

# Haemodynamics during haemodialysis

Citation for published version (APA):

Leunissen, K. M. L. (1988). *Haemodynamics during haemodialysis*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19881209kl>

## Document status and date:

Published: 01/01/1988

## DOI:

[10.26481/dis.19881209kl](https://doi.org/10.26481/dis.19881209kl)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## CHAPTER VIII

### SUMMARY AND CONCLUSION

The aim of this thesis was to investigate pathophysiological processes underlying haemodynamic instability during haemodialysis.

Chapter I provides orientation with respect to the problem. Various factors leading to haemodynamic instability are discussed and a summing up is given of the various questions, which are investigated. The investigations can be divided into two clusters. In the first cluster the influence of optimal dry weight has been investigated (chapter II, III and IV), and in the second the influence of various buffer substrates (chapter V, VI and VII).

#### Determination of dry weight

Patients with end stage renal failure have an impaired volume regulation. Excess volume has to be removed during dialysis. Determination of the excess of volume depends on estimation of dry weight. This estimation is mostly done on basis of clinical parameters. Estimation with help of these methods is not well defined. Therefore a more accurate and objective method for estimation of dry weight has been developed. In chapter II a description is given of a non-invasive method, measuring by echography the vena cava inferior diameter (VCD) and collapse index (CI) at deep inspiration. Both indices of vena cava inferior can be determined easily and accurately in more than 95% of the patients. Inter- and intraobserver variability for the VCD are less than 5% and 2.5% respectively, and 10% and 2.5% respectively. Both VCD and CI are correlating significantly with invasively measured mean right atrial pressure (MRAP).

Before dialysis no significant correlation was found between VCD/CI and blood volume. The absence of a significant correlation was due to the fact that patients with a large VCD had a wide variation of large blood volumes. However, after dialysis VCD and blood volume correlated significantly, whereas CI did not. Furthermore, the relative decrease of blood volume during ultrafiltration correlated significantly with the relative decrease of VCD. The observations before and after dialysis seem to be contradictory, but can be explained as follows. With increasing blood volume, VCD will increase until VCD has reached

his maximal anatomical width. A further increase of blood volume will result in a small increase of diameter only and a steep increase of pressure. So CI might be merely pressure related, while VCD might depend on volume as well as pressure.

Based on findings described before, hypovolaemia (MRAP  $\leq 3$  mmHg) was defined when there was a VCD of less than 13 mm and/or a CI of  $>75\%$ , while hypervolaemia (MRAP  $>8$  mmHg) was defined when there was a VCD of more than 18 mm and/or a CI of less than 40%.

Reliability of vena cava inferior indices for estimation of the hypovolaemic state was proven by the fact that during haemodialysis with fluid removal in underhydrated patients after dialysis according to these indices, mean arterial pressure and stroke volume decreased, while heart rate increased significantly. No such changes were observed in normovolaemic and hypervolaemic patients after dialysis according to these indices.

The reliability of the CI as a parameter for overhydration was supported by the results of Moreno. He found that a CI  $<40\%$  was associated with a MRAP  $>7$  mmHg (specificity 90%, sensitivity 91%). Concerning the reliability of the VCD as a parameter of overhydration: in almost all our patients a VCD  $>18$  was associated with a high MRAP. Moreno found in 65 patients with a known MRAP, that a VCD  $>18$  mm was a parameter of an elevated MRAP had a specificity of 83% and a sensitivity of 88%.

The determination of serum alpha-atrial natriuretic peptide (alpha-h-ANP) has been advocated as indicator for fluid status as well. Therefore the relationship between alpha-h-ANP and VCD, CI, left atrial diameter, left ventricular end diastolic diameter, ultrafiltration volume, was studied.

In chapter III a significant correlation was found between VCD and alpha-h-ANP ( $r=0.73$ ,  $p<0.001$ ), whereas there was no correlation between the other parameters and alpha-h-ANP. It has been advocated to express VCD per square meter body weight, because VCD will depend on habitus of a patient. Therefore the correlation between alpha-h-ANP and  $VCD/m^2$  was computed. The VCD, corrected for body surface area, showed a better correlation with alpha-h-ANP before dialysis ( $r=0.78$ ,  $p<0.0001$ ) compared to the uncorrected value. Therefore in other studies the corrected VCD was used. VCD before dialysis had a predictive value

concerning the decrease of alpha-h-ANP due to dialysis with fluid removal. Fluid removal induced in hypervolaemic patients a significant decrease of alpha-h-ANP levels, whereas during removal of the same amount of fluid in normo- and hypovolaemic patients alpha-h-ANP did not change. After achieving normovolaemia alpha-h-ANP levels in patients with mitral valve insufficiency grade I were doubled compared to normovolaemic patients without mitral valve insufficiency. The latter findings suggest, that alpha-h-ANP can be released by left atrium as well.

