



Kritik Hastada Hemodinamik Monitörizasyon

Seda Banu AKINCI*

* Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, ANKARA

Yoğun bakım hastalarında hemodinamik monitörizasyon; kardiyorespiratuar performans hakkında bilgi edinilmesini, dolaşım sistemi ile ilgili bozuklukların hemen fark edilip tedavinin başlanabilmesini ve tedavinin izlenebilmesini sağlar. Hemodinamik monitörizasyon için yöntemin seçiminde, izlenmesi planlanan parametrenin klinik önemi ve izlenecek hemodinamik profilin iyi belirlenmesi gereklidir. Hastaya getirebileceği masraf ve risk yanında, izleyen hekimlerin sonuçları değerlendirebilme, doğru kullanabilme yetkinlikleri de göz önüne alınmalıdır. Bu derlemede; arter kan basıncı monitörizasyonu, santral venöz basınç

monitörizasyonu, periferik venöz basınç monitörizasyonu ve pulmoner arter kateterizasyonu yöntemlerine değinilecektir.

Hemodynamic Monitorization in Critically Ill

Key Words: Critically ill patient, Hemodynamic monitorization, Blood pressure monitorization, Pulmonary artery catheterization, Cardiac output measurement.

Anahtar Kelimeler: Kritik hasta, Hemodinamik monitörizasyon, Kan basıncı monitörizasyonu, Pulmoner arter kateterizasyonu, Kardiyak debi ölçümü.

Yoğun bakım hastalarında hemodinamik monitörizasyon; kardiyorespiratuar performans hakkında bilgi edinilmesini, dolaşım sistemi ile ilgili bozuklukların hemen fark edilip tedavinin başlanabilmesini ve tedavinin izlenebilmesini sağlar. Hemodinamik monitörizasyon bazı yüksek riskli cerrahi hastalarda başlı başına yoğun bakıma yatırma endikasyonu olabilen önemli bir klinik karardır. Hastaya getirebileceği masraf ve risk yanında, izlenmesi planlanan parametrenin klinik önemi ve izle-

yen hekimlerin sonuçları değerlendirebilme, doğru kullanabilme yetkinlikleri de göz önüne alınmalıdır. Hemodinamik monitörizasyon vital bulgular gibi temel klinik değerlendirmeye başlayıp, saatlik idrar çıkışının izlenmesi gibi rutin izlemlerin yanında elektrokardiyografi, arter kan gazları, hematokrit izlemi gibi laboratuvar tetkiklerini de içeren geniş bir yelpazeyi kapsar. Hemodinamik monitörizasyon için izlenmesi istenen hemodinamik profile göre yöntem seçilir. Hemodinamik monitörizasyon-

Yazışma Adresi: Dr. Seda Banu AKINCI

Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı, 06100, Sıhhiye-ANKARA

Makalenin Geliş Tarihi: 17.04.2002

Makalenin Kabul Tarihi: 10.08.2002

da sık kullanılan kısaltmalar Tablo 1’de verilmiştir. Kardiyopulmoner parametrelerin birimleri ve normal değerleri ise Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 1. Kısaltmalar.

| |
|--|
| CVP: Santral venöz basınç |
| PAK: Pulmoner arter kateterizasyonu |
| PASP: Pulmoner arter sistolik basınç |
| PADP: Pulmoner arter diyastolik basınç |
| PWP/PCWP: Pulmoner kama basıncı |
| PVP: Periferik venöz basınç |
| LAP: Sol atrial basınç |
| LVEDP: Sol ventrikül diyastol sonu basıncı |
| RBBB: Sağ dal bloğu |
| KOAH: Kronik obstrüktif akciğer hastalığı |
| RA: Sağ atrium |
| RVSP: Sağ ventrikül sistolik basınç |
| RVEDP: Sağ ventrikül diyastol sonu basıncı |
| LA: Sol atrium |
| VSD: Ventriküler septal defekt |
| LV: Sol ventrikül |
| LVSP: Sol ventrikül sistolik basınç |
| LVEDV: Sol ventrikül diyastol sonu hacmi |
| PA: Pulmoner arter |
| P _v : Pulmoner venöz basınç |
| PEEP: Pozitif ekspirasyon sonu basıncı |
| CPAP: Devamlı pozitif hava yolu basıncı |
| PaO ₂ : Arteriyel parsiyel oksijen basıncı |
| PwO ₂ : Kama örneğinin venöz parsiyel oksijen basıncı |
| SVK: Süperior vena kava |
| CO: Kardiyak debi |
| CI: Kardiyak indeks |
| SV: Atım hacmi |
| SVR: Sistemik vasküler rezistans |
| PVR: Pulmoner vasküler rezistans |
| SvO ₂ : Mikst venöz oksijen satürasyonu |
| CaO ₂ : Arteriyel oksijen içeriği |
| CvO ₂ : Venöz oksijen içeriği |
| DO ₂ : Oksijen sunumu |
| VO ₂ : Oksijen kullanımı |
| O ₂ ER: Oksijen tutma oranı |

Kan basıncı, idrar çıkışı, juguler venöz dolgunluk, cilt perfüzyonu ve deri turgoru gibi kardiyak fonksiyonların klasik bulguları yoğun bakım hastalarında güvenilir değildir^[1-3]. Nitekim Connor ve arkadaşları, dahiliye yoğun bakım ünitesinde miyokard infarktüsü dışındaki tanılarla yatmakta olan hastalarda CI’nın düşük, normal veya yüksek mi olduğunu doğru tahmin edebilme oranını %44 olarak bildirmişlerdir^[1]. Fein ve arkadaşları, kardiyogenik şoktaki hastalarda klinik muayene ile çoğunlukla hemodinamik profilin doğru tahmin edilemeyeceğini (SVR’nin %44, CO’nun ise %51 oranında doğru tahmin edilebildiğini) göstermişlerdir^[2]. Benzer şekilde kardiyak cerrahi sonrası hastalarda da CI normal değilse %65 olasılıkla yanlış tahmin edilirken, SVR normal değilse %73 oranında yanlış tahmin edilebilmiştir^[3].

İdeal olarak, hemodinamik parametreleri sağlayan teknolojinin noninvaziv, doğru, güvenilir, kesin sonuç veren ve devamlı olması gerekir. Bugün için hiçbir monitörizasyon tekniği tek başına bütün bu koşulları sağlayamamaktadır.

Hastaların hemodinamik monitörizasyonu organ perfüzyonlarının sağlanması için yol göstericidir. Sıvı ve vazoaaktif ilaçlar konusunda rasyonel kararlar verebilmek için yoğun bakımçıların hastanın önyükünü doğru olarak bilebilmeleri gereklidir. Sıvı resüsitasyonunun durumu veya CO’nun sıvı denemesine cevabı önyükün bilinmesi ile mümkün olabilmektedir^[4]. “Frank Starling” yasasına göre, kardiyak kasılmanın gücü diyastol sonundaki kas içiğinin uzunluğuyla doğru orantılıdır. Sistol öncesi gerilme veya önyük ise diyastol sonu hacimle oranlıdır. Bu nedenle, Şekil 1’deki grafikte görüldüğü gibi, LVEDV CO’nun en önemli belirleyicisidir^[4]. Burada organ perfüzyonunun sağlanmasında önemli olan arter kan basıncı monitörizasyonu ve önyükü belirlemede önemli olan CVP monitörizasyonu, PVP monitörizasyonu ve pulmoner arter kateterizasyonu yöntemlerine değinilecektir.

Kan Basıncı Monitörizasyonu

Kan basıncı, akan kanın damarlarda uyguladığı lateral kuvveti yansıtır. Ventrikül sistolden sonra SKB en fazladır, diyastolden sonra en düşük kan basıncı olan DKB gelir. Arteriyel kan basıncı CO ve SVR tarafından belirlenir. Arteriyel kan basıncı indirekt olarak; isteni-

Tablo 2. Kardiyopulmoner parametreler.

| Parametre | Birimi | Normal |
|--|---------------------------|---------------|
| SVK | mmHg | 1-6 |
| CVP | mmHg | 0 (1)-(6) 8 |
| RA | mmHg | 0-8 |
| RVSP | mmHg | 15-(28) 30 |
| RVEDP | mmHg | 0-8 |
| PASP | mmHg | 15-(28) 30 |
| PADP | mmHg | 4 (6)-(12) 16 |
| PWP | mmHg | 6-(12) 15 |
| LA | mmHg | 4-12 |
| LVSP | mmHg | 90-140 |
| LVEDP | mmHg | 4-12 |
| CI | L/dakika/m ² | 2.8-4.2 |
| SV | mL/dakika | 60-90 |
| SVR | Dynes.s.cm ⁻⁵ | 900-1400 |
| PVR | Dynes.s.cm ⁻⁵ | 150-250 |
| SvO ₂ | % | 70-75 |
| CaO ₂ = SaO ₂ x 1.36 x Hb x (0.0031 x PaO ₂) | mL/dL | 19 ± 1 |
| CvO ₂ = SvO ₂ x 1.36 x Hb x (0.0031 x PvO ₂) | mL/dL | 14 ± 1 |
| DO ₂ = CI x CaO ₂ | mL/dakika. m ² | 520-570 |
| VO ₂ = CI (CaO ₂ -CvO ₂) | mL/dakika. m ² | 110-160 |
| O ₂ ER= DO ₂ /VO ₂ | % | 20-30 |

**Şekil 1. "Frank Starling" Yasası'nın grafiği. Sol ventrikül diyastol sonu hacmi (LVEDV) indeksi ile kardiyak indeksin arasındaki ilişki.**

len arterin proksimaline bir kaf yerleştirilip şişirilmesi ve indirilirken arteryel basıncın dönmesiyle ölçülebilir veya direkt olarak vasküler sistemin kateterizasyonu ile ölçülebilir. İndirekt olarak kan basıncı nabızın palpe edilmesi (palpasyon), dinlenmesi (oskültatuar yöntem, "Korotkoff" sesleri) veya osilasyonların izlenmesi (osilometrik yöntem) ile ölçülebilir.

