



Fonksiyonel Hemodinamik Monitörizasyon

Dr. A. Emre ÇAMÇI

İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji Anabilim Dalı

Yoğun bakımda yatan ve/veya major cerrahi geçiren hastalarda kardiyovasküler sistem monitorizasyonu gerek hemodinamik statünün anlık olarak belirlenmesi gerekse uygulanan tedavi yöntemlerine alınan cevabın değerlendirilmesi amacıyla çoğunluğu invaziv olan bir çok yöntemin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Kritik hastada hemodinamik monitorizasyonda temel amaç yeterli ve güvenli doku oksijenasyonunun temel bileşenlerinden olan kan akımının monitorize edilmesidir. Kardiyak output (KO) tayini bu anlamda hemodinamik monitorizasyonda esas karşıtılan parametre olup kalp atım hızı, arteriyel kan basıncı (AKB), santral venöz basınç (SVB), pülmoner arter tıkanma basıncı (PATB) gibi parametreler hep yeterli kardiyak outputun yani yeterli kan akımının mevcudiyetini sorgulamak ve gözlemek amacıyla kullanılan parametrelerdir.

Kardiyak outputun yetersiz olduğunun saptanması şu önemli soruyu beraberinde getirmektedir. Yetersiz kardiyak output intravasküler volüm eksikliğinden mi yoksa kasılma zaafından veya afterload artışından mı kaynaklanmaktadır? Bu sorunun yanıtı, sıvı veya vazodilatör ajan seçenekleri arasında düşük kardiyak output durumunda seçilecek tedaviyi belirleyecektir. Böyle bir tabloda ilk aşama bolus sıvı uygulaması ile KO'da oluşan değişiklikleri gözlemek olabilir. Bu durum preload'un SVB veya PATB gibi bir parametre ile saptanması, belli bir eşik değerin altında ise sıvı uygulanması ve bu uygulamanın KO üzerinde yarattığı etkinin saptanması şeklinde yapılabilir. Klinik pratikte çoklukla böyle uygulanmakla birlikte bu yönleme ait birkaç sorun bulunmaktadır. İlk sorun, gerçek anlamda preload'u gösteren parametreler konusunda bir görüş birliği yoktur, gerek SVB gerek PATB'nin preloadu gösterme konusunda tam anlamıyla gerçeği yansıttığı söylenemez. Gerek yapay solunumun yarattığı toraks içi basınç değişiklikleri gerekse sol ventrikülün kompliyansına ait sorunlar PATB değerlerinin gerçek anlamda preload göstergesi olma yeteneğine gölge düşürmektedir. İkinci sorun olarak ise bu parametrelere ait sağlıklı bir eşik değerin saptanamaması ve bunun altındaki durumlarda sıvı tedavisinin yararlı olacağına gösterilememesi belirtilebilir. Dolayısıyla hangi hastalarda

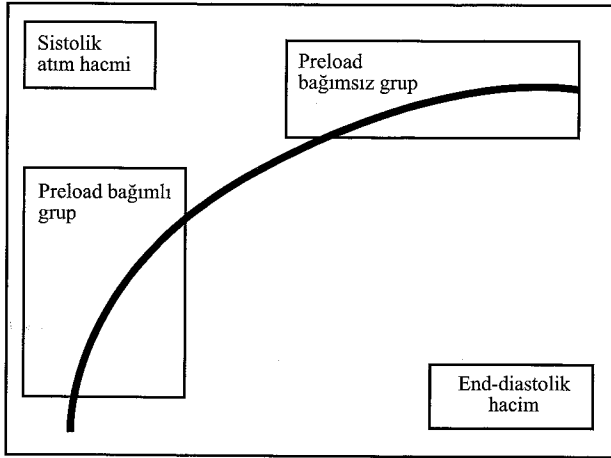
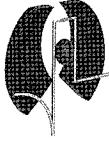
düşük kardiyak output sorununun bolus sıvı tedavisiyle çözülebileceğini öngörmeyi sağlayan objektif parametrelere veya testlere ihtiyaç vardır.

Fonksiyonel hemodinamik monitorizasyon kavramı bu tür bir test kullanarak hangi hastanın sıvı tedavisine KO'nu arttırarak yanıt vereceğini öngörmek olarak özetlenebilir. Böylelikle olumlu yanıt verecek hasta grubu önceden belirlenebildiği için yanıtsız olacağı öngörülen hastalarda sıvı bolusu uygulamasının yaratacağı olumsuz etkilerden de korunmuş olunur.

Yoğun Bakım Hastasında Preload Tayini:

Kardiyak fizyolojideki temel bilgilerimiz kardiyak outputun oluşturulmasında ventrikülün sistolik kasılma gücü ve yeteneğinin yanı sıra preload ve afterload'un optimal sınırlarda olmasının da eşit derecede önemli olduğunu hatırlatmaktadır. Kritik hastada KO izlerken bu üç bileşenin (kasılma gücü, preload, afterload) ortak ürünü olan bir sonucu izlediğimizi bilmemiz gerekir. Bu üçlünün herhangi birinde ortaya çıkacak sapma, KO'un düşmesine ve diğer koşullar normal olmasına rağmen doku oksijenasyonunun tehlikeye düşmesine yol açacaktır. Özellikle preload tayini burada bir adım öne çıkmaktadır. Bunun nedeni, preload artırımını ile sağlanan KO artışının kalbin oksijen sunum ve tüketim dengesini en az olumsuz etkileyen manevra olduğunun bilinmesidir. Frank - Starling yasasından da bilindiği üzere eğrinin dik kolunda yani sıvı açığı bulunan hasta grubunda uygulanacak sıvı tedavisi, atım hacminin (dolayısıyla kardiyak output) aynı oranda artışıyla sonuçlanır. (şekil 1) Eğrinin düz bölgesinde yer alan hastalarda ise aynı türde uygulanacak bir sıvı tedavisi yüklenme, akciğer ödemi ve ventrikül disfonksiyonu ile kendini gösterecektir.⁽¹⁾ Preload'un uygun şekilde saptanması bu sorunun çözümünde bir ilk adımdır.

