

Kardiyak Cerrahi Esnasında Masif Arteriyel Hava Embolisi Yaşanan Hastada Başarılı Anestezi Yönetimimiz

A Successful Anesthesia Management in Patient with Massive Arterial Air Embolism During Cardiac Surgery

Nadide Örs Yıldırım¹, Alperen Kutay Yıldırım², Vedat Yıldırım¹

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Eğitim Araştırma Hastanesi, Anesteziyoloji ve Reanimasyon Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

ÖZ

Masif arteriyel gaz embolisi, kardiyak cerrahi esnasında görülme ihtimali düşük ancak oldukça yüksek mortalite ve morbiditeye neden olabilen bir komplikasyondur. Masif gaz embolilerinin yönetiminde cerrahi, anestezi ve perfüzyon ekibinin kooperasyonunu sağlamak önemlidir. Yazımızda kardiyopulmoner bypass esnasında gelişen masif hava embolisinin başarılı yönetiminden bahsetmekteyiz. Hasta postoperatif 7. günde sekelsiz olarak hastaneden taburcu edildi. Yazımız cerrahi esnasında dikkatli bir anesteziistin cerrahi alanı takip etmesinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar sözcükler: Masif arteriyel hava embolisi, kardiyak cerrahi, nöroproteksiyon

ABSTRACT

Massive arterial gas embolism is a complication that has a low probability of occurring during cardiac surgery but can cause high mortality and morbidity. It is very important that the surgical, anesthetic, and perfusion teams cooperate in the management of massive gas embolisms. In this article, we discuss the successful management of a massive air embolism that occurred during cardiopulmonary bypass. The patient was discharged from the hospital without complications on the 7th postoperative day. The article emphasizes the importance of a careful anesthesiologist monitoring the surgical field during surgery.

Keywords: Massive arterial air embolism, cardiac surgery, neuroprotection

GİRİŞ

Kardiyak cerrahi esnasında masif arteriyel gaz embolisi nadir görülen ancak katastrofik sonuçlar doğurabileceği için, cerrahi ekiplerin acil müdahaleye hazırlıklı olmalarını gerektiren bir komplikasyondur. Mills ve Ochsner yaptıkları retrospektif inceleme sonucunda masif gaz embolilerinin çoğunun kardiyopulmoner bypass (KPB) devresindeki mekanik arızalardan ve/veya insan hatalarından kaynaklandığını belirtmişlerdir (1).

Masif arteriyel gaz embolisini yönetmek için çeşitli intraoperatif ve postoperatif prosedürler tanımlanmıştır. Bu prosedürler hipotermi, retrograd serebral perfüzyon (RSP), hiperbarik oksijen terapisi (HBOT), barbitürat koması, lidokain, oksijen ve inotropik destekleri içermekte olup hastanın klinik durumuna göre anestezi ve cerrah tarafından kooperasyon kurularak uygulanmaktadır (2, 3).

Yazımızda Ozaki prosedürü ve hemiarqus aort replasmanı yapılan hastada, acil revizyon cerrahisi esnasında gelişen masif hava embolisinin başarılı yönetiminden bahsedeceğiz.

OLGU SUNUMU

Hastamız bilgilendirilmiş ve kendisinden yazılı ve sözlü onay alınmıştır. Biküspit aort kapak ve aort anevrizması nedeni ile Ozaki prosedürü ve hemiarqus aort replasmanı planlanan, bilinen ek kronik hastalığı olmayan 19 yaşında erkek hasta, başarı ile tamamlanan operasyonun postoperatif 2. saatinde kanama ve hemodinamide gelişen bozulma nedeni ile acil şartlarda revizyon cerrahisine alındı.