Otuzsekiz kritik hastada 1494 ölçümle yapılan bir çalışmada, osilometrik yöntemle direkt arteryel kan basıncı ölçümleri karşılaştırılmıştır. Osilometrik yöntemle ölçülen ortalama arter basınçları invaziv direkt ölçülen basınçlara göre (-)60-(+)25 kadar farklılık gösterebilmiştir. Hastaların %60'ından fazlasında 10 mmHg'dan fazla fark gözlenmiştir. Çoğunlukla direkt ölçüme göre düşük ölçüm veren indirekt kan basıncı ölçümünün yoğun bakım hastalarında yeterli güvenilirliği olmadığı kanısına varılmıştır^[5].

Direkt olarak arter kateteri ile invaziv kan basıncı izlemi en güvenilir yöntemdir. İnvaziv kan basıncını izleyebilmek için radial arter, dorsalis pedis arteri, femoral arter, brakial arter gibi bir artere perkütan, "seldinger" yöntemi veya "cut-down" ile bir kateter yerleştirilmesi gereklidir^[6,7]. Bu kateterler basınç transducerlerine bağlanarak monitörizasyon yapılır. Bu yöntem kan basıncının her atımda izlenmesine olanak verir. Arter kateterizasyonu aynı zamanda arter kan gazları ve diğer tetkikler için kan alınmasında da kullanılır^[6].

Dörtbindokuzyüzotuziki hastada yapılan bir çalışmada, dahiliye yoğun bakım hastalarının %48'ine, cerrahi yoğun bakım hastalarının %33'üne arter kateteri takılmıştır. Dahiliye hastalarının %52'sinde, cerrahi hastalarının %78'inde radial arter kullanılırken, femoral arter bu iki yoğun bakımda sırasıyla %45, %11.5 oranında, brakial arter ise %0.5, %3 oranında kullanılmıştır. En sık komplikasyonlar vasküler yetmezlik (%3.4-4.6), kanama (%1.8-2.6), infeksiyon (%0.4-0.7), arteryel spazm ve nabız kaybı olarak bildirilmiştir^[6]. İnvaziv arter kateterizasyonunun bunlar dışında, ağrı, arter ve çevre dokuda hasar, hematoma, tromboz, distal veya proksimal emboli, arteriyovenöz fistül veya psödoanevrizma gelişimi gibi komplikasyonları %0.3-22 arasında görülebilir^[8].

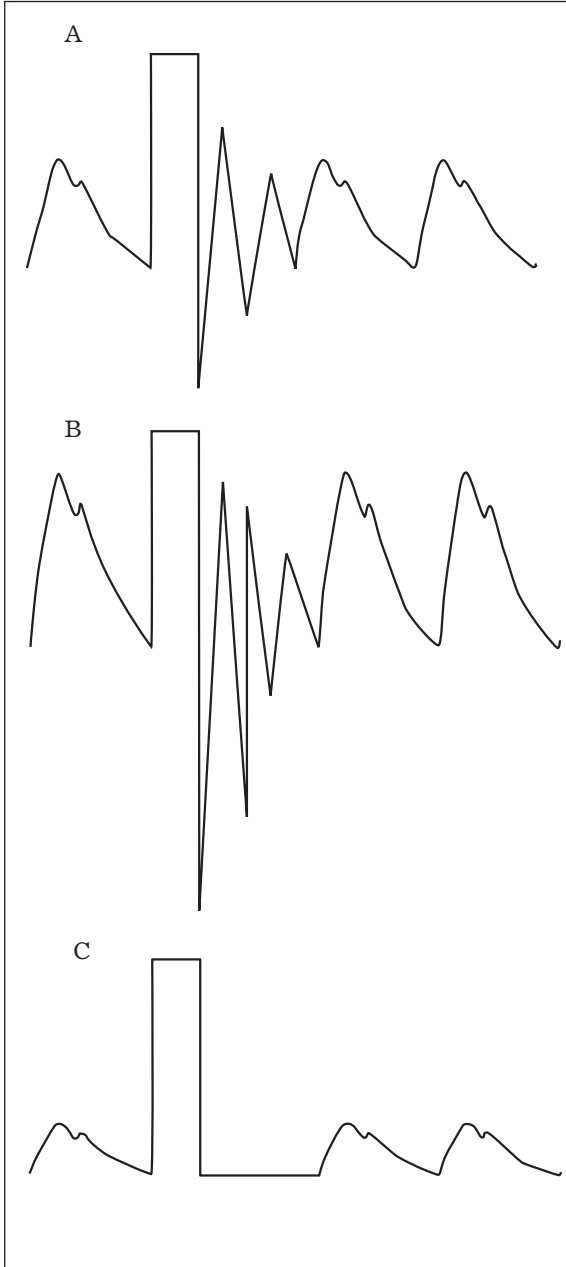
Basınç transducerlerinin kullanımında dikkat edilmesi gereken teknik problemler arasında referans hizası, sıfır ayarı ve sistemin dina-

mik cevabı, flaş solüsyonlarına heparin eklenmesi, özellikle üstünde durulması gereken noktalar vardır.

Referans hizası: Doğru referans hizası triküspit kapakçıktır. Bu horizontal hat dördüncü interkostal aralık ve orta aksiller çizgiye denk gelir. Sıfır ayarı bu nokta üzerinden yapılmalıdır^[8].

Dinamik cevap: Dinamik cevap, sıvıyla dolu bir sistemin, kardiyovasküler sistemde meydana gelen basınç değişikliklerini doğru bir şekilde yeniden oluşturabilme yeteneğidir. İyi olmayan bir dinamik cevap, örneğin bir sistemin yeteri kadar sönümlü olmaması halinde, sistolik basınç hatalı olarak yüksek değerlendirilir ve artefaktların amplitüdü artar. Herhangi bir basınç sisteminin dinamik cevabı da basınç ölçümlerinin doğruluğunu etkiler. Sistemin dinamik cevabı iki faktörden etkilenir: Doğal frekansı, sönümlülük. Doğal frekans, flaş yapıldıktan sonra sistemin osilasyonu ile belirlenir. Dalga analizi yapılırken bu osilasyon traseyi etkileyebilir. Sönümlülük ise sistemde olan osilasyonların ne kadar sürede normal hatta döndüğüdür. Her devir alındığında, erken diyastolde flaş yapılmalı ve basınç sistemi kontrol edilmelidir (flaş testi, Şekil 2). Eğer flaş sonrası osilasyon yoksa, trasenin hatları yuvarlanmış ise sistem çok sönümlüdür (overdamped). Basınç sisteminin herhangi bir yerindeki büyük hava kabarcığı, tüpte darlık, uzatmaların basınç sistemine uymayan yumuşak uzatma olması, uzun veya kırılmış, düğüm olmuş uzatma kullanılması, konnektörlerde diyafragmaların olması, üç yollu muslukların varlığı, kateterin ucunda pıhtı olması, kateterin ucunun damar cidarına dayanması çok sönümlülüğe sebep olabilmektedir. Çok sönümlü sistemlerde sistolik basınç düşük, diyastolik basınç yüksek okunur. Öbür taraftan, orta çizgiyi aşağıya veya yukarıya çok ıskalayan, hatları sivri, flaş sonrası çok osilasyon veren az sönümlü (underdamped) bir sistemde ise küçük hava kabarcıkları (0.05-0.25 mL) düşünlümlüdür^[9].

Basınç transducer sistemlerinin flaş solüsyonlarına heparin eklenmesi (2 U/mL heparin serum fizyolojik içinde) önerilmektedir. Takıldıktan 96 saat sonra serum fizyolojik ile flaşlanan radial arterlerin %74'ü açık patent kalırken, heparin ile flaşlanan arterlerin %92'si patent kalabilmektedir. Heparin ile flaşlama, sö-



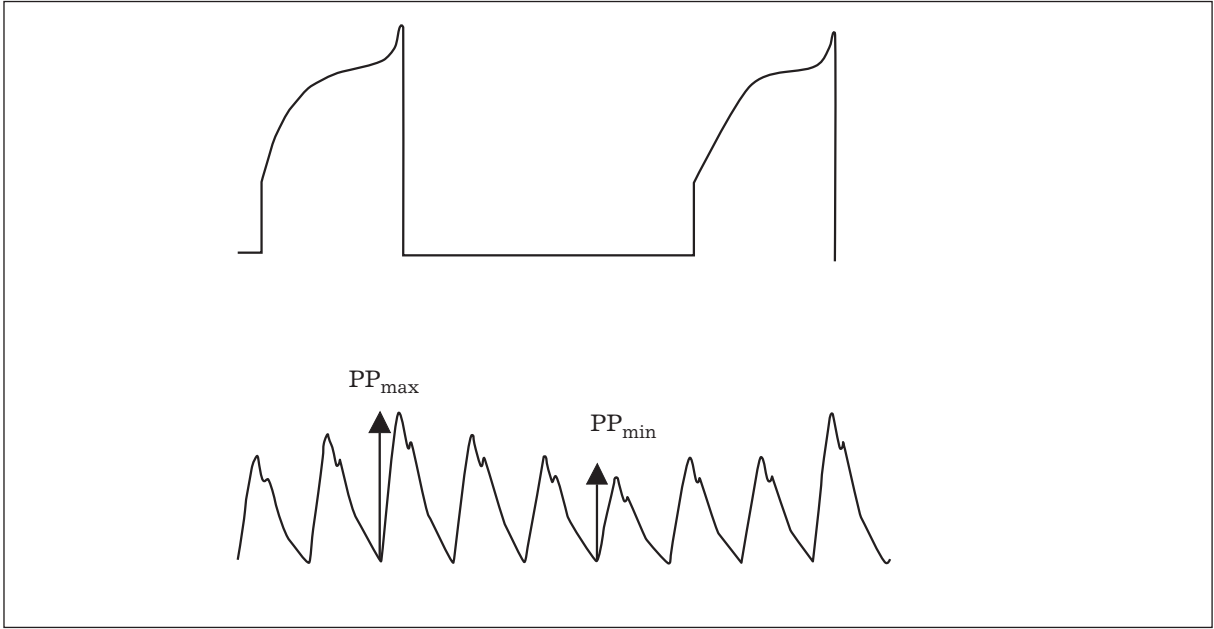
Şekil 2. Flaş testi: A. Flaşı takiben optimum, normal bir dinamik cevap görülmektedir. B. Flaş sonrası üç defa osilasyon görülmektedir. Bu osilasyonların orta çizgiyi aşağıya veya yukarıya çok ıskaladığı, hatları sivri, az sönümlü (underdamped) bir sistem şematize edilmiştir. C. Hatları yuvarlanmış, sistolik basınçların daha düşük gözüktüğü, flaş testinden sonra osilasyon göstermeyen çok sönümlü (overdamped) bir sistem görülmektedir.

nümlülüğün artması veya arterin ölmesi (dampening) ihtimalini azaltmakta ve kan basıncı ölçümlerinin güvenilirliğini de arttırmaktadır^[10].