Teorik olarak preload terimi kontraksiyon öncesi myokard kas lifi uzunluğu olarak tanımlanabilse de klinik olarak ise üzerinde anlaşılmalı kesin bir tanım bulmak zordur. Pratikte ilgili ventrikül için preload o ventrikülün diyastol sonu boyutları (diyastol sonu çap, yüzey, hacim) veya



Şekil 1: Frank- Starling eğrisinde, myokardın normal sayıldığı hastalarda end-diastolik volüm artışına alınacak yanıt hastanın volüm açığı olup olmasına göre değişir. Eğrinin dik kolunda yer alan yani sıvı açığı olanlarda olumlu yanıt yani atım hacmi artışı, preload bağımsız grupta ise yanıtızlık ve kalp yetersizliği beklenir.

diyastol sonunda gerçekleşen dolum koşulları (transmural basınç) olarak alınabilir. Diyastol sonu ventrikül boyutlarının tayini transtorasik veya transözofagal ekokardiyografik tetkikle mümkündür. Bunun için en sık başvurulan yöntem sol ventrikül end-diastolik alanının (LVEDA) saptanmasıdır. Vücut yüzeyine olan oranı LVEDAI olarak kabul edildiğinde yaklaşık $13 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ değer normal değer olarak alınabilir. Ekokardiyografik olarak volumetrik ölçüm yapıldığında ise yaklaşık $55 \text{ ml}/\text{m}^2$ gibi bir sol ventrikül end-diyastolik hacmi normal kabul edilir.⁽²⁾

Ventriküllere ait dolum basınçlarının klinik koşullarda yatak başı tayini için sıklıkla kullanılan iki parametre SVB ve PATB dir. Santral venöz basıncın sağ ventrikül, PATB'inin ise sol ventrikül diyastol sonu basınçlarını yansıttığı düşünülür. Sağlıklı sonuç alınması için ise solunum siklusunun ekspirium sonuna denk gelen zaman aralığında ölçüm önerilmektedir. Ancak buna rağmen jukstakardiyak basıncın artmış olduğu hallerde ekspirium sonu değerler dahi gerçeği yansıtmayabilir ve transmural basınç kavramı öne çıkar. İntravasküler veya intrakaviter olarak ölçülen basınçtan, kalbe veya büyük damarlara etkin olan hava yolu basıncı, perikardiyal basınç gibi basınçların çıkarılması ile elde edilen transmural basınç gerçek preload hakkında fikir verebilir. Yüksek hava yolu basınçlarının kullanıldığı mekanik ventilasyon veya büyük hacimli perikardiyal epanşman bu duruma birer örnektir. PATB'nin preload yansıtmada karşılaştığı diğer bir sorun da büyük "v" dalgalı mitral kapak yetersizliğidir. Bu durumda dikkate alınması gereken düzey "v" dalgasının ayağından geçen düzeydir. Gerek SVB gerekse PATB yukarıdaki noktalar gözetilerek ölçüldüğü takdirde preload göstergesi sayılabilir. Bu durumda bile normal bir değerden bahsetmek zordur ve ancak 5 mmHg'nin altında SVB veya 7 mmHg'nin altında PATB ölçülen

hastalarda volüm ihtiyacı olduğu hemen kesin olarak belirlenir. Ancak buna benzer aşırı örneklerle klinik koşullarda nadiren karşılaşılmaktadır.

Preload tayininde günümüzde kullanılan bir diğer yöntem ise transpulmoner termodilüsyon yöntemiyle ölçülebilen global enddiastolik volüm (GEDV) adlı parametredir. Esas olarak arteryel trase konturunun analizinden atım hacmi hesaplayan PICCO (Pulsion Medical Systems, Munich, Germany) monitorizasyonunun ilk kalibrasyon amacıyla yaptığı transpulmoner termodilüsyon esnasındaki termal transit zamanından intratorasik kan hacmi (İTKH), ekstrasvasküler akciğer suyu (EVAS) ve arasındaki farktan da global end-diastolik hacim GEDH hesaplaması yapabilmektedir. Her iki ventrikül için tek bir enddiastolik volüm olarak sonuç veren bu parametre için de yaklaşık $600 \text{ ml}/\text{m}^2$ ile $800 \text{ ml}/\text{m}^2$ arası değerler normal kabul edilir ve bu sınırların dışında kesin bir hipovolemi veya hipervolemiden söz edilebilir.⁽³⁾ Ancak yukarıda sözedilen diğer parametrelerde olduğu gibi bu değerler de aşırı uçlar olup klinikte sık karşılaşılan durumlardan değildir.

Sonuç olarak yukarıda sayılan; pulmoner arter kateteri verileri olan SVB, PATB, ekokardiyografik verilerden olan LVEDA, LVEDV ve transpulmoner termodilüsyon ile hesaplanan GEDV hepsi statik preload göstergeleri olarak ele alınabilir. Gerçekten preload'u hangi koşullarda doğru gösterdikleri tartışılmakla birlikte tüm bu verilere ait tartışılmayan durum, bunların hastanın sıvı yüklemesine verecekleri yanıtı öngörmekte çok zayıf kalmalarıdır.⁽⁴⁾

Buna yönelik ve yoğun bakım pratiğine yol gösteren çok sayıda klinik çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda genel yöntem, yukarıda sayılan herhangi bir statik parametre esas olarak yapılan sıvı yüklemelerine alınan kardiyak output cevabının başlangıç preload değerlerine bakılarak öngörülüp öngörülemeyeceğidir. SVB esas kılavuz olarak alındığında belli bir hacimde ve hızda uygulanan sıvıya hangi eşik SVB değerinin altındaki hastaların olumlu, üstündeki hastaların ise olumsuz yanıt vereceğinin araştırıldığı farklı çalışmalarda sıvı yüklemesine olumlu yanıt verenlerle olumsuz yanıt verenler arasında başlangıç SVB değeri açısından anlamlı fark olmadığı gösterilmiştir.^(5,6) Başlangıçta daha düşük SVB değerlerine sahip hastaların sıvı bolusuna daha iyi yanıt verdiğini gösteren çalışmalarda da kesin bir eşik değer belirlemek mümkün olmamıştır.^(7,8)

Koroner arter cerrahisi sonrası yoğun bakım sürecinde preload tayininde SVB, PATB ve transpulmoner çift indikatör dilüsyon yöntemiyle ölçülen intratorasik kan hacminin eş zamanlı ve kıyaslamalı olarak kullanıldığı



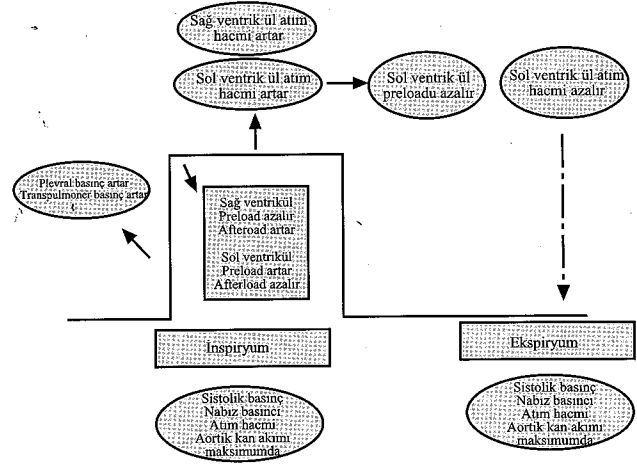
bir çalışmada⁽⁹⁾ İTKH ve GEDV değerlerinin preload göstermede SVB ve PATB'na göre daha değerli olduğu aynı zamanda bu değerlerdeki değişikliklerin KO değişiklikleriyle iyi bir korelasyon gösterdiklerini saptanmış ancak sıvı tedavisine yol gösterecek eşik değer bulunamamıştır.