The limitations of alpha-h-ANP for estimation of dry weight are clear. A high alpha-h-ANP level means either fluid overload or high left atrial pressure due to a mitral valve insufficiency, and a normal alpha-h-ANP level could either mean normovolaemia or hypovolaemia. So changes in alpha-h-ANP levels during dialysis rather than the absolute level of alpha-h-ANP are giving an indication of dry weight.

More prove for the reliability of vena cava inferior indices for the determination of fluid status was delivered in chapter IV. In this chapter changes of macro- as well as microcirculation were studied during dialysis of patients, who were either normo- or hypervolaemic, or hypovolaemic according to vena cava inferior indices.

Patients who were hypovolaemic after dialysis showed a significant decrease of stroke volume, mean arterial pressure and an increase of heart rate, whereas patients, who were normovolaemic or still hypervolaemic after dialysis, showed no changes.

Skin perfusion was measured by Laser Doppler and intravital microscopy of nailfold capillaries. In patients, who were hypovolaemic after dialysis, skin perfusion decreased. This was probably due to decreased stroke volume and an increase of serum adrenaline concentration. Adrenaline has an inhibitory effect on cutaneous blood flow. Patients, who were normovolaemic or still hypervolaemic after dialysis, showed a significant increase of skin perfusion. This increased skin perfusion might be related to local autoregulatory mechanisms as the myogenic response. When data of all patients were compiled, VCD but not CI correlated significantly with changes of Laser Doppler signals and changes of red blood cell velocity.

In conclusion, vena cava inferior indices, especially vena cava inferior diameter, are excellent markers for fluid status of dialysis

patients and will provide a reliable tool for estimation of dry weight in haemodialysis patients. Because of aforementioned limitations of alpha-h-ANP levels with regard to fluid status, also in clinical practice preference should be given to echography of vena cava inferior and determination of VCD and its collapse index.

### Buffer substrate

One of the aims of haemodialysis is correction of metabolic acidosis. For that purpose, buffers are added to dialysates, either acetate or bicarbonate.

The effects of acetate and bicarbonate on haemodynamic stability were studied in acute and chronic haemodialysis patients.

In critically ill patients with acute renal failure a significant decrease of left ventricular function was observed during acetate dialysis compared to bicarbonate dialysis (chapter V), resulting in a decrease of blood pressure. This decrease of left ventricular function might be caused by various factors related to the use of acetate, such as hypoxaemia, hypocapnia and an incomplete correction of acidosis.

During acetate dialysis of chronic haemodialysis patients (chapter VI) a decreased plasma volume preservation was found compared to bicarbonate dialysis. Moreover, during acetate dialysis a difference in plasma volume preservation between patients with normal and patients with compromised left ventricular function was found. In patients with a normal left ventricular function plasma volume was decreased in the first hour of acetate dialysis only, whereas in patients with impaired left ventricular function the decrease of plasma volume was even more pronounced during acetate dialysis. Ultrafiltration during acetate dialysis in patients with an impaired left ventricular function has to be stopped because of a severe hypotension, leading to a decrease of net amount of ultrafiltration volume of 60% compared to bicarbonate dialysis. The difference in plasma volume preservation was not related to changes of osmolality and colloid oncotic pressure.

The negative effect of acetate might be related to a difference in plasma volume preservation. During fluid removal plasma volume will be restored by transport of fluid from the extravascular compartment to the intravascular compartment. The refilling rate is related to the capillary Starling equilibrium. Acetate might interfere with this

equilibrium because of vasodilation, cardiodepression and release of lymphokines, which could interfere with capillary permeability.