Direkt arteriyel kan basıncının izlenmesi aynı zamanda kalp akciğer ilişkisini ve hastaların sıvı resüsitasyonuna cevabını gösterebilir^[11,12]. Bir solunum siklusu boyunca, invaziv arter trasesinden, nabız basıncının maksimum (PP_{max}) ve minimum değerleri (PP_{min}) ölçülür (Şekil 3). Nabız basıncındaki (ΔP_p) solunumsal değişiklikler, PP_{max} ve PP_{min} farkının, bu iki değerlerin ortalamasına bölünmesiyle hesaplanır ve yüzde oranı şeklinde ifade edilir. Sepsiste akut solunum yetmezliği olan hastalarda, ΔP_p 'nin %13'ten fazla olması %94 sensitivite ve %96 spesifisite ile sıvı yüklenmesine CI'nın %15'ten fazla oranda cevap vereceğini gösterir ($r^2=0.85$)^[11]. Benzer şekilde, (ΔP_p) PEEP'e bağlı CO düşmesiyle yüksek korelasyon gösterir ($r^2=0.91$)^[12].

Santral Venöz Basınc (CVP) Ölçümü

1969 yılında perkütan juguler venöz kanülasyonundan beri CVP monitörizasyonu yapılmaktadır^[13]. CVP bir hacim değil, basınç ölçümüdür. Fakat basınç ölçümlerinin kan volümünün vasküler kompliyansa oranını yansıttığı kabul edilerek, yoğun bakım hastalarında veya cerrahiye giden hastalarda göreceli kan volümünü değerlendirebilmek için CVP kullanılmaktadır. CVP'nin bu nedenle bir gerçek değer ölçümü değil, bir "trend" (seyir) ölçümü olduğu düşünülmektedir^[14,15]. CVP monitörizasyonu için, eksternal veya internal juguler vane, subklavian vane veya seyrek olarak femoral veya antekübital vane kateter yerleştirilmesi gerekir. Santral ven kateterizasyonu endikasyonları Tablo 3'te, kontrendikasyonları Tablo 4'te görülmektedir. Zaman ve maliyet dışında, nadir görülen fakat ciddi sonuçlar doğurabilecek komplikasyonları olabilir (Tablo 5). Deneyimsiz kişiler tarafından takıldığında %11 olan komplikasyon oranı, deneyimli ellerde %5.4'e kadar düşebilmektedir. En sık komplikasyonlar artere girme (%2.8-9.9), pnömotoraks (%0.8-1.7), hematoma (%1.1-4.4), hemotoraks (%0.8), aritmi (%0.8) olarak bildirilmektedir^[16]. SVK perforasyonu %67 mortalite taşırken, sağ ventrikül laserasyonu %100 mortalite taşır. Brakial pleksus, "stellat" ganglionu veya frenik sinir hasarı da görülebilir. Geç komplikasyonlar arasında kateter migrasyonu, embolizasyon ve infeksiyon sayılabilir^[16].



Şekil 3. Üstte hava yolu basınç değişiklikleri altta ise eş zamanlı invaziv arter trasesindeki nabız basıncının maksimum (PP_{max}) ve minimum (PP_{min}) değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Santral ven kateterizasyonu endikasyonları.

1. Santral venöz basınç monitörizasyonu
2. İlaçlar, hipertonic, hipotonik ya da damara iritan diğer solüsyonların uzun süreli infüzyonu
3. Uzun dönem (> 10 gün) intravenöz yol ihtiyacı
4. Venöz hemodiyaliz
5. Periferik yüzeyel ven bulunamaması
6. Pulmoner arter kateteri takabilmek için "introducer sheath" yerleştirilmesi
7. Transvenöz kardiyak "pacemaker" takılması

Periferik Venöz Basınç (PVP) Ölçümü

PVP, kan sütununun devamlılığı sayesinde CVP'ye bağlanan, CVP'ye alternatif bir fizyolojik hacim monitörizasyonudur. Holtz'un 1943 yılında antekübital vendeki basınçların spontan soluyan hastalarda intratorasik basınçla paralel değişiklikler gösterdiğini kanıtlandığından beri PVP, hastalardaki kan hacmini göstermesi ve "trend"lerin izlenmesi açısından ilgi çekmiştir^[17]. Bir 14G veya 16G intravenöz (IV) kateterin el üstüne veya distal önkola takılması, kolun orta toraks hizasında tutulması ve basıncının izlenmesiyle ölçülür. Basıncın devamlılığı kolun proksimalden turnikelenmesi sırasında PVP basınç artışının görülmesiyle

kanıtlanır. CVP'ye göre çok az solunumsal değişiklik gösterir ve CVP'den yüksektir (ortalama 3 mmHg, 0.7-5.8). CVP "trend"leri çok değiştiğinde, PVP onu takip eder. Onbeş olguda beyin cerrahisi operasyonu sırasında 1026 ölçümle CVP ile karşılaştırılmış ve yüksek korelasyon gösterdiği bulunmuştur ($r^2=0.82$). Ciddi kan kaybında (tahmini kan kaybı > 1000 mL, $r^2=0.885$) ve hemodinamik bozukluklar sırasında (CVP standart sapması > 2 iken, $r^2=0.923$) CVP ve PVP arasındaki bu korelasyonun daha da arttığı görülmüştür. Bu basit ve ucuz yöntemin klinikte hacim monitörü olarak hangi durumlarda CVP'nin yerine geçebileceğinin daha çok incelenmesi ve çalışılması gereklidir^[15].

PULMONER ARTER KATETERİ

Bir kateter aracılığı ile pulmoner arter ve kama basıncının ölçülerek hemodinamik değişikliklerin yakından izlenmesine olanak sağlayan bir kateterizasyon yöntemidir.

110 cm uzunluğunda, dış çapı 2.3 mm (7 French) olan kateterde iki kanal vardır. Kanallardan biri (distal) kateterin ucunda sonlanırken, proksimal olan kateter distal ucundan 30 cm kısadır. Kateterin ucundaki 1.5 mL'lik balon şişirilerek, kateter ilerletilirken kateter ucunun vasküler yapılar zarar vermesi önlenir. Uçtan 3-5 cm'de bulunan termosistör CO

Tablo 4. Santral ven kateterizasyonu kontrendikasyonları.

1. Ciddi kanama diyatezi veya koagülopati
2. Takılacak venin (süperior, inferior vena kava, subklavian, internal juguler ven) obstrüksiyonu (tromboze olması)
3. Takılacak venin (süperior, inferior vena kava, subklavian, internal juguler ven) travması
4. Solunum sıkıntısı, takipne
5. Hastanın izin vermemesi
6. Kardiyopulmoner resüsitasyon
7. O bölgede infeksiyon, yanık varlığı
8. Venin yoğun, koyu sekresyonları olan trakeostomiye yakın olması
9. Venin arteryel bir anevrizmaya yakın komşulukta olması
10. Acil olmayan koşullarda olunmasına rağmen sterilitenin sağlanamayacak olması
11. Deneyimli bir uzman gözetiminde olmaksızın deneyimsiz bir kişinin santral ven kateterizasyonu yapmak istemesi

Tablo 5. Santral ven kateterizasyonu komplikasyonları.

1. Artere girilmesi, arteryel zedelenme
2. Akciğer apeksine girilmesi, plevranın delinmesi, pnömotoraks
3. Torasik lenfatik hasar
4. Kanülasyon sırasında venöz hava embolisi
5. Trakeaya girilmesi, trakeal hasar
6. Hemoptizi
7. Ciltteki giriş yerinden kanama, sıvı sızıntısı
8. Kateterin yanlış yerleşmesi
9. Kateter infeksiyonu
10. Nörolojik hasar
11. Epilepsi (epilepsi nöbet hikayesi olanlarda)
12. Astım nöbeti (astım hikayesi olanlarda)
13. Kateterizasyonu yapan kişiye olan komplikasyonlar (kan, iğne batması ile bulaş)

ölçülmesini sağlar. Özel olarak dizayn edilmiş pulmoner arter kateterlerde (PAK) başka aksesuarlar da vardır. Kateter ucundan 14 cm uzaklıkta sonlanan bir ekstra kanal, sağ ventriküle geçici "pacemaker" konması veya infüzyon için kullanılabilir. Fiberoptik bir sistem devamlı SvO₂'nin izlenmesini sağlar. Çabuk cevaplı bir termosistör sağ ventrikülün ejeksiyon fraksiyonunun (EF) ölçülmesinde yardımcı olabileceği gibi, düşük enerjili ısı atımlı bir termal filaman, CO'nun devamlı termodilüsyonla ölçülmesini sağlar. İşte bu yüzden PAK yoğun bakımın İsviçre çakısı olarak değerlendirilebilir.

