

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ
ANA BİLİM DALI

**MİKROCERRAHİ TEKNİK İLE SEREBRAL ARTER
ANASTOMOZU SİMÜLASYONU İÇİN YENİ EĞİTİM
MODELİ**

DR. BEYZA ALKIŞ
TIPTA UZMANLIK TEZİ

İZMİR- 2022

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ
ANA BİLİM DALI

**MİKROCERRAHİ TEKNİK İLE SEREBRAL ARTER
ANASTOMOZU SİMÜLASYONU İÇİN YENİ EĞİTİM
MODELİ**

TIPTA UZMANLIK TEZİ

DR. BEYZA ALKIŞ

**TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ERCAN ÖZER**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
TABLolar.....	iv
ŞEKİLLER VE RESİMLER.....	v
KISALTMALAR.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ÖZET.....	1
İNGİLİZCE ÖZET.....	3
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	5
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Bypass Cerrahisinin Tarihçesi.....	7
2.2. Geçmişte Bypass Cerrahisinin Uygulama Alanları.....	8
2.2.1. Akut İskemik İnme ve Acil Serebral Revaskülarizasyon.....	8
2.2.2. Serebral Vazospazm ve Subaraknoid Kanama.....	8
2.2.3. Karotid Endarterektominin Mümkün Olmadığı Oklüziv Serebrovasküler Hastalıklar.....	9
2.3. Günümüzde Bypass Cerrahisinin Uygulama Alanları	10
2.3.1. Anevrizmalar ve Tümörler	10
2.3.2. Moyamoya Hastalığı	10
2.3.3. Oklüziv Serebrovasküler Hastalıklar	11
2.4. Temel Bilgiler	11
2.4.1. Serebral Arteriyel Vasküler Anatomi.....	11
2.4.1.1. Anterior Sirkülasyon	12
2.4.1.2. Posterior Sirkülasyon	15
2.5. Serebral Fizyoloji ve Serebral Kan Akımı	17
2.6. Serebral Bypass Cerrahisi	17
2.6.1. Serebral Bypass Cerrahisi Tanımı ve Endikasyonları.....	17
2.7. Serebral Bypass Çeşitleri.....	18
2.7.1. Akım Artırıcı Bypass Endikasyonları	18
2.7.1.1. Moyamoya Hastalığı ve Moyamoya Sendromu	18
2.7.1.2. Aterosklerotik Stenooklüziv Hastalıklar	19

2.7.2. Akım Replase Edici Bypass Endikasyonları	20
2.7.2.1. Kompleks Anevrizmalar ve Bazı Kafa Tabanı Tümörleri.....	20
2.8. Serebral Bypass Cerrahisi ile Tedavi Edilen Hastalık:	
Moyamoya Hastalığı.....	21
2.8.1. Moyamoya Etiyopatogenezi.....	22
2.8.2. Moyamoya Hastalığı Klinik Prezantasyonu.....	23
2.8.3. Moyamoya Hastalığında Görüntüleme Yöntemleri ve Özellikleri.....	24
2.8.4. Moyamoya Hastalığı Tedavisi.....	25
2.9. Serebral Revaskülarizasyonun Tekniklerine Cerrahi Bakış	26
2.9.1. Direkt Revaskülarizasyon Teknikleri.....	26
2.9.2. İndirekt Revaskülarizasyon Teknikleri.....	27
2.9.3. Kombine Revaskülarizasyon Teknikleri.....	31
2.10. Serebral Bypass Cerrahisi Komplikasyonları.....	31
2.11. Direkt ve İndirekt Revaskülarizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması....	31
2.12. Serebral Bypass Cerrahisi Eğitim Modelleri ve Laboratuvar Çalışmaları.....	31
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	33
3.1. Anastomoz Modelinde Kullanılacak Vasküler Yapıların Seçilmesi ve Hazırlanması	33
3.2. Uygulanacak Kraniotomi ve Beyin Parankimini Temsil Edecek Modelin Hazırlanması	34
3.3. Parankim Modeli Üzerine Yerleştirilecek Sensörlerin Hazırlanması ve Yerleştirilmesi	37
3.4. Kan Dolaşımını Simüle Eden Sistemin Kuruluşu	41
3.5. Anastomoz Pratiklerinin Yapılması	42
3.6. Anastomoz Sağlamlığının ve Kaçakların Değerlendirilmesi.....	49
3.7. İstatistiksel Analiz.....	50
4. BULGULAR.....	51
5. TARTIŞMA.....	53

6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
7. KAYNAKLAR.....	59
8. EKLER.....	66
Ek 1: Etik Kurul Onayı.....	66



TABLÖLAR

Tablo 1: Moyamoya Hastalığının Değerlendirilmesinde Suzuki Evreleme Sistemi	25
Tablo 2: FSR Yük, Direnç ve Voltaj Değişimi	39
Tablo 3: Yapılan Anastomozların Özellikleri	51
Tablo 4: Kullanılan Forseps ve Portegüler ile Sütürlerin Dağılımı.....	51
Tablo 5: Portegü ve Forsepsin Anastomoz Süreleri ve Sensöre Dokunma Sayıları	52



ŞEKİLLER VE RESİMLER

Resim 1: Hindi kanadı diseksiyonu.....	33
Resim 2: Tavuk kanadı diseksiyonu	34
Resim 3: Üç boyutlu yazıcıda basılan kalıpla hazırlanmış silikon parankim modeli.....	35
Resim 4: Üç boyutlu yazıcıda basılan hemikranium modeli.....	36
Resim 5: Parankimle birleştirilmiş ve cerrahi pozisyonuna yerleştirilmiş hemikranium modeli.....	37
Resim 6: FSR Sensör 0.5"	38
Şekil 1: FSR sensörlerde Voltaj, Direnç ve Yük arasındaki ilişki	38
Şekil 2: Sensörlerin kalibrasyon eğrisi	40
Resim 7: Sensörler yerleştirilmiş parankim modeli	41
Resim 8: Eğitim modelinin kurulması	42
Resim 9: Anastomozda kullanılan el aletleri ve sütürler	43
Resim 10: Adventisya diseksiyonu	44
Resim 11: Adventisya diseksiyonu sonrası damarın hazır edilişi	44
Resim 12: Metilen mavisi ile anastomoz uçlarının belirginleştirilmesi	45
Resim 13: Anastomoza başlanması	46
Resim 14: Anastomozun tamamlanması	46
Resim 15: Anastomoz esnasında eğitim modelinin görünüşü	47
Resim 16: Anastomoz pratiği esnasında alınan görüntü-1.....	48
Resim 17: Anastomoz pratiği esnasında alınan görüntü-2.....	49

KISALTMALAR

İKA: İnternal Karotid Arter
VA: Vertebral Arter
BA: Baziler Arter
OKA: Ortak Karotid Arter
EKA: Eksternal Karotid Arter
PKA: Posterior Komünikan Arter
ASA: Anterior Serebral Arter
AKA: Anterior Komünikan Arter
OSA: Orta Serebral Arter
PSA: Posterior Serebral Arter
STA: Süperfisiyal Temporal Arter
PİSA: Posterior İnterior Serebellar Arter
AİSA: Anterior İnterior Serebellar Arter
SSA: Superior Serebellar Arter
SBC: Serebral Bypass Cerrahisi
EK: Ekstrakraniyal
İK: İnttrakraniyal
OMA: Orta Meningeal Arter
SAK: Subaraknoid Kanama
MMH: Moyamoya Hastalığı
MRG: Manyetik Rezonans Görüntüleme
DSA: Dijital Substraksiyon Anjiyografi
BTA: Bilgisayarlı Tomografi Anjiyografi
MRA: Manyetik Rezonans Anjiyografi
EPH: Endotelyal Progenitör Hücreler
BT: Bilgisayarlı Tomografi
TKD: Transkraniyal Doppler
İMA: İnternal Maksiller Arter
FSR: Force Resistive Sensor

TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Ana Bilim Dalı'nda tıpta uzmanlık eğitimim boyunca ve uzmanlık tezimin her aşamasında bana yol gösteren tez danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Ercan ÖZER'e teşekkür eder, sonsuz saygılarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca engin bilgilerinden faydalandığım ve bana bu zorlu yolda ışık tutan ve birlikte çalışma fırsatı bulduğum sayın anabilim dalı başkanımız Prof. Dr. R. Serhat Erbayraktar olmak üzere saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Burak Sade, Prof. Dr. Ercan Özer, Doç. Dr. H. Selim Karabekir, Doç. Dr. Hülagü Kaptan, Doç. Dr. Orhan Kalemci, Doç. Dr. Murat Yılmaz, Op. Dr. Koray Ur'a, uzmanlık eğitimimin ve tez yazım aşamasının her döneminde gerek bilgi ve birikimiyle gerekse manevi desteğiyle her zaman desteğini hissettiğim, Doç. Dr. Ceren Kızmazoğlu'na teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Birlikte çalışma ve öğrenme fırsatı bulduğum ve ihtisas süresince birbirimize her anlamda destek olup birlikte geliştığımız, çalışmaktan çok büyük keyif aldığım asistan hekim arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, tüm eğitim hayatım ve yoğun ihtisas eğitimim boyunca yanımda olduklarını ve bana olan inançlarını her an hissettiğim çok kıymetli annem, babam ve kardeşlerime teşekkür ederim. İhtisasımın son altı ayında tanışma fırsatı bulduğum ve hayatımı birleştirme kararı aldığım, bu kısa sürede dahi her koşulda ve her şekilde yanımda olduğunu göstermekten imtina etmeyen, çok sevgili eşim, meslektaşım Op. Dr. Burkay Akdağ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

MİKROCERRAHİ TEKNİK İLE SEREBRAL ARTER ANASTOMOZU SİMÜLASYONU İÇİN YENİ EĞİTİM MODELİ

Giriş ve Amaç: Çalışmamızda mikroşirürji pratiğinde kullanılabilecek, özellikli bir cerrahi olan serebral bypass cerrahisini simüle eden, tekrar kullanılabilir, düşük maliyetli ve canlı hayvan kullanılmadan tavuk ve hindi damarlarının yer aldığı, cerraha taktir şartlanma sağlayacak sensör sistemini barındıran ve anastomoz sağlamlığının değerlendirilebildiği bir eğitim modeli meydana getirmeyi ve bu modelin cerrahın öğrenme eğrisine katkısını değerlendirmeyi amaçladık.

Gereç ve Yöntem: Serebral bypass modelinin kraniyotomi ve serebral yüzeyi için için üç boyutlu yazıcı ile kraniyum modeli basıldı. Ardından silikon materyal ile kraniyum kalıbından parankim oluşturuldu. Anastomozlarda, diseke edilen tavuk brakial arteri orta serebral arteri, hindi brakial arteri de süperfisiyal temporal arteri temsil edecek şekilde hazırlandı. Parankim üzerine basınca duyarlı sensörler yerleştirildi. Anastomoz süresi boyunca bu sensörlere dokunma sayısı ve parankime uygulanan dokunma basıncı kayıt altına alındı. Sensörlerden gelen sesli uyarı ile cerraha taktir şartlanma sağlandı. Anastomozların sağlamlığı da kan akımını temsil eden sistemle damar basıncı artırılarak değerlendirildi. Farklı sütürler, farklı el aletleri ile yapılan toplam 24 anastomoz denemesinin sonuçları değerlendirildi.

Bulgular: Anastomoz pratiğinin sayısı arttıkça anastomoz için gereken sürenin kısaldığı gösterildi ($p<0,05$). Anastomoz kaçığı oluşan basınçlar açısından portegü ve forseps ile yapılan anastomozlar arasında anlamlı fark yoktu ($p>0,05$). Anastomoz süreleri açısından da portegü ve forseps kullanımı arasında anlamlı fark bulunmadı ($p>0,05$). Anastomoz boyunca sensöre dokunma sayıları açısından da iki grup arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmadı ($p>0,05$). Anastomoz pratiğinin sayısı arttıkça parankim üzerinde bulunan sensörlere dokunma sayısı azaldığı bulundu ($p<0,05$).

Sonuçlar: Çalışmada anastomoz pratiği arttıkça anastomoz süresinin kısaldığı ve sensöre dokunma sayısının azaldığı gösterildi. Bu da eğitim modelinin işe yararlığını ve cerrahın öğrenme eğrisine yaptığı katkıyı göstermektedir. Çalışmamızda; basınç duyarlı sensörler ile cerrahın taktir şartlanma kazanmasının sağlanması, anastomoz sağlamlığı ve kaçığının

değerlendirilebiliyor oluşu, düşük maliyetli, tekrar kullanılabilir ve kolay erişilebilir oluşuyla mikrocerrahi pratiği için kullanılabilecek bir model geliştirdik. Mikroşirürji eğitimi için, ilerleyen teknolojilerle bu in vitro modellerin geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi, bu özellikli eğitimi hasta bazlı olmaktan çıkarıp eğitimin laboratuvar ortamında standardize edilebilen ve tekrarlanabilen bir öğrenme süreci haline gelmesine katkıda bulunacaktır.

Anahtar sözcükler: Serebral bypass cerrahisi, Ekstra-intrakraniyal bypass, Anastomoz, Mikroşirürji eğitim modeli, Taktıl şartlanma.



A NOVEL TRAINING MODEL FOR CEREBRAL ARTERY ANASTOMOSIS SIMULATION BY MICROSURGERY TECHNIQUE

SUMMARY

Background and Objective: In our study, we aimed to create a training model that can be used in microsurgery practice, simulates cerebral bypass surgery, is reusable, low-cost, includes chicken and turkey vessels without using live animals, includes a sensor system that will provide tactile conditioning to the surgeon, and can evaluate anastomotic stability, and how this model can be used. We aimed to evaluate the surgeon's contribution to the learning curve for microsurgery practise.

Materials and Methods: For the craniotomy and cerebral surface of the cerebral bypass model, the cranium model was printed with a three-dimensional printer. Then, parenchyma was formed from the cranial mold with silicone material. In anastomoses, the dissected chicken brakial artery was prepared to represent the middle cerebral artery and the turkey brachial artery to represent the superficial temporal artery. Pressure sensitive sensors were placed on the parenchyma. The number of touches to these sensors and the touch pressure applied to the parenchyma during the anastomosis period were recorded. Tactile conditioning was provided to the surgeon with the audible warning from the sensors. The stability of the anastomoses was also evaluated by increasing the vascular pressure with the system representing the blood flow. The results of a total of 24 anastomosis trials with different sutures and different hand tools were evaluated.

Results: It was shown that the time required for anastomosis decreased as the number of anastomosis practice increased ($p < 0.05$). There was no significant difference between the anastomoses performed with portuges and forceps in terms of anastomotic leakage pressures ($p > 0.05$). In terms of anastomosis times, there was no significant difference between the use of portuges and forceps ($p > 0.05$). There was no statistically significant difference between the two groups in terms of the number of touching the sensor during the anastomosis ($p > 0.05$). It was found that as the number of anastomosis practice increased, the number of touching the sensors on the parenchyma decreased ($p < 0.05$).

Conclusion: In the study, it was shown that as anastomosis practice increases, anastomosis time becomes shorter and the number of touching the sensor decreases. This demonstrates the usefulness of the training model and its contribution to the surgeon's learning curve. In our study, we have developed a model that can be used for microsurgery practice with pressure sensitive sensors, enabling the surgeon to gain tactile conditioning, evaluating anastomotic stability and leakage, low cost, reusable and easy accessibility. The development and diversification of these in vitro models for microsurgery education with advancing technologies will contribute to transforming this specialized education from being patient-based to a learning process that can be standardized and repeated in the laboratory environment.

Keywords: Cerebral bypass surgery, Extra-intracranial bypass, Anastomosis, Microsurgery training model, Tactile conditioning.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Serebral revaskülarizasyon cerrahisi, 1967 yılında Yaşargil tarafından nöroşirürji dünyasına giren ve sonrasında özellikli endikasyonlarda tercih edilen bir tekniktir. Endikasyonlarının sınırlı olması, tecrübe gerektiren bir cerrahi olması ve hastalar üzerinde çok sayıda pratik yapmanın mümkün olmaması nedeniyle serebral bypass cerrahisinde laboratuvar çalışmaları ve in vitro modeller günümüzde oldukça popüler hale gelmektedir.

İntra-ekstrakraniyal bypass cerrahisi; moyamoya gibi kronik iskemiyle seyreden vasküler oklüziv hastalıklarda, kompleks anevrizma ve vasküler sakrifikasyon gerektiren tümörlerde kullanılabilmektedir. Serebral revaskülarizasyon, moyamoya hastalığı için halen tedavide tek seçenektir.

Yapılan çalışmalarda serebral bypass cerrahisini simüle eden modeller geliştirilmiştir. Böylelikle, revaskülarizasyon denemeleri yapılarak bu özellikli cerrahi için eğitim pratikleri yapılması sağlanmıştır. Tavuk ve hindi damarları, kadavralar, plasenta ve canlı hayvan modelleri kullanılarak bypass cerrahisini simüle eden modeller geliştirilmiştir. Bu modellerle cerrahin bu özellikli cerrahide el becerisinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Biz de çalışmamızda süperfisiyal temporal arter ile orta serebral arter bypassını simüle eden bir in vitro model oluşturmayı amaçladık. Modelimizde süperfisiyal temporal arteri hindi brakial arteri, orta serebral arteri ise tavuk brakial arteri temsil etti. Üç boyutlu yazıcı ile kranium ve parankim modelini oluşturacak kalıp basılarak kalıbın içerisine silikon dökülmesi sonrasında beyin parankimi elde edildi. Parankim üzerine damarlar ve dokunma basıncını algılayan sensörler yerleştirilerek mikroskop altında mikro forseps ve mikro portegülerle anastomoz pratikleri yapıldı. Anastomoz esnasında parankime yapılan dokunma basınçları, dokunma sayıları ve bunların farklı el aletleriyle nasıl değiştiği ve anastomoz süreleri değerlendirildi. Bunun yanı sıra, parankime her dokunmada sesli uyarı veren basınca duyarlı sensör alarm sistemi mevcuttu. Anastomoz sonrasında ise serebral kan akımını temsil eden bir mekanizma ile anastomozu yapılan damarlar içerisinde sıvı akışı sağlandı. Böylelikle anastomoz kaçakları meydana geliyorsa hangi kan basınçlarında meydana geldiği ölçüldü. Anastomoz sağlamlığını, parankimin yapılan anastomoz esnasında ne kadar basınca maruz kaldığının görülmesi açısından çalışmamız benzerlerinden ayrılmaktadır.

Yapılan anastomoz pratiğinin sayısı arttıkça anastomoz süresinin kısılması ve parankime en az temasın gerçekleştirilmesini hedefledik. Çalışmamızda; bypass cerrahisinin laboratuvar eğitimi için tekrar kullanılabilir, düşük maliyetli, efektif ve gerçeği yansıtan, anastomozun sağlamlığının değerlendirilebileceği inovatif bir model geliştirmeyi amaçladık.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Bypass Cerrahisi Tarihçesi

Mikrovasküler cerrahinin nöroşirürjiye girişi 1960-70'li yıllarda olmuştur. Burlington, Jacobson ve Suarez; Alexis Carrel'in teknikleriyle küçük hayvanlarda damar onarımı için mikroskop kullanımının öncüleri olmuştur (1).

Donaghy de mikrovasküler cerrahiye katkıda bulunmuştur. Küçük hayvanlarda arteriyel vazospazm ve küçük damar rekonstrüksiyonu üzerine girişimsel çalışmalar yaptığı bir mikrocerrahi laboratuvarı kurmuştur.

Zürih nöroşirürji departmanında Krayenbuhl ile çalışan Yaşargil de mikrocerrahinin nöroşirürjikal uygulamaları hususunda oldukça fazla çalışma yapmıştır.

Yaşargil, Burlington Vermont'ta Donaghy'nin laboratuvarını ziyaret ederek mikroskop, mikro enstrümanlar ve mikrovasküler teknikler hakkında küçük hayvanlar üzerine femoral ve karotid arter üzerinde çalışarak deneyimler elde etmiştir (2).

Yaşargil'in ilk girişimleri, bir ekstrakraniyal (EK)-intrakraniyal (İK) bypass şekli olarak; femoral vasküler greft interpozisyonu ve ortak karotid arterin (OKA) orta serebral artere (OSA) bypassıdır. Anastomozlar erken dönemde tromboze olmuştur. Sonrasında süperfisiyal temporal arter (STA)-OSA bypassı gündeme gelmiştir. 1966'nın sonlarında 30'dan fazla köpekte bu hususta yapılan çalışma yayınlanmıştır ve patent anastomozlar elde etmiştir (3).

Yaşargil, Zürich'e dönüp 1967'de ilk STA-OSA bypassını Marfan sendromlu bir hastada total OSA oklüzyonu nedeniyle gerçekleştirmiştir. Ardından ikisinin kompleks intrakraniyal anevrizma, yedisinin internal karotid arter (İKA) ya da OSA oklüzyonu olduğu dokuz bypass olgusu yayınlamıştır.

1971'de William Loughheed, total İKA oklüzyonu olan hastaya EK-İK bypass uygulamıştır. OKA ile intrakraniyal İKA'yı safen ven grefti ile anastomoz etmiştir. Bu yöntem, Yaşargil'in metoduna kıyasla daha fazla kan akımı sağlamaktadır (3).

1972'de Yaşargil ilk kez bir moyamoya hastasına EK-İK bypass gerçekleştirmiştir. Günümüzde, moyamoya için bypass tedavisi halen devam eden bir prosedürdür. 1974'te Spetzler STA'nın anastomoza uygun olmadığı vakalarda donör damar olarak oksipital arterin kullanımını tanımlamıştır (3).

Bu gelişmeden iki yıl sonra; Spetzler ve Chater, OSA kan akımı ve STA çapı ile kortikal arterlerin beslenmesi ve postoperatif kan akımı üzerine fizyolojik ve anatomik çalışmalarını yayınlamıştır (4).

Akut serebral iskemide EK-İK bypass cerrahisi kontrendike olarak değerlendirilmiştir (5).

1978'de Ausman, vertebral arter (VA)-posterior inferior serebellar arter (PİSA) anastomozu için radial arter grefti kullanmıştır (6).

1978'de Sundt, eksternal karotid arterin (EKA) oksipital dalı ile PİSA anastomozu yapılmıştır. 1979'da Miller ve Spetzler orta meningeal arter (OMA) ile OSA anastomozunu başarıyla uygulamıştır (7). Bir yıl sonra Story, safen ven grefti ile İKA-OSA bypassı uygulamıştır (8).

Spetzler, yayınlarında dev İKA anevrizmalarında bypass uygulamanın hasta takiplerindeki iskemik komplikasyonların önüne geçtiğini göstermiştir (9).

Spetzler ayrıca serebral revaskülarizasyonunun alternatifleri olarak; safen ven grefti ile OSA-subklavian arter anastomozu prosedürünü ve STA adventisiasının kortikal araknoide sütürasyonunu da tanımlamıştır (10,11).

1980'lere kadar bypass cerrahisi, serebrovasküler sistemin oklüziv hastalıklarına bağlı inmelerin sonuçlarının sekonder korumasında önemli rol oynamaktaydı.

2.2. Geçmişte Bypass Cerrahisinin Uygulama Alanları

2.2.1. Akut İskemik İnme ve Acil Serebral Revaskülarizasyon

Girişimsel radyolojinin uygulamaları ve trombolitik tedavilerin gelişmesiyle, serebrovasküler olaylarda acil İK-EK bypass gereksinimi azalmıştır.

2.2.2. Serebral Vazospazm ve Subaraknoid Kanama

Serebral vazospazm, gecikmiş iskemik nörolojik defisitlerin ve anevrizmal subaraknoid kanama (SAK) hastalarında olumsuz sonuçların en temel sebeplerinden biridir. STA-OSA bypassı, anevrizmal SAK hastalarında vazospazmdan etkilenen iskemik alanların reperfüzyonu için ve nörolojik durumu iyileştirmek adına denenmiştir. Batjer ve Samson, semptomatik vazospazmı olan 11 hastada STA-OSA bypassı uygulamışlardır. Altı hastada ilk 24 saatte

nörolojik iyileşme gözlenmiş, iki hastanın nörolojik defisitleri ise aynı kalmıştır. Benzel ve Kesterson ise medikal tedaviye dirençli semptomatik anevrizmal SAK'a sekonder gelişen vazospazmda iyileşen nörolojik defisitlere ilişkin sonuçlar ortaya koymuşlardır. Tüm bunlara rağmen, papaverinle kombine edilen ya da edilmeyen balon anjiyoplasti gibi endovasküler uygulamalar ve hipertansiyon-hipervolemi ve hemodilüsyon uygulamaları semptomatik vazospazmın yönetiminde daha öncül rol almaktadır (2).