During dialyses correction of the acidosis will occur through the influx of buffer substrate such as bicarbonate. Rate of influx of the buffer substrate will determine the speed and height of the correction of pH. It was suggested that not correction of acidosis, but an increase of serum ionized calcium is the most important factor for stabilization of haemodynamic state. An increasing ionized calcium concentration improves left ventricular function and increases vascular tone. The increase of ionized calcium is inversely correlated with the increase of pH. Moreover, a physiological pH is necessary for calcium influx into the cells, inducing an improved myocardial contractility and an increased vascular tone. This pivotal role of ionized calcium and pH for the regulation of blood pressure was shown in chapter VII. Notwithstanding the same considerable influx of calcium during high, medium and low bicarbonate dialysis, a significant increase of ionized calcium was observed during low bicarbonate dialysis only. During medium and high bicarbonate no significant increase of ionized calcium occurred due to a rapid change of acidosis to alkalosis. During low bicarbonate dialysis mean arterial pressure and pulse rate remained almost the same, while during high and medium bicarbonate haemodialysis a significant decrease of mean arterial pressure and a significant increase of heart rate was observed. Ultrafiltration volumes were comparable. A increasing ionized calcium was counteracting the negative effect of fluid removal on blood pressure.

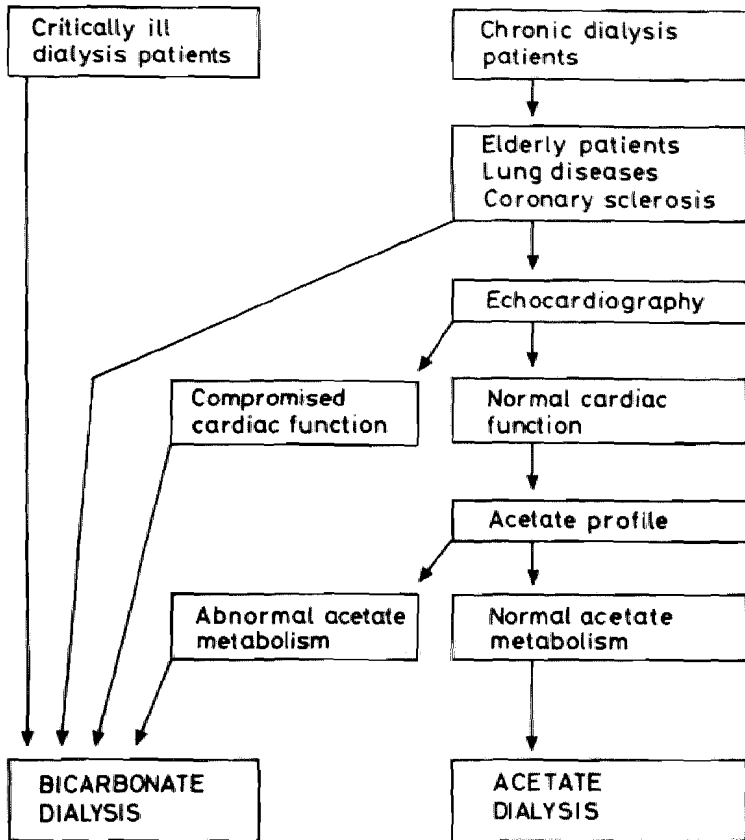
It can be concluded that for an optimal cardiovascular stability during haemodialysis an optimal fluid status is very important. Also on the long term an optimal dry weight is mandatory, because chronic fluid overload and chronic dehydration will lead to congestive heart failure or left ventricular concentric hypertrophy. The use of echography of inferior vena cava, measuring the anterior-posterior diameter and collapsibility index, proved to be a reliable tool for estimation of fluid status. Haemodynamic stability during haemodialysis is also dependent on the used buffer substrate, especially in critically ill patients and in patients with a compromised left ventricular function. Because of the pivotal role of ionized calcium for left ventricular

contractility and peripheral vascular tone, and the inverse relationship between pH and ionized calcium, preference should be given to dialysates, containing a low concentration of bicarbonate.

In clinical practice there are other well defined circumstances, in which bicarbonate dialysis is indicated. Because of the effects of acetate, such as hypoxaemia, hypocapnia and incomplete correction of the acidosis, bicarbonate dialysis should be advocated in elderly patients, patients with chronic obstructive lung diseases and patients with coronary sclerosis. There are also reports of patients with a decreased metabolic capacity of acetate, resulting in hyperacetataemia and an increasing metabolic acidosis because of organic acid formation, especially when high flux membranes are used.

