

Hoofdstuk 11 TMP, wat m(w)eten we?

Inleiding.

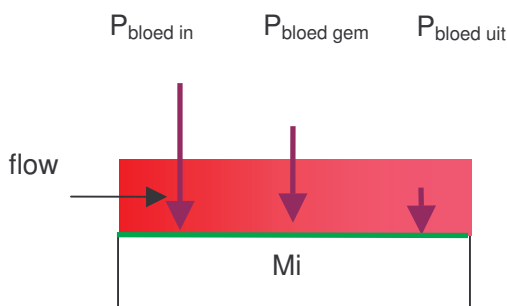
TMP staat voor Trans Membrane Pressure, in het Nederlands trans membraan druk. Een begrip dat veelal in een eenvoudige formule wordt neergezet, maar waar veel onduidelijkheid over bestaat. Een begrip dat voor ons van belang is omdat het waarschuwt bijvoorbeeld bij backfiltration, maar ook te hoge drukken als gevolg van bijvoorbeeld stolling. In deze inleiding wordt het theoretische model behandeld. Helaas zal blijken dat het invullen van de gemeten getallen in de formule niet tot hetzelfde getal leidt als de aanwijzing die op de machine verschijnt. In de praktijk blijken er meer invloeden een rol te spelen dan waarmee de formule rekt.

Waar praten we over:

TMP= in rekenkundige zin het verschil tussen de druk die gemiddeld aan de bloedzijde heerst en de gemiddelde druk die aan de vloeistofzijde heerst.

Het bloed zal onder invloed van de arteriële pomp onder druk worden ingepompt, als gevolg van weerstand van het membraan treed er drukverlies op zodat de druk aan de ingang altijd hoger is dan aan de uitgang.

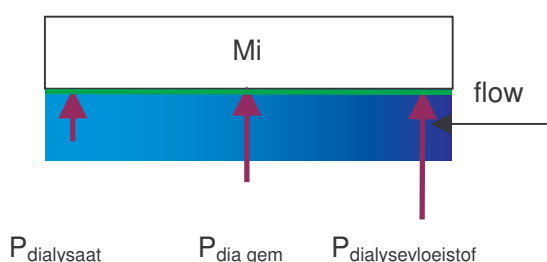
Aan de bloedzijde wordt druk op het membraan uitgeoefend. In het midden van het membraan (M_i) heerst theoretisch een gemiddelde druk van:



Figuur 1: drukken vanuit bloed op membraan

$$P_{\text{bloed gem}} = (P_{\text{bloed in}} + P_{\text{bloed uit}}) / 2$$

Ook aan de vloeistofzijde van het membraan ontstaan drukken. Aan de vloeistofzijde van het membraan zorgt de flowpomp voor druk waarmee dialysevloeistof de kunstnier wordt ingepompt. In het midden van het membraan (M_i) heerst theoretisch een gemiddelde druk van:



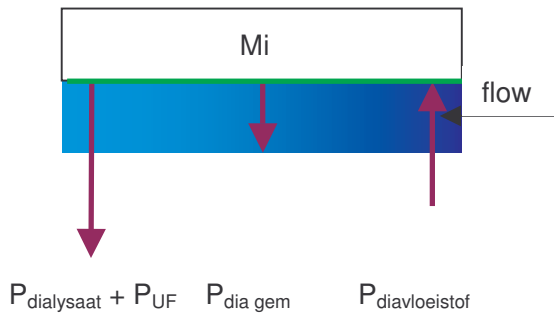
Figuur 2: drukken vanuit vloeistof op membraan

$$P_{\text{dia gem}} = (P_{\text{dialysevloeistof}} + P_{\text{dialysaat}}) / 2$$