2.2.3. Karotid Endarterektominin Mümkün Olmadığı Oklüziv Serebrovasküler Hastalıklar

Oklüziv bir nedene bağlı ilk STA-OSA bypassı Yaşargil tarafından uygulanmıştır. İlk yedi hastasının sonuçları ise yayınlanmıştır.

Serebral bypass cerrahisi, halen profesyonel ve oldukça deneyimli ellerde uygulanan özellikli bir tekniktir.

1977'de Kuzey Amerika'da Henry Barnett ve arkadaşları tarafından, OSA ya da İKA'nın semptomatik oklüde olduğu ya da yüksek dereceli stenoza neden olan aterosklerotik lezyonları olan ve endarterektomiye uygun olmayan; yalnızca medikal tedavi ile STA-OSA bypassı ile medikal tedavi kombinasyonunu karşılaştıran bir çalışma başlatıldı. Çalışmanın amacı, STA-OSA bypassının inme insidasını ve inme ile ilişkili ölümleri azaltıp azaltmadığını değerlendirmektir. 714 hastaya medikal tedavi, 663 hastaya bypass cerrahisi uygulandı. 30 günlük cerrahi mortalite %0,6, inme mortalitesi ise %2,5 olarak değerlendirildi. Cerrahi grupta inme daha erken ve daha sık gözlemlendi. Sonuç olarak, STA-OSA bypass'ının İKA ve OSA'nın endarterektomiye uygun olmayan aterosklerotik hasta grubunda serebral iskemiyi önleme hususunda etkili olmadığı gözlemlendi. Cerrahi uygulanan grupta ilk bir ayda günlük işlerde geçici fonksiyonel bozulma izlense de altı aylık takiplerde iki grup arasında belirgin fark izlenmedi (2,12).

İlerleyen süreçte, inmeler gibi oklüziv hastalıklar için EK-İK bypass cerrahisi oldukça az uygulanmış olup serebral revaskülarizasyon günümüzde aslen halen moyamoya hastalığı gibi vasküler patolojiler, kompleks intrakraniyal anevrizmalar ve kafa tabanı tümörleri için uygulanmaktadır.

2.3. Günümüzde Bypass Cerrahisinin Uygulama Alanları

2.3.1. Anevrizmalar ve Tümörler

19. yy'dan bu yana anevrizma cerrahisi uygulanmakta ve gelişmektedir. Peroperatif kan akımının ve anevrizmanın kontrolü amacıyla anterior sirkülasyon anevrizmalarına karotid arter ligasyonu uygulanmaktaydı.

Hiro Nishioka, yaptığı intrakraniyal anevrizmalar ve SAK ile ilgili çalışmanın sonucunda, intrakraniyal anevrizmaların boyunda karotid arter ligasyonu ile tedavi edilmesinin sonuçlarını yayınlamıştır. Rüptüre anevrizmalarda iskemik inme oranı %33, rüptüre olmamış anevrizmalarda ise %12 olarak bulunmuştur. OKA yerine İKA oklüzyonu olanlarda iskemik defisit oranı daha yüksek bulunmuştur (13).

Yaşargil iki dev anevrizması bulunan hastada STA-OSA bypassını tanımlamıştır ve bu kompleks intrakraniyal anevrizmaların tedavisinde yeni bir süreç başlatmıştır (14).

STA-OSA bypassının önemi, anevrizma cerrahisinde ana arter oklüzyonunun sebep olduğu nörolojik defisitlerin önüne geçilebilmesidir. 1980'li yıllarda nöroşirürjikal gelişmelerle, EK-İK bypass cerrahisi deneyimleri paylaşılmaya başlanmıştır (15–17).

STA-OSA bypassı sonucunda yapılan revaskülarizasyon; distal kortikal damarlardaki mikotik ve travmatik anevrizmaların tedavisi, servikal İKA travması, karotikokavernöz fistüllerin tedavisi ve kafa tabanı tümörlerinin tedavisinde uygulanmaktadır (18–20).

İskemilerin muhtemel nedeni, embolik süreçler, OSA'dan geçen kan akımının yetersizliği ve OSA bifurkasyondan hemen önce kliplendiğinde M1 segmentinin retrograd trombozu olarak düşünülmektedir.

2.3.2. Moyamoya Hastalığı

Direkt STA-OSA bypassı ile tedavi edilen ilk moyamoya hastası, Yaşargil'in 1972 yılında opere ettiği dört yaşındaki bir çocuktur. 1980 yılında ise bilateral supraklinoid İKA oklüzyonu olan ve rekürren hemiparezi ve afazisi olan bir hastaya indirekt STA-OSA bypassı uygulanmıştır. Direkt bypass planlanmış; ancak uygun alıcı kortikal damar bulunamaması nedeniyle STA, serebral hemisfer üzerine bırakılıp araknoid ile suture edilmiş ve indirekt bypass gerçekleştirilmiştir. Hastada gözle görülür klinik iyileşme sağlanmış ve postoperatif

anjiyogramda kollateral damarların oluştuğu ve gösterilmiştir; bu da indirekt STA-OSA bypassının da etkin bir revaskülarizasyon yöntemi olduğunu göstermektedir.

Bypass cerrahisi uygulanan çocuklarda; nörolojik iyileşmenin sağlandığı, defisitlerin azaldığı, mental-motor gelişimin normal şekilde devam ettiği, nöbet aktivitesinde azalma ve istemsiz hareketlerin kaybolduğu bildirilmiştir (21–23).

Yapılan çalışmalarda, erişkin moyamoya hastalarında da yapılan bypass uygulamalarının iskemik epizodları önlediği, klinik iyileşme sağladığı ve serebral hemodinamiyi düzelttiği gösterilmiştir (24–27). Bunların ötesinde revaskülarizasyonun hemorajiyi önleyip önlemediği halen tartışmalıdır (26,28).

2.3.3. Oklüziv Serebrovasküler Hastalıklar

EK-İK bypassı uygulanabilir hale geldikten sonra, semptomatik İKA oklüzyonuna yönelik bypass girişimlerinin çeşitli merkezlerde yapılan çalışmalarında iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Yapılan cerrahilerin endikasyonu, İKA oklüzyonunda semptom varlığında maksimum medikal tedaviye rağmen görüntülemeye sebat eden perfüzyon anomalileri olarak belirlenmiştir (29–32).

Serebral kan akımının azalması ve tromboembolik olaylar, İKA oklüzyonu ve inmelerin temel etiolojisini oluşturur. Serebral perfüzyonunun derecesi, medikal tedavi alan İKA oklüzyonlarında inme riskinin bağımsız predikte edici faktörüdür (33). Revaskülarizasyon prosedürü uygulanan hastaların seçilmiş alt popülasyonlarında serebral kan akımının ve serebral metabolizmanın iyileştiği ve perfüzyonun gözle görülür şekilde arttığı yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (29,31,34).

2.4. Temel Bilgiler

2.4.1. Serebral Arteriyel Vasküler Anatomi

Beyin, dört büyük damar sistemi tarafından beslenir. Anterior sirkülasyon aslen sağ ve sol internal karotid arterler (İKA), posterior sirkülasyon ise sağ ve sol vertebral arterlerden (VA) oluşur. İKA'lar serebral hemisferlerin beslenmesinin büyük kısmını, VA'lar ise posterior fossanın ve beyin sapının beslenmesini üstlenir. İKA'lar ve VA'lar arasında oluşan anastomozlardan meydana gelen Willis poligonu, beynin beslenmesini üstlenir.

2.4.1.1. Anterior Sirkülasyon

Anterior sirkülasyon, İKA'lar ile sağlanır. İKA, sağda brakiosefalik trunkusun posteriorundan, ortak karotid arter (OKA) dallanır. Servikal bölgede dal vermeden posterolateralde yükselir ve tiroid kartilaj hizasında eksternal karotid arter (EKA) ve İKA olmak üzere ayrılır. Solda ise arkus aortadan direkt ayrılan OKA, posterolateralde yükselerek tiroid kartilajın üst sınırı hizasında EKA ve İKA'ya ayrılır (35). EKA skalp, yüz ve dili besleyen dallar verirken; İKA dal vermeden kafa tabanına yükselir (36).

a. İnternal Karotid Arter

OKA'nın bir dalı olarak, hiç dal vermeden kafa tabanına ilerler. Karotid kanaldan kafa tabanına girerek orta fossaya ulaşır. Ardından dura materi delerek kavernöz sinüse gelir, dura materi yine delerek subaraknoid bölgeye erişir ve supratentoryal bölgeleri besleyen dallarını verir. Oksipital lob hariç, serebral hemisferlerin beslenmesi İKA'lar ile olur. Yedi segmentte incelenir.

C1: Servikal Segment

İKA'nın OKA'dan ayrıldıktan sonraki bölümüdür. EKA'nın posterolateralinde karotid kılıf içerisinde seyredir. İKA, karotid kanala girdiğinde bu segment sonlanır. Bu kısımda dal vermez.

C2: Petröz Segment

İKA'nın temporal kemiğin petröz kısmında karotid kanal içerisindeki kısmıdır. Vertikal, kıvrılan ve horizontal olmak üzere üç parçada incelenir. Bu segment foramen laserumun arka sınırından çizilen vertikal hatta sonlanır.

C3: Laserum segment

Karotid kanalın bittiği yerde başlar. Foramen laserum ekstrakraniyal düzeyde bir açıklık olduğu için, İKA segmenti bu deliğin içinden geçmez, üzerinde seyredir ardından kanaliküler kısmında vertikal olarak yükselir. Bu segmentte İKA lateral kıvrımını yapar. Laserum segmenti, petrolingual ligamanın üst sınırında sonlanır.

C4: Kavernöz Segment

Petrolingual segmentin üst sınırında başlar. Kavernöz sinüs içerisinde bulunan kısmıdır. Vertikal, arka kıvrım, horizontal ve ön kıvrım olmak üzere dört parçada incelenir. Proksimal

dural halkada sonlanır. Meningohipofizeal trunk ve inferior kavernöz sinüsün arteri bu segmentten çıkar.

C5: Klinoid Segment

Proksimal dural halkadan başlar ve distal dural halkada sonlanır. Kama şeklinde kısa bir segmenttir. Dal vermez. Oftalmik arter ve süperior hipofizeal arter dallarını verir.

C6: Oftalmik Segment

İKA'nın intradural olmaya başladığı distal dural halkada başlar, posterior komünikan arterde (PKA) sonlanır. Oftalmik arter ve hipofizial arter olmak üzere iki önemli dal verir.

C7: Komünikan Segment

PKA başlangıcından hemen önce başlar. PKA ve anterior koroidal arter olmak üzere iki önemli dal verir. Anterior perforan substansın alt tarafında bifurkasyon yaparak sonlanır ve iki uç dala ayrılır (37)

b. Anterior Serebral Arter (ASA)

İKA'nın iki terminal dalından ince olanıdır ve lateral sulkusun medial ucunda başlar. Optik kiazmanın üstünden geçerek longitudinal serebral fissürün başına gelir ve karşı taraf ASA ile anterior komünikan arter (AKA) aracılığıyla bağlantı kurar. Her iki tarafa ait ASA birlikte korpus kallosum boyunca devam ederler ve parietookipital sulkusa kadar ilerlerken serebral hemisferlere çok sayıda dal verirler. Bu sulkusta her iki ASA posterior serebral arterin (PSA) dallarıyla anastomoz yapar. Bu dallar ile; frontal ve parietal lobların medial yüzleri, korpus kallosumun ön kısmı, septum pellucidum, kaudat nükleus, putamenin anterioru ve internal kapsülün frontal bacağı beslenir (37,38). Prekomünikan (proksimal) ve postkomünikan (distal) olmak üzere iki bölümde incelenir. Beş segmente ayrılır.

A1: Prekomünikan Segment

Prekomünikan segmenttir. İKA bifurkasyonundan başlar ve AKA'ya kadar olan kısmı ifade eder. Bu segment boyunca kısa perforanlar verir ve bu perforanlar internal kapsül, talamus ve bazal ganglionların rostral kısımları, hipotalamus, kiazma ve anterior kommisura gider. Heubner arteri en uzun perforandır ve sıklıkla A2 proksimalinden, bazen de A1 distalinden, çok nadiren de A1-A2 bileşkesinden çıkar; striatumun ve internal kapsülün büyük kısmını besler. Buradan sonraki segmentler postkomünikan segmentler olarak adlandırılır.

A2: İnfrakallozal Segment

Korpus kallozumun genusu ve rostrumun birleştiği yerde sonlanır.

A3: Prekallozal Segment

Korpus kallozum genusu boyunca seyrederek ve genunun posteriora doğru açtığı yerde sonlanır.

A4: Suprakallozal Segment

Korpus kallozum üzerinde seyrederek.

A5: Posterokallozal Segment

Korpus kallozum üzerinde seyrederek.

A1 ve A2'den Heubner arteri dışında bazal perforanlar çıkar. Bu perforanlar kiazma, üçüncü ventrikülün önü ve hipotalamik bölgeyi besler. Perikallosal arter, ASA'nın korpus kallozumun süperiorunda seyreden ve hemisferlerin ilgili kısımlarını besleyen distal parçasıdır. Kallozomarjinal arter, perikallosal arterin en geniş dalıdır. Singulat sulkusta seyrederek ve kortikal dallar verir. Sıklıkla A3'ten çıkar. Premotor, motor ve sensöriyel alanları besler. Distal AKA, seyri boyunca kortikal perforanlar da verir. Bunlardan ilki orbitofrontal arterdir. Sıklıkla A2'den çıkar. Gyrus rektus, olfaktör bulbus ve trakt ile frontal lobun orbital kısmının medial yüzü bu arterden beslenir. Bir diğer perforan olan frontopolar arter de sıklıkla A2 segmentinden çıkar ve frontal polün medial ve lateral yüzlerini besler. İnternal frontal arter ise sıklıkla A3'ten ya da kallozomarjinal arterden kaynaklanır ve süperior frontal gyrusun medial ve lateral yüzlerinin posteriorda parasantral lobüle kadar olan kısmını besler. Parasantral arter ise A4'ten ya da kallozomarjinal arterden kaynaklanır; premotor, motor ve somatik sensorial alanları besler. Parietal arterler ise süperior ve inferior olarak adlandırılır, A4, A5 ya da kallozomarjinal arterden kaynaklanır (39).

c. Orta Serebral Arter (OSA)

İKA'nın kalın uç dalıdır. Laterale uzanarak insula üzerinde yukarı ve arkaya ilerler. Sylvian fissürde dallara ayrılır. Seyri boyunca beyin derin yapılarına da çok sayıda dal verir. Serebral hemisferlerin dış yüzünün çoğunu ve bazal çekirdeklerin büyük kısmının beslenmesini sağlar (37,38). Dört bölümde incelenir.

M1: Sfenoidal Segment

İKA çıkışından bifurkasyona kadar horizontal seyreden parçadır. Yaklaşık 14-16 mm kalınlığındadır. Sylvian fissür derininde laterale uzanır. Korpus kallozumun genusunda 90° açı yaparak sonlanır. Sylvian fissürün operkülünü besler (39).

M2: İnsular Segment

İnsulayı ve yakın posterior bölgeleri besler. Genudan başlar ve insula sulkusunda sonlanır.

M3: Operkular Segment

İnsulanın sirküler sulkusundan başlar, sylvian fissürün yüzeyinde sonlanır. Buradan çıkan dallar iki kez 180° dönerek beynin içine girerler ve frontopariyetal operkulumun inferioru boyunca devam ederek frontal ve parietal lobların yan yüzeylerine dağılır.

M4: Kortikal Segment

Sylvian fissür yüzeyinde başlar ve serebral hemisferlerin lateral kortikal yüzlerine dağılır. süperfisiyal temporal arter (STA) - OSA bypasslarında sıklıkla kullanılan OSA segmentidir.

2.4.1.2. Posterior Sirkülasyon

Subklavian arterden ayrılan VA'lar ilk altı servikal vertebra foramen transversariumları boyunca yükselir ve foramen magnumdan kraniuma girer. Kraniumda alterolaterale yönelenerek karşı taraftaki VA ile pons ile medulla oblongatanın bileşkesinde bir araya gelerek baziler arteri (BA) oluşturur. Medulla spinalisin üst seviyeleri, serebellum, pons, medulla oblongata ve oksipital loblar bu şekilde beslenir.

a. Vertebral Arter

VA, subklavian arterin en kalın dalıdır. Servikal seyri sonrasında C1 vertebranın forameninden geçerek atlanto-oksipital membran boyunca ilerleyip foramen magnumdan posterior fossaya girer. Lateral serebellomedüller sistem boyunca uzanır ve hipoglossal sinir boyunca ilerleyip pontomedüller sulkusa ulaşır. Bu sulkusta karşı taraftan gelen VA ile birleşir. Sol VA genelde daha geniştir ve karşı taraf ile genellikle klivus alt sınırında birleşir. Anterior spinal arter dallarından biridir ve piramidal deküstasyon hizasında karşı taraftan gelen arterle birleşir. Bir diğer dalı ise posterior inferior serebellar arterdir (PİSA). PİSA da anterior

medüller, lateral medüller, tonsillomedüller, telovelotonsiller ve kortikal olmak üzere beş segmentte incelenir. Küçük posterior spinal arterler genellikle PİSA'dan köken alırlar. PİSA, serebellumun posteroinferiorunu besler.

b. Baziler Arter

Her iki vertebral arterin pontoserebellar sulkusta bir araya gelmesiyle oluşur. Prepontin sistern içerisinde yukarı doğru devam eder. Dorsum sella düzeyinde interpedinküler sisternde PSA dalını verir. Pons ve mezensefalonun beslenmesini sağlar. Paramedin ve sirkumferensiyal perforan arterler, anterior inferior serebellar arter (AİSA), internal odituar arter (labirintin arter), superior serebellar arter (SSA) de BA'nın dalıdır.

PSA, baziler bifurkasyondan çıkar ve interpedinküler sisternin lateralinde PKA ile birleşir. Krural ve ambient sisternlerde seyredip beyin sapının etrafını dolaşır ve serebral hemisferlerin arka kısmını besler. Ayrıca; koroid pleksus, lateral ve üçüncü ventrikülün lateral duvarı, talamus ve diğer derin yapılara önemli dallar verir. Dört segmentte incelenir.

P1: Prekomünikan Segment

Baziler arterin sonlanmasından başlayıp PKA birleşimine kadar uzanır. İnterpedinküler sisternde yer alır. P1'den; talamoperforan arterler, medial posterior koroidal arter, mesensefalik perforan arterler çıkar.

P2: Ambient Segment

PKA ile başlar, krural ve ambient sistern içerisinde uzanır ve orta beynin posterior kısmında sonlanır. Cerrahi yaklaşımlar nedeniyle anterior ve posterior olarak değerlendirilir. Anterior kısım, krural ya da pedinküler segment olarak adlandırılır. Posterior kısım ise ambient ya da lateral mezensefalik segment olarak adlandırılır. Talamogenikülat arter sıklıkla bu segmentten çıkar. Talamogenikülat arter; posterolateral talamusu, internal kapsülün posterior bacağı, optik traktları ve genikülat cismi besler.

P3: Kuadrigeminal Segment

Kuadrigeminal sistern boyunca uzanır. Anterior ve posterior inferior temporal arterler bu segmentten çıkar.

P4: Kortikal Segment

Posteriorda kalkarin sulcusun anterior kısmından başlar ve kortikal yüzeylere dağılır (39).

2.5. Serebral Fizyoloji ve Serebral Kan Akımı

Beyin, vücut ağırlığının %2'sini oluşturmaya rağmen, dinlenme esnasında kardiyak kan akımının %15'ini alır. Serebral kan akımı, serebral arteriol düzeyinde serebral perfüzyon basıncına göre düzenlenir. Beynin normal ortalama kan akımı dakikada her 100 gram beyin dokusu için 50-65 ml olarak ölçülmüştür. Bu da tüm beynin dakikada 750-900 ml kan akımı olması anlamına gelmektedir(40). İKA; beynin total kan akımının %80'ini taşır (41).

2.6. Serebral Bypass Cerrahisi

2.6.1. Serebral Bypass Cerrahisi Tanımı ve Endikasyonları

Serebral bypass cerrahisinin amacı, bir serebral damar tarafından sağlanan serebral kan akımını artırmak ya da kan akımının tamamıyla o damar tarafından üstlenilmesini sağlamaktır. Kronik serebral iskemili hastalarda da serebral kan akımının artırılması bypass cerrahisi ile sağlanabilir. Bypass cerrahisi ile hemodinamik destek; aterosklerotik hastalıklarda başlarda kullanılmakta iken, günümüzde faydası tartışmalıdır. Yalnızca moyamoya hastalığında serebral iskemiye önlemede ve yeniden kanama riskini azaltmada EK-İK bypassın net faydası gösterilmiştir (42,43). Bunların ötesinde dev anevrizmalar gibi kompleks vasküler lezyonlarda ve kafa tabanı tümörlerinde bypass cerrahisi kullanılmaktadır (44).

Kronik serebral iske mi, tüm iskemik inmelerin yaklaşık %10'undan sorumludur. Hemodinamik inmenin en sık sebebi, aterosklerotik hastalıklardır. İkinci sırada ise, proksimal serebral damarların idiyopatik progresif daralmasıyla seyreden moyamoya hastalığı yer alır (44) EK-İK bypass cerrahisinin, moyamoya hastalarında 10 yıllık inme riskini %19.6'dan %9.4'e düşürdüğü çalışmalarda gösterilmiştir (45). Aterosklerotik İKA oklüzyonu olan hastalarda ise, perioperatif inme riski nedeniyle bypass cerrahisinin anlamlı faydası çalışmalarda gösterilememiştir (46).

Akım replasmanı için bypass cerrahisinin amacı, proksimal damar oklüzyonunu takiben gelişen akut iskemik inmeyi önlemektir ve bypass cerrahisi dolikoektotik, dev anevrizmalar (>2.5 cm), parsiyel tromboze, kalsifiye, koillenmiş-kliplenmiş ve yeniden büyümüş, fusiform anevrizmalar gibi direkt açık cerrahi ile kliplenemeyen ya da endovasküler tedaviye uygun olmayan kompleks anevrizmaların tedavisinde halen önemli bir seçenektir(44,47–49). Greft ile sağlanan kan akımı miktarı, anterior dolaşım için “balon oklüzyon testi” ile değerlendirilebilir.

Bir diğer bypass endikasyonu ise, peroperatif damar yaralanması gelişmesi ve primer onarımın mümkün olmamasıdır. Akut iskemik inme durumunda endovasküler ya da medikal

yöntemlerle rekanalizasyon mümkün olmadığında ya da hastada progresif semptomların varlığında revaskülarizasyon cerrahisinin hemorajik transformasyon riski nedeniyle kritik olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (44).

2.7. Serebral Bypass Çeşitleri

Serebral bypass cerrahisinin amacı, temelde “akımı artırmak” ve “akımı replase etmek” şeklinde iki ana başlıkta toplanabilir. Akımı artıran teknikler, moyamoya benzeri iskemik hastalıkların tedavisinde ve aterosklerotik oklüziv hastalıklarda kullanılır. Akım replasmanı ise bir damardaki kan akımının standart cerrahi tekniklerle korunamadığı kafa tabanı tümörleri ile kompleks anevrizmalar ve damar yaralanmalarının geliştiği olgularda kullanılır (50).

2.7.1. Akım Artırıcı Bypass Endikasyonları

Akım artırıcı revaskülarizasyon yöntemleri, moyamoya hastalığı (MMH) ve aterosklerotik oklüziv hastalıklarda kullanılmaktadır.

