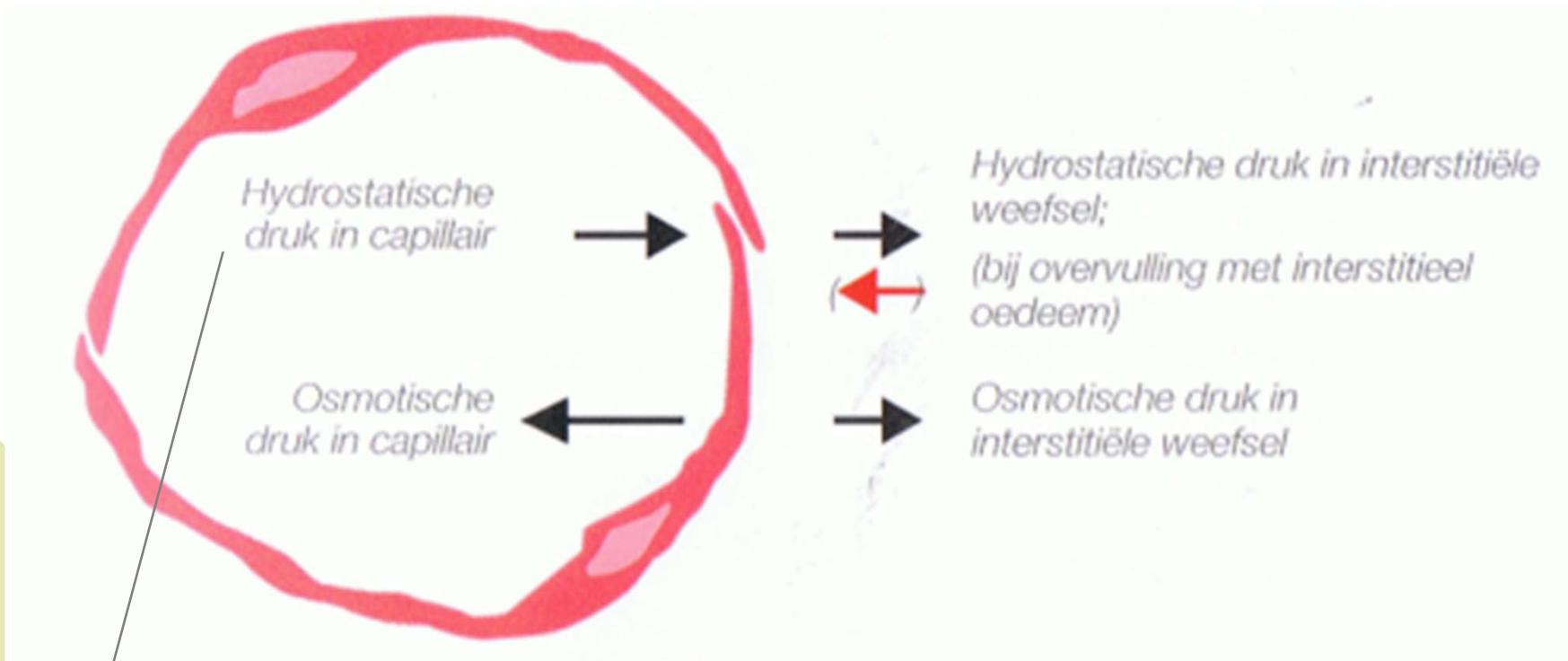


- A. Tijdens hemodialyse wordt in een bepaald tempo (UF-snelheid) vocht aan de bloedbaan onttrokken. Ondertussen verplaatst zich vocht vanuit de weefsels naar de bloedbaan (refill-snelheid).
- B. Tijdens de hemodialyse daalt het bloedvolume omdat de refill-snelheid vrijwel altijd lager is dan de UF-snelheid.

Klassiek : PV -10-20%



# Pathofysiologie



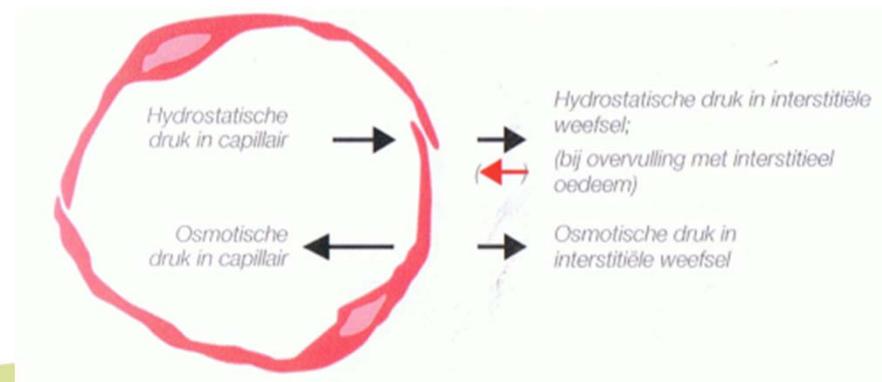
Afhankelijk van pre- en postcapillaire  
'weerstand' : daalt meestal bij ondervulling



# Pathofysiologie

## Hoe kunnen we de refilling doen toenemen?

- Hydrostatische druk in de capillair doen dalen
  - vb. bij lichte ondervulling
  - vb. hoogstand van de ledematen
- Osmotische druk in de capillairen doen stijgen
  - vb. hogere Na-concentratie in dialysaat



# Pathofysiologie

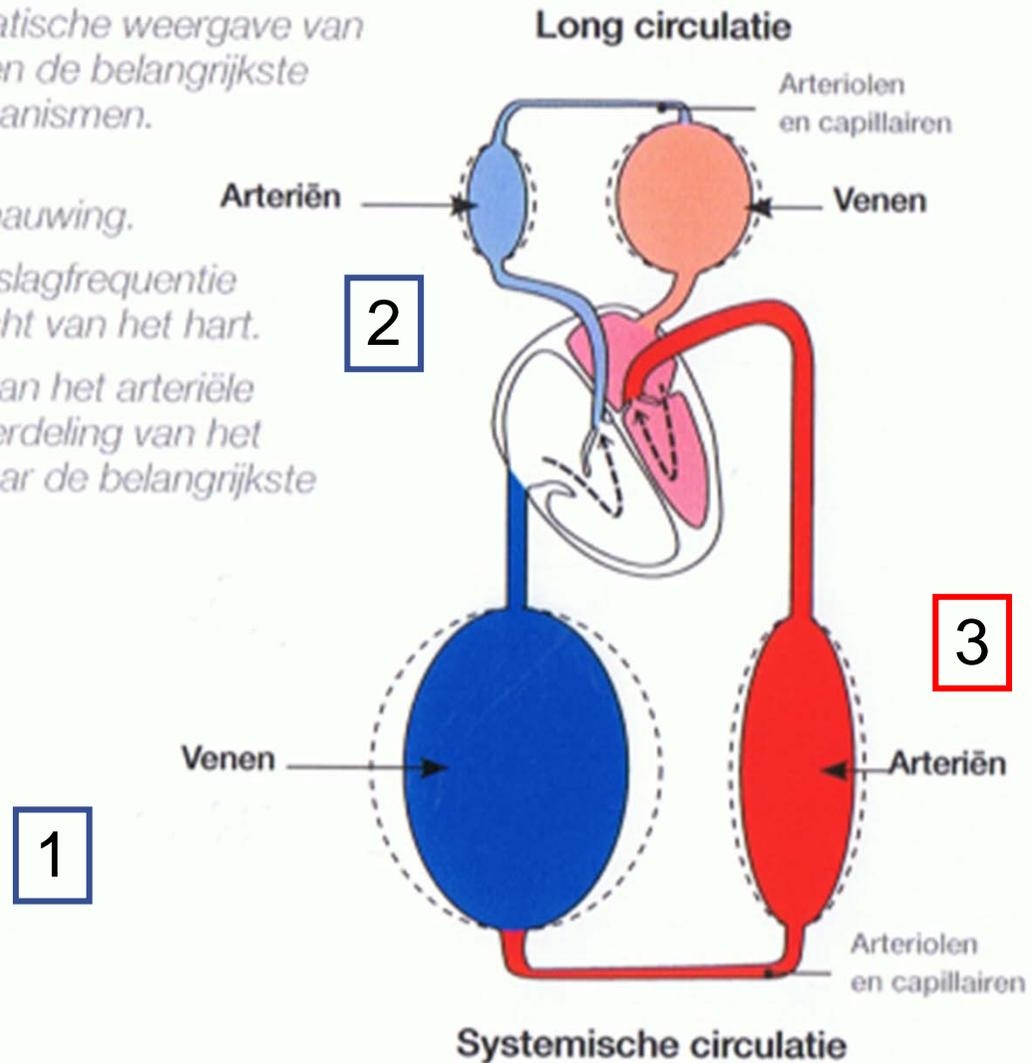
## Compensatoire mechanismen bij dalend BI Vol

1. Veneuze vasoconstrictie
  - > hogere veneuze return
2. Toename in hart- frequentie en contractiliteit
3. Arteriolaire vasoconstrictie
  - > centrale redistributie van het bloed volume
  - > VC naar huid, spieren, splanchnische circulatie



*Figuur 1.3. Schematische weergave van de bloedsomloop en de belangrijkste compensatie mechanismen.*

- *veneuze vaatvernauwing.*
- *toename van de slagfrequentie en contractiekracht van het hart.*
- *vaatvernauwing van het arteriële systeem en herverdeling van het arteriële bloed naar de belangrijkste organen.*





### Compensatoire mechanismen:

- Veneuze capaciteit
- Arteriële tonus
- Hartfrequentie en -contractiliteit

**Bloeddruk**



# Pathofysiologie

- **Double pool model** (I.Cell – E.Cell ruimte)
  - < quantitative modeling v urea rebound
  - < v.b. Disequilibrium syndrome 'hypothesis' is gebaseerd op dit model
  - > Na-profiling
- **Er zijn meer compartimenten met elk een verschillende perfusie**
  - Regional blood flow model
  - Perfusion model



- Small compartment : vital organs,  
viscera :  
IntraCell ↔ ExtraCell
- Bigger compartment: muscle mass:  
IntraCell ↔ ExtraCell



# Elementen die de hemodynamische stabiliteit in HD bepalen

Myocard dysfunctie / ischemie

UF snelheid

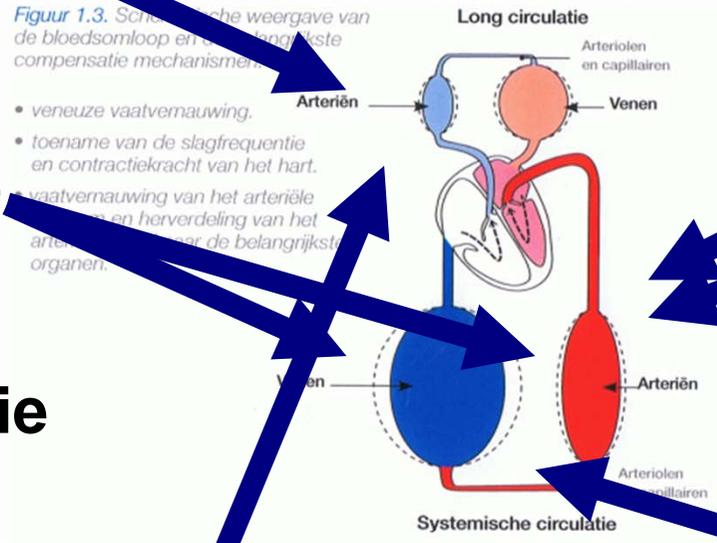
NO

Vasculaire dysfunctie

Acetaat

Autonome neuropathie

Weefselischemie



Refilling  
Plasma osmolaliteit

Temperatuur



# Elementen die de hemodynamische stabiliteit in HD bepalen

- **Myocard dysfunctie**

- Concentrische LVH (AHT, Ao Stenose)
- LV dilatatie met hypertrofie

Daling van myocardperfusie tijdens dialyse  
→ myocard ischemie  
Myocardial stunning !