Entübe ve remifentanil sedasyonu altında olan hastaya Amerikan Anestezi Derneği standartlarına uygun şekilde elektrokardiyogram (EKG), invaziv arter basıncı, santral venöz basınç (SVB), end-tidal karbondioksit ve ısı monitörizasyonu yapıldı. Uygun monitörizasyonu takiben, 2 mg kg⁻¹ ketamin ve 1 mg

Geliş tarihi/Received : 07.01.2023

Kabul tarihi/Accepted : 29.03.2023

Yayın tarihi : 28.04.2023

*Yazışma adresi: Nadide Örs Yıldırım • orsnadide@gmail.com

Nadide Örs Yıldırım ☎ 0000-0002-0224-299X / Alperen Kutay Yıldırım ☎ 0000-0002-2282-0291

Vedat Yıldırım ☎ 0000-0001-8492-4355

Atf: Örs Yıldırım N, Yıldırım AK, Yıldırım V. Kardiyak cerrahi esnasında masif arteriyel hava embolisi yaşanan hastada başarılı anestezi yönetimimiz. JARSS 2023;31(2):162-166.



Bu eser "Creative Commons Atıf-GayriTicari-4.0 Uluslararası Lisansı" ile lisanslanmıştır.

kg⁻¹ rokuronyum bromür indüksiyonu ile genel anestezi sağlandı.

Kanama kontrolü esnasında meydana gelen hemodinamik dengesizlik nedeni ile acil şartlarda KPB'ye girilmesi için kanülasyon gerçekleştirildi. Kardiy pulmoner bypass cihazına acil bağlanma sırasında aort kanülü yerleştirilirken yaklaşık 20-30 mL hava arteriyel dolaşıma katıldı. Cerrahiyi yakinen takip etmekte olan anestezi uzmanı tarafından cerrahi ekip uyarılırken eş zamanlı olarak karotis basısı gerçekleştirilerek hasta derhal derin trendelenburg pozisyonuna alındı. Ameliyat salonuna acil şartlarda alınmış olan hastaya rutinde uyguladığımız trans özofageal ekokardiyografi (TÖE) ve near-infrared spektroskopisi (NIRS) monitörizasyonu yapılamamış olduğu için sol sistemde hava baloncukları ve serebral oksijenizasyonda meydana gelen değişimler ve revizyon cerrahisinin bazal değerleri kayıt edilemedi.

Halihazırda perfüzyonda olan hastayı RSP'ye hazırlamak amacı ile öncelikle hasta 28°C'ye kadar soğutuldu. Kros klemp yerleştirildi ve soğuk kardiyopleji verilerek kalp diyastolde durduruldu. Single stage venöz kanül (CalMed Venous Return Catheter, Right Angle, 32 Fr 3/8") ile süperior vena kava kanüle edilerek arter hattı bu kanüle bağlandı ve RSP başlandı. Mevcut olan santral arter kanülü üzerinden vent edilmeye devam edildi. Hipotermik RSP 40 mmHg basınç ve 400-600 mL dk⁻¹ aralığında tutulan akış ile yaklaşık olarak 20 dakika uygulandı. Hipotermik RSP'ye ek olarak baş çevresi de buz paketleri ile sarılarak başın lokal olarak soğutulması sağlandı. Bu aşamada pupiller takip edildi, fiks ve dilate oldukları görüldü. Hipoksiyi önlemek ve difüzyon gradienti oluşturmak amacı ile inspire edilen oksijen yüzdesi (FiO₂) % 100 olarak ayarlandı (4). Başlangıçta yerleştirilememiş olan TÖE probu bu esnada derhal yerleştirildi ve alın derisi temizlendikten sonra NIRS sensörleri bilateral frontal alana kaş çizgisinin 2 cm yukarısına hemen bispektral indeks (BIS) sensörünün üzerine yerleştirilerek monitörize edildi. Ancak revizyon cerrahisinin bazal değerleri kaydedilememiş olduğu için alınan ölçümler (R:38 L:37) anlamlı olarak değerlendirilememesine rağmen, iki taraf arasında belirgin farklılık olmadığı görüldü. Rutin kardiyak cerrahi anestezi uygulamalarımızda serebral NIRS ölçümleri anestezi öncesi (T₀), indüksiyondan 5 dk sonra (T₁), kanülasyondan 5 dk sonra (T₂), KPB'nin 5. dakikasında (T₃), kros klemp kaldırıldıktan sonra (T₄), KPB'den çıkıldıktan 5 dk sonra (T₅) ve yoğun bakıma transporttan hemen önce (T₆) kayıt altına alınır. Bu hastamızın elektif gerçekleştirilen ilk cerrahisinde NIRS ölçümleri bahsedildiği şekilde kaydedilmiştir. Revizyon cerrahisinden ve elektif cerrahisinden alınan NIRS, ortalama arter basıncı (OAB) ve BIS değerleri Tablo I'de gösterilmiştir.

