

KARDİYOPULMONER BYPASS İLE AÇIK KALP CERRAHİSİ UYGULANAN HASTALARDA HİPOTERMİ VE NORMOTERMINİN; HEMOGLOBİN VE SEREBRAL NEAR-İNFRARED SPEKTROSKOPİ ÜZERİNE ETKİSİ

Hypothermy and Normothermia in Patients With Open Heart Surgery With Cardiopulmonary Bypass; Hemoglobin and Effect on Cerebral Near-Infrared Spectroscopy

Esra DAŞDEMİR¹, Timuçin AKSU², Halil TÜRKOĞLU³

ÖZET

Amaç: Açık kalp cerrahisi uygulamalarında dokularda oluşabilecek oksijenasyon sorunları postoperatif dönemde morbidite ve mortaliteye neden olabilir. Doku oksijenlenmesi NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) cihazıyla takip edilmektedir. Çalışmamızda; kardiyopulmoner bypass (KPB) ile açık kalp cerrahisi uygulanan hastalarda normotermik ve hipotermik bypass yöntemlerinin hemoglobin ve serebral NIRS üzerine etkilerini araştırmayı amaçladık.

Gereç ve Yöntemler: Açık kalp cerrahisi uygulanan 40 erişkin koroner arter hastası çalışmaya dahil edilmiştir. Hipotermi uygulanan 20 hasta (Grup1) ve normotermi uygulanan 20 hasta (Grup2) olarak iki gruba ayrılmıştır. Çalışmaya dahil edilen hastalar için kan gazı örneği ve serebral NIRS takibi pompa öncesi, intraoperatif P1 (KPB giriş), intraoperatif P2 (çapraz klemp), intraoperatif P3 (çapraz klemp sonrası), pompa sonrası 24. saatte olmak üzere incelenmiştir.

Bulgular: Çalışmamızda gruplara göre pompa öncesi, P2, P3 ve pompa sonrası NIRS değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık yoktu ($p > 0,05$). Gruplara göre P1 NIRS değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edildi ($p = 0,044$).

Sonuç: Elde ettiğimiz veriler doğrultusunda KPB' da uygulanan hipotermi ve normotermimin değişkenler üzerinde farklı etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hemoglobin; Hipotermi; Kardiyopulmoner BYPASS; Normotermi; Serebral NIRS

ABSTRACT

Objective: Oxygenation problems that may occur in tissues in open heart surgery applications may cause morbidity and mortality in the postoperative period. Tissue oxygenation is monitored with NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) device. We aimed to investigate the effects of normothermic and hypothermic bypass methods on hemoglobin and cerebral NIRS in patients undergoing open heart surgery with CPB.

Material and Methods: Forty adult coronary artery patients who underwent open heart surgery were grouped as $n=20$ who underwent hypothermia (group1), and $n=20$ with normothermia (group2). Blood gas sampling and cerebral NIRS monitoring were examined as preoperative, intraoperative P1 (KPB entry), intraoperative P2 (cross-clamp), intraoperative P3 (post-cross-clamp), the postoperative 24th hour.

Results: In our study, there was no statistically significant difference between the groups in terms of pre-pump, P2, P3 and post-pump NIRS values ($p > 0.05$). A statistically significant difference was found between the groups in terms of P1 NIRS values ($p = 0.044$).

Conclusion: In line with the data we obtained, it was determined that hypothermia and normothermia applied in CPB had different effects on the variables.

Keywords: Hemoglobin; Hypothermia; Cardiopulmonary BYPASS; Normothermia; Cerebral NIRS

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi, Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, Perfüzyon Birimi, İstanbul, Türkiye

²Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi, Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

³Medipol Üniversitesi Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

Esra DAŞDEMİR, Dr.
(0000-0002-4827-3476)

Timuçin AKSU, Dr.
(0000-0002-7958-9959)

Halil TÜRKOĞLU, Dr.
(0000-0003-4856-0974)

İletişim:

Dr. Timuçin AKSU
Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Mehmet Akif Ersoy Göğüs Kalp ve Damar Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

Geliş tarihi/Received: 19.02.2022

Kabul tarihi/Accepted: 18.08.2022

DOI: 10.16919/bozoktip.1076139

Bozok Tıp Derg 2022;12(3):85-90

Bozok Med J 2022;12(3):85-90

GİRİŞ

Kardiyopulmoner bypass (KPB), kalbin pompa görevini ve akciğerlerin gaz alışverişi fonksiyonlarının kısa süreliğine devre dışı bırakıldığı ve dolaşımın kalp-akciğer makinesi denilen cihazla gerçekleştirildiği işlemdir (1). Kalp cerrahisinin başladığı ilk yıllarda yapılan birçok açık kalp ameliyatı, atan kalp üzerinde gerçekleştirilmiştir. Fakat yapılan çalışmalar sonucu KPB ve kardiyopleji teknikleri geliştirilmiş ve artık çoğu koroner bypass kalp-akciğer makinesi aracılığıyla gerçekleştirilmektedir (2).