- **Ischemie**



## • **Vasculaire dysfunctie**

–Arterieel: toegenomen wand stijfheid

–Veneus: gedaalde veneuze compliantie

< steile volume/druk relatie

< vermindering van de vasculaire refill

–Afwijkende autonome functie

→ verminderde capaciteit om Rbc te mobiliseren vanuit de splanchnische & splenische circulatie tijdens UF



## • **Weefsel ischemie**

– Vrijkomen van adenosine

> vasodilatatie

> verminderde NE vrijzetting

> verminderde myocard contractiliteit

– Vanuit gelocaliseerde zone's

– NB: Caffeïne : non selective A1+A2 adenosine rec antagonist

→ heeft een zeker effect in vermindering van hypotensie



- **Plasma osmolaliteit**

- via behoud van stabiel E Cell Vol

- Lagere pl osmolaliteit vermindert perifere V  
Constr.

- → cfr Na-modeling  
cfr Profiling



- **NO**

- Bioincompatibiliteit

- cytokine productie (Il-1, TNF)

- NO synthese < endotheliale cellen

- vasodilatatie

- Ook via vasodilataterende PG's

- **Acetate buffer**



- **Autonome neuropathie**

= frekvent in HD pt

- Mechanisme ?

- Chronische hyperkaliëemische depolarisatie v zenuwen?

- Vnl afferente zenuwbanen

- Chronische overstreching v baroreceptoren?

- Uremische polyneuropathie ... ?



# Temperatuur !

- Vasoconstrictie:

- verandering in lokale temperatuur regulatie in de huid
- warmte accumulatie
- triggert hypothalamische temp regel systeem
- inhibitie van vasoconstrictie

- HD procedure: hogere centrale warmte productie

...

netto temperatuur transfer



# Type's van hypotensie

- Progressieve daling van het bloed volume dat de compensatoire mechanismen overschrijdt  
=> progressieve BP val – tachycard
- Plotse BP val – bradycardie (Bezhold-Jarish reflex)



# ‘Bezhold – Jarish’ reflex

–Via locale weefsel ischemie → adenosine vrijzetting

–Plotse vasodepressor reactie

Cardiale inhibitoire reflex

→ paradoxale bradycardie en vasodilatatie

! Theorie: ernstige hypovolemie en hoge adrenerge stimulatie (bijna obliteratie LV caviteit) → activatie v inhibitorische ventriculaire afferente zenuwen



# Overzicht

- Ultrafiltratie en pathofysiologie van volumeregeling tijdens dialyse
- **Evaluatie van 'droog gewicht'**
- Ultrafiltratiestrategieën



# Evaluatie van 'droog gewicht'

- Klinisch:

- BD (welke? Tweede BD? BD tijdens vorige dialyse/UF sessies?)
- CVD inschatting
- Oedemen?
- Huidturgor
- Dorstgevoelen ...



# Evaluatie van 'droog gewicht'

- Blood volume monitoring

- blood volume met ultrafiltratie pulse (om toename in vasculaire refill na te kijken)
- relatieve veranderingen gedurende de behandeling

- Ultrasound beoordeling van de VC inferior

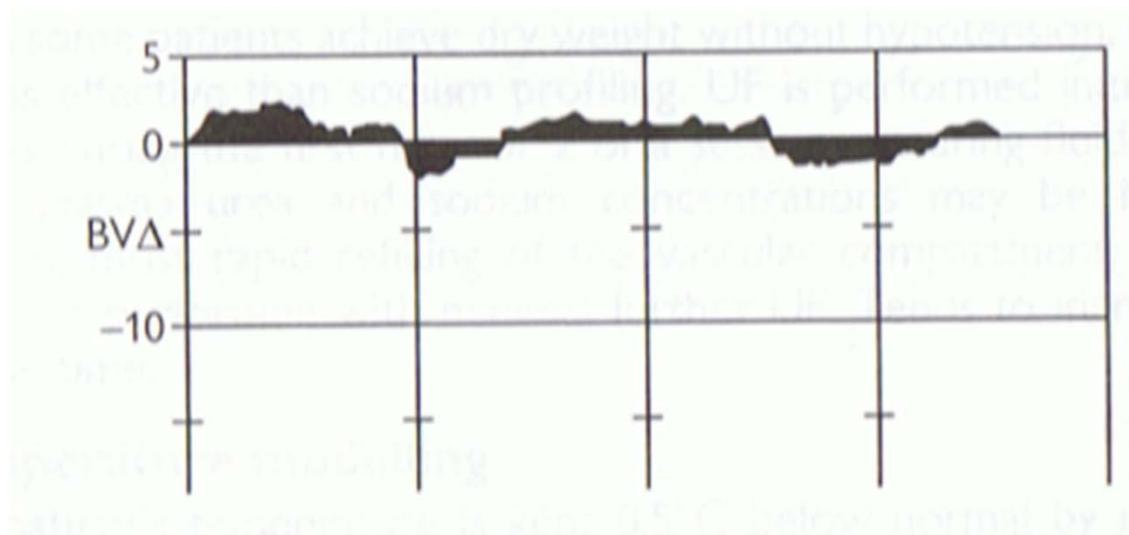
- IVC diameter
- IVC collapsibility index (fractional decrease of diameter during breathing cycle)

- .../...



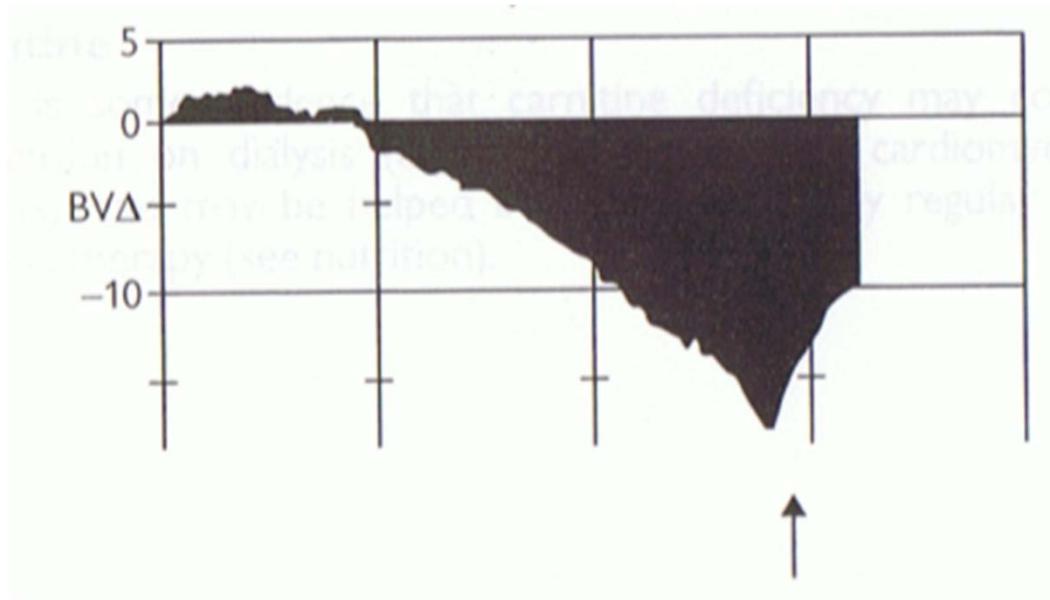
# BV curve's to evaluate IBW?

Over'filling'



# BV curve's om vulling te beoordelen:

Under'filling':



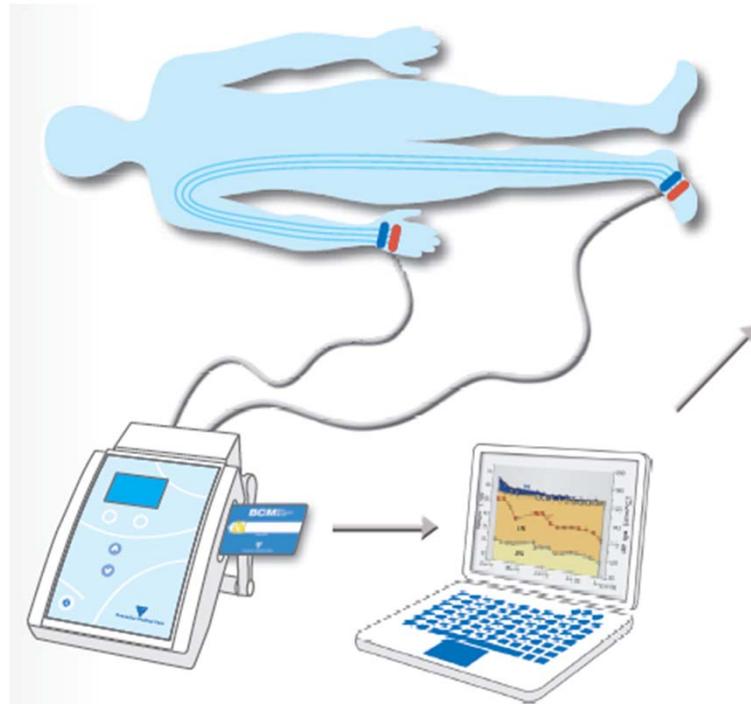
# Evaluatie van 'droog gewicht'

- BNP, N-terminal pro-BNP, atrial natriuretic peptide levels
- Bioimpedance method
  - whole body (wrist to ankle)
  - segmental
  - continuous intradialytic calf measurements
- Extravascular lung water index (invasive)