2.7.1.1. Moyamoya Hastalığı ve Moyamoya Sendromu

MMH, intimal kalınlaşma ve proksimal serebral arterlerde daralmayla seyreden progresif idiyopatik bir arteriyopatidir. Bu süreçte kollateral akım sağlamak amacıyla daha distal ve kortikal küçük damarlarda kompensatuvar genişleme meydana gelir. Kliniğinde; bilinç bozuklukları, epilepsi, kronik baş ağrısı gibi semptomların eşlik ettiği geçici iskemik ataklar ya da minör inmeler mevcuttur. İlk kez 1957’de hastalığın anjiyografik görüntüsü tanımlanmıştır. Moyamoya sendromu ise, karakteristik moyamoya vaskülopatili hastalarda bu durumun sekonder gelişeceği predispozan faktörlerin bulunmasıdır. Hastalıkta, vaskülopatiyi önleyen herhangi bir medikal tedavi bulunmamaktadır. Tek etkin tedavi, pediatrik ve erişkinde semptomatik vakalarda cerrahi revaskülarizasyon uygulanmasıdır (50).

Moyamoya hastalığında belirlenmesi gereken en önemli nokta, hastanın revaskülarizasyon endikasyonu bulunup bulunmadığıdır. Görüntüleme bulguları olan asemptomatik hastalardansa, uygun medikal tedaviye rağmen semptomatik olan hastalarda revaskülarizasyon düşünülmelidir. Moyamoya hastaları; iskemik inmeler, geçici iskemik ataklar, intraparakimal hemorajiler ve/veya bunların kombinasyonu ile semptomatik hale gelebilirler. Bu süreçte, orak hücreli anemisi olan moyamoya hastalarında iskemik semptomların dehidratasyon ve azalmış perfüzyonla ilişkili olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (50).

Moyamoya hastalarında, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve diffüzyon ağırlıklı görüntülemelerde iskemi bulguları görülebilir. Bunun dışında yapılan perfüzyon görüntülemelerinde iskemik bölgeler tespit edilebilir. Anjiyografi, kollateral paternini değerlendirmede ve hastalığın derecesini anlama hususunda iyi bilgi veren bir yöntemdir. Sıklıkla Willis poligonundan, anterior komünikan arter (AKA) ya da posterior komünikan artere (PKA) doğru kollateral prezentasyonu olur. PKA'dan kaynaklanan ve anterior serebral arterin (ASA) splenial dalına prezente olan leptomeningeal kollateraller de moyamoya için tipiktir. STA ve meningeal arter gibi meninks ve skalp arterlerinden de ekstradural kollateraller de gelişebilir. Hastada gelişen kollaterallerin kapiller fazının değerlendirilmesi, mevcut bölgenin iskemik riskini değerlendirmeye yardımcı olur. Bu ayrıca, bypass gereksinim olan damarın belirlenmesine de yardımcıdır (50).

Tedavi edilmemiş moyamoya olgularında inme riski %13 olmakla birlikte hastalığın progresyonuyla bu oran daha da artmaktadır. Bu nedenle moyamoya hastalığı üzerine yapılan çalışmalarda revaskülarizasyon tedavisinin iskemik ve hemorajik ataklar üzerine olumlu etkisi olup olmadığı araştırılmaktadır. Japonya'da yapılan randomize kontrollü çalışmada revaskülarizasyonun beş yıllık takipte hemorajik atakları azalttığı ve hastalığın prognozunu iyileştirdiği gösterilmiştir (42).

2.7.1.2. Aterosklerotik Stenooklüziv Hastalıklar

İnmelerin yaklaşık %90'ı mikroanjiyopatik değişiklikler ve embolik hadiselerle sekonder gelişir. Mikroanjiyopati ya da tromboembolizm varlığında bypassın kullanışlı olmadığı açıktır. Bu hastalarda öncelik antikoagülasyonu sağlamaktır. Karotis arter stenooklüziv hastalığına sahip hastaların %10-12'sinde ise, ileri derece darlık ve uygunsuz kollateral oluşumuna bağlı kronik hemodinamik yetmezlik nedeniyle inme gelişir. Bu noktada bypass cerrahisi, seçilmiş çok kısıtlı hasta grubuna uygulanabilmektedir ve hemodinamik yetmezliği ortaya koyacak farklı yöntemlerin tespiti elzem hale gelmektedir. Vajkoczy ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, kronik serebral iskemili hastalarda bypass cerrahisine uygun hasta seçimi için şu kriterler baz alınmıştır:

- Rekürren geçici iskemik ataklar, bilinçte bozulma veya hastanın tamamen iyileştiği dönemde minör inmeler,
- MRG'de herhangi bir iskemik değişiklik olmaması ya da tipik geçiş zone enfarktleri,

- İleri dereceli stenoz (endovasküler ya da cerrahi tedavi ile düzeltilemeyen) / İKA oklüzyonu ya da proksimal OSA oklüzyonu ile seyreden AKA ve PKA'ya yetersiz kollateralizasyonun dijital substraksiyon anjiyografide (DSA) gösterilmesi,
- Azalmış ya da kaybolmuş serebrovasküler rezerv kapasitesinin asetozolamid stimülasyonu olmadan serebral kan akımı çalışmasında gösterilmesi (transkraniyal doppler ultrasonografi, tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, xenonla geliştirilmiş bilgisayarlı tomografi ya da pozitron emisyon tomografisi ile) (51)

Kronik oklüzyon durumlarında standart revaskülarizasyon prosedürü STA-OSA bypassıdır. Bypassın amacı, azalmış serebrovasküler rezerv kapasitesini normalize etmek ve serebral vasküler sistemin serebral perfüzyon basıncındaki düşmelere karşı toleransını artırmaktır. Kronik hemodinamik iskemisi olan ve serebrovasküler rezerv kapasitesi yok olmuş hastalarda, aynı stenooklüziv tabloya sahip; ancak yeterli kollateral dolaşımı bulunan ve intakt serebrovasküler rezerv kapasitesi olan hastalara kıyasla belirgin olarak artmış inme riski mevcuttur (52).

Serebrooklüziv hastalığı olan seçilmiş hasta gruplarında EK-İK bypass cerrahisinin faydalı olabildiği çalışmalarda gösterilse de bu hususta yeterli randomize kontrollü, çok merkezli, prospektif çalışma bulunmamaktadır.

Karotid arter ya da OSA'da ileri derecede darlık ya da oklüzyon için bypass cerrahisi; semptomatik, kronik hemodinamik yetersizliği olan hastalarda endikedir. En önemli tanısal prosedür, asetazolamid stimülasyonu ile ya da asetazolamid stimülasyonu olmaksızın serebral kan akımının fonksiyonel çalışmalarıdır. Tecrübeli merkezlerde standart STA-OSA bypassının kombine mortalite ve morbidite oranı %5'in altındadır (53).

2.7.2. Akım Replase Edici Bypass Endikasyonları

2.7.2.1. Kompleks Anevrizmalar ve Bazı Kafa Tabanı Tümörleri

Akım replasmanı için düşünülmesi gereken, peroperatif herhangi bir damarın sakrifikasyon gerekliliği olup olmadığı ve hastanın yeterli kollaterali olup olmamasıdır. Damar sakrifikasyonu durumunda, yeterli kollateral yoksa bypass gerekliliği doğacaktır. Aksi durumda damarın yaralanması, ciddi inme riski taşır. Hastanın klinik ve akım replasmanı gerekliliği birlikte değerlendirilmelidir. Replasman gerekliliğini değerlendirmede altın standart balon oklüzyon testidir. Örneğin, terminal dönem baş-boyun kanseri tanılı ve birkaç aylık yaşam beklentisi olan bir olguda, agresif rezeksiyon ve bypass ön planda düşünülmemelidir (50).

Rüptüre olmamış anevrizmalarda, cerrahinin kompleksliğiyle ilişkili olarak ya da vasküler sakrifikasyon olasılığı olan kafa tabanı tümörlerinde bypass gerekliliği doğabilmektedir. Bu durumlarda revaskülarizasyonun cerrahi açıdan riskleri ve yararları göz önünde bulundurularak karar verilmelidir. Bu hastalara bypass lokalizasyonunu belirlemek ve potansiyel donör damarlar ve sakrifiye edilecek damarları belirlemek amacıyla bilgisayarlı tomografi anjiyografi (BTA) ya da manyetik rezonans anjiyografi (MRA) preoperatif dönemde uygulanmalıdır. Bunların ötesinde bypass olmaksızın damar sakrifikasyonunu hastanın tolerans düzeyini belirlemek amacıyla balon oklüzyon testi uygulanır, herhangi bir belirgin venöz gecikme bulgusu varsa bypass düşünülür. Anjiyo ise potansiyel donör ve alıcı damarları belirlemede kullanılır. Hastanın serebrovasküler rezervi, kollateral paterninin değerlendirilmesiyle daha iyi anlaşılabilir (50).

Kompleks anevrizmaların ve damar sakrifikasyonu gerektiren kafa tabanı tümörleri gibi lezyonların lezyonların görece nadir olması nedeniyle literatürde akım replase edici bypass için geniş çaplı randomize kontrollü çalışma bulunmamaktadır. Bunun ötesinde, endovasküler girişimlerin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla kompleks anevrizma cerrahileri giderek azalmaktadır. Kafa tabanı tümörlerinde onkolojik ve nörolojik yarar ve riskler gözetilerek, başka seçenek olmaması durumunda bypass gerekliliği düşünülmelidir. Akım replase edici bypassta iskemi ve de novo anevrizma gelişme riski her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

2.8. Serebral Bypass Cerrahisi ile Tedavi Edilen Hastalık: Moyamoya Hastalığı

MMH, “Willis poligonunun spontan oklüzyonu” olarak da bilinmekle birlikte, distal İKA’nın intrakraniyal kısmındaki ve OSA ve ASA proksimalindeki vasküler yapılarda progresif daralma ve oklüzyonla seyreden bir kronik serebrovasküler hastalıktır. Posterior sirkülasyon etkilenimi çok nadir görülmektedir (54).

İnsidansı Asya ülkelerinde 100.000’de 0,5-105 arasında iken diğer bölgelerde 100.000’de 0,1 olarak bildirilmiştir (55).

MMH’de pediyatrik dönemde beş yaşında pik yapar, erişkinler ise sıklıkla dördüncü dekada tanı alırlar (56). MMH, kadınlarda, erkeklerden 2 kat daha sık görülür. NF-1, orak hücreli anemi ve Down sendromlu hastalarda MMH daha sık görülür (57). MMH’li hastaların çoğu geç ergenlikte, moyamoya sendromlu hastaların çoğu ise erişkinlikte tanı alır (54).

MMH etiyolojisi halen net değildir. Progresif daralmaya bağlı, parankimin kan akımında azalma ve buna bağlı iskemik ve kompensatuvar vasküler yanıt gelişir. Serebral

vaskülarizasyon, iskemiye uğrayan alanların kan akımını kompanse etmek amaçlı gelişen kollaterallerin DSA'ya yansısıyla görülebilir ve tanıda bu kollaterallerin görülmesi oldukça değerlidir. Hastalık, ismini de anjiyogramdaki bu vasküler “duman” benzeri görüntünün Japoncasından almıştır. Önceleri, bu kollaterallerin yeni oluşum gösteren damarlar olduğu düşünülmekteydi; ancak yapılan çalışmalarda, lentikülostriat ve talamoperforan arterler gibi mevcut mikroperforan arterlerin genişlemesinden meydana geldiği gösterilmiştir (54).

MMH; hemen her zaman anterior sirkülasyonu, özellikle de İKA'nın distal intrakraniyal parçasını ve proksimal ASA ve OSA segmentlerini etkiler. Hastalığın progresyonu ile iskemik parankim, leptomeninkslerden yeni vaskülarizasyonlar oluşturmaya ve hatta EKA dallarıyla anastomotik bağlantılar oluşturmaya başlar (54).

MMH'ta anjiyografik bulgular ve vasküler yapılarıdaki ilerleyici daralma bilateralidir. Bu bulgular unilateral olduğu takdirde antite, “moyamoya sendromu” olarak adlandırılmaktadır ve sıklıkla başka bir patolojik sürece sekonder gelişir. Radyasyona sekonder gelişen İKA oklüzyonu buna örnek teşkil edebilir. Moyamoya sendromunda, İKA stenozuna sekonder lentikülostriat arterler gibi perforan damarlarda tek taraflı kompensatuar genişlemeler meydana gelir (54).

2.8.1. Moyamoya Etiyopatogenezi

MMH etiyopatogenezi halen tam aydınlatılamamış olsa da yapılan çalışmalarda hastalığın patogenezinde rol aldığı düşünülen çeşitli moleküller ve faktörler gündeme gelmektedir. MMH etiyopatogenezi, ateroskleroz ve inflamatuvar hastalıklar zemininde gelişen damar daralmasından farklıdır. Damarda tunika mediada bulunan arterial duvardaki düz kas hücrelerinde hiperplazi ve proliferasyon izlenmektedir. Elastik laminanın düzensiz tabakalaşması nedeniyle tunika mediada bozulmalar meydana gelir. Histolojik preparatlarda mikroanevrizma formasyonları gösterilmiştir ki; bu da MMH hastalarında özellikle erişkinlerde daha yüksek oranda gelişen hemorajilerin etiyopatogeneziyi açıklamada önemli bir bulgudur. Arterial duvarda değişikliklerden apoptoz mekanizmaları sorumlu tutulmaktadır. Kaspaz mekanizması aracılı ve altında otoimmün süreçlerin rol alması muhtemel bir kaskad, hastalığın etiyopatogeneziindeki süreçten sorumlu tutulmaktadır. Vasküler endotelial büyüme faktörü, hepatosit büyüme faktörü, interlökin 1B gibi vasküler anjiyogeneziye rol alan bazı moleküllerin, aktif hastalığı olan bireylerde serum plazma düzeylerinde artış gösterilmiştir (58). Hastalık sürecinde genişleme gösteren küçük perforan damarlar fragildir ve anevrizmal formasyon göstermeye yatkındır (59) Perforan damar zamanla dilate oldukça elastik tabaka bozulur ve

daha güçsüz bir hal alır. Bu damarlar, anevrizmatik disseksiyon için potansiyel oluşturur, bu da rüptür riski taşır; bu nedenle hemorajilerin sebebi olarak gösterilir (54).

MMH gelişiminde, endotelyal progenitör hücrelerin (EPH) önemli rol oynadığı düşünülmektedir. MMH hastalarının EPH'lerinin belirgin yapısal ve fonksiyonel bozukluk gösterdiği bulunmuştur, bu da azalmış oksijen tüketimi ile ilişkilidir. Genişleyen kollateraller, özellikle de lentikülostriat arterler; bazal ganglionları delerek içerisine yayılır ve bu da kompleks hareket bozukluklarının gelişimiyle ilişkilidir. Subtalamik nükleus etkilenmesinde hemiballismus tarzı hareketler bildirilmiştir (60).

Bu hareket bozukluklarının lifler ve nükleuslar arasındaki bağı bozarak mı yoksa ilerleyici darlığa bağlı perfüzyonun bozulması sonrasında mikro iskemik değişikliklerin sonucunda mı geliştiği halen net değildir (54).

2.8.2. Moyamoya Hastalığı Klinik Prezantasyonu

İskemik olaylar, MMH için en yaygın başlangıç kliniği olmakla birlikte pediatrik popülasyonda daha siktir. Hemorajik prezantasyon aslen intraserebral hemoraji şeklinde ortaya çıkar ve pediatrik hastalarda nadirdir. Faz sensitif MRG ile pediatrik asemptomatik hastalarda mikro kanamalar tespit edilmiştir (61). Çok merkezli uluslararası bir çalışmada, MMH hastalarının %90'ının iskemik inme ile, %7.5'inin geçici iskemik atak ile, %2.5'u hemorajik inme ile prezante olduğu gösterilmiştir (62).

Pediatrik MMH hastalarında yaşlılarıyla karşılaştırıldıklarında belirgin psikolinguistik gelişme geriliği ile yetersiz verbal ve görsel uyum, yetersiz işitsel yanıt görülmektedir(63). Baş ağrısı, MMH hastalarında yaygın bir semptomdur ve meninkslerdeki ağrıya hassas liflerin neovaskülarizasyon sonucu dilate olan vasküler yapılar tarafından irritasyonuna bağlı olduğu düşünülmektedir (64). Baş ağrılarının karakteri, migren tipi vasküler baş ağrılarına benzemektedir.

Pediatrik popülasyonda iskemik ataklar, ağlama krizleri gibi hiperventilasyon durumlarında presipite olur. Bunun nedeni, sklerotik kortikal damarların, parsiyel karbondioksit düşüşüne bağlı refleks vazokontrüksiyonudur. Hipoksi, hipotansiyon, hipokarbi ve hipertermi; artmış iskemik olay riskini beraberinde getirir. Hipertermi, artmış oksijen gereksinimi ve metabolik ihtiyaa bağlı olarak kompanse edilemezse iskemi ile sonuçlanır. MMH hastaları, kortikal irritasyonlara bağlı artmış nöbet ve nöbet benzeri aktivite riski ile karşı karşıyadır (65). Artmış kortikal aktivite, artmış oksijen tüketimini de beraberinde getirir ve mevcut kortikal bölgenin perfüzyonu yeterli olmazsa bu da iskemik atakla sonuçlanır (54).

2.8.3. Moyamoya Hastalığında Görüntüleme Yöntemleri ve Özellikleri

MMH tanısında altın standart katater anjiyografidir. Pediyatrik hastalarda anjiyografik evreler progrese olmaya daha meyilliyken erişkinlerde daha stabil kalır. MRG, iskemi ya da enfarktlı bölgeleri göstermede ideal görüntüleme yöntemidir. MRG’de FLAIR sekansa, “sarmaşık belirtisi” MMH için tipiktir (66). MMH hastalarında, bazal ganglionlar ve talamusta kolleteral damarlar belirgin akım boşlukları oluşturur. Bu da MRG’de “termite yuvası” bulgusu olarak adlandırılır ve MMH için tipiktir. EKA dallarının anastomoza uygunluğunu değerlendirmek için DSA önemli bir prosedürdür. Hipoplastik STA varlığında OA ile bypass daha uygun olmaktadır (54).

MMH’lı hastaları preoperatif ve postoperatif değerlendirmek için difüzyon ağırlıklı MRG ve perfüzyon bilgisayarlı tomografi (BT) faydalı olmaktadır. Preoperatif BT perfüzyon, kurtarılabılır iskemik bölgelerin belirlenmesi ve indirekt ya da direkt bypass tekniklerinden hangisinin uygun olduğunun seçilmesinin değerlendirilmesi açısından yararlıdır (54). Direkt revaskülarizasyonda, cerrahinin etkinliği postoperatif BT perfüzyon ile değerlendirilir (67).

Tanskraniyal Doppler (TKD) ile cerrahi öncesi ve sonrası ortalama arteriel hız ve rezistans ölçümleri ile revaskülarizasyonun etkinliğinin karşılaştırmalı değerlendirmesi de sağlanır (68). Seri postoperatif TKD’ler ile indirekt bypass cerrahisinin başarısını değerlendirmede artan kan akımı gösterilebilir. İntraoperatif Doppler de yüzeyel skalp disseksiyonu esnasında bypass greftinin akımını değerlendirmek için STA üzerinde kullanılabilir. İntraoperatif indosiyanin yeşil anjiyografi de bypass greftinde akımı değerlendirmek için kullanılabilir (54).

MMH anjiyografik görüntülemesinde hastalığın evrenmesi için Suzuki evreleme sistemi kullanılmaktadır (54).

Tablo 1: Moyamoya Hastalığının Değerlendirilmesinde Suzuki Evreleme Sistemi

Suzuki Evresi	Anjiyografik Görünüm
Evre I	Terminal internal karotid bifurkasyonunda daralma
Evre II	İntraserebral ana arterlerde dilatasyon ve kafa tabanında ilk moyamoya kollaterallerinin oluşmaya başlaması
Evre III	Moyamoya kollaterallerinin yoğunlaşmaya başlaması, anterior sirkülasyonunun ana dallarının ağır stenozu ve oklüde olmaya başlaması
Evre IIIA	Anterior serebral ve orta serebral arterlerin parsiyel dolum defekti
Evre IIIB	Anterior serebral ve orta serebral arterlerin parsiyel korunması
Evre IIIC	Anterior serebral ve orta serebral arterlerde tamamen akımın kaybolması
Evre IV	Posterior serebral arterlerin oklüde olmaya başlaması, moyamoya kollaterallerinin azalmaya başlaması ve eksternal karotidden oluşan kollaterallerin şekillenmeye başlaması
Evre V	Moyamoya kollaterallerinin tamamen yok olması ve ekstrakraniyal kollaterallerin baskın hale gelmesi
Evre VI	Moyamoya kollaterallerinin ve majör serebral arterlerin kaybolması, serebral hemisferlerin beslenmesinin büyük kısmının eksternal karotid anastomozlarla olması

2.8.4. Moyamoya Hastalığı Tedavisi

Güncel literatürde, MMH'nin kanıtlanmış bir medikal tedavisi bulunmamaktadır. Mevcut medikal tedavilerin hepsi sekonder komplikasyonları önlemeye yöneliktir. Örneğin; başlanan antiplatelet ajanlar, oklüde damarlardaki trombüs oluşumunu önlemeye yardımcı olur. Endovasküler girişimlerle yapılan stentlemeler iskemik olayları önlemede başarısız olmaktadır ve hastalığın progresyonunu önlemez (69). MMH'li hastalar, endovasküler yöntemle tedavi edilmiş popülasyondaki insanlara göre anevrizma gelişimine daha yatkındırlar (70). Direkt ya da indirekt revaskülarizasyon, MMH için en etkin tedavi yöntemidir. Revaskülarizasyon

cerrahisinin amacı, yeni iskemik atakları önlemek ve hipoperfüzyona maruz kalmış bölgelerin kan akımını uygun şekilde artırmaktır. Bilateral hastalığı olan hastalarda, öncelik daha semptomatik olan tarafın revaskülarizasyonu olmaktadır. Tek seansta bilateral cerrahi yaygın olarak tercih edilmemektedir (54).

2.9. Serebral Revaskülarizasyonun Tekniklerine Cerrahi Bakış

Serebral revaskülarizasyon teknikleri, direkt ve indirekt bypass teknikleri olmak üzere iki ayrı başlıkta incelenir.

2.9.1. Direkt Revaskülarizasyon Teknikleri

EKA-İKA bypassı; EKA'nın STA ya da OA gibi distal dallarının, İKA'nın OSA-M4 segmenti gibi distal dallarına anastomoz edilerek bypass yapılmasını ifade eden cerrahi prosedürdür. Bu yöntemle, beynin hipoperfüze bölgelerinde akım yeniden sağlanır. STA-OSA bypassı, bu prosedürün en yaygın varyantıdır ve kraniyotomi defekti ile STA'nın distal OSA (sıklıkla M4) segmentiyle direkt anastomoz edilmesine dayanır. STA'nın geçirilmiş cerrahiye bağlı sakrifiye olduğu ya da konjenital hipoplastik olduğu durumlarda, özellikle çapı 1 mm'den küçükse; OA ya da OSA kullanılabilir. EKA'nın STA gibi bir distal dalı identifiye edilir, korunur ve skalp disseksiyonu boyunca mobilize edilir. STA'nın distali galea dokusundan temizlenir, heparinli salinle irrigé edilir ve proksimal STA'nın kliplenmesinden sonra donör damar hazır edilmiş olur. Bu noktada STA'nın diğer dallarını korumak, skalp beslenmesini sağlamak ve nekrozu önlemek için faydalıdır (71). Kraniyotomi, hipoperfüze beyin bölgesinin vaskülarizasyonunu sağlayacak şekilde planlanır. Dura, M4 segmentini uygun olarak identifiye edecek şekilde açılır. Alıcı damar çapı ortalama 1 mm olmalıdır, 0.8-0.9 mm çapındaki damarlarla da anastomoz yapılabilir. Damarlar geçici olarak kliplenir ve damar anastomozu uygulanır. Donör damarın adventisyasını disseke etmek, trombojenik formasyonu olması ve olası bir pıhtılaşmayı önlemek adına önem arz etmektedir. Anastomozda 10/0 sütür kullanılması önerilir. Direkt bypass prosedüründe, her sütür endotelden endotele olmalıdır; çünkü damar duvarının diğer tabakaları oldukça trombojeniktir. Anastomozun açıklığı, intraoperatif Doppler ya da indosiyanin yeşil anjiyografi ile değerlendirilir. Anastomozun açıklığı değerlendirildikten sonra greftin sağlamlığı ve tam kapanması değerlendirilir. Bu nokta, oldukça titiz ve çoklu mikrocerrahi pratik gerektiren bir süreçtir. Cerrahin mikroşirürjikal becerilerinin olabildiğince gelişmiş olması mühim bir detaydır. Direkt revaskülarizasyonun avantajı, anastomoz uygulandığında direkt olarak kan akımının yeniden sağlanmasına olanak vermesidir (54).