TMP is nu het verschil tussen de gemiddelde druk aan bloedzijde en de gemiddelde druk aan vloeistofzijde ofwel:

$$TMP = P_{\text{bloed gem}} - P_{\text{dia gem}}$$

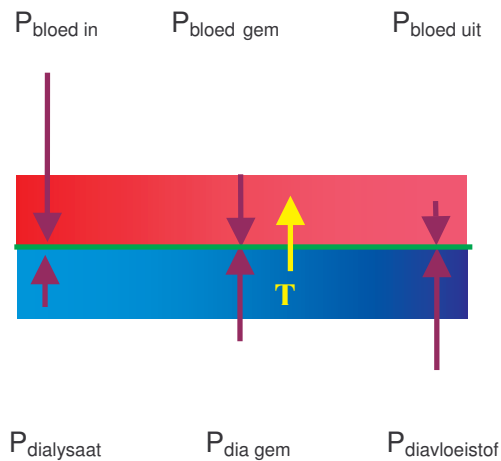
In bovenstaande figuren is de (gemiddelde) druk steeds naar het membraan gericht. Afhankelijk van de hoogte van de drukken op het membraan zal het netto effect positief zijn, als $P_{\text{bloed gem}} > P_{\text{dia gem}}$, en negatief indien $P_{\text{dia gem}} > P_{\text{bloed gem}}$. Echter zodra er ultrafiltratie is, en er dus aan dialysaatzijde negatieve druk wordt aangelegd verandert het beeld. Bij deze situatie kan, afhankelijk



van de grootte van de negatieve druk de gemiddelde druk aan de vloeistofzijde van het membraan af zijn gericht.

Figuur 3: drukkens vanuit vloeistof met UF op membraan

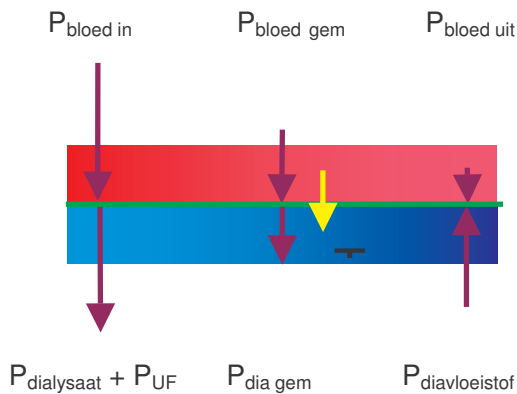
Deze laatste geschetste situatie behoed ons ervoor dat niet-steriele stoffen vanuit de dialysevloeistof in het bloed terecht komen.



Als we geen UF toepassen, ziet het totaal van drukkens op het membraan er als volgt uit

Figuur 4: drukkens op membraan zonder UF

Als we wel UF toepassen, ziet het totaal van drukkens op het membraan er als volgt uit



Figuur 5: drukkens op membraan met UF

Positieve en negatieve TMP

Een positieve TMP betekent dat de gemiddelde druk aan bloedzijde hoger is dan aan vloeistofzijde. Hierdoor zal vloeistof vanuit het bloed naar de dialysevloeistof stromen.

Nu echter de praktijk

gemiddelde druk versus lokale druk

Als we alle drukkens bij dialyse met ultrafiltratie op het membraan plaatsen, zien we bijvoorbeeld figuur 4. Als ter hoogte van het midden (M_i) een positieve TMP heerst, suggereert dat, dat er geen transport van vloeistof naar bloed plaatsvindt. Kijken we echter ter rechterzijde van het membraan dan toont het plaatsje dat $P_{dialvloeistof}$

$> P_{\text{bloed uit}}$. Aan deze zijde kan dus wel degelijk ongewenst transport plaatsvinden. Onze formule voorziet dus niet in deze situatie.

membraanvervorming ten gevolge van drukverschillen

Bij een holle vezel bestaat het membraan uit een starre 'buis'. Drukverschillen tussen bloed en dialysevloeistof hebben (vrijwel) geen invloed op de vorm van het membraan.



Figuur 6: holle vezel drukloos



Figuur 7: holle vezel onder druk

Wordt de holle vezel echter door een platen nier vervangen dan verandert hiermee de situatie. De platen nier heeft zogenaamde compliance, en is vervormbaar.



