

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

BEYİN ve SİNİR CERRAHİSİ

ANATOMİK KADAVRA ÇALIŞMASI

**ENDOSKOPİK TRANSNAZAL CERRAHİDE OTONOM ROBOTİK KOL
TASARIMI VE KULLANIMI**

DR. ANIL ERGEN



KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

BEYİN ve SİNİR CERRAHİSİ

ANATOMİK KADAVRA ÇALIŞMASI

**ENDOSKOPIK TRANSNAZAL CERRAHİDE OTONOM ROBOTİK KOL
TASARIMI VE KULLANIMI**

DR. ANIL ERGEN

Doç. Dr. Burak ÇABUK Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Savaş CEYLAN Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. İhsan ANIK Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 30.12.2022

TEŞEKKÜR

İlk adımımı öğrenci olarak attığım Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi'ndeki Beyin ve Sinir cerrahisi asistanlık eğitimimin sonuna gelmiş bulunmaktayım. Kliniğimizin bana kattığı ahlaki ve mesleki değerleri her zaman ön planda tutacak bir hekim olarak;

Asistanı olmaktan her zaman gurur duyduğum, mesleki bilgi ve deneyimleri, insani değerleri ve hayata bakışı ile ufkumu genişleten, engin hayat tecrübesiyle yoluma ışık tutan, üzerimdeki emeği çok büyük olan ve her alanda kendime örnek aldığım Anabilim Dalı Başkanımız değerli hocam **Prof. Dr. Savaş CEYLAN**'a,

Eğitim dönemim ve uzmanlık sürecimde her konuda yanımda olan ve desteğini her zaman hissettiğim, mesleki bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak bana katkı sağlayan, objektif ve yenilikçi bakış açısıyla tez sürecimde yanımda olan tez danışmanım ve değerli hocam **Doç. Dr. Burak Çabuk**'a,

Asistanlarına etik değerlerin önemini her gün vurgulayarak geniş spinal cerrahi bilgisiyle mesleki beceri ve tecrübelerini bana aktaran ve spinal cerrahide ilerlememi sağlayan değerli hocam **Prof. Dr. M. Konuralp İLBAY**'a,

Pediyatrik nöroşirürjinin her alanında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve gelişmemde bana katkısı çok büyük olan değerli hocam **Prof. Dr. Volkan ETÜŞ**'a,

Gerek eğitim sürecimde gerek hastane dışında yaşadığım tüm zorluklarda bana çözüm yolu göstererek yardımcı olan, bütün bilgi ve birikimini esirgemeyip benimle paylaşan, hekimlik duruşuyla bizlere örnek olan değerli hocam **Prof. Dr. İhsan ANIK**'a,

Asistanlık eğitim sürecinde bana hem abilik hem hocalık yapan ve spinal cerrahi alanında eğitimim için bana her zaman güvenen, yanımda olan, beni cesaretlendirip yardımcı olan değerli ağabeyim ve hocam **Dr. Öğr. Üyesi M. Hamza GENÇ**'e,

Hem asistanlığı hem de öğretim üyeliği sürecinde her zaman yanımda olan, gerek akademik gerekse cerrahi anlamda tecrübelerini ve birikimini benimle yorulmadan paylaşan kıymetli ağabeyim ve hocam **Dr. Öğr. Üyesi Melih Çaklılı**'ya,

Cerrahi robot kolun tasarımı ve oluşturulmasında büyük bir özveriyle çalışan, haftalar süren deney geliştirme sürecinde sabırla ve fedakarlıkla bize yardım eden, laboratuvarlarının kapılarını ekibimize açan değerli hocam, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi **Doç. Dr. Selçuk KİZİR'a**

Asistanlık hayatım boyunca beraber çalıştığım başta ağabeyim **Uzm.Dr Aykut GÖKBEL'e** olmak üzere, **Uzm. Dr. N. Selim KAYA, Uzm. Dr. Atakan EMENGİN, Uzm. Dr. Caner POLAT, Uzm. Dr. Harun Emre ŞEN, Dr. Eren Yılmaz, Dr. Bedrettin ÖZSOY** ve diğer asistan kardeşlerime,

Beni bugünlere getiren, emeklerini asla ödeyemeyeceğim sevgili annem **Seval ERGEN'e**, sevgili babam **Orhan Hanefi ERGEN'e** ve canım kardeşim **Ecem Sude ERGEN'e**

Desteğini ve sevgisini sürekli hissettiğim, bu zorlu hayat yolunda benimle beraber yürüyen, bu dünyadaki en değerli varlığım, hayat arkadaşım, kıymetli eşim **Şebnem KAYA ERGEN'e**

Sonsuz teşekkür ederim...

Aralık 2022

Dr. Anıl ERGEN

İÇİNDEKİLER

I.TEŞEKKÜR	4
II.İÇİNDEKİLER.....	6
III.ŞEKİL DİZİNİ.....	8
IV.SİMGELER VE KISALTMALAR	9
1. GİRİŞ ve AMAÇ.	10
2. GENEL BİLGİLER.....	11
2.1. TARİHÇE.....	11
2.1.1. Endoskopik hipofiz cerrahisi tarihi.....	11
2.1.2. Robotik cerrahi tarihi.....	13
2.1.2.1. Programlanabilir “robot cerrah” konsepti.....	14
2.1.2.2. Robotik telecerrahi kavramı.....	15
2.1.2.3. Master-slave robot kavramı.....	16
2.1.2.4. Endoskopik robotik cerrahi.....	16
2.1.2.5. Robotik cerrahinin son durumu.....	18
2.1.2.6 Yeni Platformlar Ve Robotik Cerrahi Teknolojileri.....	19
2.2. ANATOMİ.....	20
2.2.1. Sfenoid kemik.....	20
2.2.2. Sfenoid sinüs.....	21
2.2.3. Hipofiz bezi.....	23
2.2.4. Kavernöz sinüs.....	24
2.2.5. Suprasellar alan.....	28
2.2.6. Anterior kafa tabanı.....	29
2.2.7. Klivus.....	31
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	32
3.1. Çalışma hazırlığı ve deneyin kurgulanması.....	32
3.2. Stewart Platformu ve Robotik Kol	33

3.3. Kafa modeli oluşturulması ve kullanımı.....	35
3.4. 3D Slicer kurulumu ve Robotun Yönlendirilmesi.....	37
4. BULGULAR.....	38
5. TARTIşMA.....	46
6. SONUÇ.....	49
7. ÖZET.....	51
8. ABSTRACT.....	52
9. KAYNAKLAR.....	53



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Programmable universal machine for assembly (PUMA) 200

Şekil 2. Automated endoscopic system for optimal positioning (AESOP)

Şekil 3. ZEUS robotik cerrahi sistemi. A. cerrah konsolu ve B. robotik kollar

Şekil 4. Da Vinci® Single-Site® sistemi

Şekil 5. Sfenoid kemik

Şekil 6. Sfenoid sinüs

Şekil 7. Sella çatısı ve Suprasellar alan

Şekil 8. İnternal Karotis Arter ve kavernöz segmenti

Şekil 9. (A) Kavernöz sinüs, superior kompartman. (B) Kavernöz sinüs, inferior ve lateral kompartmanlar. (C) Kavernöz sinüs, arka kompartman

Şekil 10. İnfrakiazmatik ve suprakiazmatik suprasellar boşluklar.

Şekil 11. (A) Ön kafa tabanı kemikleri. (B) Frontal sinüsten sellaya kadar görünen ön kafa tabanı.

Şekil 12. (A) Klivusun bölümleri. (B) Orta klivus çıkarıldıktan ve dura açıldıktan sonra ventral pons. (C) Alt klivus çıkarıldıktan ve dura açıldıktan sonra ventral medulla

Şekil 13. Robotik cerrahi sistemin genel yapısı

Şekil 14. 3 boyutlu yazıcıdan çıkartılan ön kafa tabanı (sfenoid kemik) maketi

Şekil 15. Çalışma uzayı

Şekil 16. Robotik cerrahi ameliyathane düzeneği

Şekil 17. Siemens C-kollu skopi

Şekil 18. Cerrahi deney düzeni. Soldan sağa Aspiratör ünitesi, motor ünitesi, kadavra, robot kol, robot kontrol ünitesi ve bilgisayar.

Şekil 19. Robot kolun açısı, belirlenen güzergaha uyarlanmış haliyle.

Şekil 20. Robotik kol ve kafatası modeli ile cerrahi çalışma düzeni

Şekil 21. Kafa modelinde ameliyatın nazal aşamasının endoskopik görüntüsü.

Şekil 22. Robotik kol ve kadavra ile cerrahi çalışma düzeni

Şekil 23. Kadavrada ameliyatın nazal aşamasının endoskopik görüntüsü.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Endoskopik endonazal cerrahi (EEC)

Optimal Konumlandırma için Otomatik Endoskopik Sistemi (AESOP)

Programlanabilir üniversal makine 200 (PUMA)

Prostatektomi için cerrah yardımcı robotu (SARP)

Prostat robotu (PROBOT)

Amerikan Gastrointestinal ve Endoskopik Cerrahlar Derneği (SAGES)

Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı'nın (DARPA)

Gıda ve İlaç İdaresi (FDA)

İnternal karotid arter (ICA)

Optikokarotid reses (OCR)

Degrees of freedom (DOF)

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Endoskopik endonazal cerrahi (EEC), ön kafa tabanı lezyonlarında yaygın olarak kullanılan bir ameliyat şeklidir. Frontal kafa tabanından kranio-servikal bileşkeye kadar uzanan alanda, orta hatta yerleşen hipofizer, meningeal, vasküler ve kemik lezyonlar başta olmak üzere birçok lezyonun tedavisinde kullanılabilmektedir (1).

Konjenital lezyonlarda çocukluk çağı kistik lezyonlarında, 3. Ventrikül yada beyin sapının dahil olduğu tümöral lezyonlarda endoskopik endonazal cerrahi son yıllarda önem kazanmıştır (2).

Ön kafa tabanı yaklaşımları yıllar içinde gelişmiş ve endoskopik endonazal yaklaşım özellikle hipofizer lezyonlarda birincil tedavi haline gelmiştir.

Daha önceleri transkranial mikroskopik yaklaşım ile yapılan bu ameliyatlar yerini transnazal mikroskopik ameliyatlara bırakmış ve son 25 yılda teknolojinin ilerleyişi ve modern endoskoplar kullanıma girmesiyle yöntem endoskopik endonazal yaklaşıma kaymıştır (3).

Endoskopik ameliyatlarda, endoskopi tutmanın doğasında var olan zorluk ve dolayısıyla cerrahi prosedür için yalnızca bir elin mevcut olması nedeniyle, ikinci bir cerrah endoskopi sınırlı bir çalışma alanında tutar veya sabit bir endoskop tutucu kullanılır.

Tıp alanındaki gelişmelere mekatronik alanındaki yenilikler de eşlik etmektedir. Robotların tıpta kullanımı gelişmekte olan bir alandır. Robotlar, cerrahlara kıyasla bazı avantajlara sahip olabilir (örneğin, daha yüksek doğruluk, daha iyi sensörler) ve onlara işlerinde yardımcı olabilir veya işin bir kısmını bağımsız olarak gerçekleştirebilir. "Robot Institute of America", robotu "çeşitli görevlerin yerine getirilmesi için çeşitli programlanmış hareketlerle malzeme, parça, alet veya özel cihazları hareket ettirmek için tasarlanmış, yeniden programlanabilir, çok işlevli bir manipülatör" olarak tanımlar (4).

Ameliyatta kullanılan robotik sistemler, denetleyici kontrollü sistem, telecerrahi sistem ve paylaşımlı kontrol sistemi olarak ayrılabilir. Denetleyici tarafından kontrol edilen bir sistemde robot, cerrah tarafından denetlenen belirli bir dizi talimata dayalı olarak operasyonu otomatik olarak gerçekleştirir. Paylaşılan kontrollü robotik sistemler,

ameliyat sırasında cerrahlara yardımcı olur, cerrah prosedür üzerinde tam kontrole sahiptir ve robot, aletin elle sabit şekilde manipüle edilmesini sağlar (5,6). Uzaktan cerrahi olarak da adlandırılan telecerrahi, cerrahın robotu gerçek zamanlı olarak hastadan uzaklaştırılan bir bölgede haptik arayüz aracılığıyla kontrol ettiği bir sistemdir. (7, 8).

Bu çalışmada amacımız, tasarlanan robot kolumuzun, endoskopik endonasal cerrahideki temel prosedürlerini gerçekleştirme yeteneğini incelemektir. Robot kol prototipinin endoskopu tutması ve otonom şekilde manevra yapmasının gerçekleştirilebilirliğini değerlendirdik. Deneyimizde, denetleyici kontrollü sistemi kullanan robot kolun avantajlarına odaklandık.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 TARİHÇE

2.1.1. Endoskopik hipofiz cerrahisi tarihi

Hipofiz bezini ilk tanımlayan M.S 150 yıllarında Galen olmuştur. Galen, hipofizin beyin ile burun boşluğu arasında, mukus yolları üzerinde oturan bir doku olduğunu ve mukus ürettiğini öne sürmüştür (9,10). Şimdilerde '*glandula pituitaria*' olarak kullanılan terim; muksu salgılayan bez anlamındadır (11). De Haen 18. Yy'da hipofiz kitlesi olan bir kadında amenorenden bahsetmiştir (10). Joseph Lieutaud, aynı dönemde hipotalamo-hipofizer aksı tanımlamıştır. Saucerotte akromegaliden bahsetmiş ve Rathke gelişimini tanımlamıştır (9).

Pierre Marie 19. Yy'da akromegalide hipofiz bezinin büyüdüğünü ortaya koymuştur ve hipofiz bezinin endokrin fonksiyonuyla ilgili çalışmalar yapmıştır. Hipofiz cerrahisi geliştirilmesi bu dönemde düşünülmüştür. (12).

Sellar bölgeye yönelik ilk cerrahi yaklaşımda transkraniyal yöntem kullanılmıştır. mortalitenin fazla olmasından dolayı o dönemde bu yaklaşımdan vazgeçilmiştir. Alternatif olabilecek cerrahi yaklaşımlar araştırılmaya başlanmıştır (13,14).

Giordano, 19. Yy'da sellar bölgeye transfasiyal yolla, frontal sinüs ön duvarını kullanarak transglabellar-nazal yaklaşımı uygulamıştır ve ardından kadavra üzerinde ilk transsfenoidal girişimi uygulamıştır (15). 20. Yy başlarında Schloffer, nazoethmoidal yaklaşım ile ilk hipofizektomi operasyonunu uygulamıştır (16).

Theodor Kocher, 1909'da submukozal septum rezeksiyonu ile transnazal girişimi ifade etmiştir (17). Allen Kanavel, aynı yılda inferior nazal girişimi tanımlamıştır (18). Oskar Hirsch, 1910 senesinde lokal anestezi kullanarak endonazal transseptal transsfenoidal yaklaşımı gerçekleştirmiştir. Aynı yıl, Albert E. Halstead sfenoid sinüse yaklaşımında kullanılacak olan sublabial gingival insizyonu ortaya koymuştur.

Harvey Cushing, hipofiz cerrahisinde transkraniyal yaklaşımı kullanmış fakat karşılaştığı katastrofik sonuçlar onu transnazal yaklaşıma yönlendirmiştir (19). Harvey Cushing, bir akromegali hastasında ilk transnazal ameliyatı gerçekleştirmiştir (20). Böylece diğer yaklaşımların avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmiş ve günümüzde geçerli yöntem olan transnazal yaklaşımı geliştirmiştir (21).

Hardy, 1967 yılında transnazal ameliyatta mikroskobu kullanıma sokmuş ve tasarımı olan mikrocerrahi aletleri icat etmiştir (22). Mikroskobun, kullanıma girmesiyle sellar ve parasellar lezyonlara yönelik ameliyatlarda da efektif ve güvenli hale gelmiştir (23,24).

19. yy başlarında, Philipp Bozzini, insan bedeninde kullanılacak ilk endoskopik cihazı bulmuştur (25). Nöroşirürjide ilk endoskopi uygulamaları, 1910 senesinde Chicago Üniversitesinde bir ürolog olan Victor Darwin Lespinasse tarafından hidrosefalisi tedavisinde uygulanmıştır ve endoskopik koroid pleksusu koagülasyonu yapılmıştır (26).

Walter E. Dandy'nin icatları 20. Yy'da endoskopik cerrahi için kilometre taşı olmuştur. Hidrosefaliyi tedavi etmek için nazal spekulum ile ventriküloskopi yapmıştır (27). Bu yıllarda endoskopik ameliyatlarda gelişimi, teknolojinin gelişmesi ve uygun cihazların icadınardaki paralellik bozulması nedeniyle bir plato dönemine girmiştir. 20. Yy'ın 2. yarısında mikrocerrahi yaklaşımda büyük ilerlemeler olmuştur. Görüntü sağlanmasındaki ışık ve büyütmenin teknoloji ile birlikte gelişmesi endoskopiye de yansımış ve 1990'lı yıllarda transnazal cerrahi işlemler tekrar cerrahlar tarafından uygulanabilir olmaya başlamıştır (28).

Gerard Guiot sellar lezyonlarda transnasal cerrahi yaklaşım uygulamıştır (29). Kulak-burun-boğaz doktorları, sinüs cerrahisinde endoskopik olarak sellaya ulaşmada en kısa yolları ayrıntılı olarak ortaya koymuşlardır (30,31). Endoskop ile birlikte görüş açısı genişlemiş ve mikroskop ile ulaşılamayan anatomik alanlar endoskop ile ortaya konmaya

başlanmıştır. Apuzzo, Halves ve Bushe, 1970'lerde bu yaklaşımı uygulamışlar ve geliştirmişlerdir (32,33).