Although bicarbonate as a physiological buffer is to be preferred, the extra cost and complexity cannot justify its use in all patients at this moment. The extra cost per year of one bicarbonate dialysis module (performing 250 dialyses) is about \$4000. In this amount is included the initial price of the module, the service costs and the extra costs of the bicarbonate concentrate.

So for clinical practice a decision tree has been made for dealing with the question acetate or bicarbonate dialysis (figure 1).



**Figure 1:**

Decision tree concerning acetate or bicarbonate for haemodialysis in clinical practice





## SAMENVATTING

De diverse onderzoeken, die beschreven zijn in dit proefschrift, zijn verricht met het doel om na te gaan welke pathofysiologische mechanismen ten grondslag liggen aan dalingen van de bloeddruk tijdens haemodialyse. In hoofdstuk I wordt een oriëntatie in de problematiek gegeven. Diverse factoren die aanleiding geven tot bloeddrukdalingen worden besproken. Op het einde van het hoofdstuk wordt een opsomming gegeven van de vraagstellingen van de diverse onderzoeken. Deze onderzoeken kunnen ingedeeld worden in twee clusters. In het eerste cluster wordt de invloed van het streefgewicht bestudeerd (hoofdstuk II, III en IV), terwijl in het tweede de invloed van het gebruikte buffersubstraat is onderzocht (hoofdstuk V, VI en VII).

### Bepaling van het streefgewicht

Patiënten met een terminale nierinsufficiëntie zijn niet meer in staat hun water- en zouthuishouding te reguleren. Het teveel aan vocht zal tijdens een dialysebehandeling door middel van ultrafiltratie verwijderd moeten worden. Bepaling van de hoeveelheid vocht die onttrokken moet worden (het ultrafiltraat) hangt af van het zogenaamde streefgewicht. Dit streefgewicht wordt meestal vastgesteld aan de hand van klinische symptomen van over- en ondervulling. Bepaling van het streefgewicht met behulp van deze middelen is subjectief en niet gestandaardiseerd. Daarom is een meer gestandaardiseerde en objectieve methode van bepaling van het streefgewicht ontwikkeld.

In hoofdstuk II wordt een niet-invasieve methode beschreven voor het bepalen van het streefgewicht. Met behulp van echografie wordt de diameter van de vena cava inferior (VCD) en de mate van collaberen tijdens diepe inspiratie (collaps index = CI) op gestandaardiseerde wijze gemeten. De diameter en de collaps index zijn gemakkelijk te bepalen in meer dan 95% van de patiënten. De inter- en intraobserver variabiliteit is voor de meting van VCD respectievelijk <5% en <2.5% en voor de meting van CI <10% en <2.5%. De VCD en CI bleken significant te correleren met invasief gemeten rechter atrium drukken.

Voor haemodialyse bleek geen significante correlatie te bestaan tussen de VCD, CI en het bloedvolume. De afwezigheid van een correlatie was mogelijk een gevolg van het feit, dat patiënten met een wijde VCD een

grote spreiding vertoonden van het bloedvolume. Na dialyse bleek CI niet, maar VCD wel, significant gecorreleerd te zijn met het bloedvolume. Bovendien bleek de relatieve afname van het bloedvolume ten gevolge van ultrafiltratie significant te correleren met de afname van de VCD. Deze bevindingen voor en na dialyse lijken met elkaar in tegenspraak, maar kunnen als volgt worden verklaard. Bij het stijgen van het bloedvolume zal de diameter toenemen totdat deze zijn maximale anatomische wijdte heeft bereikt. Een verdere toename van bloedvolume zal dan slechts resulteren in een geringe toename van de diameter, terwijl de druk sterk zal toenemen. De CI lijkt derhalve meer een afspiegeling te zijn van de druk, terwijl de diameter afhankelijk is van zowel het volume als de druk.

Gebaseerd op voornoemde bevindingen werd de aanwezigheid van ondervulling waarschijnlijk geacht indien de VCD <13 mm en/of de CI >75% bedroeg, en overvulling indien de VCD >18 mm en/of de CI <40% bedroeg. De waarde van deze indices voor het bepalen van de volumestatus werd aangetoond in twee groepen patiënten, waarbij de volumestatus na dialyse was bepaald aan de hand van deze indices. De eerste groep bestond uit patiënten die ondervuld waren, de tweede groep uit patiënten die overvuld waren. Gedurende dialyse met ultrafiltratie van patiënten uit de eerste groep werden veranderingen in de circulatie geobserveerd, die pasten bij ondervulling, zoals afname van de bloeddruk en het slagvolume, met een toename van de polsfrequentie. Deze veranderingen werden niet waargenomen bij patiënten, die normovolaemisch of overvuld waren.

