

# Açık Kalp Ameliyatları Sırasında Oluşan İntrakardiyak Havanın İntraoperatif Transözofajiyal Ekokardiyografi ile Değerlendirilmesi

Uz. Dr. Mete HİDİROĞLU, Uz. Dr. Mehmet BAYRAKTAROĞLU, Bio. Özlem CEMRİ\*, Bio. Melahat TOKER\*, Doç. Dr. Ergun SALMAN\*, Doç. Dr. Ertan YÜCEL\*  
S.S.K. Ankara İhtisas Hastanesi Kalp-Damar Cerrahisi Kliniği,  
\*S.S.K. Ankara Eğitim Hastanesi Kalp-Damar Cerrahisi Kliniği

## ÖZET

İki boyutlu intraoperatif transözofajiyal ekokardiyografi (İTEE) kullanılarak açık kalp ameliyatlarında intrakardiyak havanın görülme oranı, lokalizasyonu, İTEE'nin hava çıkarma işlemlerine rehberliği, kardiyopulmoner bypass ile oluşabilen mikrobarcıklar incelendi. Bunun için elektif kalp ameliyatı planlanan 20 olgu iki gruba ayrıldı. Grup 1: Mitral velveya aort kapak ameliyatı olan 10 olgudan, grup 2: Kardiyopulmoner "bypass" ile koroner "bypass" ameliyatı olan 10 olgudan oluşturuldu. Aort kross klemp kaldırıldıktan sonra grup 1'deki olguların tümünde (% 100), grup 2'deki hastaların yarısında (%50) intrakardiyak hava kabarcıkları tesbit edildi. Grup 1'deki hastaların büyük çoğunluğunda (%70) havanın pulmoner venlerden kaynaklandığı İTEE ile gösterildi. İTEE rehberliğinde yapılan hava çıkarma çalışmalarında çok yoğun hava kabarcıklarının tamamı yok edilemedi. Fakat hava kabarcıklarının yoğunluğunda azalma sağlandı. Dikkatlice yapılmış standart hava çıkarma yöntemleri, pulmoner venlerde tutulmuş hava kabarcıklarının tamamen tahliyesini sağlayamamıştır. Hastalarda postoperatif nörolojik komplikasyon gözlemlenmemiştir. Hava çıkarma prosedürleri boyunca İTEE kullanımı intrakardiyak hava sorunlarına karşı dikkati artıracak ve hava embolizmini önlemeye katkıda bulunacaktır.

**Anahtar kelimeler:** İntraoperatif transözofajiyal ekokardiyografi, kardiyopulmoner bypass, hava embolisi

Massif hava embolisi kalp cerrahisinin çok korkulan majör komplikasyonlarından birisidir (1-3). Vakaların büyük çoğunluğunun hukuki nedenlerden çekinilerek bildirilmemiş ya da ihmal edilmiş olduğu sanılıp, kalp ameliyatları sırasında sistemik hava embolisi insidansının % 0.1-11.7 olduğu tahmin edilmektedir (2,4,5). Hava embolisi ciddi serebral hasarlara ve düşük kardiyak debi, aritmi gibi önemli kardiyak olaylara neden olabilen koroner arter hava embolisine hatta ölüme sebep olabilmektedir (6-8).

Alındığı tarih: 14 Mayıs 1997, revizyon: 28 Ekim 1997  
Yazışma adresi: Dr. Mete Hidiroğlu Aşıkpaşa Cad. 56/4  
Keçiören-Ankara Tel: (0 312) 357 10 11

Hava ve kan arasındaki akustik özelliklerdeki farklılıklardan dolayı hava ekokardiyografide yüksek kontrastlı bir ortam oluşturur ve hareketli, beyaz, parlak yansımalar olarak görülür (9-11). M-mod ve iki boyutlu ekokardiyografi, sol ventrikül içine bolus olarak verilen 0.001 ml/kg havayı (12) ve 2-125 mikron kadar mikroskobik hava kabarcıklarını bile saptayabilecek hassasiyettedir (3,11,13-15). İki boyutlu ekokardiyografinin görüntü netliği özel bir eğitim gerekmeden intrakardiyak havanın ve hava kabarcıklarının tesbiti için yeterlidir (9,10). İntraoperatif ekokardiyografi tekniğinin kullanılmasıyla açık kalp ameliyatları sırasında % 12-100 arasında yüksek oranda intrakardiyak hava kabarcıklarının varlığı gösterilmiştir (3,10,11,13). Transözofajiyal ekokardiyografi (TEE) özofagus yoluyla kalp ve büyük damarlara ultrasonik muayene penceresi sağlayan bir tekniktir (16,17). Ameliyat sırasında yüksek kalitede görüntü verdiği için intraoperatif transözofajiyal ekokardiyografi (İTEE) kolay ve güvenilir bir yöntem olup intrakardiyak havayı tesbit etmede yüksek duyarlılığa sahiptir (1,3,9,11-15,18,19).