Dinamik preload göstergeleri:

Pulmoner arter kateteri, Eko-Doppler veya transpulmoner termodilüsyon yöntemleri statik preload verileri sağladığından bunların kılavuzluğunda yapılan sıvı resusitasyonu sınırlı sayıda hastada yararlı olmakta yarıya yakın yoğun bakım hastasında ise yarattığı sıvı yüküyle durumu daha da ağırlaştırmaktadır.⁽¹⁰⁾ Fonksiyonel hemodinamik monitorizasyon mantığında ise, daha farklı kılavuzlar kullanılarak hastalara uygulanacak sıvı yüklemesinin kan akımında artışa yol açıp açmayacağı öngörülmektedir. Bunun için ise başka indikatörlere ihtiyaç vardır. Dinamik preload göstergeleri adı altında tanımlanan bu parametreler gene pulmoner arter kateteri, eko-doppler veya arteriyel termodilüsyon kateterinden elde edilen verilerdir ancak bu kez tek başlarına değil hastanın içinde bulunduğu verili koşullar eşliğinde değerlendirilirler. Bu verili koşul ise yoğun bakım hastalarının büyük çoğunluğunda uygulanan pozitif basıçlı yapay solunum durumudur.

Yapay solunum, toraksa uygulanan siklik pozitif basınç nedeniyle kalp boşlukları ve mediastende yer alan büyük damarların transmural basınçlarında siklik değişikliklere yol açar. Kısaca özetlemek gerekirse inspiratuar dönemde uygulanan pozitif basınç plevral basıncı artırır ve vena kava akımını azaltır. Bu akımın azalması sağ kalbe dönüşü azaltır sağ ventrikül preload'u azalmış olur. Aynı dönemde artan transpulmoner basınca bağlı olarak da sağ ventrikül afterloadu artmış olur. Bu iki etkenin birleşmesi inspiratuar dönemde sağ ventrikülün atım hacminde yani pulmoner arter kan akımında azalmayla sonuçlanır. Aynı dönemde sol ventrikülde ise yapay solunum bunun tersi yönde etki yaratmaktadır. Plevral basıncın artması sol ventrikül afterload'unu azaltmakta transpulmoner basınç artması ise akciğerlerde bulunan intravasküler hacmi adeta sıkarak sol ventrikül preload'unu artırmaktadır. Net sonuç ise inspiratuar fazda sol ventrikül atım hacminin artmasıdır. Ekspiratuar dönemde ise bir önceki siklstan azalmış olan sağ kalp atım hacmi azalan sol ventrikül preload'u olarak yansımakta, sol ventrikül duvarı hem inspiratuar destekten mahrum kaldığı hem de dönüş azaldığı için atım hacmi azalmaktadır. Sol ventrikül atım hacminin siklik olarak inspiryumda artması ekspiryumda azalması klinik parametrelere de aynı şekilde yansımaktadır. Bu da sistolik kan basıncı, nabız basıncı, atım hacmi, aortik kan akımı gibi yatak başında ölçülebilen parametrelerin

tümünde siklik olarak ekspiratuar azalma ve inspiratuar artmalar saptanmasına yol açmaktadır.⁽¹¹⁾ (şekil 2)



Şekil 2: Yapay solunumda uygulanan pozitif basınçın hemodinamik etkileri: inspiryumda maksimal sol ventrikül atım hacmi elde edildikten sonra takip eden 2-3 atım sonra yani ekspiryumda minimal atım hacmi gerçekleşmektedir.

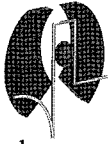
Tekrar Frank – Starling eğrisine dönersek, eğrinin dik kolunda yer alan ve düşük kardiyak output durumu sıvı açığına bağlı olan hasta grubunda yukarıda özetlenen siklik değişiklikler daha abartılı olarak cereyan eder. Inspiryum ile ekspiryum arası görülen kan basınç ve akım değişiklikleri daha belirgindir.⁽¹²⁾ Bu değişikliklerin şiddetine bakarak sıvı yüklemesinin gerekliliği ve yararlılığına karar vermek dinamik bir durum değerlendirmesidir ve fonksiyonel hemodinamik monitorizasyonun temel düşünce biçimini oluşturur. Bu bağlamda solunumsal değişikliklerin yatak başında çeşitli monitorizasyon yöntemleriyle değerlendirildiği dinamik parametreler sistolik basınç değişimi (SBD), nabız basınç değişimi (NBD) gibi sadece periferik invazif arter basıncı monitorizasyonu ile elde edilebildiği gibi daha ileri yöntemlerle atım hacmi değişiklikleri (AHD) ve aortik kan akım değişiklikleri (AAD) izlenebilir. (Tablo 1)

Tablo-1. Dinamik preload göstergesi parametreler ve elde edilme yolları

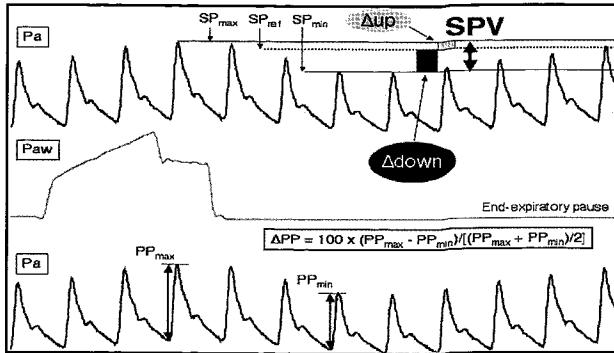
Parametre	Monitör
Sistolik basınç değişikliği	İnvaziv arter basınç trasesi analizi
Nabız basıncı değişikliği	İnvaziv arter basınç trasesi analizi
Atım hacmi değişikliği	Puls konturu analizi
Aortik anulus hizasında akım hızı değişikliği	Transözofagal Ekokardiyografi
İnen aorta akım hızı değişikliği	Özofagal Doppler
Vena kava inferior boyut değişikliği	Transtorasik Ekokardiyografi
Vena kava superior boyut değişikliği	Transözofagal Ekokardiyografi

Arter basıncı değişiklikleri:

Yukarıda açıklanan mekanizmaya bağlı olarak arter trasesinde görülen solunumsal dalgalanmalar 1970'lerin sonundan beri "tersine pulsus paradoksus" adıyla bilinmektedir.⁽¹³⁾ İlk kullanıma girdiğinde solunum siklusu boyunca kaydedilen maksimal sistolik basınçla minimal sistolik basınç arası farkın SBD olarak ele

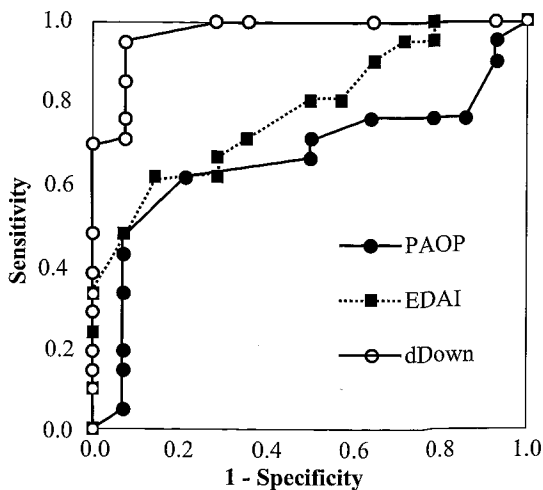


alınması söz konusu idi. Değerlendirmeyi standardize etmek için günümüzde “Δdown” ve “Δup” kavramları kullanılmaktadır. Buna göre ekspirium sonu pause esnasında elde edilen referans sistolik arter basıncı değerine göre tüm solunum siklusunda kaydedilen maksimum sistolik basınç farkı “Δup” minimal sistolik basınçla referans değer arası fark da “Δdown” olarak belirtilmektedir. (şekil 3) Özellikle “Δdown” sıvı açığı varlığında belirginleşmekte bu özelliğiyle de preload indikatörü rolü artmaktadır.