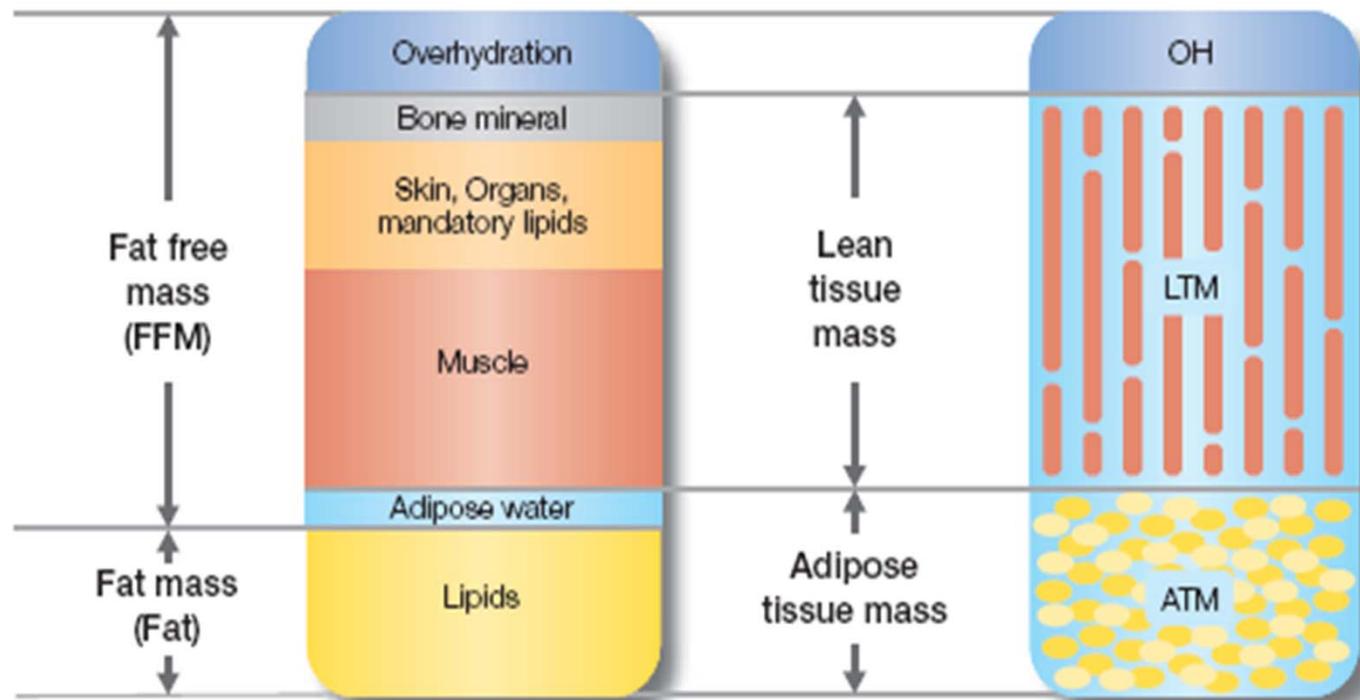


# Evaluatie van 'droog gewicht'

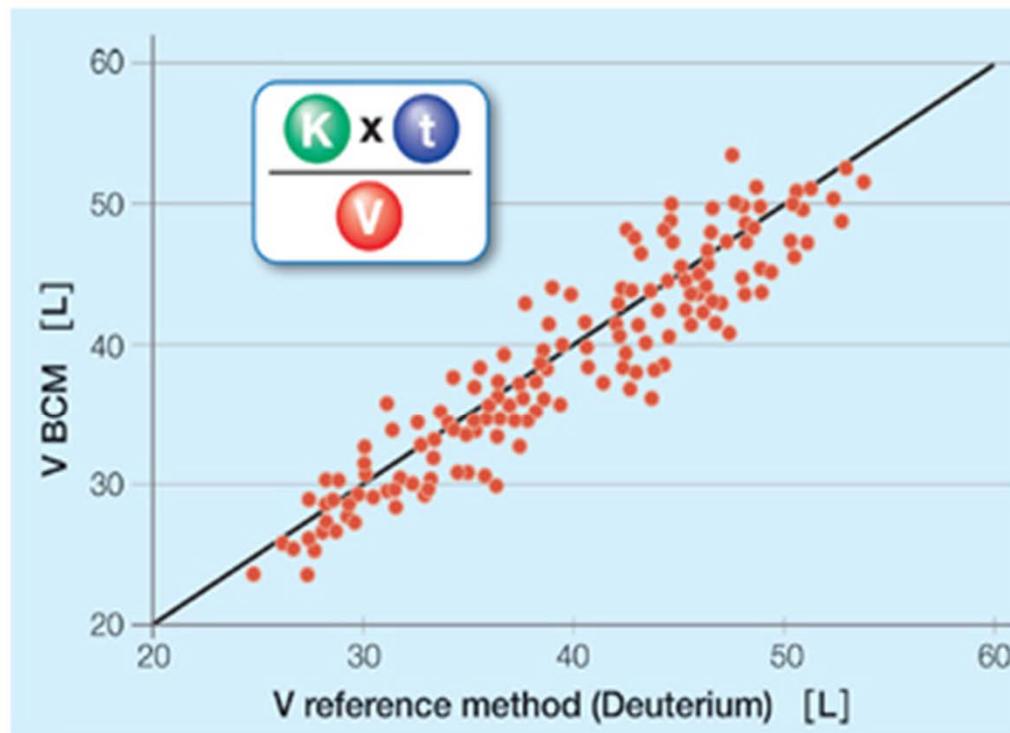
- Bioimpedantie (BCM – Fresenius)



# Bio-impedantie



# Bio-impedantie



The BCM - Body Composition Monitor assessment of total body water (V) is validated against gold standard reference methods ( $R^2 = 0.9$ ).

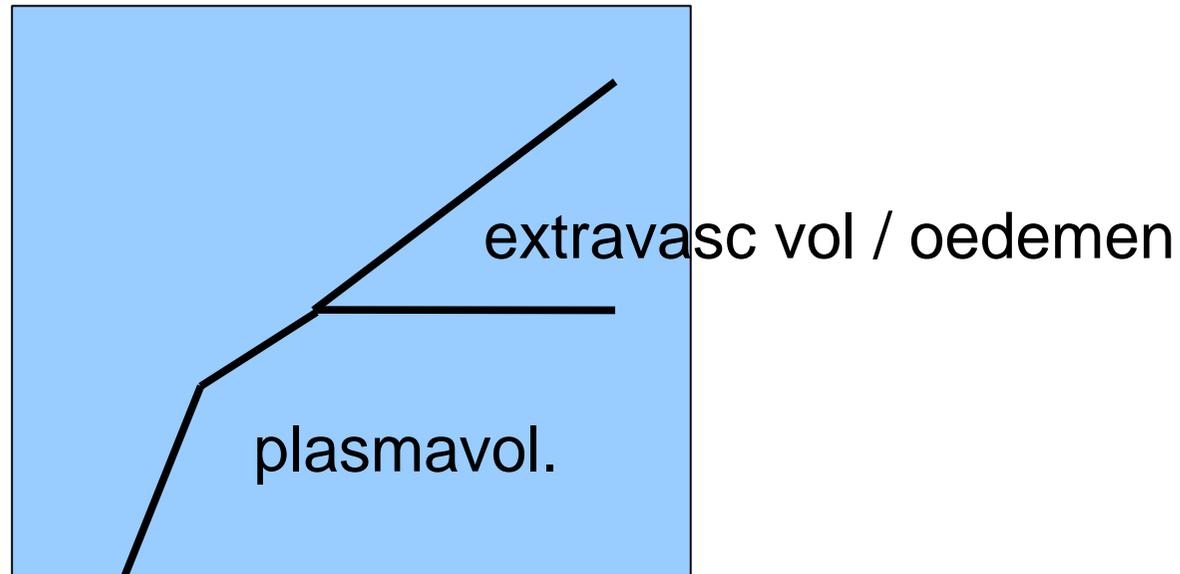


# Overzicht

- Ultrafiltratie en pathofysiologie van volumeregeling tijdens dialyse
- Evaluatie van 'droog gewicht'
- **Ultrafiltratiestrategieën**



# Ideale traject

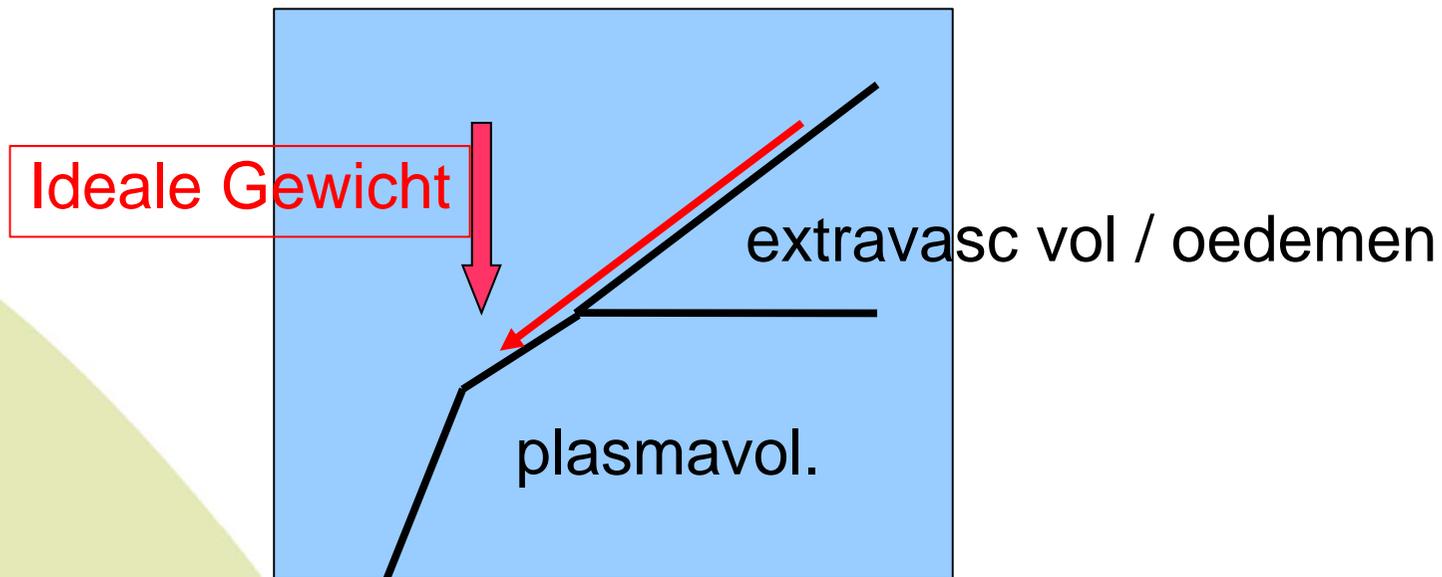


Vulling



# Ideale traject

## Ultrafiltratie



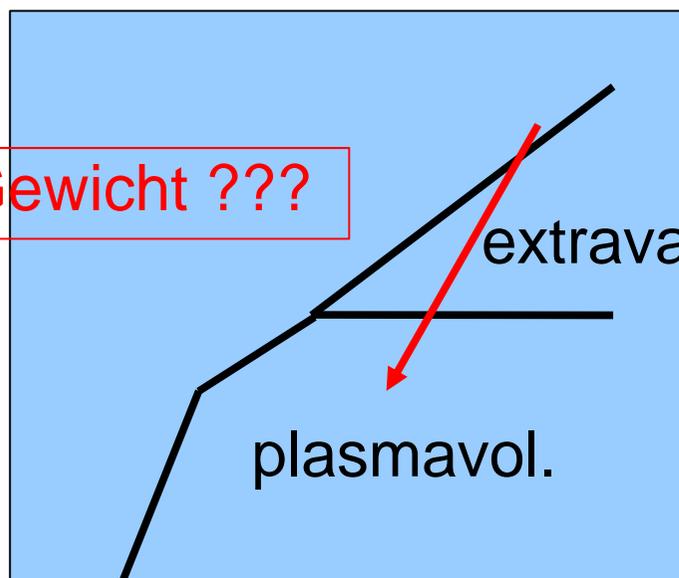
Vulling



# Ideale traject / realiteit

## Ultrafiltratie

Ideale Gewicht ???



extravasc vol / oedemen

plasmavol.