Retrograd serebral perfüzyon başladıktan hemen sonra, nöroprotektif etkilerinden faydalanmak için inhalasyon ajan kullanımımıza ek olarak 30 mg kg⁻¹ metilprednizon, 1,5 mg kg⁻¹

lidokain, 2 mg kg⁻¹ propofol ve 2 gr magnezyum sülfat uygulandı (5). Retrograd serebral perfüzyon sırasında sağ juguler venöz yol medikasyon için kullanılmadı ve SVB ölçümleri yapılmadı, tüm medikasyonlar venöz rezervuara direk uygulandı. Retrograd serebral perfüzyon esnasında hastaya toplam 2 ünite eritrosit süspansiyonu ve 1 ünite taze donmuş plazma replasmanı yapıldı.

Hava kabarcıklarının RSP ile uzaklaştırıldığını, aortadan gelen kanda hiç hava kabarcığı olmadığını ve TÖE'de sol sistemde hava kabarcığı bulunmadığını doğrulandıktan sonra, anterograd KPB yeniden başlatılarak sıcak kan kardiyopleji tekrarlandı. Hastamızın biküspit aort kapağa bağlı mevcut olan aort kapak darlığı nedeniyle sol ventrikül kas kitlesi hipertrofik idi. Kanama ve sebep olduğu hipotansiyon nedeniyle hipertrofik olan kas kitlesi yeterli perfüze olamadığı için hastamızda tedaviye dirençli ventriküler fibrilasyon gelişmesi nedeniyle acilen KPB'ye girilmesi kararı aldı. Optimal şartlar sağlandıktan sonra kanama odağı araştırıldığında kanamanın greft posteriorunda sütur hatlarından sızma şeklinde olduğu görüldü ve kanama kontrolü sağlanarak onarım tamamlandı. Tamamlanan cerrahi işlem sonrası sıcaklık gradienti 5°C tutularak 20 dakika içerisinde yavaş yavaş 36°C'ye ısıtıldı ve uygun koşulların sağlanmasını takiben aortik kros klemp kaldırıldı, kalp sorunsuz çalıştı. Hastaya bu sırada dopamin 10 µg kg⁻¹ dk⁻¹ infüzyonu başlandı. Hasta kolaylıkla KPB'dan ayrıldı. Aortik kros klemp ve KPB süreleri sırasıyla 22 ve 120 dakika olarak kaydedildi. İntraoperatif dönemde elde edilen arteriyel kan gazı analiz sonuçları Tablo II'de gösterilmiştir.

Hasta postoperatif dönemde yoğun bakımımıza alındı, ısıtıldı, akut postoperatif dönemde mekanik ventilatörde %100 FiO₂ ile takip edildi. İntraoperatif ve postoperatif dönemde OAB'nin 60 mmHg altına düşmemesine ve kan şekerinin 180 mg dL⁻¹ üzerine çıkmamasına özen gösterildi (5). Sık aralıklarla arteriyel kan gazı alınarak normoglisemi ve hematokrit düzeyinin %25 üzerinde kalması yakın takip edildi. Nörolojik durumu değerlendirilebilmek için sedatif ajanlar kesildi. Postoperatif dönemde hemodinamik açıdan stabil olmadığı için beyin manyetik rezonans (MR) ve bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülemeleri yapılamadı. Postoperatif 4. saatte pupilleri izokorik, direkt ve indirekt ışık refleksi normoaktif olan hastanın Glasgow koma skoru 8 (Göz:3 Motor:4 Sözel:1) olarak değerlendirildi. Bilinçli sedasyon sağlayabilmek ve nöroprotektif etkisinden faydalanmak için hastaya önerilen doz aralığında (0,2- 0,7 µg kg⁻¹ saat⁻¹) deksmedetomidin infüzyonu başlandı (5). Postoperatif 12. saatte 4 ekstremitede anlamlı hareketleri görüldükten sonra, mekanik ventilatör desteği ve sedasyonu kademeli olarak azaltıldı ve 18. saatte hasta elektif şartlarda ekstübe edildi.