KPB sonucu oluşan komplikasyonların önlenmesi, ancak erken dönemde oluşabilecek komplikasyonların öngörülmesi ve tanınmasıyla mümkün olmaktadır. KPB'ye bağlı komplikasyonların temelindeki en önemli nedenlerden biri doku oksijenasyonunda meydana gelen değişiklikler olduğu için, KPB sırasındaki doku oksijenasyonunun takibi ve kontrolünün son derece önemli olduğu anlaşılmaktadır (3).

KPB'de beyin, böbrek, karaciğer gibi organlarda oluşan iskemik değişiklikler, postoperatif dönemde morbidite ve mortalitenin önemli nedenidir. KPB sırasında; standart monitör ile görülen oksijen satürasyonu ve ortalama arter basıncı gibi parametrelerin doku oksijenasyonunu tespit etmek için her zaman yeterli olmayacağı bilinmektedir (4). KPB'de rejyonal serebral oksijen satürasyonu (rSO²) takibi; ortaya çıkabilecek nörolojik hasarları, organ disfonksiyonlarını, mortalite ve morbiditeyi en aza indirmek ve önlemek için oldukça önemlidir. NIRS, KPB'de tercih edilen ve rSO² ölçmek için kullanılan non-invaziv bir yöntemdir.

Bigelow ve Shumway KPB'de hipotermiyi ilk kez gündeme getirmişlerdir. Yapılan çalışmaların sonucunda hipotermi miyokardiyal korumada önemli rol üstlenmiştir (5). Fakat hipoterminin sağladığı yararların yanında zararlı etkilerinin de varlığı bilinmektedir.

Açık kalp ameliyatı sonrası gelişebilecek komplikasyonlar için farklı önlemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında sıkça başvurulan yöntemlerden bir tanesi de hipotermi uygulamasıdır. Aynı şekilde hemoglobin ve rSO² takibi de operasyon esnasında önemli bilgi sağlar. Bu çalışmada; KPB ile koroner bypass ameliyatı yapılan hastalarda kardiyak koruma yöntemlerinin hemoglobin ve rSO² üzerine etkilerini araştırdık.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Hastanemizde Ocak 2019- Haziran 2019 tarihleri arasında retrospektif olarak açık kalp ameliyatı tekniği ile koroner arter bypass ameliyatı yapılan 40 erişkin hasta çalışmaya dahil edildi. Hastalar, hipotermik (n=20) ve normotermik (n=20) olmak üzere 2 gruba ayrıldı. KPB sırasında hastalar vücut ısısına göre iki gruba ayrıldı: Normotermik grup: Vücut ısısı 34-36°C olarak takip edilen hastalar (Grup 1), Hipotermik grup: Vücut ısısı 28-30°C olarak takip edilen hastalar ise (Grup 2)

Çalışmanın etik kurul onayı hastanemiz Klinik Araştırmalar Merkezi'nden 18.06.2019 tarih ve 2019/33 sayı numarası ile alındı. Çalışmaya dahil edilen hastalardan yazılı onam alındı.

Çalışmaya alınan hastaların yaş, cinsiyet, vücut kitle indeksi (VKİ), vücut yüzey alanı (VYA), koroner bypass greft sayısı (CABGX), pompa süresi, çapraz klemp süresi, ejeksiyon fraksiyonu (EF), operasyon öncesi kreatinin, glomerüler filtrasyon hızı (GFH), pompa idrar miktarı, ekstübasyon ve yoğun bakım yatış süreleri retrospektif olarak hasta dosyalarından alındı. İki grup bu değişkenler açısından karşılaştırıldı.