Jankowski ve arkadaşları, 1992 yılında ilk kez tam endoskopik hipofiz cerrahisini gerçekleştirmişlerdir. Jho, Carrau ve Cappabianca tarafından da yöntem yaygınlaştırılmıştır (34,35,36). Pittsburgh Üniveritesi kulak-burun-boğaz uzmanı Carrau ile birlikte beyin cerrahisi Jho, elli vakalık ilk endoskopik endonazal hipofiz cerrahisi serisini bildirmiştir (37). Amin Kassam kafa tabanı cerrahisinin endoskopik sınırlarını genişleterek 'extended' yaklaşımı ortaya koymuştur ve bazı endoskopik cerrahi el aletlerini geliştirmiştir (37).

Ülkemizde ise ilk hipofiz cerrahisi 1947 senesinde Dr. Hami Dilek tarafından transkranial yaklaşım ile akromegalik bir hastaya yapılmıştır (38).

Kocaeli Üniversitesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim dalı olarak kliniğimizde 1997 yılından beri endoskopik endonazal cerrahi uygulanmaktadır (39).

Günümüzde sellar ve parasellar bölgenin cerrahi tedavisinde, endoskopik endonazal yaklaşım güvenle kullanılmaktadır.

2.1.2. Robotik cerrahi tarihi

Mekanik bir robot yapısının kullanılmasıyla ameliyat gerçekleştirme fikri, uzun yıllardır insanın hayal gücünde yer almaktadır. Ancak robotların tıpta kullanımının sadece 30 yıllık bir geçmişi var. Robotların cerrahide uygulanması, modern insanın 'tekrarlayan doğru görev performansı' hedefine ulaşma ihtiyacından kaynaklanmaktadır.

Bir insan hasta üzerinde kullanılan ilk "robot cerrah", 1985 yılında PUMA 200'dü. 1990'larda, bilim adamları, uzaktan manipülatörlerle kontrol edilen bir robottan oluşan "master-slave" robot kavramını geliştirdiler. Güç ve dokunsal geri bildirim eksikliğine rağmen robotik cerrahinin 3D görüşü, sabit ve büyütülmüş görüntü sağlaması, 'EndoWrist' aletleri gibi fizyolojik titreme filtreleme ve hareket ölçekleme gibi teknik avantajları robotik cerrahinin birçok sınırlamasının üstesinden gelinmesini sağladı. Da Vinci® robotunun onayı ve uluslararası kullanıma girmesinden bu yana, Amerikalı, Avrupalı ve Asyalı cerrahlar, birçok farklı robot yardımcı ameliyatın gerçekleştirilmesi için gerekli güvenilirliği kanıtladılar.

1951'de Raymond Goertz, ABD Atom Enerjisi Komisyonu için çalışırken, tehlikeli radyoaktif maddeleri işlemek için ilk uzaktan çalıştırılan mekanik kolu tasarladı (40,41). İkincisi, 1961'de George Devol ve Joseph Engelberger'in General Motors için Unimate adlı ilk endüstriyel robotu geliştirmesiyle elde edildi. Bu başarılı deneyler, Robotik'in dünyadaki diğer tüm endüstriyel alanlarda tanıtılması için belirleyici faktörlerdi (42,43). Literatürde sırasıyla 1920'lerde Karel Čapek ve 1940'larda Isaac Asimov tarafından kullanılmasına rağmen, "robot" kelimesinin ilk tanımı Amerika Robots Institute of America tarafından 1979'da yayınlandı: "yeniden programlanabilir, çok fonksiyonlu çeşitli görevlerin yerine getirilmesi için çeşitli programlanmış hareketlerle malzemeleri, parçaları, araçları veya özel cihazları hareket ettirmek için tasarlanmış manipülatör" (45-47).

2.1.2.1. Programlanabilir “robot cerrah” konsepti

Bir insan hasta üzerinde kullanılan ilk "robot cerrah", 1978'de Victor Scheinman tarafından geliştirilen ve 1985'te Kwoh tarafından beyin cerrahisi biyopsileri yapmak için kullanılan programlanabilir universal makine 200 (PUMA) idi (Şekil 1) (47,48). PUMA ile elde edilen kesin ve başarılı sonuçlar, 1988'de Londra'daki Imperial College'da üroloji ameliyatlarında kullanılması için yol açtı (49).



Şekil 1. Programmable universal machine for assembly (PUMA) 200

Bu robotun yerini daha sonra, her ikisi de prostat cerrahisinde kullanılan prostatektomi için cerrah yardımcı robotu (SARP) ve prostat robotu (PROBOT) ve ürolojik prosedürlerde yaygın olarak kullanılan UROBOT almıştır (47-50). Bu robotların her hastanın sabit anatomik noktalarına göre önceden programlanması gerekiyordu ve dinamik cerrahi hedeflerde (örn. gastrointestinal cerrahi) kullanılamıyordu (47).

2.1.2.2. Robotik telecerrahi kavramı

Amerikan eski Başkanı George H. W. Bush'un Mars'a insan gönderme niyetiyle ilgili duyurusu, NASA'nın Ames Araştırma Merkezi'ndeki araştırmacıları, astronotlarda uzun mesafeli ameliyatlar gerçekleştirme gerekliliğini ele alacak araştırma projeleri geliştirmeye yöneltti. Bunu akılda tutarak, araştırmacılar Michael McGreevey, Stephen Ellis ve Scott Fischer, astronotların gerçek zamanlı verilere erişmesini sağlamak için başa takılan ekran (HMD) adı verilen 3 boyutlu görüşe sahip stereoskopik bir görüntü birimi geliştirdiler (51). Jaron Lanier tarafından oluşturulan veri eldivenleriyle birleştirilen HMD, kullanıcının sanal dünyayla etkileşime girmesine izin verdi (47). Aynı zamanda, Stanford Araştırma Enstitüsü'nden (SRI) Philip Green ve askeri cerrah Richard Satava, alet telemanipülasyonu için bir işletim sistemi geliştirdiler (52). Bilgisayar bilimcisi Scott Fischer ve plastik cerrah Joseph Rosen, HMD, veri eldiveni ve SRI telemanipülatörünün birlikte kullanımı yoluyla uzayda ameliyatlar gerçekleştirmek için telepresence cerrahisinin temellerini ürettiler (47). Ne yazık ki, telebulunma cerrahisinin öncü projeleri teknik olarak uygulanabilir değildi (53). HMD'nin yerini monitörler ve cerrah konsolundaki kontrolörler için kulplu veri eldivenleri aldı (47). 1989'da Jacques Perissat, Atlanta'daki Amerikan Gastrointestinal ve Endoskopik Cerrahlar Derneği (SAGES) toplantısında laparoskopik kolesistektomi tekniğini sundu. Bu yenilik, laparoskopik cerrahiye uygulanabilecek bir robotik sistem geliştirmek için Richard Satava liderliğindeki bir grubun dikkatini çekti (54).

Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın savaş alanında yaralı askerlere tıbbi yardım sağlama ilgisi, bir robotik sistemin geliştirilmesi için Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı'nın (DARPA) hibe almasıyla sonuçlandı. Bu proje, cerrahi "sanal olarak" ön saflara götürebilen zırhlı bir araca (Bradley 557A) monte edilmiş bir prototiple sonuçlandı (53). İlk uzaktan cerrahi prosedür olan ex vivo intestinal anastomoz, Dr. Jon Bowersox tarafından gerçekleştirilmiştir (55).

2.1.2.3. Master-slave robot kavramı

1990'larda bilim adamları, bir cerrahi iş istasyonunda bir cerrah tarafından kontrol edilen uzaktan manipülatörlere sahip bir robottan oluşan ilk "master-slave sistemi" geliştirdiler (47).

2.1.2.4. Endoskopik robotik cerrahi

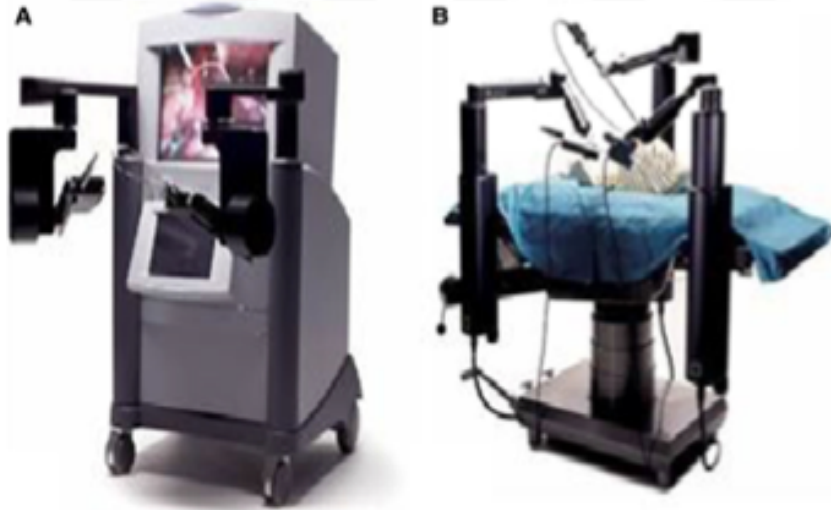
1993 yılında Yulin Wang, Computer Motion Inc.'i (Goleta, CA, ABD) kurdu ve Optimal Konumlandırma için Otomatik Endoskopik Sistemi (AESOP) geliştirdi (Şekil 2).



Şekil 2. Automated endoscopic system for optimal positioning (AESOP)

Ertesi yıl, Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), AESOP'u cerrahın sesli komutlarıyla kontrol edilen bir endoskopik kamera manipülatörü olarak onayladı ve böylece bu görevi yerine getirmek için bir asistana olan ihtiyacı ortadan kaldırdı (56-58). AESOP'un laparoskopik kolesistektomi, herniyoplasti, fundoplikasyon ve kolektomide uygulanmasını açıklayan bazı literatür raporları vardır (59).

Video kameranın telemanipülasyon konseptinden memnun olmayan Wang, cerrahın kol hareketlerini yeniden üretebilen bir robot geliştirmek için DARPA'dan fon aldı. Sonuç olarak Zeus sistemi, cerrah tarafından kontrol edilen kollar ve cerrahi aletlerle oluşturulmuştur (Şekil 3) (54). ZEUS robotik cerrahi sistemi ilk olarak Temmuz 1998'de Cleveland Clinic, Ohio, ABD'de bir fallop tüpü anastomozunda kullanıldı (60). Literatürde ZEUS'un sindirim (kolesistektomi, apandisektomi, bariatrik, hernioplasti, gastrektomi, fundoplikasyon, splenektomi ve kolektomi), ürolojik, jinekolojik ve kalp ameliyatlarında kullanımını açıklayan raporlar vardır (61). 3 Eylül 2001'de ZEUS, ilk transatlantik telecerrahi için kullanıldı. Cerrah Dr. Jacques Marescaux New York'ta iken, Strasbourg'da laparoskopik kolesistektomi yapıldı (62). 2003 yılında, uzun bir hukuk mücadelesinin ardından Computer Motion, Inc., Intuitive Surgical Inc. ile birleşti ve ZEUS'un geliştirilmesine son verdi (63).



Şekil 3. ZEUS robotik cerrahi sistemi. A. cerrah konsolu ve B. robotik kollar

Video kameranın telemanipülasyon konseptinden memnun olmayan Wang, cerrahın kol hareketlerini yeniden üretebilen bir robot geliştirmek için DARPA'dan fon aldı. Sonuç olarak Zeus sistemi, cerrah tarafından kontrol edilen kollar ve cerrahi aletlerle oluşturulmuştur (Şekil 3) (54). ZEUS robotik cerrahi sistemi ilk olarak Temmuz 1998'de Cleveland Clinic, Ohio, ABD'de bir fallop tüpü anastomozunda kullanıldı (60). Literatürde ZEUS'un sindirim (kolesistektomi, apandisektomi, bariatrik, hernioplasti, gastrektomi, fundoplikasyon, splenektomi ve kolektomi), ürolojik, jinekolojik ve kalp ameliyatlarında kullanımını açıklayan raporlar vardır (61). 3 Eylül 2001'de ZEUS, ilk

transatlantik telecerrahi için kullanıldı. Cerrah Dr. Jacques Marescaux New York'ta iken, Strasbourg'da laparoskopik kolesistektomi yapıldı (62). 2003 yılında, uzun bir hukuk mücadelesinin ardından Computer Motion, Inc., Intuitive Surgical Inc. ile birleşti ve ZEUS'un geliştirilmesine son verdi (63).

2.1.2.5. Robotik cerrahinin son durumu

Da Vinci® robotu, Intuitive Surgical Inc. tarafından geliştirilen bir master-slave cihazıdır (Şekil 4). Dünya çapında satılan 3400'den fazla birim ve binlerce hakemli yayın ile şu anda en yaygın robotik cerrahi sistemdir. İlk robotik yardımcı kolesistektomi, 1997'de Belçika'nın Brüksel kentinde Jacques Himpens ve Guy Cardiere tarafından uygulandı (64). Prototip "Mona" kullanıldı. Bu başarılı cerrahi girişimin ardından 1998 yılında Almanya'daki Leipzig Üniversitesi'nde miyokardiyal revaskülarizasyon ameliyatları uygulandı (65). Da Vinci®'nin gelişmesiyle endüstrinin ana odak noktası kalp cerrahisi olmasına rağmen, bu alanda elde edilen sonuçlar genel cerrahide elde edilenler kadar tatmin edici değildi (66). Ancak bu yeni teknolojinin güvenliğini kanıtlamak için Avrupa'da başta kolesistektomi ve fundoplikasyon olmak üzere 300 robotik ameliyat yapılması gerekiyordu. Amerika Birleşik Devletleri'nde insanlarda karın ameliyatlarında da Vinci® cihazının kullanımı 17 Temmuz 2000'de FDA onayını aldı (67). Ancak, 2000 yılında ABD'de gerçekleştirilen ilk robotik radikal prostatektomiden sonra, da Vinci® kanser için prostatektomi ve iyi huylu hastalıklar için histerektomi dahil olmak üzere ürolojik ve jinekolojik cerrahilerde yaygın olarak kullanılmaya başlandı (68-70).



Şekil 4. Da Vinci® Single-Site® sistemi

Da Vinci® robotik sistemi, temel olarak ameliyat sahasının 2 boyutlu görüşü, dayanak noktası etkisi ve mafsalsız alet kolları gibi laparoskopik cerrahinin birçok sınırlamasının üstesinden gelir (71). Son derece büyütülmüş 3D görüş, yedi serbestlik derecesine sahip hassas şekilde kontrol edilen EndoWrist aletleri ve doğal göz-el-alet hizalamasının korunması gibi teknik iyileştirmeler, robotik platformu cerrahların da Vinci®'yi çok çeşitli cerrahi operasyonlarda kullanmaları için daha çekici hale getirdi. Milenyumun ilk on yılındaki prosedürler. Ameliyat sahasının sabit görüntüsü, görüntünün 109 kata kadar büyütülmesi, fizyolojik tremor filtreleme, 5:1'e kadar hareket ölçekleme ve daha iyi ergonomi gibi diğer bazı özellikler de bilimsel makalelerde belirtilmiş ve ABD tarafından duyurulmuştur (65,72).

2.1.2.6 Yeni Platformlar Ve Robotik Cerrahi Teknolojileri

Benzeri görülmemiş teknolojik kaynaklara sahip yeni robotik cerrahi sistemler şu anda geliştirilmekte ve test edilmektedir:

(1) Surgeon's Operating Force-feedback Arayüzü Eindhoven (SO FIE, Eindhoven Teknoloji Üniversitesi, Hollanda) ve DLR-MIRO (Robotik ve Mekatronik Enstitüsü, Almanya), dokunsal geribildirimini kullanmaktadır (73,74).

(2) TELELAP ALF-XÖ (SOFAR S.p.A, İtalya), telekamerayı kullanmak için bir göz izleme sistemine sahiptir (75).

(3) Titan'ın Tek Portlu Orifis Robotik Teknolojisi (SPORT) cerrahi sistemi ,robotik tek bölgeci cerrahi için geliştirilmiştir (Titan Medical Inc., Kanada) (76).

Minyatür robotlar, iç boşluklarda teleoperasyon için küçük kesilerle tanıtılmak üzere yaratıldı. Bu robotlar şu anda geliştirilmekte ve hayvan modellerinde test edilmektedir (77).

arasında, kiazmatik oluk veya prekiazmatik sulkus olarak bilinen sığ bir çöküntü vardır. Bu oluk önde planum sfenoidale ve arkada tüberkülüm sella ile sınırlanmıştır.3 Prekiazmatik sulkus ile planum sfenoidale'nin birleştiği yerde sfenoidin limbüsü olarak bilinen kemiksi bir çıkıntı vardır.

Yukarıdan bakıldığında, sfenoid cismin merkezi, hipofiz bezini barındıran eyer şeklindeki bir çöküntü olan sella tursika'yı içerir. Önden tüberkülüm sella ve arkadan dorsum sella ile bağlanır. Dorsum sella da üst clivus'u oluşturur. Posterior klinoid çıkıntılar, dorsum sella'nın süpero-lateral yönlerinden çıkıntı yapar. Sellanın her iki yanında kavernöz sinüsler ve karotid arterler bulunur. Kavernöz sinüsün medial duvarı sella'nın lateral sınırını belirler (78,79).