Hastanın elektif şartlarda yapılan kranial MR ve BT görüntülemelerinde lokalize değişiklik saptanmadı. Nöroloji tarafından

Tablo I. Elektif ve Revizyon Cerrahisinde Elde Edilen Near-İnfrared Spektroskopisi, Ortalama Arter Basıncı ve Bispectral İndeks Ölçüm Sonuçları

	Elektif Cerrahi				Acil Revizyon Cerrahisi			
	OAB	NIRS		BIS	OAB	NIRS		BIS
		R	L			R	L	
T ₀	70	65	63	100	41	-	-	-
T ₁	68	67	64	44	50	38	37	-
T ₂	65	61	59	47	59	45	43	40
T ₃	64	59	60	48	64	60	62	34
T ₄	66	62	61	45	67	62	64	40
T ₅	64	63	65	43	66	61	60	43
T ₆	69	68	66	47	65	65	67	44

OAB: Ortalama arter basıncı, NIRS: Near-infrared spektroskopisi, BIS: Bispektral indeks, R: Sağ, L: Sol

Tablo II. İntraoperatif Dönemde Elde Edilen Arteriyel Kan Gazı Analizi Verileri

	Revizyon Cerrahi Girişi	RSP Öncesi	RSP Sonrası	Cerrahi Bitimi
Isı	36	28	35	36
pH	7,21	7,21	7,24	7,40
pO ₂	119	444	497	152
pCO ₂	42,1	45,3	45,2	36,1
Hb	9,1	6,0	9,6	10,5
Hct	%27,6	%19	%29,7	%32,5
Glu	95	153	172	125
Lac	6,8	9,3	8,3	4,5
HCO ₃	19,5	17,2	16,5	22,9
SpO ₂	99,0	99,2	99,2	98,5
FiO ₂	%80	%100	%80	%60

RSP: Retrograd serebral perfüzyon, pO₂: Parsiyel oksijen basıncı, pCO₂: Parsiyel karbondioksit basıncı, Hg: Hemogloblin, HCT: Hematokrit, Glu: Glukoz, Lac: Laktat, HCO₃: Bikarbonat, SpO₂: Oksijen satürasyonu, FiO₂: İnspire edilen oksijen yüzdesi.

yapılan muayenesi normal olarak değerlendirildi. Hasta postoperatif 30. saatte mobilize edildi, 3. günde yoğun bakımdan 1. haftada ise hastaneden taburcu edildi. Taburculuktan sonraki 1. ay kontrolünde hasta poliklinikte değerlendirildi ve herhangi bir sekel olmadığı gözlemlendi.

TARTIŞMA

Arteriyel gaz embolileri kardiyak cerrahinin nadir ancak önemli morbidite ve mortalite sebebi olduğu için korkulan bir

komplikasyonudur. Literatürde masif gaz embolisinin insidansı %0,1 - 0,2 olarak belirtilmiştir (6,7). Arteriyel gaz embolisi geçmişten günümüze hâlen tartışılmakta olan bir konudur. Masif gaz embolisini kesin olarak önleyecek bir teknoloji olmamasına rağmen, kapalı venöz rezervuarların, membran oksijenatörlerin, hava kabarcık dedektörlerin, sentrifugal pompaların ve arteriyel hat filtrelerinin kullanılması bu komplikasyonun görülme ihtimalini azaltacaktır. Kardiyo pulmoner bypass sırasında meydana gelen masif arteriyel gaz embolizminin en yaygın nedenleri sırasıyla rezervuardaki kan seviyesindeki ani düşüşün fark edilmemesi, pompa hattının ters yönde bağlanması ya da roller pompanın ters yönde çalışması ve kalp atımının beklenmeyen bir zamanda tekrar başlaması olarak belirtilmektedir (1). Olgumuzda ise pompa ile alakalı herhangi mekanik bir problem olmamasına rağmen hemiar-kus replasmanı yapılmış hastada acil şartlarda gerçekleştirilen kanülasyon işlemi esnasında grefte yerleştirilen kanülün hava almasından kaynaklanmaktaydı. Arteriyel gaz embolisinin tespit edildiği anda yapılması gereken ilk müdahale hastanın trendelenburg pozisyonuna alınması, karotis basısı yapılması ve ekstrakorporeal dolaşımın kesilerek RSP başlanması olarak önerilmektedir (1). Olgumuzda da anesteziistin kanüldeki havayı görür görmez gerçekleştirdiği derin trendelenburg pozisyonu ve karotis basısının hastanın sekelsiz taburcu olmasında rol oynayan en kritik adım olduğunu düşünmekteyiz.