Hastaların pompa öncesi, P1 (KPB giriş), P2 (çapraz klemp), P3 (çapraz klemp sonrası), pompa sonrası 24. saat olmak kaydı ile 5 farklı serebral NIRS değeri ve hemoglobin değerleri iki grup arasında karşılaştırıldı. Hastaların çalışmaya dahil edilme kriterleri; KPB ile koroner arter bypass cerrahisi yapılan erişkin hastalar, ilk defa opere olmuş olan hastalar, aortik çapraz klemp süresi 90 dakika ve altı olan hastalar, EF değeri %50 ve üzeri olan hastalar, karotis darlığı olmayan hastalar, bilinen herhangi bir hastalığı olmayan hastalar, herhangi bir kanama problemi olmayan hastalar ve elektif şartlarda alınan hastalar retrospektif ve randomize olarak seçilmiştir. Belirtilen durumlar dışındaki tüm hastalar çalışma dışı bırakılmıştır.

Araştırma verileri, SPSS v24.0 (IBM Corp. Released 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0. Armonk, NY: IBM Corp.) programı ile analiz edilmiştir. Tanımlayıcı istatistik ölçümler için veriler, ortalama \pm SD ve ortanca (alt ve üst sınır) şeklinde verildi. Öncelikle gruplardaki değişkenlerin dağılımı Shapiro-Wilk testi yapılarak dağılımın normal olup olmadığı değerlendirildi. Normal dağılım gösteren değişkenlerin gruplar arası karşılaştırmalarında T-testi, normal

dağılım göstermeyen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırmalarında Mann-Whitney U testi kullanıldı. Niteliksel verilerin karşılaştırılmasında ise ki-kare testi kullanıldı. Tüm istatistiksel analizlerde $p < 0,05$ anlamlı kabul edildi.

BULGULAR

Hipotermi ve normotermi grupları arasında yaş, cinsiyet, VKİ, VYA, koroner bypass greft sayısı, pompa süresi, çapraz klemp süresi, EF, operasyon öncesi kreatinin ve GFH, ekstübasyon süresi ve yoğun bakım yatış süresi açısından istatistiksel anlamlı fark tespit edilmedi ($p > 0,05$) (Tablo 1).

Gruplara göre pompa öncesi, P2, P3 ve pompa sonrası 24.saat NIRS değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık yoktu ($p > 0,05$). Hipotermik gruptaki hastaların P1 NIRS değerleri, normotermik gruptaki hastalara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksekti ($p = 0,044$) (Tablo 2).

TARTIŞMA

Hipoterminin, serebral fonksiyonlar üzerindeki koruyucu etkisi farklı çalışmalarda vurgulanmaktadır. Hipotermide metabolizma hızı azaldığından beyin oksijeni daha verimli kullandığı bilinmektedir. Ancak koruyucu etkisinin yanında serebral hasarlanmaya

Tablo 1. Gruplar arası genel değişkenlerin karşılaştırılması

	Hipotermi grubu n=20	Normotermi grubu n=20	p
Yaş (yıl) ortalama± SD (min-max)	58,0±7,9 (43,0-73,0)	58,0±9,5 (44,0-75,0)	1,000
Cinsiyet K/E	1/19	3/17	0,292
Vücut kitle indeksi (kg/m ²) ortalama± SD (min-max)	29,6±4,3 (19,4-37,0)	27,5±2,6 (20,9-30,7)	0,066
Vücut yüzey alanı ortalama± SD (min-max)	1,9±0,2 (1,6-2,4)	1,9±0,2 (1,6-2,2)	0,488
Koroner bypass greft sayısı ortanca (25-75. persentiller)	3 (2-3)	3 (3-3)	0,198
Pompa süresi (dk) ortalama± SD (min-max)	86,6±13,5 (63,0-110,0)	82,4±20,2 (40,0-120,0)	0,450
Çapraz klemp süresi (dk) ortalama± SD (min-max)	44,9±10,6 (32,0-68,0)	46,8±15,0 (26,0-81,0)	0,638
Ejeksiyon fraksiyonu (%) ortanca (25-75. persentiller)	60,0 (53,0-63,0)	60,0 (53,0-60,0)	0,608
Operasyon öncesi kreatinin (mg/dl) ortanca (25-75. persentiller)	0,9 (0,8-1,0)	0,9 (0,8-1,0)	0,766
Glomerüler filtrasyon hızı (ml/dk/1,73 m ²) ortalama± SD (min-max)	88,6±18,5 (38,0-117,3)	89,0±12,4 (62,9-107,0)	0,941
Pompa idrar miktarı (ml) ortanca (25-75. persentiller)	425,0 (300,0-525,0)	400,0 (275,0-475,0)	0,454
Entübasyon süresi (saat) ortalama± SD (min-max)	12,2±4,1 (6,0-20,0)	12,4±3,9 (7,0-20,0)	0,875
Yoğun bakım yatış süresi (saat) ortanca (25-75. persentiller)	24,0 (24,0-24,0)	24,0 (24,0-24,0)	0,877