Bu çalışmanın amacı İTEE ile açık kalp ameliyatları sırasında intrakardiyak havanın lokalizasyonunu ve prevalansını, ek olarak İTEE'nin hava çıkarma tekniklerine katkısını araştırmaktır.

## MATERYEL ve METOD

Elektif açık kalp ameliyatı planlanan toplam 20 olgu çalışmaya alındı. Romatizmal kapak ameliyatı olan 10 olgu 1. grup olarak ayrıldı ve yapılan işlemler tablo 1'de gösterildi. Kardiyopulmoner "bypass" ile koroner arter cerrahisi uygulanan 10 olguda 2. grubu oluşturdu.

İTEE incelemesi, ekokardiyografik bir sisteme (SSH-160, Toshiba, Japan) birleştirilen transözofageal prob (5 MHz, PEF-511 SA, Phased array, Toshiba, Japan) ile sağlandı.

**Tablo 1. Kapak cerrahisi uygulanan hastalarda yapılan işlemler**

Yapılan İşlem	Sayı
MVR	5
AVR	1
AMK + AVR	1
AMK	2
AVR + MVR	1
<i>MVR: Mitral valv replasmanı</i>	
<i>AVR: Aort valv replasmanı</i>	
<i>AMK: Açık mitral kommissürotomi</i>	

Tüm olgularda "hollow-fiber" membran oksijenatör kullanıldı. Kardiyopulmoner "bypass" devresinde 40 mikronluk arteriyel hat filtresine ilaveten kardiyopleji hattında da 40 mikronluk filtreler kullanıldı.

İnttrakardiyak havayı önlemek ve elimine etmek için yaygın olarak kabul edilmiş aşağıda maddeler halinde sıralanan hava çıkarma yöntemleri uygulandı (2,9,10,20,21). 1-Kardiyopulmoner bypasstan önce devredeki havanın temizlenmesi, 2-kapanma aşamasında kalp odacıklarının kan ile doldurulup havanın çıkarılması, 3-akciğerlere hiperinflasyon uygulanması, 4-kardiyopleji kanülü aracılığı ile asendan aortadan havanın kan ile birlikte aspire edilmesi, 5-aortik ventin kardiyopulmoner "bypass"tan çıkana kadar çalıştırılması, 6-koroner "bypass" ameliyatlarında ven greftlerinden hava çıkarmak amacı ile "bulldog" klemp kaldırmadan önce ven greftinin ince bir iğne (PPD) ile delinmesi.

İTEE ile havayı tesbit etmek için frontal aksdan kalbin 4 boşluk ya da 3 boşluk görüntüsü elde edilerek çalışıldı. Hava pulmoner venler, sol atrium, sol ventrikül ve asendan aortada arandı. Kalbdeki hava kabarcıklarının varlığı karekteristik beyaz, hareketli yansımalar görüldüğü zaman kabul edildi. Hava kabarcıklarının değerlendirilmesi için Oka ve ark. (3), Rodigas ve ark. (11), Topol ve ark. (13)'nün kullandığı aynı orantılama sistemi kullanıldı. Hava kabarcıklarının yoğunluğunun oranı 4 dereceye ayrıldı. Tablo 2.

**Tablo 2. Hava kabarcıklarının derecelendirilmesi**

Derece	Havanın Kalp Boşluklarındaki Oranı
0	Hava yok
1	Her çerçevede 5 mikrokabarcıktan az (Hafif)
2	Her çerçevede 10-25 mikrokabarcık (Orta)
3	Her çerçevede çok fazla sayıda mikrokabarcık (Şiddetli)

Çalışma zamanı 3 sürece ayrıldı. 1. Süreç, hava çıkarma işlemlerinin başından aort kross klempini kaldırıla kadar olan süre, 2. süreç, aort kross klempinin kaldırılmasından kardiyopulmoner bypass sonlandırılana kadar geçen süre,

3. süreç, kardiyopulmoner bypassın sonlandırılmasından sonraki 10 dakikalık süre olarak belirlendi.