Hipotermi serebral oksijen tüketimini azaltarak metabolizmayı koruyup, beyin ödemi azalttığı ve hatta serebral gaz embolisi gibi durumlarda kanda ve dokularda gaz çözünürlüğünü artırdığı öne sürülerek, masif serebral gaz embolisi durumunda RSP esnasında hastanın hipotermik takip edilmesi önerilmektedir (8,9). Biz de olgumuzda zaman kaybetmeden RSP'ye başladık, hastayı 28°C'ye kadar soğuttuk ve baş çevresini buz paketleri ile sararak lokal hipotermiyi destekledik.

Kardiyak cerrahi esnasında gerçekleştirilen hipotermi ve KPB, diğer cerrahi prosedürlerden farklı olarak diyabetik olmayan hastalarda bile kan şekerinin yükselmesine sebep olmaktadır (10). Kan şekeri yüksekliği çok çeşitli ve karmaşık yollar aracılığı ile serebral hasara neden olmaktadır. Hipergliseminin reaktif oksijen radikallerinin üretimini artırarak nöronal hasara yol açtığı serebral hasar mekanizmalarından yalnızca biri olduğu düşünülmektedir (11).

Kardiyak cerrahi esnasında nöroproteksiyon stratejileri farmakolojik ve nonfarmakolojik stratejiler olarak iki grupta incelenmektedir. Nonfarmakolojik stratejiler; hipotermi ve normoglisemiye ek olarak hematokritin %25, OAB'nin da 60mmHg üzerinde tutulması, pompa akış hızı ve antikoagülasyonun sağlanması, serebral oksimetre monitörizasyonunun bazal değerinin %20'si içerisinde tutulması, BIS değerinin yaklaşık %45, pCO₂'nin 35-45 mmHg aralığında tutulurken FiO₂'nin titre edilerek hiperoksiden kaçınılması kardiyak cerrahide nöroproteksiyon için özellikle dikkat edilmesi gereken diğer faktörlerdir. Olgumuzda sık aralıklarla kan gazı takibi yaparak bu parametrelerin optimal düzeyde tutulmasını sağladık.

Nöroprotektif farmakolojik stratejiler için ise literatürde hâlen bir konsensus bulunmamaktadır. Geçmiş yıllarda barbitüratlar nöroprotektif stratejilerde sıklıkla uygulanmakta idi. Günümüzde ise azalmış serebral kan akışı, sistemik immünsupresyon ve artmış enfeksiyon riski gibi kanıtlanmış olan etkileri barbitüratların etkili nöroprotektan ajanlar olmadığını düşündürmektedir (5). İnhalasyon ajanlarının çeşitli mekanizmalar aracılığı ile nöroproteksiyon sağlayabileceği tartışılmakla birlikte hangi volatil ajanın daha etkili olduğu ve kullanılması gereken optimal doz konusunda bir fikir birliğine varılamamıştır (5). Klinik pratiğimizde tüm hastalarımıza ekstrakorporeal dolaşım esnasında akciğerler kapalı olduğu dönem dahil olmak üzere KPB makinasına entegre edilen vaporizatörler sayesinde operasyon süresi boyunca 1 minimum alveoler konsantrasyon sevofluran idamesini devam ettiriyoruz. Nöroproteksiyon için inhalasyon ajanlarına ek olarak propofol, MgSO₄, lidokain, deksmedetomidin ve ketamin kullanımı umut vadeden farmakolojik ajanlar olduğu tartışılmaktadır (5).