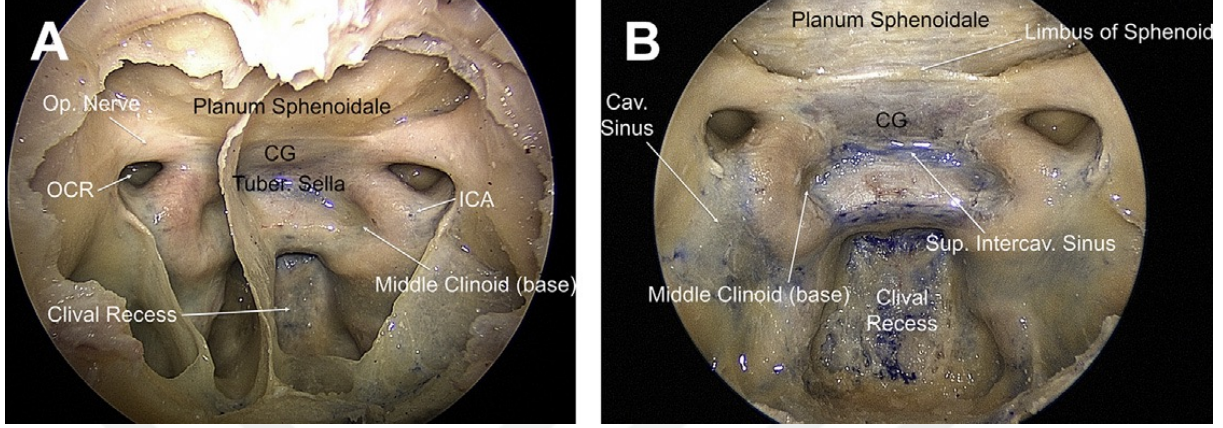
Eşleştirilmiş ön ve arka klinoidlere ek olarak, bir çift orta klinoid de vardır. Orta klinoid, sella'nın süperolateral yüzünden anterior klinoidin apeksine doğru uzanan değişken uzunlukta bir kemik parçasıdır. Uzunluğu, karotikoklinoidal halka olarak bilinen tam bir kemik halkası oluşturmak için ön klinoide bağlanmadan varolmaya kadar değişebilir. En yaygın bulgu anterior klinoide kadar uzanmayan kısa bir kemik segmentidir. Bu orta klinoid etrafında dönerken parasellar karotisin ön genusunun iç kıvrımında bulunur. Kavernöz sinüsün çatısının seviyesini ve internal karotid arterin (ICA) kavernöz ve paraklinoidal segmentleri arasındaki geçiş noktasını işaret ettiği için önemli bir endonazal dönüm noktasıdır (80)

Sellanın çatısı, tüberkülüm selladan dorsum sellaya uzanan bir dural yapı olan diyaframa sella tarafından oluşturulur. Yanal olarak kavernöz sinüsün çatısı ile devam eder. Diyaframın merkezinde, hipofiz sapını ileten hipofiz açıklığı olarak bilinen bir açıklık vardır. Bu açıklığın boyutu ve kalınlığı değişkendir. Araknoid tabaka diyaframın hemen üzerinde yer alır ve bu nedenle tipik olarak sella içinde beyin omurilik sıvısı (BOS) yoktur (78,81)

2.2.2. Sfenoid Sinüs

Sfenoid sinüs boyut, şekil, pnömatizasyon ve septasyon açısından önemli ölçüde değişir. Pnömatizasyonun derecesi yaşa göre değişir ve çoğu pnömatizasyon ergenlik döneminde meydana gelir. Yetişkinlerde üç tip pnömatizasyon paterni vardır: konkal, presellar ve sellar. Konkal tipte çok az pnömatizasyon vardır veya hiç yoktur. Presellar

tipinde bir miktar pnömatizasyon vardır ancak tüberkülum sella düzleminin ötesine uzanmaz. Sellar tipi en yaygın olanıdır ve boşluk, sella tabanının ötesine ve sıklıkla klivusa doğru uzanır ve klival girinti adı verilen bir çöküntü oluşturur (Şekil 6).



Şekil 6. (A) Sfenoid sinüs. Orta klinoid tabanının, karotisin paraklinoidal segmentinin genu'sunun iç tarafında nasıl oturduğuna dikkat edin. (B) Kemğin çoğu çıkarılmış sfenoid sinüs. Tüberkül çıkarıldı ve superior interkavernöz sinüs ortaya çıktı. Sfenoid kemğin kemikli limbusuna karşılık gelen, kiazmatik oluktan planum sfenoidale geçişi sınırlayan dural kıvrıma dikkat edin.

Daha fazla pnömatizasyonla, majör sfenoid yer işaretleri daha belirgin hale gelir. Sfenoid sinüsün merkezinde, aşağıdan bakıldığında sinüs içinde bir çıkıntı olan sella tursika bulunur. Sella'nın altında orta klivus ve çoğu durumda klival girinti bulunur. Klival girintinin her iki tarafında, ICA'nın dikey paraklival segmentini kaplayan kemik bulunur. Karotis arter yukarıya doğru ilerleyip kavernöz sinüse girerken, tekrar dönmeden ve arkaya gitmek için kendi üzerine geri dönmeden önce yatay bir düzlemde öne doğru döner ve ilerler. Bu döngü, daha önce bahsedilen orta klinoid çevresinde meydana gelir. Paraklinoidal segmente tekabül eden karotisin bu anterior genu'su, sfenoid sinüsten bakıldığında en yüzeyseldir ve sıklıkla sella'nın her iki yanında lateral sinüs duvarında bir çıkıntı oluşturur.

Karotis çıkıntısının üzerinde, sisternal segmentten optik kanala doğru ilerlerken optik sinir çıkıntısı uzanır. Karotis ile optik sinirin hemen yan tarafında ve genellikle optikokarotid reses (OCR) olarak bilinen bir çöküntü vardır. OCR, daha önce açıklanan optik desteğin pnömatizasyonunun sonucudur. Kapsamlı pnömatizasyon ile OCR oldukça belirgin olabilir. Karotid arterin ve optik sinirin yerini belirlemeye yardımcı olmanın yanı sıra, optik sinirin gerçek optik kanala girdiği ve yaralanmaya en duyarlı hale geldiği seviyeyi de belirler. Ayrıca karotid arteri veya optik siniri örten kemğin

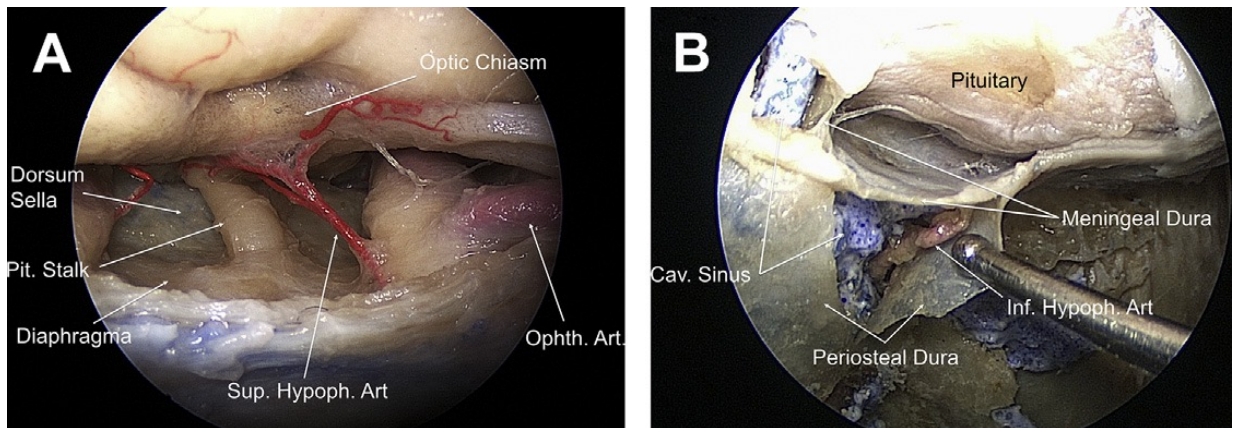
ayrılması olabilir ve bunlar sfenoid sinüsü içeren herhangi bir cerrahiden önce dikkat edilmelidir.

2.2.3. Hipofiz Bezi

İnsan hipofiz bezi embriyolojik, anatomik ve işlevsel olarak farklı iki bölümden oluşur. Bir ön lob veya adenohipofiz ve daha küçük bir arka lob veya nörohipofiz vardır. Ön lob, Rathke kesesi olarak bilinen oral ektodermin invajinasyonundan gelişir. Büyüme hormonu, prolaktin, adrenokortikotropik hormon, tiroid uyarıcı hormon, luteinize edici hormon ve folikül uyarıcı hormonun üretilmesinden ve salınmasından sorumlu olan glandüler bir yapıdır (82)

Buna karşılık, arka lob üçüncü ventrikül tabanından nöral ektodermin doğrudan bir uzantısı olarak gelişir. Miyelinsiz aksonların ve hipotalamustan pituisitler adı verilen özelleşmiş glial hücrelerin bir izdüşümüdür. Ön bez gibi glandüler bir yapı değildir, daha çok hipotalamik hücre gövdeleri tarafından üretilen oksitosin ve vazopressini depolar ve salar (82). Brüt olarak çoğu zaman ön bezden daha açık rengiyle ayırt edilebilir (78)

Ön bez, kan beslemesini üstün hipofiz arterlerinden alır. Oftalmik arterin yaklaşık 5 mm distalinde karotid arterin supraklinoidal segmentinin medial yönünden kaynaklanırlar (Şekil 7). Her superior hipofizal arter tipik olarak üç dal verir: biri optik sinire (tekrarlayan dal), biri optik kiazmanın alt yüzeyine ve üst infundibulum (anastomoz dalı) ve biri alt infundibulum ve diyaframa (inen dal).



Üst infundibulumuna giden dal, bir kapiller ağ oluşturmak üzere kontralateral superior hipofizeal arterden gelen dal ile anastomoz yapar. Bir portal venöz sistem, ön beze kan ileten superior hipofizeal arterlerin kapiller pleksusu drene eder (82,83). Bu, hipotalamik prohormonların adenohipofize iletilmesine izin verir.

Nörohipofizin arteriyel beslemesinin çoğunu alt hipofiz arterlerinden aldığı düşünülmektedir. İnferior hipofizeal arter, kavernöz sinüs içindeki internal karotid arterin ilk dalı olan meningohipofizeal gövdenin bir dalıdır (Şekil 7). Bununla birlikte, son kanıtlar, her iki alt hipofiz arterinin feda edilmesinin, arka hipofiz disfonksiyonuna (yani diyabet insipidus) neden olmadığını göstermiştir; bu, üstün hipofiz arter sistemi tarafından alternatif vasküler beslenmeyi düşündürür.⁹ Ön ve arka bezden venöz drenaj gelir ve birlikte kavernöz sinüse drene olur.

Hipofiz bezinin çoğu iki kat dura ile kaplıdır: dış periostal yaprak ve iç meningeal yaprak. Bu iki tabaka yanal olarak ayrılarak kavernöz sinüsün bir parçasını oluşturur (bkz. Şekil 7). Anteriorda, dış periosteal yaprak yanal olarak kavernöz sinüsün anterior sfenoidal duvarını oluşturmaya devam eder, iç meningeal yaprak glanda bağlı kalır ve posteriorda dorsum sellaya doğru dönerek kavernöz sinüsün medial duvarını oluşturur (84). Bu medial duvar ayrıca sella'nın yan duvarı olarak da görev yapar. Genellikle sıkıştırılır ve hatta bazen hipofiz tümörleri tarafından istila edilir. Ayrıca, sellar bölgede iki dural tabakanın varlığı, bezin anterior, posterior veya inferior yönleri boyunca herhangi bir yerde bulunabilen interkavernöz venöz bağlantıların varlığının temelidir.

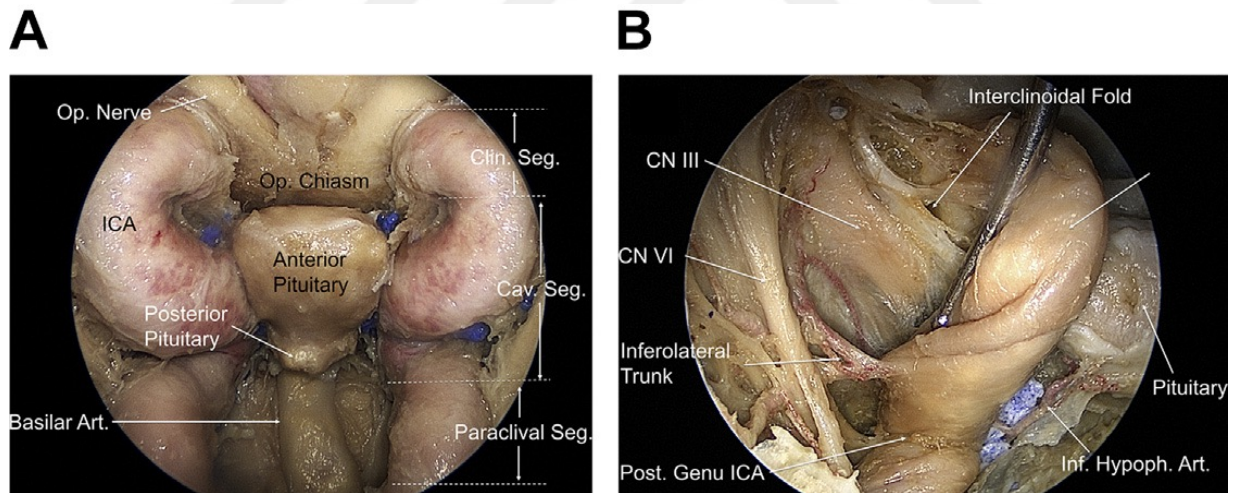
2.2.4. Kavernöz Sinüs

Kavernöz sinüs, çoklu venöz kollar ve boşluklarla iletişim kuran venöz bir göldür: baziler pleksus, üst ve alt petrosal sinüsler, üst ve alt oftalmik damarlar; foramen rotundum, foramen spinosum, foramen ovale ve foramen Vesalius damarları, derin orta serebral ven, yüzeysel sylvian damarı ve kontralateral kavernöz sinüs ile bağlantılıdır. Kavernöz sinüs venöz kanı iletmenin yanı sıra birden fazla nörovasküler yapı içerir (79)

Kavernöz sinüs beş dura duvarı ile çevrilidir. Daha önce açıklandığı gibi ön ve orta duvarlar, arka kranial fossaya bakan arka duvar, diyaframa sella ile devam eden çatı ve yan duvar. Yanal ve medial duvarlar, kavernöz sinüsün alt sınırını işaretlemek için maksiller sinirin (V2) ikinci bölümünde aşağı doğru birleşir. Kavernöz sinüsün yan

duvarı, orta fossanın dış periosteal dura tabakasının devamıdır. Temporal lobu kaplayan duranın iç meningeal tabakasına sıkıca yapışmıştır. Her iki dural tabaka, lateral duvardan kavernöz sinüsün çatısına geçişi işaret eden anterior petroklinoïdal kıvrım seviyesinde bir araya gelir. Meningeal tabaka kavernöz sinüs ve diyafragma sellanın çatısının dış tabakasını oluşturmak üzere devam eder. İnferiorda orta fossanın periosteal tabakası sfenoid kemiğe doğru devam ederek kavernöz sinüsün arka duvarı ve sellanın tabanı olur (79,84)

Kavernöz sinüs içinde kavernöz karotid arter ve dalları bulunur (Şekil 8). Kavernöz karotiste üç segment ve iki genua vardır: posterior vertikal segment, posterior genu, yatay segment, anterior genu ve anterior vertikal segment veya paraklinoïdal segment.4,9 Kavernöz karotisin iki ana dalı vardır. Meningohipofizeal gövde, kavernöz karotisin ilk dalıdır ve arka cinsin arka yüzünden çıkar. Üç dalı vardır: arka hipofiz bezini besleyen alt hipofiz arteri; tentorium, okülomotor sinir ve troklear siniri besleyen tentoryal arter (Bernasconi-Cassinari arteri); ve üst klivus ve abduşens sinirini besleyen dorsal meningeal arter (78,79).

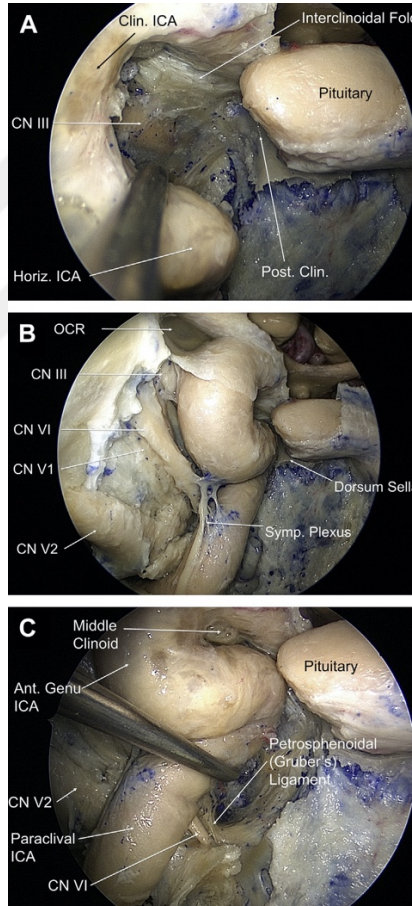


Şekil 8. (A) Planumdan orta klivusa kadar tüm kemik ve dura çıkarılmış sfenoid sinüs. Karotidin farklı bölümleri görülür. (B) Kavernöz sinüs açığa çıktı. Meningohipofizeal trunkusun bir dalı olarak posterior genusun posterior yüzünden gelen inferior hipofiz arteri görülür. Inferolateral gövde yatay segmentin ortasından çıkarken görülür. Okülomotor üçgen ve kavernöz sinüsün lateral duvarı görülmektedir. Art., artery; Cav. Seg., cavernous segment of ICA; Clin. Seg., clinoid segment of ICA; CN, cranial nerve; Inf. Hypoph. Art., inferior hypophyseal artery; Paraclival Seg., paraclival segment of ICA; Post., posterior.