Olgular taburcu olana kadar herhangi lokal ya da genel nörolojik bir patolojik bulgunun gelişip gelişmediğı klinik olarak takip edildi. Ayrıntılı nörolojik incelemeler yapılmadı.

## BULGULAR

Açık kalp ameliyatı yapılan grup 1 ve grup 2'deki toplam 20 olgunun 12'sinde (%60) kardiyopulmoner bypass başladıktan hemen sonra yaklaşık 1 dakika süren 1. derece hava kabarcıkları görüldü. Aortotomi yapıp direk olarak koroner ostiumlara kardiyopleji verilen 3 olgu hariç (AVR, AVR+AMK, AVR+MVR) diğer 17 olgunun 15'inde (%88.2) aort kökünden soğuk kristalloid kardiyopleji verilirken 1. derece ya da 2. derece hava kabarcıkları görüldü. Grup 1'deki 6 olgunun 4'ünde (% 66.6) kardiyopulmoner "bypass"dan önce sağ atrium kanüle edilmeden triküspit kapağın değerlendirilmesi için yapılan parmak ile muayene sırasında sağ atriumda 1. derece hava kabarcıkları tesbit edildi. 20 olgunun 15'inde (%75) hava kabarcıkları saptandı. Grup 1'deki hastaların %100'ünde, grup 2'deki hastaların %50'sinde hava kabarcıkları bulundu. Koroner "bypass" ameliyatı yapılan olgularda (grup 2) tesbit edilen hava kabarcıkları 1. derecedeydi. Kapak ameliyatı yapılan olguların (grup 1) tamamında süreç 1 ve 2'de 2. ve 3. derece hava kabarcıkları saptandı. Grup 1'deki olguların 2'sinde 2. süreç esnasında sağ koroner arterde hava görülmesi ve kötü sağ ventrikül fonksiyonları görülmesi üzerine küçük bir iğne (PPD iğnesi) ile koroner arter delindi ve hava çıktıktan sonra sağ ventrikül kontraksiyonlarının düzeldiğı görüldü.

Süreç 1: Hava yöntemlerinin uygulanmasından aort kross klempinin kaldırılmasına kadar geçen süre olan bu dönemde grup 1'deki olguların 5'inde (%50) 3. derece hava kabarcıkları, 5'inde (%50) 2. derece hava kabarcıkları vardı. Hava kabarcıkları sol atrium, sol ventrikül ve aortada tesbit edildi. 3. derece ve 2. derece hava kabarcıklarını çıkartmak için kalbin doldurulması sırasında sol atrium ve sol ventriküle manuel "ballotman" yapıldı ve kalp el ile sıvazlandı. 3. dereceden hava kabarcıkları olan 5 olgu 2. dereceye düştü. 2. derece hava kabarcıkları olan 5 olgudan 2'si 1. dereceye düştü, 3 olgu ise 2. derecede sebat etti. Böylece grup 1'deki 8 olguda (%80) bu süreçte 1 derece düşüş sağlanmış oldu. Üç olgu

(%30) aynı derecede kaldı. Hava kabarcıklarının tam eradikasyonu hiç bir hastada mümkün olmadı.

**Süreç 2:** Aort kross klempinin kaldırılmasından kardiyopulmoner "bypass"ın sonlandırılmasına kadarki bu sürede grup 1'deki olguların 6'sında (%60) 2. derece, 4'ünde (%40) 3. derece hava kabarcıkları saptandı. Bu olguların 7'sinde (%70) havanın pulmoner venlerden geldiği İTEE ile açıkça gösterildi. Grup 2'deki olguların 5'inde (%50) 1. derece hava kabarcıkları saptandı. Grup 2'nin diğer 5 olgusunda (%50) hava kabarcığı saptanmadı.

**Süreç 3:** Kardiyopulmoner bypassın sonlanmasından sonraki 10 dakikalık dönemi kapsayan bu süreçte grup 1 olguların 6'sında (%60) 1. derece, 2'sinde (%20) 2. derece hava kabarcıkları saptandı, 2'sinde (%20) ise hava kabarcığı görülmedi. Bu süreç sırasında 2. derece hava kabarcığı görülen olgularda ve 1. derece hava kabarcığı görülen olguların 3'ünde hava kabarcıklarının pulmoner venlerden geldiği net olarak tesbit edildi. Hava kabarcığı görülmeyen 2 olguda ameliyat boyunca pulmoner venlerden bol kan gelmesi dikkati çekti. Grup 2 olgularında süreç 3 boyunca hava kabarcığı saptanmadı.