Vulling

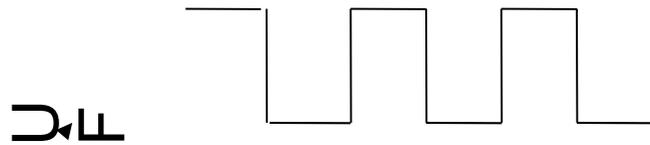


# Ultrafiltratiestrategieën

- Traag, langzaam.  
'CVVH-like'
- = ideaal
- Frekwente 'lage volume' UF  
'dagelijkse UF'



# Pulsed UF



- Geen verbetering van UF tolerantie, integendeel: meer hypotensie.  
(Donauer, Am J Kid Dis 2000)



# UF profiling

DUU

- Geen aangetoond voordeel.
- Zelfs in één studie meer IDH bij profiling.



# Hoog Na dialysaat

---

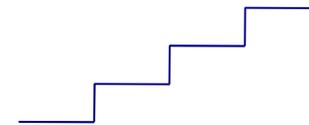
Z<sub>v</sub> σ

- vb. Na 144 mmol/l of meer.
- Doet refill en shift van intra- ==> extracellulair toenemen.
- Minder IDH, beter verdragen UF
- Maar: meer interdialytische volume toename < meer dorst / hogere BD



# Na-profiling

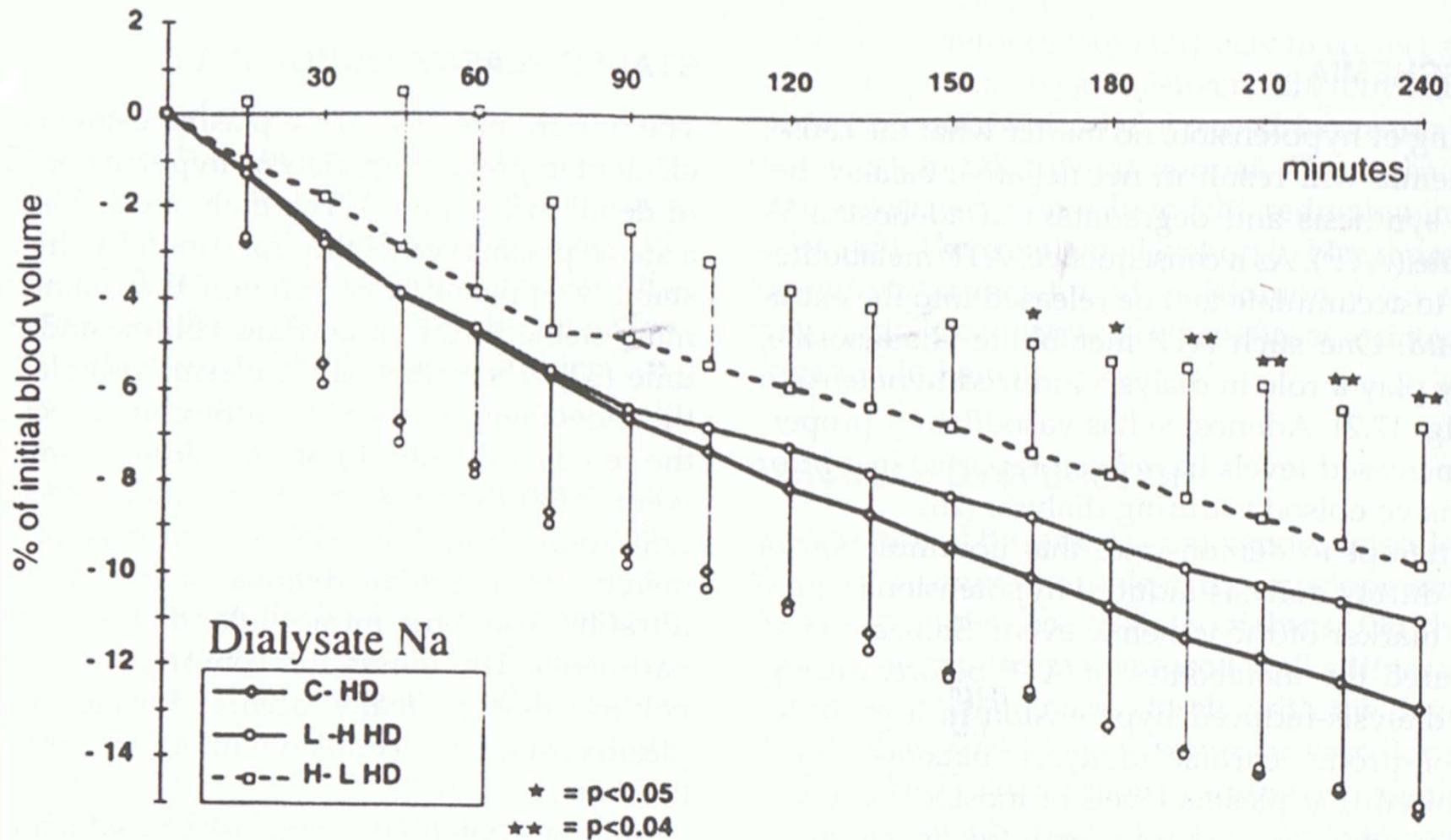
$Z, \sigma$



- Geen duidelijk effect – verschillende studies tonen verschillende resultaten
- Komt meestal overeen met gemiddeld hogere D(Na)
- 'Na-neutral' profiling
- Meeste studies in combinatie met UF profiling



# Na profiling



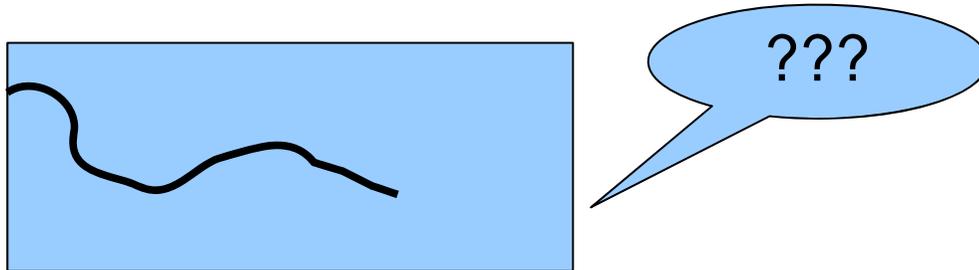
# UF + Na profiling

$\sigma$   $\rightarrow$   $\sigma$   $\rightarrow$   $\sigma$

- Start met hoge UF – initieel best verdragen  
Lager P volume stimuleert refill
- Start met hoge Na concentratie, om snelle initiele daling van osmolaliteit door eliminatie van kleine molecule's tegen te gaan



# Bloed Volume Monitoring



UF verwijdert water van het plasma volume

Plasma eiwitten, Hb, ... blijven aanwezig

Dus: in 2 compartiment model

→ stijging in conc van deze stabiele  
molecules

// daling van het totale plasma volume

# BVM: wat wordt er gemeten?

- Conductiviteit
- Viscositeit
- Densiteit (< eiwit inhoud vnl)



BVM – Fresenius

- Optische densiteit

Hemoscan (Gambro / Hospal)



Crit Line (In Line D)

• ...



# Relatief Bloed Volume!

- Allen meten relatief Bloed Volume (exc. Crit Line)
- Start van de meting is !!!
  - oa. priming procedure
- Er zijn geen standaarden!
- Verschillende toestellen ==> verschillende resultaten – doch geen systematische verschillen die belangrijk zijn !



# Crit Line

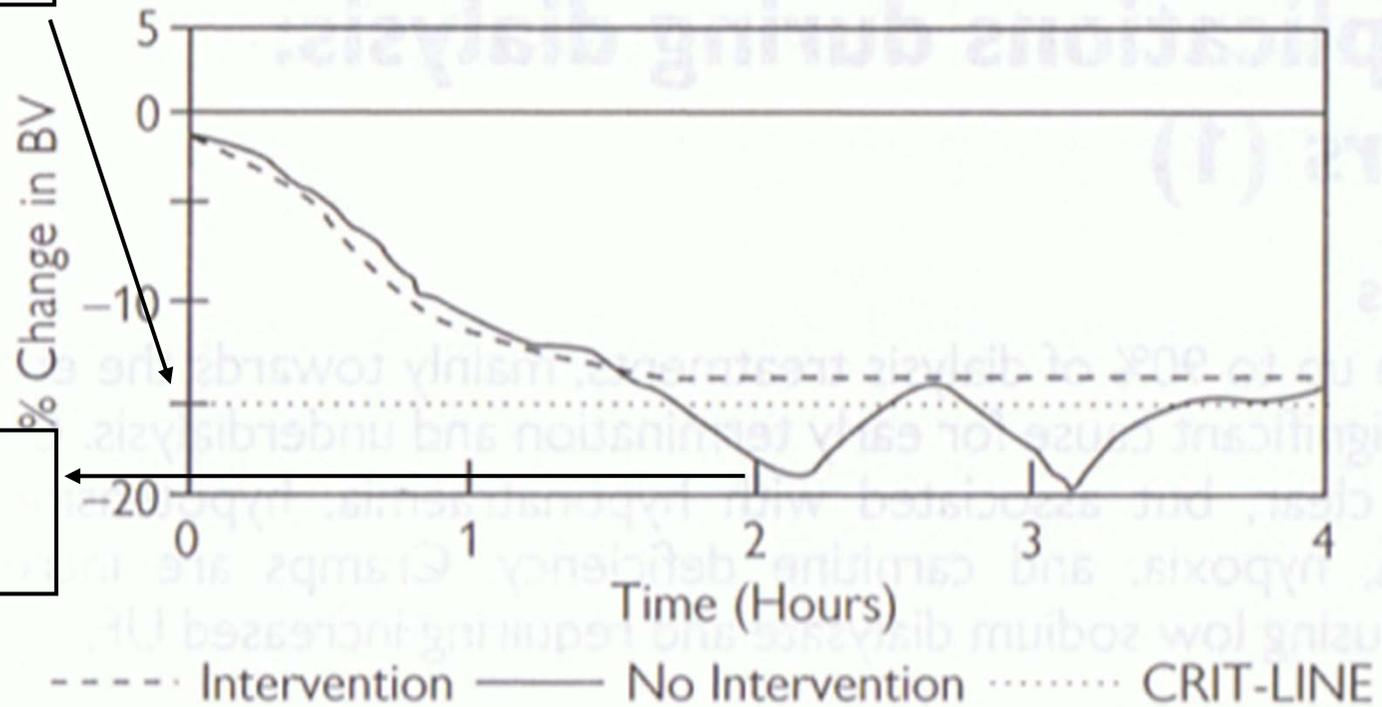
- 'Multiwavelength technique'
- Meet Htc via optische densiteit
- Speciale cuvette
  - → measures relative Bvol
  - → also absolute Htc
  - → O<sub>2</sub> saturation



# Crash Crit hypothesis

Safe target  
max. Htc

Certain  
fixed  
'crash' Htc



# Feedback controls

- Manual

eg. Crit Line study  
and others

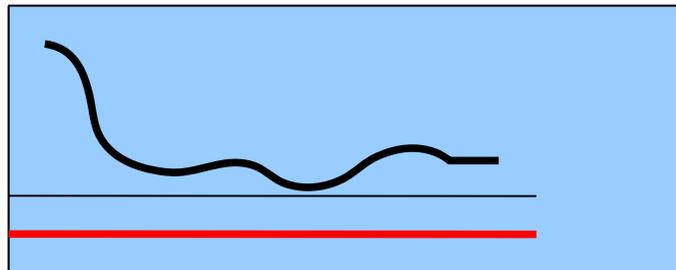
- Automatic 'biofeedback' systems  
Blood Volume Tracking



# Crit Line study

HD met UF-snelheid die door BV monitoring wordt gestuurd.

