

Kardiyopulmoner Bypass Uygulamasında Roller ve Santrifugal Pompa Başlıklarının Karşılaştırılması

DMPARİSON OF THE EFFECTS OF CLASSIC ROLLER AND
SENTRIFUGAL PUMPS DURING CARDIOPULMONARY BY-PASS

rtmet T YILMAZ*, Ertuğrul ÖZAL**, Mehmet ARSLAN*, Ufuk DEMİRKILIÇ*,
kan KURULAY**, Harun TATAR***, Ömer Yüksel ÖZTÜRK****

Yrd.Doç.Dr.GATA Kalp ve Damar Cerrahisi ABD,
Uz.Dr.GATA Kalp ve Damar Cerrahisi ABD,
Doç.Dr.GATA Kalp ve Damar Cerrahisi ABD,
* Prof.Dr.GATA Kalp ve Damar Cerrahisi ABD, ANKARA

ÖZET

Klasik roller pompanın santrifugal pompayla hemodinamik, oksijenizasyon ve hematolojik yönden karşılaştırılması amacıyla koroner bypass ameliyatı uygulanan hastalardan preoperatif klinik, hemodinamik ve anjiyografik özellikler yönünden benzerlik gösteren 48 er hastalık iki grup oluşturuldu. Grup I'de Sams santrifugal pompa, grup II'de roller pompa kullanıldı. İki grup arasında hemodinamik ve oksijenizasyon yönünden farklılık yoktur, buna karşılık hematokrit, hemoglobin, plasma serbest hemoglobin düzeyi, trombosit sayısı, trombosit faktör-4, fibrinojen, fibrin yıkım ürünleri, LDH, bilirubin, total protein eğerleri santrifugal pompa grubunda anlamlı olarak daha az etkilenmişti ($p<0.05$). Toplam drenaj miktar ve banka kanı kullanımı roller pompa grubunda daha yüksekti ($p<0.05$). Santrifugal pompa grubunda 1 hastada, roller pompa grubunda ise 4 hastada postoperatif deliriyum tablosu vardır ($p<0.05$).

Bu çalışmanın sonuçları roller ve santrifugal pompa başlıklarının standart CPB uygulamalarında kanın şekilsiz elemanları üzerine travmatik etki ve mikroemboli-lerden kaynaklandığı öne sürülen davranış bozuklukları açısından önemli farklılıklar oluşturduğunu göstermektedir. Kullanımının kolay olması, kan elemanlarına daha az travmatik etki yapması ve mikroembolik komplikasyon oranının düşüklüğü nedeniyle, özellikle uzun süren kardiyopulmoner bypass uygulamalarında santrifugal pompa taşıdığı tercih edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Kardiyopulmoner bypass, Roller pompa, Santrifugal pompa

" Klin Kardiyoloji 1996, 9:81-88

Selis Tarihi: 14.12.1995

İletişim Adresi: Dr.Ahmet T.YILMAZ
GATA Lojmanları
Numan Apt. No:5
06018 Etlik, ANKARA

T Klin J Cardiol 1996, 9

SUMMARY

This study aimed to compare the haemodynamic, oxygenation, and haematologic effects of classic roller pump and centrifugal pump. Cardiopulmonary bypass (CPM) was established with centrifugal pump in Group I (n=48), and with roller pump in Group II (n=48). There were no difference in haemodynamic and oxygenation parameters in two groups. Nevertheless, significant differences were found in haematologic results and postoperative neurophysiologic complications. Haematocrit, haemoglobin, plasma free haemoglobin, platelet count, platelet factor 4, fibrinogen, fibrin degradation products, lactate dehydrogenase, bilirubin and total protein levels were significantly different in roller pump group ($p<0.05$). Total drainage and the use of banked blood were higher in roller pump group ($p<0.05$). Another significant difference was seen in physiologic behavioral disturbances; 1 patient in centrifugal pump group and 4 patients in roller pump group ($p<0.05$).

The results of this study showed that there were significant differences between centrifugal and roller pumps in routine cardiopulmonary bypass; one of these differences was the traumatic effect on cellular-noncellular components of blood and the others were behavioral disturbances that were caused from microembolies. Centrifugal pumps should be preferred, especially in long-term cardiopulmonary applications because of easiness, and less traumatic effect on blood elements and less microemboli production.

Key Words: Cardiopulmonary bypass, Roller pump, Centrifugal pump

T Klin J Cardiol 1996, 9:81-88

Açık kalp cerrahisinin vazgeçilmez bir parçası olan kalp-akciğer makinasının temel iki unsurundan biri akciğerin görevini üstlenen oksijenatör, diğeri kalbin görevini üstlenen pompadır. Açık kalp cerrahisi, çağımızın teknolojik gelişmelerinden büyük oranda kendine

düşen payı olmasına karşın, halen kanın şekilli-şekilsiz elemanlarına hiç zarar vermeyen ve başta beyin olmak üzere organları mükemmel düzeyde perfüze edebilecek bir ekstrakorporeal dolaşım pompası ile oksijenasyonu sağlayacak bir oksijenatör geliştirilememiştir. Bu konuda ulaşılabilecek en ideal nokta, kalp ve akciğerin görevlerini üstlenecek cihazların başta bu organlar olmak üzere vücudun tüm sistemlerini tabii fizyolojik sınırlar dışında etkilemeyecek teknolojiye erişmektedir. Kalp cerrahisindeki gelişmelere paralel olarak, günümüzde uzun süreli kardiyopulmoner bypass (CPB) gerektiren reoperasyon, transplantasyon, kompleks kardiyak anomalilerin tamiri gibi ameliyatlarda daha sık yapılır olması, pompanın normal dolaşım fizyolojisine etkisini en aza indirecek teknolojik gelişmelere ihtiyacı arttırmıştır.

CPB'ta yaygın olarak kullanılan pompa tipi, roller pompadır. Son yıllarda kullanım alanına sokulan diğer bir pompa tipi santrifugal veya rızistans-dependent pompadır. Santrifugal pompanın çalışma prensibi, pompa konsülünde bir mıknastısla elektromanyetik kuvvet oluşturarak bunu pompa başlığındaki polikarbonatla kaplı koni veya pervaneyeye iletme, bu sayede kan akımını sağlamaktır, ilk kez 1977 yılında uzun süreli dolaşım amacıyla kullanıma sokulan santrifugal tip pompalar her geçen gün daha geniş kullanım alanı bulmaktadır (1,2). Roller pompaların CPB sırasında kan elemanlarına ciddi travmatik etkisi olduğu bilinmektedir (3,4,5). Birçok araştırmada elektromanyetik etkiyle oluşturulan suni girdap prensibine dayanan santrifugal pompaların kanın şekilli-şekilsiz elemanları üzerine travmatize edici etkisinin daha az olduğu bildirilmiştir (5,6,7). Roller pompa ile santrifugal pompa arasında gaz ve partikül embolisi oluşması açısından da önemli farklılıklar vardır (8).