İntrakavernöz karotisin ikinci dalı, inferolateral gövde veya inferior kavernöz sinüsün arteridir. Tipik olarak yatay segmentin orta üçte birinin lateral veya alt yüzeyinden, meningohipofizal gövdenin yaklaşık 5 ila 8 mm distalinden kaynaklanır. Nadir durumlarda, meningohipofizal gövdeden kaynaklandığı tarif edilmiştir. Abduşens sinirinin

üstünden geçer ve daha sonra inferolateral duvarı ve V1 ile V2.3,4'ü beslemek için trigeminal sinirin (V1) abduşens ve oftalmik bölümü arasında aşağı doğru döner.

Kavernöz sinüsün sinirleri, okülomotor, troklear, V1, abduşens siniri ve karotid çevresindeki sempatik pleksustur. Abduşens siniri ve sempatik pleksus, tamamen kavernöz sinüs içinde seyreden tek sinir ağıdır. Abduşens sinir pontomedüller bileşkeden ayrılır ve kavernöz sinüse doğru yukarıya doğru ilerlerken klival durayı deler. Arka duvardan kavernöz sinüse girmek için Dorello kanalından geçer. Kavernöz karotisin lateralinden geçer ve superior orbital fissüre ulaşmak için V1'in medialindeki lateral kompartmandan geçer (78,79).



Şekil 9. (A) Kavernöz sinüs, superior kompartman. (B) Kavernöz sinüs, inferior ve lateral kompartmanlar. (C) Kavernöz sinüs, arka kompartman. Ant., anterior; Clin. ICA, clinoidal segment of ICA; Horiz., horizontal; Lam. Pap., lamina papyracea; Symp., sympathetic.

Kalan sinirler, kavernöz sinüsün yan duvarı içinde uzanır (Şekil 9). Okülomotor sinir orta beyinden çıkar ve öne doğru ilerlerken superior serebellar arter ile posterior serebral arter arasından geçer. Daha sonra okülomotor üçgen adı verilen bir alanda kavernöz

sinüsün arka çatısına girer. Bu üçgen, üç dural kıvrımla tanımlanır: ön klinoidden petröz apekse uzanan, daha önce bahsedilen anterior petroklinoïdal kıvrım; posterior klinoidden petröz apekse uzanan posterior petroklinoïdal kıvrım ve ön ve arka klinoidler arasında uzanan interklinoidal kıvrım. Okülomotor sinir, interklinoidal kıvrıma paralel ve hemen lateralinde uzanır (78,78,84). Küçük bir araknoid astarlı dura manşeti, okülomotor üçgene girerken okülomotor sinire eşlik ederek, okülomotor sinüs olarak bilinen değişken boyutlu bir BOS dolu boşluk oluşturur. Bu sarnıç tipik olarak klinoidal üçgen olarak da bilinen kavernöz sinüsün ön çatısında son bulur. Burası, okülomotor sinirin anterior klinoidin altından ve superior orbital fissür yolunda paraklinoidal ICA'nın lateralinden geçerek lateral kavernöz sinüs duvarına dahil olduğu yerdir (85).

Troklear sinir ayrıca anterior ve posterior petroklinoïdal kıvrımların birleştiği yerde okülomotor sinirin posterolateralinde okülomotor üçgene girer. Okülomotor sinirin altında kavernöz sinüsün yan duvarında superior orbital fissüre doğru ilerler. Oftalmik sinir (V1), lateral kavernöz sinüs duvarında troklear sinirin altından geçer ve ayrıca superior orbital fissüre girer. Bu nöral ilişkiler lateral kavernöz sinüs duvarını iki üçgene ayırır: okülomotor ve troklear sinirler arasındaki supratroklear üçgen, troklear ve trigeminal sinirler arasındaki infratroklear üçgen veya Parkinson üçgeni (79)

Karotid arter, kavernöz sinüsü birden fazla (venöz) kompartmana ayırır: superior, inferior, posterior ve lateral (86). Bu kompartmanlar seçici olarak invaziv adenomlar tarafından doldurulabilir. Üst kompartman, ICA'nın yatay kavernöz segmenti ile kavernöz sinüsün çatısının iç yönü arasında yer alır. Bu kompartmanda üç ayırt edilebilir yapı vardır: medialde ve anteriorda paraklinoidal ICA'nın alt yüzü, lateralde ve posteriorda okülomotor sinirin alt yüzünü kaplayan okülomotor üçgenin durası ve interklinoidal ligaman.

Alt kompartman, korizantal kavernöz karotisin altında ve posterior vertikal karotisin önünde yer alır. Abdusens sinirini, horizontal kavernöz karotisin hemen yan tarafında ve altında hareket ederken içerir. Aynı zamanda, abduşens sinirinin hemen medialinde karotid çevresinde oturan sempatik pleksusu da içerir. Bu kompartmanın ön duvarı, kavernöz sinüsün ön veya sfenoidal duvarına karşılık gelir.

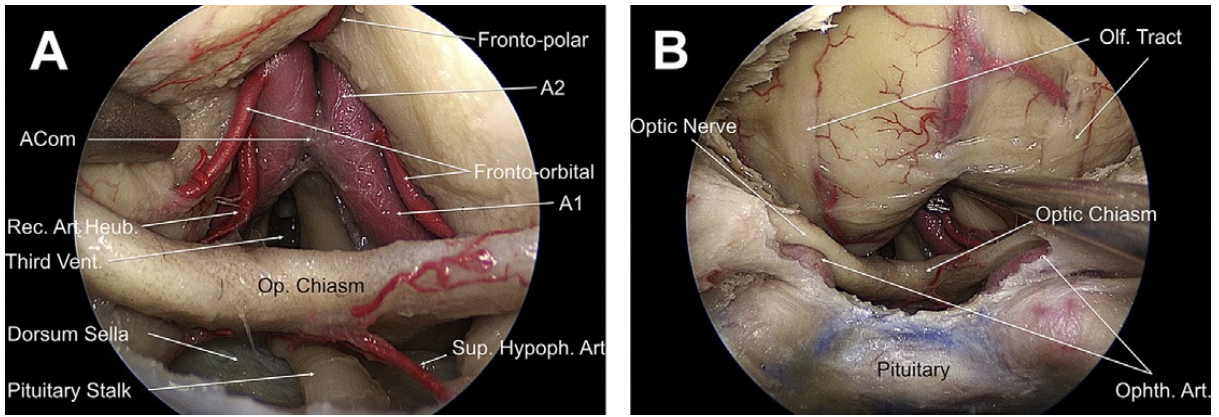
Posterior kompartman, arka dikey ICA ve arka genu'nun arkasında bulunur. Abdusens sinir petrosfenoidal Gruber ligamanının altından geçtikten sonra bu kompartmanın alt

yüzünden kavernöz sinüse girer ve posterior vertikal karotisin arkasından geçer. Son olarak, lateral bölge, yatay karotid ve anterior genu'nun lateralinde yer alır. Tüm kranial sinirler superior orbital fissüre doğru ilerlerken bu kompartmanda yer alır.

2.2.5. Suprasellar Alan

Suprasellar alan, aşağıda diyafragma sella, üstte üçüncü ventrikül tabanına kadar uzanır. Tüberkülüm sella, prekiazmatik sulcus ve posterior planum sfenoidale çıkarılarak suprasellar alana erişim sağlanır. Suprasellar alan infrakiazmatik, suprakiazmatik ve retrokiazmatik alanlara bölünmüştür.

İnfrakiazmatik boşluk içinde optik kiazmanın alt yüzeyi ve orta hatta infundibulum bulunur (Şekil 7, Şekil 10). İfundibulum önde suprasellar araknoid sistern, arkada ise Lillequist membranı ile örtülüdür. Optik sinirler kiazmadan anterolateral olarak optik kanala girerler. Oftalmik arter, distal dural ringin üzerindeki supraklinoidal karotisin ilk dalıdır. Karotisin ventral yüzeyinden çıkarak optik sinirin aşağısında hareket ettiği optik kanala girer. Superior hipofizeal arter, supraklinoidal karotisin medial yönü üzerinde oftalmik arterin hemen distalinden çıkar. Önde infundibulum'u kaplayan aynı araknoid membran, superior hipofizeal arter dallarını da çevreler. Bu alana yayılan tüberkülüm sellae menenjiomları infundibulum ve superior hipofiz arterlerini posteriora kaydırır.



Şekil 10. (A) Infrakiazmatik ve suprakiazmatik suprasellar boşluklar. (B) Suprachiasmatic suprasellar boşluk. A1, first (horizontal) segment of anterior cerebral artery; A2, second (vertical) segment of anterior cerebral artery; ACom, anterior communicating artery; Olf., olfactory; Rec. Art. Heub., recurrent artery of Heubner; Vent., ventricle.

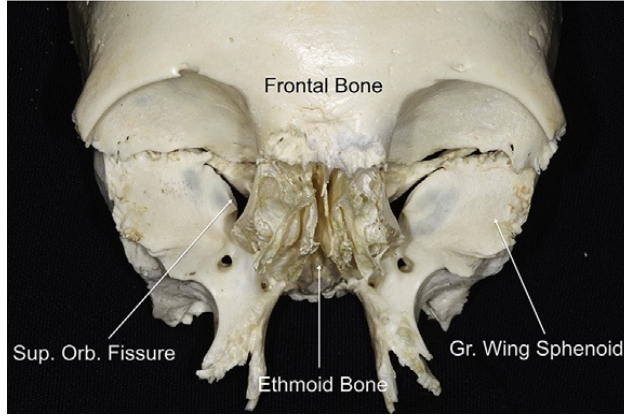
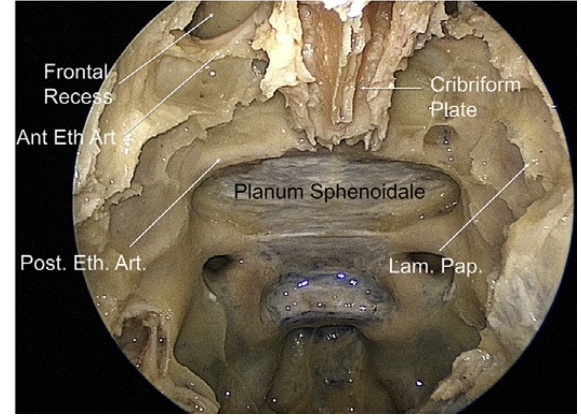
Suprakiazmatik boşluk, optik kiazmanın üzerinde uzanır (Şekil 10). Her bir koku alma yolunun arka yönü, her bir optik sinirin hemen üzerinde koku alma çizgilerini oluşturmak üzere bölündüklerinde burada bulunur. Anterior serebral arterin A1 segmenti, karotis bifürkasyonundan optik kiazmanın hemen üzerindeki orta hatta kadar uzanır. Buradaki muadili ile anterior iletişim arteri aracılığıyla anastomoz yapar. Buradan A2 segmentleri yükselir ve interhemisferik fissüre girer. Suprakiazmatik boşlukta iki önemli arter dalı vardır. Biri, orta hattın anterior perforated substans'a giden Heubner arteridir. Diğeri ise A2 segmentinin ilk kortikal dalı olan ve sıklıkla bu bölgedeki tümörlerde tutulan fronto-orbital arterdir. Planum sfenoidale menenjiyomları tipik olarak bu anatomik bölgeyi işgal eder ve optik kiazmayı ve ilişkili vasküler yapıları posteriora ve/veya aşağı doğru kaydırır.

Retrokiazmatik veya retroinfundibular boşluk, anteroinferiorda infundibulumdan posterior perforated substans'a ve posteriorda serebral pedinküllere kadar uzanır. Üstte üçüncü ventrikül tabanı ile sınırlıdır. Lillequist membranı, arkadan baziler apeksin görülebildiği interpedinküler sisterne erişim sağlar. Posterior kominikan arterleri, superior serebellar arter ile posterior serebral arter arasında hareket ettiği görülen okülomotor sinirler ile birlikte interpedinküler sisternin lateral resesine uzanır. Kraniofarenjiyomlar sıklıkla bu anatomik alanı işgal eder (87).

2.2.6. Anterior Kafa Tabanı

Anterior kraniyal tabanın ön üçte ikisi etmoid ve frontal kemiklerden oluşur ve arka üçte biri planum sfenoidale tarafından oluşturulur (Şekil 11A). Etmoid kemik, orta hatta kribriiform plaka ve crista galli'den oluşur; üstte etmoid çatı (fovea ethmoidalis); ve yanal olarak etmoid sinüsleri yörüngeden ayıran lamina papiracea. Etmoid kemiğin dikey plakası vomer ile birleşerek kemik septumu oluşturur (88).

Etmoid çatı tamamen ortaya çıktığında, planum sfenoidaleden frontal sinüse kadar olan kısım görülebilmelidir (Şekil 11B). Etmoid çatı boyunca ilerleyen iki ana arter görülebilir. Posterior etmoid arter, planum sfenoidale ile cribriform plakın birleştiği yerde bulunur. Ön etmoid arter, herhangi bir supraorbital etmoid hava hücresinin arkasında, frontal girintinin arka tarafında bulunur.

A**B**

Şekil 11. (A) Ön kafa tabanı kemikleri. (B) Frontal sinüsten sellaya kadar görünen ön kafa tabanı. Ant. Eth. Art., anterior ethmoid artery; Gr., greater; Lam. Pap., lamina papyracea; Post. Eth. Art., posterior ethmoid artery; Sup. Orb., superior orbital.

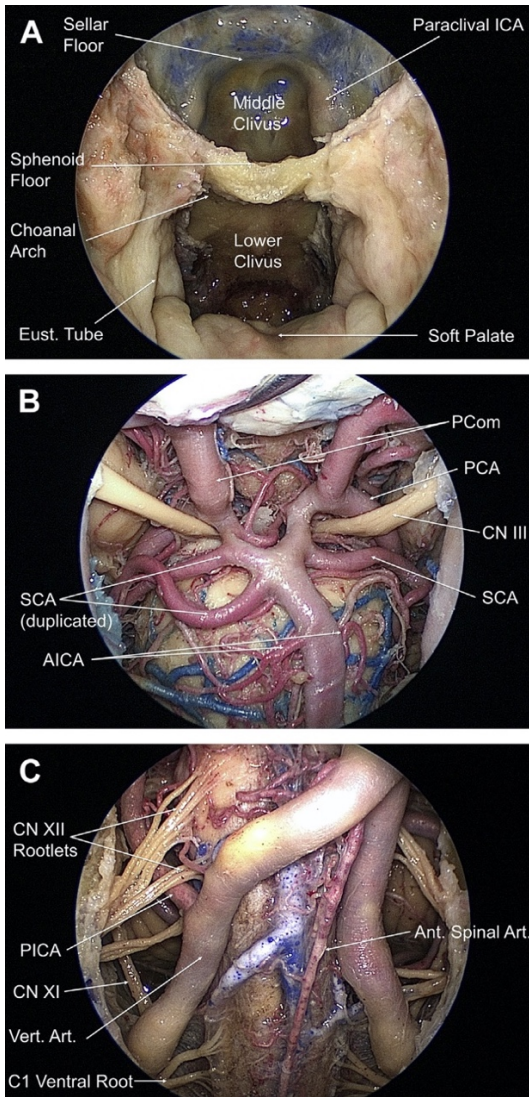
Posterior etmoid arter tipik olarak kemiğin içindedir ve neredeyse doğrudan lateralden mediale doğru uzanır. Anterior etmoid arter daha değişkendir ve bazen etrafındaki etmoid çatının pnömatisasyonu nedeniyle kemikli bir mezenterde bulunur. Ayrıca kafa tabanı boyunca posterolateralden anteromedial'e eğik olarak uzanma eğilimindedir. Bu damarların tanımlanması ve yörüngeye çok yakın kesilerek retrobulber kanamaya neden olmamaları için yörüngeye çekilmekten kaçınmak önemlidir.

Kribriform plaka, koku filasını küçük kemikli kanallardan iletir. Bu filalar, onları cribriform'a kadar takip eden dural invajinasyonlara sahiptir, bu da bu bölgeyi iyatrojenik ve spontan BOS sızıntılarına karşı çok duyarlı hale getirir. Etmoid çatının kemiği de oldukça ince olma eğilimindedir ve iyatrojenik BOS sızıntıları için yaygın bir yerdir.

Ön kafa tabanının durası açıldıktan sonra koku ampulleri ve koku yolları görülür. Anterior serebral arterlerin fronto-orbital dalları medial olarak görünmelidir. Koku alma yollarına ve kortikal yüzeye vasküler destek sağlarlar. Üstünde gyri recti medialde ve orbital gyri lateralde bulunur. Frontopolar arterler, interhemisferik fissür içinde uzanır. Falx cerebri bu fissürde bulunur ve crista galli'ye yapışarak sol ve sağ hemisferleri ayırır. Falx'ın yüksekliği posteriora doğru azalır, bu dikkate alınmalıdır çünkü kraniyofasiyal rezeksiyon prosedüründe anterior kafa tabanı durasını çıkarmak için falx bölünmelidir.