Şekil 3: Yapay solunum esnasında arteryel basınçta siklik değişiklikler. End-exp. pause'de ölçülen referans sistolik değer (SP_ref)'e göre maksimum sistolik basıncın (SP_max) ve minimum sistolik basıncın (SP_min) farkları sırasıyla Δup ve Δdown olarak saptanır. Nabız basıncı değişiklikleri ise APP ile belirtilen formüle göre hesaplanabilir. (11)

Ayrıca belli değeri aşan “Δdown” varlığında sıvı tedavisine yanıtı öngörmek te mümkün olmaktadır. Bu özellikleriyle oldukça iyi çalışan bir dinamik göstergedir. Sepsise bağlı hipotansiyon varlığında yapay solunum uygulanan bir hasta grubunda “Δdown” diğer preload indikatörü olarak kullanılan PATB ve ekokardiyografik ölçülen LVEDA değerlerine göre daha değerli bulunmuş ve 5 mmHg ve üstünde saptanan “Δdown” varlığında sıvı tedavisi KO artışıyla sonuçlanmıştır. (14) (Şekil 4)



Şekil 4: SBD'inin türevi olan “Δdown” parametresinin preload yanıtını öngörmedeki değerinin PAOP (pulmoner arter tıkanma basıncı) ve (14) LVEDAI (sol ventrikül diastol sonu alan endeksi) ile kıyaslanması.

SBD analizine bir alternatif nabız basıncında gerçekleşen değişikliklerin takibi olabilir. Üstelik bu takibin SBD'ne

göre daha kesin ve daha iyi öngörü sağlayıcı olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur. (15) Gerek SAB gerek NB atım hacminin yanı sıra periferik vasküler dirençten de etkilenirler. Verili bir arteryel rezistans varlığında bu basınçlardaki değişikliklerin direk atım hacmindeki değişiklikleri yansıttığı düşünülebilir. NBD için geçerli olan bu durum SAB için tam olarak geçerli değildir zira SAB atım hacmi ve arteryel rezistans yanı sıra aorttaki ektramural basınç değişikliklerinden de fazlasıyla etkilenmektedir. (16) NBD ölçümü SBD ile aynı prensiplere göre yapılmakta, solunum siklusunu boyunca saptanan maksimal nabız basıncı ile minimal nabız basıncı bulunduktan sonra aşağıdaki formülle sonuç alınmaktadır.

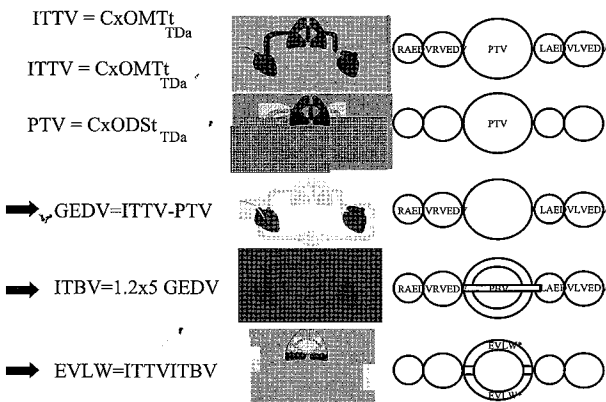
$$\text{Nabız Basıncı Değişimi (\%)} = 100 \times (\text{Max. nabız basıncı} - \text{Min. nabız basıncı}) / [(\text{Max. nabız basıncı} + \text{Min. nabız basıncı}) / 2]$$

NBD ile yapılan çalışmalarda klinikte yararlı eşik değerler vermek mümkün olmuştur. Sepsisli hasta grubunda sıvı yüklemesine yanıt alınan ve alınmayan gruplar arası yapılan karşılaştırmalarda bir çalışmada %13 (15) bir diğerinde de %12'lik (17) eşik değerler saptanmıştır. Nabız basıncı solunum siklusunu boyunca %12-13 oranında dalgalanan septik hastalar kg başına 8-10 ml veya 500 ml HES yüklemesine yanıt olarak KO'larını %10 ila 15 oranında artırmışlardır.

Kısaca özetlemek gerekirse sadece arter basınç trasesini izleyerek hastada sıvı açığını değerlendirebileceğimiz üç önemli parametre; “Sistolik Arter Basıncı Değişimi”, “Δdown” ve “Nabız Basıncı Değişimi” kolaylıkla ulaşılabilir dinamik parametrelerdir. Ancak bazı teknik sorunlar ve bu parametrelerin değerini azaltan eksiklikler de söz konusudur. Her üç parametre için de öncelikle nitelikli bir arter basınç trasesi eldesi zorunludur. Ekipmandan (kıvrılan, kırılan, gereğinden uzun, hava ve pıhtı içeren) veya hastadan (ateroskleroz, aritmi) kaynaklanan sorunlar ölçümün güvenilirliğini azaltacaktır. Arteryel trasenin elde edildiği kanülasyon alanının da sonucu etkilediği düşünülebilir. Bilindiği gibi arteryel sistemde santraldan periferik doğru uzaklaştıkça sağlıklı insanlarda sistolik basınçta bir artış ve diastolik basınçta hafif azalma görülür. Septik hastalarda veya kardiyopulmoner bypass sonrası bu özelliğin kaybolduğu ve sistolik basınçta azalma eğiliminin arttığı bilinmektedir. Ancak burada söz konusu olan mutlak değerlerin değil de solunumsal değişimin izlenmesi olduğundan gerek radyal gerekse femoral arter kullanılarak yapılan kıyaslamalarda solunumsal değişimin aynı oranda yansıdığı gösterilmiştir. (18) Diğer bir sorun da plevral ve transpulmoner basıncın düşük olduğu yapay solunum koşullarında (örneğin düşük tidal volüm kullanılması ve/veya göğüs duvarı kompliyansının artmış olduğu durumlar) hastaların hipovolemik olmaları halinde bile