PAK'ın klasik endikasyonları Tablo 6'da listelenmiştir. Uzun süredir PAK'ın doğru endi-

kasyonda kullanılıp kullanılmadığı ve kullanıldığı endikasyonlarda hasta sonuçlarını (outcome) değiştirip değiştirmediği konularında tartışmalar vardır^[18-20]. Pulmoner kapiller kama basıncı (PCWP), CO, mikst venöz oksijen saturasyonu (SvO₂) gibi önemli hemodinamik değişikliklerin ölçülebilmesi, kritik hastaların hemodinamik durumunun belirlenmesinde, sıvı ve ilaç tedavisinin yönlendirilmesinde önemlidir (Tablo 2). 1996 yılında yayınlanan Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde beş eğitim hastanesinde 1989-1994 yılları arasında 5735 hastadaki prospektif kohort çalışmada PAK'ın otuz gün içindeki mortaliteyi arttırdığı, yoğun bakımda kalış süresini uzattığı ve yoğun bakım

Tablo 6. PAK endikasyonları.

| | |
|----------|---|
| Kardiyak | Komplike miyokard infarktüsü "Unstabil" anjina- IV nitrogliserin ihtiyacı Konjestif kalp yetmezliğinde cevapsızlık Pulmoner hipertansiyon (tanı ve tedavisi) |
| Pulmoner | ARDS-kardiyojenik pulmoner ödem Solunum desteğinin kardiyovasküler sisteme etkisi Akut akciğer hasarı Pnömonektomi |
| Cerrahi | Preoperatif kardiyovasküler değerlendirme Peroperatif yüksek riskli hastaların majör cerrahisi sırasında Kardiyak veya majör vasküler cerrahi Postoperatif kardiyovasküler komplikasyonlar Multisistem travması Ağır derecede yanıklar |
| Genel | Yeterli sıvı tedavisine cevapsız şok Yeterli sıvı tedavisine cevapsız oligüri İntravasküler volümün kardiyak fonksiyona etkisi MOF'de kardiyovasküler sistemin etkisi |
| Diğer | Preeklampsi Sepsis Araştırma Preoperatif optimizasyon |

ARDS: Akut solunum sıkıntısı sendromu.

MOF: Çoklu organ yetmezliği.

masraflarını çok arttırdığı bildirilmiştir^[18]. Bu yazıya eşlik eden editör yazısında PAK kullanımının yararlılığı sorgulanmış ve PAK endikasyonları hakkında yoğun tartışmalar başlamıştır^[19]. Bilinen komplikasyonlar yanında, daha kötü hastalarda PAK takma gereksinimi olduğu için, bu hastaların takılmayanlara göre morbidite ve mortalitesinin daha yüksek olmasının beklenmesi nedeniyle PAK ile randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Tablo 7)^[21].

Kullanan doktorların PAK hakkında bilgilerin yetersiz olduğu durumlarda elde edilen ve-

riyi yanlış yorumlayabilmeleri nedeni ile, PAK doğru endikasyonda kullanılsa bile yararlı olmak yerine morbidite ve mortaliteyi arttırabilmektedir. Dörtüzdoksanaltı doktorda yapılan bir çalışmada, 31 soruluk bir test sınavını doğru yapma oranı ortalaması %20.7 (%19-100) olarak bildirilmiştir. Hasta takibinde PAK kullanma sıklığı, PAK yerleştirme sıklığı, eğitim hastanesi olup olmaması başarıyı etkilemektedir. PCWP traselerinin değerlendirilmesi, yorumlanması, doktorlar arasında farklılık göstermektedir. Doktorların %47'si geçerli bir traseyi tanıyamamakta ve PCWP değerini ölçmemektedir^[22]. Uygulayanların %33'ü PCWP ölçümlerinde 4 mmHg'ya varan teknik hatalar yapmaktadır^[23].

1997 yılında PAK üzerine bir konferans düzenlenmiş, konunun uzman ve danışmanları kanıtı dayalı tıp açısından PAK endikasyonları ile ilgili tüm yayınları inceleyip sınıflandırmışlardır^[20]. Birinci derece kanıt olarak kesin sonuçları olan, düşük olasılıkla yanlış-pozitif (α hatası) veya yanlış-negatif (β hatası) olan büyük randomize çalışmalar kabul edilmiştir. İki tane veya daha fazla birinci derece kanıt varsa, A sınıfı tavsiye verilmiştir. Bir tane birinci derece kanıt varsa, B sınıfı tavsiye verilmiştir. Belirsiz sonuçları olan, orta-yüksek olasılıkla yanlış-pozitif veya yanlış-negatif olan küçük randomize çalışmalar ise ikinci derece kanıt olarak sınıflandırılmışlardır. İkinci derece kanıtlara dayanılarak C sınıfı tavsiye bildirilmiştir. Randomize olmayan kontrollü çalışmalar üçüncü derece ve bu çalışmalara dayanılarak verilen tavsiyeler D sınıfı tavsiye, randomize olmayan geçmişten kontrol grubu veya uzman düşüncesi ile kontrol grubu olan çalışmalar dördüncü derece, olgu takdimleri, kontrolsüz çalışmalar beşinci derecede kanıt olarak kabul edilmişlerdir. Dördüncü veya beşinci derece çalışmalara dayanılarak verilen tavsiyeler ise E sınıfı tavsiyelerdir. Bu konferans sonucunda Tablo 8'de görülen tavsiyeler yayınlanmıştır. Bu tavsiyeler sonuçta, PAK kullanımının hasta sağkalım sonuçlarını değiştirip değiştirmediği konusunda daha çok çalışmalara gerek olduğu şeklinde özetlenmiştir^[20].

Kontrendikasyonları

Kesin kontrendikasyonları olmamakla birlikte, tüm santral venöz girişimlerin kontrendikasyonları PAK için de geçerlidir. Koagülopati,

Tablo 7. Pulmoner arter kateteri komplikasyonları.

| Komplikasyon | İnsidans (%) |
|--|--------------|
| Santral venöz girişim | |
| Artere girilmesi | 1.1-13 |
| Kanama (çocuklarda) | 5.3 |
| Postoperatif nöropati | 0.3-1.1 |
| Pnömotoraks | 0.3-4.5 |
| Hava embolisi | 0.5 |
| Kateterizasyon sırasında | |
| Minör aritmiler* | 4.7-68.9 |
| Ventriküler taşikardi ve fibrilasyon* | 0.3-62.7 |
| Sağ dal bloğu* | 0.1-4.3 |
| Komplet blok (önceden sol dal bloklü)* | 0-8.5 |
| Kateterin kalması | |
| Pulmoner arter rüptürü* | 0.1-1.5 |
| Pozitif kateter ucu kültürleri | 1.4-34.8 |
| Katetere bağlı sepsis | 0.7-11.4 |
| Trombofilebit | 6.5 |
| Venöz tromboz | 0.5-66.7 |
| Pulmoner infarktüs* | 0.1-5.6 |
| Duvarda tromboz* | 28-61 |
| Kapak/endokard vejetasyonları veya endokardit* | 2.2-100 |
| PAK'a bağlı ölüm* | 0.02-1.5 |

* PAK'ta santral venöz kateterizasyona göre daha fazla olan komplikasyonlar.

trombositopeni, antikoagülan ve trombolitik tedavi, damar trombozu, lokal infeksiyon, inflamasyon, damarda bozulma (travma, cerrahi), sol dal bloğu, WPW ve "Epstein" anomalisi dikkat edilmesi gereken kontrendikasyonlar arasında sayılabilir.

Kateterin Yerleştirilmesi (Şekil 4)

Yerleştirmeden önce tüm kateterler kırık kıvrılma, balonun sağlamlığı kontrol edildikten sonra tüm lümenler heparinli mayi ile flaşlanıp doldurulmalı, üç yollu musluk ile basınç seti hazırlanmalıdır. Genelde sağ internal juguler ven tercih ediliyorken; sol subklavian ven boyunun uygun olmadığı durumlarda en iyi alternatiftir. CVP monitörizasyonu gibi "guide" girildikten sonra genişletilip dilatör girilir. PAK steril kılıftan geçirilip, balon inik ilerletilir, damara ilk girildiğinde yaklaşık 20 cm distal portun basınç trasesinde osilasyonlar görülür. Bundan sonra balon 1.5 mL hava ile şişiri-

lip elektrokardiyografi ve basınç izlenmelidir. %50 oranında aritmi görülür. Santral venöz kateterizasyondan sonra sağ atriuma girilir (1-6 mmHg/0-8 mmHg). Diyastolde internal juguler ven girişinde 35-45 cm sonra triküspit kapak geçilir, pulsatil sistolik basınçlı ventrikül atımları tanınır. Antekübital fossadan 45-55 cm sonra, femoral venden 40-45 cm, subklavian venden 30-40 cm sonra sağ ventrikülde olunur. Sağ ventrikül normal sistolik basıncı 15-30 mmHg, RVEDP= 0-8 mmHg'dir. Aritmi gözlenirse pulmoner arter kateteri süperior vena kava (SVC)'ya geri çekilir. Komplet blok olursa geçici transvenöz kalp piline ihtiyaç duyulabilir. Ventriküler taşikardide lidokain verilebilir. Pulmoner artere girildiğinde ise sistolik basınç aynen kalırken, diyastolik basınç aniden yükselir. PADP= 4-12'dir. kateter ilerletildiğinde kama basıncı sistolik komponentin kaybolmasıyla gözükür. 50-60 cm ilerletildiğinde normalde PCWP 6-12 mmHg/2-15 mmHg olarak

Tablo 8. 1997 yılı PAK konferansı tavsiyeleri.