De bepaling van het serum alpha-atriale natriuretisch peptide (alpha-h-ANP) zou ook een indicatie kunnen geven over de volumestatus van de patient. Daarom is in hoofdstuk III nagegaan wat de relatie was tussen alpha-h-ANP, VCD, CI, diameter van het linker atrium, linker ventrikel eind diastolische diameter en hoeveelheid ultrafiltraat. Er bleek een significante correlatie te bestaan tussen VCD en alpha-h-ANP ( $r=0.73$ ;  $p<0.001$ ), terwijl er geen correlatie bestond tussen de andere variabelen en het alpha-h-ANP. Er zijn aanwijzingen dat het nauwkeuriger is VCD uit te drukken per  $m^2$  lichaamsoppervlak, omdat de VCD afhankelijk kan zijn van de habitus van de patient. Om die reden is de correlatie tussen alpha-h-ANP en VCD per  $m^2$  opnieuw berekend. Het bleek dat de VCD gecorrigeerd voor lichaamsoppervlak een betere

correlatie toonde met het alpha-h-ANP voor dialyse ( $r=0.78$ ;  $p<0.0001$ ) dan met de niet gecorrigeerde waarde. Daarom is in de verdere onderzoeken slechts gebruik gemaakt van de VCD, gecorrigeerd voor lichaamsoppervlakte.

De VCD voor dialyse bleek een predictieve waarde te hebben ten aanzien van de afname van het alpha-h-ANP gedurende dialyse en ultrafiltratie. Dezelfde hoeveelheid ultrafiltraat induceerde in patiënten, die voor dialyse overvuld waren volgens VCD en CI, een significante afname van het alpha-h-ANP, terwijl in patiënten die voor dialyse normo- en hypovolaemisch waren volgens VCD en CI alpha-h-ANP niet veranderde. Na het bereiken van normovolaemie was het serum ANP bij patiënten met mitraalinsufficiëntie graad I zonder pulmonale hypertensie tweemaal zo hoog in vergelijking met normovolaemische patiënten zonder mitraalinsufficiëntie. Deze laatste waarneming suggereert dat de productie van alpha-h-ANP wordt gestimuleerd door een verhoogde linker atriumdruk.

De beperkingen van het alpha-h-ANP als indicatie voor de volumestatus zijn duidelijk geworden uit deze onderzoeken. Een hoge alpha-h-ANP-spiegel betekent of overvulling of een hoge linker atriumdruk ten gevolge van een mitraalklepinsufficiëntie, terwijl een normale alpha-h-ANP-spiegel gevonden kan worden bij zowel normovolaemie als bij ondervulling. Een enkele bepaling van het alpha-h-ANP geeft weinig zinvolle informatie over de vullingsgraad. Eerst meer informatie daarover kan men verkrijgen door veranderingen van het alpha-h-ANP te meten tijdens ultrafiltratie.

Nog meer bewijs van de bruikbaarheid van de vena cava indices als maat voor de vullingsgraad werd geleverd door de resultaten van de onderzoeken, beschreven in hoofdstuk IV. In dit hoofdstuk werden veranderingen van macro- en microcirculatie bestudeerd gedurende haemodialyse met ultrafiltratie. De patiënten werden verdeeld op grond van de vena cava indices na dialyse in twee groepen. Een groep patiënten, die of overvuld of normovolaemisch was, en een groep patiënten, die ondervuld was. Patiënten, die na dialyse ondervuld waren, toonden een significante afname van het slagvolume, de gemiddelde arteriële bloeddruk en een significante toename van de hartfrequentie. Deze veranderingen werden niet gevonden bij de andere groep.