- Initiële UF-r +25%
- Gebruik van Crash-crit theorie
- Manueel aanpassen van UF-r wanneer men in nabijheid van Htc limiet komt om de BV curve op dat niveau te houden.



# Crit Line study

## Resultaten:

- IME: 37.2% in controle  $\Leftrightarrow$  27.4% in exp groep.  
En vooral zware IDH wordt vermeden.
- Bereiken van SG: OK – het systeem werkt

## Maar:

- Aantal UF-r aanpassingen:
  - mean: 0.5 – 3/HD - tot 8 in 1 HD
- Stabiliteit van 'crash crit' is niet goed.



## Crit Line (5)

- Problem: stability of Crash Crit  
'not so good'

Patiënt	Control phase			Exp phase		
	n IME	Mean H	SD	n IME	Mean H	SD
1	10	43,3	1,08	5	40,5	1,08
2	12	37,5	1,63	14	36,4	0,87
3	3	32,7	1,48	3	37,9	1,27
4	9	42,8	2,17	8	33,3	4,9
5	7	40,9	0,07	5	39,6	1,46
6	4	37,9	0,76	2	35,9	0,1
7	18	35,8	1,33	10	32,4	0,89
8	7	31,1	0,93	10	29,4	1,14
9	17	43,5	2,1	8	39	1,31
10	10	46,5	2,3	6	44,5	1,18

# Andere studies met Crit Line

Bevestigen dat het in sommige handen 'werkt'

- Ronco et al. (KI, 2000)
- Andrulli et al. (AJKD 2002)
- Patel et al. (CJASoN, 2007)

Maar : ...

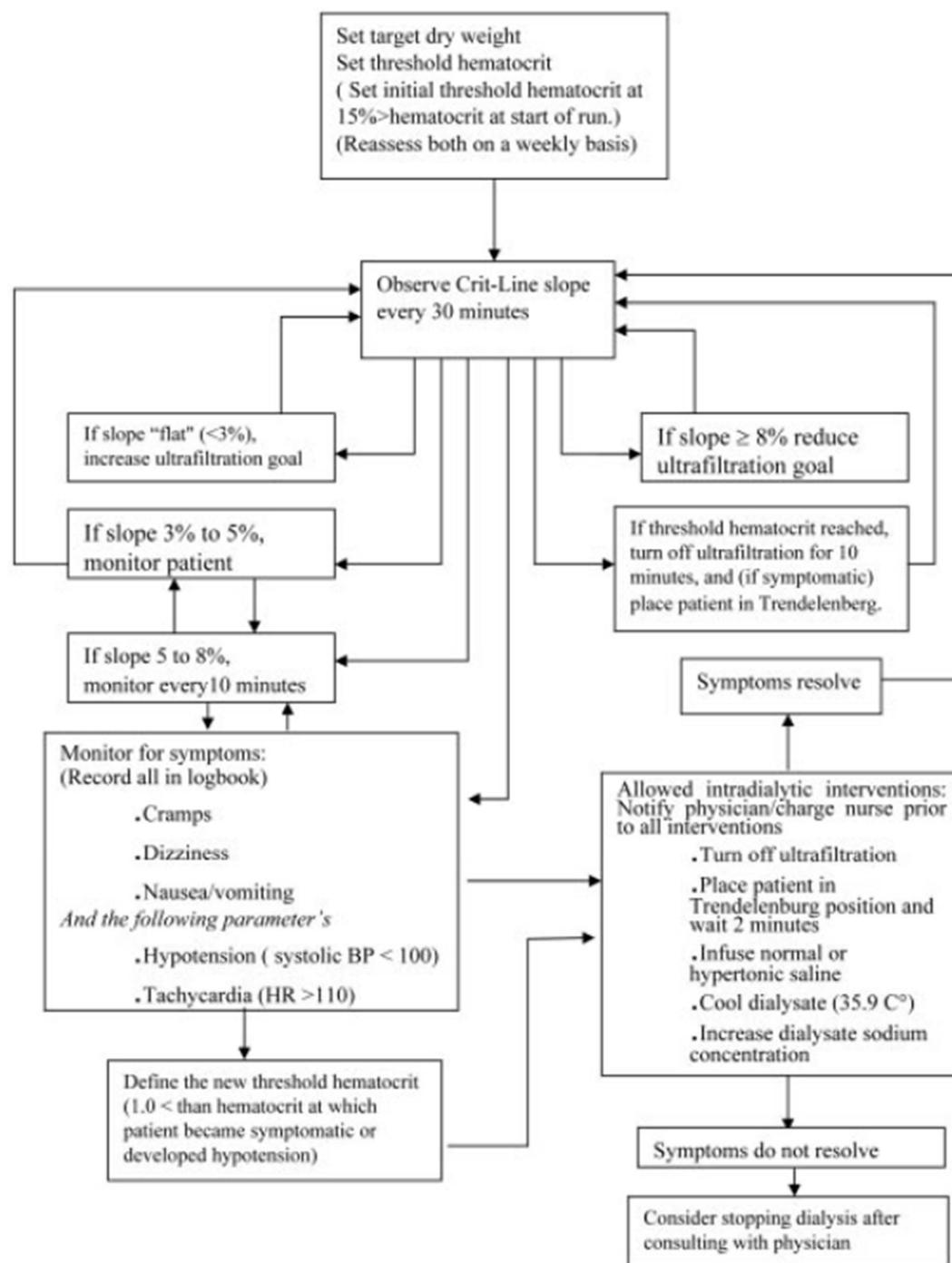


## Intradialytic BVM in ambulatory HD patients, a randomized controlled trial

CLIMB Study: Reddan et al, JASoN, 2005

- 6-center, gerandomiseerde studie , 6 mnd
- 227 Crit Line Monitoring vs 216 conventionele monitoring
- Non blinded
- Sponsored by InLine Diagnostics.





## .../... CLIMB study

- Treshold Htc = Htc start + 15%  
reassessed weekly  
If symptoms => Crash Crit =  $Htc_{sy} - 1$
- UF higher or lower in function of Htc slope
  - => slope < 3%/h : increase UFR
  - => slope 3-5%/h: normal FU
  - => slope 5-8%/h: FU every 10' !
  - => slope > 8%/h : decrease UFR
- Stop UF at treshold.



## .../... CLIMB-study

- Algorithm was encouraged but not mandated.
- 'Real life' setting
- Crit Line recordings used to assess dry weight etc.
- So: Crit Line as 'voluntary adjunct of care'



Table 2. Risk ratios for hospitalization (unadjusted)<sup>a</sup>

Hospitalization Type	Annual Event Rate		Risk Ratio		P Value
	Conventional	Crit-Line	Estimate	95% CI	
Non-access-related	0.77 (81)	1.15 (120)	1.49	1.07 to 2.08	0.017
cardiovascular	0.21 (22)	0.31 (32)	1.47	0.94 to 2.29	0.088
other	0.56 (59)	0.84 (88)	1.50	1.06 to 2.14	0.022
Access-related	0.26 (27)	0.36 (38)	1.42	0.93 to 2.16	0.10

➔ non-access rel hospitalisations: 120 vs 81

Table 3. RR for hospitalization (adjusted<sup>a</sup>)

Hospitalization Type	RR		
	Estimate	95% CI	P Value
Non-access-related	1.61	1.15 to 2.25	0.01
cardiovascular	1.85	1.19 to 2.86	0.006
other	1.53	1.07 to 2.19	0.02
Access-related	1.52	1.02 to 2.28	0.04

<sup>a</sup>Adjusted for dialysis site, race, gender, cause of ESRD (diabetes, hypertension, other), age, peripheral vascular disease, chronic obstructive pulmonary disease, and cardiac disease.

→ RR for hospitalisation in Crit Line :  
 1.61 (non-acc rel)  
 1.52 (acc rel)

Table 7. Comparison of mortality by treatment groups with US Renal Data System data

	Crit-Line Group	Usual Care Group
Patients	227	216
Deaths		
observed	19	7
expected	24.7	26.8
Deaths/100 patient-years at risk		
observed	17.4	6.4
expected	22.6	24.6
Standardized mortality ratio	0.77	0.26
$\chi^2$	1.3	14.6
<i>P</i> value	NS	<0.001

→ mortality: 8.7% vs 3.3% (P = 0.021)



*Table 6. Rates of fluid removal for patients before and after intervention period by treatment group<sup>a</sup>*

	Crit-Line Monitoring Group	Conventional Monitoring Group
Preintervention profiles (per hour)		
<3%	54 (24%)	66 (32%)
≥3 and <8%	155 (69%)	125 (60%)
≥8%	17 (8%)	16 (8%)
total patients	226	207
Postintervention profiles		
<3%	41 (23%)	37 (23%)
≥3 and <8%	121 (68%)	103 (65%)
≥8%	16 (9%)	18 (11%)
total patients	178	158

<sup>a</sup>Data from 10 patients were missing preintervention and from 107 postintervention. Percentages were calculated by excluding patients for whom data were missing.

# CLIMB study: interpretation?

- Crit Line did not systematically alter UF
- All other D parameters: idem
- Conventional treatment: better than expected (Hawthorne effect)
- All in 'stable' patients
- ...