Figuur 8: platen nier drukloos



Figuur 9: platen nier onder druk

TMP verandering na verloop van dialysetijd

Naarmate de dialysetijd verstrijkt zal als gevolg van de ultrafiltratie het bloed indikken. Bij een gelijkblijvende ultrafiltratie snelheid moet de ultrafiltratiepomp meer moeite doen, dus meer negatieve druk aanleggen om de gewenste hoeveelheid vocht te onttrekken. Hierdoor zullen de drukverschillen op het membraan opnieuw veranderen.

stolling

- a) als in de aanvoer van het bloed stolling optreedt, zal $P_{\text{bloed in}}$ dalen, en daarna zal $P_{\text{bloed uit}}$ ook gaan dalen.
- b) stolt het bloed in de teruggavelijn, dan de aanvoer van bloed blijven bestaan. De arteriële pomp zal voorsnog gewoon doordraaien. Door de stuwung zullen $P_{\text{bloed in}}$ en later ook $P_{\text{bloed uit}}$ gaan stijgen.
- c) indien er stolling in de kunstnier optreedt, zal de arteriële pomp gaan stuwen, en dus stijgt $P_{\text{bloed in}}$, in de teruggavelijn zal het bloed 'op' raken en $P_{\text{bloed uit}}$ zal dalen.

In de hier geschetste situaties zullen steeds twee van de parameters uit de TMP formule veranderen. Verandering van TMP is hier dus een indicatie voor stolling en niet voor het gevaar van back filtratie.

Tot slot

Met bovenstaande uitleg hoop ik duidelijk te hebben gemaakt dat $TMP = P_{\text{gemiddeld}}$ slechts geschikt is om de theorie rond TMP te ondersteunen. Voor de invloeden die in de praktijk optreden is het aantal meetpunten dat de afzonderlijke machines gebruiken van belang, en de wijze waarop met deze gebruikt om een uitlezing op het scherm te zetten.

Hoofdstuk 12 T.M.P. principes Integra en AK200

Met de komst van de volumegestuurde ultrafiltratie methodes is het toepassen van de TMP voor het bepalen van het UF volume van de patiënt enigszins op de achtergrond geraakt

Vroeger diende men met behulp van de op de kunstnier aangegeven UFC uit te rekenen hoeveel transmembraan druk men moest aanleggen om de patiënt voldoende te onttrekken.

Figuur 1: membraan flux

Hoe wordt de TMP verkregen in de Integra

Bij het kalibreren van de druksensoren wordt er rekening mee gehouden dat de kunstnier ongeveer 50 cm (40 mmHg) boven de druksensor Pd is geplaatst

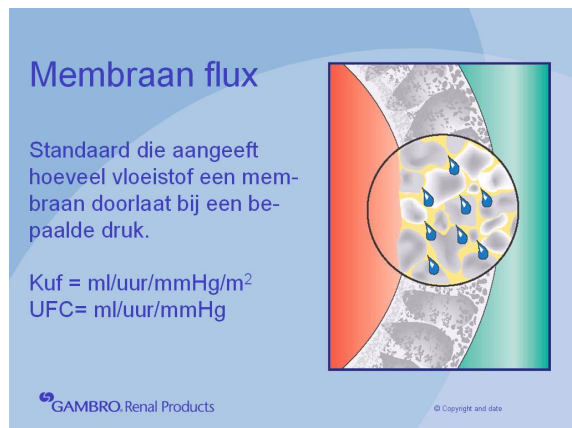
Dit drukverschil wordt gecompenseerd door bij atmosferische druk op de sensor als calibratiewaarde -40 in te geven en bij een druk van 400mmHg een waarde van 360mmHg in te geven als calibratiewaarde
De TMP wordt nu dus met de dialysaat druk in de kunstnier bepaald. Dit door een tweepunts meting te weten: $P_v - P_d$

Figuur 2: TMP meetopstelling Integra

Bijvoorbeeld:

P_v (ven druk) = 100 mmHg
 P_d = 25 mmHg
TMP = 75 mmHg

De TMP bewaking in de Integra is dan als volgt:
 $Tmp > 450$ (350) mmHg alarmconditie 68 kunstnier veiligheidsdruk
 $Tmp < 0$ (instelbaar tot -50) alarmconditie 142 transmembraan druk



TMP principes in een AK200S machine.