Bu çalışmada, koroner arter bypass cerrahisi uygulanan hastalarda, santrifugal ve roller pompaların hematolojik, hemodinamik ve postoperatif komplikasyonlara etkileri araştırılarak, elde edilen sonuçlar literatür bulgularıyla karşılaştırıldı.

MATERYEL VE METOD

Bu prospektif çalışma Ekim 1994 ve Haziran 1995 tarihleri arasında preoperatif klinik, hemodinamik ve anjiyografik özellikler yönünden benzerlik gösteren koroner arter bypass ameliyatı uygulanan hastalarda yapıldı. 50 şer hastalık iki grup oluşturuldu. Grup I'de 50 hastada santrifugal pompa (S) (Sarns 7850 Santrifugal Pump, Sarns 3M Health Care, Ann Arbor, Michigan, USA) kullanıldı. Kontrol grubu olarak alınan Grup II'deki 50 hastada da CPB roller pompa (R) (Sarns P/N 13600 S/N 1266 Roller Pump., Ann Arbor, USA) ile uygulandı. Koroner bypass ameliyatına (CABG) ilaveten yapılan cerrahi girişimler (anevrizmektomi, kapak cerrahisi, periferik arter cerrahisi) bu çalışmanın dışında tutuldu. Ayrıca perioperatif özelliklerdeki standardizasyonu sağlamak için 65 yaş üzerindeki hastalar ve ciddi sol ventrikül disfonksiyonlu (LVEDP > 18 mmHg,

LVEF < %40) hastalar bu çalışmaya alınmadı. Grup II de erken postoperatif dönemde kaybedilen 1 hasta gruplar arasındaki hemodinamik ve hematolojik standardizasyonu bozmamak amacıyla çalışma dışı tutuldu. Hastaların preoperatif özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. İki grup arasında yaş, cins, ve preoperatif koroner risk faktörleri açısından anlamlı farklılık yoktu. Koroner arter tutulumu açısından iki grup arasında fark yoktu. **I**

Kardiyopulmoner bypass: Standart median sternotomi insizyonu ile göğüs açıldı. Asendan aorta ve sağ atrium kanüle edilerek CPB'a girildi ve hipotermi başlatıldı. Heparinazasyon 3 mg/kg dozda heparin sülfat ile yapıldı. Her iki grupta aynı tip membran oksijenatör, ısı değiştirici, kardiotomi ve venöz rezervuar ve polivinil klorid tubing set kullanıldı. Arteriyel pompa olarak Grup I de santrifugal pompa, Grup II de roller pompa kullanıldı. Aortik kross klamp sırasında miyokard korunması için 10-15 ml/kg hipotermik, hipoksik kardioleji (Plegisol, Baxter Ltd., Irvine, USA) ve "ice slush" topikal hipotermi ile sağlandı. 20 dakika aralarla yüksek potasyumlu (16-18 mEq) soğuk kan kardioleji reinfüzyonu yapıldı. Aortik kross-klamp kaldırılmadan önce düşük potasyumlu (8-10 mEq) sıcak kan kardioleji ile reperfüzyon yapıldı. Tüm ameliyatlarda orta derece hipotermi (25-28 °C) uygulandı. Pompa flovvu hipotermi sırasında 1.6-1.8 l/rrT /min, ısıtma döneminde 2.2-2.5 l/m²/min arasında sağlandı. Santrifugal pompada efektif pompa flovvu arter hattındaki ultrasonik flovvmetre ile takip edildi. CPB sırasında arteriyel kan gazları alfa-stat² temeli ile çalışıldı ve PaCO₂ 35-40 mmHg basıncında tutuldu. Tüm hastalarda nonpulsatil perfüzyon tekniği kullanıldı. Ortalama kan basıncı 60-80 mmHg arasında tutulmaya çalışıldı. Ortalama arteriyel basıncın 80 mmHg'ı geçtiği ve SVR'in 1200 dynes/sn/cm⁻⁵ üzerine çıktığı durumlarda periferik vasodilatatörler (Na nitroprussid, nitroglicerine) kullanıldı. CPB'tan çıkıldıktan sonra heparin 1/1.3 dozda protamin sülfat ile (15 dk.da) nötralle edildi. Protamin nötralizasyonundan sonra heparin aktivasyonu ilk 6 saat içerisinde rutin olarak her saatte ve gerek görüldüğü zamanlarda activated clotting time (ACT) ölçümleriyle kontrol edildi. CPB'tan sonra her hastaya peroperatif ototransfüzyon yapılmadı. Hemoglobin değeri 8 gr/dl nin altına düşmedikçe hastalar homolog banka kanı transfüzyonu yapılmadı. Postoperatif dönemdeki hematolojik profile etki etmesi için bu çalışma sırasında her iki gruptaki hiçbir hastaya hemostatik ajan (trasylol, transenamik asit, epsilon aminokaproik asit, desmopressin asetat vs.) kullanılmadı. CPB'tan ayrılmayan veya düşük kalp debisi gelişen hastalarda (ortalama AKB < 60 mmHg, CI < 2lt/dkm²) farmakolojik inotropik destek kullanıldı, LABP desteği gereken hastalar, postoperatif hematolojik tablo değişebileceğinden bu çalışma dışında bırakıldı (roller pompa grubunda 2 hasta, santrifugal pompa grubunda 1 hasta).

Hemodinamik, hematolojik ölçümler ve kan gazı analizleri aşağıdaki zamanlarda yapıldı: Ölçüm 1; anestezi indüksiyonundan hemen sonra (başlangıç değerleri); Ölçüm 2; CPB sırasında kardiopleji uygulanmasından 10 dakika sonra; Ölçüm 3; CPB sırasında krossklamp alındıktan sonra; Ölçüm 4; CPB bittikten ve protamlı uygulandıktan 10 dakika sonra; Ölçüm 5; yoğun bakım ünitesine alındıktan 6 saat sonra.