# BVM (Crit Line) met hieraan manuele aanpassing van UF-r

EBPG 2007:

- Manual adjustments of UF according to a fixed protocol based on changes in BV should NOT be performed (ev. level II)

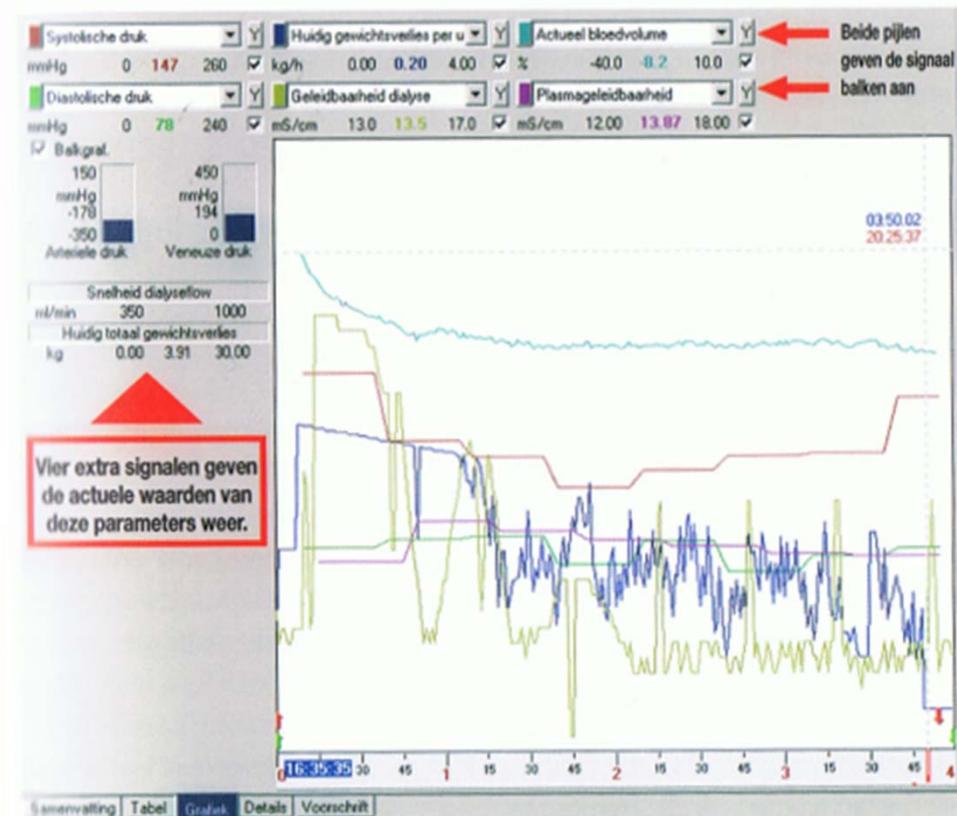


# UF met automatische (bio)feedback

- Hemoscan systeem (Gambro)  
obv BVM curve:
  - aanpassen van UF snelheid
  - aanpassen van D conductiviteitom een bepaalde BVM curve te volgen.
- EBPG: Ev. Level II



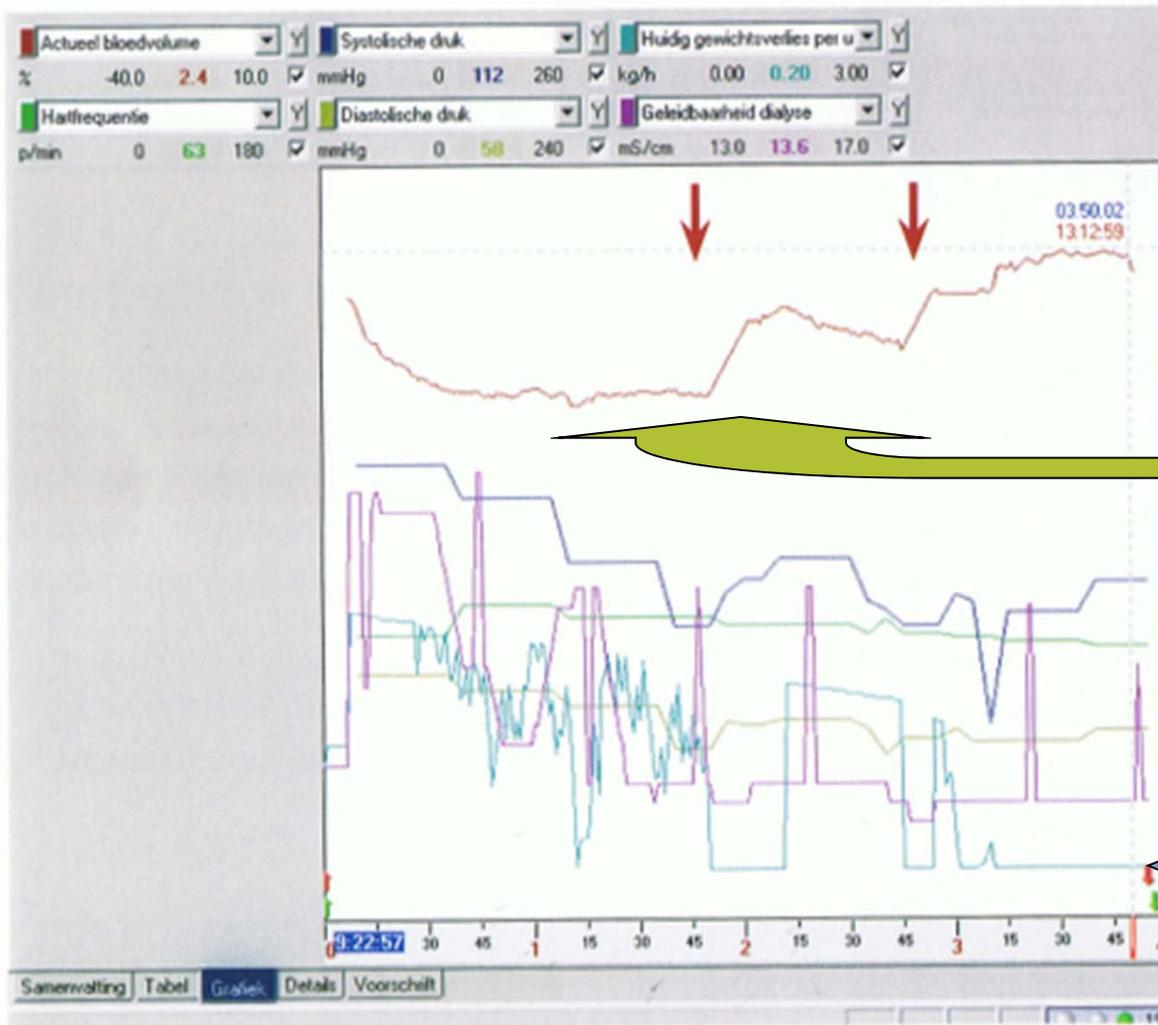
# Different BV Curves



Hemoscan (Gambro)

- BV-curve
- BP
- D Na-conc
- UF rate





Toediening Gelofusine

UF regeling:  
 eerst via automatisch  
 biofeedback systeem  
 nadien manueel afgezet.

Bloeddrukva



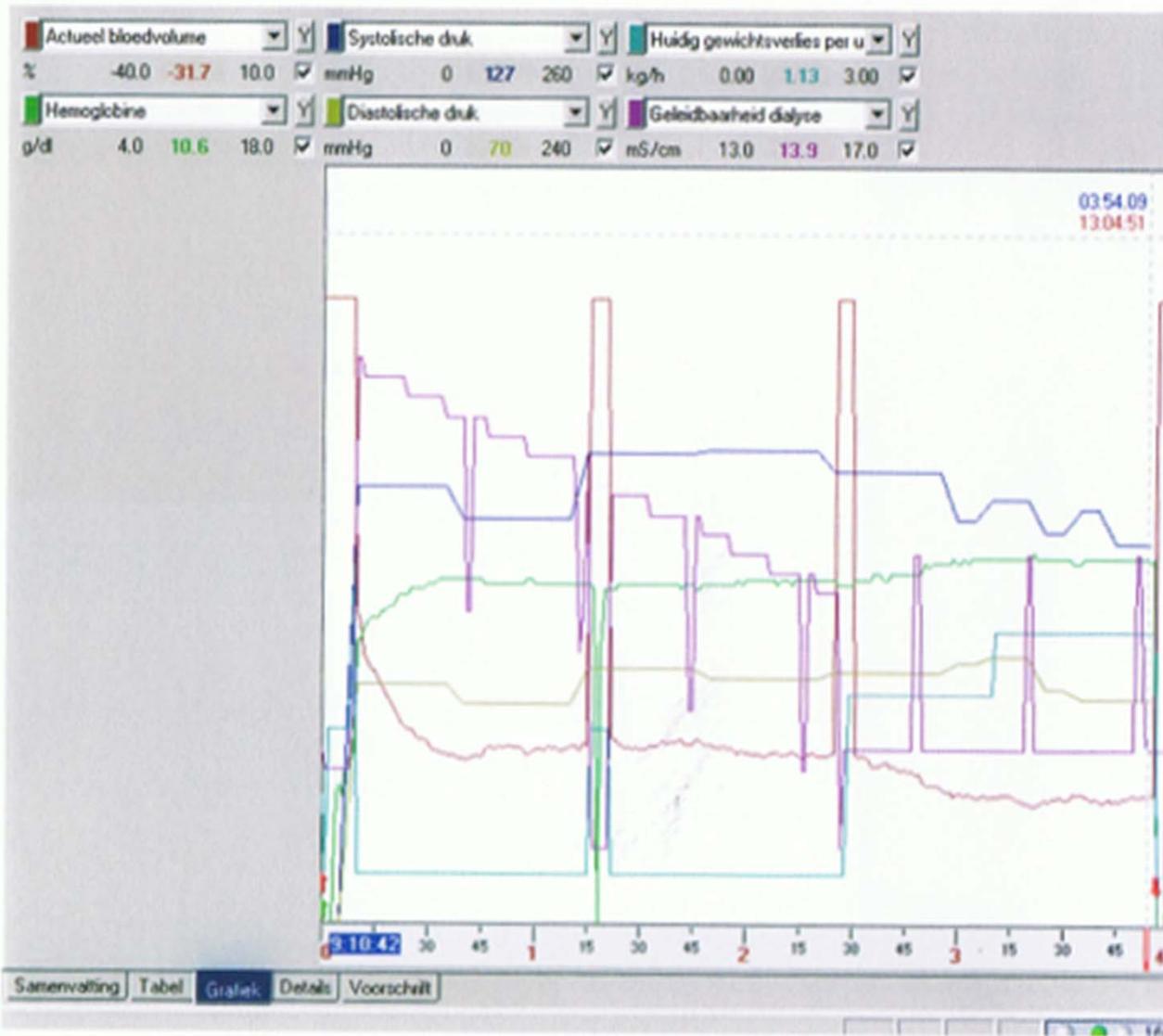
Rel weinig netto UF.  
'de ideale D'

NB:

Na: hoog → laag  
UF: hoog → laag

Quid?