Grup 1 ve grup 2'deki tüm olguların normal klinik postoperatif gözlemlerinde herhangi bir manifest nörolojik patolojik bulgu tesbit edilmedi.

## TARTIŞMA

Açık kalp ameliyatlarından sonra havanın çıkarılması ve hava embolisinin önlenmesi için standart hava çıkarma tekniklerine rağmen intrakardiyak hava kabarcıkları yaygın olarak (%12-100) görülmektedir (3,10,11,13). İnsan ve hayvanlarda yapılan çalışmalarda kardiyopulmoner "bypass" sonrası uzun süre büyük miktarlarda hava kabarcığı mevcudiyeti gösterilmiştir (1,12,22).

Ekokardiyografik olarak görülen hava partikülleri "mikrobubble" (mikrokabarcık) olarak adlandırılır (23). 2-120 mikron arasındaki mikrokabarcıklar bile ekokardiyografik olarak tesbit edilebilirler (3,11,13-15). İki boyutlu ekokardiyografiyi hava kabarcıklarını tanıma yönünden yorumlamak basit olduğu için özel bir eğitim almaya gerek yoktur (9,10). Çalışmamızda da iki boyutlu İTEE kullanılmıştır. Hava kabarcıklarının kantitatifasyonu için ideal bir metod

henüz mevcut değildir (10,29). Biz de Oka ve ark. (3), Rodigas ve ark. (11) ve Topol ve ark. (13) kullandığı derecelendirme sistemini kullandık. Ekokardiyografi rehberliğinde yapılan çalışmalarda intrakardiyak hava kabarcıkları miktarı azaltılabilmiş, fakat tamamen tahliyesi mümkün olmamıştır (3,10,11,13). Günümüzde sol ventrikülde hava kabarcıklarının gözlenmesinin klinik öneminin olup olmadığı bilinmemektedir (11). Bazı hastalarda son derece yüksek yoğunluktaki intrakaviter kabarcıkların aortaya atılmasına rağmen hastalarda "gross" nörolojik bulgu oluşmamıştır (10,11,20). Çalışmamızda da aort kross klempini kaldırdıktan sonra (süreç 2) grup 1'de sol ventrikül ve aortada yoğun hava kabarcıkları (grade 3) görülen 4 olguda (%40) herhangi bir nörolojik patolojik bulgu tesbit edilmemiştir. Yapılan çalışmalarda aort kanülasyonu sırasında, kardiyopulmoner "bypass"ın ilk başladığı dakikalarda mikrokabarcıklar tesbit edilmiştir (21,24). Kalbin açılmamasına rağmen koroner "bypass" ameliyatları sırasında da mikrokabarcıklar görülebilmektedir. Mikrokabarcıkların sol atrium ve sol ventrikülde kalbin açıldığı kapak ameliyatlarından sonra daha yoğun ve görülme oranının yüksek olduğu (%67-100), kalbin açılmadığı koroner "bypass" ameliyatlarından sonra daha düşük yoğunlukta ve görülme oranının daha az olduğu önceki çalışmalarda intraoperatif ekokardiyografi ile ortaya konmuştur (3,11,24). Bizim çalışmamızda da kapak ameliyatlarından sonra olguların %100'ünde intrakardiyak hava kabarcıkları saptanmış ve yoğunluklarının fazla olduğu görülürken koroner arter "bypass" ameliyatlarından sonra intrakardiyak hava kabarcıkları %50 oranında ve daha az yoğun olarak İTEE ile ortaya konmuştur.

Kalp açık iken pulmoner venlere giren ve tutulduğu ileri sürülen havanın daha sonra pulmoner venlerden kalbe geldiği ekokardiyografik olarak gösterilmiştir (2,3,10,20). Çalışmamızda süreç 2'de grup 1 hastaların %70'inde ve süreç 3'de grup 1 hastaların %50'sinde hava kabarcıklarının pulmoner venlerden geldiği İTEE ile saptanmıştır. Süreç 3'de hava kabarcığı görülmeyen grup 1'deki 2 hastada ameliyat süresince pulmoner venlerden bol kan akımı olduğu dikkati çekti. Parsiyel kardiyopulmoner "bypass"a geçilmesi ya da kardiyopulmoner "bypass"dan çıkılması ile pulmoner kan akımının artması sonucu havanın mobilize olduğu anlaşılmaktadır. Tingleff ve ark. (20) koroner "bypass" ameliyatlarında havanın aortaya

kanülasyon ya da anastomoz yerinden girdiğini belirtmişlerdir.

