

Inleiding

De laatste jaren is gebleken dat bij behandeling van patiënten op een hartbewaking gegevens over ritmestoornissen en centrale veneuze druk (CVD) niet voldoende zijn, maar dat men ook moet kunnen beschikken over nauwkeuriger gegevens aangaande factoren die de circulatie (bloedsomloop) bepalen. Het vroegtijdig signaleren van haemodynamische veranderingen is van groot belang voor het instellen van een adequate therapie.

Pompfunctie

Voor we ingaan op de wijze waarop men aan deze gegevens kan komen en deze vervolgens kan interpreteren, eerst iets over de pompfunctie. Het hart werkt volgens het principe van een zuig-perspomp en is te vergelijken met een self-inflating bag (Ambuballon). Bij inknippen stroomt de lucht uit de ballon (volume wordt kleiner), terwijl bij loslaten de buitenlucht wordt aangezogen (volume wordt groter). Tijdens de contractie (systole) van het hart knippen de ventrikels zich samen (volume wordt kleiner, bloed stroomt naar de arteriën). Tijdens de relaxatie (diastole) ontspant de spier zich (bloed uit de atria stroomt naar de ventrikels, volume wordt groter).

De rechter helft van de hartspeer verzorgt de longcirculatie (pulmonaalcirculatie), de linker helft de lichaamsomloop (systeemcirculatie). De rechter helft pompt tegen een lagere weerstand dan de linker helft en hoeft dus minder arbeid te verrichten. De rechter hartspeer is dan ook minder sterk ontwikkeld dan de linker.

De circulatie is afhankelijk van de hoeveelheid *circulerend bloed* (volume), van de *pompwerking* van het hart en van de *weerstand* waartegen het hart moet uitpompen. Bij een gestoorde pompfunctie is het belangrijk te weten of men te doen heeft met het falen van de rechter hart helft, waarbij stuwings zal ontstaan vóór de pulmonaalcirculatie, of met falen van de linker hart helft, waarbij stuwings ontstaat vóór de systeemcirculatie. In het eerste geval zal dit een verhoging geven van de druk in het veneuze gebied (stijging van de druk in rechter atrium, vena cava superior en inferior). In het tweede geval zal de druk in het linker atrium en in de pulmonaalvenen stijgen.

Hartminuutvolume

Het hartminuutvolume of cardiac output (CO) is de hoeveelheid bloed die het hart per minuut uitpompt. De CO is gelijk aan de hartfrequentie/minuut x het slagvolume (normaal 4-6 l/min). Het slagvolume is de hoeveelheid bloed die het hart per slag uitdrijft. Dit is gelijk aan eindsystolisch min einddiastolisch volume van de ventrikel; normaal 60-80 ml.

Het slagvolume wordt bepaald a) door de hoeveelheid bloed die via de venen wordt aangevoerd (preload), b) door de kracht van de hartspeer (contractiliteit) en c) door de vaatweerstand die de ventrikel ondervindt bij het uitdrijven van het bloed (afterload).

Een gezond hart is binnen fysiologische grenzen in staat om alle bloed dat wordt aangevoerd, uit te pompen. Deze veneuze terugvoer (venous return) is

dus belangrijk in de bepaling van de CO. Neemt het hartvolume toe, dan neemt ook de hartcontractie toe. Dit wordt het Frank-Starling-mechanisme genoemd. De Wet van Frank-Starling houdt namelijk in dat de kracht waarmee een spier contraheert, afhankelijk is van de lengte van de spier op het moment van de prikkeling. Bij een enigszins uitgerekte spier zal de kracht van de spier toenemen.

Door het volume van de ventrikel te vergroten worden de spiervezels meer uitgerekt en doet een krachtiger contractie. Met het vergroten van het volume stijgt ook de vullingsdruk. Een belangrijke parameter voor het beoordelen van de ventrikelfunctie is dus de *einddiastolische druk*, want die is bepalend voor de mate van vulling van de ventrikel.

Invasieve drukmeting

Het meten van de centrale veneuze druk (CVD) met behulp van een CVD-catheter is reeds lang bekend. Nadeel van deze methode is dat deze meting alleen een indruk geeft van het functioneren van de rechter helft van het hart. De CVD is namelijk gelijk aan de druk in het rechter atrium (tussen het instroomgebied en het rechter atrium bevinden zich geen kleppen). Over het functioneren van de linker helft zegt de CVD echter niets.

Dankzij de uitvinding van de Swan-Ganz-catheter (door de Amerikaanse artsen Swan en Ganz) beschikken we nu over een methode die indirect gegevens verschaft over het functioneren van de linker helft van de hartspeer.

Deze invasieve drukmeting geeft belangrijke informatie bij o.a. het myocard infarct, cardiomyopathie, decompensatie cordis, klepgebreken etc.

Onder invasieve drukmeting verstaat men de directe meting (registratie) van de verandering van druk in een vat. Door een catheter in een vat te schuiven ontstaat er een open verbinding tussen bloed en catheterkanaal. De drukgolf die zich in het bloed voortplant, zal dus regelrecht worden doorgegeven naar de vloeistof die zich in het catheterkanaal bevindt. Door omzetting van deze mechanische beweging in een elektrisch signaal kan de golfbeweging zichtbaar worden gemaakt op een scoop. Dit omzetten gebeurt met behulp van een drukkop (transducer). De vorm van de drukcurve is afhankelijk van de plaats waar de opening van het catheterkanaal zich in het hart bevindt.

Pompfunctie en drukcurve van het atrium

Ongeveer 75% van het aankomende bloed stroomt regelrecht via de atria naar de ventrikels. Door de contractie van het atrium wordt de resterende 25% in de ventrikel gepompt.

In de atriumdruk zijn drie golven te onderscheiden. Het zijn, zoals fig. 1 toont, de

- a-golf: contractie van het atrium
- c-golf: reflexbeweging in het atrium, veroorzaakt door de contractie van de ventrikel tegen de gesloten AV-klep (op de scoop niet te zien)
- v-golf: instroming van het bloed tijdens de ventrikelcontractie (systole) gedurende de tijd dat de AV-klep gesloten is.

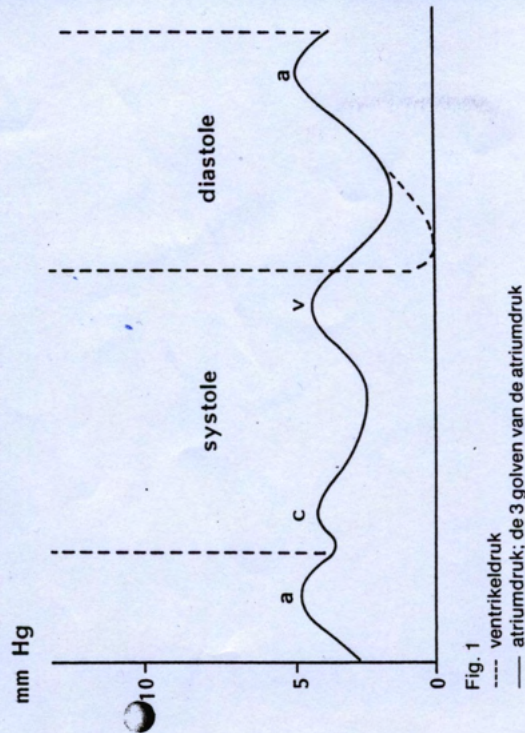


Fig. 1

— ventrikeldruk

--- atriumdruk; de 3 golven van de atriumdruk

Pompfunctie en drukcurve van de ventrikel

Aan het eind van de ventrikelsystole is door het instromende bloed de druk in het atrium gestegen (v-golf), terwijl de druk in de ventrikel snel daalt. Op het moment dat de druk in de ventrikel lager is dan die in het atrium, gaat de AV-klep open en stroomt het bloed de ventrikel in. Atrium en ventrikel vormen nu één open ruimte. Aan het einde van de diastole contraheert het atrium (a-golf) en wordt de resterende hoeveelheid bloed (25%) de ventrikel ingepompt. De druk die men op dat moment meet, is de einddiastolische druk van de ventrikel. Aangezien atrium en ventrikel dan nog steeds één open ruimte vormen, mag men stellen dat de gemiddelde atriumdruk gelijk is aan de einddiastolische druk in de ventrikel.

dus belangrijk in de bepaling van de CO. Neemt het hartvolume toe, dan neemt ook de hartcontractie toe. Dit wordt het Frank-Starling-mechanisme genoemd. De Wet van Frank-Starling houdt namelijk in dat de kracht waarmee een spier contraheert, afhankelijk is van de lengte van de spier op het moment van de prikkeling. Bij een enigszins uitgerekte spier zal de kracht van de spier toenemen.