Preoperatif ve postoperatif dönemde aspirin kullanılması önerilir. Hipotansiyon, hiperventilasyon ve mannitol kullanımından uzak durulmalıdır (71).

Direkt bypass, postoperatif dönemde hızlı revaskülarizasyon sağlaması ve serebral hemodinamikleri hızlı düzeltilmesi nedeniyle tercih sebebidir. Konservatif tedaviyle karşılaştırıldığında, MMH’li hastalarda klinik semptomları ve inmeleri azaltmada etkin olduğu gösterilmiştir (71).

Direkt bypassın en büyük dezavantajları, ciddi mikrovasküler tecrübe gerektirmesi ve özellikle pediatrik hasta grubunda uygun donör ya da alıcı damar bulmanın zorluğudur (71).

EK-İK bypass tipleri; standart akımlı (20-70 ml/dk), orta akımlı (60-100 ml/dk), yüksek akımlı (100-200 ml/dk) olarak sınıflandırılır. Standart akımlı teknikler STA-OSA, STA-PKA, STA-ASA bypasslarıdır. Moyamoya vaskülopatisi ve arterosklerotik serebrovasküler hastalıklarda kronik serebral iskemi durumlarında endikedir. En sık kullanılanı STA-OSA bypassıdır (72).

Orta akımlı bypasslar EKA-OSA, EKA-ASA, EKA-PKA bypasslarıdır. Kronik serebral iskemi durumlarında STA kullanılmıyor ise uygulanabilir(72). Orta akımlı bypasslarda uç-yan, çoklu reimplantasyon ya da Y bypass teknikleri uygulanabilir.

Yüksek akımlı bypasslar da orta akımlı bypassların uygulandığı damarlarda endikedir. Damarların kan akım hızları akım tipini belirler.

EK-İK bypasslarında anastomozlar “uç uca, uç-yan ve yan yana” uygulanabilir. STA-OSA bypasslarında uç-yan anastomozlar uygulanır. ASA-ASA bypasslarında yan yana anastomozlar uygulanır.

2.9.2. İndirekt Revaskülarizasyon Teknikleri

Bütün indirekt bypass teknikleri, kompleks biyokimyasal süreçlerin neticesinde gelişen anjiyogenez üzerine kuruludur. Direkt tekniklerde yapılan damar anastomozu indirekt revaskülarizasyonda kullanılmaz. MMH’de büyüme faktörü olan moleküller kollateral neovaskülarizasyonda rol alır. İndirekt bypass yöntemlerinin dezavantajı, anjiyogenez süreci boyunca hemodinamik açıdan revaskülarizasyon için zaman gerekmesidir (54).

Bu tekniklerde kollateral oluşumunun başarısı, kraniyotominin büyüklüğü ve yüzey alanıyla ilişkilidir (71).

İndirekt revaskülarizasyon uygun alıcı damarı bulunmayan pediatrik hasta grubunda ya da ileri evre MMH’li hastalarda tercih edilir. Özellikle pediatrik hasta grubunda, indirekt revaskülarizasyon erişkinlere göre çok daha etkindir. Bu da genç yaşlarda serebrovasküler

plastisitenin daha iyi oluşuyla ilişkilidir. PKA dallarının çok ince olması nedeniyle, posterior temporal ve parietookspital bölgelerde PKA dallarıyla direkt bypass oldukça zordur. Bu hastalar da indirekt bypass için uygun olabilmektedir (71).

İndirekt bypass teknikleri, direkt prosedürlerden cerrahi anlamda daha kolay ve cerrahisi daha hızlı olan tekniklerdir. Preoperatif ve postoperatif komplikasyonları direkt tekniklerle karşılaştırıldığında görece düşüktür. Özellikle düşük akımlı bypasslar olmaları nedeniyle postoperatif hiperperfüzyon sendromu oldukça nadirdir (71).

İndirekt revaskülarizasyon için tarihsel süreçte farklı teknikler denenmiştir ve uygulamaya devam edilmektedir.

a. Servikal kord sempatektomi ve süperior servikal ganglionektomi

Suzuki ve Takaku tarafından moyamoya hastalığı için 1969'da kullanılan ilk prosedürlerdir. 10 pediyatrik hastada denenmiştir. Klinik olarak başta iyileşme gözlene de hastalık progresyonu anjiyografik ve klinik olarak düzelme göstermemiştir. Günümüzde daha az komplikasyonlu ve daha etkin yöntemlerin geliştirilmesiyle, terk edilmiş tarihi bir yöntem olarak belirtilmektedir (73).

b. Omental transplantasyon

1978'de Karasawa tarafından tanımlanmıştır. STA ve süperfisyal temporal veni koruyarak temporoparietookspital insizyon kullanılır. Kraniyotominin anterior sınırı, omentumun yerleştirilmesi için kullanılır. Orta hattın laparotomiyle gastroepiploik arter ve venin perforan damarlarını da içeren omentum segmenti izole edilir. STA ve ven ile gastroepiploik arter ve venin uç uca anastomozu yapılır. Dura ve araknoid insizyonu sonrasında transplante edilen omentum kortikal yüzeye serilir. Hastada 2 yılın üzerinde iskemik olaysız bir prognoz beklenir. Bu teknik, direkt ve diğer indirekt bypass tekniklerinin başarısız olduğu hastalarda denenmiştir (74).

c. Çoklu Burr Delikleri Açılması

Bu teknik, ventrikülostomi burr deliklerinin çevresinde neovaskülarizasyon geliştiği tespit edildikten sonra geliştirilmiştir. Teknikte, galeanın skalp vaskülaritesini koruyarak diseksiyonu önem arz eder. Periost, ilerleyen dönemdeki neovaskülarizasyona temel oluşturacağı için intakt kalmalıdır. Periosta çok sayıda insizyon yapılır ve kraniumu ekspoz etmek için küçük flepler kaldırılır. Burr delikleri, orta hatta ve kritik noktalardan uzak kalacak

şekilde açıldıktan sonra dura mikroskop altında ve meningeal arter dalları korunarak açılır. Araknoid ve pia mater açılırken herhangi bir kanamanın olmamasına dikkat edecek şekilde titiz davranılmalıdır. Hemostaz için koterizasyon yapılmamalı, olabildiğince pamuklarla konservatif hemostaz sağlanmalıdır. Burada amaç; potansiyel anastomotik damarların koagülasyonunu önlemek, neovaskülarizasyon potansiyelini azaltmamaktır. Ekspoze edilen parankime periostal flepler yerleştirilir. Galeanın dikkatlice repozisyonu yapılır. Bu tekniğin avantajı, diğer tekniklerle kombine edilebilmesi ve lokal anestezi altında yapılabilmesidir (74)..

d. Ensefalomyosinangiyozis (EMS)

1975 yılında Karasawa ve arkadaşları tarafından tanımlanan ilk indirekt vaskülarizasyon tekniğidir. Dura ve araknoid açılır, vaskülarize temporal kas dokusu direkt olarak beynin yüzeyiyle bağlantı kuracak şekilde bırakılır. Temporal kas direkt olarak duranın kesilen kenarlarına sütüre edilir. Temporal kas beslenmesini yalnızca temporal arterden sağlamaz, kasın altındaki internal maksiller arterin (İMA) dalları olan derin aksesuar temporal arterlerden alır. Postoperatif dönemde selektif eksternal karotid arter anjiyogramları ile OSA'nın kortikal dallarının yüzeyel ve derin temporal arterlerden dolumu gösterilebilmekte ve böylelikle EMS'nin başarısı ortaya konmaktadır (54,74).

e. Ensefalodurarteriyosinangiyozis (EDAS)

En sık kullanılan indirekt revaskülarizasyon tekniğidir. İlk kez dokuz yaşında bir moyamoya hastasına uygulanmış ve nörolojik iyileşme ile nöbetler bakımından oldukça olumlu sonuçlar elde edilmiştir. STA'nın dura açılarak direkt serebral parankim üzerine herhangi bir anastomoz olmadan yerleştirilmesidir. STA diseke edilir. STA trasesine gelecek şekilde üç burr deliği açılır. Bu burr deliklerini birleştirecek şekilde kraniyomi uygulanır. Dural vaskülarizasyonu korumak bu noktada önem arz eder. Dura lineer insizyonla açıldıktan sonra, araknoid disseke edilir ve pia mater açılır, STA'nın adventisyal tabakası anjiyogenezi önleyebilecek anatomik bariyer oluşturabileceğinden diseke edilir. STA, insize edilen dura hattı boyunca yerleştirilerek sütüre edilir. Zaman içerisinde, STA ile OSA'nın distal dalları arasındaki mikro damarlar anastomoz halini alır. Anastomotik bağlantıların progresif büyümesi seri anjiyogramlar ile değerlendirilir. STA'daki akım dominant hale gelir ve artan hemodinamik akım anjiyogramlarda gözlenebilir. Yapılan çalışmalarda EDAS sonrasında iskemik olayların belirgin azaldığı, 38,2 ayın üzerinde bir bir periyotta %1,7'den %0,4'e düştüğü gösterilmiştir.

Kollateral formasyonu oluşum sürecini bozmamak adına perop dura ve etraf dokunun bipolar ile çok fazla koterize edilmemesi gerekmektedir (54,74). Bu teknik, pial sinangiyozis, dural inversiyon ayrılmış dura teknikleriyle kombine edilebilir (74).

f. Ensefaloduroarteryomiyosinangiyozis (EDAMS)

1984'te Kinugasa ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu teknik, EDAS ve EMS'nin hibridi olarak değerlendirilebilecek bir indirekt bypass tekniğidir. STA ya da OA, OSA'nın yzeydeki M4 gibi bir distal dalına yakın olacak şekilde anjiyogeneze için parankimin yzerine bırakılır (54). En g indirekt tekniklerden biri olarak değerlendirilir.

g. Ensefalodurogaleosinangiyozis (EDGS)

ASA iskemilerinde faydalı olduğu gösterilmiştir. Bu hususta iki prosedür tanımlanmıştır. İlkinde, iki insizyon ve iki burr deliği açılır. Galea disseke edilerek dura açıldıktan sonra interhemisferik fissürde medial korteksin yzerine yerleştirilir. Diğer prosedürde ise koronal sturn önüne S şeklinde orta hattı geçen insizyon yapılır. Periost zigzag şeklinde insize edilir ve superior sagittal sinüsü çaprazlayan bir kraniyotomi kaldırılır. İki hemisferde de dura ayrı ayrı insize edilir, istenirse araknoid de insize edilebilir. Galeal flep interhemisferik fissürü derinine doğru yerleştirilir ve duraya sütüre edilir.

h. Ensefalomyoarteriosinangiyozis (EMAS)

Matsushima ve arkadaşları tarafından tanımlanmış bir tekniktir. Frontal varyantında, anterior süperfisyal temporal arter "cut-down" tekniği kullanılarak ekspozite edilir ve distal kas flebi ile birleştirilecek şekilde ayrılır. Kraniyotomi ve durotomi sonrasında STA'yı içeren temporal kas flebi, frontal kortikal yzeyeyle temas edecek şekilde dura kenarlarına sütüre edilir. Posterior sirkülasyona ve OSA'ya da STA'nın posterior dallarını ya da posterior auriküler ya da OA kullanılarak uygulanabilir (74).

i. Ensefaloarteriosinangiyozis (EAS)

EDAS ya da EDAMS'ın bir komponenti olarak uygulanan bir tekniktir. Özellikle moyamoyanın hemorajik prezentasyonunda OSA yetmezliği olduğunda direkt STA-OSA bypassı yapılamıyorsa kullanılır. STA disseke edilir, ardından temporal kraniyotomi ve durotomi uygulanır. STA, parankimle temas edilecek şekilde bırakılır (74).

j. Ensefalodurosinangiyozis (EDS)

EDAS ya da EDAMS'ın bir komponenti olarak değerlendirilen bir tekniktir. Dura ve onun besleyicisinin (genellikle OMA) pial yüzeye yerleştirilmesidir. Bu teknik sıklıkla iskemik ACA bölgelerinde kollateralizasyon oluşturmak için kullanılır. Aslen diğer direkt ya da indirekt revaskülarizasyon teknikleriyle kombine edilir (74).

2.9.3. Kombine Revaskülarizasyon Teknikleri

Kombine revaskülarizasyon teknikleri, MMH'li hastaların yönetimi için indirekt ve direkt vaskülarizasyon tekniklerinin bir arada kullanılmasını içerir. Bu yöntemle; direkt bypassın bir avantajı olan serebrovasküler hemodinamiklerin hızlı oluşumu, indirekt bypassın bir avantajı olan neovaskülarizasyonun sağlanması hedeflenir. Böylelikle, direkt bypassın yetersiz kaldığı durumlar için indirekt bypassın uzun dönem etkileriyle bir yedekleme mekanizması oluşturulur. ASA ve OSA'nın etkilendiği MMH'li hastalarda kompleks direkt bypass yöntemleri yerine kombine yöntemler denenebilir.

2.10. Serebral Bypass Cerrahisi Komplikasyonları

Direkt revaskülarizasyonunun postperatif komplikasyonları arasında difüzyon ağırlıklı MRG'de görülen değişiklik olmaksızın gelişen geçici nörolojik defisitler yer alır. Bunun ani akım değişikliklerine bağlı olduğu düşünülmektedir. Radyolojik hiperperfüzyon sendromu ve hemorailer görülebilir. Daha az sıklıkla; bypass oklüzyonu, yara iyileşme problemleri, nöbetler, subdural hematomlar bildirilmiştir (71).

2.11. Direkt ve İndirekt Revaskülarizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması

İndirekt tekniklerin dezavantajı, revaskülarizasyonun aylar hatta yıllar gerektirmesidir. Hastalık progresyonu ve akut durumlar düşünüldüğünde, direkt teknikler vasküler beslenme ve hipoperfüze alanların kurtarılması açısından daha çok fayda sağlamaktadır. Çalışmalarda, direkt ve indirekt bypass karşılaştırıldığında hastalığın erken evrelerinde yapılan indirekt bypass klinik açıdan daha faydalı bulunmuştur. Hastalığın erken döneminde indirekt bypass yapılan hastalarda inme insidansı, konservatif izlenen ya da medikal tedavi alan hastalara göre daha az bulunmuştur (75).

Asemptomatik hastalarda erken cerrahi girişimin klinik sonuçları iyileştirdiği ve iskemik ve hemorajik olayları azalttığı gösterilmiştir (76). İskemik olayla başvuran erişkinde,

revaskülarizasyonun sağlanması ve gelecekteki inmeleri önlemek için direkt bypass indirekt bypass ile karşılaştırıldığında öncelikli seçenektir (77).

2.12. Serebral Bypass Cerrahisi Eğitim Modelleri ve Laboratuvar Çalışmaları

Serebral bypass cerrahisi, oldukça tecrübe gerektiren ve mikroşirürjikal tekniklerin geliştirilmesine dayanan bir cerrahi yöntemdir. Mikroşirürjikal çalışmalar, bilhassa serebral damar anastomozlarına yönelik cerrahi tekniklerin pratiğini her zaman hasta üzerinde yapmak mümkün olmamaktadır. Eğitimin etkinliğini artırmak ve hasta üzerindeki riski minimuma indirmek için nöroşirürjikal simülatörler, küçük hayvanlar, kadavralar, sentetik modeller ya da plasenta içerikli; üç boyutlu yazıcıların da kullanılabildiği, artırılmış gerçeklik teknolojisinin dahil edilebildiği eğitim modelleri geliştirilmektedir (78). Bu sayede mikroşirürji eğitim pratiğini artırmak, özellikle cerrahilerin sıklıkla tekrar edilebildiği modeller ile cerrahi eğitimin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Nöroşirürjiyenler için, bu tarz simülasyonlu eğitim modelleriyle anastomoz esnasında taktik geri uyaran sağlamak mümkün olmaktadır. Bu sayede hata oranı yapılan eğitimlerle en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Canlı hayvan modelleri, vasküler anastomoz eğitimi için daha gerçekçi ve pulsatil kan akımını içeren bir yöntemdir; ancak etik ve ekonomik hususlar nedeniyle her zaman tercih edilememektedir. Tavuk, hindi kanadı ve silikon mikro tüplerle mikroanastomoz çalışmaları için ucuz, kolay erişilebilir ve etik sorunlar teşkil etmeyen materyallerdir. Dezavantajları, dokuya benzerlik noktasında yeterlilik teşkil etmeyebilme olasılıklarıdır. Çoğu tavuk brakial arteri, 1 mm çapta olup standarda yakındır ve tercih sebebidir. Taze insan ve sığır plasentası da doku uygunluğu açısından oldukça ideal materyaller olup plasenta çok sayıda mikroanastomoza olanak sağlamaktadır (79).

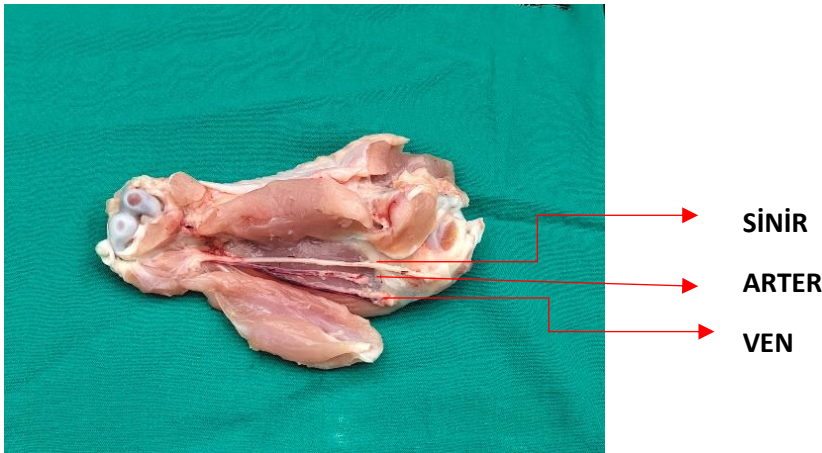
3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada, STA-OSA bypassının in vitro simülasyonunun uygulanabileceği bir model oluşturulması amaçlandı. Bu amaçla uygulanan kraniyotomi ve serebral parankim ile vasküler yapılar, vasküler yapıların kan basıncı ve dolaşımı simüle edilerek mikroskop altında anastomoz çalışmaları yapıldı ve anastomoz süreleri, anastomoz dayanıklılığı ve anastomoz süresince parankime yapılan dokunma basınçlarının ve dokunma sayılarının ölçülmesi; bu sayede eğitim modelinin yararlılığının değerlendirilmesi ve cerraha taktik şartlanma kazandırılması amaçlandı.

3.1. Anastomoz Modelinde Kullanılacak Vasküler Yapıların Seçilmesi ve Hazırlanması

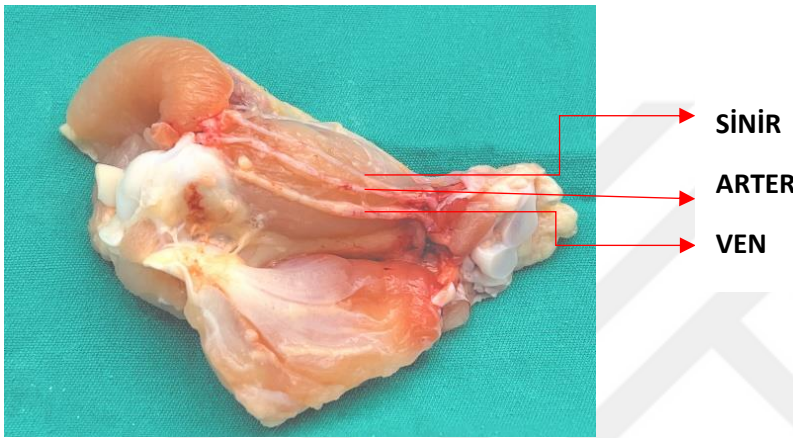
STA-OSA bypass modelinde kullanılmak üzere; materyale erişimin kolay, uygun maliyetli olması ve anastomoz uygulanacak damarlara çap olarak yüksek benzerlik göstermesi nedeniyle tavuk ve hindi kanadı tercih edildi. Hindi brakial arteri STA'yı, tavuk brakial arteri ise OSA'yı temsil etmekteydi.

Hindi brakial arteri diseksiyonu için hindi kanatları temin edildi. Diseksiyon makası, bistüri, klemp ve penset kullanılarak hindi kanadından brakial arter, ven ve sinir paketi ekspozite edildi (Resim 2). Mikromakas, dissektör ve Adson penset yardımıyla brakial arter bütünlüğü korunarak çapları kalibre ölçek ile yapılan ölçümlerde 1.4 mm ile 1.8 mm arasında değişen 5-6 cm'lik hindi brakial arter segmenti diseke edildi. Mikroskop (Olympus OME, Japonya) altında brakial arterin mikrovasküler dallanmaları 10.0 sütür ile ligate edilerek yalnızca ana dal ortaya kondu ve anastomoz sonrası kaçağın daha sağlıklı değerlendirilmesine olanak sağlandı. Bypass cerrahisinin vasküler hazırlığıyla birebir olacak şekilde, trombüs riskini azaltmak amacıyla, damarın adventisyası diseke edilerek ayrıldı.



Resim 1: Hindi kanadı diseksiyonu

Tavuk kanadından ise OSA'yı temsil edecek brakial arter diseksiyonu yapıldı. Tavuk kanadının iç yüzünden diseksiyon makası, bistüri, penset yardımıyla brakial arter, ven ve sinir paketi identifiye edildi (Resim 2). Brakial arter bütünlüğü korunarak diseksiyonu yapıldı ve kalibre ölçer ile yapılan ölçümlerde çapları 1.0 mm ile 1.5 mm arasında değişen 5-6 cm'lik brakial aretr segmenti elde edildi. Mikroskop altında brakial arterin mikrovasküler dallanmaları 10.0 sütür ile ligate edilerek yalnızca ana dal ortaya kondu ve anastomoz sonrası kaçığın daha sağlıklı değerlendirilmesine olanak sağlandı. Bu vasküler yapının da adventisyası diseke edilerek ayrıldı.

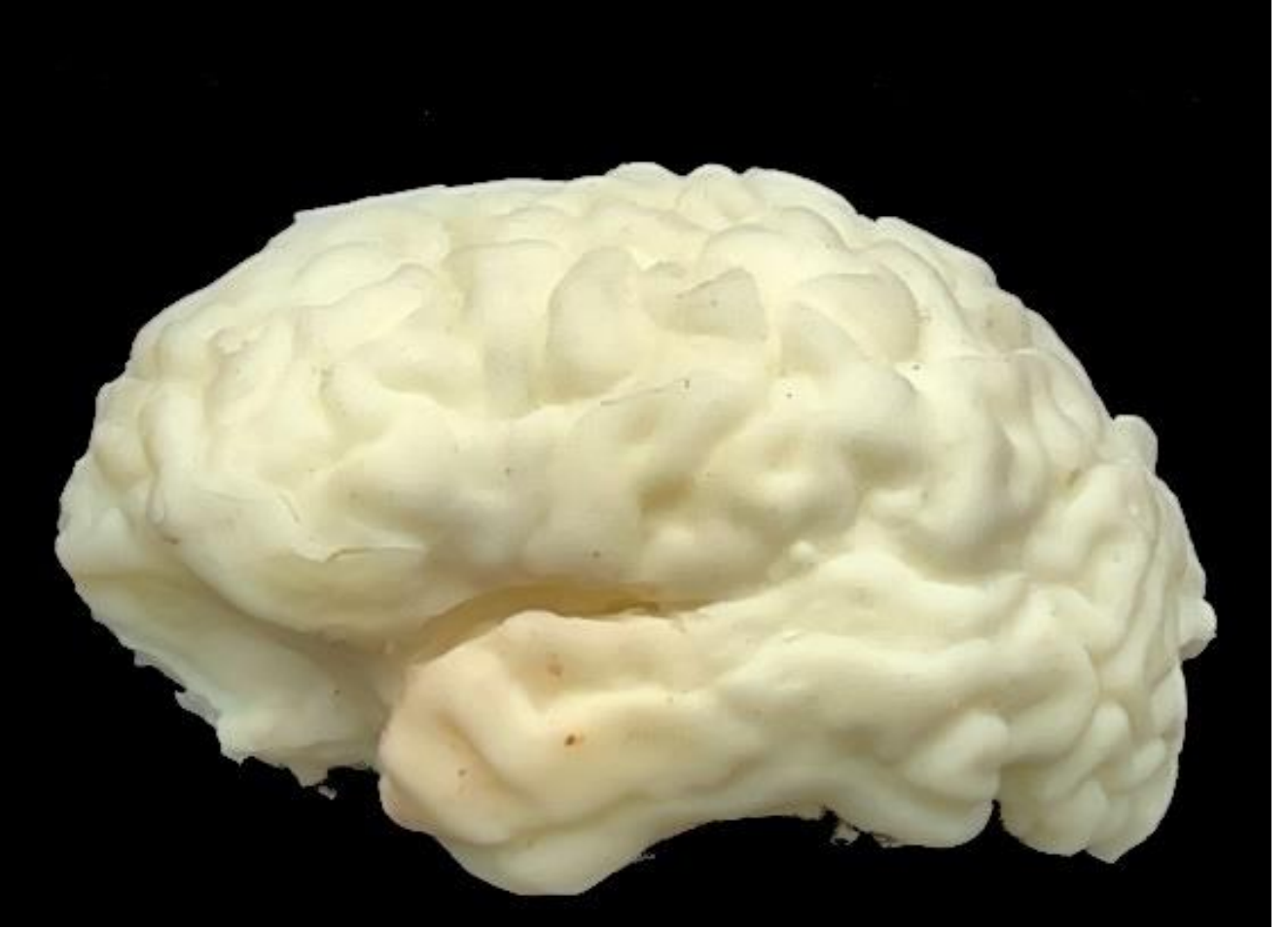


Resim 2: Tavuk kanadı diseksiyonu

Anastomoz denemeleri için toplamda 24'er adet hindi brakial arteri ve tavuk brakial arteri hazırlandı.