sd: standart deviasyon, min: minimum, max: maximum, K: Kadın, E: Erkek, kg: kilogram, m²: metrekare, dk: dakika, mg: miligram, dl: desilitre, ml: mililitre

Tablo 2. Gruplar arası NIRS değerlerinin karşılaştırılması

	Hipotermi grubu n=20	Normotermi grubu n=20	p
NIRS pompa öncesi ortalama± SD (min-max)	71,5±7,6 (60,0-87,0)	70,5±10,7 (49,0-95,0)	0,735
NIRS P1 ortalama± SD (min-max)	71,1±7,2 (56,0-87,0)	65,0±10,9 (47,0-95,0)	0,044
NIRS P2 ortanca (min-max)	66,0 (62,0-69,0)	63,0 (55,5-69,0)	0,266
NIRS P3 ortanca (min-max)	63,5 (59,5-68,0)	69,5 (58,0-74,0)	0,180
NIRS pompa sonrası 24.saat ortalama± SD (min-max)	71,2±6,5 (56,0-80,0)	71,8±11,4 (50,0-95,0)	0,853

NIRS: Near-Infrared Spektroskopi, sd: standart deviasyon, min: minimum, max: maximum

neden olduğunu savunan araştırmalar da bulunmaktadır. Yine ısınma esnasında metabolizmanın hızlanması ve oksijen sunumunun yeterli olmaması beyinde oluşabilecek hasarın en önemli nedeni olduğu birçok çalışmada vurgulanmıştır (6,7).

Açık kalp cerrahisinde kullanılan standart monitörizasyonun doku oksijenlenmesini göstermede yeterli olmadığı bilinmektedir (4,8).

KPB'de hipotermi sağlandığında trombosit fonksiyonlarında bozulma ile pıhtılaşma bozuklukları meydana gelmekte ve ameliyat esnasında genellikle etkisi görülmektedir. 1994 yılında yapılan bir çalışmada, KPB esnasında meydana gelen hemolizin, vakum aletlerinden ve perfüzyon sürecinden de etkilendiğini vurgulamışlardır (9). Trombosit faktörünün yanında özellikle KPB'de eritrosit morfolojisi ve deformasyonu ile ilgili pek çok yayın vardır. Bu yayınlarda üzerinde durulan önemli noktalar; ekstrakorporeal dolaşımın eritrosit yapısını etkilediği, yabancı yüzeye temas ve çeşitli faktörler ile eritrosit yıkımının arttığı, yine ısı değişiminin de bu faktörlerin tamamını etkilediğidir. Vercaemst ve ark. ısı değişimi ile ilgili yaptıkları çalışmada, düşük ıslarda eritrosit yapısının bozulduğu, bunda eritrosit adenozin trifosfat (ATP) metabolizması ve eritrosit membran yapısında oluşan değişiklikler olduğu üzerinde durmuşlardır (10).

Smith ve ark. yaptıkları çalışmada, hemorajik şok riski yüksek olduğu düşünülen hastalarda NIRS'in transfüzyon ihtiyacı için bir gösterge olduğunu ve

rejyonel rSO₂'nin travma hastalarında erken kan transfüzyonu ihtiyacını belirlemede yol gösterici olabileceğini bildirmişlerdir (11). Lassnigg ve ark. KPB sırasında hemodilüzyon sonrası hemoglobin konsantrasyonu düşüşü ile NIRS değerlerindeki düşüşün birbiri ile ilişkili olduğunu çalışmalarında bulmuşlardır (12). Yine Soller ve ark. ise, kas dokusuna oksijen sunumunun azalmasının, hemodinamik verilerden daha önce NIRS ile tespit edildiğini belirtmişlerdir (13). KPB'de, hipotermi ve alkalozun hemoglobin yapısını değiştirdiği ve ölçümünün doku oksijenasyonu ile ilgili tek başına bilgi vermeyeceği bilinmektedir. NIRS, serebral hemoglobin oksijenasyonunu gösterebilecek non-invaziv bir yöntem olarak kullanılmaktadır. NIRS ile serebral dokuya oksijen ihtiyacı ile ilgili net bilgi verilebilmektedir (14,15).