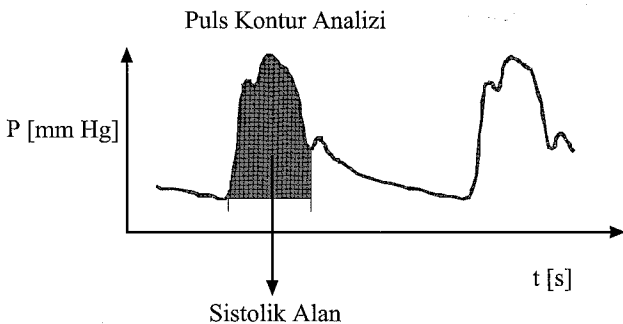
solunumsal değişimin arteriyel basınca yansımamasıdır. Bu durumda, yukarıdaki koşullarda solunumsal olarak etkilenmeyen hemodinami, tidal volümün artırılması veya göğüs kompliyansının bozulmasıyla preload bağımlı düşük kardiyak output tablosuna girebilecektir. Son olarak arter trasesinde solunumsal değişim değerlendirmesi çoğunlukla derin sedatize ve paralize hasta grubunda örneklerle literatürde yer almıştır. Oysa günümüzde yoğun bakım ünitelerinde hastalar daha az sedasyon düzeyi ve mümkünse kas gevşemesi kullanılmadan parsiyel solunum desteğine dayanan yeni yapay solunum modlarıyla izlenmektedir. Bu koşullarda arter basıncı değişiminin izlenmesinin güvenilirliği ve yararlılığı yeterince araştırılmamıştır.



Şekil 5: Transpulmoner termodilüsyon yoluyla elde edilen parametreler ITTV: intratorasik termal volüm, PTV: pulmoner termal volüm, GEDV: global enddiastolik volüm, ITBV: intratorasik kan hacmi, EVLW: damar dışı akciğer sıvısı

Puls Kontur Analizi ve Atım Hacmi Değişimi

Puls konturunun analizine dayanan sürekli olarak atım hacmini izleyebilen monitör sistemleri yoğun bakım pratiğine girmiştir. Gerek termodilüsyon (PICCO, Pulsion Medical, Munich, GERMANY) gerekse lityum dilüsyon (LIDCOplus, LIDCO Ltd. London, UK) yöntemiyle kalibrasyon için indikatörün transpulmoner geçiş zamanından hem çeşitli preload parametrelerini izlenebilmekte (şekil 5) hem de bu kalibrasyon sonrası arter trasesi analiziyle (şekil 6) atım hacmi ve atım hacmi değişiklikleri (AHD) monitöre yansıtılabilmektedir.

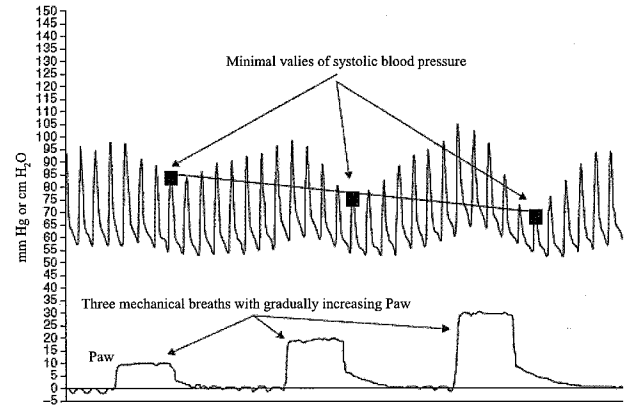


Şekil 6: Arter trasesinin kontur analizi sistolik alanın belirlenmesi ve bunun türevi olan atım hacmi izlenmesi

Bir santral venöz yola birde arteriyel katetere gereksinim gösteren sistem, aortik basınç dalgasının indikatöre duyarlı periferik arter kanülü vasıtasıyla algılanması, trasenin bir matematik algoritma ile analizi ve transpulmoner dilüsyona bağlı kalibrasyon sonrası her vüruda atım hacminin hesaplanması şeklinde çalışmaktadır. Transpulmoner kalibrasyon ile, aynı zamanda geçiş zamanı hesabı sonucu önemli preload parametreleri ortaya konmaktadır. (Şekil 5) PICCO ile izlenebilen en önemli preload parametresi GEDVI olarak düşünülebilir. Normal değeri yaklaşık olarak 600-800 ml/m²'dir. Ancak tıpkı SVB, PATB gibi GEDVI' de statik bir parametredir.

PICCO ile dinamik olarak sıvı yanıtı araştırılabilir, bu açıdan önemli avantajlara sahip bir monitördür. Çünkü zaten aradığımız esas parametre olan sol kalp atım hacmini her kalp vurusunda göstererek arteriyel basınç değişikliklerine bakarak yorum yapma ihtiyacını ortadan kaldırır. Belirli bir zaman dilimi (genellikle 4 tane 7.5 saniyeden oluşan 30 saniye) içerisinde minimal ve maksimal atım hacimlerini ortalama atım hacmine oranlayarak AHD'ni % değerlik olarak verir. Buna göre:

$AHD \% = (AH_{max} - AH_{min}) / AH_{ort}$ şeklinde monitör tarafından sürekli ve gerçek zamanlı işlenmektedir.



Şekil 7: Solunumsal Sistolik Değişim Testi: Sırasıyla uygulanan 10-20 ve 30 cm H₂O basınçlık inspiyumalarda kaydedilen en düşük sistolik arter basıncı değeriyle o arter basıncına denk gelen havayolu basıncının işleminin esasını oluşturur (21)

PICCO'nun dinamik değerlendirmede yerine ait klinik çalışmalar yoğun bakımda septik hastalarda ve major cerrahi sonrasında gerçekleştirilmiştir. Yoğun bakımda sepsise bağlı dolaşım yetersizliği bulunan yapay solunum altındaki hastalarda PICCO ile takip edilen AHD'nin yararlılığının araştırıldığı çalışmada 30 dakika içinde verilen 500 ml'lik HES bolusu ile kardiyak indeks artışı korele edildiğinde, hem başlangıç değerleri hem de sıvı yüklemesi sonrası AHD değerlerinin kardiyak indeks ile kuvvetle korele olduğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada sıvı öncesi ve sonrası SVB ve PATB değerleri ile kardiyak indeks artışı arasında ise herhangi bir bağlantı



gösterilememiştir.⁽¹⁹⁾ Solunumsal AHD ne kadar büyükse sıvı yüklemesine alınacak KO artışı yanıtının da olumlu olacağı PICCO ile gösterilmiştir. Normalde AHD'nin % 10 ve altında olması beklenir, % 15 ve üzeri AHD sıvı açığının varlığını ve açığın yerine konmasına paralel KO artışı sağlanacağına sağlam bir göstergesi kabul edilmektedir.⁽¹⁹⁾