3.2 Uygulanacak Kraniyotomi ve Beyin Parankimini Temsil Edecek Modelin Hazırlanması

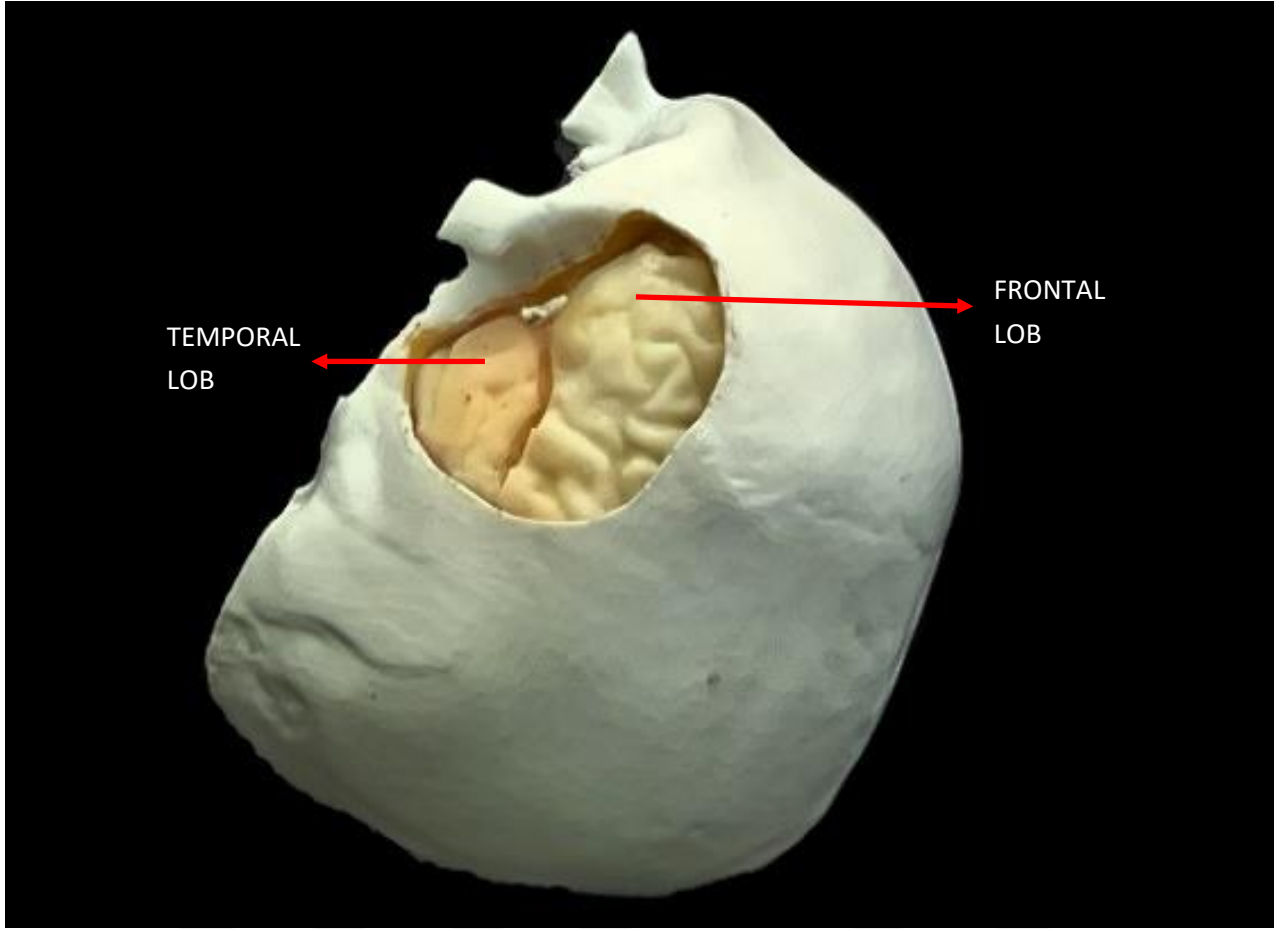
Üç boyutlu yazıcı ile serebral parankimin gyrus ve sulkuslarına uygun hemikranium şeklinde kalıp basıldı. Çıkarılan kalıbın içerisine silikon dökülerek sol hemisferleri içeren bir serebral parankim modeli elde edildi (Resim 3). Üç boyutlu yazıcı ile anastomoz cerrahisine uygun şekilde kraniyotominin planlanacağı sol hemikranium modeli basıldı. Bu model üzerinde tur motoru ile bypass cerrahisine uygun şekilde sol frontotemporopariyetal kraniyotomi uygulandı (Resim 4). Serebral parankim modeli üzerine kranium modeli yerleştirilerek hemikraniyotomi uygulanmış bir bypass cerrahisi modeli elde edildi (Resim 5). Model, orijinal cerrahiyi simüle edecek şekilde 45 derece sağa rotasyon ve 30 derece ekstansiyon olacak şekilde konumlandırıldı.



Resim 3: Üç boyutlu yazıcıda basılan kalıpla hazırlanmış silikon parankim modeli



Resim 4: Üç boyutlu yazıcıda basılan ve kraniyotomi uygulanan hemikranium modeli



Resim 5: Parankimle birleştirilmiş ve cerrahi pozisyonuna yerleştirilmiş hemikranium modeli

3.3. Parankim Modeli Üzerine Yerleştirilecek Sensörlerin Hazırlanması ve Yerleştirilmesi

“Force Resistive Sensor”, diğer adıyla kuvvete duyarlı dirençler (FSR), fiziksel baskıyı, sıkıştırma ve kiloyu algılayan sensörlerdir. Kullanımı basit ve düşük maliyetlidir. Bu sensörler, değişken algılama bölgesi olan Interlink firmasının üretmiş olduğu sensörlerdir ve kuvveti ölçer. Sahip olduğu geometriye göre üzerinde nereye baskı uygulandığını tespit etmemektedir.

Kuvvet Sensörü temel olarak, uygulanan basıncına bağlı olarak direnç değerini (ohm Ω cinsinden) değiştiren bir dirençtir. Bu sensörler sayesinde %10 gibi bir sapma oranı ile ortalama değerler alınabilir.

Kuvvet sensörleri plastik malzemeden üretilmiş olup, bağlantı tırnağı hassas malzemeye kıvrılmıştır. Kuvvete Duyarlı Sensörü (FSR), kullanımı için breadboard, krokodil jak, dışı header veya bir terminal bloğu gibi kelepçe tarzı bir konnektör kullanmaktır.

Deneyde parankim üzerine uygulanan dokunma sırasında komşu segmentteki basınç ölçümünün alınabilmesi için “Force Sensitive Resistor 0.5”” silindirik sensör (Interlink, Lake Forest, Canada) seçilmiştir (Resim 6).

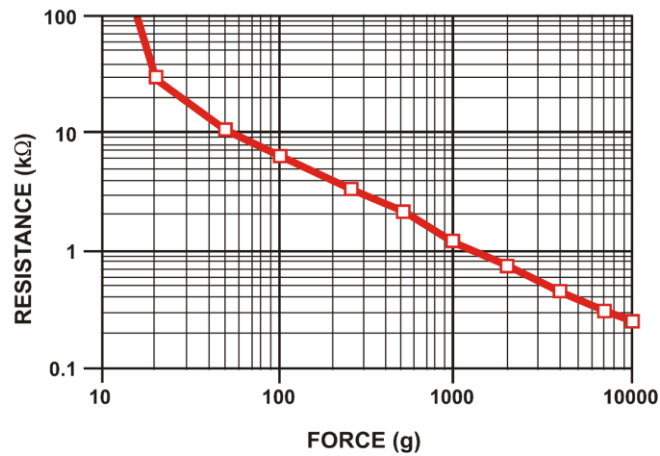


Resim 6: FSR Sensör 0.5"

Sensör Kalibrasyonu ve Optimizasyon

Bir rezistif sensör ile ölçüm alabilmek için + ve – uçları ile ardından - tarafta direnç, lehimlenerek mikro denetleyicinin analog girişine montelenmiştir. Konfigürasyonda, analog voltaj okuması 0V (toprak) ile yaklaşık 5V (veya güç kaynağı voltajı ile yaklaşık olarak aynı) arasında değişmektedir.

Çalışma prensibi, kuvvet sensörünün direnci azaldıkça, kuvvet sensörünün ve açılan direncin toplam direncinin yaklaşık 100Kohm'dan 10Kohm'a düşmesidir. Bu, her iki dirençten geçen akımın arttığı ve bunun da sabit 10K direnç üzerindeki şekil 2 teki gibi voltajın artmasına neden olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 1 –FSR sensörlerde Voltaj, Direnç ve Yük arasındaki ilişki

Tablo 2 – FSR Yük, Direnç ve Voltaj Değişimi

Kuvvet (lb)	Kuvvet (N)	FSR Direnci	(FSR + R) ohm	FSR+R üzerinden akım	R boyunca voltaj
0 libre	0 N	Sonsuz	Sonsuz	0 mA	0V
0,04 libre	0,2 N	30 ohm	40 Kohm	0.13 mA	1,3 V
0,22 libre	1 N	6 ohm	16 Kohm	0,31 mA	3,1 V
2,2 libre	10 N	1 ohm	11 Kohm	0,45 mA	4,5 V
22 libre	100 N	250 ohm	10.25 Kohm	0,49 mA	4,9 V

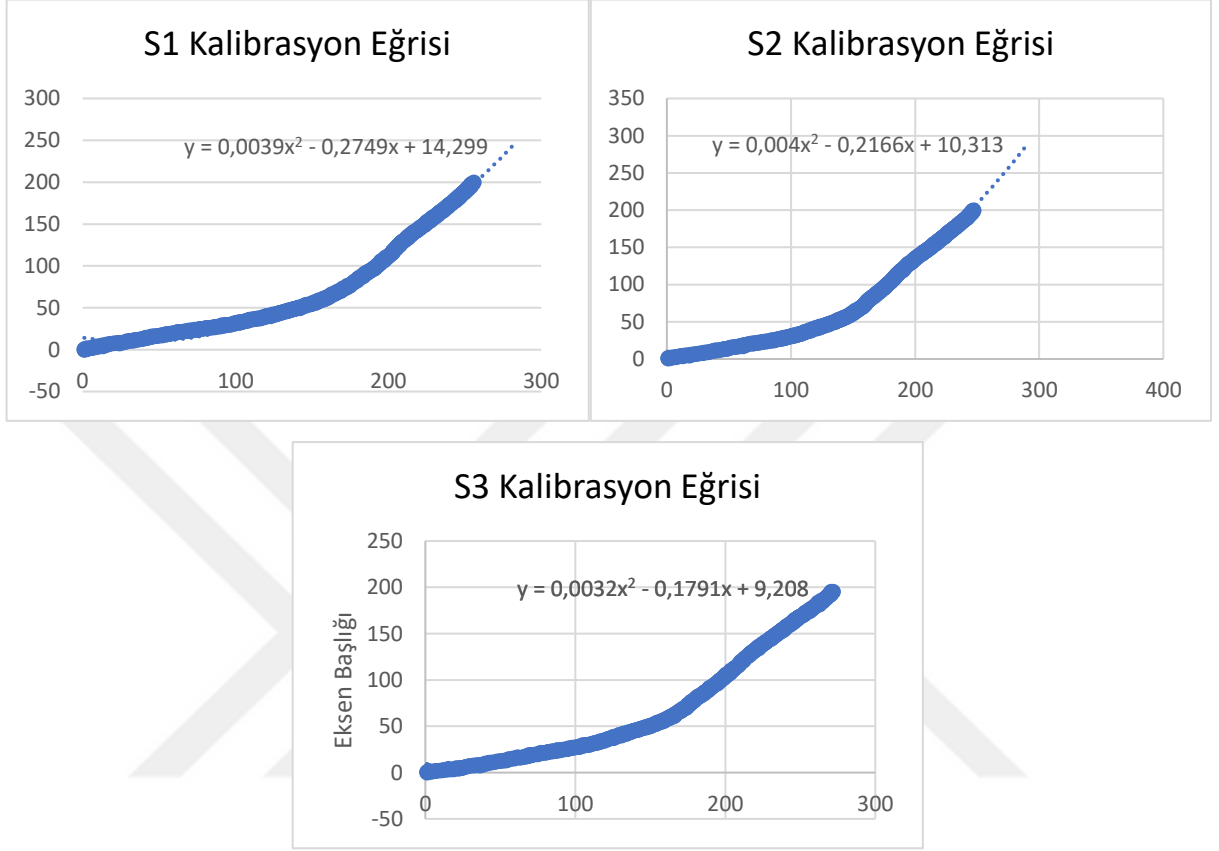
Tablo 2’de, 5V besleme ve 10K aşağı çekme direnci ile sensör kuvvetine/direncine dayalı yaklaşık analog voltajı gösterir.

Yöntemimizin bir miktar lineer öz direnç alır, ancak lineer voltaj sağlamaz. Bunun nedeni voltaj denklemi ile açıklamamız mümkündür.

$$V_o = V_{cc} \left(R / (R + FSR) \right)$$

Yani voltaj, kuvvet sensörünün direncinin tersi ile orantılı seyretmektedir.

Yapılan kalibrasyon çalışması ile 0-200 N arasında baskı uygulanarak şekil 3’teki üç sensör için ayrı ayrı kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Eğriden gelen polinomik eğim çizgileri Sensör 1 için ($y = 0,0039x^2 - 0,2749x + 14,299$), Sensör 2 için ($y = 0,004x^2 - 0,2166x + 10,313$), Sensör 3 için ise ($y = 0,0032x^2 - 0,1791x + 9,208$) olarak bulunmuştur. Dolayısıyla mikroişlemciden gelen analog veri Kuvvet (N) birimine çevrilmiştir.



Şekil 2: Sensörlerin kalibrasyon eğrisi

Basınca hassas üç sensör hazırlandıktan ve kalibre edildikten sonra yapılan parankim modeli üzerine yerleştirildi (Resim 7). Sensörlerin yerleştirilmesinde amaç, anastomoz süresince parankime yapılan dokunma basıncının ölçülmesi ve her dokunuşta sensörlerin sesli uyarı vermesiyle cerrahın taktıl şartlanmasını sağlamaktır. Sensörler, üzerlerine uygulanan basıncın büyüklüğünden bağımsız olarak sesli uyarı verecek şekilde hazırlandı. Frontal ve temporal loba gelecek şekilde sylvian fissür çevresine sensörler (S1, S2, S3) konumlandırılıp sabitlendi. Sensörler, bir veri alıcı cihaza bağlanarak anastomoz süresi boyunca aktif kayıt almaları sağlandı.

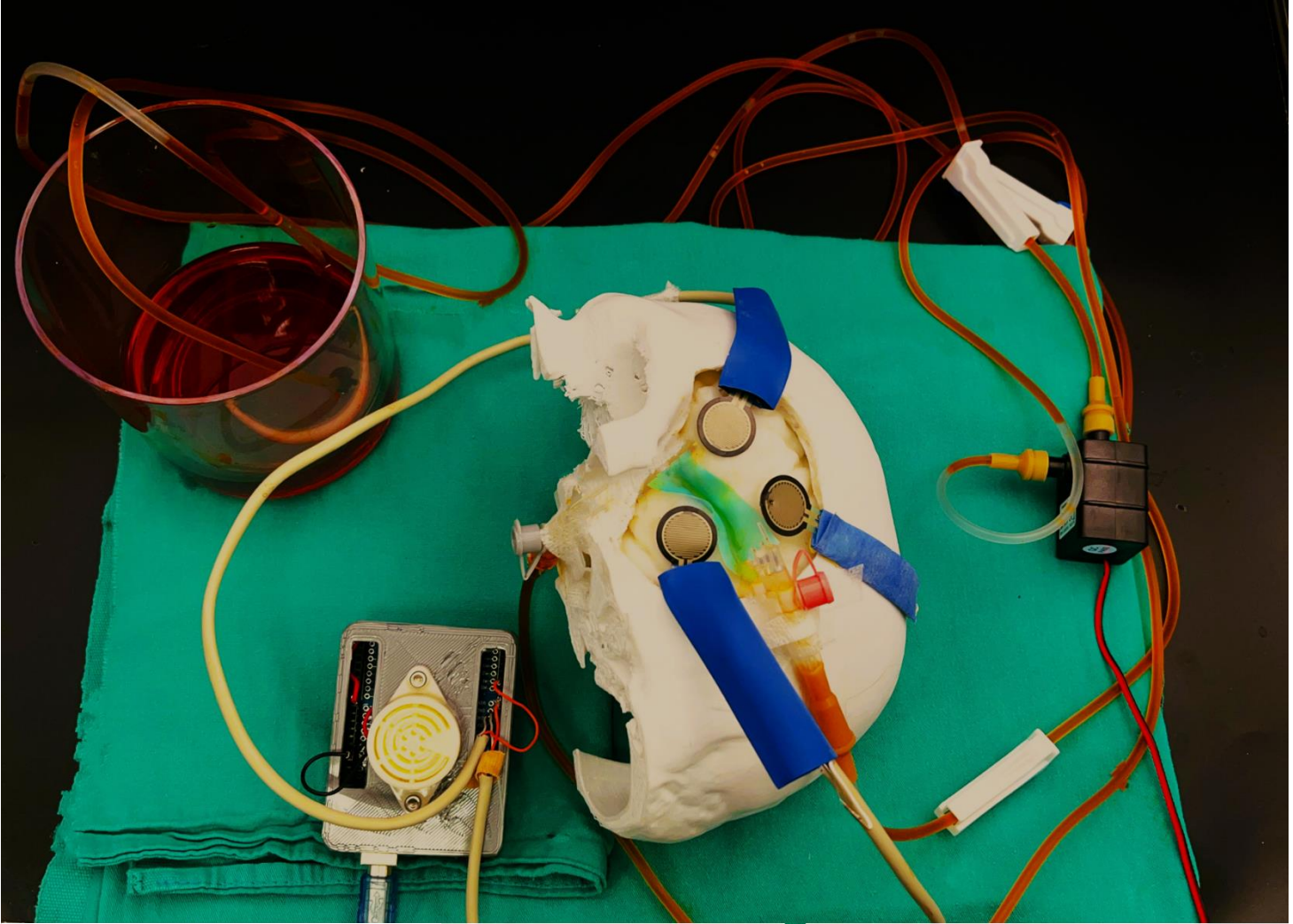


Resim 7: Sensörler yerleştirilmiş parankim modeli

3.4. Kan Dolaşımını Simüle Eden Sistemin Kuruluşu

Anastomoz tamamlandığında anastomozun dayanıklılığını test etmek ve reel cerrahiye simüle eden damar kan akımını sağlamak amacıyla sirkülasyon modeli oluşturuldu. Bu modelde akvaryum pompası (80GPH, VicTsing Technology Co, Kaliforniya, ABD) yardımıyla STA'yı simüle eden damardan OSA'yı simüle eden damara akım sağlandı. Anastomoz yapılacak damarlardan STA'nın proksimal ucuna, OSA'nın distal ucuna branül yerleştirildi. Bu branüller 3.0 vicryl suture ile sabitlendi. Branüllerin ucuna serum setleri bağlandı. Serum setlerinin proksimal uçları geniş bir kaba yönlendirildi. Kap içerisinde kanı temsil eden Rifocin ampul ile renklendirilmiş su konuldu. Akvaryum pompasının da ucuna serum seti bağlandı ve hazırlanan kaba sıvı sirkülasyonu için yönlendirildi. Pompa akım sağlanacak bir güç kaynağına

bağlandı. Serum setlerindeki perfüzyonu ayarlayıcı mekanizma ile kan akımının istenen hızda ve miktarda olması sağlandı. Anastomoz tamamlandıktan sonra akvaryum pompası çalıştırılarak sirkülasyon simüle edildi (Resim 8). Akım görüldükten ve anastomozun çalıştığı tespit edildikten sonra sistemin proksimaline perfüzörler ve manometre bağlanmak suretiyle farklı kan basınçlarında anastomoz kaçağının değerlendirilmesi amaçlandı.



Resim 8: Eğitim modelinin kurulması

3.5. Anastomoz Pratiklerinin Yapılması

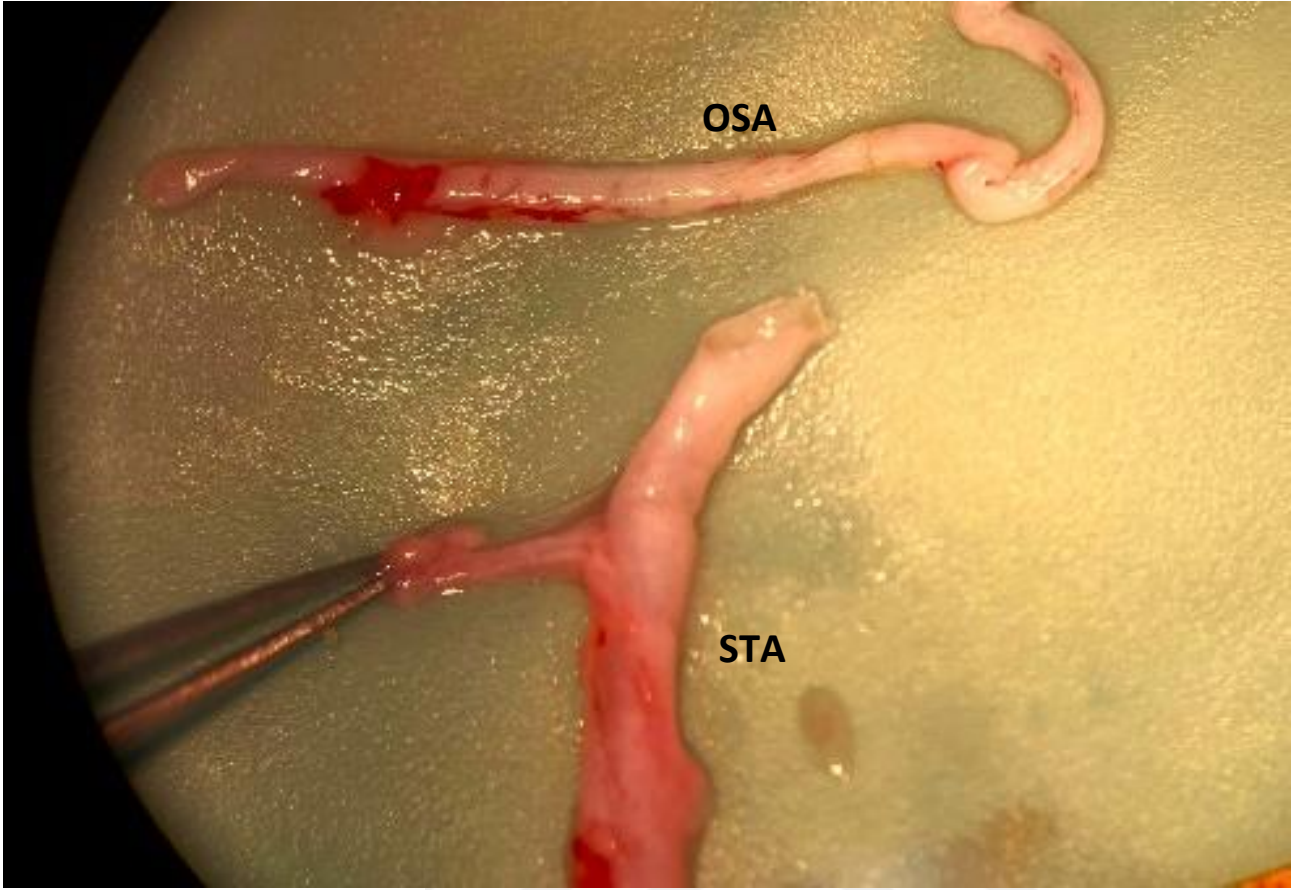
Anastomozda kullanılacak damarlar diseke edildikten ve üzerinde çalışılacak parankim ve kranium modeli anatomik ve cerrahi pozisyonuna uygun yerleştirildikten sonra anastomoz için hazırlıklara başlandı. STA'yı temsil eden damar sol temporal loba, OSA'yı temsil eden donör damar ise sol frontal lobdan sylvian sulkusa uzanacak şekilde yerleştirildi. Kan

dolaşımını simüle eden sisteme aracılık edecek branüller ve serum setleri de ilgili yerlere sabitlendi. Parankimin frontal ve temporal loblarına sensörler sabit şekilde konumlandırıldı.