| Endikasyon | PAK | Tavsiye sınıfı | Randomize çalışma |
|--------------------------------------|----------|----------------|-------------------|
| Miyokard infarktüsü | | | |
| Hipotansiyon veya kardiyojenik şok | Evet | E | Evet |
| Mekanik komplikasyonlar | Evet | E | Evet |
| Sağ ventrikül infarktı | Evet | E | Evet |
| Konjestif kalp yetmezliği | Belirsiz | D | Evet |
| Pulmoner hipertansiyon | Belirsiz | E | Evet |
| Şok/hemodinamik bozukluk | Belirsiz | E | Evet |
| Kardiyak cerrahi | | | |
| Düşük risk | Hayır | C | Evet |
| Yüksek risk | Belirsiz | C | Evet |
| Periferik vasküler cerrahi | | | |
| Komplikasyonları azaltmak | Evet | D | Evet |
| Mortaliteyi azaltmak | Belirsiz | D | Evet |
| Aort cerrahisi | | | |
| Düşük risk | Belirsiz | B | Evet |
| Yüksek risk | Evet | E | Evet |
| Geriatrik cerrahi hastalar | Hayır | E | Evet |
| Beyin cerrahisi | Belirsiz | E | Evet |
| Preeklampsi* | Hayır* | E | Evet |
| Travma** | Evet** | E | Evet |
| Sepsis/septik şok | Belirsiz | D | Evet |
| Supranormal oksijen sunumu | | | |
| Sistemik inflamatuvar yanıt sendromu | Belirsiz | B | Evet |
| Yüksek risk cerrahi | Belirsiz | C | Evet |
| Solunum yetmezliği | Belirsiz | E | Evet |
| Pediyatrik*** | Evet | E | Evet |

* Preeklampside sıvı resüsitasyonuna cevapsız oligüri varsa, pulmoner ödem veya dirençli hipertansiyon varsa, PAK yararlı olabilir. Rutin kullanımı önerilmez.

** PAK travmalı hastalarda, kardiyovasküler performansı belirlemek için, noninvaziv monitörizasyon yetersizse resüsitasyona cevabı görmek için, multisistem travmada, kapalı kafa travması veya akut spinal kord hasarlarında sekonder hasarı önlemek için, akut solunum sıkıntısı sendromu, oligüri, anüri, miyokard hasarı, konjestif kalp yetmezliği, termal hasar varsa tanı ve tedavide önemlidir.

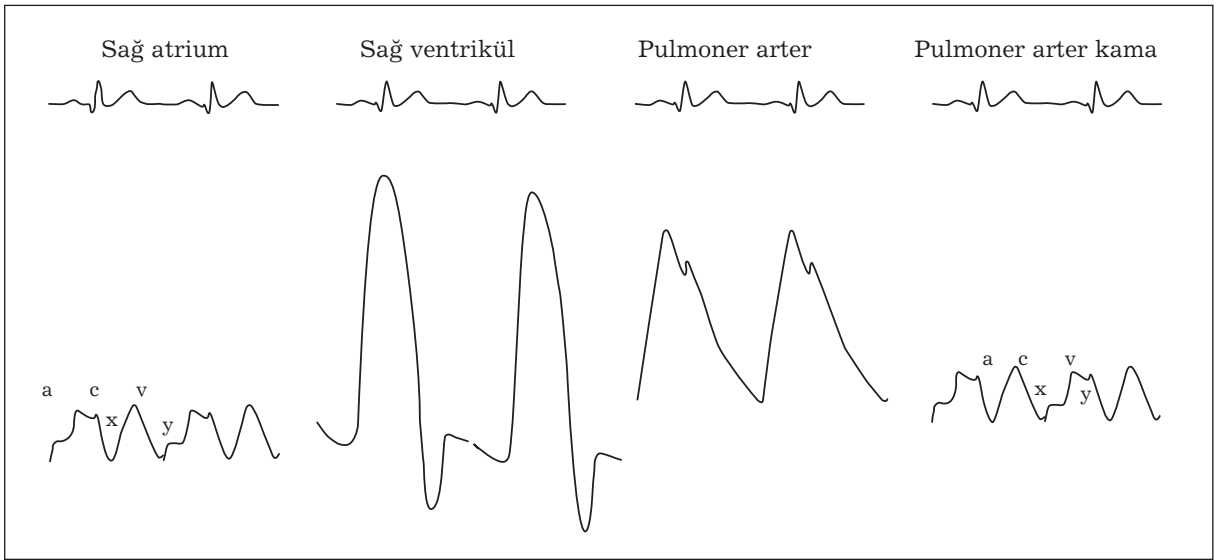
*** Seçilmiş pediyatrik olgularda kullanılmalıdır. Pulmoner hipertansiyonu olan, sıvı ve vazopresör cevapsız şokta olan, ciddi solunum yetmezliği olan ve çoklu organ yetmezliği olan çocuklarda deneyimli yoğun bakımçı hekimler gözetiminde PAK takılmalıdır.

ölçülür. Balon indirildiğinde PA trasesi tekrar görülmelidir. Akciğer sağ orta veya alt lobunda olunması beklenir. Sadece ölçümler sırasında balon tekrar şişirilmelidir. Akciğer grafisi ile yeri ve pnömotoraks olup olmadığı gösterilebilir. Pulmoner kapiller kama basıncının doğruluğunu gösteren parametreler Tablo 9'da özetlenmiştir. Sağ atrial ve ventriküler dilatasyonda, düşük CO, pulmoner hipertansiyon ve tri-

küspit yetmezliğinde PAK yerleştirilirken zorluk olabilir. Derin spontan inspirasyonda, oturur pozisyonda veya 1.5 mL steril serum fizyolojik ile sol alt pozisyonda ventriküle giriş kolaylaştırılabilir. PA'ya girişin zor olduğu durumlarda distal uçtan Ca sülfat verilerek ventrikül kontraksiyonu sağlanır. Soğuk suyla kateterin sertleştirilmesi, floroskopi altında "guide" kullanılması bazen yardımcı olabilir.

Tablo 9. Kama basıncı doğru mu?

- PA trasesi balonu şişirince a, v dalgaları olan kama trasesine dönmeli, balon indirilince PA trasesi yerine gelmeli; görülen trasenin sadece solunumun yansımaları olmamasına dikkat edilmeli
- Ortalama PAB > PCWP ≥ PAEDP
- Kama basıncı PEEP'nin < %50'si kadar artmalı
- PAK distal ucu tıkalı olmamalı
- Lateral akciğer grafisi (PAK sol atriumun altında olmalı)
- Kama halinde iken alınan kan gazları arter kan gazları ile karşılaştırılmalı
 $PwO_2 - PaO_2 \geq 10$ mmHg, $PaCO_2 - PwCO_2 \geq 11$ mmHg
 Kama pH-arteryel pH ≥ 0.008

**Şekil 4. PAK yerleştirilirken distal uçtan izlenen traseseler.****Normal Hemodinami (Şekil 4)**

Proksimal lümen sağ atriumdaki, distal lümen ise PA'daki mekanik olaylara tanık olmamızı sağlar. Balonun şişirilmesi pulmoner segmenti kapatarak sol atriumdaki mekanik olayların distal lümeninden izlenmesini sağlar. Sağ atriumda ve kama pozisyonunda iki majör pozitif dalga (a, v) vardır. Üçüncü pozitif dalga olan c dalgası bazı durumlarda özellikle sağ atrial trasede fark edilebilir. a dalgası atrial kontraksiyon sonucu oluşur ve elektrokardiyografideki p dalgasını izler. Sağ atrial trasede p dalgasını 80 msn, kama trasesinde 240 msn gecikmiş olarak izler. c dalgası ventriküler sistolün başında mitral ve triküspit kapakların, sol ve sağ atriuma doğru hızlı hareketiyle oluşur. PR intervalinin uzadığı durumlarda daha belirginleşir. v dalgası mitral ve triküspit ka-

paklar kapalı iken ventrikül sistolü sırasında atriumların venöz doluşuyla oluşur. Sağ atrial trasede EKG'deki t dalgasının sonunda görülen v dalgası, kama trasesinde t dalgasından sonra görülür. İki negatif inişi oluşturan x, y dalgaları; a, v dalgalarından sonra görülür. x inişi atrial relaksasyon ve atriyoventriküler bileşkenin aşağı çekilmesi, y inişi ise mitral ve triküspit kapakların açılmasından sonra hızlı atrial boşalmayı gösterir. İnspiryumda intratorasik basınç düştüğü için ortalama sağ atrial ve kama basınçlar düşer; a, v, x, y belirginleşir. PA trasesi ise sistolik tepe ve diyastolik pulmoner kapağın kapanmasının sebep olduğu dikrotik çentikle karakterizedir.

Kardiyak "Output"

Termodilüsyon yöntemi ile distal uçta bulunan bir termosistör sayesinde ölçülür. Termodi-

lüsyon yöntemi ile belirli bir miktardaki soğuk solüsyonun (0-5°C veya 20-25°C) (10 mL erişkinlerde, 3-5 mL çocuklarda; 2.5 mL/saniye %5 dekstroz solüsyonu) proksimal uçtan sağ atriumdan dolaşıma verilip, karışmasından sonra daha ileriden çizilen soğuma eğrisinden net kan akımı hesaplanır. CO zaman-sıcaklık eğrisinin integraliyle ters orantılıdır. Isı, termosistör ile ilgili elektronik devre ile elektrik debiye dönüştürülür, bu da kardiyak bilgisayarla kaydedilir. CO birim zaman başına kalbin pompaladığı kan hacmidir ve atım hacminin [stroke volume (SV)] kalp hızıyla çarpılmasıyla hesaplanır.

Termodilüsyon PAK'ın avantajları arasında CO ölçümlerinin tekrarlanabilirliği ve kolaylıkla uygulanabilir olması sayılabilir (Tablo 10). Fakat arka arkaya yapılan en az üç CO ölçümünün ortalamasının alınması gereklidir. Bu ortalamalar %15'ten fazla değiştiğinde önemli farklılık olarak algılanır^[4]. Termodilüsyon PAK'ın dezavantajları Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 10. Termodilüsyon PAK avantajları.