Hemodinamik ölçümler: Hemodinamik değerlendirme amacıyla; nabız (HR), ortalama sistemik arter basıncı (MAP), ortalama pulmoner arter basıncı (MPAP), kardiak output (CO), sistemik vasküler rezistans (SVR), pulmoner vasküler rezistans (PVR), pulmoner kapiller wedge basıncı (PCVWP) ve santral venöz basınç (CVP) takip edildi. SVR ve PVR aşağıdaki formüllere göre hesaplandı:

$$SVR \text{ (dynes—sec/cm}^2\text{)} = 79.96 \times (\text{ABPm—CVP}) / \text{CO}$$

$$PVR \text{ (dynes—sec/cm}^2\text{)} = 79.96 \times (\text{PAPm—PAWP}) / \text{CO}$$

Kan gazı ölçümleri: Arteriyel ve mixed venöz kan örneklerinden Gem-Staî Blood/Electrolyte Analysis (Mallinckrodt, Ann Arbor, Michigan.) cihazı ile 37 C de pH, PO₂, PCO₂, CaO₂, SaO₂, CvO₂, SvO₂, bazı açığı ölçüldü. Total vücut oksijen tüketimi (VO₂), arteriovenöz oksijen kontent farkı (avDO₂), oksijen availabilite indeksi (O₂ AVI - dokunun oksijen elde edilebilirlik indeksi), arteriovenöz sant oranı (Qs/Qt) aşağıdaki formüllerle hesaplandı:

$$VO_2 \text{ (ml/min)} = \text{avDG} \times \text{CO} \times 10$$

$$\text{avDO}_2 \text{ (ml/dl)} = \text{CaO}_2 - \text{CvO}_2$$

$$O_2 \text{ AVI (ml/min/m}^2\text{)} = \text{CaO}_2 \times \text{CO} \times 10 / \text{BSA}$$

$$Qs/Qt = 100 \times \frac{\text{HGB} \times 1.34 \times (1 - (\text{SaO}_2 / 100) + 0.0031 (\text{PAO}_2 - \text{PaO}_2))}{\text{HGB} \times 1.34 \times (1 - (\text{SaO}_2 / 100) + 0.0031 (\text{PAO}_2 - \text{FVO}_2))}$$

Hematolojik Ölçümler: Hematokrit (Hct), hemoglobin (hg), plazma serbest hemoglobin düzeyi (PSH), trombosit sayısı, fibrinojen, fibrin yıkım ürünleri (FDP), laktik dehidrogenaz (LDH), bilirubin, total protein, pıhtılaşma zamanı (PZ/dk) ve protrombin zamanı (PTZ/sn) takip edildi. Lökosit ve trombosit değerleri aşağıdaki formülle hemodilüsyona karşı düzeltilildi:

$$\text{Düzeltilmiş değer} = \frac{\text{örnek değeri} \times \text{başlangıç hematokriti}}{\text{örneğin alındığı sıradaki hematokrit}}$$

Hemogram Coulter hemogram cihazı (Coulter Electronics Inc. Florida USA), fibrinojen ve FDP, latex agglutination (Spli-Prest, Diagnostica Stago, France) yöntemiyle ölçüldü.

Mediastinal drenler alınana kadar kanama miktarı total drenaj miktarı olarak kaydedildi. Son 6 saat içerisinde 50 ml. den az drenaj olan hastalarda drenaj alındı. Toplam homolog banka kanı kullanımı kaydedildi. Merkezi sinir sistemi bozukluğu için kriterler; fokal-generalize motor kayıplar, sensoryal kayıplar, oküler ve

Tablo 1. Her iki gruptaki hastaların klinik özellikleri

	Santrifugal (n=48)	Roller (n=48)
Yaş (yıl)	56.8±7.6	57.9±8.2
Cins erkek/kadın	42/6	40/8
Boy (cm)	169±7.7	171±6.8
Kilo (kg)	78.2±12.3	75.3±10.4
Geçirilmiş miyokard enfarktüsü	21	25
Hipertansiyon	14	16
Diabetes mellitus	4	3
Angiografi		
1. damar hastalığı	16	17
2. damar hastalığı	17	17
3. damar hastalığı	13	13
Sol ana koroner	2	—

Tablo 2. Operatif özellikleri

	Santrifugal (n=48)	Roller (n=48)
Vücut yüzey alanı (m ²)	1.58±0.18	1.61±0.15
CPB süresi (dak.)	106±23	116±21
Kross klamp süresi (dak.)	63±20	58±18
Graftlenen damar sayısı	2.9±1.1	2.7±0.8
LIMA graft sayısı	46/48	47/48

diğer merkezi sinir sistemi ile komşuluklu organların embolisi, hafıza kayıpları, psikozlar (konfüzyon, oryantasyon bozukluğu, halüsinasyon, şizofrenik reaksiyon, transient psikoz ve delirium durumu, katastrofik reaksiyon, depressif reaksiyon ve histeria) kabul edildi.

İstatiksel analizler student-t testi kullanılarak yapıldı. Hesaplamalar MICROSTAT istatistik değerlendirme paketi (Ecosoft Corporation Inc., California, USA) ile yapıldı. p<0.05 olduğu durumlarda fark istatistiksel olarak anlamlı olarak kabul edildi.

SONUÇLAR

Her iki grupta 48 er hasta çalışmaya alındı. (Roller grupta IABP kullanılan 1 hasta ve ölen bir hasta çalışma dışı bırakıldı).

Klinik özellikler: Hastaların 82 sı erkek 14 ü kadın olup, yaş ortalaması 57.6 dır. Tablo-2 de her iki gruptaki hastaların preoperatif özellikleri belirtilmiştir. Gruplar arasında yaş, sex, preoperatif koroner risk faktörleri, koroner arter hastalığı, sol ventrikül fonksiyonları açısından anlamlı fark yoktur (p>0.05). Grup I de hastaların ortalama vücut yüzey alanları 1.58 (0.18)m², Grup II de 1.61 (0.15) m² idi (Tablo-2). Ortalama kross klamp ve CPB süresi, uygulanan cerrahi teknik özellikler her iki grupta birbirine yakındır (p>0.05).