Standaard wordt de TMP berekend uit het verschil tussen de bloeddruk na de nier (P_b uit) en de dialysevloeistof druk na de nier (P_d).

$$TMP = P_v - P_d$$

Deze waarde is een gegeven waaruit de gebruiker kan berekenen of de ultrafiltratie verloopt zoals verwacht.

Als de ultrafiltratie volumetrisch geregeld wordt dan varieert de TMP onder invloed van een aantal factoren.

Vooraf bij hoog-convectieve technieken wordt vaak het maximale van de kunstnier gevraagd, met als gevolg:

- concentratie van eiwitten op de membraanwand
- veelvuldig alarmeren door verhoogde TMP
- gestolde filters etc.

Om toch zo efficiënt mogelijk te ultrafiltreren is PRESSURE CONTROL geïntroduceerd in de ON-LINE mode.

Figuur 3: tweepunts meetstelsel

Hiermee voorkomen we dat de TMP steeds verder oploopt door bovengenoemde oorzaken en dat deze oorzaken versterkt worden.

Omdat er nu gestuurd gaat worden op de waarde van de TMP is het wel belangrijk dat deze waarde nauwkeuriger wordt bepaald.

De 2 punts meting wijkt te veel af.

Daarom gebruikt de AK in on-line een 3 punts TMP meting.

Waar P_s staat voor system pressure sensor. Dit druinstrument wordt dus gebruikt om de prefilter druk te meten.

De AK rekt dan als volgt $(P_s + P_v) / 2 - P_d = TMP$

Figuur 4: driepunts meetstelsel AK serie

Voorbeeld

$$P_s = 200 \quad P_v = 100 \quad P_d = 25 \rightarrow (200 + 100) / 2 - 25 = 125$$

In PRESSURE CONTROL rekt de gebruiker (verpleging) aan de hand van ultrafiltratie en gewenst infusie volume een TMP uit en stelt de machine in op deze waarde.

Gedurende de hele behandeling zal de AK deze TMP constant houden. Indien de TMP toch zou willen stijgen, door de wel bekende oorzaken, zal de hoeveelheid substitutie worden verlaagd zodat de gewenste TMP gehandhaafd blijft.

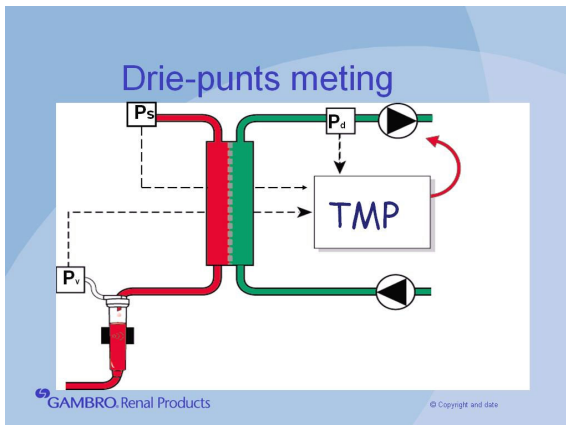
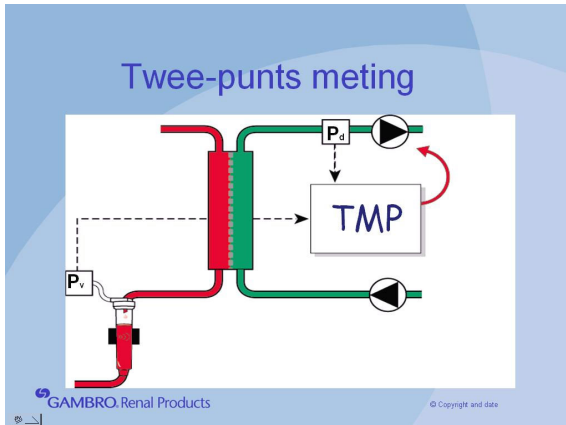
Variabele is hier dus de hoeveelheid substitutie vloeistof. De TMP wordt hier niet meer gebruikt als bewaking. Om toch nog een extra bewaking te hebben in de AK is er de UF supervisie.