Literatüre bakıldığında, hipotermi ve normoterminin serebral NIRS ve kan değerleri üzerine etkisini gösteren bir araştırmaya rastlamadık.

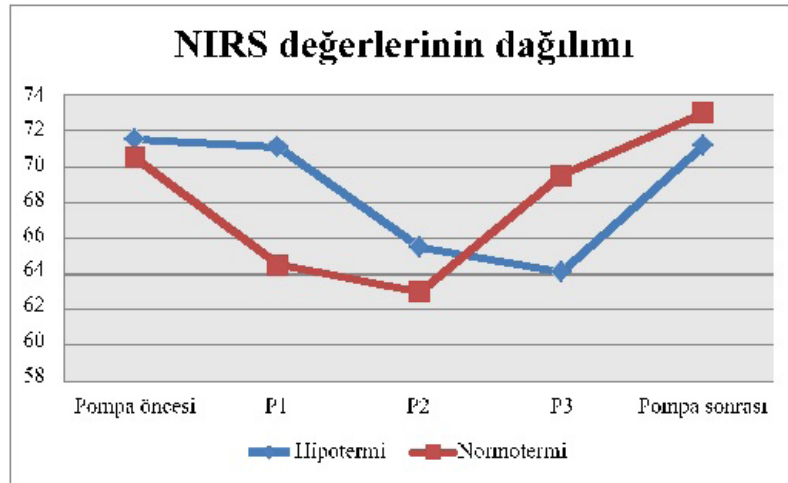
Yapılan çalışmalar neticesinde, NIRS değerlerinin birçok farklı değişkene bağlı olabileceği ancak takibinin yapılmasının son derece önemli olduğu görülmektedir. Bizim çalışmamızda gruplar arasında P1 NIRS değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edildi (p=0,044). Hipotermi olanların P1 NIRS değerleri, normotermi olanlara göre anlamlı düzeyde daha yüksekti. NIRS grafiği incelendiğinde, hipotermi grubunun çapraz klemp sonrası NIRS değerlerinin normoterme göre daha fazla düştüğü görüldü.

Bu yüksekliği serebral kan akımındaki artmadan değil, soğuma ile birlikte oksijenin serebral dokuya ulaşması ile ilişkilendirdik. Yeniden ısınma dönemine kadar hipotermide NIRS değerlerinin normotermiye göre yüksek seyretmesi bize hipotermimin serebral hasarlanmada daha koruyucu olduğunu düşündürdü. NIRS grafiği incelendiğinde, çapraz klemp sonrası (P2) ölçülen tüm NIRS değerlerinde normotermide hipotermiye göre daha yüksek seyretti (Şekil 1). Bu durumu, yeniden ısınma döneminin normotermide daha kısa olması ve metabolizmanın artmasıyla hipotermi grubunda oksijene olan ihtiyacın artmasına bağlayabiliriz.

Yaptığımız çalışmada gruplara göre tüm hemoglobin değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamadı ($p>0,05$) (Tablo 3).

SONUÇ

NIRS ile rejyonal rSO₂ monitörizasyonu kullanımı serebral hasarı önlemede non-invaziv, düşük maliyetli ve anlık bilgi veren bir yöntem olduğu için KPB öncesinde, KPB sonrasında ve yoğun bakım ünitesinde kullanılması oldukça önemlidir. Çalışmamızda KPB sürecinde farklı zamanlardaki NIRS değerlerini hipotermi ve normotermi uygulanan hasta grupları arasında karşılaştırdık ve hipotermik grupta sadece