= stolsel voor  
de luchtkamer

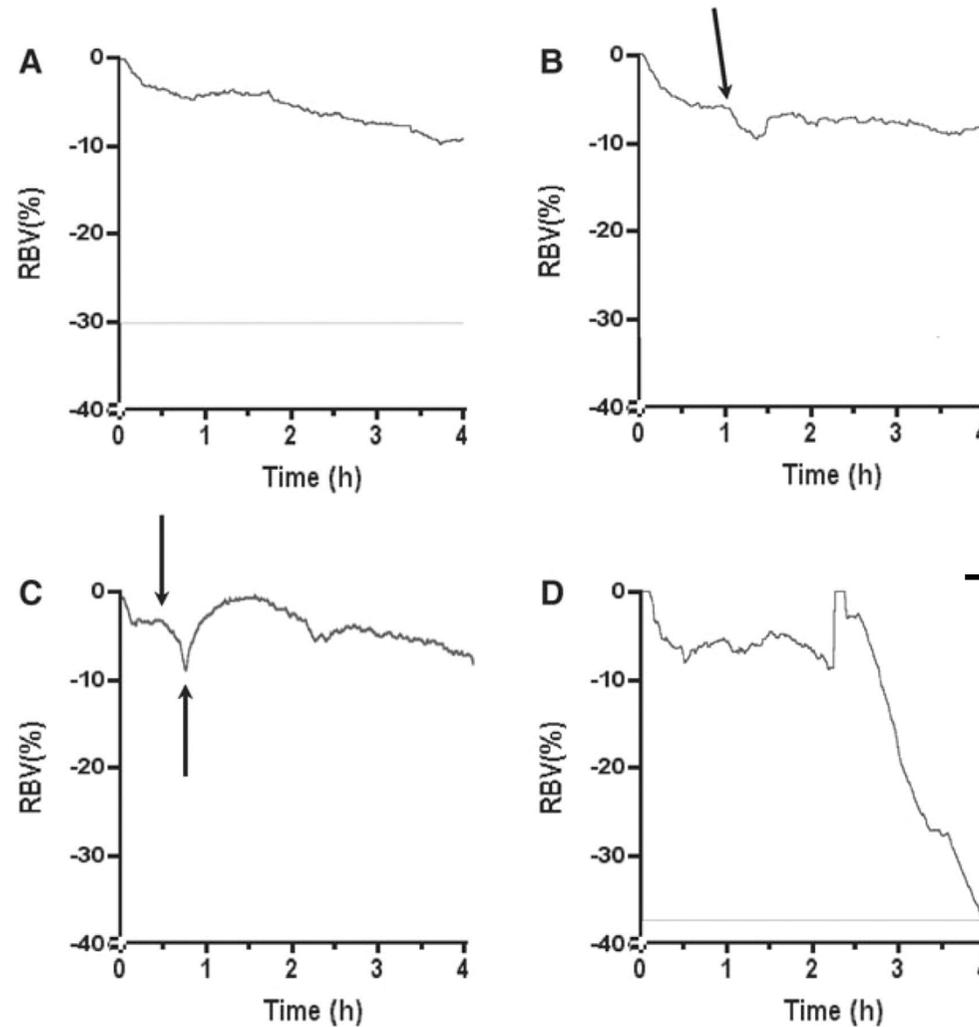


Zeer sterke initiële daling van BV-curve:

Foute 'start'meting van de Htc – NaCl infuus lopende



the relative blood volume (RBV) course during four haemodialysis sessions with constant ultrafi



Supine to sitting pos

Transfusion

Bicyclin g

Dasselaar J J et al. Nephrol. Dial. Transplant. 2005;20:2043-2049

Sint-Augustinus  
GZA Ziekenhuizen

NDT  
Nephrology Dialysis Transplantation

# Hemo (dia)filtratie ipv HD

CLINICAL RESEARCH

[www.jasn.org](http://www.jasn.org)

## Hemofiltration and Hemodiafiltration Reduce Intradialytic Hypotension in ESRD

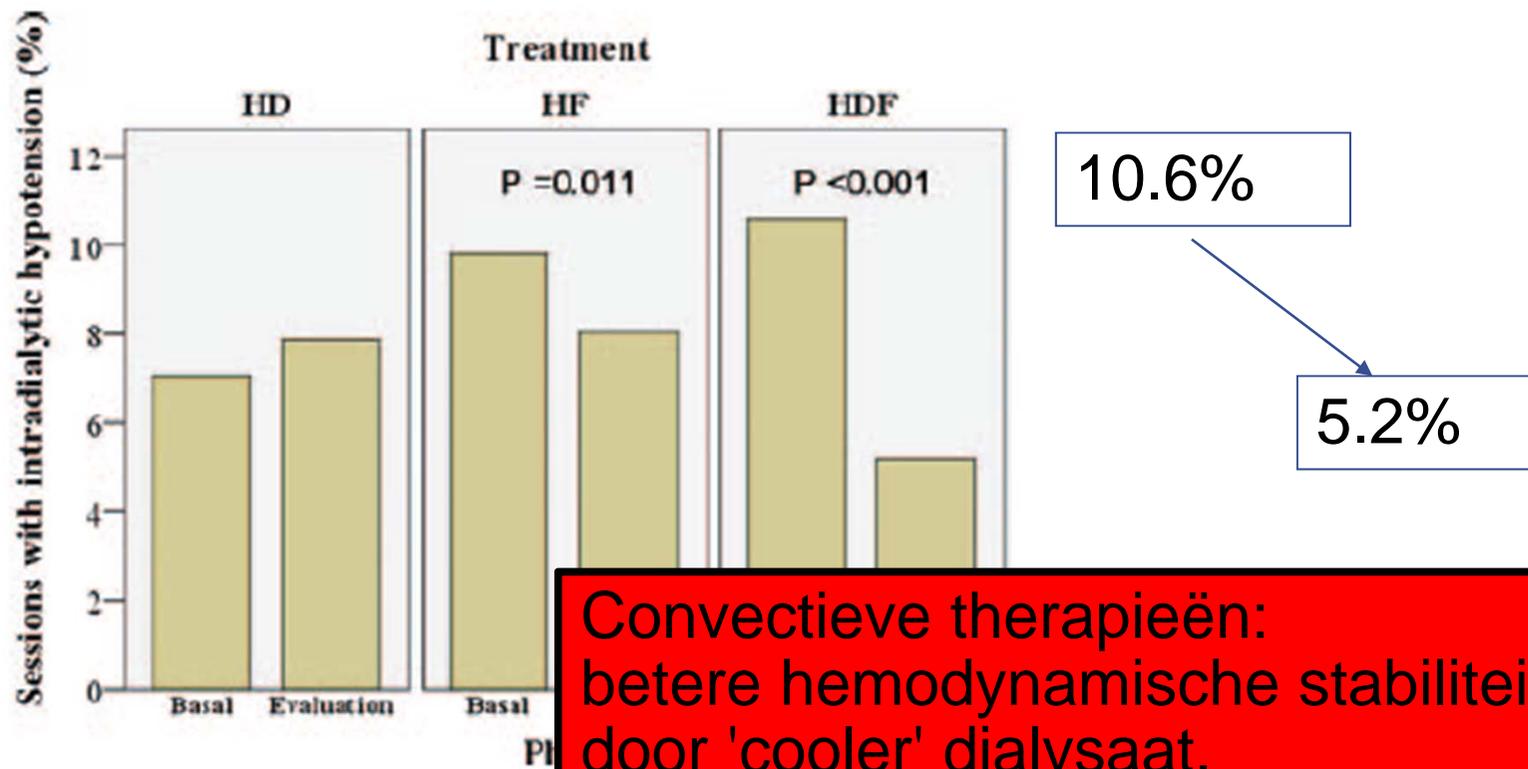
Francesco Locatelli,<sup>\*</sup> Paolo Altieri,<sup>†</sup> Simeone Andrulli,<sup>\*</sup> Piergiorgio Bolasco,<sup>‡</sup> Giovanna Sau,<sup>†</sup> Luciano A. Pedrini,<sup>§</sup> Carlo Basile,<sup>||</sup> Salvatore David,<sup>¶</sup> Mariano Feriani,<sup>\*\*</sup> Giovanni Montagna,<sup>††</sup> Biagio Raffaele Di Iorio,<sup>‡‡</sup> Bruno Memoli,<sup>§§</sup> Raffaella Cravero,<sup>|||</sup> Giovanni Battaglia,<sup>¶¶</sup> and Carmine Zoccali<sup>\*\*\*</sup>

Sint-Augustinus  
GZA . Ziekenhuizen



- Multicenter, open labeled, randomized controlled study – 146 pt
  - HD (70)
  - on-line predilution HF (36)  
(mean 60,4 l subst/session)
  - on-line predilution HDF (40)  
(mean 39.9 l subst/session)
- FU up to 2 y !  
(28950 treatments)





**Figure 2.** 7.5% of all of the 28,950 sessions were complicated by ISH. In the evaluation period compared with the basal run-in, there was a statistically significant decrease of sessions with ISH in HF (9.8 to 8.0%, decrease of 18.4%;  $P = 0.011$ ) and in HDF (10.6 to 5.2%, decrease of 50.9%;  $P < 0.001$ ) compared with low-flux HD group (7.1 to 7.9%, increase of 9.9%).



# Sekwentieel isol UF + HD

- **Guideline 3.5.2 Sequential isolated ultrafiltration followed by isovolemic dialysis should not be used as a regular strategy for the prevention of IDH (Evidence level II).**

Dheenan & Henrich, KI 2001:

Preventing dialysis Hypotension: A comparison of usual protective maneuvers.

- 1 h isolated UF + 3 h of isovolumetric HD
- vs std HD, Na profiling HD, high Na HD, cool-t HD
- ➔ more IDH



# Koude dialyse

- Er is een duidelijk voordeel aangetoond voor koude dialysaat temperatuur (35-36°C) of voor 'isotherme behandelingen' ter vermindering van IDH. (Ev. Level 1)
- Aanbeveling om temperatuur geleidelijk (in stappen van 0,5°C) te verminderen, en om niet < 35°C te gaan.



# Alternatieve monitoring

- vb. biological RR
- vb. PVI
- Bep C.O. monitoring systemen ...

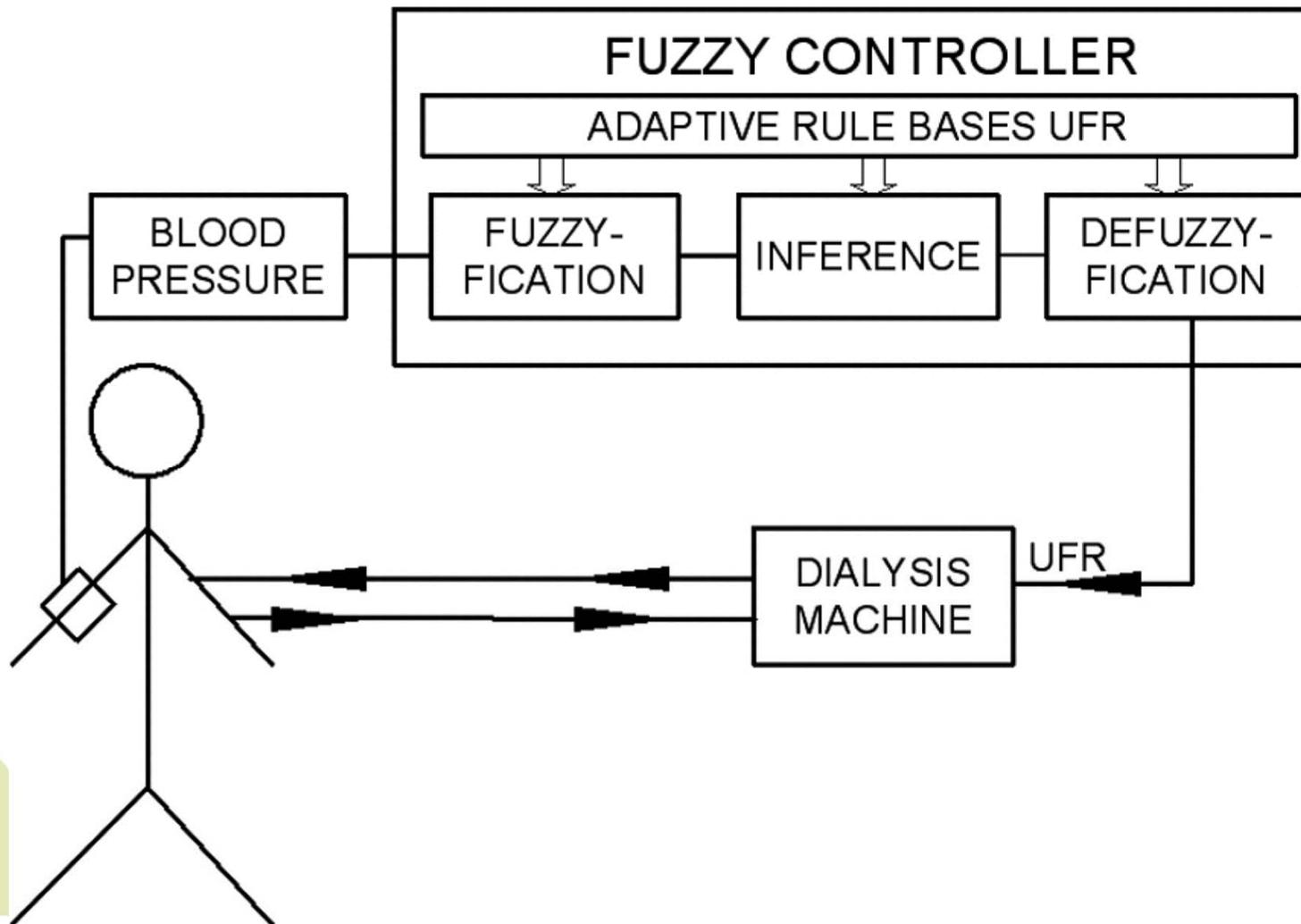


# Biological RR

- Riva Rocci
  - Input = BP measurements & history
  - Fuzzy Logic computer system  
(learning about pt BP behaviour during R/)
  - Automatic adaptation of UF
- 
- BP measurement every 5' during first 30'
  - Patient specific
  - Card with previous data