Door het volume van de ventrikel te vergroten worden de spiervezels meer uitgerekt en dit geeft een krachtiger contractie. Met het vergroten van het volume stijgt ook de vullingsdruk. Een belangrijke parameter voor het beoordelen van de ventrikelfunctie is dus de *einddiastolische druk*, want die is bepalend voor de mate van vulling van de ventrikel.

Invasieve drukmeting

Het meten van de centrale veneuze druk (CVD) met behulp van een CVD-catheter is reeds lang bekend. Nadeel van deze methode is dat deze meting alleen een indruk geeft van het functioneren van de rechter helft van het hart. De CVD is namelijk gelijk aan de druk in het rechter atrium (tussen het instroomgebied en het rechter atrium bevinden zich géén kleppen). Over het functioneren van de linker helft zegt de CVD echter niets.

Dankzij de uitvinding van de Swan-Ganz-catheter (door de Amerikaanse artsen Swan en Ganz) beschikken we nu over een methode die indirect gegevens verschafft over het functioneren van de linker helft van de hartspeer.

Deze invasieve drukmeting geeft belangrijke informatie bij o.a. het myocard infarct, cardiomyopathie, decompensatio cordis, klepgebreken etc.

Onder invasieve drukmeting verstaat men de directe meting (registratie) van de verandering van druk in een vat. Door een catheter in een vat te schuiven ontstaat er een open verbinding tussen bloed en catheterkanaal. De drukgolf die zich in het bloed voortplant, zal dus regelrecht worden doorgegeven naar de vloeistof die zich in het catheterkanaal bevindt. Door omzetting van deze mechanische beweging in een elektrisch signaal kan de golfbeweging zichtbaar worden gemaakt op een scope. Dit omzetten gebeurt met behulp van een drukkop (transducer). De vorm van de drukcurve is afhankelijk van de plaats waar de opening van het catheterkanaal zich in het hart bevindt.

Pompfunctie en drukcurve van het atrium

Ongeveer 75% van het aankomende bloed stroomt regelrecht via de atria naar de ventrikels. Door de contractie van het atrium wordt de resterende 25% in de ventrikel gepompt.

In de atriumdruk zijn drie golven te onderscheiden. Het zijn, zoals fig. 1 toont, de

Vervolgens gaat de ventrikel contraheren en stijgt de druk. Op het moment dat de druk in de ventrikel hoger wordt dan die in het atrium, sluit de AV-klep zich en vindt er geen vulling van de ventrikel meer plaats. De druk in de ventrikel is echter nog lager dan die in de arterie, de halve-maanvormige kleppen zijn nog dicht. Er vindt dus geen vulling en geen uitpomping plaats in deze periode, die men de isovolumetrische (gelijkblijvend volume) fase noemt.

Stijgt de druk in de ventrikel nog verder, dan gaan de halve-maanvormige kleppen open en stroomt het bloed naar de arterie: begin van de ejectiefase (ejectie = uitstoting).

Aan het eind van de ejectiefase is er weinig bloedstroom (flow) in de arterie en daalt de druk. De druk in de ventrikel, die zich nu gaat ontspannen, daalt veel sneller. Doordat het bloed in de aorta even stagneert en iets terugstroomt naar de ventrikel gaat de halve-maanvormige klep dicht. Op het moment dat de klep zich sluit ziet men een „indeuking“ (notch) in de afdalende lijn van de arteriële curve, veroorzaakt door een reflexbeweging in de flow bij het sluiten van de klep (fig. 2).

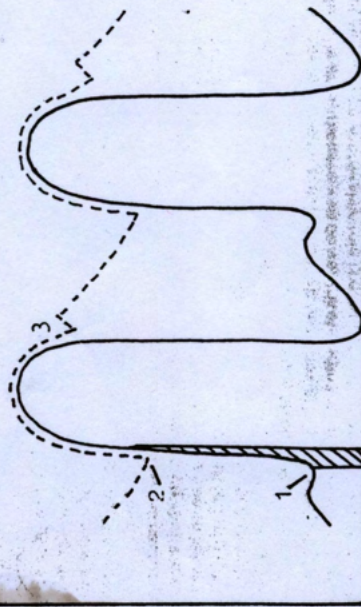


Fig. 2
Drukcurven van ventrikel en arterie.
1 = sluiten van de AV-klep;
2 = openen van de halve-maanvormige klep;
3 = sluiten van de halve-maanvormige klep (notch);
shaded area = isovolumetrische fase
— ventrikeldrukcurve
--- arteriële drukcurve

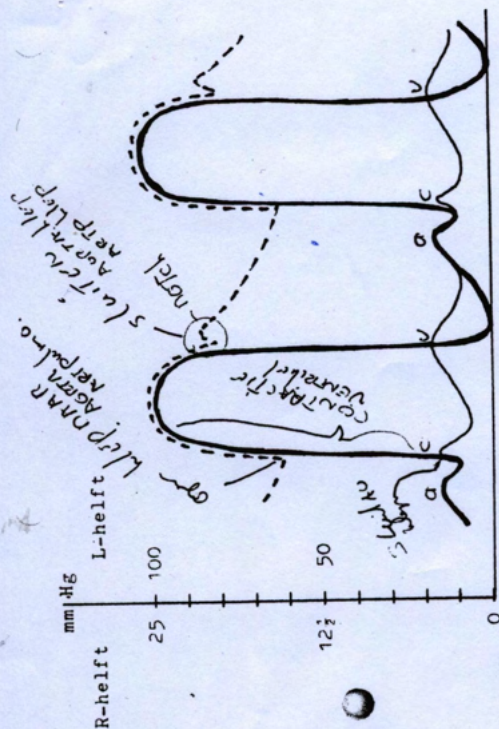


Fig. 3
Curven van atrium, ventrikel en arterie.

— atriumdrukcurve
--- ventrikeldrukcurve
.... arteriële drukcurve
De vertikale as geeft de drukken van linker en rechter hart helft weer.

Wat de vorm van de drukcurve betreft is er geen verschil tussen rechter- en linker-atriumdruk. Dit geldt uiteraard ook voor de rechter- en linker-ventrikeldruk, en de pulmonaal- en aortadruk. De hoogte van de druk is echter wel verschillend. De rechter ventrikel hoeft minder arbeid te verrichten dan de linker; daarom zal de druk in de rechter ventrikel en de arteria pulmonalis lager zijn dan die in linker ventrikel en de aorta (fig. 3).

De meest nauwkeurige methode om de linker-ventrikeldruk te meten is het plaatsen van een catheter in de linker ventrikel. Deze methode is echter niet voor langere tijd bruikbaar wegens het gevaar van ritmestoornissen en thrombo-embolieën. Het indirect meten van de linker-ventrikeldruk met behulp van een Swan-Ganz-catheter brengt minder risico's mee en kan ook voor langdurige haemodynamische bewaking worden gebruikt. Deze methode berust op het feit dat de gemiddelde linker-atriumdruk vrij nauwkeurig overeenkomt met de einddiastolische druk in de linker ventrikel, wanneer er tenminste geen mitralaistenoze bestaat. De linker-atriumdruk zal, omdat er geen kleppen zitten tussen linker atrium en pulmonaalvenen, meestal gelijk zijn aan de gemiddelde druk in de pulmonaalvenen. Deze druk kan men meten door rechter-hartcatheterisatie met behulp van een Swan-Ganz-catheter.