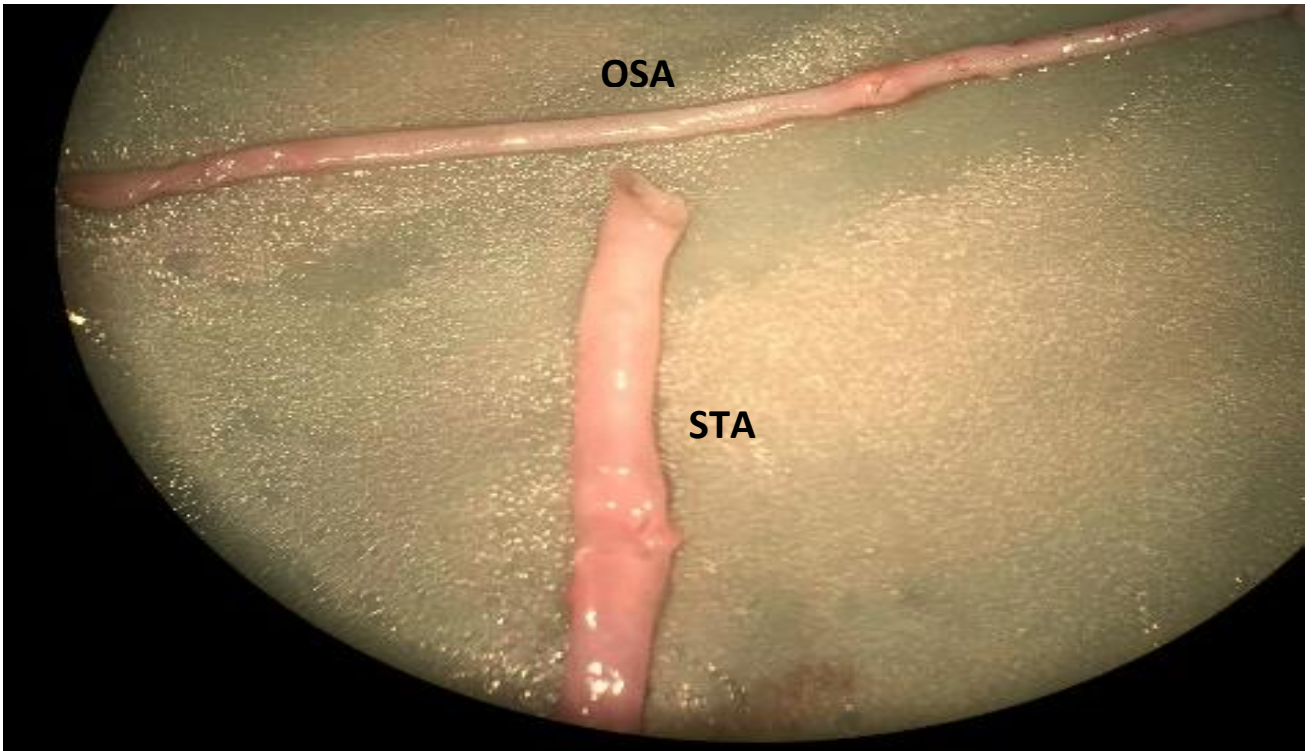
Sahaya mikroskop çekilerek anastomoz pratiklerine başlandı. Uç-yan STA-OSA direkt anastomozu 24 olgu için uygulandı. Anastomoz süreleri kaydedildi. Anastomoz süresince sensörlerden alınan dokunma basıncı ve dokunma sayısını içeren veriler anlık olarak kaydedildi. Anastomozlar 9.0 ve 10.0 (9.0 5.0 mm yuvarlak polyamid 6/6 Ethilon, Ethicon TM ve 10.0 3.8 mm yuvarlak, polyamid 6 Ethilon, Ethicon TM) sütürlerle uygulandı (Resim 10). Anastomoz öncesinde damar adventisyalı diseke edildi (Resim 11, Resim 12). Anastomoz esnasında damar duvarının seçilebilmesi adına damar uçları metilen mavisiyle boyandı (Resim 13). Anastomozların 12 tanesi mikro portegü ve mikro forseps ile, 12 tanesi de bilateral mikro forseps ile tek bir cerrah tarafından yapılarak tamamlandı (Resim 14, Resim 15, Resim 16, Resim 17, Resim 18).



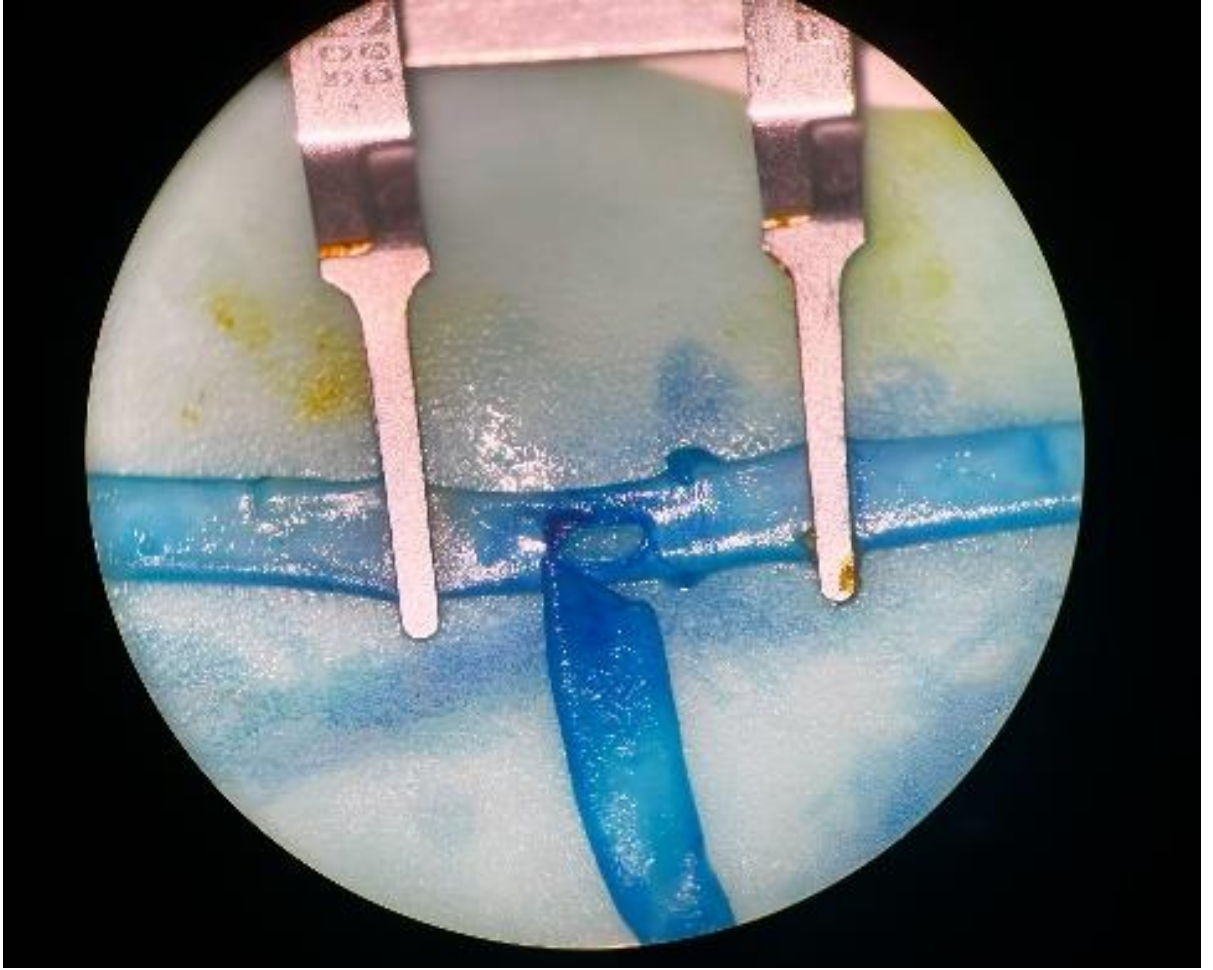
Resim 9: Anastomozda kullanılan el aletleri ve sütürler



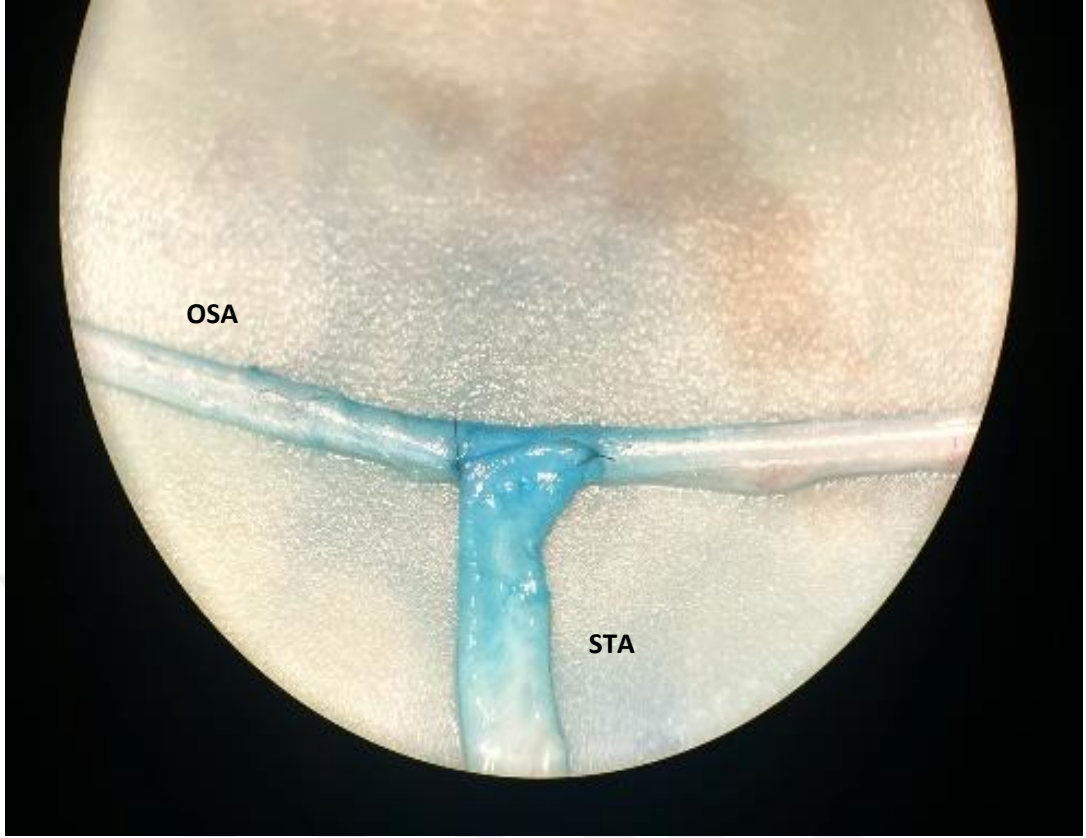
Resim 10: Adventisya diseksiyonu



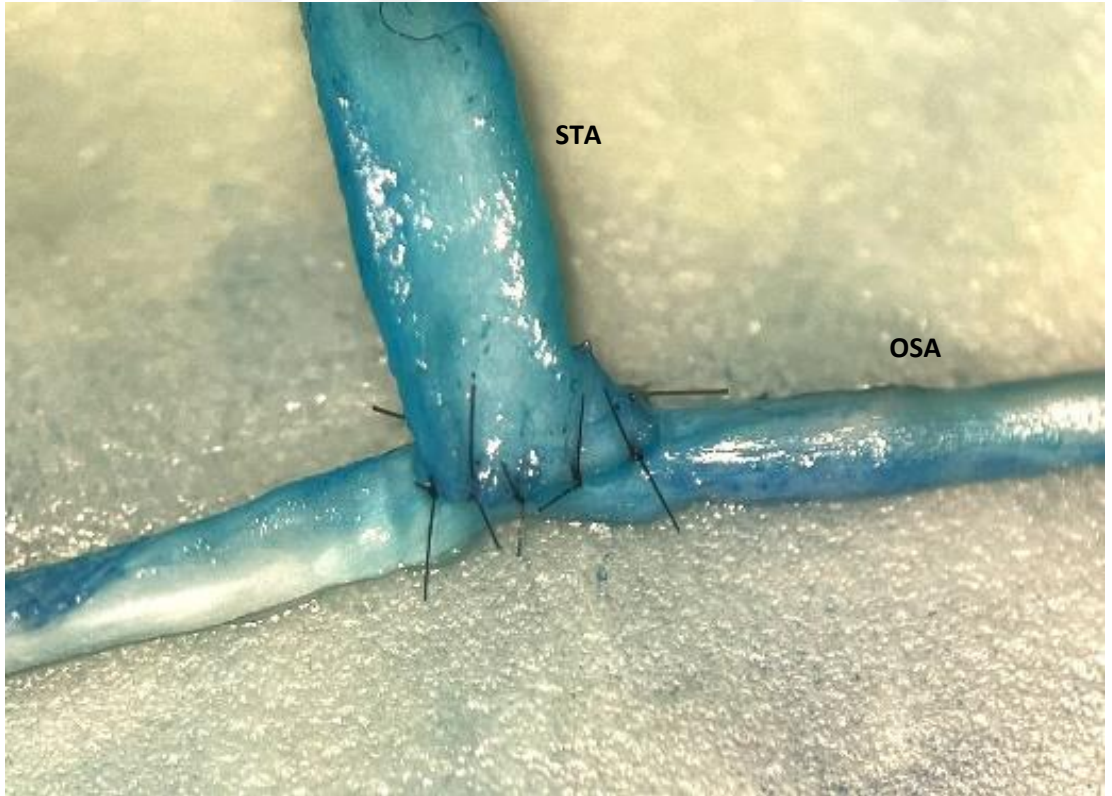
Resim 11: Adventisya diseksiyonu sonrası damarın hazır edilişı



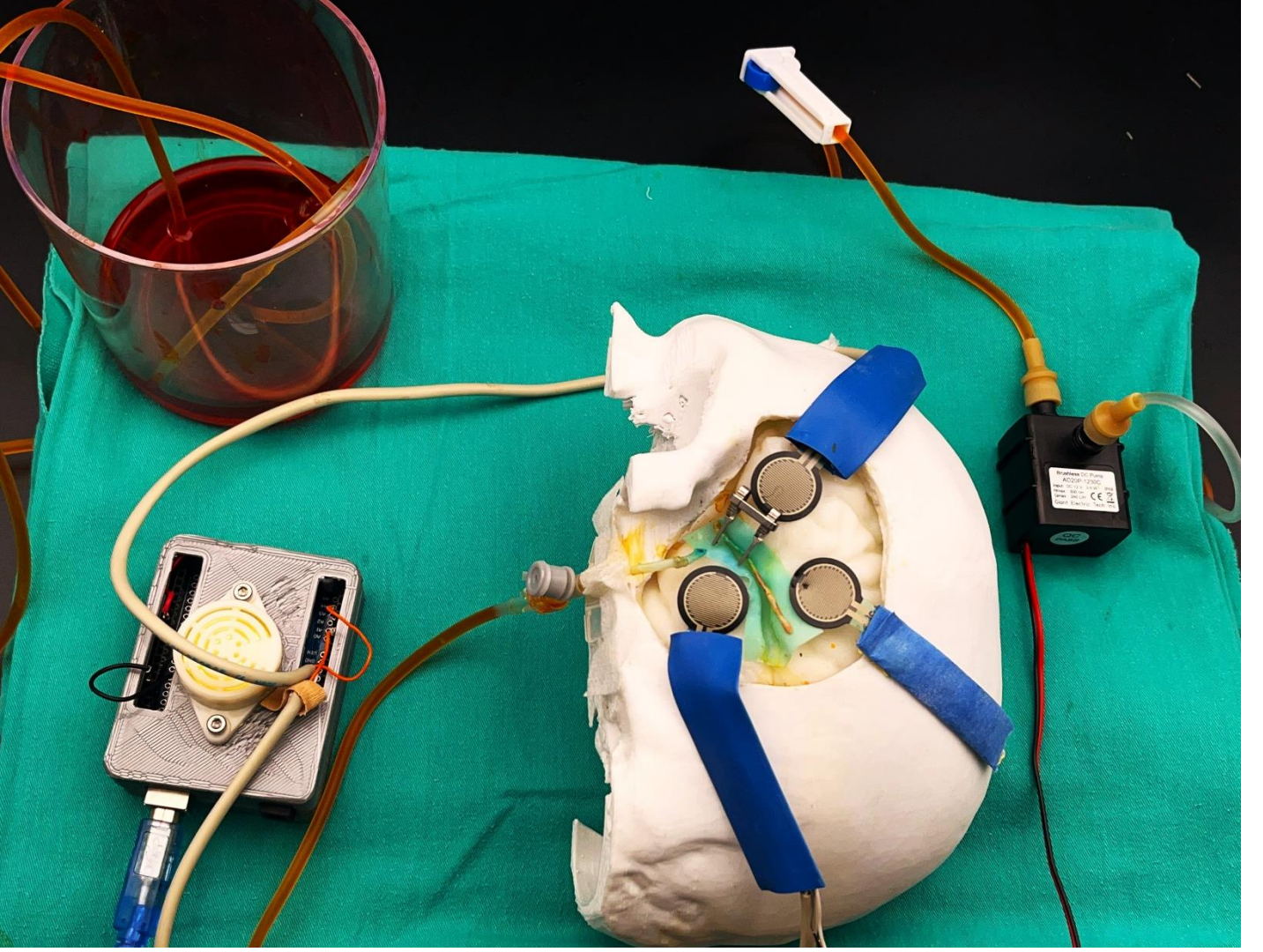
Resim 12: Metilen mavisi ile anastomoz uçlarının belirginleştirilmesi



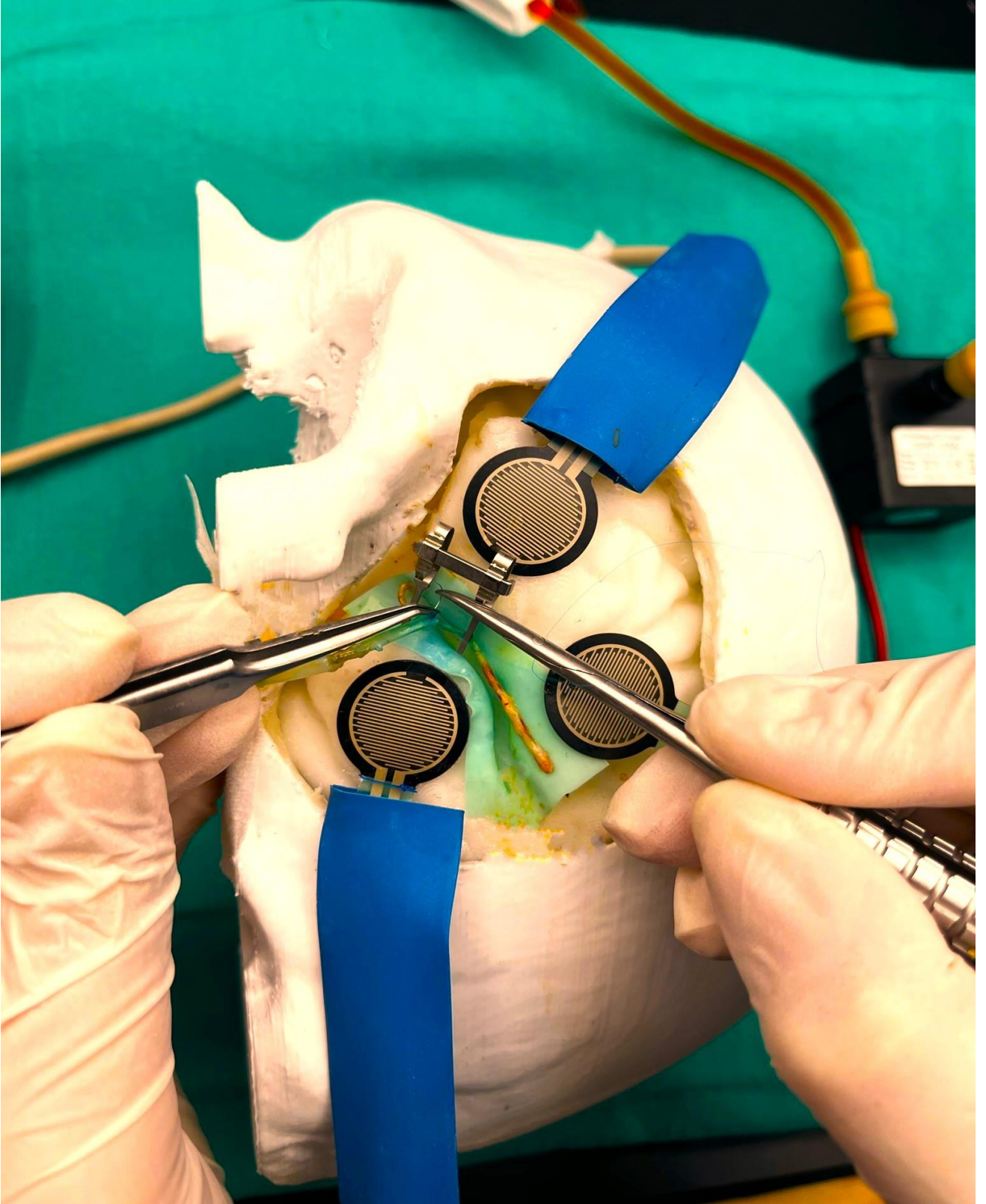
Resim 13: Anastomoza başlanması



Resim 14: Anastomozun tamamlanması



Resim 15: Anastomoz esnasında eğitim modelinin görünüşü



Resim 16: Anastomoz pratiği esnasında alınan görüntü -1



Resim 17: Anastomoz pratiği esnasında alınan görüntü -2

3.6 Anastomoz Sağlamlığının ve Kaçakların Değerlendirilmesi

Her anastomoz tamamlandıktan sonra sirkülatuar sistem bağlanıp devreye sokularak anastomoz hattına kan akımını temsil eden sıvının ulaşması sağlandı. Anastomozun devamlılığı teyit edildikten sonra proksimalde yer alan perfüzör ve kalibre edilmiş manuel manometreyle ölçülerek öncelikle hipotansif (<120 mmHg kan basıncı) normotansif değerde (120 mmHg sistolik basınç) anastomoz kaçağı ve sistemin devamlılığı değerlendirildi. Sistemin distal uçları klemplenerek basıncın sistem içerisinde sabit kalması sağlandı. Hipotansif ve normotansif değerlerde anastomoz kaçağı olup olmadığı ve kaç noktadan kaçak olduğu kayıt altına alındı. Ardından basınç kademeli olarak artırılarak maksimum 200 mmHg sistolik basınca çıkacak şekilde anastomoz kaçağı değerlendirmesi yapıldı. Anastomoz kaçağının olduğu basınç değeri ve kaç noktadan kaç olduğu kaydedildi. 200 mmHg değeri maksimum hipertansif değer olarak

belirlendi, bu değerde kaçak olmadığı takdirde anastomoz patent olarak değerlendirildi. Manometre ile yapılan ölçümler milibar cinsinden olup, mmHg eşdeğerleri ile istatistiksel analiz uygulanmıştır. (1mmHg=1,33mBar olarak ölçüm yapılmıştır.)