2.2.7. Klivus

Klivus üçe bölünebilir (Şekil 12A). Üst 1/3 veya “sellar” klivus, dorsum sella ve posterior klinoidlerden yaklaşık olarak sella tabanının seviyesine kadar iner. Dorello kanalı, üst ve orta klivus arasındaki geçiş noktasında, sella tabanının sadece birkaç milimetre altında yer alır. Orta üçlü veya “sfenoidal” klivus, sella tabanından koanaya kadar uzanır. Alt 1/3 veya “nazofaringeal” klivus oradan foramen magnuma kadar uzanır ve nazofarenkse karşılık gelir. Klivusun üst üçte ikisi sfenoid kemiğin bir parçası olarak kabul edilmesine rağmen, alt üçte biri oksipital kemiğin bir parçası olarak kabul edilir.



Şekil 12. (A) Klivusun bölümleri. (B) Orta klivus çıkarıldıktan ve dura açıldıktan sonra ventral pons. (C) Alt klivus çıkarıldıktan ve dura açıldıktan sonra ventral medulla. AICA, anterior inferior cerebellar artery; Ant. Spinal Art., anterior spinal artery; Eust., Eustachian; PCA, posterior cerebral artery; PCom, posterior communicating artery; PICA, posterior inferior cerebellar artery; SCA, superior cerebellar artery; Vert. Art, vertebral artery.

Orta clivus, üç segmentin en uzun olanıdır. Lateralde vertikal paraklival karotid arterler, petroklival fissür ve foramen lacerum ile sınırlanmıştır. Foramen lacerum ve choana yaklaşık olarak aynı seviyededir ve bu nedenle foramen lacerum ayrıca orta ve alt klivus arasındaki geçişi tanımlamak için bir dönüm noktası görevi görür. Bir orta transklival yaklaşım, prepontin sarnıcına erişim sağlar (Şekil 12B). Burada baziler gövde, anterior inferior serebellar arter, abduşens sinir ve ponsun ventral yüzeyi bulunur. Paraklival karotidi açığa çıkarmak ve hafifçe lateralize etmek, petröz apekse, tentoryumun serbest kenarına, troklear sinire ve trigeminal sinirin arka köküne erişim sağlayabilir. Fasiyal sinir, vestibülokoklear sinir ve iç akustik kanala, paraaklival karotid feda edilmedikçe endonazal bir yaklaşımla erişilemez.

Alt klivus faringobasilar fasya, longus kapitis kasları ve rektus kapitis kasları ile kaplıdır. Bunlar ayrıldıktan sonra, foramen magnum, C1 ön halkası, oksipital kondiller, atlanto-oksipital eklem, apikal bağ ve tektorial membran açığa çıkarılabilir. İnferior transklival yaklaşım, premedüller sisterna ve içeriğine erişim sağlar: vertebral arterler, vertebrobaziler bileşke, posterior inferior serebellar arter, anterior spinal arterler, hipoglossal kanal ve sinirler, alt kranial sinirler ve ventral medulla (Şekil 12C). Yanal olarak juguler foramenlere erişim Östaki tüpleri ile sınırlıdır ve ulaşmak için Östaki tüpü kesiti ve/veya mobilizasyonu gerekir (89).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Çalışma hazırlığı ve deneyin kurgulanması

Çalışmamız dahilinde üretilen robotik kol prototipi, kitiğimizde daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan robotik kolun temelleri üzerine inşa edilmiştir (90). Sistemin, refere edilen çalışmadaki özellikleri korunarak ergonomisiyi artırmak için eklemeler yapılmıştır. Sistem C-kollu skopi üzerine entegre edilerek geliştirilmiştir.

Çalışmanın uygulanabilirliğini ortaya koymak için deneyin bir kadavra kafası üzerinde yapılmasına karar verildi. Kadavra kafasından paranazal tomografi sonucunda elde edilen görüntü ile 3 boyutlu yazıcı kullanılarak bir plastik model elde edildi. Sistemin geliştirilme aşamasında bu model kullanıldı.

Robotun otonom özellik kazanması, kadavra plastik modelinin bilgisayar ortamındaki bir uzayda yeniden oluşturularak tarif edilen koordinatları kullanacak bir yazılım ile ilerlemesi fikri üzerinde durularak sağlandı.

Bahsi geçen yazılım 3D Slicer açık kaynak kodlu bir yazılım olarak internette mevcuttur. 3D Slicer, görüntü analizi ve görselleştirme için esnek, modüler bir platform olan ücretsiz bir sağlık yazılımıdır. 3D Slicer, çeşitli uygulamalar için hem etkileşimli hem de toplu işleme araçlarının geliştirilmesine olanak sağlayacak şekilde genişletilmiştir.

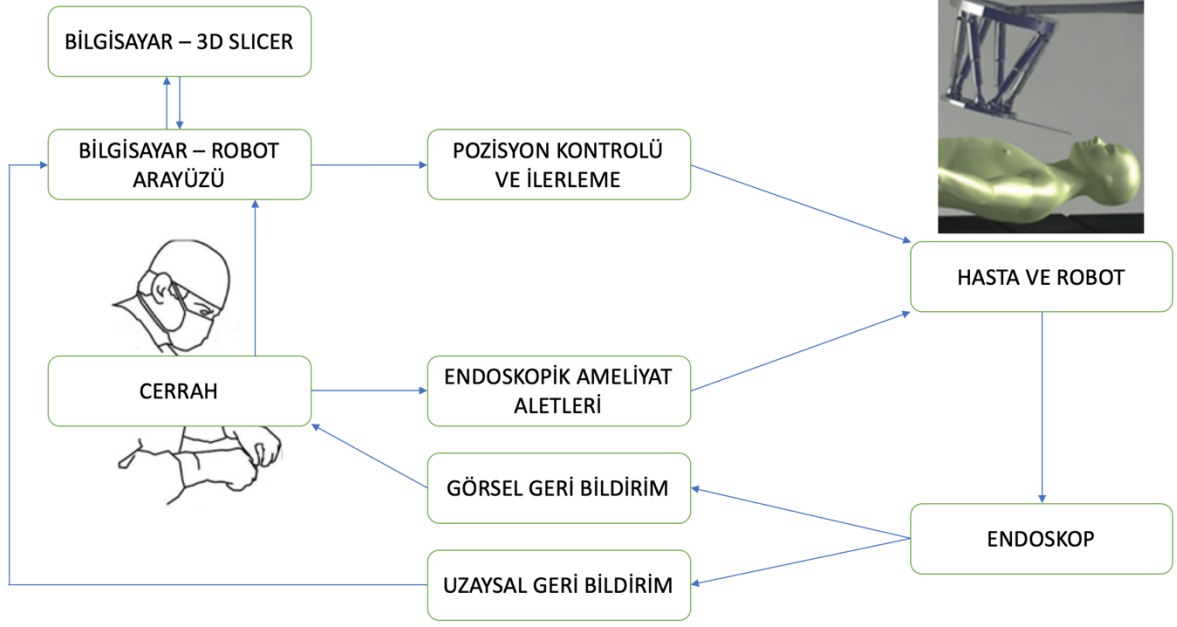
Bu çalışmadaki tüm prosedürler Helsinki Bildirgesi ve Kurumsal İnceleme Kurulu'na (Tıbbi Etik Kurul, Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi, Kocaeli, Türkiye – GOKAEK 2022-354) uygun ve yönergelere uyulmuştur.

3.2. Stewart Platformu ve Robotik Kol

Tıbbi uygulamalarda kullanılan robotlar seri, paralel veya hibrit yapılar olabilir. Paralel ve seri robotlar birçok problemin çözümü için endüstride olduğu gibi tıp alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Paralel robotlar, taşıma kapasitesi, konumlandırma doğruluğu, tekrarlanabilirlik ve sağlamlık gibi temel robot özellikleri açısından seri robotlardan üstündür. Seri robotlar bir başka önemli özellikte üstündür: geniş çalışma alanı ve erişilebilirlik. Son zamanlarda cerrahi için en iyi robotik çözümler hibrit robotik yapılar kullanılarak elde edilmektedir. Endüstride yaygın olarak kullanılan Stewart platformu özel bir paralel manipülatör tipidir. Robotik cerrahide önemli olan bir cerrahın eli gibi altı 'degrees of freedom (DOF)' hassas hareketine izin verir. Hexapod olarak da bilinen bu yapı, Stewart ve Gough tarafından bir uçuş simülatörü ve lastik test makinesi olarak geliştirilmiştir (91). Paralel robotlar, kemik yerleştirme, kırık kemikleri sabitleme, spinal delme ve vidalama, diz protezi, kalça protezi, kafatası delme ve rehabilitasyon gibi belirli alanlara odaklanır (92,93).

Stewart platformu ve gerçek zamanlı denetleyici (ds1103), Bilgisayar ve 3D slicer yazılımı bölümlerinden oluşan sistemin diyagramı şekil 13'de gösterilmiştir. Stewart platformu, kuvvet-tork sensörü (Ati-Gamma), kontrolör-robot konektör kartı, acil durdurma devresi, güç kaynağı ve endoskop tutucu gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Cerrahlar, ameliyatın nazal aşamasında, konka diseksiyonundan sonra robotu, ameliyat

öncesinde belirlenen sıfır noktasında sabitler. Operatöre verilen komut ile hedef noktaya iletiletilen robot ‘Rostrum’ olarak belirlenen referans noktasına 1 cm kala durarak bu anatomik yapıyı ekrandaki görüntünün orta noktasına yerleştirmiş olur. Endoskop pozisyonu cerrahın talimatlarına göre kontrol edilir.



Şekil 13. Robotik cerrahi sistemin genel yapısı

Stewart platformu sistemi iki ana gövde (üstte hareketli ve altta sabit plakalar), altı lineer aktüatör ve üniversal mafsaldan oluşan özel bir yapıya sahiptir. Kontrol algoritmalarının uygulanması, DSPACE DS1103 gerçek zamanlı kontrol cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Robotun çalışma alanı operasyon için yeterli olmakla birlikte daha geniş bir çalışma alanına ihtiyaç duyulması halinde yeni bir kinematik tasarım geliştirilebilir.

Kuvvetin yansımaları, endoskop tutucunun tabanındaki kuvvet/tork sensörü tarafından sağlandı. Üç eksen kuvvetini algılamak için bir ATI gama sensörü kullanıldı ve ds1103 denetleyicisi ile dokunsal cihaz arasında 19.200 bps seri iletişim hızı kullanıldı. Haberleşmede kuvvet geri beslemesi için 3 byte, yönlendirme ve konum komutları için 6 byte veri kullanılarak gönderilmiştir. Robot, 6 DOF dokunsal cihaz yerine bir joystick ile yönlendirilebiliyordu. Bir 3D fare (uzay gezgini, 3Dconnexion), üç boyutlu hareketlerin üretilmesini sağladı. USB üzerinden joystick'i okumak için MATLAB'da bir m dosyası

yazılmıştır. Kullanıcıların verdiği hareket komutları, RS-232 seri port üzerinden ds1103 kontrol kartına iletilmiştir.

SP, yüksek çözünürlüklü manipülasyona izin verir, bu nedenle robotik cerrahide yüksek hassasiyetli hareketlerle kullanılabilir. Bu çalışmada, özellikle endoskopik transnazal cerrahide endoskop konumlandırıcı ve tutucu için SP tabanlı bir robotik sistem geliştirilmiştir. Bu ameliyatta endoskop, SP tarafından altı DOF joystick ve dokunsal cihaz ile tam operasyon alanında yönlendirilebilir. Dokunsal cihaz, robotik cerrahide önemli olan ancak endoskop konumlandırması için çok önemli olmayan üç eksenli kuvvet geri bildirimine izin verir. Sistemle ilgili bazı eleştirilerden söz edilebilir: robot yerleşimi ve üst plakanın boyutu. Geliştirilen sistemin daha etkin kullanılabilmesi için robot yerleşimi ile ilgili bazı önerilerde bulunulabilir. Robot, ameliyat lambası veya seri manipülatör gibi bir cihaz kullanılarak ameliyathane tavanına bağlanabilir. Gelecekteki bir çalışma olarak, SP'yi tutmak için tekerlekli bir istasyon tasarlanabilir veya bir seri manipülatöre uyarlanabilir. Öte yandan, cerrahın çalışma alanı üst plaka ile sınırlandırılabilir. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için SP'nin yeni bir kinematik tasarımı üzerinde çalışılabilir (daha küçük, daha hafif, vb.) veya robot aynı anda endoskop ile bir alet tutucuyu tutabilir ve yönlendirebilir. Ayrıca çalışma alanını artırmak için üst platforma prizmatik bir eksen takılabilir. Özetle, burada geliştirilen SP tabanlı robotik sistem, transsfenoidal cerrahi için uygundur ve sonuçlar, navigasyon sisteminin entegrasyonu ile tam otomatik robotik cerrahi sistemleri gibi transsfenoidal cerrahi alanında yeni olasılıklara yol açabilir.

Kendi sistemimizde stewart platformunu c-kollu skopi üzerine monte ettik. Hurdaya çıkmış ama kol sistemi çalışan bir c-kollu skopinin üzerinde kolimatör ve kaset kısmı söküldü. Plaka şeklinde bir adaptör ile stewart platformu, zemine 90 derecelik bir açı yapacak şekilde cihazın kolimatör yüzüne yerleştirilmiştir.

3.3. Kafa maketinin oluşturulması ve kullanılması

Üç boyutlu baskı 3 boyutlu olarak tasarlanmış sanal bir nesnenin polimer, kompozit, reçine gibi malzemelerden ısıt veya kimyasal işlemde geçirilerek üretilme işlemidir. Bu işlemi gerçekleştiren cihazlara ise üç boyutlu yazıcı adı verilir. Baskılar birçok türde hammaddenin kullanılması ile yapılabilir. Normal kullanıcı bazında en

yaygın kullanımı olan hammadde PLA ve ABS adı verilen sert plastiklerdir. Değişik türlerde ve tekniklerde baskı yapabilen üç boyutlu yazıcılar vardır. En yaygın kullanıma sahip olan üç boyutlu yazıcıların çalışma prensibi bilgisayar ortamında hazırlanmış herhangi bir üç boyutlu bir nesnenin sanal olarak katmanlara bölünmesine ve her bir katmanının eritilen hammadde dökülerek üst üste gelecek şekilde basılmasına dayanır.

Kadavra kafasına yapılan paranazal tomografi görüntülemesi kullanılarak 3 boyutlu yazıcı ile 1:1 ölçekte kemik maket oluşturuldu. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Laboratuvarında kurulan sistem ile kafatası modeli üzerinde bir dizi deneysel test yapıldı. Deney düzeneğinin bir fotoğrafı Şekil 18'de gösterilmiştir. Model üzerinde yapılan laboratuvar testlerinin ardından sistemin etkinliğini ortaya koymak için Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı Laboratuvarında sistem yeniden kuruldu. Modeli alınan kadavra üzerinde deney tekrarlandı (şekil) Bu sistemin tıbbi açıdan endoskopik transnazal cerrahide kullanımına ilişkin yorumlar daha önce belirtilmiştir (90).



Şekil 14. 3 boyutlu yazıcıdan çıkartılan ön kafa tabanı (sfenoid kemik) maketi

Ultimaker 2+ extended, 3 boyutlu yazıcı ile DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) uzantılı medya dosyaları kullanılarak model bastırılmıştır. DICOM dosya formatı görüntüleme cihazlarından alınan 2 ve 3 boyutlu bilimsel verilerin depolanması, görüntülenmesi ve analizinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiş olan bir dijital veri formatı standardıdır.

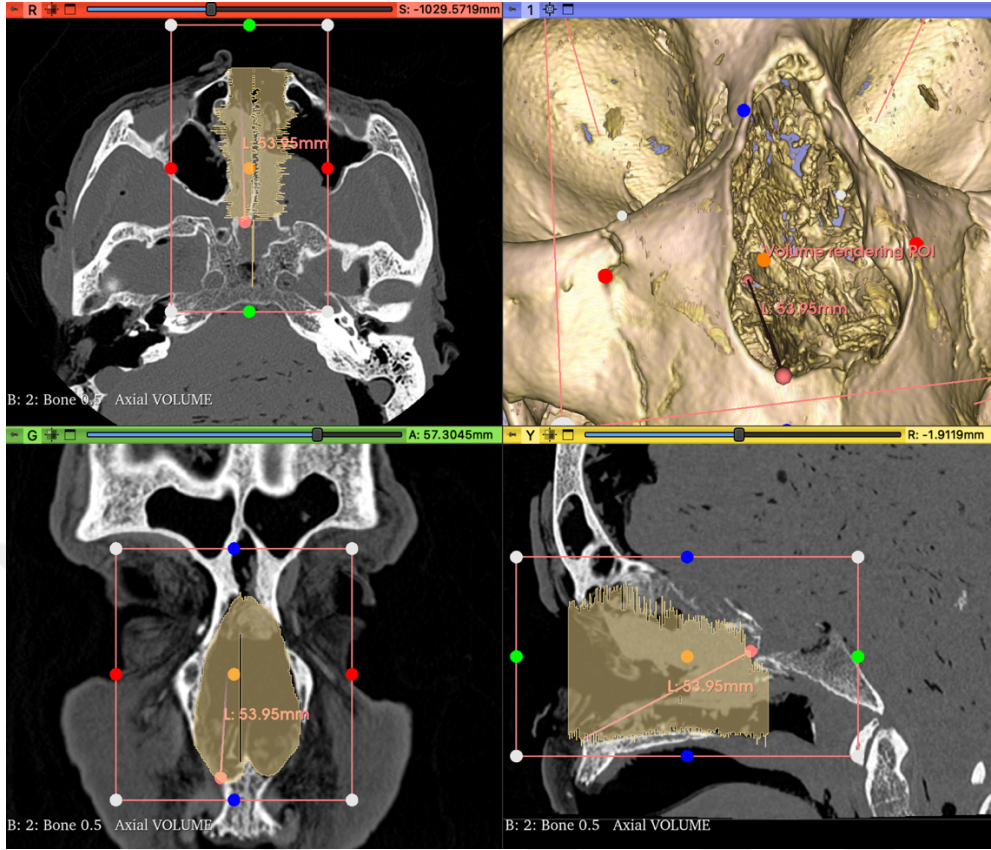
Standart geliştirme çalışmaları; merkezi Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan "Elektrikli ve Medikal Görüntüleme Ekipmanları Üreticileri Birliği" bünyesindeki "Medical Imaging & Technology Alliance" tarafından yürütülmektedir.