Principe van de Swan-Ganz-catheter*

De Swan-Ganz-catheter (een balloncatheter) wordt via een vene ingeschoven tot in de buurt van het rechter atrium, het ballonnetje wordt opgeblazen en dan vervolgens als een bal in een riviertje met de stroom mee: via de tricuspidaalklep naar de rechter ventrikel en vervolgens via de pulmonaalklep naar de pulmonaalarterie (PA) (fig. 4). Op een gegeven moment loopt het ballonnetje vast in één van de kleine aftakkingen van de PA. We spreken dan van de wigge- of wedgepositie (pulmonaalcapillaire wiggedruk = PCWD).

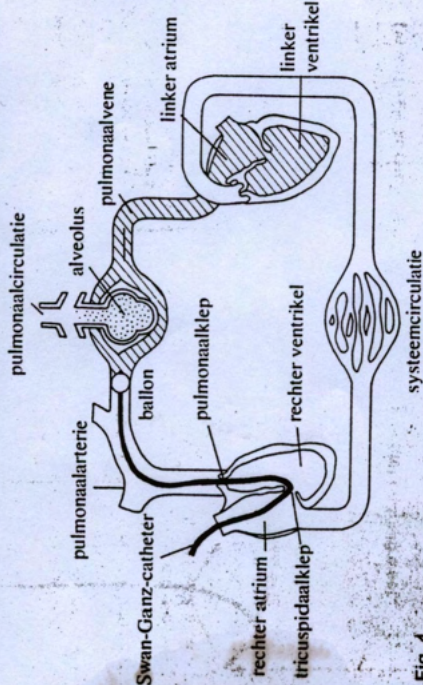


Fig. 4
Schema van ligging van de Swan-Ganz-catheter.

Het voordeel van deze methode is dat de catheter zonder doorlichting kan worden ingebracht. Als men namelijk de catheter aan een transducer verbindt en deze op een monitor aansluit, kan men aan de vorm van de drukcurve precies zien waar de catheter zich bevindt. Men ziet dan achtereenvolgens de drukcurven van het rechter atrium (RAD), de rechter ventrikel (RVD) en de pulmonaalarterie (PAD). Wanneer het ballonnetje vastloopt, ziet men de druk plotseling dalen. Het bevindt zich dan in de wiggepositie en men meet op dat moment de wiggedruk (PCWD). De tip van de catheter bevindt zich nl. distaal van de ballon; de flow van de rechter ventrikel wordt belemmerd. De druk die

* Flowgestuurde balloncatheters worden meestal Swan-Ganz-catheters genoemd (naar de twee ontwikkelaars van de catheter). Het is ook de handelsnaam die gebruikt wordt door Edwards Laboratories voor de door hen vervaardigde catheters. Beschrijvingen en foto's in dit artikel slaan op de 5 F Edwards balloncatheter en de 7 F Edwards thermodilutie-catheter. De door andere firma's geleverde catheters kunnen in hun uitvoering (niet in hun principe) kleine verschillen vertonen.

nu wordt gemeten, is dus niet meer de PAD, maar de druk in de erachter gelegen longcapillairen. Aangezien er tussen de longvenen en het linker atrium geen kleppen zitten, is deze druk een weergave van de druk in het linker atrium. Zoals reeds eerder is gesteld komt onder normale omstandigheden de einddiastolische druk van de linker ventrikel overeen met de gemiddelde linker-atriumdruk, dus ook met de wiggedruk.

Soorten Swan-Ganz-catheters

Er bestaan verschillende soorten Swan-Ganz-catheters. Meestal gebruikt men een catheter met een dubbel kanaal of een vierkanaals (thermodilutie)-catheter; iets minder vaak de driekanaals uitvoering. Tegenwoordig wordt ook de pace-port catheter veelvuldig toegepast.

a) De catheter met een dubbel kanaal heeft een lengte van 110 cm en is beschikbaar in diameters van 5, 6 en 7 F. Van de twee lumina voert er één naar het ballonnetje dat - afhankelijk van de diameter - resp. 0,8, 1,0 en 1,5 ml lucht kan bevatten. Het andere kanaal leidt naar de opening aan de catheterpunt waarmee de druk in de arteria pulmonalis en die in de wiggepositie gemeten kunnen worden. Meten van de rechter-atriumdruk en de cardiac output is met deze catheter niet mogelijk (fig. 5).

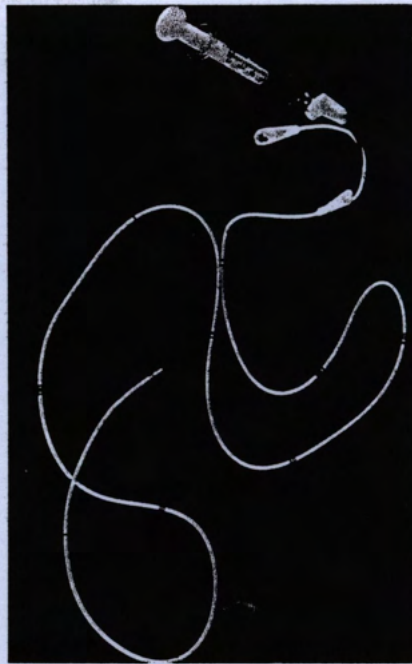


Fig. 5
Catheter met dubbel lumen.

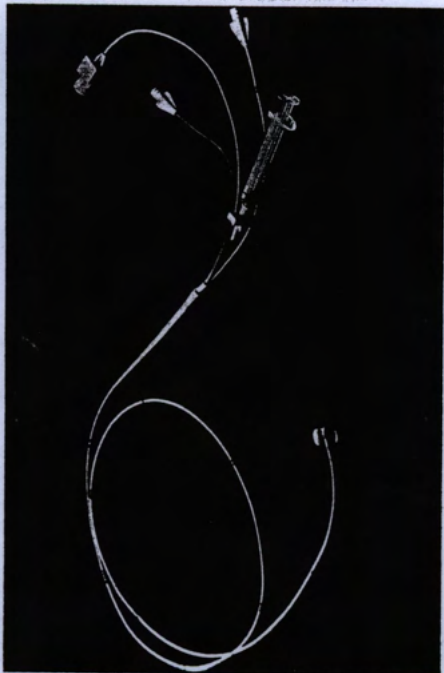


Fig. 6

Thermomodulatiecatheter met vier lumina.

b) De thermomodulatiecatheter heeft een lengte van 110 cm en een doorsnee van 7 F (fig. 6). Langs de schacht zijn iedere 10 cm markeringen aangebracht, zoals trouwens bij alle Swan-Ganz-catheters. Deze catheter telt vier lumina. Het laagste (distale) kanaal komt met de opening in de arteria pulmonalis te liggen. Hiermee wordt de PAD gemeten. Het tweede kanaal gaat naar het ballonnetje, dat 1,5 ml lucht kan bevatten. Is de ballon opgeblazen, dan meet men de wiggedruk. Het derde lumen heeft 30 cm proximaal van de punt een zij-opening. Deze bevindt zich in het rechter atrium, wanneer de punt van de catheter zich in de arteria pulmonalis bevindt. Dit kanaal wordt gebruikt om de RAD of CVD te meten. Verder kunnen via dit kanaal bepaalde infusievloeistoffen en medicamenten worden toegediend. Het vierde kanaal dient voor het meten van de cardiac output. Op de catheter zit een thermistor, ongeveer 4 cm van de punt. Door het kanaal lopen dunne draden van de thermistor naar een plug op het uiteinde van de catheter. De plug kan op een cardiac-outputcomputer worden aangesloten. (zie blz. 20)

Om te verhinderen dat het proximale lumen verstopt raakt, wordt dit aangesloten op een waakinfuus met glucose 5% of een zwak-zoutoplossing. Vloeistoffen met een hoge viscositeit zijn, gezien de kleine diameter van dit kanaal, voor dit doel minder geschikt. Het distale kanaal wordt via een verbindingsslangetje (manometerlijn) verbonden met de transducer. Het dichtsluiben van het distale kanaal wordt voorkomen door tussen manometerlijn en transducer een continu flushsysteem te schakelen met een ononderbroken flow van ± 3 ml per uur. De flushvloeistof wordt onder een

druk van 300 mm Hg gebracht; het flushsysteem heeft deze druk nodig om de 3 ml flow te kunnen onderhouden (fig. 7).
c) De driekanaals catheter heeft één lumen voor het meten van de PAD, één voor het ballonnetje en één voor de RAD. De cardiac output kan men met deze catheter niet meten.