Wat kunnen we verder nog doen met de TMP.

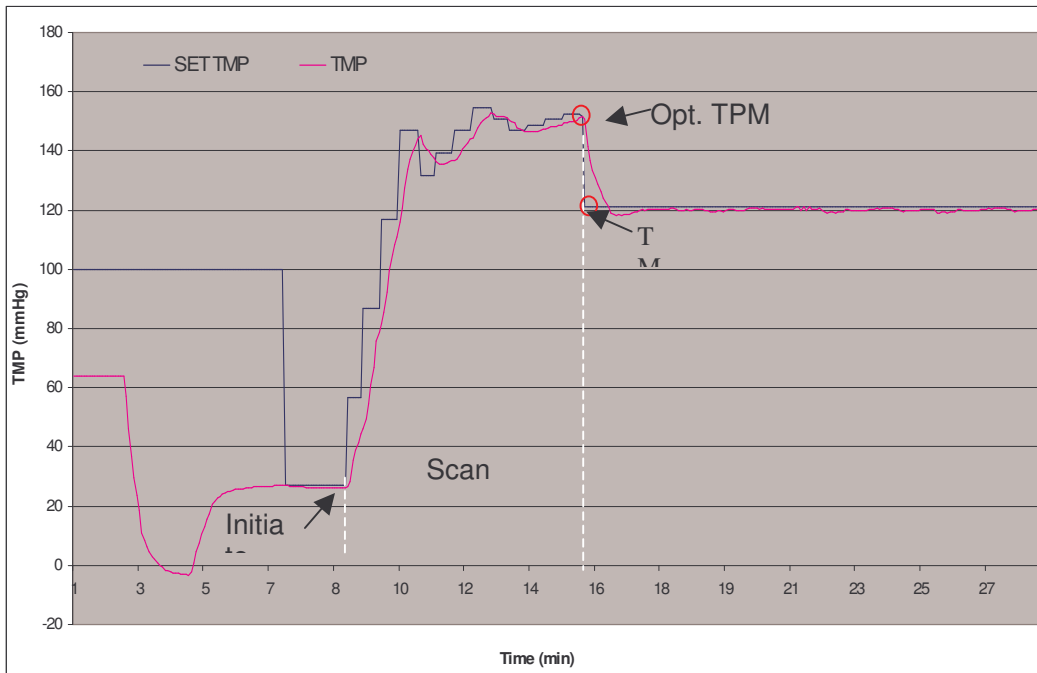
De berekening van de juiste TMP vergt nogal wat tijd en rekenwerk. Om dit nu makkelijker te maken zal er binnenkort een Auto TMP functie komen in de AK200 Ultra.

Hoe gaat dat in zijn werk?

De gebruiker (verpleging) start een scan routine die de best haalbare TMP zal bepalen.



De AK zal de TMP in een bepaalde tijd met stappen van x- mmHg per stap opsturen om zo de best mogelijke situatie te bepalen. Als dit punt is gevonden zal er een TMP advies waarde gegeven worden. Deze is 80% van de, in deze scan bepaalde maximum waarde. Deze TMP reductie dient er voor om het systeem zich te laten aanpassen aan filterdegradatie en andere effecten tijdens de behandeling.



Figuur 5: De scantijd

Stapwaarde TMP en % mmHg reductie kunnen door middel van presets worden opgegeven.