3.4. 3D Slicer kurulumu ve Robotun Yönlendirilmesi

3D Slicer, biyomedikal görüntülerin analizi ve görselleştirilmesi için Berkeley Software Distribution (BSD) tarzı bir lisans altında dağıtılan ücretsiz bir açık kaynaklı yazılım platformudur. BSD lisansları, özgür yazılım lisansları ailesidir. Lisans ilk kez aynı isimdeki bir Unix Benzeri işletim sistemi olan Berkeley Software Distribution tarafından kullanıldı. Modüler ve genişletilebilir bir yazılım olup tıbbi teşhis, evreleme ve tedavi rehberliğinde araştırma ve uygulama geliştirme için kullanılır.

3D Slicer, çeşitli eklenti mekanizmalarını destekler. Buna bağlı olarak, platform geliştiricileri, değişiklikleri uygulamak için sistemin herhangi bir seviyesinde çalışabilir. Dilimleyici, Windows, MAC OSX ve Linux işletim sistemleri için mevcuttur. 3D Slicer modüler araç setleri, araçlar ve metodolojilerden oluşan bir derlemeden oluşur. Dokümantasyon ve eğitimler, çeşitli kullanımlar hakkında da bilgi sağlayan Slicer web sitesinden indirilebilir (94).

Slicer kullanıcıları çeşitli ilgi alanları ve yeteneklere sahiptir. Temel görüntü analizi ve görüntüleme işlevleri için kararlı ve sağlam bir platformdur. Verilerin işlenmesi yanısıra basit yükseltmeler ile geliştirilmiş işlevler eklenebilir. Daha karmaşık ihtiyaçları olan kullanıcılar, program işlemlerini değiştirmek, özel işleme veya arayüzler eklemek ve hatta genel sistemi yeniden tasarlamak isteyebilir. Slicer, temel ilkelerine bağlı kalırken giderek daha karmaşık hale gelen bir destek altyapısı uygulayarak bu kullanıcı yelpazesini barındıracak şekilde geliştirmiştir.

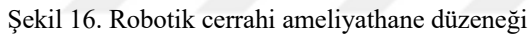


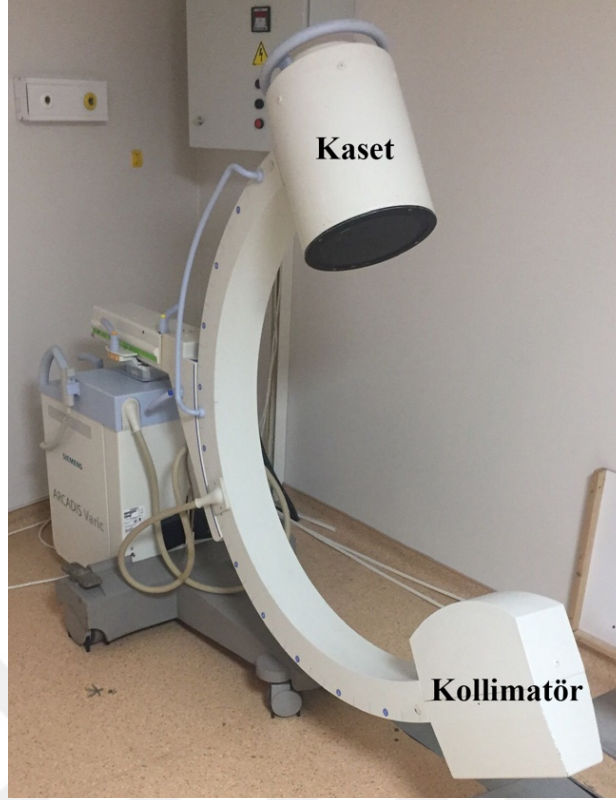
Şekil 15. Çalışma uzayı

İnce kesit paranazal tomografi çekilen kadavramızın DICOM çıktıları, 3D Slicer'da yüklenerek 'Segmentation Tool' ile nazal pasajın 3 boyutlu modellemesi yapıldı (Şekil 15). Sağ nostril girişinde bir referans nokta seçilerek başlangıç noktası olarak belirlendi. Bir nokta da rostrum üzerinde belirlenerek sfenoidotomi aşamasının başlangıç noktası olarak belirlendi. Bu iki nokta bir doğru yardımıyla birleştirilerek endoskopun seyahat güzergahı olarak belirlendi. Başlangıç ve bitiş noktalarının yaratılan uzaydaki koordinatları yazılımdan dışarı aktarıldı. Bu noktadan sonra robotun hareket güzergahını uygulayabilmesi için matematiksel dönüşüm hesapları yapılarak robot arayüzüne aktarıldı.

4. BULGULAR

Deneye başlarken öncelikle laboratuvar ve masa düzeni yapılması gerekiyordu. Robot arayüzünün kullanıldığı bilgisayar ve bağlantı sistemleri 120cmx60cm bir alan kullanıyordu. Robotu kumanda etmek için robot gövdesine 3 adet kablo uzanıyordu. C-





Şekil 17. Siemens C-kollu skopi



Şekil 18. Cerrahi deney düzeni. Soldan sağa Aspiratör ünitesi, motor ünitesi, kadavra, robot kol, robot kontrol ünitesi ve bilgisayar.

3D Slicer üzerinde modellenen, ameliyatın nazal aşamasının üç boyutlu uzayı üzerinde endoskopik ameliyatta kullanılan teleskopun rotası belirlendi. Öncelikle

güzergah boyunca geçilecek bazı referans noktalar belirlendi. Sağ nazal nostrilden başlanarak; alt, orta ve üst konkaların ortasından geçecek bir hat içeren, son basamak olarak sfenoid ostium üzerindeki noktaları kullanan bir doğru çizildi.

Bu doğrunun başlangıç ve bitiş noktaları anatomik olarak belliydi. 1. Nokta sağ nazal vestibülün burun septumu ile birleştiği duvarın anterior-inferior noktasından 1 cm uzaktaydı. Kafa modeli yere paralel olduğunda istenen doğrunun yer ile yaptığı açı 3D slicer’da zaten belliydi. Bu açı, masa yüzeyi referans alınarak C-kollu skopi üzerinde 70 derece yere paralel ve 10 derece kendi üzerinde saat yönünün tersine olacak şekilde ayarlandı. C-kollu skopiye kullanmanın avantajı da üzerinde görsel olarak açı ayarlamasına izin vermesi olmuştu (Şekil 19). Mavi oklar ile belirtilen mandallar ile gerekli açısal ayarlar yapıldı.



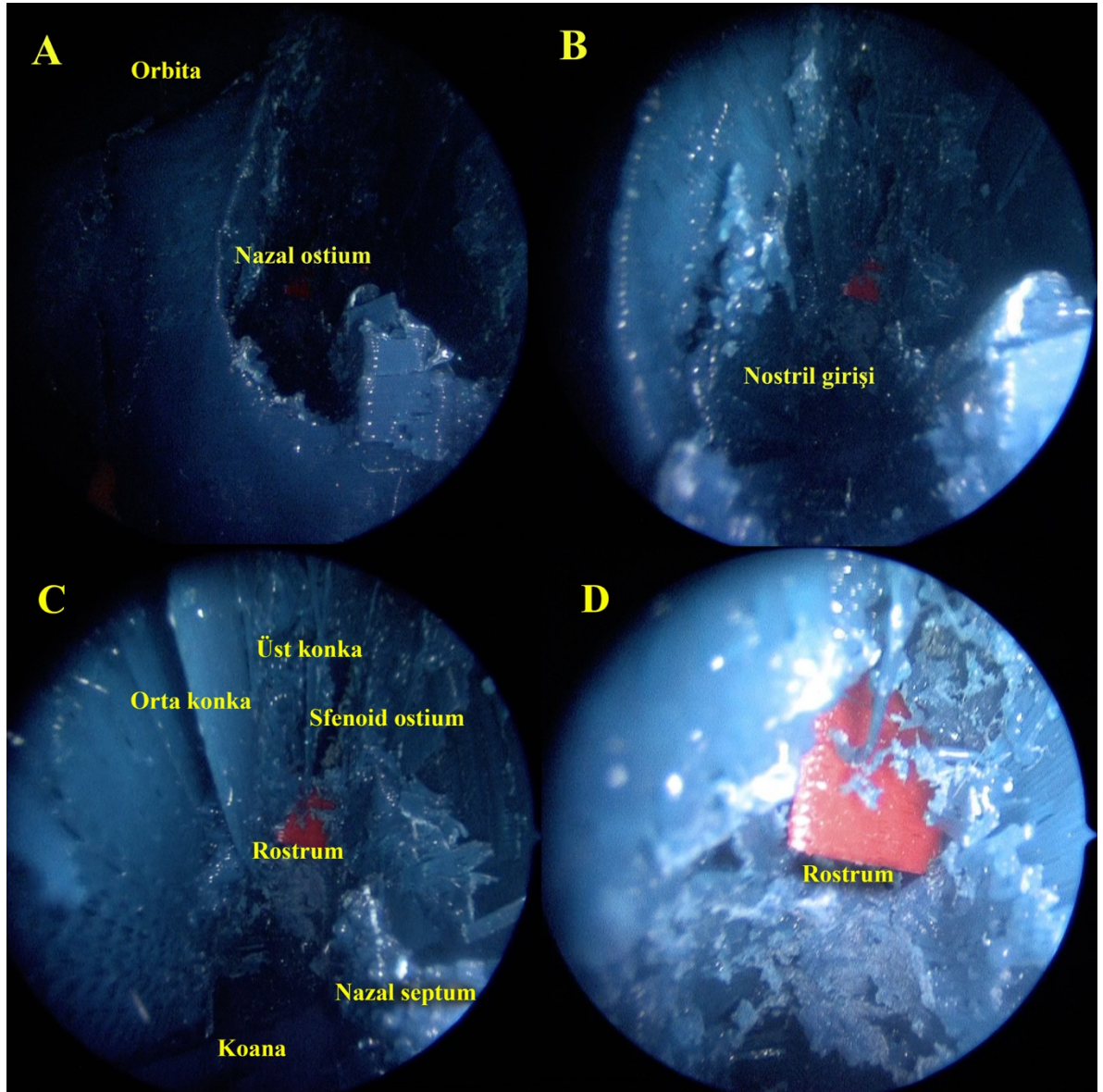
Şekil 19. Robot kolun açısı, belirlenen güzergaha uyarlanmış haliyle.

Ameliyat düzeneğimizi laboratuvar ortamında canlandırırken robotun hastanın kafa tarafından yaklaşmasının daha ergonomik olduğunu gördük. Böylece operatör, endoskop ekranı ve cerrah arasında bir üçgen kurulmuş oldu ve hastanın sağ tarafında 2. Cerraha, 1. Cerrahın sol arka tarafında hemşireye çalışma alanı açılmış oldu. Bu ameliyat düzeniyle ‘tek cerrah (iki el) + robot + operatör’, ‘iki cerrah (4 el) + robot + operatör’ çalışma şekillerinin uygulanabileceği görülmüş oldu. (Şekil 20).



Şekil 20. Robotik kol ve kafatası modeli ile cerrahi çalışma düzeni

3D Slicer’da güzergah 5,3 cm olarak ölçülmüştü. Bu güzergah sonunda endoskopun ekranında orta noktada sfenoid ostiumu görmeyi planlamıştık. Operatör robot kolu, üzerinde A, B, C, D noktaları bulunan bu güzergah boyunca yönlendirdiğinde endoskopun ekranında sfenoid ostiumu ortaya koymuş olduk (Şekil 21). Endoskopun bu seyahati boyunca, operatör yardımı ile hız, durdurma, başlatma gibi fonksiyonları sergilemekte sorun yaşamadık. İstedığımız referans noktasında durmak ve değerlendirmek zahmetli olmadı. Ayrıca robot ve endoskop, maket üzerinde 2. cerrahi alet kullanımına izin verdi. Disektör yada hipofiz punch’ı kullanarak ve endoskop ekrandan takip ederek alet kullanmak yöntemin faydasını artıran bir özellik oldu.



Şekil 21. Kafa modelinde ameliyatın nazal aşamasının endoskopik görüntüsü. A. Sağ nazal vestibül girişı B. girişı ve alt konka hizası C. Orta konka hizası D. Üst konka hizası ve ekranın ortasına gelecek şekilde hizalanmış robot. (sfenoid ostium kırmızı ile işaretlenmiştir.)

Kafa modeli ile yaptığımız deneyden sonra elde ettiğimiz bulguları not ederek deneyin ikinci aşaması olan kadavra üzerinde yapılacak deneye geçildi. Modelini hazırladığımız kadavranın nazal pasajının mukoza bütünlüğü ve yumuşak dokusu haraplandığı için %10'luk formaldehit çözeltisinde sabitlenmiş yeni bir kadavra modeli üzerinde çalışmak uygun oldu. Bu kadavraya da hipofiz MR + navigasyon sekansları görüntülemeleri yapıldı.

Benzer şekilde kafa nötr pozisyonda ameliyat masasına sabitlenerek c-kollu skopi açıları yeniden ayarlandı. Operatör, cerrah, kadavra ve endoskopik ekran pozisyonları benzerdi (Şekil 22).

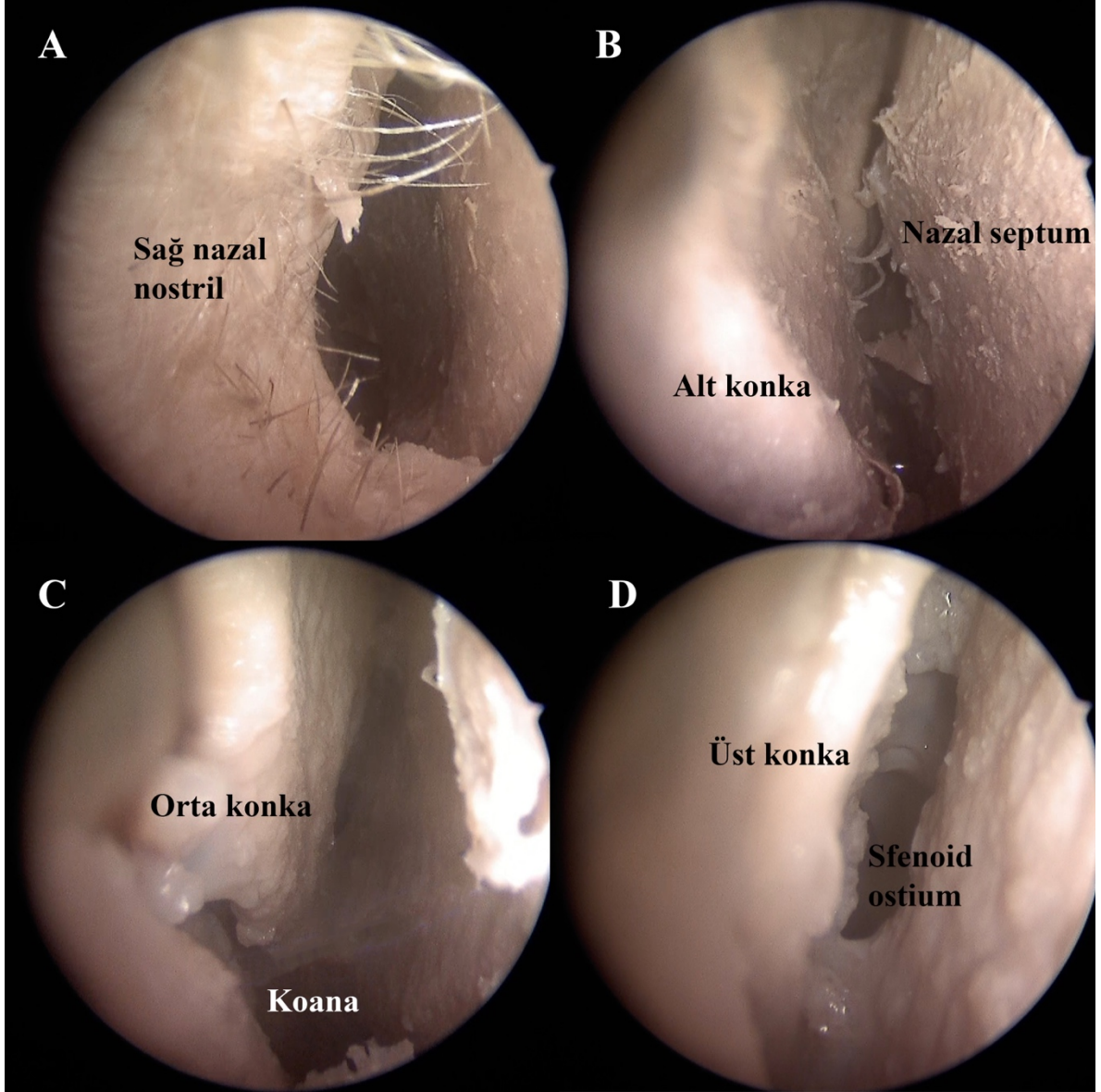


Şekil 22. Robotik kol ve kadavra ile cerrahi çalışma düzeni

Ameliyatın nazal aşamasını canlandıran kadavra deneyinde, güzergah üzerinde belli anatomik durak noktaları belirlenmişti. Güzergahı kabaca 4'e böldüğümüzde geçilen anatomik noktalar 1-sağ nazal vestibül, 2-alt konka orta noktası, 3-orta konka orta noktası, 4-üst konka orta noktası ve tam karşıda olacak şekilde sfenoid olstium olmuştur (Şekil 23).