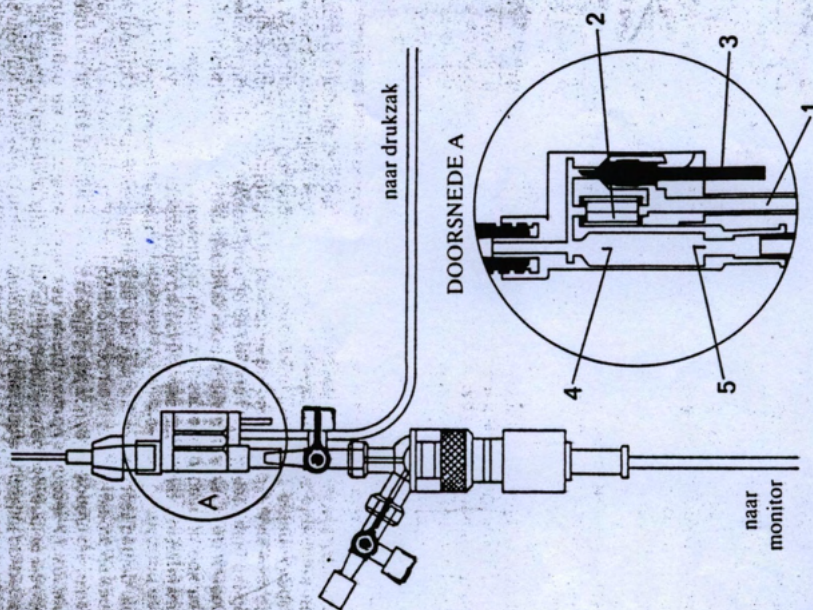


Fig. 7

Transducer met enkele aansluiting

A = flushsysteem; 1 = aanvoerend kanaal flushvloeistof; 2 = capillair voor bepaling stroomsnelheid; 3 = snel flushsysteem; 4 = naar catheter; 5 = naar transducer.

Inbrengen van de catheter en de verschillende drukcurven

Omdat het inbrengen van de Swan-Ganz-catheter gebeurt op geleide van de verschillende drukcurven, is het nodig, vóór de catheterisatie de transducer en de monitor nauwkeurig te ijken. Wanneer dit niet gebeurt, zal het opvoeren van de catheter moeilijker zijn en meer tijd gaan kosten. Bovendien zijn de drukmetingen na de catheterisatie van weinig waarde wanneer zij worden gedaan met apparatuur die niet juist is geijkt. Het zou te ver voeren om in het bestek van dit boekje op de juiste ijkinsprocedures in te gaan, omdat dit voor ieder monitorsysteem verschillend kan zijn. Wel zijn er een paar punten die voor alle meetsystemen gelden.

In de eerste plaats is het noodzakelijk dat het hele systeem volkomen vrij is van lucht. In tegenstelling tot vloeistof is lucht wel samendrukbaar en ook het kleinste luchtbelletje kan een demping van de drukcurve en daardoor een onnauwkeurige meting veroorzaken. In de tweede plaats is het nodig dat de transducer zich op dezelfde hoogte bevindt als het punt in het lichaam waar de druk wordt gemeten dus ongeveer ter hoogte van het rechter atrium. Omdat de preciese vaststelling van dit zogenaamde referentiepunt of nulpunt nu eenmaal onmogelijk is, moet het bij benadering worden vastgesteld. Men kan

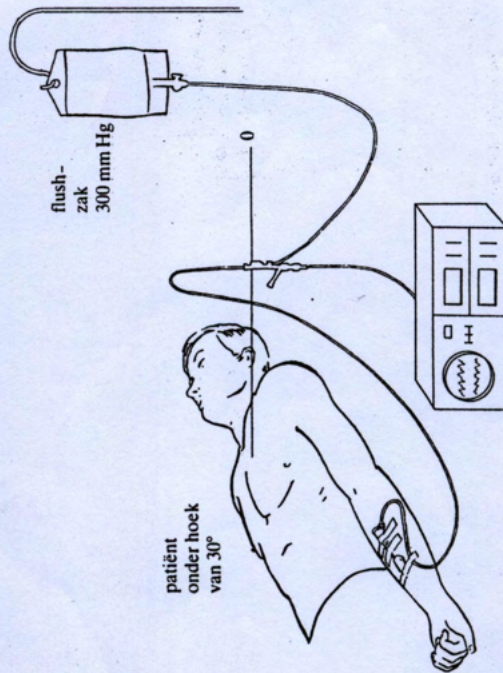


Fig. 8
Nulpunt van patiënt en transducer bij meting.

bijvoorbeeld aannemen dat dit nulpunt zich bevindt 5 cm onder de plaats waar het sternum een lichte hoek maakt, ter hoogte van de aanhechtingsplaats van de tweede rib (fig. 8). Met behulp van een waterpas wordt de transducer op deze hoogte gebracht. Andere referentiepunten, zoals het midthoracale niveau, zijn mogelijk. Welk uitgangspunt men ook kiest, het is belangrijk dat hierover duidelijke afspraken worden gemaakt, zodat alle metingen bij de patiënt door iedereen vanuit hetzelfde nulpunt gebeuren en zo vergeleken kunnen worden.

Ervaring heeft geleerd dat de houding van de patiënt in bed weinig invloed heeft op de metingen, mits de hoek van ligging van de patiënt maar tussen 0 en 40° is en het nulpunt van de transducer en het nulpunt van de patiënt zich op een horizontale lijn bevinden. Verandering van de stand van de patiënt of het bed bij iedere meting is zeer hinderlijk voor de patiënt en onnodig.

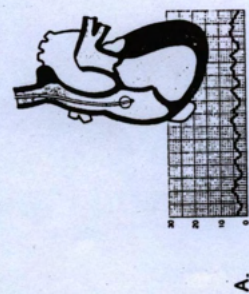
Er staan de arts verschillende mogelijkheden ter beschikking om de Swan-Ganz-catheter in te brengen. Het kan percutaan gebeuren met behulp van een opvoersysteem waarvoor dan meestal de vena subclavia als inbrengplaats wordt gebruikt. Ook kan men deze percutane inbrengtechniek gebruiken met als inbrengplaats de vena jugularis interna of een armvene. Venasectie is een andere veel gebruikte methode waarbij de vena brachialis of vena basilica wordt opgezocht. De vena cephalica is minder geschikt omdat de catheter dan dikwijls in de schouder vastloopt.

Welke methode men ook kiest, het is noodzakelijk dat tijdens het inbrengen van de catheter zo steriel mogelijk wordt gewerkt om het risico van infecties te minimaliseren. Verder moet men er rekening mee houden dat het inbrengen van de catheter voor de patiënt een beangstigende en oncomfortabele ervaring kan zijn. Daarom is het belangrijk dat aan de patiënt vooraf duidelijk het hoe en waarom van de procedure wordt uitgelegd. Soms kan een licht sedatium zoals valium helpen de angst van de patiënt wat te verlichten.