Tablo 3. CPB süresince hemodinamik ve oksijenasyon karakterleri

	Grup	Soğutma	Isıtma
MAP	S	62±4	69±5
mmHg	R	61±5	67±6
SVR	S	1315±225	1012±236
dynes/sec/cm-5	R	1396±268	1055±267
Pump flow	S	1.8±0.2	2.4±0.2
l/dk/m2	R	1.8±0.2	2.4±0.3
Gazflow	S	2.3±0.3	3.1±0.5
l/dk	R	2.6±0.4	3.5±0.5
F02	S	50±5	83±11
%	R	49±5	81±12
O2AVI	S	715±101	720±89
ml/dk/m2	R	693±96	710±76
V02/1	S	95±21	205±43
ml/dk/m2	R	102±18	212±39
Hipotermi	S	26.5±1.0	35.4±0.5
oC	R	26.9±1.2	35.6±0.5

Ortalama değer ± Standart sapma

S-centrifugal, R-roller

Tablo 4. Her iki grubun hemodinamik sonuçları

	Grup	Ölçüm 1	Ölçüm 4	Ölçüm 5	Ölçüm 6
HR	S	62±13	88±16	98+(21)	89+(19)
vuru/dk	R	69±11	92±18	96+(20)	87+(18)
MAP	S	84±16	62±13	70±10	86±11
mmHg	R	82±19	61±15	71±14	83±10
MPAP	S	16±4	22±6	17±6	14±6
mmHg	R	14±5	20±5	16±6	14±5
CI	S	2.4±0.4	2.2±0.3	2.3±0.4	2.5±0.6
l/dk/m2	R	2.7±0.3	2.1±0.3	2.4±0.3	2.4±0.7
SVR	S	1156±358	1815±324	1620±279	1210±225
dynes/sec/cm ³	R	1100±298	1678±265	1569±307	1187±243
PVR	S	198±52	234±64	215±76	186±59
dynes/sec/cm ³	R	206±59	241±72	208±67	194±65
PCWP	S	10.7±5.4	12.3±6.2	9.7±5.7	11±4.8
mmHg	R	11.2±5.0	11.9±5.3	10.6±6.2	10.1±5.4
CVP	S	7.6±3.1	6.0±2.9	5.9±3.3	5.4±3.1
mmHg	R	7.2±2.8	6.4±2.6	6.1±3.1	6.0±3.5

Ortalama değer ± Standart sapma

S-centrifugal, R»roller

Hemodinamik ve Oksijenizasyon Özellikleri: Grup I de hastalar ortalama 26.2 °C, Grup II de 25.9 °C ye kadar soğutuldu. Yeniden ısıtma döneminin sonunda her iki gruptaki ortalama rektal ısı sırasıyla 35.9 °C ve 36.0 °C idi (p>0.05). Pompa flovv'u gaz flovvu ve F02 (oksijen kon-

santrasyonu) CPB'in İdamesi sırasında her iki grupta kliniğimizin açık kalp ameliyatlarında uygulanan konseptine uygun olarak aynı değerlerde tutuldu (FO2: %60, gas flow: 4.0 LPM o2/air). MAP ve SVR ısıtma ve soğutma periodlarında gerektiğinde vazodilatatörler kullanılarak ideal değerlerde tutulmaya çalışıldı. Bu parametrelerde her iki grup arasında fark yoktur. CPB sırasında SVR'yi ideal değerinde tutmak için kullanılan vazodilatatör ajanların miktarları açısından da İki grup arasında anlamlı farklılık bulunmadı (Grup I de ortalama nitrogliserin miktarı 0.1±0.07 mg/saat, Grup II de 0.12±0.09 mg/saat, p>0.05). CPB sırasındaki renal perfüzyonun göstergesi olarak izlenen idrar output'u iki grupta benzer miktarda idi. Her İki pompa başlığıyla uygulanan CPB sırasındaki (hipotermi ve yeniden ısıtılma döneminde) ve erken postoperatif dönemde periferik mikrosirkülasyonun durumunu ve arteriyel sistemin periferik dokuya oksijen götürme kapasitesini göstermesi için ölçülen aVD02, VO2I, O2AVI parametrelerinde her iki grup arasında fark yoktur (p>0.05) (Tablo-3). Qs/Qt her iki pompa başlığıyla uygulanan CPB'in sonlandırılmasından hemen sonra pulmoner kapiller düzeydeki şant oranını belirlemek için ölçüldü. Normal değeri %3-5 arasında olup, %15 ten yukarıda olması orta derecede akciğer fonksiyon bozukluğunu, %30 tan yukarı olması ise ciddi bozukluğu göstermektedir. Qs/Qt açısından İki grup arasında anlamlı fark yoktur (p>0.05). Her İki grubun preoperatif (Ölçüm 1) hemodinamik ve oksijenizasyon parametreleri arasında fark yoktur (Tablo 3 ve 4). Her İki grupta SVR ve PVR inin CPB tan çıkıldıktan sonra (Ölçüm 5) ki değerleri preoperatif değerlerinden (Ölçüm 1) daha yüksektir. Postoperatif 6. saatte (Ölçüm 6) PVR bazal değerlerine yaklaşırken SVR önemsiz oranda yüksek kalmaya devam etmiştir. Ancak her İki grup arasında bu parametrelerde fark yoktur (Tablo 4). Grup I de erken postoperatif dönemde 7 hastaya Grup II de ise 9 hastaya farmakolojik inotropik destek uygulanmıştır. Her İki grubun ortalama kardiyak indeksleri arasında anlamlı farklılık yoktur (p>0.005). Santrifugal ve roller pompa başlığı kullanımı postoperatif oksijenizasyon parametrelerini etkilememiştir.

Hematolojik Özellikler: Bu çalışmada İki farklı pompa başlığının kullanımından kaynaklanan en önemli sonuçlar hematolojik parametrelerde bulundu (Tablo 5). Hematokrit ve hemoglobin değeri CPB'un sonuna doğru (ölçüm 3). Grup II de bir miktar daha düşüktür ve bu düşüklük erken postoperatif dönemde devam etmiştir (p>0.05). CPB'in sonlarına doğru (Ölçüm 3), Grup II de PFH anlamlı olarak yükselmeye başladı ve Grup I e göre Ölçüm 5 ve Ölçüm 6 zamanlarında da Grup İdiki bu yükseklik devam etti (p<0.03). İki pompa başlığı arasındaki bu farklı hemolitik etkinin sonucu olarak PFH in yükseldiği dönemlerde hemoglobin miktarı Grup II de anlamlı olarak daha düşük seyretmiştir (Şekil-1). İki grup arasında lökositlerin kantitatif değerlendirilmesi açısından fark bulunamadı (p>0.05). Trombosit sayısı CPB in başlamasıyla birlikte her İki grupta preoperatif değerlerine göre anlamlı olarak düşülmüştür. Ancak