3D Slicer'da belirlenen yeni güzergah, deneyde uygulanarak cerrahi safhalar tekrarlandı. Burada endoskopik robot kolun, cerraha manipülasyon için izin vermesi avantaj olarak görüldü. Kafa modelinde kullanılan doğrusal güzergah kadavrada kullanılmak istendiğinde burun içindeki anatomik yapılar ile endoskop temas etti. Haptik geri bildirim eklentisi, deneyin ve robotun önceki versiyonundan farklı olarak kullanılmamıştır (102). Güzergah boyunca konka ve nazal septumlar ile karşılaşan robot disektör yardımıyla yapılan küçük manipülasyonlar ile görevi tamamlamıştır. Burada güzergah belirlenmişken ve robot yol boyunca durdurulup yeniden hareket ettirilebiliyorken haptik geri bildirim kullanılmaya gerek duyulmamıştır.

Üç boyutlu modelde çalışmak, deneyin araştırma ve geliştirme aşamalarında avantaj sağladı. Kadavraya geçmeden önce birçok deneme yapılmasını ve sistemden kaynaklanan aksaklıklarının üstesinden gelinmesini sağladı. Ayrıca deney sırasında yaşanacak aksaklıklardan kaynaklanacak kadavranın zarar görmesinin de önüne geçilmesini sağladı.



Şekil 23. Kadavrada ameliyatın nazal aşamasının endoskopik görüntüsü. A. Sağ nazal vestibül girişi B. giriş ve alt konka hizası C. Orta konka hizası D. Üst konka hizası ve sfenoid ostium ekranın ortasına gelecek şekilde hizalanmış robot.

Stewart platformunu c-kollu skopiye monte etmek için sert plastikten 40x40x1 cm ölçülerindeki bir plaka yeterli olmuştu. Endoskopu Stewart platformu üzerine monte

etmek için de sıkıştırılabilir, vidalı bir adaptör tasarlandı. Bu iki adaptör sistemin yeniden tasarlanması için verimli oldu ve tasarımı kolaylaştırdı. Ameliyat sisteminin kurulu hale gelmesi ise 15 dakika sürüyordu. Sistemin pratikliği ve kullanılabilirliği açısından bulguları ortaya koymak adına bu süre tatmin edici olmuştu. C-kollu skopiye endoskopun monte edilmesi ve açısal ayarlarının yapılarak hastaya yaklaştırılması, endoskopun takılması ve steril şekilde hazırlanması, stewart platformunun bilgisayar arayüzünün açılışı ve başlangıç kurulumu yapılışı bu sürenin temel bileşenleriydi.

Robot arayüzünde rota ve bu rotada seyahat etme süreleri sayısal veri olarak giriliyordu ve bir durdurma/devam ettirme tuşu da mevcuttu. Önceki deneyde yapıldığı gibi bir fare veya kumanda kolu ile robotu ilerletmek mümkündü. Ancak kumanda yada fare seçeneğinde tecrübe faktörü önemliydi ve bir öğrenme eğrisi bulunuyordu. Ayrıca eski deney ile kıyaslamak gerekirse ameliyathane düzeni de daha verimli ve hızlı olmuştu (102). Güncel deneyde her iki model de kullanıldı ve 3D Slicer rotası kullanılan güncel deney, fare ve kumanda kolu kullanılan deneye göre oldukça hızlı sonuçlar verdi. Plastik 3 boyutlu modelde yapılan deney ise kadavraya göre daha hızlı olmuştu. Buradaki faktör nazal vestibül ve nazal pasajın 3 boyutlu modelde daha geniş olmasıydı, ayrıca nazal pasaj içinde anatomik yapılar kadavraya göre sadeydi. Burada fareye veya kumanda koluna nazaran daha düz bir güzergah kullanılması da hız artışını ve sürenin kısalmasını sağlamıştır.

5. TARTIŞMA

Öğrenme eğrisi, endoskopik transnazal cerrahide, mikroskobik cerrahide zaten yetenekli olan beyin cerrahı için, endoskopu baskın olmayan elle tutma ve diğer elle cerrahi aletleri manipüle etme ihtiyacı nedeniyle önemli bir dezavantajdır (39). Bimanuel endoskopik cerrahi ancak endoskop bir asistan tarafından yönlendirildiğinde veya mekanik bir tutucu ile konumlandırıldığında mümkündür (95). Castelnovo, endoskop ve endoskopa paralel ek bir alet kullanılarak bir burun deliğinden operasyonun gerçekleştirildiği ve ikinci bir cerrah tarafından diğer burun deliğinden başka bir alet sokulduğu “dört el” tekniğini tarif etmiştir (96). Endoskopun tutulması için üçüncü bir el mevcutsa, yer kaplar ve iki farklı cerrah hareketinin koordinasyonunu gerektirir (97,98).

Endoskopik endonazal robot, monitör ekranında sürekli bir görüş sağlarken cerrahın iki elini de kullanmasına izin verir. Robotik sistemimiz bir skop tutucu gibi çalışmakta ve beyin cerrahının bimanuel cerrahi yapmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca kurulan sistem 2. Cerrah ve bir de hemşirenin beraber çalışmasına izin verecek ölçüde verimlidir. C-kollu skopi iskeletine monte edilerek geliştirilen yeni robot bu anlamda ergonomik olmuştur. Masa ya da ve geniş bir cihaz gövdesini ameliyat masası ile benzer yükseklikte hastanın sağından yada solundan yanaştırmak intraoperatif çalışma verimini düşürebilir.

Geliştirdiğimiz robotu açık kaynak kodlu 3D Slicer programı ile kullanmamız maliyetlerimizi düşürmüş olsa da C-kollu skopinin ve hasta pozisyonunun açısal ayarlamalarını yapmayı zorunlu kılmaktadır. Fakat sisteme bir nöronavigasyon eklenerek 3D Slicer üzerinde yapılması gereken modelleme çalışmalarına duyulan ihtiyaç ortadan kaldırılabilir. Endoskop üzerine monte edilen nöronavigasyon aparatları zaten piyasa kullanımdadır. Nöronavigasyon üzerinden alınacak intraoperatif koordinasyon verileri, robot arayüzünün açık olduğu bilgisayarda işlenebilirse ve bu koordinat verileri kullanılarak robotun uzaydaki konumu yeniden ayarlanabilirse robotun daha verimli çalışması da sağlanabilir. Tabi ki bu seçenekte şimdilik bazı engeller bulunmaktadır. Öncelikle bahsedilen veri işleme ve aktarmada kullanılacak yazılımın oluşturulması gerekmektedir.

3D Slicer kullanımı ise uzaktan yönlendirme ve güzergah oluşturma anlamında bir avantaj yaratabilir. Üç boyutlu uzayın modellenmesi ve güzergah geliştirilmesi hasta özelinde, uzak bilgisayarda oluşturulup internet ortamında paylaşılabılır ve ameliyatı yapacak cerrahın faydalı kullanımına açılabilir.

Endoskopik beyin cerrahisi muhtemelen önümüzdeki yıllarda optik fizik, elektronik ve robotikteki daha fazla yenilikle gelişecektir. Minimal invaziv cerrahide kayda değer ilerleme sağlayan endoskopik sistemlerdeki spesifik uygulamalar robotik cerrahi teknolojisini içerir (99).

Robotlar, sürekli bir çalışma performansı ile karakterize edilir. Davranışları zihinsel etkilerden bağımsızdır, hareketleri çok yüksek uzamsal ve zamansal hassasiyetle gerçekleştirirler ve uzaktan çalıştırılabilirler.

Biz bu çalışmada sellaya transnazal yaklaşımı kullandık. Endoskop için tutma ve konumlandırma aracı olarak kullanılan robotumuzun avantajı, kritik bölgelerde çok düzgün yavaş hareketler yapabilme imkanındır. Beyin cerrahı robotu, cerrahın el hareketlerini endoskopun hassas hareketlerine göre ölçeklendiren özel bir joystick aracılığıyla kontrol eder. Robot kılavuzlu endoskop herhangi bir pozisyonda tutulabilir ve istenmeyen hareketler olmaksızın hemen durdurulabilir. Tam hareket özgürlüğü için 6 DOF gereklidir. DOF (serbestlik derecesi), bir eklemden yapılabilecek olası hareketlerin sayısını ifade eder. Bu hareketler öteleme veya dönme olabilir. 6 DOF ile robotumuz gerekli tüm hareketleri kolaylıkla yapabilmektedir. Robotik sistemin tasarımı, robotun hastanın anatomik özelliklerine göre esnek şekilde önceden konumlandırılmasına olanak tanır. Navigasyon ile çalışan robotik sistemlerin aksine sistemimizin bir diğer avantajı da başın sabitlenmesine gerek olmamasıdır. Master-slave robotların yüksek maliyet, fazla boyut ve transfer zorluğu gibi dezavantajları sistemimizde yoktur.

Endoskopik transnazal yaklaşımlar için özel olarak yeni bir sistem geliştirdik. Sistemin küçük boyutu endonazal cerrahi için uygundur. Endüstriyel robotlar için tasarlanan geleneksel güvenlik yöntemleri şu anda tıbbi robotlar için mevcut değildir ve bu nedenle robotik sistemimizde bazı güvenlik mekanizmaları hala eksiktir.

Robotik sistemler, genellikle stresli bir duruşta yapılması gereken bir endoskopun tutulması ve izlenmesi gibi konsantrasyon gerektiren ve sıkıcı bir görevi üstlenebilir. Ek olarak, endoskopun algılanan ufkun eğilmesine ve zorluklara ve yanlış konumlandırmaya neden olabilecek bir yönlendirmeye yol açabilecek istenmeyen bir dönüşü önlenir (100).

İlginç bir şekilde, robotik prosedürlerin öğrenme süreleri endoskopik muadillerinden daha kısa görünmektedir (101).

Bu çalışmada robot yardımlı transnazal sellar cerrahisinin teknik olarak mümkün olduğunu ancak tamamen robotik cerrahinin yeni cerrahi aletlerin geliştirilmesini ve artan tecrübeyi gerektirdiğini gösterdik.

Robotlar ameliyat için bir takım avantajlar sunar; Ameliyat kalitesinin yükseltilmesi, elle yapılamayan ameliyatlara yapılması, ameliyat süresinin kısaltılması ve asistan fonksiyonları.

Endoskopik kafa tabanı cerrahisi ile ilgili deneyimlerimize göre, yerden tasarruf sağlayan, kullanıcı dostu, titremeyen robotik sistemler mevcut cerrahi prosedürlere uyarlanırsa, bir robotik sistem cerrahin daha kolay bir çalışma ortamına ve hastaların daha iyi tedavi edilmesine izin verecektir.

Mevcut çalışmanın birden çok sınırlaması vardır. En önemli sınırlama yayın gecikmesidir. Yenilikçi teknoloji çalışmalarının, özellikle klinik çalışmaların yürütülmesindeki doğal gecikmeler göz önüne alındığında, inceleme makaleleri tanım gereği mevcut çalışmalardan eskidir ve muhtemelen en son teknolojik gelişmeleri temsil etmez. Ayrıca, robotik teknolojilere yönelik endüstri yatırımı ihtiyacı göz önüne alındığında gelişimin yavaş olacağı açıktır.

Teknolojiler, akademik literatürün kapsamı dışında olan gelişmeler olabilir. Çalışmamız aynı zamanda, sistematik incelemelerin doğal sınırlamaları, yani yayın yanlılığı, değişken deneysel tasarım ve sonuçların bildirilmesi ve analiz edilen makalelerin merkezinde yer alan potansiyel yanlılıklar veya endüstri etkisi ile sınırlıdır.

6. SONUÇ

İnsanlarda gerçekleştirilen ilk robot yardımcı cerrahiden bu yana geçen otuz yıl, master-slave robotik platform konseptinin geliştirilmesi için büyük önem taşıyordu. Bununla birlikte, robotik cerrahinin sunduğu çok sayıda teknik avantaj ve önemli klinik faydalar, bu sistemin son derece yüksek maliyeti nedeniyle hala tartışılmaktadır. Cerrahide robotik sistemlerin sağlamlaştırılması, gerçek klinik faydalarını kanıtlamak için randomize klinik çalışmaların yayınlanmasına, şu anda piyasaya hakim olan şirketin patentinin kırılması yoluyla maliyetin düşürülmesine ve yeni robotik platformların ve teknolojilerin piyasaya sürülmesine bağlıdır.

Kafa tabanı nöroşirürjisine robotik uygulamalar, daha fazla görselleştirme, manevra kabiliyeti ve daha az kullanıcı yorgunluğu sağlayabilir. Kafa tabanı prosedürleri için robot destekli sistemlerin klinik uygulamaları mevcuttur, ancak önemli sınırlamalar bunların uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Kafa tabanı beyin cerrahisi için yeni nesil robotik asistanlar, küçültülmüş boyuta, daha esnek çalışma açılarına, kemikli elemanları çıkarma yeteneğine ve intraoperatif hemostaza öncelik vermelidir.

ÖZET

Amaç: Endoskopik transnazal cerrahide endoskopi tutmak ve hareket ettirmek için kullanılan robotik sistemin geliştirilmesi ve sisteme otonom fonksiyon kazandırmasını amaçladık. Bu deneyde endoskopik ameliyatın öğrenme eğrisini kısaltma konusunda fayda sağlamaya çalışıldı. Klasik olarak 4 el kullanılan bir ameliyat yöntemi olan endoskopik endonazal cerrahide 2 el ve robotun beraber kullanımını araştırdık. Hayati anatomik yapıları belirleme konusunda bilgisayar desteği alarak cerraha yol gösterebileceği için komplikasyon oranını düşürmeye çalıştık.

Method: Çalışmada Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilen “Stewart Platform” tabanlı endoskop tutucu ve konumlandırıcı robotik sistem, 3D Slicer açık kaynak kodlu sağlık teknolojisi yazılımı beraber kullanılmıştır. Kadavra yapay kafa modeli üzerinde ilk yapılandırmadan sonra taze dondurulmuş kadvrada uygulama yapılmıştır.

Bulgular: Robot sistemi için gerekli kurulum uygulanabilir oldu ve kayıt prosedürü ile robotun kurulumu yaklaşık 20 dakika sürdü. Ameliyatın nazal ve sfenoid basamaklarında robotun verilen koordinatlar üzerinde ilerleyerek belirlenen anatmoik noktalara otonom şekilde ulaşması sağlandı. Robotik sistem ile endoskopik transnazal yaklaşım canlandırılarak düşük maliyetli bir prototip geliştirilmiş oldu.

Sonuç: Nöroşirürjide, kafa tabanı cerrahisinde robotik uygulamalar, daha fazla görselleştirme, manevra kabiliyeti ve kullanıcı yorgunluğunun azalmasına izin verebilir. Kafa tabanı prosedürleri için robot destekli sistemlerin klinik uygulamaları mevcuttur, ancak önemli kısıtlamalar tamamen aşılamamıştır ve klinikte uygulanabilirliğini henüz tamamlanmamıştır. Yeni nesil robotik asistanlar, küçültülmüş boyuta, daha esnek çalışma açlarına, pratik ve gerçekçi hedeflere öncelik vermelidir.

ABSTRACT

Objective: We aimed to develop the robotic system used to hold and move the endoscope in endoscopic transnasal surgery and to give the system an autonomous function. In this experiment, it was tried to be beneficial in shortening the learning curve of endoscopic surgery. We investigated the combined use of 2 hands and a robot in endoscopic endonasal surgery, which is a classically 4-handed surgical method. We tried to reduce the complication rate because it can guide the surgeon by getting computer support in determining the vital anatomical structures.

Method: In the study, "Stewart Platform" based endoscope holder and positioner robotic system developed by Kocaeli University Mechatronics Engineering Department and 3D Slicer open source health technology software were used together. After the first configuration on the cadaver artificial head model, the application was made on freshly frozen cadavers.

Results: The required setup for the robot system was feasible and the registration procedure and the setup of the robot took approximately 20 minutes. In the nasal and sphenoid steps of the operation, the robot was enabled to reach the determined anatomic points autonomously by advancing on the given coordinates. A low-cost prototype was developed by reviving the endoscopic transnasal approach with the robotic system.

Conclusion: Robotic applications in neurosurgery, skull base surgery may allow greater visualization, maneuverability and reduced user fatigue. There are clinical applications of robot-assisted systems for skull base procedures, but important limitations have not been fully overcome and their clinical applicability is not yet complete. The next generation of robotic assistants should prioritize reduced size, more flexible working angles, and practical and realistic goals.