3.7. İstatistiksel Analiz

Anastomoz süreleri, anastomoz kaçaklarının varlığı ve mevcutsa hangi basınç değerlerinde kaç noktadan kaçak olduğu, anastomoz yapılırken kullanılan sütürler ve aletler, anastomoz esnasında sensörlerden alınan dokunma basınçları ve her olgudaki dokunma sayısı kaydedildikten sonra SPSS Statistics 15.0 ile veri analizi yapıldı. Gruplar arası veri karşılaştırılması için Mann Whitney –U testi yapıldı. Anastomoz pratiğinin sayısı arttıkça sürenin ve parankime yapılan dokunma basıncının nasıl değiştiği, ilerleyen pratiklerde ve farklı materyallerle yapılan anastomozlarda anastomoz kaçağının durumu ve ne şekilde etkilendiği; bu sayede de eğitim modelinin amacına uygunluğu açısından korelasyon testi uygulandı.

4. BULGULAR

Çalışmada STA-OSA bypassını simüle eden 24 anastomoz gerçekleştirildi. Ortalama bypass süresi 20.20 ± 4.57 dk (min 13.14, max 32.36) olarak ölçüldü. 8 (%33.30) vakada anastomoz kaçağı meydana geldi. 16 vakada (%66.70) ise çalışmada maksimum basınç olarak kabul edilen 200 mmHg'ye çıkılmasına rağmen anastomoz kaçağı meydana gelmedi. Anastomoz kaçağının olduğu ortalama basınç 128.75 ± 32.70 mmHg (min 30, max 175) olarak ölçüldü. Anastomoz süreleri boyunca sensöre dokunma sayısı ise ortalama 11.6 (min 0, max 30) kez olarak değerlendirildi (Tablo 3). Kullanılan forseps ve portegüler ile sütürlerin dağılımı Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 3: Yapılan anastomozların özellikleri

Gruplar	Ortalama Değerler
Anastomoz Kaçağının Olduğu Basınç (mmHg) (n=8)	128.75 ± 32.70
Anastomoz Süreleri (dk) (n=24)	20.20 ± 4.57
Sensöre Dokunma Sayısı (n=24)	11.66 ± 8.69

Tablo 4: Kullanılan forseps ve portegüler ile sütürlerin dağılımı

Gruplar	Kullanılan Sütürler (n)		Toplam
Kullanılan El Aletleri (n)	9.0	10.0	
Portegü	8 (%67)	4 (%33)	12
Forseps	7 (%59)	5 (%41)	12
Toplam	15 (%62)	9 (%38)	24

Yapılan anastomozların 12'sinde bilateral mikroforseps, 12'sinde ise mikroforseps ile mikroportegü birlikte kullanıldı. 15 anastomoz 9.0 polietilen sütür ile, 9 anastomoz ise 10.0 polietilen sütür ile gerçekleştirildi. Portegü ile gerçekleştirilen 12 anastomozdan 6'sında anastomoz kaçağı meydana gelirken, forseps ile gerçekleştirilenlerin 2'sinde kaçak meydana geldi. Portegü ile yapılan anastomozların ortalama süresi $21.29 (\pm 5.21)$ dk iken, forseps ile gerçekleştirilenlerin ortalama süresi $19.11 (\pm 3.74)$ dk idi. Portegü ile yapılan anastomozlarda kaçak meydana gelen ortalama basınç $134.16 (\pm 36.79)$ mmHg, forseps ile gerçekleştirilenlerin ortalama kaçak basıncı $112.5 (\pm 3.53)$ mmHg olarak bulundu. Forseps ile yapılan anastomozlarda sensörlere hiç dokunulmadan tamamlanan anastomoz mevcuttu, portegüde ise bu sayı minimum 3 olarak bulundu. Forsepte ortalama sensöre dokunma sayısı ise $11.33 (\pm 10.23)$, portegüde ise $12.00 (\pm 7.28)$ olarak sonuçlandı (Tablo 5).

Tablo 5: Portegü ve Forsepsin Anastomoz Süreleri ve Sensöre Dokunma Sayıları

Gruplar		Ortalama Değerler
Portegü	Süreler (dk) (n=12)	21.29 ±5.21
	Sensöre Dokunma Sayısı	12.00 ±7.28
	Anastomoz Kaçağının Olduğu Ortalama Basınç (n=6)	134.16 ±36.79
Forseps	Süreler (dk)	19.11 ±3.74
	Sensöre Dokunma Sayısı	11.33 ±10.23
	Anastomoz Kaçağının Olduğu Ortalama Basınç (n=2)	112.5 ±3.53

Portegü ve forseps ile yapılan anastomozların kaçak meydana gelen basınçlar, anastomoz süreleri ve sensöre dokunma sayıları arasındaki ilişkiler nonparametrik bir test olan Mann-Whitney U testiyle değerlendirildi. $P < 0,05$ olmak üzere çıkan sonuçlar istatistiksel açıdan anlamlı kabul edilmiştir. Kaçak oluşan basınçlar açısından portegü ve forseps ile yapılan anastomozlar arasında anlamlı fark yoktu ($p=0,505$). Anastomoz süreleri açısından da portegü ve forseps kullanımı arasında anlamlı fark bulunmadı ($p=0,326$). Anastomoz boyunca sensöre dokunma sayıları açısından da iki grup arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmadı ($p=0,644$).

Yapılan anastomoz pratiği ile anastomoz süreleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için nonparametrik bir test olan Pearson Ki-Kare testi kullanıldı. Anastomoz pratiğinin sayısı arttıkça anastomoz için gereken sürenin kısaldığı gösterildi ($p=0,049$).

Yapılan anastomoz pratiği ile sensörlere uygulanan dokunma sayısı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için nonparametrik bir test olan Pearson Ki-Kare testi kullanıldı. Anastomoz pratiğinin sayısı arttıkça parankim üzerinde bulunan sensörlere dokunma sayısı azaldığı bulundu ($p=0,015$).

Yapılan 24 anastomoz boyunca sensörlere dokunma basıncı ortalama 10,90 N olarak ölçüldü.

Yapılan anastomoz pratiği ile anastomoz kaçağının meydana geldiği basınçlar arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için nonparametrik bir test olan Pearson Ki-Kare testi kullanıldı. Anastomoz pratiği ile meydana gelen kaçak basınçları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmadı ($p=0,678$).

5.TARTIŞMA

Serebral bypass cerrahisi, kısıtlı endikasyonları olan ve özellikle mikronöroşirürji pratiği gerektiren bir tekniktir. Mikronöroşirürji eğitimi de sürekli ve tekrarlayıcı olmalıdır. Bu tarz cerrahilerde çoklu ve sürekli pratik yapma şansının kısıtlı olması nedeniyle laboratuvar çalışmaları ve in vitro modeller önem arz etmektedir. Düşük maliyetli, tekrar kullanılabilir, canlıdan enfeksiyon riskinin minimum olduğu ya da hiç olmadığı, erişilebilirliği yüksek modeller günümüzde mikroşirürji eğitiminde daha çok önem kazanmıştır.

Mikroşirürji pratiğinde sentetik damarlar, tavuk damarları, kadavralar ve hayvan modelleriyle eğitim yapılabilir. Sıçan femoral arteri gibi canlı hayvanlarda yapılan pratikler sentetik damarlara kıyasla daha başarılı, gerçekçi ve öğretici olmaktadır; ancak hayvanlara erişimin zorluğu, maliyet ve etik sorunlar gündeme gelmektedir. Pulsatil kan akımı ve viskozitesi, koagülasyon süreçleri ve kan akımı açısından canlı dokular avantajlı olmakla birlikte hazırlık süreçleri komplikedir.

STA-OSA bypassı, bypass teknikleri içerisinde en sık kullanılan tekniktir. Cıkla ve ark. STA-OSA bypassını temsil eden bir eğitim modeli üretmişlerdir(80). Sentetik bir kranium, parankim ve damar modeli üretilerek kan dolaşımını simüle eden bir sistem geliştirmişlerdir. Bu çalışmada sentetik ve tekrar kullanılabilir materyaller seçilmesi maliyeti düşürmekte ve eğitimin tekrarlanabilirliğine destek olmaktadır. Cilt insizyonundan itibaren simüle edilmiş bir model olması da bypassın farklı aşamalarının demonstrasyonu açısından önem arz etmektedir. Kan dolaşımını simüle eden mekanizmanın da olması anastomoz sonrası kan akımını gözlemlemeyi sağlamaktadır(80). Bizim çalışmamızda da kan dolaşımı simülasyonu olması ve bunun da ötesinde kan akımı ile anastomoz sağlamlığının değerlendirilebiliyor oluşu, canlı dokuyu temsil eden tavuk ve hindi kanadı kullanılması ve maliyetin düşük olması çalışmanın öne çıkan özellikleridir. Modelimizin, mikrocerrahi eğitimi ön plana çıkaracak şekilde cerraha taktik şartlandırma kazandıracak sensörleri barındıran fonksiyonellikte oluşu da literatürde benzeri olmayan bir eğitim simülatörü olmasını sağlamaktadır.

Ramirez ve ark. yaptığı çalışmada üç boyutlu yazıcı kullanılarak birebir boyutta düşük maliyetli bir bypass eğitim modeli elde edilmiştir (81). Bypass cerrahisi süresince uygulanan kraniyotomi ile dura insizyonu simüle edilmiştir ve sylvian fissüre yerleştirilen sentetik damarlarla bypass gerçekleştirilmiştir. Ardından anastomozu yapılan sistem, kan akımı ve pulsasyonu simüle eden mekanizmaya bağlanmıştır. Modelin avantajları tekrar kullanılabilir

olması ve düşük maliyetli olmasıdır. Sentetik damar kullanımı, parankimin orijinalinden rijid olması, daha üst düzey üç boyutlu yazıcı gerektirmesi ve kan akımının simülasyonunun ölçülebilir bir değerlendirme içermemesi ise modelin dezavantajları ve kısıtlılıkları olarak bildirilmiştir (81). Üç boyutlu yazıcı yapılan modeller, teknolojik gelişmeleri mikrocerrahi eğitimine dahil edebilen, sürdürülebilir, tekrar kullanılabilen modellerdir. Bu özellikleriyle gelişime açık bir alan olan üç boyutlu yazıcı ile yapılan modeller, günümüzde önem arz etmektedir. Biz de modelimizde üç boyutlu yazıcı ile gerçeğe yakın ve tekrar kullanılabilir bir simülasyon modeli elde ettik.

Belykh ve ark. insan ve sığır plasentasındaki damarları kullanarak uç-yan, uç uca, yan yana ve interpozisyon grefti kullanılarak anastomoz denemelerinin yapıldığı bir bypass modeli ortaya koymuştur(79). Anastomoz eğitimi yapılacak materyalin canlı doku olması, plasentadan çok sayıda damar elde edilebilmesi ve anastomozu yapılacak damara uygun çaptaki damarların seçilebiliyor oluşu; çalışmanın kazanımları olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın kısıtlılıkları arasında plasenta materyalinin ilk bir hafta, tercihen ilk 3-5 günde kullanılması gerekliliği aksi halde damarların kullanılabilirliğini ve canlılığını kaybetmeye başlayacağı, plasentadan enfeksiyon bulaşı riski, vasküler anastomoz dışında kraniyotomi ve yumuşak doku için bir simülasyon oluşturulamamış olması ve doğal beyin pulsasyonunun bulunmayışı mevcuttur (79). Oliveira ve ark. da plasenta modeli kullanarak İK-İK bypass simülasyonu gerçekleştirmiştir (82)Yapılan modelde plasenta damarlarının çapları ölçülerek gruplandırılmış ve 1200 plasenta damarı ile yapılan İK-İK bypass denemelerini temsil eden anastomozların teknik farkları ortaya konmuştur(82)Plasenta damarlarının farklı boyut aralıklarında olması nedeniyle çaplarına göre gruplandırılarak anastomoz pratikleri yapmak ve damarların çaplarının anastomoz üzerinde etkinliğini değerlendirmek açısından istatistiksel analizler yapılması; çalışmanın diğer plasenta modellerine üstünlüğü olarak değerlendirilebilir. Bu hususta eğitim pratiğinde kullanılabilecek en uygun plasenta damarlarının belirlenebilmesi açısından çalışmanın sonuçları önem arz etmektedir(82) Ferrarez ve ark. da plasenta tabanlı bir STA-OSA bypass modeli oluşturmuşlardır (83)Böylelikle; STA diseksiyonu, kraniyotomi, sylvian diseksiyon ve uç-yan anastomoz dahil tüm basamakları içeren bir eğitim modeli meydana getirilmiştir. Bu, farklı cerrahlara anastomoz pratiği yapılmasını hedefleyen ve bunların değerlendirmesini içeren bir çalışmadır. Çalışmamızda kraniyotomi, dura insizyonu ve araknoid diseksiyon gibi alanlar anastomoz modeline dahil edilmemiş olup aslen STA-OSA anastomozu ve buna ilişkin anastomozun dayanıklılığı test edildi. Mevcut dezavantajları nedeniyle plasenta ve materyalleri

tercih edilmedi. Bunun yerine enfeksiyon riski olmayan, düşük maliyetli, uzun süreli tekrar kullanılabilir, etik kaygılar barındırmayan, gerçek damarı boyutsal ve anatomik anlamda simüle edebilecek tavuk ve hindi kanadı tercih edildi.

Meybodi ve ark. sıçan modeli üzerinde uç uca, yan yana, uç-yan anastomoz konfigürasyonlarını denemişlerdir(84). Sıçanlarda abdominal aort ve ortak iliak arter kullanılarak anastomoz denemeleri yapılmıştır ve iki arterin de revaskülarizasyon prosedürleri için kullanılabileceğini göstererek teknikleri tanımlamışlardır. Eğitim modeli olarak canlı hayvan kullanılması etik sorunlar ve temin sorunları nedeniyle öncelikli olarak tercih edilmemektedir. Ayrıca, tekrar kullanılabilirlik noktasında ideal bir eğitim modeli olamamaktadır. Biz de bu nedenlerle çalışmamızda canlı hayvan kullanmayı tercih etmedik.

About ve ark. kadavralarda karotid ve vertebral damarları kan akımını pulsatil olarak simüle edecek sıvıyla doldurup parankimde cerrahi pratikleri yapmışlardır. Kraniyotomiler, vasküler anastomozlar ve diseksiyonlar ile parankimal rezeksiyonlar gerçekleştirmişlerdir. Olabe ve ark. da benzer şekilde eğitim modeli olarak kadavra kullanmışlardır (85). Kadavra modelleri gerçeklik ve anatomik oryantasyon için ideal modeller olmasına rağmen, etik sorunlar ve kadvraya erişim zorlukları nedeniyle çoklu denemelerin yapılacağı eğitim modelleri olarak öncelikli seçenek olarak görülmemektedir (86) Kadavra çalışmaları, mikrocerrahi temel laboratuvar eğitimi için mevcut sebeplerle uygun olmadığından, bypass modelimizde olabildiğince kolay erişilebilir materyalleri tercih ettik.

Övünç ve ark. yaptıkları teknik çalışmada, OSA'nın radyolojik görüntüleri baz alınarak bypass cerrahisi için model teşkil eden ve üç boyutlu yazıcı ile üretilen bireyselleştirilmiş sentetik OSA modeli oluşturmuşlardır (87). Bireyselleştirilmiş bir sentetik model olmasıyla hasta bazlı bypass pratiği yapmaya olanak sağlamaktadır. Sentetik materyalin vasküler dokuya eşdeğer yumuşaklıkta olup olmadığı ve doğal vasküler yapılarıdaki kan akımı ve tromboz olasılığı hususlarında sentetik materyalin yetersizliği çalışmanın kısıtlılıkları arasında gösterilmektedir(87).

Perry ve ark. yaptıkları deneysel sıçan modelinde sıçanların femoral arter ve venlerini diseke ettikten sonra dokuların iyileşmesi için bırakarak SAK'ı simüle eden perivasküler yapıların olduğu ortamda slyvian diseksiyon modeli oluşturmuşlardır (78). Bu modelde diseksiyon tamamlandıktan sonra anastomoz pratikleri yapmışlardır. Üç kontrol grubu, üç deneysel model olmak üzere altı sıçanda anastomoz pratiğini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın

canlı hayvan modelinde yapılmış olması nedeniyle gerçek dokuya oldukça yakın oluşu ve daha önce örneği olmayan SAK durumunda mikrodiseksiyonu geliştirmek adına bir adım olması avantajları iken; sıçan kullanılması nedeniyle etik sorunlar, kolay erişilebilirlik ve tekrar kullanılabilirlik açısından efektif olmaması dezavantajlarıdır (78).

Cıkla ve ark. yan yana ASA anastomozunu temsil eden bir in vitro eğitim modeli oluşturmuşlardır (88) Modelde greyfurt, serebral hemisferleri temsil edecek şekilde hazırlanıp interhemisferik alana tavuk kanadından diseke edilen damarlar ve sentetik damarlar yerleştirilerek anastomoz denemeleri yapılmıştır. Serebral interhemisferik ölçümlerlerin derinliğiyle greyfurtun benzerliği baz alınarak ucuz, kolay erişilebilir bir model meydana getirilmiştir. Bunların ardından serebral akımının temsil edilmesi de sağlanmıştır. Yan yana ASA anastomozunun kolay elde edilebilen, düşük maliyetli, cerrahi sahaya uygun şekilde derinlik algısının olduğu, kan akımının değerlendirilmesine izin veren ve tekrar kullanılabilen yenilikçi bir model üzerinde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır(88)

Biz de çalışmamızda düşük maliyetli, tekrar kullanılabilir, kolay erişilebilir ve anastomoz pratiklerinin eğitilenler üzerindeki etkilerinin değerlendirilebileceği bir model oluşturmayı hedefledik. Maliyetin düşük olması ve enfeksiyon riski ya da etik kaygılar taşımaması nedeniyle tavuk ve hindi damarları kullanıldı. Bu damarlar, her anastomoz pratiği için yeniden diseke edilip elde edilebilmeleri, sentetik damarlarla kıyaslandığında gerçek vasküler yapıların özelliklerini yansıtmaları ve çap bakımından anastomoz gerçekleştirilecek damarlara uygunlukları nedenleriyle tercih edildi.

Oluşturulan eğitim modelinde bypass cerrahisinin yalnızca anastomoz safhasına yönelik pratikler meydana getirildi. Bu da modelin amaca yönelik olması ve anastomozun değerlendirilebilmesi açısından önem arz etmekteydi. Yapılan anastomozların sağlamlığının gerçek cerrahide olduğu gibi simülasyon modelinde de değerlendirilebiliyor oluşu, pratiklerin faydalı olup olmadığının değerlendirilmesi açısından anlamlıdır. Nitekim, istatistiksel analizlerde, yapılan pratik sayısı arttıkça anastomoz sürelerinin kısaldığı gösterildi. Bu da eğitimin modelinin amacına yönelik öğrenme eğrisine yapılan katkı hususundaki hipotezimizi destekler nitelikteydi.

Parankime yerleştirilen basınca hassas sensörlerle hem parankime dokununca oluşan sesli geri bildirim sisteminin varlığıyla cerrahın öğrenme eğrisine katkıda bulunuldu hem de bu öğrenme eğrisi boyunca parankime en az hasar verecek şekilde çalışma alışkanlığının kazanılıp

kazanılmadığı değerlendirme olanağı bulundu. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde, anastomoz pratiği sayısı arttıkça sensörlere dokunma sayısının azaldığı gösterildi. Eğitim modeli, cerrahın parankime en az hasarı verecek konuma gelmesi ve bu hususta gerekli taktik şartlanmanın sağlanması ile eğitimin etkinliği için benzeri olmayan önemli bir gelişme sağlamaktadır. Taktik şartlanma, cerrahların efektif ve en az hatayla cerrahi yapabilmeleri için sahip olmaları gereken bir özelliktir. Mikrocerrahi pratiği, bilhassa özellikli cerrahiler; yüksek düzeyde taktik hakimiyet gerektirmektedir. Mikrocerrahi ile ilgilenen cerrahların taktik şartlanmasını artırmak adına çalışmalar yapılmakta ve eğitim modelleri geliştirilmektedir(89) Bunu sağlamanın yolu da eğitim modelleriyle cerraha pratikler yaptırarak “en az hata yapma” hususunda şartlanma geliştirmektir. Bizim modelimiz de taktik şartlanmanın yapılan pratikle artacağı hususundaki hipotezi desteklemektedir.

Anastomozun dayanıklılığını değerlendirecek ve kan akımını simüle eden bir mekanizmanın varlığı, cerraha yaptığı pratiklerin sonucunu görebilme ve gerçeğe yakın bir ortamda anastomoz simülasyonu yapma olanağı sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda serebral kan akımını simüle eden mekanizmalar mevcuttur; ancak anastomozun değişken akım ve basınç esnasında sağlamlığını değerlendirecek bir model bulunmamaktadır. Anastomoz sonunda, progresif olarak sistemdeki basınç artırılarak kaçak olup olmadığı ve varsa hangi basınç değerinde meydana geldiği ölçüldü. Bizim çalışmamızda, yapılan anastomoz pratiği sayısı ile anastomoz kaçığının meydana geldiği basınç değeri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki bulunmadı.

Çalışmamızda, anastomozun 9.0 ya da 10.0 polietilen suture ile yapılmasının anastomoz kaçığının varlığına ve hangi basınçta meydana geldiğine ilişkin de veriler elde edilmiştir. Literatürde bu iki suture arasındaki farka dair bir çalışma bulunmamaktadır. İki suture ile yapılan anastomozlarda, kaçak oluşma ve kaçak oluşan basınçlar açısından istatistiksel anlamda fark bulunmamaktadır.

Çalışmada sensör sayısının parankimin anatomik yapısı nedeniyle tüm yüzeyi kaplayacak şekilde yerleştirilememiş oluşu, çalışmanın kısıtlılıkları arasındadır. Bunun ötesinde, daha farklı anastomoz türleri için de anastomoz denemeleri yapılabilir.

Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda; mevcut model mikrosirürji eğitimi için sürdürülebilir, kolay erişilebilir, düşük maliyetli, geliştirilebilir bir simülasyon olup anastomoz etkinliği ile sağlamlığının değerlendirilebilmesi hususundaki üstünlüğü, cerraha şartlanma ve belli cerrahi refleksleri kazandıracak potansiyelde olması ile benzerlerinden ayrılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Serebral bypass cerrahisi, kısıtlı endikasyonları olan ve tecrübe gerektiren komplike bir cerrahi olması nedeniyle bu tekniğin geliştirilmesi için laboratuvar çalışmalarına ve eğitim modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. İnovatif gelişmelerle elde edilen modeller hem cerrahların çoklu sayıda pratik yapmasına hem de böylelikle el becerilerini geliştirmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde mikroşirürji pratiğinde laboratuvar eğitimlerinin ve in vitro eğitim modellerinin rolü giderek artmaktadır.

Biz de çalışmamızda süperfisiyal temporal arter ile orta serebral arter bypassını simüle eden tavuk ve hindi damarlarından oluşan, tekrar kullanılabilir, düşük maliyetli, efektif ve gerçeği yansıtan, anastomozun sağlamlığının değerlendirilebileceği inovatif bir model geliştirmeyi amaçladık. Modelde, anastomoz süresi boyunca parankime yapılan dokunma basıncı, basınç hassas sensörlerle kayıt altına alındı ve dokunma durumunda sesli uyarı sistemi devreye girdi. Böylelikle, cerrahın parankime en az hasarı verecek şekilde şartlanmasına katkıda bulunuldu. Anastomozun sağlamlığı ise içerisinden geçen kan akımının basıncı kademeli olarak artırılarak kontrol edildi.