Venöz infüzyon hatlarından gelen hava kabarcıkları pulmoner vasküler sistem tarafından sistemik sirkülasyona ulaşmadan elimine edilir. Buna rağmen venöz hava kabarcıklarının infüzyon hızı kritik seviyelere ulaştığı zaman akciğerlerin filtrasyon kapasitesini aşabilir (25). İn vivo bir çalışmada küçük mikrokabarcıkların pulmoner sirkülasyondan engellenmeden geçtiği gösterilmiştir (15). Bu mekanizmalar olgulardaki intrakardiyak mikrokabarcıkların varlığını açıklayabilir. Bununla birlikte ayrıntılı olarak bakarsak koroner "bypass" ameliyatı yapılan olgularda gözlemlenen hava kabarcıklarının toplam miktarı ve görülme süresi kapak olgularında gözlemlenenlere oranla çok azdır. Koroner "bypass" ameliyatı yapılan olguların hiçbirinde kardiyopulmoner "bypass"dan çıktıktan sonra hava tesbit edilmedi. Fakat, kapak ameliyatı olan olguların %80'inde kardiyopulmoner "bypass"dan çıktıktan sonra hava kabarcıkları saptandı.

Açık kalp ameliyatları sonrası sık olarak hava kabarcıkları mevcut ise niçin daha fazla klinik sekeller görülüyor gibi bir soru akla gelebilir. Bunu birkaç şekilde açıklamak mümkündür. Bazı çalışmalar iki boyutlu ekokardiyografinin mikrokabarcıkların tesbitinde yalancı pozitif tanıya yol açacak kadar duyarlı olduğunu göstermiştir. Grade 1 hava kabarcıkları için bu beklenebilir fakat, grade 2 özellikle grade 3 hava kabarcıklarının yalancı pozitif bulgu vermesi oldukça güçtür. Bir diğer izah tarzı aslında hava embolisi olmaktadır. Fakat 2-100 mikron arasındaki partiküller önemli bir perfüzyon kaybı yapmaksızın dolaşımdan temizlenebilmektedir (13,14,18,22,26). Temizlenme hava kabarcıklarının (oksijen, azot, karbondioksit vb.) kanın plazmasından korpüsküller tarafından absorpsiyonu ile olur. Feinstein ve ark. (15) deneysel çalışmalarında mikrokabarcık boyutlarının kapiller yatağı geçmede kritik bir rol oynadıklarını ve kollaps yapabileceklerini göstermişlerdir. Üçüncü bir izah tarzı da daha sonra görülebilen hafif nörolojik bozuklukların mikrokabarcık embolisine bağlı olabileceğidir (13).

Sonuç olarak, kardiyotomi yapılanlarda yapılmayanlara oranla intrakardiyak hava kabarcıkları görülme oranı çok daha fazla idi. Kalp ameliyatlarından sonra dikkatli bir şekilde hava çıkarma işlemleri gerçekleş-

tirilse bile hava embolizmi riski hala yüksektir. Bunun ana nedeni pulmoner venlerde tutulmuş hava gibi görünmektedir. Akciğerlerin tam kan akımı sağlandıktan sonra pulmoner venlerdeki hava mobilize olmaya başlar ve mobilizasyonu uzun bir süre boyunca devam edebilir. Aort kökü aspirasyonuna kardiyopulmoner "bypass"dan çıktıktan sonra bir süre daha (ortalama 5 dk.) devam edilmesinin faydalı olduğu anlaşılmaktadır.

İTEE kalp ameliyatları sırasında uygulanması kolay, güvenli ve intrakardiyak hava kabarcıklarının tesbit edilmesinde son derece duyarlı bir yöntemdir. Letal potansiyeli olabilen büyük hava miktarlarının tesbiti için önemli bir araçtır. İTEE kullanımını, yoğun hava kabarcıklarının azaltılmasına katkıda bulunmuştur. Kalp ameliyatları sırasında rutin İTEE kullanımını, hava embolisine bağlı santral sinir sistemi hasarını önlemek için dikkati artıracağından ve hava embolizmini önlemeye katkıda bulunacağından tavsiye ediyoruz.