1. CO ölçümleri tekrarlanabilir ve kolaylıkla uygulanabilir.
2. Üç kez peşpeşe ölçümün ortalaması iyi bir CO tahmini sağlar.
3. Geniş tanınmış bilgi verir.
4. Tedavinin izlenmesine olanak tanır.
5. PWP sol ventrikül önyüğü ve önyük CO ilişkisi hakkında fikir verebilir.
6. Ardyük, MAP, CVP; CO arasında ilişkisini gösterir.
7. Şokta ayırıcı tanıda yardımcı olur.
8. Global oksijenizasyonun (SvO₂, DO₂, VO₂, O₂ER) değerlendirilebilmesini sağlar .

Tablo 11. Termodilüsyon PAK dezavantajları.

1. İnvaziv bir girişimdir.
2. Trombojeniktir.
3. Şantlar, triküspit yetmezliği yanlış bilgi verebilir.
4. Klinik beceri, deneyim gerektirir.
5. Kontraktilite ölçülemez.
6. Basınç ölçülüp hacim hakkında fikir edinilmeye çalışılır.
7. Teknik olarak pek çok faktörden etkilenir (ventilasyon, ısı, kalp hızı).

Pulmoner Arter Basıncı Ölçme Sanatı

Yoğun bakımda PAK yerleştirilmesinin en sık sebebi PCWP'nin ölçülüp hastanın sıvı durumu hakkında bilgi edinilmek istenmesidir. Aslında PAK kullanılmaya başlandıktan kısa bir süre sonradan itibaren PCWP'nin önyükün iyi bir göstergesi olmadığı gösterilmiştir^[4]. Bu faktör bir de okunan PCWP doğru bile olsa doğru değerlendirilememesi ile birleşince PAK ile mortalitenin artmasına şaşırılmamalıdır. PCWP'nin LVEDV'nin doğru bir göstergesi olması için;

1. Doğru ve geçerli bir PCWP trasesi alınabilmelidir.
2. PCWP doğru değerlendirilmelidir.
3. PCWP'nin LVEDP'yi doğru yansıttığına emin olunmalıdır.
4. LVEDP ile LVEDV arasında lineer bir ilişki olmalıdır^[24].

PAK basınç ölçümleri ileri derecede kompleks bir beceri işidir. Pek çok teknik değişken hemodinamik ölçümlerin geçerliliğini ve güvenilirliğini etkileyebilir^[8,25].

Beklenen pulmoner arter basınç değişiklikleri (4-7 mmHg): Ağır hastalarda yapılan çalışmalarda PADP ve PCWP'de 4 mmHg ve PASP ve ortalama PAP'da 5 mmHg'lık oynamalar olduğu gözlenmiştir. Tüm fizyolojik değişkenler gibi bu spontan değişikliklerin klinik değişiklikleri göstermediği akılda tutulmalıdır. Her hastanın kendi "trend"leri izlenmelidir.

PA basıncının stabilizasyonu: PA basıncının herhangi bir değişiklik sonrası stabilize olması için bir süreye ihtiyaç olabilir.

Pozisyon: Kafa içi basınç artışı sendromu (KİBAS) ve pulmoner disfonksiyon durumlarında hastalar supin pozisyonunu tolere edemeyebilir. Hastanın pozisyonunun supin pozisyonda ölçülen basınç değerlerini etkilemediğini gösterdikten sonra aynı pozisyonda PA basınçları izlenebilir.

Ventilasyon etkisi: Spontan ventilasyonda alveoler basınçlar atmosferik basınca göre inspiryumda azalırken ekspiryumda artar. Pozitif basınçlı ventilasyonda ise alveoler basınçlar inspiryumda artar, ekspiryumda azalır. Ekspiryum sonunda ventilasyon nasıl olursa olsun basınçlar eşitlenir, akım durur, PCWP ölçmek

için en uygun zamandır (Şekil 5). Her zaman grafik sonuçlar tercih edilirse de, dijital olarak değerlendirmek zorunda kalındığında; spontan ventilasyonda sistolik (en yüksek değer), mekanik ventilasyonda ise diyastolik (en düşük değer) modda okutulmalıdır.

Akciğerde alveoler, arteryel, venöz basınçların ilişkisine göre üç bölge tanımlanmaktadır. Birinci bölgede kan akımı yoktur. Alveoler basınç arteryel ve venöz basınçların üstünde olduğu için pulmoner damarlar kollabe olur. İkinci bölgede intermittant akım olur. Arteryel basınçlar alveoler ve venöz basınçları geçer. Üçüncü bölgede sürekli kan akımı vardır. Arteryel ve venöz basınçlar alveoler basıncın üstündedir. Sol atriumun altında kalan bölgelerin fizyolojik olarak üçüncü bölge olduğu düşünülmektedir. PAK'ın sol atriumu gösterebilmesi için üçüncü bölgede olması gerekir. Üçüncü bölge PEEP varlığında veya sıvı defisiti, venöz dönüşün azaldığı durumlarda ikinci veya birinci bölgeye benzeyebilir. Ekspiryum sonundaki pozitif basınç plevral basıncı ve transmural pulmoner basıncı değiştirebilir. PAK ile sol atrium arasındaki sıvı kolonunu bozmayacak

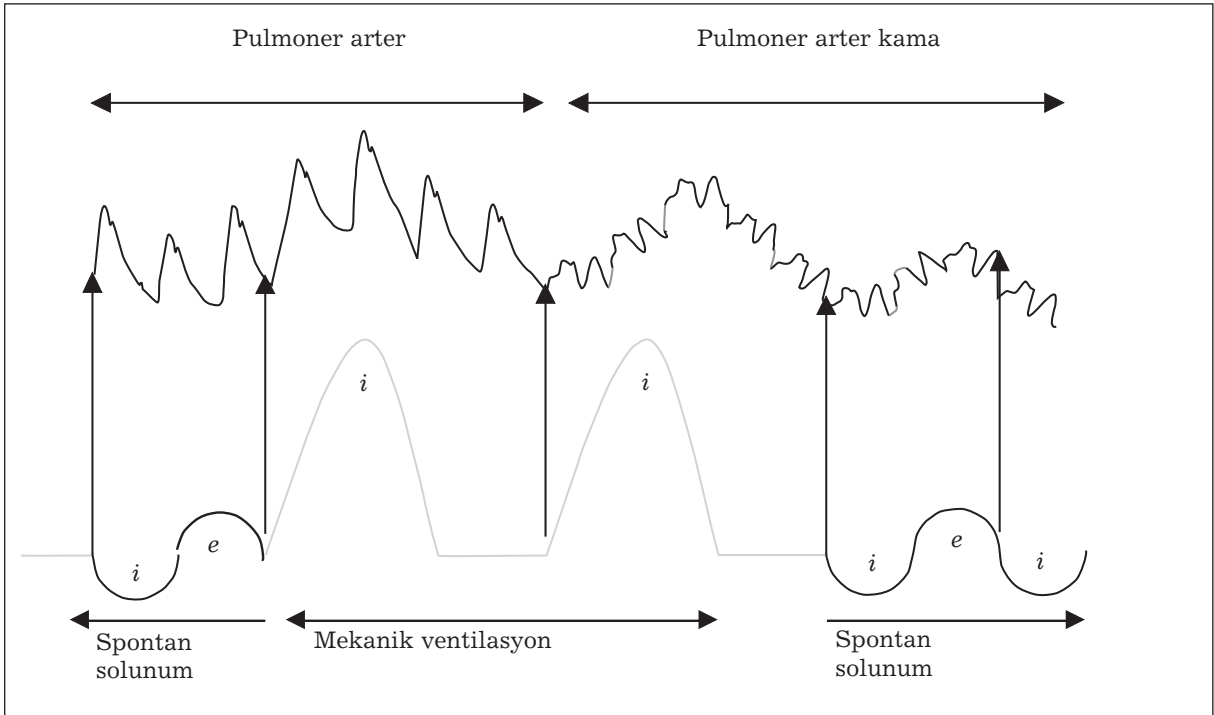
PEEP düzeyi; PAK ucu ile sol atrium arasındaki hidrostatik basınç, intravasküler volüm, PEEP seviyesi ve akciğer kompliyansı ile belirlenir. Mekanik ventilasyon uygulanan hastalarda hemodinamik toleransı değerlendirmek çok önemlidir. Sol ventrikül disfonksiyonu olan hastalarda PEEP'ten ayrılınca PA basınçları artar, hipoksemi olur, "rebound" hipervolemi ve kardiyak fonksiyonlarda bozulma görülür. O yüzden PA basınçları etkilenmesin diye hastayı ventilatörden ayırmak yanlıştır. PEEP < 10 cmH₂O iken, PA basınçları çok etkilenmezken daha yüksek değerlerde PCWP LA basınçları yansıtamaz.

Dinamik cevap: Çok sönümlü bir sistemde büyük v dalgaları tanınamayabilir veya PA trasesi kama sanılabilir.

Referans hizası: Her ölçümden önce dikkat edilmeli, sıfır ayarı yenilenmelidir^[8].

Pulmoner Kama Basıncını Ölçmenin Rasyoneli^[9]

PAK, sağ kalbin kateterizasyonu ile sol kalbin basınçlarını tahmin etmek için dizayn edilmiştir. Diyastolün sonunda aort ve pulmoner



Şekil 5. Üstte PAK distal ucundan alınan trase ve altta eş zamanlı hava yolu basıncının trasesi görülmektedir. PA ve kama basıncı ölçümleri dik oklarla işaretlendiği gibi ekspiryum sonunda ölçülmelidir. i: inspirasyon, e: ekspirasyon.

kapaklar kapalı, mitral kapak açıkken pulmoner kapaktan aort kapağına kadar bir sıvı kolonu oluşmaktadır. Kan akımına düşük rezistans [normal pulmoner vasküler rezistans (PVR)], eşitlenme için yeterli zaman (uzun diyastol süresi) olduğunda; bu sıvı kolonunda basınç farkı ve akım yoktur. PCWP balon şişirildiğinde arteriyolar tarafta okunur. Bu değer kalbin sol tarafını gösterir. Bu sayede PAEDP = PCWP = PVP = LAP = LVEDP eşitliği sağlanır. PAK ile sol ventrikül arasındaki sıvı kolonunda herhangi bir kesiklik veya obstrüksiyon olduğunda bu eşitlik bozulabilir. Yoğun bakımda en sık yanlış değerlendirme PCWP yorumlanırken olmaktadır. Bu yüzden PAK'ın neyi, ne zaman gösteremediğini, yanlış gösterebileceğini bilmek de çok önemlidir.