)lo 5. Her iki grubun hematolojik sonuçları

	Grup	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	C	41.8	21.84	22.34	23.26	27.45	28.12
	R	42.4	21.22	20.86	19.76	24.34	25.45
noglobın	C	12.6	7.5	7.4	8.7	9.2	10.9
«)	R	12.8	7.6	7.2	8.0	8.6	9.3
H*	C	6.2	14.4	16.2	20.6	12.8	8.4
m)	R	5.9	14.9	19.7	36.8	18.8	12.2
mboşıt*	C	268	252	198	165	176	198
0)	R	282	261	145	114	121	133
rinojen*	C	360	312	265	186	252	276
3/00	R	378	320	236	116	168	192
P*	C	<2	4	8	12	16	12
l/ml)	R	<2	4	10	20	40	32
H*	C	358	370	385	403	452	460
1)	R	345	365	412	481	612	978
üribin*	C	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9
9/dl)	R	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.3
tal protein*	C	7.9	7.9	7.5	7.1	6.9	6.5
9/dl)	R	7.8	7.8	7.2	6.4	6.1	5.9
4*	C	9.5	16.5	20.6	25.7	22.8	20.8
J/ml)	R	8.5	15.7	24.8	31.2	26.3	25.2

<0.05

İğerler ortalama olarak verilmiştir.

rup II de bu düşüklük Grup I e oranla oldukça fazladır ve Ölçüm 6 zamanına kadar devam etmiştir (<0.04). Trombosit sayısındaki bu düşüklüğe paralel olarak, rastgele seçilen 10 ar hastada Trombosit aktivasyonu ve degranülasyonunun bir göstergesi olan F4 Grup II de Ölçüm 2 zamanından itibaren dramatik olarak yüklemiştir. (p<0.01) (Şekil-2).

CPB in fibrinolitik aktivitesinin bir sonucu olarak her iki grupta da Ölçüm 2 zamanından itibaren fibrinogen miktarı azalmaya başladı. İki grup arasında Ölçüm 2 zamanına kadar fibrinojen miktarlarında anlamlı fark yoktur (p>0.05). Ancak CPB tan çıkıldıktan sonra 3rup II de FDP taki artış ve buna bağlı olarak fibrinogen miktarındaki azalma Grup I e göre anlamlı olarak farklıdır. Ölçüm 5 zamanında Grup I'de FDP 16 ng/ml, fibrinojen 252 mg/dl iken Grup II de bu değerler sırasıyla 40 ve 168 dir. (p<0.01, p<0.05) (Şekil 3). CPB in jrotein denatürasyonu ve hematolojik travmasının biyokimyasal göstergesi olarak ölçülen LDH, total protein, total bilirubin miktarları Tablo 5'de gösterilmektedir. 3rup II de LDH ve total bilirubindeki yükseklik, total proteindeki düşüklük Ölçüm6 zamanında Grup I e göre anlamlı olarak farklıdır (p<0.05).

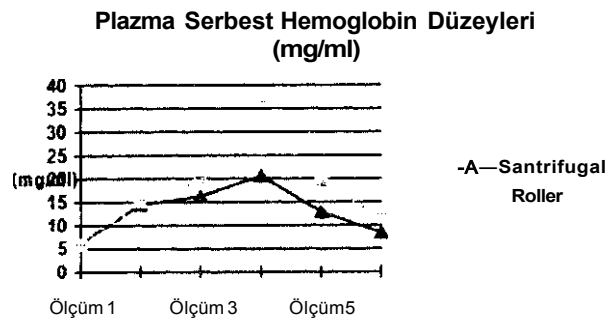
Postoperatif Özellikler: Hemoglobin miktarını 8 gr/dl nin üzerinde tutmak amacıyla Grup II de banka kanı kullanılmaya ihtiyacı Grup I e göre anlamlı olarak daha yüksektir. Postoperatif drenaj miktarı Grup I de ortalama 370±210 iken Grup II de 575± 350 ml idi. Ortalama banka kanı kullanımı Grup II de anlamlı olarak daha yüksektir (p<0.05) (Tablo 6). Grup II de 2 hasta

Tablo 6. Her iki grupta total drenaj ve banka kanı kullanımı

	Grup I (santrifugal)	Grup II (roller)
Total drenaj	370±210*	525±350*
Banka kanı (ünite)	0.7±0.5**	1.3±0.7**

*p<0.05

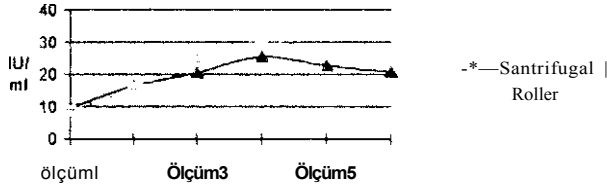
**p<0.01



Şekil 1. Her iki grubun plazma serbest hemoglobin düzeyleri.

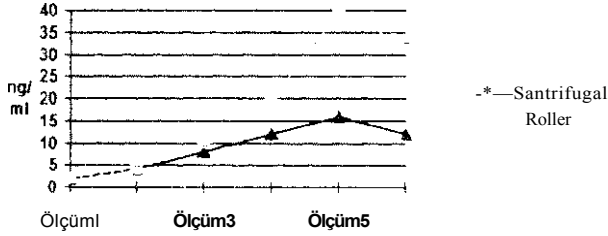
revizyona alındı. Bu revizyonlarda cerrahi odak bulunamadı ve kanama koagülasyon bozukluğuna bağlandı. Grup I de hiçbir hastada revizyon ihtiyacı olmadı (p<0.05). Postoperatif morbidite bakımından iki pompa başlığı arasındaki en önemli farklılık merkezi sinir sistemi komplikasyonlarında bulundu. Grup II de bir hasta-

Trombosit Faktör 4 Düzeyleri (IU/ml)



Şekil 2. Her iki grubun TF 4 düzeyleri.

FDP Düzeyleri (ng/ml)



Şekil 3. Her iki grubun FDP düzeyleri.

da hemianopsia, 1 hastada da fokal motor kayıp gözlemlendi. Grup I de hiçbir hastada oküler ve nörolojik komplikasyon gelişmedi ($p < 0.05$). MSS komplikasyonu ile ilgili en önemli farklılık psikolojik davranış bozukluklarında (ajitasyon, delirium, depresif reaksiyon) görüldü. Grup I de 1 hasta da, Grup II de 4 hasta da bu psikonörotik tablo vardı ($p < 0.05$).