Kortikosteroid kullanımının KPB esnasında proinflamatuvar mediatörleri, iskemi-reperfüzyon hasarını azalttığını, hipotermiden tekrar ısınma süresinde meydana gelen hasarının neden olacağı sitotoksiteyi engelleyerek postoperatif kognitif disfonksiyon insidansını azalttığına dair olan kanıtlar ve nedeniyle nöroprotektif amaçlarla klinik pratikte sıklıkla tercih edilmektedir (6,12). Ancak beraberinde hiperglisemiye de sebep olmaktadır ve hipergliseminin iskemik nörolojik hasarı şiddetlendirebileceği nedeniyle kullanımı hâlen tartışılmalara sebep olmaktadır (13). Hastamıza literatür bilgisi ile uyumlu şekilde 30 mg kg⁻¹ metilprednizon uygulamasını yaptık (5). Yakın kan glisemi takibi yaparak da hipergliseminin sebep olabileceği olumsuz etkileri engelledik ancak kortikosteroidlerin

nöroprotektif etkilerinin hâlen tartışılmalı olduğunu ve etkilerinin değerlendirilmesi için ileri çalışmalar gerektiğini göz önünde bulundurmak gerektiğini düşünmekteyiz.

Postoperatif dönemde ise nöroproteksiyon stratejimizdeki komorbidite faktörleri yönetimine, hipoksemiden kaçınmaya, kan basıncı ve kan şekeri kontrolünü sağlamaya ek olarak erken ekstübasyon, erken enteral beslenme ve erken mobilizasyonun da önemli olduğunu vurgulamak gerekmektedir.

Klinik ve deneysel çalışmalar arteriyel gaz embolisi durumlarında mümkün olan en erken dönemde HBOT geçilmesini önermektedir (14,15). Hiperbarik oksijen tedavisi, sistemik hiperoksi ve yüksek basınç sayesinde hava kabarcıklarının çözünmesini kolaylaştırdığı için günümüzde arteriyel hava embolisi için ilk basamak tedavi olarak tercih edilmektedir (4,15). Ancak hastalar HBOT odasına özel bir mekanik ventilatör desteğinde ve sadece EKG, non-invaziv kan basıncı, oksijen doygunluğu monitörizasyonu ile alınabilmektedir (2). Aynı zamanda perfüzörler HBOT cihazına uyumlu olmadığı ve invaziv monitörizasyon takibi yapılamayacağı sınırlamaları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kısıtlamalara ek olarak yüksek atmosfer basıncının hastada sebep olacağı hemodinamik değişimler kardiyak cerrahi geçirmiş bir hastanın takibini oldukça zorlaştırmaktadır. Hastanemizde HBOT uygulamak için ilgili ekip ve ekipman hastamız için hazırlanmış olmasına rağmen; inotropik destek altında kardiyovasküler açıdan stabil durumda olmayan hastaya ameliyat gecesi HBOT yapılmadı.

Arteriyel hava embolisi tespit edildiği anda anesteziistin yapacağı derin trendelenburg pozisyonu ve karotis basısı klinik seyri etkileyebilecek en erken ve en kolay önlemdir. Olgumuzda da yaşandığı gibi yalnızca monitörün değil cerrahi alanın da vaka boyunca bizzat takip edilmesi yaşanabilecek benzeri komplikasyonlarda ilk ve erken müdahalenin yapılması için çok önem taşımaktadır.

İlerleyen yıllarda intraoperatif dönemde transkranyal doppler kullanımının rutin klinik pratikte yaygınlaşması ile yaşanabilecek benzeri durumlarda katastrofik sonuçları önlemede yol gösterici olabileceğini düşünmekteyiz. Benzer vakalarda hastalara kardiyoloji, kalp damar cerrahisi, nöroloji ve anesteziyoloji tarafından multidisipliner yaklaşımın nörolojik hasarı belirleyip engellemek için oldukça önem taşıdığını vurgulamak gereklidir.