Benzer sonuçlar major cerrahi sonrası özellikle açık kalp cerrahisi sonrası yoğun bakım sürecinde sıvı tedavisini yönlendirme çalışmalarında da alınmıştır. Kalp cerrahisi sonrası incelenen 20 hastada PICCO ile ITBV ve AHD izleminin yanı sıra gerek PAK ile (PATB) gerekse TEE ile (LVEDAI) statik preload göstergelerinden bazıları da takip edilmiştir.⁽²⁰⁾ Bazal değerlerin ölçümünden sonra 20 ml/kg dozunda oksipolijelatin uygulanarak ölçümlerin tekrarında AHD'nin diğer göstergelere göre KO artışı ile daha iyi korelasyon gösterdiği kanıtlanmıştır. Başlangıçta % 19 civarında olan AHD sıvı yüklemesinin 25. dakikasından itibaren % 10 civarına inmiş 3.6 l/m² olan başlangıç KI paralel artışla 4.3 l/m² düzeyine çıkmıştır. KI artışı AHD başlangıç değerleriyle anlamlı korele iken SVB, PATB ve LVEDAI değerleri ile anlamlı korelasyon saptanmamıştır.⁽²⁰⁾

PICCO ile izlenen AHD teknik olarak diğer arter trasesi analizi yöntemleriyle aynı zaafllara sahiptir. Arter trasesinin belli bir kalitenin üstünde olması ve hastanın aritmik olmaması gerekliliği yanı sıra alınan sonucun hastaya uygulanan tidal volümden etkilenmesi bu zaafllardandır. Uygulanan testin tidal volümden bağımsız sonuç vermesi için yeni bir fonksiyonel test olan "Solunumsal Sistolik Değişim Testi" tanımlanmıştır.⁽²¹⁾ Buna göre birbirini takip eden üç yapay inspirasyonda sırasıyla 10, 20 ve 30 cm H₂O basınç uygulanmakta her inspiroyuma denk gelen en düşük SAB kaydedilerek birbirine karşılık gelen havayolu basıncı ve kan basıncı değeri mmHg/ cm H₂O cinsinden matematik işlem sonrası değerlendirilmektedir. (Şekil 6) Buna yönelik yapılan çalışmada koroner arter cerrahisi geçiren 18 hastada perioperatif dönemde SBD, NBD, "A down", AHD ve SSDT TEE ve PICCO'dan elde edilen statik preload göstergeleriyle kıyaslanmıştır.(Preisman) Ölçümler 250 ml jelatin solüsyonunun 5-7 dakikada verildiği iki kez yapılan sıvı yükleme basamaklarından 3 dakika sonra değerlendirilmiş, bu tip sıvı yükleme basamakları operasyon öncesi ve sonrası gerçekleştirilmiştir. Tüm statik ve dinamik göstergeler ile sıvıya verilen KO artışı yanıtı incelendiğinde başta AHD olmak üzere tüm dinamik göstergelerin statik parametrelere oranla daha değerli olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca fonksiyonel hemodinamik araştırmayı uygulanan tidal volümden bağımsız hale getiren "Solunumsal Sistolik Değişim Testi" nin tüm dinamik

göstergeler içinde en yeterli ve güvenilir olduğu ortaya konmuştur. (Tablo 2)

	ROC area	95% CI	Proposed threshold value	Sensitivity	Specificity
MAP	0.73**	0.60-0.87	<76.5 mm Hg	64%	77%
CVP	0.61**	0.47-0.75	NS		
ITBVI	0.71**	0.59-0.84	<845 cc m ²	63%	73%
EDAI	0.71**	0.59-0.84	<9.05 cm ² m ²	63%	69%
SPV	0.92	0.85-0.99	>8.5 mm Hg	82%	86%
dDOWN	0.92	0.85-1.0	>5.0 mm Hg	86%	86%
SVV	0.87*	0.79-0.96	>11.5%	81%	82%
PPV	0.95	0.89-1.0	>9.4%	86%	89%
RSVT	0.96	0.92-1.0	>0.51 mm Hg/cm H ₂ O	93%	89%

Tablo 2: Koroner arter cerrahisi hastalarında izlenen dinamik ve statik göstergelerin değerlendirilmesi.⁽²¹⁾

MAP: ortalama arter basıncı, CVP: santral venöz basınç, ITBV: intratorasik kan hacmi, EDAI: enddiastolik alan, SPV: sistolik basınç değişimi, SVV: atım hacmi değişimi, PPV: nabız basıncı değişimi, RSVT: solunumsal sistolik değişim testi

Eko-doppler ile dinamik gösterge araştırması

Ekokardiyografi yoğun bakımda hemodinamik olarak dengersiz hastalarda altta yatan nedeni kısa sürede ortaya koyabilecek non-invaziv (transtorasik: TTE) veya yarı-invaziv (transözofagal: TEE) bir monitorizasyon yöntemi olarak giderek aratan yaygınlıkta ve sıklıkta kullanılmaktadır. Ekokardiyografinin bir avantajı da dinamik olarak preload yanıtını araştırmaya olanak sağlayan bir yöntem olmasıdır. LVEDA veya LVEDV gibi statik preload göstergelerinin izlenmesi eskiden beri uygulanan araştırmalardır. Günümüzde fonksiyonel hemodinamik monitorizasyon bağlamında ise ekokardiyografi ile dinamik araştırmalar yapılması mümkündür. İki ana grupta toplanabilecek bu araştırmalar, yapay solunum esnasında sıklık olarak vena kava boyutlarında ve aort akımında meydana gelen değişikliklerdir.

Aortik akım hızı (V_{peak}) TTE veya TEE ile Doppler analizi yapılarak aortik anulus hizasından izlenebilmekte yapay solunum uygulanan hastalarda solunuma bağlı değişiklikler "ΔV_{peak}" ise dinamik olarak sıvı açığını ortaya koymaktadır. Eko ile izlenebilen bir diğer dinamik parametre ise solunuma bağlı aortik TVI (time-velocity integral) değişikliklerinin (ΔTVI_{ao}) izlenmesidir. Solunum siklusu boyunca minimal ve maksimal V_{peak} bulunduktan sonra "ΔV_{peak}" hesaplanması için şu formül kullanılmaktadır.

$$\Delta V_{peak} \% = (V_{max} - V_{min}) / [(V_{max} + V_{min}) / 2] \times 100$$

"ΔV_{peak}" takibine dayanan bir çalışmada yapay solunum uygulanan 19 septik hastada sıvı tedavisine yanıt araştırılmıştır.⁽²²⁾ Uygulanan sıvı tedavisi ile kalp debisini % 15 ve üzerinde artıranlar yanıt veren grup, kalp debisi artışının % 15'in altında kaldığı grup ise yanıtız grup olarak kabul edilmiştir. Yanıt veren grup ile yanıtız grubun başlangıç "ΔV_{peak}" değerleri ele alındığında % 12 değerinin ayırıcı eşik değer olarak saptandığı



görülmektedir. Oysa başlangıç LVEDA değerlerine bakıldığında iki grup arası anlamlı fark olmadığı görülmektedir. Burada da “ ΔV_{peak} ” gibi bir dinamik göstergenin LVEDA gibi bir statik göstergeye sıvıya yanıtı öngörmekteki üstünlüğü ortaya çıkmaktadır.⁽²²⁾