TARTIŞMA

Santrifugal pompalar ile ilgili ilk literatür bilgileri 1977 yılındadır. Lynch ve ark. larının Minneapolis'te yaptıkları bir çalışmada santrifugal pompalar ilk kez rutin CPB amacıyla kullanılmışlardır (1). Biomedicus santrifugal pompa ile 92 hastada yapılan bu çalışmada hemostaz takibi amacıyla göğüs drenajı kriter olarak alınmış ve sonuçta roller pompa kullanılan grupta ortalama drenaj 19.6 cc/saat/m^2 , santrifugal pompa kullanılan grupta ise 13.8 cc/saat/m^2 bulunmuş, plasma serbest hemoglobin düzeylerinde ise roller pompa grubunda başlangıça oranla %61.3 oranında bir artış gözlenirken santrifugal pompa kullanılan grupta bu artışın %36.4 olduğu belirtilmektedir. Yine aynı çalışmada santrifugal pompaların büyük miktarda hava gelmesiyle (oksijenatör boşalması) otomatikman fonksiyonunu durdurduğu, az miktardaki havanın girdabın merkezinde kalarak hastaya pompalanmadığı, bu nedenle bu pompaların kullanılmasıyla hava embolisi riskinin çok azaldığı, ayrıca tüp parçacıklarına bağlı mikroembolilerin ve tüp çatlama-yırtılmalarına bağlı hava embolilerinin gözlenmediği bildirilmiştir. Bu ilk klinik uygulamasının sonra santrifugal pompalar giderek popülerite kazan-

mış, yaygın kullanım alanı bulunmuştur (1). Berki ve ark., kan elemanları üzerine travmatik etki ve hemoliz roller pompa grubunda santrifugal pompa grubuna göre belirgin olarak fazla gözlendiğini bildirmişlerdir (7). Nishinaka ve ark. larının çalışmasında; santrifugal pompa kullanılan grupta daha az hemoliz ve trombosit sayısında daha az düşme gözlenirken, beta-tromboglobulin düzeyi daha az trombosit aktivasyonunu teyid edebilir tarzda daha düşük seviyede seyretmiştir (10). Bunun karşılığında, Driezsen koroner bypass ameliyatı uygulanan 25 er hastalık iki grup arasında yaptıkları karşılaştırma da; ortalama drenaj miktarı, kan transfüzyonu, ve hemoglobulin düzeylerinde anlamlı farklılık tespit etmemişlerdir (11). Hoerr ve ark. iki tip santrifugal pompa (Biomedicus ve Sarns) ile klasik roller pompanın hematolojik etkilerini in vitro olarak karşılaştırdıkları çalışmaları hemoliz kriteri olarak plasma serbest hemoglobin düzeyini almış, her 3 pompa başlığıyla görülen yükselmenin özellikle 6 ncı saatten sonra roller pompada çok belirginleştiğini, 16 saatlik kullanım sonunda Biomedicus ve Sarns santrifugal pompalar arasında önemli farklılık görülmediğini bildirmişlerdir (5). Aynı çalışmada trombosit aktivasyonu ve harabiyetini belirlemek amacıyla Trombosit faktör 4 düzeyi takip edilmiş sonuçta her 3 grupta da yükselme görülmesine karşılık gruplar arasında anlamlı farklılık tespit edilememiştir. Ninomiya ve ark. açık kalp cerrahisi uygulanan 10 ar hastalık iki grupta iki pompa başlığını karşılaştırmışlar plasma serbest hemoglobin değerinin özellikle CPB'in 90 ncı dakikasından itibaren santrifugal pompa grubunda anlamlı olarak düşük seyrettiğini, CPB'in 150 ncı dakikasında bu değer ortalama olarak roller pompa da 52 mg/dl iken santrifugal pompa da 13.8 mg/dl olduğunu söylemişlerdir (12).

Bizim çalışmamızda hemoliz kriteri olarak plasma serbest hemoglobin düzeyleri ölçülmüş olup, roller pompa grubunda plazma serbest hemoglobin düzeyi ölçüm 3 zamanından itibaren anlamlı olarak yükselmeye başlamıştır. CPB süresinin PSH düzeyiyle direkt ilişkili olduğu ve bu pozitif ilişkinin roller pompa grubunda daha bariz olarak ortaya çıktığını gözledik. Postoperatif dönemde hemoglobin ve hematokrit değerleri homolog kan transfüzyonuyla ideal sınırlarda tutulmaya çalışıldığından iki grup arasında postoperatif Hb ve Hct miktarlarında anlamlı farklılık saptanmadı. Ancak roller pompa grubunda hasta başına ortalama 1.3 ± 0.7 ünite banka kanı kullanılırken, santrifugal grupta 0.7 ± 0.5 ünite banka kanına ihtiyaç duyuldu. CPB'in protein denatürasyonu ve hematolojik travmanın biokimyasal göstergesi olarak ölçülen LDH ve total bilirubin miktarları roller pompa grubunda özellikle postoperatif dönemde santrifugal pompa grubuna göre anlamlı olarak daha yüksektir. Roller pompa grubunda LDH ve PSH miktarlarındaki yükseklik eşzamanlı olarak aynı anda başlarken (Ölçüm 4) LDH miktarı postoperatif 6 ncı saatten itibaren santrifugal gruba göre anlamlı olarak daha fazla yükselmiştir. Özellikle CPB süresinin uzadığı

ruumlarda bu değerlerin iki grup arasındaki farklılıkları ha da barizleşmiştir.