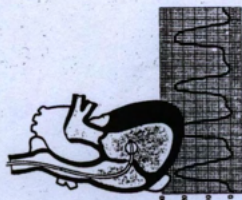
Nadat de catheter is gecontroleerd op eventuele beschadigingen en op goed functioneren van de ballon, wordt de huid op de inbrengplaats lokaal verdoofd met een licht anaestheticum zoals lidocaine 2%. Wanneer een geschikte vene is bereikt, wordt de catheter aangesloten op de transducer en na goed geflushed te zijn in het vat opgeschoven. Ligt de catheter tip intrathoracaal (bij inbrenging via subclavia of vena jugularis interna na 20 cm), dan wordt het ballonnetje opgeblazen met 1,2-1,5 ml lucht. De catheter wordt verder ingevoerd tot op de monitor een rechter-atriumcurve zichtbaar wordt (fig. 9A). De normale gemiddelde rechter-atriumdrukken variëren van 1-6 mm Hg. Dan wordt de catheter verder geschoven door de tricuspidaalklep in de rechter ventrikel (fig. 9B) en vervolgens naar de pulmonaarterie (fig. 9C).

De vorm van de PAD-curve lijkt enigszins op een driehoek en is te herkennen aan een notch in het neergaande been van de curve, die samenvalt met het sluiten van de pulmonaalkleppen. De diastolische rechter-ventrikeldruk is altijd lager dan de diastolische druk in de arteria pulmonalis. Doorgaans zijn er wat artefacten in de drukcurve door de beweging van de catheter tegen de

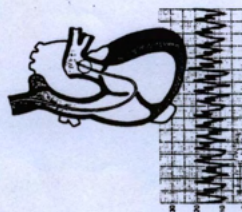
Fig. 9
Drukcurven in verschillende catheterposities.



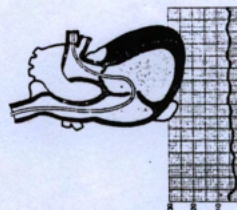
A.



B.



C.



D.

wand van de pulmonaalarterie door de contractie van de rechter ventrikel. De normale PA-drukken variëren van 15-34 mm Hg systolisch en van 8-12 mm Hg diastolisch.

Wanneer de catheter nog verder wordt opgeschoven, bereikt deze op een gegeven moment de wiggepositie (fig. 9D). Op de monitor is dan een wigge-drukcurve zichtbaar. Deze drukcurve is duidelijk te onderscheiden van een PA-drukcurve, omdat de gemiddelde wiggedruk altijd lager is dan de gemiddelde PAD en de curve een veel minder prominente golfbeweging vertoont. In de wiggedrukcurve zijn – net als in die van het rechter atrium – meestal een a- en een v-golf te onderscheiden.

De normale wiggedrukken variëren van 5-12 mm Hg. Wanneer de catheter in deze positie ligt, wordt nog enkele malen gecontroleerd of bij het leeg laten lopen van de ballon een PAD-curve zichtbaar wordt en bij het weer opblazen een goede wiggedrukcurve. Als dat het geval is, wordt de catheter goed gefixeerd en de inbrengplaats steriel afgedekt. Direct na het inbrengen van de catheter wordt altijd een X-thoraxfoto gemaakt om de ligging van de catheter te controleren.

De registratie van de druk op de hier beschreven reis van de catheter is weergegeven in fig. 10.

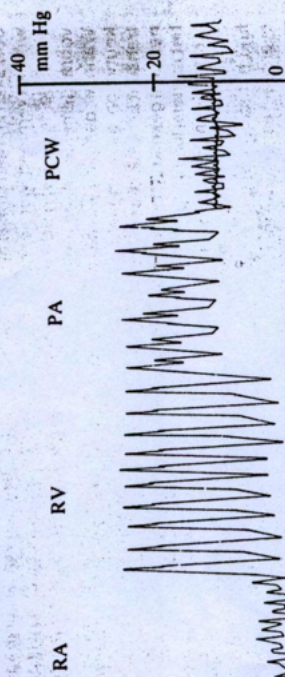


Fig. 10
Registratie van de bloeddruk vanuit het rechter atrium tot in wiggepositie.

Bewaking van de haemodynamiek

De PA-druk

Wanneer men zich ervan overtuigd heeft dat de catheter in de goede positie ligt en goed is gefixeerd, moet het continu monitoren van de PA-drukken beginnen. Veranderingen kunnen dan onmiddellijk worden herkend. Het continu monitoren van de PA-drukken is om verschillende redenen belangrijk.

In de eerste plaats vormen veranderingen in de positie van de catheterpunt een risico voor de patiënt. De catheter kan spontaan – zonder dat de ballon opgeblazen is – in wiggepositie schuiven. Daardoor wordt de bloedtoevoer naar het betreffende longgebied afgesloten en dit kan, als deze situatie langere tijd bestaat, leiden tot een longinfarct. De catheterpunt kan vooral in de eerste uren na het inbrengen ieder moment verschuiven. Ligt de catheter met lege ballon geheel of gedeeltelijk in wiggepositie, dan moet hij enkele centimeters worden teruggetrokken, totdat weer een goede PAD-curve zichtbaar wordt en bij opblazen van de ballon weer een goede wiggecurve. Ook kan de catheterpunt naar de rechter ventrikel verschuiven. Daardoor kunnen ernstige ritmestoornissen ontstaan. Wanneer dit gebeurt, moet het ballonnetje worden opgeblazen om zo te proberen de catheter weer in de arteria pulmonalis te krijgen. Verandering van houding van de patiënt wil daarbij wel eens helpen. Wanneer het niet lukt, moet de catheter met lege ballon tot in het rechter atrium worden teruggetrokken. Eventueel wordt een nieuwe catheter ingebracht.

De tweede reden voor continu monitoren van de PAD is het tijdig kunnen herkennen van het dempen van de drukcurve. De meest voorkomende oorzaak van demping is de aanwezigheid van lucht in het meetsysteem. Andere oorzaken zijn een stolsel of een knik in de catheter. Demping van de curve kan worden vermoed, wanneer de amplitude van de PAD-curve afneemt, terwijl de gemiddelde druk van de gedempte curve ongeveer hetzelfde is als die van de vooraf gemeten goede PAD.

Wanneer demping van de druk wordt vermoed, moet het hele systeem nauwkeurig op aanwezigheid van luchtbelletjes worden onderzocht, vooral de transducer. Ook moet worden nagekeken, of de schacht van de catheter nergens geknikt is. Wanneer dit niet het geval is, zal er zich een bloedstolsel in het catheterlumen bevinden. Eerst kan men proberen het stolsel uit de catheter te zuigen. Het is beslist af te raden de catheter te flushen om zo het stolsel te verwijderen. Een longembolie zou het gevolg kunnen zijn. Wanneer het niet lukt het stolsel weg te zuigen, zal de catheter moeten worden verwijderd en eventueel een nieuwe ingebracht.

De wiggedruk

Een juiste techniek om de ballon op te blazen voor het meten van de wiggedruk is erg belangrijk. Men mag nooit meer lucht inblazen dan op de catheter staat vermeld; dus niet meer dan 1,5 cc voor een thermoluitcatheter. Bij méér lucht dan de gebruiksaanwijzing vermeldt kan het ballonnetje knappen. *Nooit* wordt vloeistof gebruikt om de ballon op te blazen. Verder is het bij het opblazen van de ballon belangrijk om voortdurend op de monitor te letten en te stoppen met opblazen wanneer een wiggecurve verkregen is. Verder opblazen heeft geen zin en kan ruptuur van het bloedvat veroorzaken vooral bij patiënten met een pulmonale hypertensie. (Op grond van hetzelfde gevaar van ruptuur mag een catheter in wiggepositie nooit

geflushed worden). Te ver opblazen van de ballon kan ook tot gevolg hebben dat de ballon de opening van de catheter geheel of gedeeltelijk afsluit zodat een te hoge druk wordt gemeten. De ballon mag onder geen enkele omstandigheid gedurende langere tijd opgeblazen blijven met de catheter in wiggepositie, omdat daardoor een longinfarct kan ontstaan.