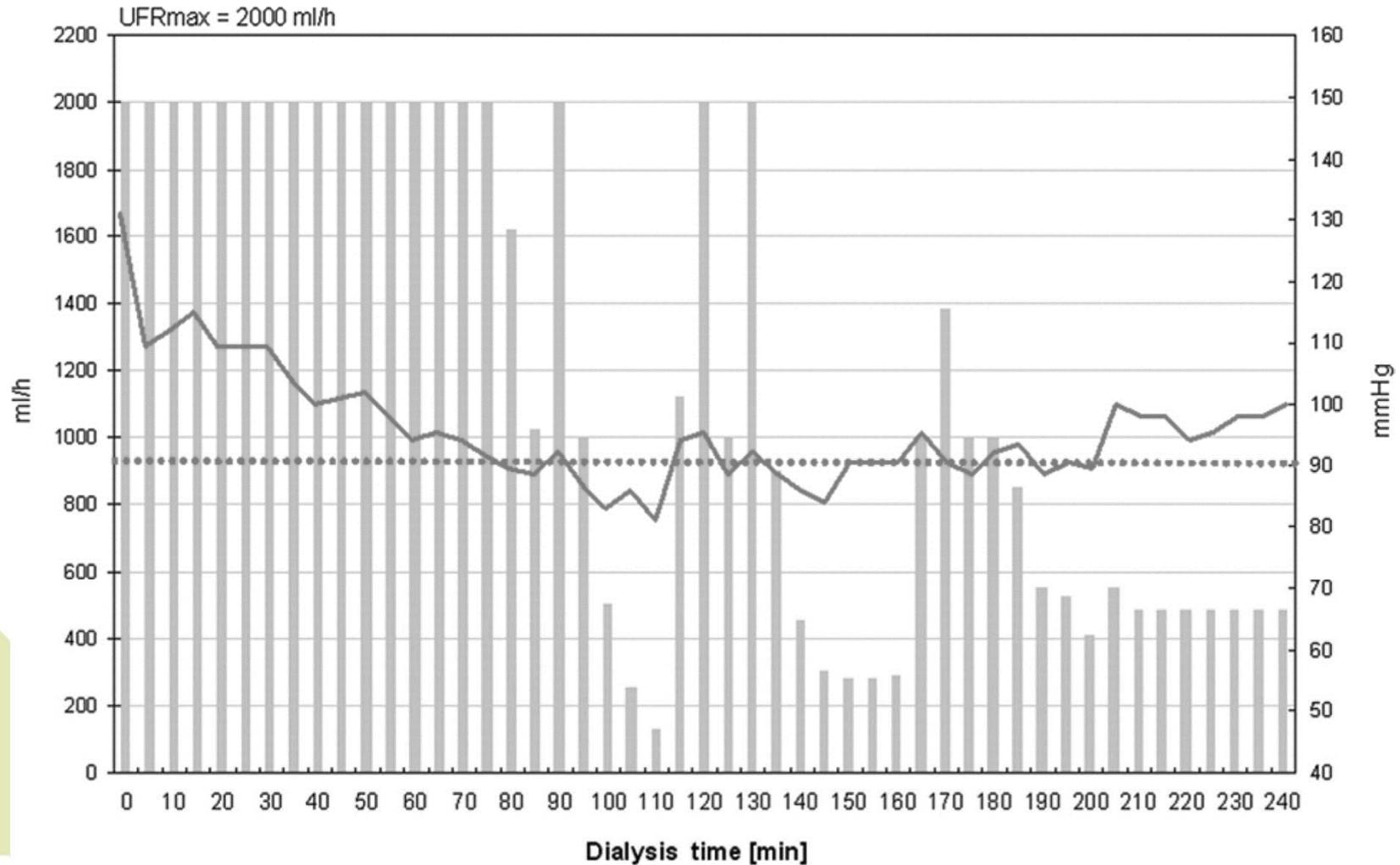


Technical scheme of the closed-loop system for the fuzzy control of the UFR.



Mancini E et al. Nephrol. Dial. Transplant. 2007;22:1420-1427

## A typical course of a dialysis treatment with the use of the ABPS.



Mancini E et al. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2007;22:1420-1427

© The Author [2007]. Published by Oxford University Press on behalf of ERA-EDTA. All rights reserved. For Permissions, please email: [journals.permissions@oxfordjournals.org](mailto:journals.permissions@oxfordjournals.org)

Sint-Augustinus  
GZA Ziekenhuizen



**NDT**  
Nephrology Dialysis Transplantation

# Biological RR

- Study 15 Italian centers – 55 pt with 30% IDH alternating ABPS vs conventional HD
- UF start at 160% of mean
- BP set point:  
if preHD SAP >140 mmHg → 110 mmHg  
< 140 mmHg → -30 mmHg
- Results: **IDH in 21 vs 28%**  
= - 25,3% (p=0,02)  
Severe IDH : - 39%



# Aanvullende maatregelen

- O<sub>2</sub> toedienen
- Ca<sup>++</sup> bad:  
vermindering in myocard-contractiliteit bij Ca 1,25 mmol/l bad  
==> bij IDH: Ca 1,5 mmol/l
- Bicarbonaat ipv acetaat dialysaat  
(*acetaat = vasodilaterend en cardiodepressief*)
- 'Acetate-free biofiltration'  
(=> minder NO productie, minder cytokine- en neutrofielen-activatie)



# Aanvullende maatregelen

- Bij frekwente IDH: laag Mg in dialysaat vermijden (niet  $< 0,25$  mmol/l)
- Bij diabetes : glucosevrij dialysaat vermijden



# Aanvullende maatregelen: anti HT medicatie

- Best 'voorzichtig zijn met' predialyse antihypertensieve medicatie.
- Doch een correcte hypertensieregeling beschermt tegen IDH  
==> is geen reden om op D dag geen antihypertensieve meds te geven !
- Nitraten zouden // IDH



# Aanvullende maatregelen: anti HT medicatie

- Kortwerkende ACE-i vermijden (captopril)
- Voordeel voor meds die via D worden geëlimineerd  
vb. atenolol  
vb. lisinopril, ramipril, ...



# Aanvullende maatregelen

- Intradialytische gewichtstoename beperken  
oa. via zoutbeperking (max 6 g/d)
- Bij frequente IDH: vermijden van voedselinname tijdens D  
<=> cave malnutritie !
- Evt inspanning leveren (fietsen) tijdens dialyse



# Aanvullende maatregelen

- Midodrine 2,5 (tot 10) mg 30' voor dialyse  
! weinig veiligheidsgegevens.  
Lijkt wel zeker effect te hebben op BD  
(ev. Level II)
- L-carnitine supplementen (20 mg/kg op  
einde van elke dialyse) ???  
(ev. Level III)



# Andere technieken

- Langere dialyse's
- Frekwentere dialyse's
- Peritoneale dialyse



# Stratified approach

## First-line approach

- Dietary counselling (sodium restriction).
- Refraining from food intake during dialysis.
- Clinical reassessment of dry weight.
- Use of bicarbonate as dialysis buffer.
- Use of a dialysate temperature of 36.5°C.
- Check dosing and timing of antihypertensive agents.



# Stratified approach

## Second-line approach

- Try objective methods to assess dry weight.
- Perform cardiac evaluation.
- Gradual reduction of dialysate temperature from 36.5°C downward (lowest 35°C) or isothermic treatment (possible alternative: convective treatments).
- Consider individualized blood volume controlled feedback.
- Prolong dialysis time and/or increase dialysis frequency.
- Prescribe a dialysate calcium concentration of 1.50 mmol/l.



# Stratified approach

## **Third-line approach (only if other treatment options have failed)**

- Consider midodrine.
- Consider L-carnitine supplementation.
- Consider peritoneal dialysis.



# Conclusions ?

The NEW ENGLAND JOURNAL of MEDICINE

REVIEW ARTICLE

MEDICAL PROGRESS

## Hemodialysis

Jonathan Himmelfarb, M.D., and T. Alp Ikizler, M.D.

N Engl J Med 2010;363:1833-45.

Copyright © 2010 Massachusetts Medical Society.

Sint-Augustinus  
GZA . Ziekenhuizen



# Patient safety and technical advances

Other technical improvements include the standard use of the more physiologic bicarbonate-based dialysate, better water-quality standards, volumetric ultrafiltration controls, and computer-controlled sodium and potassium modeling.

N Engl J Med 2010;363:1833-45.  
Copyright © 2010 Massachusetts Medical Society.



Several in-line devices now allow dynamic monitoring of the rate of blood flow through the vascular access, changes in the hematocrit (to measure vascular refilling during ultrafiltration), and changes in the electrical conductivity of the dialysate (to estimate the amount of solute being removed).

N Engl J Med 2010;363:1833-45.  
Copyright © 2010 Massachusetts Medical Society.

Sint-Augustinus  
GZA . Ziekenhuizen



- Thus, dialysis machines with feedback-control systems currently allow for computer-controlled, real-time adjustments in the critical components of dialysis, such as the ultrafiltration rate.
- Automated control of dialysate temperature helps maintain a constant body temperature during dialysis, which may reduce the incidence of intradialytic hypotension.

N Engl J Med 2010;363:1833-45.  
Copyright © 2010 Massachusetts Medical Society.

*Sint-Augustinus*  
GZA . Ziekenhuizen



**Although studies in small groups of patients have suggested possible benefits from in-line monitoring or feedback-control systems, evidence of improved outcomes in large, rigorously controlled trials is lacking.**

N Engl J Med 2010;363:1833-45.  
Copyright © 2010 Massachusetts Medical Society.