CPB süresince kanın fizyolojik olmayan yüzeylerle ması sonucunda trombositlerde kümelenme, aktivasyon, sayıca azalma ile birlikte adezyon-agregasyon özelliklerinde önemli ölçüde kayıp meydana gelmektedir (3,14). Nishida ve ark.ları beta tromboglobulin düzeyinin roller pompa grubunda CPB'in 5 nci dakikasından baren yükseldiği, postoperatif 2 nci saatte iki grup arasında farklılık kalmadığını, bunun yanı sıra CPB in erin dönemlerinde trombosit sayısı yönünden anlamlı farklılık gözlenmediğini belirtmişlerdir (10). Berki ve ark. roller ve santrifugal pompa kullanılan hastalarda F4 düzeylerini karşılaştırmış ve CPB'in 30 ncu dk. an itibaren TF4 düzeyinin roller pompa grubunda beşin olarak yükseldiğini saptamışlardır (7). Bizim çalışmamızda TF4 miktarlarına bakılabilen her iki gruptaki O'ar hastada CPB in başlatıldığı andan itibaren TF4 n plazma seviyesi yükselmeye başlamıştır, ancak santrifugal pompa grubunda CPB başlar başlamaz yükselme miktarı roller pompa grubuna göre anlamlı ölçüde düşük kalmıştır. Her iki pompa başlığının trombosit fonksiyonlarına bu farklı etkisinin yanı sıra trombosit ayısında da anlamlı ölçüde farklılıklar bulunmuştur. Ölüm 3 zamanından itibaren en anlamlı farklılık gözlenmeye başlamış, üçüncü ve dördüncü ölçüm zamanlarında roller pompa grubunda trombosit sayısı santrifugal pompa grubuna göre 1/3 oranda daha az miktarda. CPB'in sonlarına doğru iki grup arasında fibrinojen'e FDP miktarları açısından anlamlı farklılıklar bulunmuş, roller pompa kullanılan hastalarda dördüncü ölçüm zamanında fibrinojen düzeyindeki anlamlı düşüklüğe FDP miktarındaki yükseklik eşlik etmiştir. Özellikle CPB bitiminden bir saat sonra (ölçüm 5) iki grup arasındaki FDP miktarlarının farklılığı maksimum olmuştur. Her iki grupta da PZ, PTZ ve ACT değerleri farmakolojik manüplasyonlarla normal sınırlarda tutuldu. Buna rağmen iki grup arasındaki trombositlerin sayısal ve fonksiyonel bozukluklarının farklı olması ve koagülasyon faktörlerinin etkilenme oranlarının değişikliği neticesinde postoperatif drenaj miktarları arasında çok anlamlı farklılık oluşmuştur. Grup II de roller pompa kullanılan hastalarda ortalama olarak 575+350 ml drenaj oldu. %20 vakada 1000 cc nin üzerinde kanama tespit edildi ve 2 hasta cerrahi olmayan kanama nedeniyle revizyona alındı. Buna karşılık santrifugal pompa grubunda ortalama 370±210 ml drenaj oldu, hiçbir hasta revizyona alınmadı ve %2 hastada 1000 cc nin üzerinde kanama oldu.

Santrifugal pompaların roller pompalar ile hemodinamik açıdan karşılaştırılmasının yapıldığı çalışmalar nadirdir. Driezen ve ark.larının 25 er hasta içeren iki grupta yaptıkları karşılaştırmalı çalışmada ise bir grupta klasik roller pompa kullanılırken diğerinde pulsatil akımla Sarns santrifugal pompa kullanılmış, hemodinamik yönden önemli bir bulgu olarak santrifugal pompa kullanılan grupta CPB süresince sistemik vasküler rezis-

tansı ve kan basıncını kontrol altında tutabilmek için roller pompa grubuna göre anlamlı ölçüde daha düşük dozda vazodilatör (Na nitroprusside) kullanıldığı belirtilmiştir (11). Bizim çalışmamızda roller ve santrifugal pompa uyguladığımız hastalarda hemodinamik parametreler açısından anlamlı farklılık bulunmamıştır. CPB sırasında SVR'ı ideal sınırlarda tutmak için kullanılan vazodilatör ilaç miktarları her iki grupta da aynıdır. Driezen ve ark.larının çalışmasında SVR'ın kontrolü için kullanılan vazodilatör miktarının santrifugal pompa grubunda roller pompa grubuna göre daha az olmasının nedeni pompa başlıklarından ziyade perfüzyon tekniğiyle ilgili görülmektedir (11). Sistemik perfüzyonun bir göstergesi olarak böbrek kan akımı dakikalık idrar miktardan ile takip edilmiş ve her iki grup arasında farklılık bulunmamıştır. James ve ark.larının çalışmasında ise roller pompa uygulanan hastalarda böbrek kan akımının daha fazla olduğu/lu bildirdiler ve bu durumu klasik roller pompanın azda olsa pulsatil bir etkisinin olduğunu yorumladılar (15).

Bizim çalışmamızda; roller ve santrifugal pompa başlıklarının CPB sırasında ve postoperatif dönemde oksijenizasyon üzerine etkileri birbirinden farklı bulunmadı. CPB'in soğutma ve ısıtma dönemlerinde total vücut oksijen tüketimi, oksijen extraction oranı ve periferik dokunun oksijen alabilme oranı her iki pompa başlığında da yaklaşık olarak aynı değerlerde bulundu. Driezen ve ark., santrifugal pompa başlığının pulsatil perfüzyon tekniğiyle kullanıldığı hastalarda ısıtma döneminde total vücut oksijen tüketiminin ve oksijen extraction oranının daha yüksek olduğunu bildirdiler (11). Ancak, pulsatil olmayan CPB sırasında sistemik perfüzyonun, hemaglobin düzeyinin ve gaz değişiminin perfüzyonist tarafından sürekli normal değerlerinde tutulması nedeniyle oksijenizasyon parametrelerinde farklılık oluşmamaktadır. Wheeldon ve ark., santrifugal pompa kullanılan hastalarda postoperatif dönemde akciğerlerde lökosit sekestrasyonunun roller pompa kullanılanlara oranla daha az ve bu grupta pulmoner şant oranını daha düşük bulmuşlardır (16). Bu konuyla ilgili diğer çalışmalarda ise; her iki pompa başlığının lökosit sayısı, fonksiyonu ve postoperatif pulmoner sekestrasyonu üzerine etkisinin olmadığı bildirilmektedir (11,17). Bizim hastalarımızda da postoperatif pulmoner şant oranı açısından anlamlı farklılık yoktur.

CPB uygulanan hastalarda postoperatif mortalite ve morbiditenin en önemli nedenlerinden biri nörolojik komplikasyonlardır. Muhtemel etyolojik faktörler; ileri yaş, preoperatif nörolojik veya serebrovasküler hastalığın varlığı, derin hipodermi, perfüzyonun uzunluğu, perfüzyon akım hızı/basıncıdır (1,8). CPB cihazından kaynaklanan mikroemboliler biyolojik, nonbiyolojik veya gaz tabiatında olmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda trombosit ve lökosit agregatları gibi biyolojik tabiatlı mikroembolilerin birinci sırayı aldığı belirtilmekteyse de oldukça önemli oranlarda PVC ve silikon tüp kaynaklı mikroembolilerde tespit edilmiştir (8). Biyolojik veya