Benzer bir inceleme özofagal Doppler monitorü ile yapılabilmektedir. Özofagusa yerleştirilen bir Doppler monitorü sürekli olarak inen aort akım hızını ölçmekte ve buradan kardiyak debi çıkarımı yapılmaktadır. Bu verilerin dinamik kullanımı ile inen aorttaki akım hızının solunumsal değişimi (ΔAAH) sıvı cevabını öngörmekte aynı ilkelere dayanılarak kullanılabilir. Akım hızı solunuma bağlı olarak ne kadar fazla değişiyorsa hastada sıvı açığı o denli fazla ve sıvı tedavisine yanıtı o denli olumlu olacaktır. 38 hastalık bir seride yapay solunum esnasında ΔAAH % 28 olan hasta grubunda 10 dakikada uygulanan 500 ml serum fizyolojik tedavisiyle kalp debisi % 15 ve üzerinde artarken başlangıçta ΔAAH % 12 civarı olan grup sıvıya yanıt vermemiştir.⁽²³⁾ Bu çalışmadan çıkan eşik değer sonucu olan % 18’lik ΔAAH varlığında hastaların sıvıya yanıt vermeleri %90 duyarlılık, %94 özgüllük ile öngörülebilmektedir.⁽²³⁾

Gerek TTE ve TEE gerekse özofagal Doppler monitorü ile yapılan dinamik ölçümlerin diğer yöntemlere benzer olarak hastaların kendi solunum eforundan ve kardiyak aritmilerinden olumsuz etkilendikleri bilinmektedir. Bu sorunu aşabilmek için basit bir test ile bu tetkikler kombine edildiğinde olumlu sonuç alındığı gösterilmiştir. Pasif olarak bacakların 45 derece kaldırıldığı ve 1-3 dakika boyunca tutulduğu durum 300-400 ml hacmin intratorasik kompartmana dahil edildiği bir “self servis” sıvı resüsitasyonu durumudur. Üstelik pozisyon eski haline alındığında sıvı yükü tekrar ekstratorasik alana deplase olacağından geriye dönüşümlüdür, dolayısıyla yüklenme riskinin az olduğu bir güvenlik özelliği de vardır. Bu yüzden hemodinamik dengenin bozulduğu durumlarda yatak başında veya ameliyathanede sıklıkla ve kolaylıkla uygulanan bir testtir. Günlük pratikte arteriyel basınç cevabı gözlenir yükselme olduğunda sıvı yüklemesine olumlu yanıt alınacağı düşünülür. Bacak kaldırma testinin bir olumlu özelliği de aortik akım hızı değişiklikleri araştırıldığında tamamen kontrole solunum altında ve sinüs ritminde olan hastalarda olduğu gibi aritmik ve/veya parsiyel solunum desteği altında olan hastalarda da uygulanabilirliğidir. Bu kurguyla 71 hasta üzerinde özofagal Doppler monitorü ile yapılmış bir çalışmada hastaların yaklaşık yarısının (n=31) spontan solunum eforu ve/veya aritmisi olmasına karşın bacak kaldırma testine verdiği yanıtlar göz önüne alındığında bu hastalarda da güvenilir sonuç verdiği gösterilmiştir.⁽²⁴⁾ Bacak kaldırma ile AAH % 10 oranında artan hastalar takip eden 500 ml. sıvı yüklemesine de en az % 15

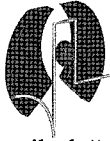
oranında AAH artışıyla yanıt vermişlerdir. Bu yanıtılık hem kontrole solunuma tam olarak uyan hem de spontan solunum eforu olan hasta grubu için geçerlidir.⁽²⁴⁾

TEE ile izlenebilen bir diğer parametre de vena kava superior ve inferiorun boyutlarında meydana gelen solunumsal değişikliklerdir. Vena kava superior yapay solunum esnasında inspiryumda artan pleval basınca maruz kalarak çap azalmasına yani kollapsa uğrar.⁽²⁵⁾ M-mod ve 2-D görüntüleme ile uzun eksende elde edilen vena kava superior görüntülerinde ekspiryumda maksimal çap inspiryumda minimal çap saptanmakta, inspiratuar çap azalmasının % 60 ve daha fazla olmasının sıvı tedavisine en az % 15’lik bir kardiyak output artış yanıtı verileceğinin göstergesi olarak kabul edilir.⁽¹⁷⁾

Toraks dışında yer alan vena kava inferiyorda ise tam tersine inspiryum esnasında venöz dönüşün artan pleval basınçla engellenmesine bağlı distansiyon gelişir. Vena kava inferiyor TTE ile subkostal pencereden görüntülenerek inspiriyumda gerçekleşen distansiyon derecesine bakarak sıvı açığı ve sıvı yüklemesine alınacak yanıtın öngörülmesi mümkündür.⁽²⁷⁾ Çap artışının solunuma bağlı olarak % 12 ve üzerinde olması sıvı tedavisine olumlu yanıt alınacağına göstergesi olarak kabul edilir.⁽²⁷⁾

Sonuç:

Yoğun bakımda sıklıkla karşılaşılan sorun, düşük kalp debisi gösteren hastalarda bu durumun sıvı açığına dayandığını ortaya koyarak uygun sıvı yüklemesiyle doku ve organ düzeyinde iskemi gelişmeden müdahale edebilmektir. Sıvı yüklemesi ile beklenen gelişme end-diastolik hacmin artırılması bunun da atım hacmi artışı yani kardiyak output artışıyla sonuçlanmasıdır. Ancak yarıya yakın yoğun bakım hastası ise bu tür bir tedaviye yanıtsız kalmakta veya yüklenme belirtileri göstermektedir. Santral venöz basınç, pulmoner arter tıkanma basıncı veya sol ventrikül end-diastolik alanı gibi statik preload göstergelerine bakarak hangi hastanın sıvı tedavisine olumlu yanıt vereceğini hangisinin ise bundan olumsuz etkileneceğini öngörmek mümkün değildir. Fonksiyonel hemodinamik monitorizasyon bu sorunun çözümünü yatak başında bir takım aktif araştırmalar ve testlerle gerçekleştirmeye çalışmaktadır. Bunun için bir takım monitorizasyon yöntemlerini (invaziv arter basıncı, puls kontur analizi, eko-doppler) kullanarak bazı parametrelerin (sistolik arter basıncı, nabız basıncı, atım hacmi, aortik akım hızları, vena kava çapları) belirli koşullarda (pozitif basınçlı yapay solunum, trendelenburg pozisyonu) nasıl değişim gösterdiğini izler. Bu işlemin sonucu her parametre için geçerli bir



eşik değerin varlığının kanıtlanmasıdır. (Tablo 3) Bu eşik değeri aşıldığında uygulanacak preload artırıcı tedavilere hastaların kalp debisini artırarak yanıt vereceklerini öngörmek fonksiyonel hemodinamik monitorizasyon kavramının yoğun bakım klinisyenlerine sağladığı güvenlik ve kolaylıktır.