Wanneer men twijfelt of de verkregen curve bij opgeblazen ballon wel een goede wiggecurve is, kan men de O₂-saturatie bepalen van een bloedmonster uit het distale kanaal van de catheter, in de wiggepositie zal het bloed een hogere saturatie hebben (90-100%) dan wanneer de punt vrij in de pulmonaalarterie ligt.

Zou het om een andere reden niet mogelijk zijn om de wiggedruk te meten, dan kan de diastolische PA-druk als maat voor de wiggedruk worden gebruikt. Deze twee drukken komen vrij nauwkeurig met elkaar overeen, mits er geen pulmonale hypertensie bestaat.

De rechter-atriumdruk

De rechter-atriumdruk kan gemeten worden met de triple-lumen catheter (driekanaals catheter).

De rechter-atriumdruk kan ook gemeten worden met de thermoluitcatheter, bijvoorbeeld door een aparte transducer aan de proximale opening te verbinden, zodat continue registratie van de druk mogelijk is. Een andere mogelijkheid biedt een aparte manometerlijn die verbonden is aan de zijkraan van de transducer waarmee de PAD wordt gemeten (fig. 7). Continu meten is dan niet mogelijk. Het lumen naar het rechter atrium kan verder worden gebruikt voor het inspuiten van medicijnen.

Bloed voor laboratoriebepalingen kan uit het proximale kanaal worden afgenomen.

Diagnostische mogelijkheden

Saturatiebepalingen

Zowel bij de catheter met dubbel lumen als bij de thermoluitcatheter kan bloed uit de arteria pulmonalis worden afgenomen voor zuurstofsaturatiebepalingen. Het bloed uit deze arterie is gemengd veneus bloed en de hoogte van de saturatie, normaal tussen de 60 en 80%, is een maat voor de sufficientie van de circulatie. Wanneer het hartminuutvolume daalt, zal bij een gelijkblijvende perifere zuurstofbehoefte immers de zuurstofextractie relatief toenemen en zal de gemengde veneuze saturatie dalen.

Met de thermoluitcatheter kan men ook uit het rechter atrium bloed voor O₂-saturatiebepalingen afnemen. Meestal zal de hoogte van deze saturatie ongeveer gelijk zijn aan die van het bloed uit de pulmonaalarterie. Bij een intracardiale shunt, zoals een ventrikelseptumdefect (VSD), zal er echter tussen de twee bloedmonsters een duidelijke saturatiesprong zijn. Het bepalen van de O₂-saturatie van het bloed uit het rechter atrium kan nuttig zijn, zeker wanneer men op grond van het klinische beeld een VSD vermoedt.

Veranderingen in amplitude en vorm van de drukcurve

Drukken:

Verhoogde rechter-atriumdruk
(normaal < 6 mm Hg mean)

Oorzaken:

volume-overbelasting
falen van de rechter ventrikel
tricuspidalisstenose/insufficiëntie
pulmonale hypertensie
falen van de linker ventrikel
constrictieve pericarditis

Verhoogde rechter-ventrikeldruk
(normaal systolisch ± 25 mm Hg
einddiastolisch ± 5 mm Hg)

volume-overbelasting
falen van de rechter ventrikel
pulmonaalstenose/insufficiëntie
pulmonale hypertensie
falen van de linker ventrikel
constrictieve pericarditis
ventrikelseptumdefect

Verhoogde pulmonaalarteriedruk
(normaal systolisch ± 25 mm Hg
diastolisch 5-12 mm Hg
mean 16 mm Hg)

?

volume-overbelasting
links-rechts shunt
falen van de linker ventrikel
mitraalstenose
pulmonale hypertensie

Verhoogde wiggedruk
(normaal tussen 5-12 mm Hg mean)

falen van de linker ventrikel
mitraalstenose/insufficiëntie
aortaklepstenose/insufficiëntie

Hoge v-golf

Bij mitralisinsufficiëntie wordt tijdens de systole het bloed zowel naar de aorta als naar het linker atrium gepompt. Men ziet bij het meten van de wiggedruk op de monitor vlak na het QRS-complex van het ECG een hoge v-golf in de drukcurve (fig. 11 en 12).

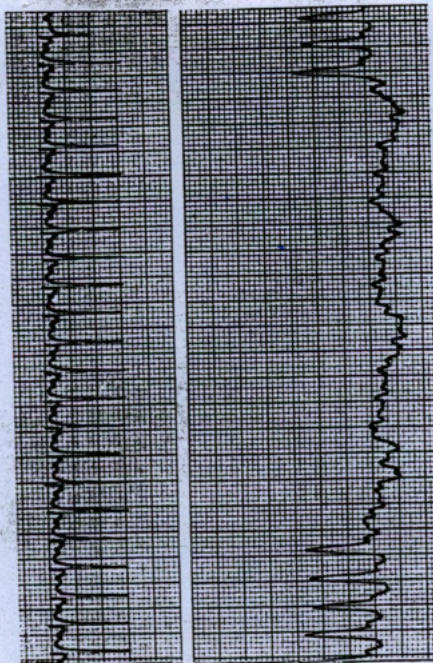


Fig. 11
Gelijktijdige registratie van monitor-ECG en druk in pulmonaalarterie, vóór, tijdens en na PCWD-meting. Er is géén hoge v-golf.

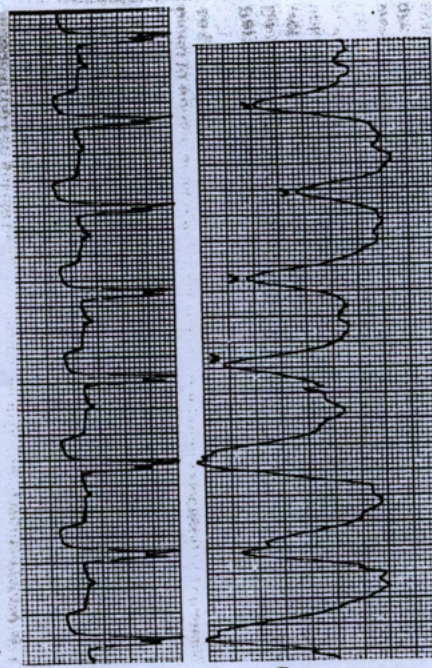


Fig. 12
Gelijksortige registratie bij patiënt met mitralisinsufficiëntie; PAD → PCWD. Na de derde golf van de PAD verschijnt de PCWD met een hoge v-golf.

Cardiac output

De Swan-Ganz-thermodilutiecatheter biedt de mogelijkheid om op betrekkelijk eenvoudige wijze de cardiac output te bepalen. De catheter wordt dan via de plug aan het uiteinde van de catheter aangesloten op een cardiac-output-computer. Via de thermistor aan het uiteinde van de catheter wordt de temperatuur van het bloed in de pulmonaalarterie gemeten. Vervolgens wordt via het proximale kanaal 10 cc steriele zoutoplossing of glucose 5% met een temperatuur van 0-5° C ingespoten. Dit inspuiten dient snel en gelijkmatig te gebeuren. Tegen de tijd dat de koude oplossing via het rechter atrium de arteria pulmonalis bereikt, is zij grondig gemengd met bloed. Het resulterende mengsel is kouder dan bloed alleen. De thermistor meet de temperatuursverandering en geeft deze door aan de computer. Op grond van mate en snelheid van de temperatuurswisseling wordt binnen enkele seconden de cardiac output berekend.