gaz kaynaklı mikroembolilerin retiküloendotelial sistem tarafından fagosite edilmeleri veya rezorbe olmaları nedeniyle yaptıkları hasar geri dönüşümlü olabilirken, nonbiyolojik tabiatlı mikroemboliler kalıcı oldukları için daha çok önem kazanmaktadır. Uzayan CPB süreleriyle paralel olarak görülen mikroemboli oranı ve buna bağlı organ hasarları da artmaktadır. Lynch'in sonuçlarında santrifugal pompa kullanılan hastalarda roller pompaya oranla merkezi sinir sistemi komplikasyonlarının anlamlı olarak daha düşük olduğu belirtilmektedir (1). Curtis ve ark., assist device olarak santrifugal pompa başlığının kullanıldığı 57 hastada toplam 5235 saatlik uygulamanın sonucunda hiç tromboembolik olayla karşılaşmadığını belirtmektedir (18). Ohara ve ark. da, santrifugal pompa başlığı uygulamalarında roller pompaya kıyasla tromboemboli insidansının anlamlı olarak daha düşük olduğunu bildirmektedirler (19). Bizim çalışmamızda roller pompa uyguladığımız hastalarda nörolojik emboli insidansı %4 iken santrifugal pompa uygulanan hastaların hiçbirinde klinik olarak tespit edilebilen nörolojik komplikasyon gelişmedi, iki pompa başlığı arasında merkezi sinir sistemi komplikasyonları arasında en önemli farklılık postoperatif davranış bozukluğunda (postoperatif delirium tablosu) gözlemlendi. Grup II'de %8 oranda psikonevrotik davranış bozukluğu görülürken Grup I'de bu oran %2 dir. Çalışma gruplarımızın kalp boşluklarının açılmadığı koroner hasta grubunda olması nedeni ile nörolojik komplikasyonların etyolojisindeki hava embolisi faktörü minimize edilmiştir. Postoperatif ritm bozulduğu ve asendan aortadan kaynaklanan kalsifik plak embolisi riski her iki grupta da hasta özelliklerinin birbirine benzer olması nedeniyle standardize edildiğinden, sonuçlarımızdaki merkezi sinir sistemi komplikasyonları açısından bu farklılığın kullanılan pompa başlıklarından kaynaklandığını düşündürmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları bize roller ve santrifugal pompa başlıklarının standart CPB uygulamalarında hematolojik travma ve mikroemboli açısından çok önemli farklılıklar oluşturduğunu göstermektedir. Santrifugal pompa başlığının kanın şekilli ve şekilsiz elemanlarına daha az travmatik etki yapması ve postoperatif mikroembolilere neden olmaması, açık kalp cerrahisinde daha liberal kullanılmasını gerektirmektedir. Özellikle uzun süreli CPB uygulamalarında santrifugal pompa başlığı kullanımı alternatifsiz görülmektedir. Santrifugal pompa başlığının kullanımının daha kolay, daha emniyetli olması ve maliyetinin roller pompaya göre fazla yüksek olmaması nedeniyle yakın gelecekte uzun-kısa tüm CPB uygulamalarında kullanılacağı kanısındayız.

KAYNAKLAR

- Lynch MF, Peterson D, Baker V. Santrifugal Blood Pumping For Open Heart Surgery. *Minn Med.* 1978; 61:536-7.
- Park SB, Liebler GA, Burkholder JA, Maher TD. Mechanical Support of The Tailing Heart *Ann Thorac Surg* 1986; 42: 627-31.
- Bernstein EF, Gleason LR. Factors Influencing Haemolysis With Roller Pumps. *Surgery* 1987; 61:432-437.
- Bick RK. Hemostatis Defects Associated With Cardiac Surgery, Prothetic Devices, And Other Extracorporeal Circuits. *Seminars In Thrombosis Hemostatis* 1985; 11 (5):249-80.
- Heorr HR, Kraemer MF, Williams JL, et al. In Vitro Comparison of the Blood Handling the Contrained Vortex and Twin Roller Blood Pumps. *J Extra-Corp Technol* 1987; 19(3):316-21.
- Barlas S, Tırelı E, Tekinalp H, Dayıoğlu E, Barlas C. Açık Kalp Cerrahisinde Kullanılan Oksijenatör ve Pompa Tiplerinin Kan Tablosuna Etkileri. *GKD Cer Derg.* 1994; 2:292-6.
- Berki T, Gürbüz A, Işık Ö, Akkaya H, Beyazıd Ö, Yakut C. Cardiopulmonary Bypass Using Santrifugal Pump. *Vascular Surgery* 1992; 3:123-34.
- Uretzky G, Cassah DC, Wan Y, Borman JB. Analysis of Microembolic Particles Originating in Extracorporeal Circuits. *Perfusion* 1987; 2:9-17.
- Tietz NW., *Fundamentals Of Clinical Chemistry.* 3rd ed, Philadelphia: WB Saunders Company, 1987: 804-5.
- Nishinaka T, Nishida H, Endo M, Koyanagi H. Less Platelet Damage In The Curved Vane Santrifugal Pump. A Comparative Study with the Roller Pump in Open Heart Surgery *Artificial Organs* 1994; 18(9):687-90.
- Driezsen JJ, Fransen G, Rondalez L, Schelstraste E, Gevaert L. Comparison of The Standart Roller Pump and A Pulsatile Santrifugal Pump For Extracorporeal Circulation During Routine Coronary Artery Bypass Grafting. *Perfusion* 1991; 6:303-11.
- Ninomiya J, Shoji T, fanaka S, et al. Clinical Evaluation of A New Type of Santrifugal Pump. *Artificial Organs* 1994, 18(9):702-5.
- Harken LA, Maypass TW, Branson HE, Hessel EA, Slicher | SJ: Mechanism of Abnormal Bleeding in Patients Unc-T going Cardiopulmonary Bypass: Acquired Transient Platelet Dysfunction Associated with Selective Agranule Release | *Blood* 1980; 56:824-8.
- Kesteven PSL Hemostatic Changes During Cardiopulmonary Bypass. *Perfusion (Suppl)* 1990; 5:9-13.
- James SD, Peters T, Maresca L, Kalush SL, Trigueros EA. | The roller pump produce pulsatile flow. *J Extra-Corp Technol* 1987; 19:376-83.
- Wheeldon DR, Bethune DW, Gill RD. Vortex pumping for | routine cardiac surgery: A comparative study. *Perfusion f* 1990; 5:134-9.
- Bilal MS, Bayındır O, Erentürk S, et al. Roller ve santrifugal pompa tekniklerinin immün sistem üzerine etkilerinin karşılaştırılması. *GKD Cer Derg* 1995;3:17-26.
- Curtis JJ, Walls JT, Schmaltz RA, Boley T, Landreneau R,) Naqarawong W. Prognosis of hospital survivors after salvage from cardiopulmonary bypass with santrifugal cardiac assist. *ASAIO Transactions* 1990; 36:552-4.
- Ohara Y, Makinouchi K, Glueck J, Sutherland B, Shimono T, Naito K, Tasai K, Orime Y, Takatani S, Nose Y. Development and evaluation of antithrombogenic santrifugal pump: The baylor C-Gyro pump eccentric inlet port model. *Artificial Organs* 1994; 18(9):6763-679.