De huiddoorbloeding werd gemeten door middel van de Laser Doppler en

intravitaalmicroscopie van de capillairen in de nagelplooi. In patiënten, die na dialyse ondervuld waren, nam de huiddoorbloeding significant af. Deze afname kan toegeschreven worden aan een gelijktijdig waargenomen afname van het slagvolume en een toename van de concentratie van het serum adrenaline. Zoals bekend geeft een toename van adrenalineconcentratie een vermindering van de huiddoorbloeding. Patiënten, die na dialyse normovolaemisch of nog steeds overvuld waren, toonden daarentegen significante toename van de huiddoorbloeding. Deze toegenomen huiddoorbloeding zou mogelijk kunnen berusten op lokale autoregulatie, zoals de myogene respons. Wanneer de resultaten van alle patiënten samen genomen werden, bleek de VCD significant voorspellende waarden te hebben ten aanzien van de veranderingen van de Laser Doppler en veranderingen in de snelheid van de rode bloedcellen in de capillairen in de nagelplooi. Een dergelijke relatie kon niet worden aangetoond voor de CI.

Concluderend kan men stellen dat de indices van de vena cava inferior en met name de vena cava inferior diameter een goede indicatie geven over de volumestatus van dialysepatiënten.

Deze indices vormen betrouwbare hulpmiddelen bij de bepaling van het streefgewicht van haemodialysepatiënten. Het bepalen van alpha-h-ANP lijkt voor de praktijk weinig zinvol bij het bepalen van het streefgewicht.

### Type buffer

Tijdens haemodialyse wordt de metabole acidose, die een gevolg is van de nierinsufficiëntie, gecorrigeerd. Om dit doel te bereiken wordt aan het dialysaat een buffer (acetaat of bicarbonaat) toegevoegd. De effecten van acetaat en bicarbonaat op de haemodynamische stabiliteit zijn bestudeerd bij patiënten met acute en chronische haemodialyse. Bij acute patiënten bleek er een significante afname te zijn van de linker ventrikel functie gedurende acetaatdialyse in vergelijking met bicarbonaatdialyse (hoofdstuk V). Deze afname van linker ventrikel functie had als gevolg dat er een significante daling van de bloeddruk optrad tijdens acetaatdialyse. Deze afname van de linker ventrikel functie kan worden toegeschreven aan diverse factoren, die gerelateerd zijn aan het gebruik van acetaat, zoals hypoxie, hypocapnie en een incomplete correctie van de acidose.

Gedurende de acetaatdialyse werd ook een verminderde plasmavolumepreservatie gevonden in vergelijking met bicarbonaatdialyse. Deze laatste waarnemingen werden verricht bij chronische haemodialysepatiënten (hoofdstuk VI). Met name werd dit verschil waargenomen, als men tijdens acetaatdialyse de gegevens over plasmavolumepreservatie vergeleek van patiënten met een normale met patiënten met een verminderde linker ventrikelfunctie. In patiënten met een normale linker ventrikelfunctie bleek het plasmavolume met name in het eerste uur van de dialyse afgenomen te zijn. Deze afname van het plasmavolume was ernstiger bij patiënten met een verminderde linker ventrikelfunctie en duurde daarenboven tijdens de gehele dialyse. Dientengevolge moest de ultrafiltratie gestopt worden in verband met ernstige bloeddrukdalingen. Dit had als gevolg dat er 60% minder geultrafiltreerd kon worden tijdens acetaatdialyse in vergelijking met bicarbonaatdialyse. Deze veranderingen van de plasmavolumepreservatie waren niet gerelateerd aan veranderingen in de osmolariteit en de colloid-osmotische druk.

Het negatieve effect van acetaat kan mogelijk een gevolg zijn van verschil in plasmavolumepreservatie. Tijdens ultrafiltratie wordt het plasmavolume aangevuld door transport van vocht van het extravasculair compartiment naar het intravasculair compartiment. De hoeveelheid getransporteerd vocht is afhankelijk van het Starling equilibrium van het capillair. Het is mogelijk dat acetaat interfereert met dit evenwicht vanwege het feit dat het aanleiding geeft tot vasodilatatie, de hartfunctie onderdrukt en de productie van lymfokines stimuleert. Deze lymfokines kunnen interfereren met de permeabiliteit van het capillair.

Tijdens dialyse wordt de acidose gecorrigeerd door de instroom van buffers zoals bicarbonaat. De mate van instroom van deze buffer zal de snelheid van de correctie en de hoogte van de pH bepalen. Er zijn aanwijzingen dat de belangrijkste factor voor een stabiele haemodynamiek niet de correctie van de acidose is, maar de toename van het geïoniseerd calcium. De toename van geïoniseerd calcium verbetert de linker ventrikelfunctie en geeft aanleiding tot een toename van de vasculaire tonus. De toename van het geïoniseerd calcium is echter omgekeerd gecorreleerd met de toename van de pH. Het is overigens zo dat een fysiologische pH nodig is voor de influx van calcium in de

cellen. Deze influx bewerkstelligt dan een toename van de contractiliteit van de hartspier en een toename van de vaattonus.