Tijdens bepaling van de cardiac output moet de flow in de arteria pulmonalis onbepaald zijn; daarom mag de catheter niet in wigpositie liggen. Verder moet de thermistor vrij van de wand liggen. Bij het bestaan van intracardiale shunts zal door recirculatie van de indicator de meting van de cardiac output met een computer meestal onbetrouwbaar zijn. Hetzelfde geldt bij klepafwijkingen aan de rechter kant van het hart.

Er zijn nog andere factoren die het resultaat van de bepaling kunnen beïnvloeden. Gezien de veelheid van de mogelijke artefacten kan niet worden afgegaan op één enkele bepaling. Deze moet in drievoud worden uitgevoerd, waarbij zo mogelijk de thermodilutecurve ook wordt uitgeschreven. De uitkomsten van de drie opeenvolgende bepalingen mogen niet meer dan 0,2 tot 0,3 l/min van elkaar verschillen, de gemiddelde waarde wordt als de juiste genomen.

Het voordeel van deze thermodilutie-techniek van cardiac-outputbepaling is dat zij gemakkelijk uitvoerbaar en reproduceerbaar is. Verder hoeft er geen bloed te worden afgenomen en is de indicator (koude vloeistof) onschadelijk en goedkoop.

Perifere vaatweerstand

De pompfunctie van het hart is voor een belangrijk deel afhankelijk van de weerstand die het hart ondervindt bij het uitpompen van het bloed. Wat de linkerhelft van het hart betreft is dit de druk in de grote arteriële circulatie. We noemen dit de systeemweerstand, perifere vaatweerstand of afterload. Het normale hart heeft meestal geen moeite met het overwinnen van deze weerstand. In die gevallen waarbij echter de pompfunctie van het hart gestoord is door bijvoorbeeld een myocardiinfarct, kan het zinvol zijn de systeemweerstand te beïnvloeden. Dit kan gebeuren door het gebruik van vaatverwijders bij een te hoge systeemweerstand of door vasopressoren bij een te lage systeemweerstand.

Met behulp van de parameters die worden gemeten met de Swan-Ganz-

catheter, kunnen we de systeemweerstand berekenen. Weerstand in een hydraulisch systeem wordt gedefinieerd als de gemiddelde druk gedeeld door de flow.

De systeemweerstand kunnen we berekenen met behulp van de volgende formule:

$$SW = \frac{(\overline{AP} - \overline{RAP}) \times 80}{CO}$$

waar: SW = systeemweerstand uitgedrukt in dynes.sec.cm⁻⁵

$\overline{AP}$ = gemiddelde arteriële druk in mm Hg

$\overline{RAP}$ = gemiddelde atriumdruk in mm Hg

CO = cardiac output

80 = een constante omrekeningsfactor naar dynes.sec.cm⁻⁵

De normale range voor de systeemweerstand ligt tussen de 950-1300 dynes.sec.cm⁻⁵.

Indien de patiënt geen arteriële catheter heeft, kunt u de gemiddelde arteriële druk ongeveer uitrekenen door 1x de systolische druk + 2x de diastolische druk te delen door 3. Bijvoorbeeld de bloeddruk gemeten met een manchet is 100 mm Hg systolisch en 60 diastolisch.

De gemiddelde druk is dan $1 \times 100 + 2 \times 60 = 220$ gedeeld door 3 = 73 mm Hg.

Voorbeelden

Patiënt A heeft een $\overline{AP}$ van 97 mm Hg, een $\overline{RAP}$ van 3 mm Hg en een CO van 3,2 l/min.

De systeemweerstand bedraagt dan:

$$SW = \frac{(97 - 3) \times 80}{3,2} = 2350 \text{ dynes.sec.cm}^{-5}$$

Deze systeemweerstand is te hoog. Therapie zou een vaatverwijder kunnen zijn, zoals nitroprusside, om de weerstand te verlagen.

Patiënt B heeft een $\overline{AP}$ van 67 mm Hg, een $\overline{RAP}$ van 12 mm Hg en een CO van 5 l/min.

De systeemweerstand bedraagt dan:

$$SW = \frac{(67 - 12) \times 80}{5} = 880 \text{ dynes.sec.cm}^{-5}$$

De systeemweerstand is wat aan de lage kant en met behulp van een vaatvernauwend middel als dopamine zou men, indien nodig, de weerstand kunnen verhogen.

Frequentie van metingen

De frequentie waarmee de verschillende drukken, de saturaties en de cardiac output worden gemeten, is afhankelijk van de conditie van de patiënt. Wanneer deze nog instabiel is zullen de metingen bijvoorbeeld om het kwartier of nog frequenter moeten gebeuren; later bij een meer stabiele situatie om de een à twee uur. Wanneer gestart wordt met het toedienen van positieve inotropica, vasodilatoria of andere medicijnen die de haemodynamiek kunnen beïnvloeden, is het frequent meten van de verschillende parameters noodzakelijk. Meestal zal het mogelijk zijn de Swan-Ganz-catheter te verwijderen als de conditie van de patiënt 24 uur lang stabiel is gebleven en de drukwaarden op een acceptabel niveau liggen.

Complicaties en voorzorgsmaatregelen

Complicaties bij het gebruik van Swan-Ganz-catheters zijn zeldzaam, maar zij komen voor. Een juiste inbrengtechniek, de nodige voorzorgen bij het hanteren van de catheter en een goede observatie van de patiënt kunnen deze complicaties voorkomen. Hier volgt een opsomming van de voornaamste complicaties, hun oorzaken en de maatregelen die genomen kunnen worden om ze te voorkomen of te verhelpen.

Ritmestoornissen

De opgeblazen ballon vermindert, bij het opschuiven van de catheter door de ventrikel, irritatie van het endocard. Hierdoor komen ritmestoornissen weinig voor. Ze blijven meestal beperkt tot een enkele extrasystole die weer verdwijnt zodra de catheterpunt de ventrikel is gepasseerd. Wel is het raadzaam om lidocaïne bij de hand te houden en de defibrillator gebruiks klaar te zetten. Ook wanneer de punt van de catheter terugschiet in de rechter ventrikel kunnen ritmestoornissen ontstaan. Terugtrekken van de catheter tot in het rechter atrium is dan de enige oplossing, tenzij de catheter door het opblazen van de ballon weer in de pulmonaalarterie kan worden gebracht.

Pneumothorax

Een pneumothorax kan ontstaan wanneer bij het inbrengen van de catheter via de vena subclavia geen goede techniek wordt gebruikt. De patiënt moet zo rustig mogelijk blijven liggen wanneer de vena subclavia wordt aangeprikt. Na het inbrengen van de catheter moet altijd een thoraxfoto worden gemaakt, in de eerste plaats om de ligging van de catheter te controleren, maar ook om tijdens de subclavia-punctie een pneumothorax op te sporen.

Knotting

Het in de knoop raken (knotting) van de catheter in rechter atrium of rechter ventrikel, is gelukkig uiterst zeldzaam. Meestal is het een gevolg van "knikken" in de schacht van de catheter. Daarom moet deze vóór het inbrengen op eventuele knikken worden gecontroleerd. Verder moet de catheter wanneer

het rechter atrium is bereikt, niet te snel worden doorgeschoven. Wanneer na 70 cm bij het opschuiven vanuit de elleboog of 35 cm vanuit de subclavia geen goede drukcurve wordt verkregen, moet de catheter voorzichtig worden teruggetrokken en opnieuw opgeschoven. Wanneer opschuiven door het atrium of de ventrikel onmogelijk is, kan doorlichting nuttig zijn om eventuele lussen op te sporen.

Perforatie van de pulmonaalarterie

Perforatie van een tak van de pulmonaalarterie komt weinig voor. Het risico is groter bij patiënten met een pulmonale hypertensie. Perforatie kan voorkomen worden als men de juiste wedgetechniek zorgvuldig in acht neemt en een catheter in wigpositie niet flusht. De ballon mag nooit met vloeistof worden opgeblazen.