KAYNAKÇA

1. de Divitiis E, Cappabianca P. Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery. *Adv Tech Stand Neurosurg.* 2002;27:137-177. doi:10.1007/978-3-7091-6174-6_4
2. Ceylan S, Sen HE, Ozsoy B, et al. Endoscopic approach for giant pituitary adenoma: clinical outcomes of 205 patients and comparison of two proposed classification systems for preoperative prediction of extent of resection. *J Neurosurg.* 2021;136(3):786-800. Published 2021 Sep 17. doi:10.3171/2021.3.JNS204116
3. Cavallo LM, Somma T, Solari D, et al. Endoscopic Endonasal Transsphenoidal Surgery: History and Evolution. *World Neurosurg.* 2019;127:686-694. doi:10.1016/j.wneu.2019.03.048
4. Cleary K, Nguyen C. State of the art in surgical robotics: clinical applications and technology challenges. *Comput Aided Surg.* 2001;6(6):312-328. doi:10.1002/igs.10019
5. Awang MS, Abdullah MZ: Robotic neurosurgery: A preliminary study using an active vision-guided robotic arm for bone drilling and endoscopic manoeuvres. *Malays J Med Sci* 18(2):53-57,2011
6. Nathoo N, Cavusoglu MC, Vogelbaum MA, Barnett GH: In touch with robotics: Neurosurgery for the future. *Neurosurgery* 56(3):421-433; discussion 421-433, 2005
7. Goto T, Hongo K, Kakizawa Y, Muraoka H, Miyairi Y, Tanaka Y, Kobayashi S: Clinical application of robotic telemanipulation system in neurosurgery. Case report. *J Neurosurg* 99(6):1082- 1084, 2003
8. Zimmermann M, Krishnan R, Raabe A, Seifert V: Robot-assisted navigated endoscopic ventriculostomy: Implementation of a new technology and first clinical results. *Acta Neurochir (Wien)* 146(7):697-704, 2004
9. Toni R. Ancient views on the hypothalamic-pituitary-thyroid axis: an historical and epistemological perspective; *Pituitary.* 2000;3(2):83-95

10. May TM. Galen On the usefulness of the parts of the body I (Translation from Greek with an Introduction and Commentary). *Ithaca, New York: Cornell University Press*. 1968: 429-430,
11. Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language, yeniden gözden geçirilmiş basım. New York: Gramercy Books.1986;1099
12. Marie P: Sur deux cas d'acromegalie: hypertrophie singuliere non congenitale, des extremités superieures, inferieures, et cephaligue. *Rev med*.1886;6:297-333
13. Collins WF: Hypophysectomy: historical and personal perspective. *Clin Neurosurg*. 1974;21: 6878
14. Couldwell WT, Simard MF, Wiess MH,et al: Pituitary and adrenal, in Schwartz SI, Shires GT, Spencer FC (eds): *Principles of Surgery, ed 7*.New York: McGraw-Hill, pp. 1999,1613-1659,
15. Giordano F: Compendio di Chirurgia Operativa Italiana, ed 2. Torino, Italy:UTET,1911.
16. Onesti TS, Post DK: Complication of Transsphenoidal microsurgery in post DK Friedman DDEE, Mc Cotmik P (eds): Postoperative complications in intracranial Neurosurgery, Thieme medical publishing Newyork P 61:63,1892.
17. Kocher T: Ein Fall von Hypophysis tumor mit operativer Heilung. *Dtsch Z Chir*100:13-37, 1909.
18. Kanavel AB: The removal of tumors of the pituitary body by an infranasal route. A proposed operation with a description of the technic. *JAMA* 53: 1704- 1707. 1909.
19. Cushing H: The Weir Mitchell Lecture. Surgical experiences with pituitary disorders. *JAMA* 63: 1515-1525, 1914.
20. Cushing H: Partial hypophysectomy for acromegaly. With remarks surgical result in 338 cases (Dr. Harvey Cushing's series). *Br J Surg* 26: 811-921, 1939.
21. Dott NM, Bailey P: A consideration of the hypophyseal adenomata. *Br J Surg* 13: 314-366, 1925.

22. Hardy J: (Surgery of the pituitary gland, using the trans-sphenoidal approach. Comparative study of 2 technical methods.) *Union Med Canada* 96: 702-712, 1967 (Fr).
23. 17. Welbourn RB: The evolution of transsphenoidal pituitary microsurgery. *Surgery* 100: 1185-1190, 1986.
24. Hardy J: Transsphenoidal microsurgery of the normal and pathological pituitary. *Clin Neurosurg* 16: 185-217, 1969.
25. Bozzini P: Lichtleiter: Eine Erfindung zur Anschauung innerer Theile und Krankheiten nebst der Abbildung. *J der practischen Arzneykunde und Wundarzneykunst* 24:107–124, 1806.
26. Al-Shraim, M., & Asa, S. L. (2005). The 2004 World Health Organization classification of pituitary tumors: What is new? *Acta Neuropathologica*, 111(1), 1–7. doi:10.1007/s00401-005-1093-6
27. Dandy WE: Extirpation of the choroid plexus of the lateral and fourth ventricle in Communicating hydrocephalus. *Ann Surg* 68:569–579, 1918.
28. Fries G, Perneczky A: Intracranial endoscopy. *Adv Tech Stand Neurosurg* 25:21– 60, 1999.
29. Guiot J, Rougerie J, Fourestier M, Fournier A, Comoy C, Vulmiere J, Groux R. Intracranial endoscopic explorations. *Presse Med*;71: 1225- 8, 1963.
30. Gamea A, Fathi M, el-Guindy A. The use of the rigid endoscope in transsphenoidal pituitary surgery. *J Laryngol Otol*;108: 19- 22, 1994.
31. Jankowski R. Endoscopic pituitary surgery. In: Stankiewicz JA, editor. *Advanced endoscopic sinus surgery*. St. Louis7 Mosby, p. 95- 102, 1995.
32. Apuzzo MLJ, Heifetz M, Weiss MH, Kurze T: Neurosurgical endoscopy using the sideviewing telescope: Technical note. *J Neurosurg* 16: 398–400, 1977.
33. Bushe KA, Halves E: Modifizierte Technik bei transnasaler Operation der Hypophysengeschwulste. *Acta Neurochir (Wien)* 41:163–175, 1978.

34. Carrau RL, Jho HD, Ko Y: Transnasal-transsphenoidal endoscopic surgery of the pituitary gland. *Laryngoscope* 106:914-918, 1996.
35. White DR, Sonnenburg RE, Ewend MG, et al: Safety of minimally invasive pituitary surgery (MIPS) compared with a traditional approach. *Laryngoscope* 114:1945-1948, 2004.
36. Jho HD: Endoscopic pituitary surgery. *Pituitary* 2:139-154, 1999.
37. Jho HD, Carrau RL, Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery: experience with 50 patients. *J Neurosurg.* 1997 Jul;87(1):44-51.
38. Elmaci İ. Dr Hami Dilek Beyin ve Sinir Cerrahisinde Bir Öncü. İstanbul; 2001.
39. Koc K, Anik I, Ozdamar D, Cabuk B, Keskin G, Ceylan S. The learning curve in endoscopic pituitary surgery and our experience *Neurosurg Rev.* 2006;29(4):298-305. doi:10.1007/s10143-006-0033-9
40. Goertz RC (1952) Fundamentals of general purpose remote manipulators. *Nucleonics* 1001:36–42
41. Goertz RC (1953) Remote-control manipulator. US Patent 2632574, Washington, DC: US Patent Office
42. Devol GC (1961) Programmed article transfer. US Patent 2988237, Washington, DC: US Patent Office
43. Engelberger J (1989) Robots in service. MIT Press, Cambridge
44. Capek K (1923) The meaning of R.U.R. *Saturday Rev* 136:79
45. Hockstein NG, Gourtin CG, Faust RA (2007) History of robots: from science fiction to surgical robotics. *J Robot Surg* 1:113–118
46. Robotics Today, Robotics Institute of America (RIA) News, Spring, 1980, p 7
47. Abdul-Muhsin H, Patel V (2014) History of robotic surgery. In: Kim CH (ed) Robotics in general surgery. Springer, New York, pp 3–8

48. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA et al (1988) A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng* 35(2):153–160
49. Harris SJ, Arambula-Cosio F, Mei Q et al (1997) The Probot—an active robot for procedures. *Proc Inst Mech Eng H* 211:317–325
50. Davies BL, Hibber RD, Ng WS et al (1991) The development of a surgeon robot for prostatectomies. *Proc Inst Mech Eng [H]* 205:35–38
51. Fischer SS, McGreevy MM, Humphries J et al (1987) Virtual environmental display system. In: Crow F, Pizer S (eds) *Proceedings of the workshop on interactive 3-D graphics*, Chappel Hill, pp 1–12
52. Green PS, Satava RM, Hill JR et al (1992) Telepresence: advanced teleoperator technology for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 6:90
53. Parekattil SJ, Moran ME (2010) Robotic instrumentation: evolution and microsurgical applications. *Indian J Urol* 26(3):395–403
54. Satava RM (2003) Robotic surgery: from past to future: a personal journey. *Surg Clin North Am* 83:1491–1500
55. Bowersox JC, Shah A, Jensen J et al (1996) Vascular applications of telepresence surgery: initial feasibility studies in swine. *J Vasc Surg* 23(2):281–287
56. Unger SW, Unger HM, Bass RT (1994) AESOP robotic arm. *Surg Endosc* 8:1131
57. Ewing DR, Pigazzi A, Wang Y et al (2004) Robots in the operating room: the history. *Semin Laparosc Surg* 11:63–71
58. Sackier JM, Wang Y (1994) Robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. *Surg Endosc* 8:63–66
59. Baæa I, Schultz C, Grzybowski L et al (1999) Voice-controlled robotic arm in laparoscopic surgery. *Croat Med J* 40(3):409–412

60. Falcone T, Goldberg J, Garcia-Ruiz A et al (1999) Full robotic for laparoscopic tubal anastomosis: a case report. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 9:107–113
61. Hashizume M, Konishi K, Tsutsumi N et al (2002) A new era of robotic surgery assisted by a computer-enhanced surgical system. *Surgery* 131(11):S330–S333
62. Marescaux J, Leroy J, Gagner M et al (2001) Transatlantic robot- assisted telesurgery. *Nature* 413(6854):379–380
63. Hanly EJ, Talamini MA (2004) Robotic abdominal surgery. *Am J Surg* 188(4A):19S–26S
64. Himpens J, Leman G, Cadiere GB (1998) Telesurgical laparo- scopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 12(8):1091
65. Hagen ME, Stein H, Curet MJ (2014) Introduction to the robotic system. In: Kim CH (ed) *Robotics in general surgery*. Springer, New York, pp 9–16
66. Hashizume M, Sugimachi K (2003) Robot-assisted gastric sur- gery. *Surg Clin N Am* 83:1429–1444
67. US Food and Drug Administration (2000) 510 (k) clearances. <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfpmn/pmn.cfm?ID= K990144>. Accessed 30 Oct 2015
68. Binder J, Kramer W (2001) Robotically-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int* 87(4):408–410
69. Ficarra E, Cavalleri S, Novara G et al (2007) Evidence from robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a systematic review. *Eur Urol* 51:45–56
70. Rosero EB, Kho KA, Joshi GP et al (2013) Comparison of robotic and laparoscopic hysterectomy for benign disease. *Obstet Gynecol* 122(4):778–786
71. Tekkis PP, Senagore AJ, Delaney CP et al (2005) Evaluation of the learning curve in laparoscopic colorectal surgery: comparison of right-sided and left-sided resections. *Ann Surg* 242:83–91

72. Taffinder N, Smith SGT, Huber J et al (1999) The effect of a second-generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons. *Surg Endosc* 13:1087–1092
73. Robotics. SOFIE. <https://www.tue.nl/en/research/research-institutes/robotics-research/projects/sofie/>. Accessed 30 Oct 2015
74. Robotics and Mechatronics Center. MIRO/KineMedic. <http://www.dlr.de/rm/en/desktopdefault.aspx/tabid-3828/>. Accessed 30 Oct 2015
75. New European Surgical Academy. Telelap Alf-x. <http://www.nesacademy.org>. Accessed 30 Oct 2015
76. Titan Medical Inc. Sport Surgical System. <http://www.titanmedicalinc.com/product/>. Accessed 30 Oct 2015
77. Dolghi O, Strabala KW, Wortman TD et al (2011) Miniature in vivo robot for laparoendoscopic single-site surgery. *Surg Endosc* 25:3453–3458
78. Rhoton AL Jr. Anatomy of the pituitary gland and sellar region. In: Thapar K, Kovacs K, Scheithauer B, Lloyd RV, editors. *Diagnosis and management of pituitary tumors*. Totowa (NJ): Humana Press, Inc; 2001. p. 13–40.
79. Yasuda A, Campero A, Martins C, et al. Microsurgical anatomy and approaches to the cavernous sinus. *Neurosurgery* 2005; 56:4–27 [discussion: 4–27].
80. Fernandez-Miranda JC, Tormenti M, Latorre F, et al. Endoscopic endonasal middle clinoidectomy: anatomic, radiological, and technical note. *Neurosurgery* 2012;71:ons233–9 [discussion: ons39].
81. Campero A, Martins C, Yasuda A, et al. Microsurgical anatomy of the diaphragma sellae and its role in directing the pattern of growth of pituitary adenomas. *Neurosurgery* 2008; 62:717–23 [discussion: 17–23].
82. Lechan RM, Toni R. Functional anatomy of the hypothalamus and pituitary. Section 3b. In: De Groot LJ, Beck-Peccoz P, Chrousos G, et al, editors. *Pituitary disease and*

endocrinology. South Dartmouth (MA): Endotext; 2000. Available at: www.endotext.org.

83. Krisht AF, Barrow DL, Barnett DW, et al. The microsurgical anatomy of the superior hypophyseal artery. *Neurosurgery* 1994; 35:899–903 [discussion: 03].
84. Fernandez-Miranda JC, Gardner PA, Rastelli MM Jr, et al. Endoscopic endonasal transcavernous posterior clinoidectomy with interdural pituitary transposition. *J Neurosurg* 2014; 121:91–9.
85. Everton KL, Rassner UA, Osborn AG, et al. The oculomotor cistern: anatomy and high-resolution imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008; 29:1344–8.
86. Ceylan S, Anik I, Cabuk B, Caklili M, Anik Y. Extension Pathways of Pituitary Adenomas with Cavernous Sinus Involvement and Its Surgical Approaches. *World Neurosurg*. 2019;127:e986-e995. doi:10.1016/j.wneu.2019.04.013
87. Fernandez-Miranda JC, Gardner PA, Snyderman CH, et al. Craniopharyngioma: a pathologic, clinical, and surgical review. *Head Neck* 2012; 34:1036–44.
88. Rhoton AL Jr. The anterior and middle cranial base. *Neurosurgery* 2002;51: S273–302.
89. Fernandez-Miranda JC, Gardner PA, Snyderman CH, et al. Clival chordomas: a pathological, surgical, and radiotherapeutic review. *Head Neck* 2014; 36:892–906.
90. Cabuk B, Ceylan S, Anik I, Tugasaygi M, Kizir S. A Haptic Guided Robotic System for Endoscope Positioning and Holding. *Turk Neurosurg*. 2015;25(4):601-607. doi:10.5137/1019-5149.JTN.13290-1
91. Merlet JP. *Parallel Robots*. 2nd ed. Berlin, Germany: Springer, 2006.
92. Bozovic V. *Medical Robotics*. 1st ed. Graz, Austria: I-Tech Education and Publishing, 2008.
93. Barkana DE. Design and implementation of a control architecture for a robot-assisted orthopedic surgery. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery* 2010; 6: 42-56.

94. 3D Slicer. <http://www.slicer.org>. Accessed August 14, 2013.
95. Kupferman ME, Hanna E: Robotic surgery of the skull base. *Otolaryngol Clin North Am* 47(3):415-423, 2014
96. Castelnovo P, Pistochini A, Locatelli D: Different surgical approaches to the sellar region: Focusing on the “two nostrils four hands technique.” *Rhinology* 44: 2–7, 2006
97. Kennedy DW: Functional endoscopic sinus surgery. Technique. *Arch Otolaryngol* 111:643–649, 1985
98. Poulouse BK, Kutka MF, Mendoza-Sagaon M, Barnes AC, Yang C, Taylor RH, Talamini MA: Human vs robotic organ retraction during laparoscopic Nissen fundoplication. *Surg Endosc* 13:461–465, 1999
99. Zimmermann M, Krishnan R, Raabe A, Seifert V: Robot-assisted navigated neuroendoscopy. *Neurosurgery* 51(6):1446-1451; discussion 1451-1452, 2000
100. Olinger A, Hildebrandt U: Endoskopische Operationen an der Wirbelsäule. In: Olinger A, Hildebrandt U (eds), *Endoskopische Wirbelsäulenchirurgie: Thorakal, transperitoneal, retroperitoneal*. Berlin: Springer, 2000:15-108
101. Maan ZN, Gibbins N, Al-Jabri T, D’Souza AR: The use of robotics in otolaryngology-head and neck surgery: A systematic review. *Am J Otolaryngol* 33(1):137-146, 2012
102. Kizir, S. And Bingül, Z. 2019. Design and development of a Stewart platform assisted and navigated transsphenoidal surgery. *TURKISH JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCES* , vol.27 , 961-972.