Hoofdstuk 13 T.M.P principe 4008 H/S

De TMP (**T**rans **M**embrane **P**ressure) is de som van alle drukken over het haemofilter of kunstnier. De TMP is de reden waarom er verplaatsing van water (ultrafiltratie) over het filter plaatsvindt. De TMP bestaat uit verschillende componenten:

- druk aan de bloedzijde (hydrostatische druk)
- druk aan de dialysaatzijde (hydrostatische druk)
- osmotische druk

Verschillende flow eigenschappen kunnen over de lengte van het filter, drukverval veroorzaken. Zo zal de druk van het bloed, over het membraan, aan het begin van de kunstnier hoger zijn dan aan het einde. Ditzelfde geldt ook voor de dialysaatsdruk.

Een TMP is een 4-punts meting. Men kijkt hierbij naar de

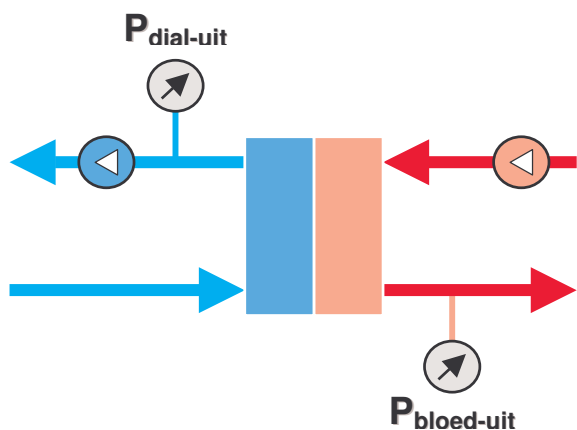
$$P_{\text{bloed-in}}, P_{\text{bloed-uit}}, P_{\text{dial-in}} \text{ en } P_{\text{dial-uit}}$$

Typierend voor de 4008 machines van Fresenius Medical Care is dat we daar spreken van een *ultrafiltratiedruk* i.p.v. een TMP. Dit komt omdat bij de 4008 wordt uitgegaan van een 2-punts meting:

$$P_{\text{bloed-uit}} - P_{\text{dial-uit}} + \text{OFFSET}$$

De OFFSET is een dialysaat afhankelijke correctiefactor die negatieve TMP alarmen voorkomt door wisselende dialysaat flows.

Figuur 1: meetpunten ultrafiltratiedruk



Er zijn verschillende factoren die van invloed kunnen zijn op de druk over het membraan. Het type van de kunstnier, antistolling, bloedwaarden en ultrafiltratie snelheid zijn hier voorbeelden van. Zoals al eerder werd beschreven is de 4008 machine van Fresenius Medical Care een volumetrische dialysemachine. Bij volumetrische machines is de TMP alleen een gegeven en dient ter monitoring. Sterker nog: in het UF menu wordt de TMP niet eens getoond omdat deze voor de ultrafiltratie (volumetrische UF controle) niet belangrijk is. Het UF volume en de UF rate zijn hier de belangrijke gegevens.

In het alarmgrenzen menu is de TMP wel weergegeven. Hierbij gaat het dan om additionele informatie en veiligheidshalve wordt deze druk met alarmgrenzen bewaakt. Want helemaal onbelangrijk is de TMP in het algemeen natuurlijk ook weer niet. Zolang:

- hij maar niet negatief is
- de druk maar hoort bij het type kunstnier
- hij geen regelmatige alarmen vertoont
- er geen plotselinge schommelingen waarneembaar zijn.

Een ander veiligheidsaspect bij een gesloten systeem met de 4008 is de **Cyclische Drukhoudd Test**. Deze test controleert elke 12,5 minuut of het hydraulische systeem van de 4008 geen lekkage vertoont. Tijdens deze test worden verschillende ventielen gesloten en wordt er 1,5 bar druk opgebouwd in het hydraulische deel. Deze druk dient ~20 sec gehandhaafd te blijven. Tijdens deze test staat de dialysaat flow even stil. De ultrafiltratie wordt gecorrigeerd.