PCWP her zaman sol ventrikül önyükünü gösteremeyebilir: Taşikardide diyastolde eşitlenme için yeterli zaman olmadığı için kalp hızı 115/dakikadan fazla ise PAEDP > PCWP'dir. Sağ dal bloğunda ventrikül sistolü geciktiği için sol atrial ve pulmoner arter traselerinde x inişi devam eder ve PAEDP < LAP (7 mmHg) olur. PVR arttığında (hiperkarbi, alveoler hipoksi, pulmoner emboli, KOAH) PAEDP > LVEDP'dir çünkü diyastol sırasında eşitlenme için yeterince zaman yoktur. Hipoksik pulmoner vazokonstrüksiyon nedeni ile solunum yetmezliğinde PCWP > LVEDP'dir. Bazı durumlarda PCWP sol atrial basıncı yansıtamaz. Daha önce bahsettiğimiz gibi kateterin ucu sadece üçüncü bölgede ise eşitlik sağlanabilir. KOAH (otoPEEP) olanlar ve PEEP uygulanan hastalarda da sonucun değişebileceğinden bahsetmiştik. Açık kalp cerrahisi sonrası PA basınçları artar ve PCWP > LAP'dir. Fibrotik veya neoplastik durumlarda pulmoner venlere bası nedeniyle PCWP > LAP'dir. PCWP sol atrial basıncı gösterse bile bu basınç LVEDP'yi yansıtmayabilir. Mitral kapak nedeniyle obstrüksiyon olursa (mitral stenoz, mitral kapak replasmanı, sol atriumda miksoma); LAP > LVEDP'dir. Mitral yetmezlik, konjestif kalp yetmezliği, ventriküler septal defekt, sol atrial kompliyans azalması durumlarında problemler olabilir. Önyük dinlenmekte olan kası geren kuvvet olarak tanımlanıp; diyastol sonu hacmidir. PCWP bir basınç ölçümü olup sadece ventrikülün kompliyansı normal ve sabitse sol ventrikülün önyükünü gösterebilir. Kritik hastada pek çok koşul, ventriküler hipertrofi, mi-

yokard infarktüsü, koroner "by-pass" sonrası miyokardiyal ödem ventriküler kompliyansı değiştirir. Bu yüzden pek çok hasta için PCWP önyükü gösteremez. Aort yetmezliğinde mitral kapak kapandıktan sonra bile retrograd akım ventrikülü doldurmaya devam edeceği için; LVEDP > PCWP olacaktır. Sert bir ventriküle atrial kontraksiyondan sonra olan hızlı diyastol sonu basınç artışı mitral kapağın erken kapanmasına neden olur ve PCWP < LVEDP olur^[9].

PCWP önyükü değerlendirirken çok kesin ve güvenilir olmadığı için hastanın tedavisini izlerken, klinik değerlendirme tedavinin optimize edilmesinde en önemli parametredir^[4].

PCWP pulmoner kapiller hidrostatik basıncı göstermez. Pulmoner venler akciğer total vasküler rezistansı %40 etkilerler. Hipoksemi, endotoksemi, ARDS, pulmoner hipertansiyon pulmoner venokonstrüksiyonu daha da arttırarak PCWP ile kapiller hidrostatik basınç arasındaki farkı arttırırlar^[4].

PCWP kardiyojenik ve nonkardiyojenik pulmoner ödem arasındaki ayırıcı tanıyı yaparken güvenilir bir ölçek değerdir^[9].

Yukarıda sayılan bütün bu faktörler nedeni ile PCWP'nin, ne büyük hasta gruplarında ne de aynı hastanın tekrarlayan ölçümlerinde LVEDV'yi gösterme iyi bir indeks olmadığı düşünülmektedir^[24].

Volümetrik PAK

Hızlı cevaplı bir termosistörü olan PAK ile bir EKG elektrodu kullanılarak termodilüsyon eğrisinde tekrar ısınma fazında sağ ventrikülden kanın ejeksiyonu ile oluşan plato tanınabilir. İki atım arasındaki ısı farkı sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonunun hesaplanabilmesini sağlar. Atım hacminden ve sağ ventrikül ejeksiyon fraksiyonunun sağ ventriküler sistol sonu ve diyastol sonu hacimleri bulunabilir^[4,26]. Sağ ventrikül diyastol hacim indeksinin (RVEDI), yoğun bakım hastalarında önyükü göstermede PAWP'den daha iyi olduğu öne sürülmüştür^[4,27]. Optimal RVEDI 90-140 mL/m²'dir. Diebel ve arkadaşları, özellikle sıvıya cevaplı CO için PCWP yerine RVEDI kullanılmasını önermişlerdir^[27]. Her hasta için optimum RVEDI, CI'nın artan RVEDI'ya rağmen artık artmadığı, eğrinin platoya ulaştığı değerdir (Şekil 1). Özellikle PEEP uygulanımı gibi PAWP'nin ön-

yük açısından değerlendirilmesinin zor olduğu durumlarda, volümetrik PAK önerilmektedir^[4].

Sürekli CO Ölçen PAK

PAK'ın ucundan 15 cm ileride ısıtıcı termal filaman çevreyi ısıtıp, kateterin ucundan CO'nun sürekli ölçümü mümkün olabilmektedir. Bu ileri teknolojik ölçümler dört hızda yapılabilmektedir: Normal modu beş dakika, hızlı filtreli modu üç dakika, hızlı, acil modu 80-120 saniyede bir CO ölçümü verebilse de, en iyi sonuç normal modda alınmaktadır. Sürekli PAK bolus yöntemle karşılaştırıldığında 0.12 L/dakika fark bulunmuş, düşük CO'yu daha iyi ölçtüğü ve CO > 10 L/dakika ise bolus yöntemle farklı sonuç verebildiği belirtilmiştir.

Sıvı infüzyonundan ve ısı değişikliklerinden daha az etkilenen sürekli PAK ölçümünün intrakardiyak şantlarda ve yanlış yerleştirildiğinde güvenilirliğinin daha az olduğu bildirilmiştir^[28-30].

“Fick” Yöntemi

“Fick” eşitliği uyarınca CO, oksijen kullanımı ile mikst venöz oksijen saturasyonu ilişkisinden hesaplanır. Bu yöntem 1870 yılında ilk kez CO'nun ölçülmesini sağlamıştır ve halen diğer yöntemlerin karşılaştırıldığı referans yöntem olarak araştırmalarda ve klinikte kullanılmaktadır^[31]. “Fick” yöntemi kütlein korunması prensibinden yola çıkar. Alveollerden geçen kan akımı, oksijen alımının akciğerlere gelen ve akciğerlerden ayrılan kandaki oksijen farkına bölünmesiyle hesaplanır.

Kardiyak indeks= $VO_2 / (CaO_2 - CvO_2)$ (Tablo 2)

Oksijen kullanımı inspire edilen ve ekspire edilen gazlardaki oksijen farkından hesaplanır. Oksijen kullanımı ölçümünün %6 civarında hata payı vardır. Mikst venöz oksijen saturasyonu ölçümü ve arteriyovenöz oksijen içeriği farkının hesaplanabilmesi için pulmoner arter kateterine ihtiyaç duyulur. Arteriyovenöz oksijen farkının ölçümünde de %5 hata payı olması nedeniyle “Fick” yöntemiyle CO ölçümünün toplam hata payı %10 civarındadır. Bu hata termodilüsyonla karşılaştırıldığında biraz daha iyidir. “Fick” yöntemi arteriyovenöz oksijen farkının fazla olduğu düşük CO durumlarında daha da doğru sonuçlar vermesi nedeniyle, özellikle kardiyak kateterizasyon laboratuvarlarında tercih edilmektedir^[32].

Mikst Venöz Oksijen Saturasyonu

PAK distal yolundan mikst venöz oksijen saturasyonu (SvO₂) veya PAK takılmadan da santral venöz yoldan santral venöz oksijen saturasyonu ölçümü için kan alınabilir. Sürekli SvO₂ ölçümleri yapan özel PAK veya santral venöz kateterler klinikte kullanımdadır^[29,33]. Bu PAK'lar özel olarak dizayn edilmiş fiberoptik oksimetreler içerirler. Bu kateterin ucundan geçen oksijene bağlı ve oksijensiz hemoglobin miktarlarını ölçebilmek için kızılötesi dalga boyu kullanılmaktadır^[29].

Mikst venöz oksijen, sistemik oksijen kullanımının bir göstergesidir. Dolaşım sisteminin en önemli amacı organ perfüzyonunun sağlanmasıdır. Dolaşımın fonksiyonel durumu ve dolayısıyla organ perfüzyonu, CO ve oksijen sunumuyla (DO₂) oksijen kullanımı arasındaki ilişkiden çıkarılabilir^[34]. Normalde, periferik oksijen kullanımı (VO₂) DO₂'den bağımsızdır. Bu yüzden, CO ve DO₂ azalınca, oksijen kullanımını sabit tutmak için oksijen tutulumu artar, mikst venöz oksijen saturasyonu düşer. VO₂'nin azaldığı durumlar Tablo 12'de, arttığı durumlarsa Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 12. Oksijen kullanımının (VO₂) azalmasının nedenleri.