Longinfarct

Een longinfarct kan ontstaan wanneer een catheter vrij lang in wigpositie blijft liggen. Continu bewaken van de PAD is noodzakelijk om dit gevaar zo vroeg mogelijk te herkennen. De ballon van de catheter moet nooit langer dan noodzakelijk opgeblazen blijven en wanneer de catheter met lege ballon in wigpositie raakt, moet hij enkele centimeters worden teruggetrokken.

Ruptuur van de ballon

Scheuren van het ballonnetje komt vrij vaak voor en het kan worden vastgesteld wanneer er een verlies van weerstand is bij het opblazen van de ballon of wanneer de zuiger van de spuit waarmee wordt opgeblazen niet spontaan terugkomt. Soms lekt er bloed door het ballonlumen in de spuit. De dunne latexwand van de ballon wordt op den duur aangetast door lipoproteïnen uit het bloed en verliest daardoor langzaam zijn elasticiteit, de kans op scheuren wordt groter. Hoe korter de catheter dus in het lichaam van de patiënt blijft hoe beter. Injectie van kleine hoeveelheden lucht in de longcirculatie heeft geen nadelige gevolgen, wanneer er tenminste geen intracardiale shunts bestaan. (In dat geval raad men wel eens aan de ballon in plaats van met lucht met koolzuurgas op te blazen.) Wanneer de ballon is geknapt, dient de injectieopening van het ballonkanaal te worden afgeplakt om vergissingen te voorkomen.

Thrombose en longembolie

Het is aan te raden alle patiënten die een thermodilutiecatheter hebben, te onttollen met 20.000 I.E. Heparine®/24 uur. Met deze therapie komen longemboliën uiterst zelden voor. Zorgvuldige aandacht moet worden besteed aan patiënten in shock, met een hypercoagulatiesyndroom of met longembolie of thrombose in hun anamnese. De catheter mag nooit geflusht worden wanneer men vermoedt dat zich in de catheter een stolsel bevindt. Getracht moet worden het stolsel op te zuigen.

Thrombophlebitis, ontsteking en sepsis

Infecties kunnen worden voorkomen door in de eerste plaats zo steriel mogelijk te werk te gaan bij het inbrengen van de catheter. De inbrengplaats moet iedere dag opnieuw worden verbonden en schoongemaakt. Een antibacteriële zalf zoals Betadine® kan daarbij op de wond worden aangebracht. Verder dienen iedere dag alle lijnen, kraantjes en infuussystemen die met de catheter in verbinding staan, te worden vernieuwd.

Wanneer de toestand van de patiënt het toelaat moet de catheter zo spoedig mogelijk worden verwijderd. Meestal zal dit na twee à drie dagen wel het geval zijn. Wanneer de juiste voorzorgen worden genomen, kan de catheter echter wel gedurende langere tijd in de juiste positie blijven.

Klepbeschadiging

Bij het verwijderen van de Swan-Ganz-catheter is het belangrijk erop te letten dat de ballon helemaal leeg is en er geen knoop in de catheter zit, om bij het terugtrekken klepbeschadiging te voorkomen.

Het aantal complicaties van de rechter-hartcatheterisatie met behulp van de Swan-Ganz-catheter lijkt schrikbarend groot. In de praktijk komen zij echter gelukkig uiterst zelden voor.

Vereist is echter wel dat degenen die moeten werken met deze catheters, zowel artsen als verpleegkundigen, een goed begrip hebben van de werking, de mogelijkheden en de onmogelijkheden van de Swan-Ganz-catheters. Als dat het geval is, zal men weinig problemen ontmoeten en is de Swan-Ganz-catheter een nuttig, zo niet onmisbaar hulpmiddel bij de behandeling en diagnostiek van de patiënt met linker ventrikel falen, zoals o.a. bij het acute myocard infarct.

Voorzorgsmaatregelen en controles bij het verplegen van een patiënt met een Swan-Ganz-catheter

Infectiepreventie:

- Neem dezelfde voorzorgsmaatregelen die gelden bij het inbrengen van een arteriële of veneuze catheter.
- Verschoon of verwissel op regelmatige tijden het verband, de driewegkraantjes, verlengstukken en infuussystemen.
- Ga zo steriel mogelijk te werk bij het afnemen van bloedmonsters.

Ruptuurpreventie:

- Controleer de ballon vóór het inbrengen van de catheter.
- Blaas nooit méér lucht in de ballon dan is aangegeven op de gebruiksaanwijzing.
- Blaas de ballon niet verder op dan nodig voor de wiggedrukcurve, mede ter voorkoming van ruptuur van het bloedvat.
- Flush de catheter *nooit* in wiggepositie.

Metingen:

- Controleer regelmatig het nulpunt en de ijkuitslag van de monitor.
- Maak een vaste afspraak op de afdeling over het plaatsen van het nulpunt bij de patiënt.
- Controleer bij iedere meting de hoogte van het nulpunt van de patiënt t.o.v. de transducer.
- Bij het wisselen van de diensten verdient het voorkeur samen met de verpleegkundige van de volgende dienst de controles te doen. Dit in verband met de eenheid van het nulpunt.
- Let vóór en na de meting goed op de juiste stand van de driewegkraantjes.
- Laat na iedere wiggedrukmeting het ballonnetje leeglopen. **Laat het nooit opgeblazen in de wiggepositie liggen.** Hiermee voorkomt u weelselbeschadiging tengevolge van afsluiting van bloedtoevoer naar het afgelegen gebied.
- Bepaal de O₂-saturatie van een bloedmonster uit het distale kanaal van de catheter als er twijfel bestaat of de verkregen curve bij opgeblazen ballon een goede wiggedrukcurve is.

Systeem:

- Sluit openingen van driewegkraantjes af met een steriel stopje of een steriele spuit.
- Controleer regelmatig de druk van de hoge-drukmanchet, zodat het flush-systeem goed werkt en voorkomen wordt dat het systeem verstopt raakt.
- Maak voor het flushen zoveel mogelijk gebruik van het flushsysteem.
- Vermijd het gebruik van te lange verlengstukken (manometerlijnen). Dit voorkomt demping van de drukcurve, in de knoop raken of knikken van de slangen.

- Gebruik het distale kanaal van de catheter *niet* voor medicamenten of voedingsinфуus.

Drukcontroles:

- Controleer steeds de vorm van de curve, zowel van het rechter atrium, de wigge als van de pulmonaalarterie.
- Is de curve gedempt, probeer dan de oorzaak op te sporen:
 - luchtbel in het systeem
 - knik in de catheter
 - obstructie in de catheter
 - lekkage bij een van de aansluitingen
- bij een kapotte ballon geen wiggedruk (voor controle zie blz. 23).
- De catheter kan in wiggepositie gaan zitten zonder dat de ballon is opgeblazen. Probeer door verandering van houding van de patiënt of door de patiënt te laten hoesten de catheter weer in de juiste positie te krijgen. Lukt dit niet, dan moet de arts de catheter voorzichtig terugtrekken. Vermeld op de 24-uurslijst het aantal teruggetrokken centimeters.

X-thorax:

- Laat na het inbrengen van de catheter routinematig een X-thorax maken.

Algemene opmerkingen:

Ga van te voren na, of de patiënt links- of rechtshandig is of om wat voor reden dan ook één arm slecht kan gebruiken. De catheter kan dan aan de andere kant of in de subclavia worden ingebracht, zodat de patiënt zo min mogelijk wordt belemmerd in zijn bewegingen.

Zoals eerder gezegd is de frequentie waarmee verschillende drukken en de cardiac output worden gemeten afhankelijk van de conditie van de patiënt. Vermijd onnodige metingen en let er op dat de patiënt zoveel mogelijk rust krijgt.

De auteurs zijn Edwards Laboratories erkentelijk voor het afstaan van het fotomateriaal voor de figuren 4, 7, 8 en 9.