Çalışmamızdaki toplam 24 anastomozun 12'si mikro portegü ve mikro forseps ile, 12'si bilateral mikro forseps ile gerçekleştirildi. Her iki grupta anastomoz süreleri ve parankime dokunma basınçları ve sayıları arasında anlamlı fark izlenmedi.

Anastomoz pratiği arttıkça anastomoz süresinin kısaldığı ve sensöre dokunma sayısının azaldığı gösterildi. Bu da eğitim modelinin işe yararlığını, cerrahra taktik şartlanma sağladığını ve cerrahın öğrenme eğrisine yaptığı katkıyı göstermektedir.

Anastomoz sonrası kaçak oluşan basınçlar ile yapılan pratik sayısı arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Bu da anastomoz sağlamlığının yalnızca anastomoz pratiği sayısı ile ilgili olmadığını düşündürmektedir.

9.0 ve 10.0 sütürlerin anastomoz süreleri ve anastomoz kaçığı oranları ile kaçığın olduğu basınçlar karşılaştırıldığında iki sütür arasında anlamlı fark saptanmadı.

Çalışmamızda; basınç duyarlı sensörler ile cerrahın taktik şartlanma kazanmasının sağlanması, anastomoz sağlamlığı ve kaçığının değerlendirilebiliyor oluşu, düşük maliyetli, tekrar kullanılabilir ve kolay erişilebilir oluşuyla mikrocerrahi pratiği için kullanılabilecek bir model geliştirdik.

Mikroşirürji eğitimi için, ilerleyen teknolojilerle bu in vitro modellerin geliştirilmesi ve çeşitlendirilmesi, bu özellikli eğitimi hasta bazlı olmaktan çıkarıp eğitimin laboratuvar ortamında standardize edilebilen ve tekrarlanabilen bir öğrenme süreci haline gelmesine katkıda bulunacaktır.

7. KAYNAKLAR

1. Vilela MD, Newell DW. Superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass: Past, present, and future. C. 24, Neurosurgical Focus. 2008.
2. Superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass: past, present, and future. Volume 24: Issue 2 (Feb 2008): Cerebral Vascularization
3. Soldozy S, Costello JS, Norat P, Sokolowski JD, Soldozy K, Park MS, vd. Extracranial-intracranial bypass approach to cerebral revascularization: A historical perspective. Neurosurg Focus. 2019 Şub 1;46(2).
4. Spetzler R, Chater N. Microvascular bypass surgery. J Neurosurg. 2009;45(5).
5. Gratzl O, Schmiedek P, Spetzler R, Steinhoff H, Marguth F. Clinical experience with extra intracranial arterial anastomosis in 65 cases. J Neurosurg. 1976;44(3).
6. Hayden MG, Lee M, Guzman R, Steinberg GK. The evolution of cerebral revascularization surgery. C. 26, Neurosurgical Focus. 2009.
7. Miller CF, Spetzler RF, Kopaniky DJ. Middle meningeal to middle cerebral arterial bypass for cerebral revascularization. Case report. J Neurosurg. 1979;50(6).
8. Story JL, Brown WE, Eidelberg E, Arom K v., Stewart JR. Cerebral revascularization: common carotid to distal middle cerebral artery bypass. Neurosurgery. 1978;2(2).
9. Spetzler RF, Roski RA, Schuster H, Takaoka Y. The role of EC-IC in the treatment of giant intracranial aneurysms. Neurol Res. 1980;2(3-4).
10. Spetzler RF, Rhodes RS, Roski RA, Likavec MJ. Subclavian to middle cerebral artery saphenous vein bypass graft. J Neurosurg. 1980;53(4).
11. Spetzler RF, Roski RA, Kopaniky DR. Alternative superficial temporal artery to middle cerebral artery revascularization procedure. Neurosurgery. 1980;7(5).
12. Group* TEBS. Failure of Extracranial–Intracranial Arterial Bypass to Reduce the Risk of Ischemic Stroke. N Engl J Med 1985
13. Nishioka H. SECTION VIII, Part 1: Results of the Treatment of Intracranial Aneurysms by Occlusion of the Carotid Artery in the Neck. J Neurosurg 1966 Ara 1
14. Yaşargil MG, Krayenbühl HA, Donaghy RMP. Microsurgery : applied to neurosurgery. JAMA. 1970
15. Gelber BR, Sundt TM. Treatment of intracavernous and giant carotid aneurysms by combined internal carotid ligation and extra- to intracranial bypass. J Neurosurg 1980 Jan;52(1):1-10
16. Diaz FG, Umansky F, Mehta B, Montoya S, Dujovny M, Ausman JI, vd. Cerebral revascularization to a main limb of the middle cerebral artery in the Sylvian fissure: An alternative approach to conventional anastomosis. J Neurosurg 1985 Tem 1

17. Extracranial-intracranial (EC/IC) bypass in the treatment of giant intracranial aneurysms S. J. Peerless, G. G. Ferguson, and C. G. Drake. *Neurosurg Rev.* 1982;5(3):77-81
18. Extracranial-intracranial bypass operation in basal tumours. V Olteanu-Nerbe, F Marguth. *Neurosurg Rev.* 1982;5(3):99-105
19. Farran Y, Antony S. Nocardia abscessus-related intracranial aneurysm of the internal carotid artery with associated brain abscess: A case report and review of the literature. *J Infect Public Health.* 2016 May 1
20. Aries MJH, de Jong BM, Uyttenboogaart M, Regtien JG, van der Naalt J. Traumatic cervical artery dissection in head injury: The value of follow-up brain imaging. *Clin Neurol Neurosurg.* 2010 Eki;112(8):691-4.
21. AJ G, MP M, RC T, GK S. Direct and combined revascularization in pediatric moyamoya disease. *Neurosurgery* 1999 [a.yer 2022 Eki 2];45(1).
22. Houkin K, Kuroda S, Nakayama N. Cerebral revascularization for moyamoya disease in children. C. 12, *Neurosurgery Clinics of North America.* 2001.
23. Houkin K, Kamiyama H, Takahashi A, Kuroda S, Abe H. Combined revascularization surgery for childhood moyamoya disease: STA-MCA and encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis. *Childs Nerv Syst [Internet].* 1997 Oca 24 [a.yer 2022 Eki 2];13(1):24-9.
24. Houkin K, Kuroda S, Ishikawa T, Abe H. Neovascularization (angiogenesis) after revascularization in moyamoya disease. Which technique is most useful for moyamoya disease? *Acta Neurochir (Wien).* 2000;142(3).
25. Javedan SP, Deshmukh VR, Spetzler RF, Zabramski JM. The role of cerebral revascularization in patients with intracranial aneurysms. C. 12, *Neurosurgery Clinics of North America.* 2001.
26. Kawaguchi S, Okuno S, Sakaki T. Effect of direct arterial bypass on the prevention of future stroke in patients with the hemorrhagic variety of moyamoya disease. *J Neurosurg.* 2000;93(3).
27. Karasawa J, Kikuchi H, Furuse S, Kawamura J, Sakaki T. Treatment of moyamoya disease with STA-MCA anastomosis. *J Neurosurg.* 1978;49(5).
28. Okada Y, Shima T, Nishida M, Yamane K, Yamada T, Yamanaka C. Effectiveness of superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in adult moyamoya disease: Cerebral hemodynamics and clinical course in ischemic and hemorrhagic varieties. *Stroke.* 1998;29(3).
29. Takagi Y, Hashimoto N, Iwama T, Hayashida K. Improvement of oxygen metabolic reserve after extracranial-intracranial bypass surgery in patients with severe haemodynamic insufficiency. *Acta Neurochir (Wien).* 1997;139(1).
30. Neff KW, Horn P, Dinter D, Vajkoczy P, Schmiedek P, Düber C. Extracranial-intracranial arterial bypass surgery improves total brain blood supply in selected

symptomatic patients with unilateral internal carotid artery occlusion and insufficient collateralization. *Neuroradiology*. 2004;46(9).

31. Schmiedek P, Piepgras A, Leinsinger G, Kirsch CM, Einhaupl K. Improvement of cerebrovascular reserve capacity by EC-IC arterial bypass surgery in patients with ICA occlusion and hemodynamic cerebral ischemia. *J Neurosurg*. 1994;81(2).
32. Nussbaum ES, Erickson DL. Extracranial-intracranial bypass for ischemic cerebrovascular disease refractory to maximal medical therapy. *Neurosurgery*. 2000;46(1).
33. Powers WJ, Derdeyn CP, Fritsch SM, Carpenter DA, Yundt KD, Videen TO, vd. Benign prognosis of never-symptomatic carotid occlusion. *Neurology*. 2000;54(4).
34. Samson Y, Baron JC, Bousser MG, Rey A, Derlon JM, David P, vd. Effects of extra-intracranial arterial bypass on cerebral blood flow and oxygen metabolism in humans. *Stroke*. 1985;16(4).
35. Dere Anatomi Atlası ve Ders Kitabı [Internet]. [a.yer 2022 Eki 31].
36. Tubbs RS. Sobotta Anatomy Textbook, English Edition with Latin Nomenclature by Waschke, Jens, Tobias M. Böckers, and Friedrich Paulsen, Munich: Elsevier, 2019, 824 pp, \$90, ISBN 9780702067600 (Hard), ISBN 97807020676174 (eBook). Clinical Anatomy [Internet]. 2019 Eki 1 [a.yer 2022 Eki 31];32(7):970-970. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ca.23397>
37. Çevik Uzmanlık Tezi Y, Döndü Kızıllıkanat E. - İntrakranial Anevrizmalı Hastaların Arteria Karotis Interna Morfolojisinin Araştırılması.
38. İntrakranial anevrizmalarda damar duvarının farklı hematokrit düzeylerindeki hemodinamik değişimlere yanıtının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi- Büşra Zencirci. 2019 Anatomi Yüksek Lisans Tezi
39. Ökten Aİ ve Güzel A: Beyin Arterleri. *Türk Nöroşirürji Dergisi* 2012, Cilt: 22, Sayı: 3, 171-188
40. Shah RS, Jeyaretna DS. Cerebral vascular anatomy and physiology. *Surgery (Oxford)*. 2018 Kas 1;36(11):606-12.
41. Agarwal N, Carare RO. Cerebral Vessels: An Overview of Anatomy, Physiology, and Role in the Drainage of Fluids and Solutes. *Front Neurol*. 2021 Oca 13;11:1748.
42. Miyamoto S, Yoshimoto T, Hashimoto N, Okada Y, Tsuji I, Tominaga T, vd. Effects of extracranial-intracranial bypass for patients with hemorrhagic moyamoya disease: Results of the Japan adult moyamoya trial. *Stroke*. 2014;45(5).
43. Acker G, Fekonja L, Vajkoczy P. Surgical management of moyamoya disease. *C*. 49, *Stroke*. 2018.

44. Wessels L, Hecht N, Vajkoczy P. Bypass in neurosurgery—indications and techniques. *Neurosurg Rev* [Internet]. 2019 Haz 13 [a.yer 2022 Eki 3];42(2):389-93. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10143-018-0966-9>
45. Kim T, Oh CW, Kwon OK, Hwang G, Kim JE, Kang HS, vd. Stroke prevention by direct revascularization for patients with adult-onset moyamoya disease presenting with ischemia. *J Neurosurg*. 2016;124(6).
46. Powers WJ, Clarke WR, Grubb RL, Videen TO, Adams HP, Derdeyn CP. Extracranial-intracranial bypass surgery for stroke prevention in hemodynamic cerebral ischemia: The carotid occlusion surgery study randomized trial. *JAMA*. 2011;306(18).
47. Kato N, Prinz V, Finger T, Schomacher M, Onken J, Dengler J, vd. Multiple reimplantation technique for treatment of complex giant aneurysms of the middle cerebral artery: Technical note. *Acta Neurochir (Wien)*. 2013;155(2).
48. Meybodi AT, Huang W, Benet A, Kola O, Lawton MT. Bypass surgery for complex middle cerebral artery aneurysms: An algorithmic approach to revascularization. *J Neurosurg*. 2017;127(3).
49. Yang T, Tariq F, Chabot J, Madhok R, Sekhar LN. Cerebral revascularization for difficult skull base tumors: A contemporary series of 18 patients. C. 82, *World Neurosurgery*. 2014.
50. Khan NR, Morcos JJ. Cerebral Revascularization Surgery: Surgical Indications and Strategies. *Contemp Neurosurg*. 2021;43(2).
51. Vajkoczy P, Horn P, Schmiedek P. Standard superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass surgery in hemodynamic cerebral ischemia: Indication and technique. *Operative Techniques in Neurosurgery*. 1999;2(3).
52. Grubb RL, Derdeyn CP, Fritsch SM, Carpenter DA, Yundt KD, Videen TO, vd. Importance of hemodynamic factors in the prognosis of symptomatic carotid occlusion. *JAMA*. 1998;280(12).
53. Vajkoczy P. Revival of extra-intracranial bypass surgery. C. 22, *Current Opinion in Neurology*. 2009. s. 90-5.
54. Berry JA, Cortez V, Toor H, Saini H, Siddiqi J. Moyamoya: An Update and Review. *Cureus* [Internet]. 2020 Eki 16 [a.yer 2022 Eki 6];12(10). Available from: <https://www.cureus.com/articles/17456-moyamoya-an-update-and-review>
55. Ihara M, Yamamoto Y, Hattori Y, Liu W, Kobayashi H, Ishiyama H, vd. Moyamoya disease: diagnosis and interventions. *Lancet Neurol*. 2022 Ağu 1;21(8):747-58.
56. Baba T, Houkin K, Kuroda S. Novel epidemiological features of moyamoya disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* [Internet]. 2008 Ağu 1 [a.yer 2022 Eki 6];79(8):900-4. Available from: <https://jnnp.bmj.com/content/79/8/900>

57. Jea A, Smith ER, Robertson R, Scott RM. Moyamoya Syndrome Associated With Down Syndrome: Outcome After Surgical Revascularization. *Pediatrics* [Internet]. 2005 Kas 1 [a.yer 2022 Eki 6];116(5):e694-701.
58. Bedini G, G. Blecharz K, Nava S, Vajkoczy P, Alessandri G, Ranieri M, vd. Vasculogenic and Angiogenic Pathways in Moyamoya Disease. *Curr Med Chem*. 2016 Şub 24;23(4):315-45.
59. Chalouhi N, Tjoumakaris S, Gonzalez LF, Dumont AS, Shah Q, Gordon D, vd. Onyx Embolization of a Ruptured Lenticulostriate Artery Aneurysm in a Patient with Moyamoya Disease. *World Neurosurg*. 2013 Eyl 1;80(3-4):436.e7-436.e10.
60. Hamamoto Filho PT, Lira CCS, Zanini MA. Moyamoya Syndrome Manifesting with Choreiform Movements. *Neuropediatrics* [Internet]. 2018 Şub 1 [a.yer 2022 Eki 6];49(1):80-1.
61. Qin Y, Ogawa T, Fujii S, Shinohara Y, Kitao SI, Miyoshi F, vd. High incidence of asymptomatic cerebral microbleeds in patients with hemorrhagic onset-type moyamoya disease: a phase-sensitive MRI study and meta-analysis. <http://dx.doi.org/101177/0284185114524198> [Internet]. 2015 Mar 1 [a.yer 2022 Eki 6];56(3):329-38.
62. Lee S, Rivkin MJ, Kirton A, DeVeber G, Elbers J. Moyamoya Disease in Children: Results From the International Pediatric Stroke Study. <http://dx.doi.org/101177/0883073817718730> [Internet]. 2017 Tem 17 [a.yer 2022 Eki 6];32(11):924-9.
63. Lamônica DAC, Ribeiro C da C, Ferraz PMDP, Tabaquim M de LM. Moyamoya disease: impact on the performance of oral and written language. *Codas* [Internet]. 2016 Eki 24 [a.yer 2022 Eki 6];28(5):661-5.
64. Suzuki J. Moyamoya Disease. 1986 [a.yer 2022 Eki 6];
65. Frechette ES, Bell-Stephens TE, Steinberg GK, Fisher RS. Electroencephalographic features of moyamoya in adults. *Clinical Neurophysiology*. 2015 Mar 1;126(3):481-5.
66. Seo KD, Suh SH, Kim YB, Kim JH, Ahn SJ, Kim DS, vd. Ivy Sign on Fluid-Attenuated Inversion Recovery Images in Moyamoya Disease: Correlation with Clinical Severity and Old Brain Lesions. *Yonsei Med J* [Internet]. 2015 Eyl 1 [a.yer 2022 Eki 7];56(5):1322-7.
67. Sasagawa A, Mikami T, Hirano T, Akiyama Y, Mikuni N. Characteristics of cerebral hemodynamics assessed by CT perfusion in moyamoya disease. *Journal of Clinical Neuroscience* [Internet]. 2018 Oca 1 [a.yer 2022 Eki 10];47:183-9.
68. Ogawa S, Ogata T, Shimada H, Abe H, Katsuta T, Fukuda K, vd. Acceleration of blood flow as an indicator of improved hemodynamics after indirect bypass surgery in Moyamoya disease. *Clin Neurol Neurosurg*. 2017 Eyl 1;160:92-5.

69. Khan N, Dodd R, Marks MP, Bell-Stephens T, Vavao J, Steinberg GK. Failure of Primary Percutaneous Angioplasty and Stenting in the Prevention of Ischemia in Moyamoya Angiopathy. *Cerebrovascular Diseases* [Internet]. 2011 Oca [a.yer 2022 Eki 10];31(2):147-53.
70. Zhang L, Xu K, Zhang Y, Wang X, Yu J. Treatment Strategies for Aneurysms Associated with Moyamoya Disease. *Int J Med Sci* [Internet]. 2015 Şub 5 [a.yer 2022 Eki 10];12(3):234-42.
71. Mayeku J, Lopez-Gonzalez MA. Current Surgical Options for Moyamoya Disease. *Cureus* [Internet]. 2020 Kas 5 [a.yer 2022 Eki 6];12(11).
72. Wessels L, Hecht N, Vajkoczy P. Bypass in neurosurgery—indications and techniques. *Neurosurg Rev* [Internet]. 2019 Haz 1 [a.yer 2022 Kas 7];42(2):389-93.
73. Patel NN, Mangano FT, Klimo P. Indirect Revascularization Techniques for Treating Moyamoya Disease. *Neurosurg Clin N Am*. 2010 Tem 1;21(3):553-63.
74. Patel NN, Mangano FT, Klimo P. Indirect Revascularization Techniques for Treating Moyamoya Disease. *Neurosurg Clin N Am*. 2010 Tem 1;21(3):553-63.
75. Porras JL, Yang W, Xu R, Garzon-Muvdi T, Caplan JM, Colby GP, vd. Effectiveness of Ipsilateral Stroke Prevention Between Conservative Management and Indirect Revascularization for Moyamoya Disease in a North American Cohort. *World Neurosurg*. 2018 Şub 1;110:e928-36.
76. Luo R, Gao F, Deng X, Zhang D, Zhang Y. Results of Conservative Follow-up or Surgical Treatment of Moyamoya Patients Who Present without Hemorrhage, Transient Ischemic Attack, or Stroke. *World Neurosurg*. 2017 Ara 1;108:683-9.
77. Jeon JP, Kim JE, Cho WS, Bang JS, Son YJ, Oh CW. Meta-analysis of the surgical outcomes of symptomatic moyamoya disease in adults. *J Neurosurg* [Internet]. 2017 May 5 [a.yer 2022 Eki 12];128(3):793-9.
78. Perry A, Graffeo CS, Carlstrom LP, Anding WJ, Link MJ, Rangel-Castilla L. Novel rodent model for simulation of sylvian fissure dissection and cerebrovascular bypass under subarachnoid hemorrhage conditions: technical note and timing study. *Neurosurg Focus* [Internet]. 2019 Şub 1 [a.yer 2022 Eki 31];46(2).
79. Belykh E, Lei T, Safavi-Abbasi S, Yagmurlu K, Almefty RO, Sun H, vd. Low-flow and high-flow neurosurgical bypass and anastomosis training models using human and bovine placental vessels: a histological analysis and validation study. *J Neurosurg* [Internet]. 2016 Eki 1 [a.yer 2022 Eki 31];125(4):915-28.
80. Cıkla U, Sahin B, Hanalioglu S, Ahmed AS, Niemann D, Baskaya MK. A novel, low-cost, reusable, high-fidelity neurosurgical training simulator for cerebrovascular bypass surgery. *J Neurosurg*. 2019 May 1;130(5):1663-71.

81. Ramirez MDJE, Musa G, Castillo REB, Cherian I, Sufianov A, Lafuente J, vd. Three-dimensional Cerebrovascular Bypass Training. A New Low-Cost Home-Made Model. *Frontiers in Medical Case Reports*. 2021;02(02).
82. Oliveira MM, Wendling L, Malheiros JA, Nicolato A, Prosdocimi A, Guerra L, vd. Human Placenta Simulator for Intracranial-Intracranial Bypass: Vascular Anatomy and 5 Bypass Techniques. *World Neurosurg* [Internet]. 2018 Kas 1 [a.yer 2022 Kas 13];119:e694-702.
83. Ferrarez CE, Bertani R, Leite Batista DM, Lovato R, Perret C, Abi-Aad KR, vd. Superficial Temporal Artery-Middle Cerebral Artery Bypass Ex Vivo Hybrid Simulator: Face, Content, Construct, and Concurrent Validity. *World Neurosurg* [Internet]. 2020 Eki 1 [a.yer 2022 Kas 13];142:e378-84. /
84. Tayebi Meybodi A, Lawton MT, Yousef S, Mokhtari P, Gandhi S, Benet A. Microsurgical Bypass Training Rat Model: Part 2-Anastomosis Configurations. *World Neurosurg* [Internet]. 2017 Kas 1 [a.yer 2022 Kas 8];107:935-43.
85. Olabe J, Olabe J, Roda JM, Sancho V. Human cadaver brain infusion skull model for neurosurgical training. *Surg Neurol Int* [Internet]. 2011 [a.yer 2022 Kas 9];2:54. Available from: /pmc/articles/PMC3114310/
86. Aboud E, Al-Mefty O, Yaşargil MG. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. *J Neurosurg* [Internet]. 2002 Ara 1 [a.yer 2022 Kas 8];97(6):1367-72.
87. Ovunc SS, Yassin M, Chae R, Abla A, Rodriguez Rubio R. Constructing an Individualized Middle Cerebral Artery Model Using 3D Printing and Hydrogel for Bypass Training. *Cureus*. 2021 Tem 30;
88. Cikla U, Rowley P, Jennings Simoes EL, Ozaydin B, Goodman SL, Avci E, vd. Grapefruit Training Model for Distal Anterior Cerebral Artery Side-to-Side Bypass. *World Neurosurg*. 2020 Haz 1;138:39-51.
89. Applebaum MA, Doren EL, Ghanem AM, Eng M/, Myers SR, Harrington M, vd. Microsurgery Competency During Plastic Surgery Residency: An Objective Skills Assessment of an Integrated Residency Training Program. *Eplasty* [Internet]. 2018 [a.yer 2022 Kas 24];18:e25.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURUL KARARI

Sayın Prof.Dr. Ercan Özer

Araştırmaya ilişkin Kurulumuz kararı aşağıda sunulmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederiz.

ETİK KOMİSYONUN ADI	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
AÇIK ADRES	Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı 2. Kat İnciraltı-İZMİR
TELEFON	0 232 412 22 54-0 232 412 22 58
FAKS	0 232 412 22 43
E-POSTA	goaek@deu.edu.tr

BAŞVURU BİLGİLERİ	DOSYA NO:	7033-GOA
	ARAŞTIRMA	UZMANLIK TEZİ ☒ MÜNFERİT ARAŞTIRMA ☐ ÖÇM ☐ YÜKSEKLİSANS ☐ DOKTORA ☐
	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Mikrocerrahi Teknik İle Serebral Arter Anastomozu Simülasyonu İçin Yeni Eğitim Modeli
	ARAŞTIRMA PROTOKOL KODU	
	SORUMLU ARAŞTIRMACI ÜNVANI/ADI/SOYADI ve UZMANLIK ALANI	Prof.Dr. Ercan Özer Beyin ve Sinir Cerrahisi A.D
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☐ ÇOK MERKEZLİ ☒

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	Mevcut		Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	ARAŞTIRMA İLE İLGİLİ LİTERATÜR	Mevcut		Türkçe ☐ İngilizce ☒ Diğer ☐
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	Mevcut		Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	OLGU RAPOR FORMU	Mevcut		Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