Şekil 1. NIRS değerlerinin grafiksel dağılımı

Tablo 3. Gruplar arası hemoglobin değerlerinin karşılaştırılması

	Hipotermi grubu n=20	Normotermi grubu n=20	p
Hemoglobin Pompa öncesi ortanca (min-max)	12,8 (11,6-14,7)	14,3 (13,1-14,9)	0,107
Hemoglobin P1 ortalama± SD (min-max)	9,9±1,1 (7,8-12,1)	9,7±1,2 (7,3-11,7)	0,692
Hemoglobin P2 ortalama± SD (min-max)	9,7±1,2 (7,8-11,8)	9,7±1,2 (7,6-11,7)	0,980
Hemoglobin P3 ortalama± SD (min-max)	9,6±1,2 (7,7-11,4)	9,8±1,2 (7,4-11,5)	0,666
Hemoglobin Pompa sonrası 24.saat ortalama± SD (min-max)	10,0±1,3 (7,4-13,0)	10,2±1,1 (8,5-12,3)	0,603

min: minimum, max: maximum, sd: standart deviasyon

P1 NIRS değeri normotermik gruptan yüksek bulduk. Bu bulgu, hipotermide serebral dokuya oksijen sunumunun artmasını ve de hipotermimin serebral hasarı önlemedeki önemini gösterebilir. Bu alanda daha fazla sayıda hasta gruplarının olduğu çalışmalara ihtiyaç vardır.

TASDİK VE TEŞEKKÜR

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığı yazarlar tarafından bildirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Hessel EA II, Edmunds LH Jr. Extracorporeal Circulation: Perfusion Systems. In Cohn LH, Edmunds LH Jr, eds. Cardiac Surgery in the Adult. New York: Mc Graw-Hill, 2003. p. 317-38.
2. Bilal MS, Sarioğlu T. İskemik Miyokard injurisi ve intraoperatif Miyokard Korunmasına Genel Bir Bakış. Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahisi Dergisi. 1992;1:118-26.
3. Toraman F, Erkek E, Güçlü P, Sayın J, Arıtürk C, Ökten EM. ve ark. Near infrared spektroskopisi (NIRS) gerçekten doku saturasyonunu ölçüyor mu? Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi. 2013;4:115-7.
4. Pasch T, ve Zalunardo M. Intraoperatives Monitoring: Necessary, Meaningful Superfluous. Anaesthetist. 2000;49:2-6.
5. Shumway NE, Lower RR, Stofer RC: Selective hypothermia of the heart in anoxic cardiac arrest. Surg Gynecol Obstet. 1959;109:750.
6. Rastan AJ, Bittner HB, Gummert JF, Walther T, Schewick CV, Girdauskas E et al. On-pump beating heart versus off-pump coronary artery bypass surgery- evidence of pump-induced myocardial injury. Eur J Cardiothorac Surg 2005;27:1057- 64.
7. Akpek EA. Kalp Cerrahisinde Serebral Monitörizasyon. Anestezi Dergisi; 2008;16:117-24.
8. Shaw PJ, Bates D, Cartledge NE, French JM, Heaviside D, Julian DG, et al. An analysis of factors predisposing to neurological injury in patients undergoing coronary bypass operations. Q J Med. 1989;72(267): 633-46.
9. Barlas S, Tireli E, Tekinalp H, Dayıoğlu E, Barlas C. Açık kalp cerrahisinde kullanılan oksijenatör ve pompa tiplerinin kan tablosuna etkileri GKD Cer. Der. 1994;2:292-6.
10. Vercaemst Leen Hemolysis in cardiac surgery patients under going cardiopulmonary bypass: a review in search of a treatment algorithm. J Extra Corpor Technol. Dec; 2008; 40(4):257-67.
11. Smith J, Bricker S. ve Putnam B. Tissue oxygen saturation predicts the need for early blood transfusion in trauma patients. American Surgery. 2008;74: 1006-11.
12. Lassnigg A, Hiesmayr M, Keznickl P, Mullner T, Ehrlich M, Grubhofer G. Cerebral oxygenation during cardiopulmonary bypass measured by nearinfrared spectroscopy: effects of hemodilution, temperature and flow J Cardiothorac Vasc Anesth. 1999 Oct;13(5):544-8
13. Soller BR, Yang Y, Soyemi OO, Ryan KL, Rickards CA, Walz JM, et al. Non invasively determined muscle oxygen saturation is an early indicator of central hypovolemia in humans. J Appl Physiol 2008;104:475-81.
14. Christakis G, Koch JP, Deemar K, SE Fremes, L Sinclair, E Chen et al. A randomized study of the systemic effects of warm heart surgery. Ann Thorac Surg. 1992;54:449-59.
15. Kurth CD, Steven MJ, Nicolson SC, Jacobs ML. Cerebral oxygenation during cardiopulmonary bypass in children. J Thorac Cardiovasc Surg 1997;113:71-9.