Tablo 3: Fonksiyonel hemodinamik monitorizasyonda kullanılan dinamik preload göstergeleri ve aşıldığında sıvıya olumlu yanıtı öngören eşik değerler.⁽⁴⁾

Parametre	Eşik Değer
Sistolik basınç değişikliği (%) veya (mmHg)	%10 ve üzeri veya 10 mmHg ve üzeri sistolik basınç dalgalanması
Adown (mmHg)	5 mmHg ve üzeri fark
Nabız basıncı değişikliği (%)	% 13 ve üzeri nabız basıncı dalgalanması
Atım hacmi değişikliği (%)	% 9-10 ve üzeri atım hacmi dalgalanması
TEE ile aortik anulus hizasında akım hızı değişikliği ΔVpeak (%)	% 12 ve üzeri aortik peak akım hızı dalgalanması
Özofagal Doppler ile inen aorta akım hızı değişikliği AAAH (%)	% 10-12 ve üzeri inen aort peak akım hızı dalgalanması
Vena kava inferior boyut değişikliği	% 12 ve üzeri çap artışı
Vena kava superior boyut değişikliği	% 60 ve üzeri çap azalması

KAYNAKLAR

- 1) Michard F, Teboul JL: Predicting fluid responsiveness in ICU patients. A critical analysis of the evidence. Chest 121: 2000-2008, 2002
- 2) Hütteman E, Schelenz C, Kara F, Chatziniolou K, Reinhart K: The use and safety of transoesophageal echocardiography in the general ICU. Acta Anaesthesiol Scand 48: 826-37, 2004
- 3) Sakka SG, Meire-Hellmann A, Reinhart K: Assessment of cardiac preload and extravascular lung water by single transpulmonary thermodilution. Intensive Care Med 26(2): 180-187, 2000
- 4) JL Teboul et le groupe d'experts de la SRLF: Recommandations d'experts de la SRLF: "Indicateurs du remplissage vasculaire au cours de l'insuffisance circulatoire". Ann Fr d'Anesth de Réan 24: 568-576, 2004
- 5) Calvin JE, Driedger AA, Sibbald WJ: The hemodynamic effect of rapid fluid infusion in critically ill patients. Surgery 90: 61-76, 1981
- 6) Reuse C, Vincent JL, Pinsky MR: Measurements of right ventricular volumes during fluid challenge. Chest 98: 1450-1454, 1990
- 7) Schneider AJ, Teule GJJ, Greuneveld ABJ: Biventricular performance during volume loading in patients with early septic shock, with emphasis on the right ventricle: a combined hemodynamic and radionuclide study. Am Heart J 116: 103-112, 1988
- 8) Wagner JG, Leatherman JW: Right ventricular end diastolic volume as a predictor of the hemodynamic response to a fluid challenge. Chest 113: 1048-1054, 1998
- 9) Gödçe O, Peyerl M, Seebauer T, Lamm P, Mair H, Reichart B: Central venous pressure, pulmonary capillary wedge pressure and intrathoracic blood volumes as preload indicators in cardiac surgery patients. Eur J Cardio-Thorac Surg 13: 533-540, 1998
- 10) Pinsky MR: Assessment of indices of preload and volume responsiveness. Curr Op Crit Care 11: 235-239, 2005

- 11) Michard F: Changes in arterial pressure during mechanical ventilation. Anesthesiology 103: 419-28, 2005
- 12) Michard F, Teboul JL: Using heart-lung interactions to assess fluid responsiveness during mechanical ventilation. Crit Care 4: 282-289, 2000
- 13) Massumi RA, Mason DT, Vera Z, Zelis R, Otero J, Amsterdam EA: Reversed pulsus paradoxus. N Eng J Med 289: 1272-5, 1973
- 14) Tavernier B, Makhotine O, Lebuffe G, Dupont J, Scherperel P: Systolic pressure variation as a guide to fluid therapy in patients with sepsis induced hypotension. Anesthesiology 89(6): 1313-1321, 1998
- 15) Michard F, Boussat S, Chemla D, Anguel N, Mercat A, Lecarpentier Y, Richard C, Pinsky MR, Teboul JL: Relation between respiratory changes in arterial pulse pressure and fluid responsiveness in septic patients with circulatory failure. Am J Respir Crit Care Med 162: 134-138, 2000
- 16) Robotham JL, Cherry D, Mitzner W, Rabson JL, Lixfeld W, Bromberger Barnea B: A re-evaluation of the hemodynamic consequences of intermittent positive pressure ventilation. Crit Care Med 11:783-793, 1983
- 17) Viellard-Baron A, Chergui K, Rabiller A, Peyrouset O, Page B, Beauchet A, Jardin F: Superior vena caval collapsibility as a gauge of volume status in ventilated septic patients. Intensive Care Med 30: 1734-1739, 2004
- 18) Michard F, Chemla C, Richard D, Wysocki M, Pinsky MR, Lecarpentier Y, Teboul JL: Clinical use of respiratory changes in arterial pulse pressure to monitor the hemodynamic effects of PEEP. Am J Respir Crit Care Med 159: 935-939, 1999
- 19) Marx G, Cope T, McCrossan L, Cowan C, Mostafa SM, Wenstone R, Leuwer M: Assessing fluid responsiveness by stroke volume variation in mechanically ventilated patient severe sepsis. Eur J Anaesth 21: 132-138, 2004
- 20) Reuter DA, Felbinger TW, Schmidt C, Kilger E, Goedje O, Lamm P, Goetz AE: Stroke volume variations for assessment of cardiac responsiveness to volume loading in mechanically ventilated patients after cardiac surgery. Intensive Care Med 28: 392-398, 2002
- 21) Preisman S, Kogan S, Berkenstadt H, Perel A: Predicting fluid responsiveness in patient undergoing cardiac surgery: functional hemodynamic parameters including the Respiratory Systolic Variation Test and static preload indicators. Br J Anaesth 95: 746-755, 2005
- 22) Feissel M, Michard F, Mangin I: Respiratory changes in aortic blood velocity as an indicator of fluid responsiveness in ventilated patients with septic shock. Chest 119: 867-873: 2001
- 23) Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR, Teboul JL: Esophageal Doppler monitoring predicts fluid responsiveness in critically ill ventilated patients. Intensive Care Med 31: 1195-1201, 2005
- 24) Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR, Teboul JL: Passive leg raising predict fluid responsiveness in critically ill. Crit Care Med 34(5): 1402-1407, 2006
- 25) Viellard-Baron A, Augarde R, Prin S, Page B, Beauchet A, Jardin F: Influence of superior vena caval zone condition on cyclic changes in right ventricular output during respiratory support. Anesthesiology 95: 1083-1088, 2001
- 26) Feissel M, Michard F, Faller JP, Teboul JL: The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. Intensive Care Med 30: 1834-1837, 2004