In hoofdstuk VII wordt aangetoond dat het geïoniseerd calcium inderdaad een zeer belangrijke rol speelt bij de regulatie van de bloeddruk tijdens dialyse. Ondanks het feit dat dezelfde aanzienlijke hoeveelheid calcium instroomt tijdens dialyses met drie verschillende concentraties bicarbonaat (of hoog, of medium of laag), is slechts een significante toename van het geïoniseerde calcium waargenomen tijdens laag bicarbonaat. Tijdens de dialyses met dialysaat, dat of hoog of medium bicarbonaatconcentraties bevatte, is geen significante toename gevonden van het geïoniseerde calcium. Dit wordt veroorzaakt door de zeer snelle verandering van acidose naar alkalose. Tijdens dialyse met een lage bicarbonaatconcentratie zijn nauwelijks veranderingen waargenomen van de bloeddruk en de pols, terwijl tijdens dialyse met hogere bicarbonaat concentraties de bloeddruk significant daalde en de pols significant steeg. De hoeveelheid ultrafiltraat was gedurende alle drie de procedures vergelijkbaar. Het lijkt er dus op dat een toename van het geïoniseerd calcium het negatieve effect van ultrafiltratie op de bloeddruk tegengaat. Tijdens dialyse speelt het geïoniseerd calcium derhalve een cruciale rol bij het handhaven van de bloeddruk.

Concluderend kan men dus stellen dat, wat betreft optimale haemodynamische stabiliteit tijdens dialyse, een optimale volumestatus zeer belangrijk is. Ook voor de lange termijn is een optimale vullingsgraad uitermate belangrijk, omdat zowel chronische overvulling als chronische ondervulling tot afwijkingen van het hart kunnen leiden.

Toepassing van de echografie van de vena cava inferior, waarbij de voorachterwaartse diameter en de mate van collaberen worden gemeten, lijkt een veelbelovende methode voor het bepalen van de vullingsgraad. De haemodynamische stabiliteit tijdens dialyse is ook afhankelijk van het type buffer in het dialysaat. Het type buffer is met name van belang bij patiënten, die acuut ziek zijn, of bij patiënten met een slechte linker ventrielfunctie. Omdat geïoniseerd calcium zeer belangrijk is voor de functie van het linker ventrikel en de vaattonus, en er verder een omgekeerde relatie bestaat tussen pH en de ionisatiegraad van het calcium, zal men bij deze patiënten sterk de voorkeur moeten geven aan dialyse, waarbij gebruik gemaakt wordt van lage concentraties bicarbonaat in het dialysaat.

Er zijn overigens ook andere situaties, waarbij het gebruik van bicarbonaat in het dialysaat is geïndiceerd. Het is aanbevelenswaardig om bij oudere patiënten, patiënten met longlijden en patiënten met coronair sclerose, bicarbonaat te gebruiken, omdat het gebruik van acetaat aanleiding geeft tot hypoxaemie, hypocapnie en een incomplete correctie van de acidose. Ook zijn er patiënten, die een afgenomen capaciteit hebben om acetaat te metaboliseren, waardoor er hoge acetaatspiegels ontstaan, die aanleiding geven tot toename van de metabole acidose als gevolg van vorming van organische zuren. Deze lage capaciteit om acetaat te metaboliseren zal vooral aanleiding tot problemen geven als de zogenaamde "high flux" membranen worden gebruikt.

Ofschoon theoretisch de voorkeur gegeven moet worden aan de fysiologische buffer bicarbonaat, is dat niet noodzakelijk bij elke patient. Er zijn trouwens extra kosten verbonden aan de toepassing van bicarbonaat. De extra kosten op jaarbasis voor een bicarbonaatmodule, waarmee men ongeveer 250 dialyses kan uitvoeren, is ongeveer f 10.000. In dit bedrag zijn inbegrepen de prijs van de module, de servicekosten en de extra kosten verbonden aan het gebruik van bicarbonaat. Bij de keuze tussen acetaat- en bicarbonaaldialyse kan men gebruik maken van een beslisboom (zie figure 1 van de engelse samenvatting).