1. Dokulara yetersiz oksijen sunumu (DO₂)
2. Düşük hemoglobin (Hb) düzeyi, anemi
3. Arteriyel oksijen içeriğinin azalması, hipoksi
4. Mikrodolaşımın düzensiz ve kötü dağılımı nedeniyle yetersiz doku perfüzyonu
5. Metabolik hızın azalması (hipotiroidi, malnütrisyon, vitamin eksikliği, kemoterapi, ilaç doz aşımaları, zehirlenmeler, hipotermi, ölüm öncesi)

Tablo 13. Oksijen kullanımının (VO₂) artmasının nedenleri.

1. Metabolik ihtiyacın artması (sepsis, hipertermi, travma, yanık, aşırı egzersiz, hipertiroidi)
2. Doku hipoksisi (düzensiz ve kötü dağılmış mikrodolaşım, doku hasarı, hipotermi, kardiyak arrest) sonrası artmış kompensatuar kullanımı
3. Oksidatif fosforilasyonu bozan zehirlenmeler
4. Metabolizmayı arttıran ilaçlar, anestezi ajanları, adrenerjik agonistler

Hemodinamik verileri normal üstünde değerlerde ($CI > 4.5$ L/dakika/m², $DO_2 > 650$ mL/dakika/m²) olan kritik hastaların hemodinamik verileri normal ve altında olan hastalara göre mortalite oranlarının daha düşük olduğu bildirilmiştir^[35]. Bu nedenle, yıllardır hemodinamik değerlerin tedaviyle normalin üstünde değerlere çıkarılması üzerinde pek çok çalışma yapılmakta ve tartışma süregelmektedir^[33,36,37]. Yakın zamanda erken dönemde önceden belirlenmiş hemodinamik hedeflere ulaşılabilecek şekilde tedavinin septik şokta mortaliteyi azalttığı gösterilmiştir. Bu çalışmada, hastalar acile geldikleri ilk altı saatte sürekli santral venöz saturasyon ve CVP ölçümü ile izlenmişler ve $CVP \geq 8$ mmHg, 65 mmHg $<$ ortalama arter basıncı $<$ 90 mmHg, $SvO_2 \geq \%70$ olacak şekilde, sıvı, kolloid, kan, vazoaaktif ajanlarla tedavi edilmişlerdir^[38]. Hemodinamik verilerin normal veya normal üstü tutulmasından çok, hastaların yakın izlenmelerinin, çoklu organ yetmezliği gelişmeden, hemodinamik hedeflerin belirlenip erken tedaviye başlanmasının önemi üzerinde durulmaktadır.

Sonuç olarak; hastanın kliniğine ve elde olan imkanlara göre izlenmesi gereken hemodinamik profil belirlenir. Önemli olan hemodinamik hedeflerin mümkün olan en erken dönemde belirlenmesi ve o hedeflere ulaşabilmek için tedavinin bir an önce başlanmasıdır. Hemodinamik monitörizasyon yöntemleriyle elde edilen bilgiler tek başlarına değerlendirilmemelidirler. Tedaviyi yönlendirmede, tedaviyle olan kalp hızında değişme, kalp debisinde, PAOP, RVEDI, oksijenizasyon, kan basıncındaki ve idrar çıkışındaki cevap göz önüne alınarak karar verilmelidir. Bütün bu değişkenler hastanın altta yatan hastalığı çerçevesinde ve doku hipoksisinin olup olmamasıyla birlikte değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Connors AF, McCaffree DR, Gray BA. Evaluation of right heart catheterization in the critically ill patient without acute myocardial infarction. *N Engl J Med* 1983;308:263-8.
- Fein AM, Goldberg SK, Walkenstein MD, et al. Is pulmonary artery catheterization necessary for the diagnosis of pulmonary edema? *Am Rev Respir Dis* 1984;129:1006-9.
- Linton RAF, Linton NWF, Kelly F. Is clinical assessment of the circulation reliable in postoperative cardiac surgical patients. *J Cardiothoracic Vasc Anesth* 2002;16:4-7.
- Marik PE. Pulmonary artery catheterization and esophageal Doppler monitoring in the ICU. *Chest* 1999;116:1085-1.
- Bur A, Hirschl MM, Herkner H, et al. Accuracy of oscillometric blood pressure measurement according to the relation between cuff size and upper arm circumference in critically ill patients. *Crit Care Med* 2000;28:371-6.
- Frezza EE, Mezghebe H. Indications and complications of arterial catheter use in surgical and medical intensive care units: Analysis of 4932 patients. *Am Surg* 1998;64:127-31.
- Martin C, Saux P, Papazian L, Gouin F. Long-term arterial cannulation in ICU patients using the radial artery or dorsalis pedis artery. *Chest* 2001;119:901-6.
- Bridges EJ, Woods SL. Pulmonary artery measurement: State of the art. *Heart Lung* 1993;22:99-111.
- Nadeau S, Noble WH. Misinterpretation of pressure measurements from the pulmonary artery catheter. *Can Anaesth Soc J* 1986;33:352-63.
- Kulkarni M, Elsner C, Ouellet D, Zeldin R. Heparinized saline versus normal saline in maintaining patency of the radial artery catheter. *Can J Surg* 1994;37:37-42.
- Michard F, Boussat S, Chemla D, et al. Relation between respiratory changes in arterial pulse pressure and fluid responsiveness in septic patients with acute circulatory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:134-8.
- Michard F, Chemla D, Richard C, et al. Clinical use of respiratory changes in arterial pulse pressure to monitor the hemodynamic effects of PEEP. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:935-9.
- English ICW, Frew RH, Pigott JF, Zaki M. Percutaneous catheterization of the internal jugular vein. *Anaesthesia* 1969;24:521-31.
- Kelman GR. Interpretation of CVP measurements. *Anaesthesia* 1971;26:209-15.
- Munis JR, Bhatia S, Lozada LJ. Peripheral venous pressure as a hemodynamic variable in neurosurgical patients. *Anesth Analg* 2001;92:172-9.
- Sznajder I, Zveibil FR, Bitterman H, Weiner P, Bursztein S. Central vein catheterization. Failure and complication rates by three percutaneous approaches. *Arch Intern Med* 1986;146:259-61.
- Holtz JP. The effect of positive and negative intrathoracic pressure on peripheral venous pressure in man. *Am J Physiol* 1943;139:208-11.
- Connors AF, Speroff T, Dawson NV, et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA* 1996;276:889-97.
- Dalen JE, Bone RC. Is it time to pull the pulmonary artery catheter? *JAMA* 1996;18:916-8.

20. Pulmonary artery catheter consensus conference participants. Pulmonary Artery Catheter Consensus conference. Consensus Statement. *Crit Care Med* 1997;25:910.
21. Afessa B, Spencer S, Khan W, LaGatta M, Bridges L, Freire AX. Association of pulmonary artery catheter use with in-hospital mortality. *Crit Care Med* 2001;29:1145-8.
22. Iberti TJ, Fischer EP, Leibowitz AB, et al. A multi-center study of physicians' knowledge of the pulmonary artery catheter. *JAMA* 1990;264:2928-32.
23. Komadina KH, Schenk DA, LaVeau P, et al. Inter-observer variability in the interpretation of pulmonary artery catheter pressure tracings. *Chest* 1991;100:1647-54.
24. Raper R, Sibbald WJ. Misled by the Wedge? The Swan-ganz catheter and the left ventricular preload. *Chest* 1986;89:427-34.
25. Marini JJ. Pulmonary artery occlusion pressure: Clinical physiology, measurement, and interpretation. *Am Rev Respir Dis* 1983;128:319-26.
26. Vincent JL, Thirion RF, Brimiouille S, et al. Thermodilution measurement of right ventricular ejection fraction with a modified pulmonary artery catheter. *Intensive Care Med* 1986;12:33-8.
27. Diebel L, Wilson RF, Heins J, et al. End-diastolic volume versus pulmonary artery wedge pressure in evaluating cardiac preload in trauma patients. *J Trauma* 1994;37:950-5.
28. Mihaljevic T, von Segesser LK, Tonz M, et al. Continuous versus bolus thermodilution cardiac output measurements-A comparative study. *Crit Care Med* 1995;23:944-9.
29. Zollner C, Polasek J, Kilger E. Evaluation of a new continuous thermodilution cardiac output monitor in cardiac surgical patients. A prospective criterion standard study. *Crit Care Med* 1999;27:293-8.
30. Mihm FG, Gettinger A, Hanson W, et al. A multi-center evaluation of a new continuous cardiac output pulmonary artery catheter system. *Crit Care Med* 1998;26:1346-50.
31. Fick A. Ueber die messung des blutquantums in den hertzventrikeln. *Sitzungsberichte der physiologisch-medizinische gesellschaft zu wuerzburg* 1870;2:16.
32. Gravenstein N, Good ML, Banner TE. Assessment of cardiopulmonary function. In: Civetta JM, Taylor RW, Kirby RR (eds). *Critical Care*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997:867-99.
33. Gattinoni L, Brazzi L, Pelosi P, et al. A trial of goal-oriented hemodynamic therapy in critically ill patients. *N Engl J Med* 1995;333:1025-32.
34. Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB. Oxygen transport measurements to evaluate tissue perfusion and titrate therapy. *Crit Care Med* 1991;19:672-88.
35. Shoemaker WC, Montgomery ES, Kaplan E, Elwyn DH. Physiologic patterns in surviving and nonsurviving shock patients: Use of sequential cardiorespiratory variables in defining criteria for therapeutic goals and early warning of death. *Arch Surg* 1973;106:630-6.
36. Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB, Waxman K, Lee TS. Prospective trial of supranormal values of survivors as therapeutic goals in high risk surgical patients. *Chest* 1988;94:1176-86.
37. Boyd O, Grounds RM, Bennett ED. A randomized clinical trial of the effect of deliberate perioperative increase of oxygen delivery on mortality in high risk surgical patients. *JAMA* 1993;270:2699-707.
38. Rivers E, Nguyen B, Havstad S, et al. Early goal directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med* 2001;345:1368-77.