İntrakardiyak hava kabarcıklarının ne kadarının zararlı olduğunu bilmiyoruz. Hava eliminasyonunun düzeltilmesi, intrakardiyak havanın kantitatif analizinin belirlenmesi, kardiyopulmoner bypass sırasında venöz havanın transpulmoner geçişinin incelenmesi gibi daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

1. Duff HJ, Buda AJ, Kramer R, et al.: Detection of entrapped intracardiac air with intraoperative echocardiography. Am J Cardiol 1990; 46: 255
2. Mills NL, Ochsner JL: Massive air embolism during cardiopulmonary bypass. J Thorac Cardiovasc Surg 1980; 80: 708,
3. Oka Y, Inoue T, Hong Y, et al.: Retained intracardiac air. Transesophageal echocardiography for definition of incidence and monitoring removal by improved techniques. J Thorac Cardiovasc Surg 1986;91: 329
4. Allen P; Central nervous system emboli in open heart surgery. Can J Surg 1963; 6: 332
5. Nicks R: Arterial embolism. Thorax 1967; 22: 320
6. Eguchi S, Boshier LH Jr: Myocardial dysfunction resulting from coronary air embolism. Surgery 1962; 51: 103
7. Fornaro M, Hess O, Benoist F, et al.: Myocardial damage in coronary air embolism. Thoraxchirurgie 1978; 26: 190

8. **Goldfarg D, Bahnson HT:** Early and late effects on the heart of small amounts of air in the coronary circulation. *Thorac Cardiovasc Surg* 1963; 46: 368
9. **Diehl JT, Ramos D, Dougherty F, et al.:** Intraoperative two-dimensional echocardiography-guided removal of retained intracardiac air. *Ann Thorac Surg* 1987; 43: 674
10. **Orihashi K, Matsuura Y, Hamanaka Y, et al.:** Retained intracardiac air in open heart operations examined by transesophageal echocardiography. *Ann Thorac Surg* 1993; 55: 1467
11. **Rodigas PC, Meyer FJ, Haesler GB, et al.:** Intraoperative 2-dimensional echocardiography: Ejection of microbubbles from the left ventricle after cardiac surgery. *Am J Cardiol* 1982; 50: 1130
12. **Furuya H, Suzuki T, Okumura F, et al.:** Detection of air embolism by transesophageal echocardiography. *Anesthesiology* 1983; 58: 124
13. **Topol EJ, Humphrey LS, Borkon AM, et al.:** Value of intraoperative left ventricular microbubbles detected by transesophageal two-dimensional echocardiography in predicting neurologic outcome after cardiac operations. *Am J Cardiol* 1985; 56: 773
14. **Metzer RS, Tickner EG, Sahines TP, et al.:** The source of ultrasound contrast effect. *J Clin Ultrasound* 1980; 8: 121
15. **Feinstein SB, Shah PM, Bing RJ, et al.:** Microbubbles dynamics visualized in the intact capillary circulation. *J Am Coll Cardiol* 1984; 4: 595
16. **Bansal RC, Shah PM:** Transesophageal echocardiography. *Curr Probl Cardiol* 1990; 11: 647
17. **Ding ZP, Quek SS, Chee TS:** Transesophageal echocardiography-an overview. *Ann Acad Med Singapore* 1990; 19: 99
18. **Oka Y, Moriwaka KM, Hong Y, et al.:** Detection of air emboli in the left heart by M-mode transesophageal echocardiography following cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology* 1985; 63: 109
19. **Çiçek S, Tatar H, Sürer H, et al.:** İntraoperatif transözofageal ekokardiyografi. *GKD Cer Derg* 1995; 1: 197
20. **Tingleff J, Joyce FS, Petterson G:** Intraoperative echocardiographic study of air embolism during cardiac operations. *Ann Thorac Surg* 1995; 60: 673
21. **Van der Linden J, Casimir-Ahn H:** When do cerebral emboli appear during open heart operations? A transcranial Doppler study. *Ann Thorac Surg* 1991; 51: 237
22. **Gallagher EG, Pearson DT:** Ultrasonic identification of sources of gaseous microemboli during open heart surgery. *Thorax* 1973; 28: 295
23. **Butler BD:** Biophysical aspect of gas bubbles in blood. *Med Instrum* 1985; 19: 59
24. **Krebber HJ, Hanrath P, Janzen R, et al.:** Gas emboli during open heart surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 30: 401, 1982
25. **Butler BD, Hills BA:** Transpulmonary passage of venous air emboli. *J Appl Physiol* 1985; 59: 543
26. **Patterson RH, Kessler J:** Microemboli during cardiopulmonary bypass detected by ultrasound. *Surg Gynecol Obstet* 1969; 129: 505