Kardiyak cerrahi esnasında mevcut farmakolojik nöroproteksiyon önerileri sıklıkla hayvan çalışmalarına dayanan zayıf kanıtlardan oluşmakta olduğu için evrenselleşmiş bir strateji hâlen bulunmamaktadır (5,16,17). Farklı nöroprotektif yöntemlerin etkilerini değerlendirebilmek için çok merkezli ileri randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

YAZAR KATKILARI**Çalışmanın fikri veya tasarımı:** NÖY, VY**Veri toplama:** NÖY**Veri analizi ve yorumlama:** NÖY, VY**Makalenin taslağının hazırlanması:** NÖY, AKY**Makalenin kritik revizyonu:** AKY

Yazarlar (NÖY, AKY, VY) sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son hâlini onaylamıştır.

KAYNAKLAR

- Mills NL, Ochsner JL. Massive air embolism during cardiopulmonary bypass. Causes, prevention, and management. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1980;80(5):708-17.
- Guy TS, Kelly MP, Cason B, Tseng E. Retrograde cerebral perfusion and delayed hyperbaric oxygen for massive air embolism during cardiac surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2009;8(3):382-3.
- Huber S, Rigler B, Mächler HE, Metzler H, Smolle-Jüttner FM. Successful treatment of massive arterial air embolism during open heart surgery. *Ann Thorac Surg* 2000;69(3):931-3.
- Muth CM, Shank ES. Gas embolism. *N Engl J Med* 2000;342(7):476-82.
- Motshabi-Chakane P, Mogane P, Moutlana J, et al. Contemporary neuroprotection strategies during cardiac surgery: State of the art review. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(23):12747.
- Quintero OL, Giraldo JC, Sandoval NF. Successful management of massive air embolism during cardiopulmonary bypass using multimodal neuroprotection strategies. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2019;23(3):324-32.
- Sahu MK, Ingole PR, Bisoi AK, Venugopal P. Successful management of a case of massive air embolism from cardiopulmonary bypass with retrograde cerebral perfusion in a child. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2006;20(1):80-1.
- Utlely JR. Techniques for avoiding neurologic injury during adult cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1996;10(1):38-43; quiz 43-44.
- Ugur Ozbek OB. Kalp cerrahisinde anestezi. İçinde: Mustafa Pac AA, Serap Aykut Aka, Suat Buket, Tayyar Sarioglu, editor. Kalp ve damar cerrahisi PAÇ. Ankara: Medical Network Nobel Kitapevi, 2013;31-2.
- Hogue CW, Gottesman RF, Stearns J. Mechanisms of cerebral injury from cardiac surgery. *Crit Care Clin* 2008;24(1):83-98.
- Salameh A, Dhein S, Dähnert I, Klein N. Neuroprotective strategies during cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Int J Mol Sci* 2016;17(11):1945.
- Glumac S, Kardum G, Sodic L, Supe-Domic D, Karanovic N. Effects of dexamethasone on early cognitive decline after cardiac surgery: A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol* 2017;34(11):776-84.
- Lanier WL. The prevention and treatment of cerebral ischemia. *Can J Anaesth* 1999;46(5 Pt 2):R46-56.
- Meijne NG, Schoemaker G, Bulterijs AB. The treatment of cerebral gas embolism in a high pressure chamber. An experimental study. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 1963;4:757-63.
- Ziser A, Adir Y, Lavon H, Shupak A. Hyperbaric oxygen therapy for massive arterial air embolism during cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999;117(4):818-21.
- Cheng J, Zhu P, Qin H, ve ark. Dexmedetomidine attenuates cerebral ischemia/reperfusion injury in neonatal rats by inhibiting TLR4 signaling. *J Int Med Res* 2018;46(7):2925-32.
- Linardi D, Mani R, Murari A, ve ark. Nitric oxide in selective cerebral perfusion could enhance neuroprotection during aortic arch surgery. *Front Cardiovasc Med* 2021;8:772065.