

# ELEKTROMANYETİK KATETER YÖNLENDİRME SİSTEMLERİ VE BRONKOSKOPI

Özge Akbülbul<sup>1</sup>, Gökhan Özdemir<sup>1</sup>, Mert Şener<sup>1</sup>, Aysun Baltacı<sup>2\*</sup>

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın en büyük sağlık sorunlarından kalp rahatsızlıkları ve başta akciğer olmak üzere çeşitli kanserler için her geçen gün teşhis ve tedavi anlamında yeni gelişmeler yaşanmaktadır. Bu rahatsızlıkların kimi zaman tedavisinde kimi zaman ise teşhisinde bir çok engel ve ciddi komplikasyon riskleri bulunmaktadır. Günümüzde bu riskleri en aza indirmek amacıyla yeni geliştirilen teknolojiler ışığında, yeni tedavi ve teşhis prosedürleri geliştirilmektedir. Riskleri en aza indirgeyen teşhis ve tedavi yöntemine bir örnek olarak minimal invaziv cerrahi<sup>3</sup> verilebilir. Minimal invaziv cerrahide, vücutta açılan bir ya da birkaç ufak kesiyle cerrahi işlem yapılacak ilgili bölgede boşluk yaratılır, daha sonra minyatür kameralı bir ekipman (laparoskop, endoskop) yerleştirilir. Böylece cerrahi ekip, prosedürü ameliyathanedeki video monitörlerinde büyütülmüş bir görüntü olarak görebilir ve takip eder. Cerrahi türüne göre özel ekipmanlar kesilere yerleştirilir. Bu prosedürler geleneksel açık cerrahinin sonuçlarıyla eşdeğer başarı sağlamanın yanı sıra minimal invaziv prosedürlerde küçük kesikler kullanılarak hastaya, daha az yara izi

ve ağrı, dolayısıyla daha kısa iyileşme süresi gibi önemli faydalar sağlayabilmektedir [1, 2]. Minimal invaziv cerrahi prosedürlerinde, kullanıldığı bölgedeki işleme göre isimlendirilen laporoskop, kolonoskop ve bronkoskop gibi endoskopi işlemleri için kullanılmaktadır. Bronkoskopi işlemiyle solunum yolları tübüler bir kateter (bronkoskop) yardımıyla gözlemlenebilmektedir. Bronkoskopi işlemine rijit bronkoskopi ile başlanmıştır. Rijit bronkoskop merkezi hava yolu lezyonlarının tedavisi, endobronşiyal lezyonların mekanik olarak küçültülmesi, lazer, argon plazma koagülasyonu, elektrokoter, kriyoterapi ve stent yerleştirme gibi modern terapötik<sup>4</sup> araçları uyarlayabilen anahtar araçtır [3]. Rijit bronkoskopi ile tanısal amaçlar için biyopsi işlemi, güvenli bir hava yolu sağlama ve terapötik müdahale için bir araç olarak kullanılmaktadır. Rijit bronkoskopik işlemle ilgili komplikasyonlar ameliyat öncesinde uygulanan anestezi ile alakalı olarak veya bronkoskopi işleminin kendisine bağlı olarak sınıflandırılabilir [4]. Bazı hastalarda bronkoskopi işleminde rijit bronkoskop kullanımından dolayı kardiyak iskemi<sup>5</sup> ve aritmi, zor hava yolu olan hastalar diş, diş eti ve gırtlak hasarı, trakeal veya bronşiyal duvar rüptürü<sup>6</sup> olduğu bildirilmiştir

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

<sup>2\*</sup> Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir

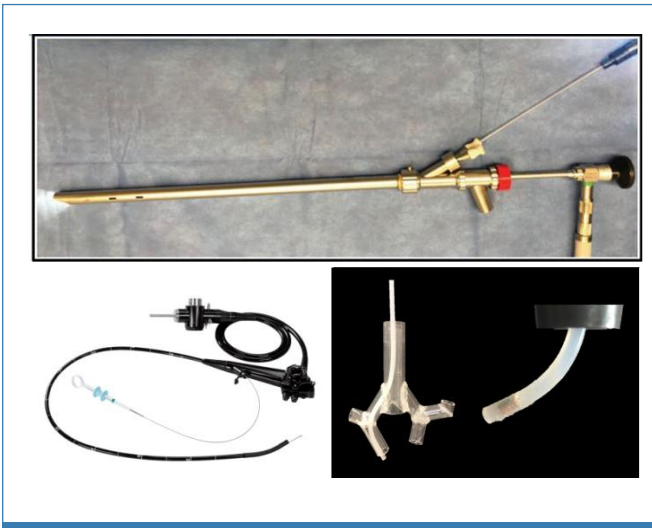
<sup>3</sup> Minimal invaziv cerrahi - Hastanın vücut bütünlüğüne en az zarar vererek yapılan tüm cerrahi müdahalelere minimal invaziv cerrahi denir.

<sup>4</sup> Terapötik - 1. Tedaviye ait; terapötik; 2. Şifa verici, tedavi edici.

<sup>5</sup> Kardiyak iskemi - Kalbin oksijen gereksinimini, gelen koroner akım miktarı karşılayamaz ise kalp kası beslenme bozukluğu (iskemi) ortaya çıkar. İskeminin en sık belirtilerinden biri ise; sessiz göğüs ağrısıdır ve çoğunlukla erken tanı konulamadığı için tedavisi de geciktirir.

<sup>6</sup> Rüptür - "Yırtılma".

[5,6]. Bu komplikasyonları azaltmak ve daha derinlere inmek adına esnek bronkoskop kullanımına yönelinmiştir. Transbronşiyal akciğer biyopsisinde (TBAB) üst loblarda lezyonlara hassasiyetle ulaşamamasından kaynaklanan rijit bronkoskopideki kısıtlamalar, esnek bronkoskopun malignite<sup>7</sup> teşhisindeki potansiyelini öne çıkarmıştır [7]. Esnek bronkoskopun daha küçük boyutu, daha büyük rijit bronkoskopa mümkün olmayan alt hava yollarının görüntülenmesine izin verir. Bu manevra kabiliyeti, şüpheli yabancı cisim veya alt hava yolu tıkanıklığının değerlendirilmesine izin vermektedir [8]. Şekil 1'de bahsedilen kateter örnekleri görülmektedir.



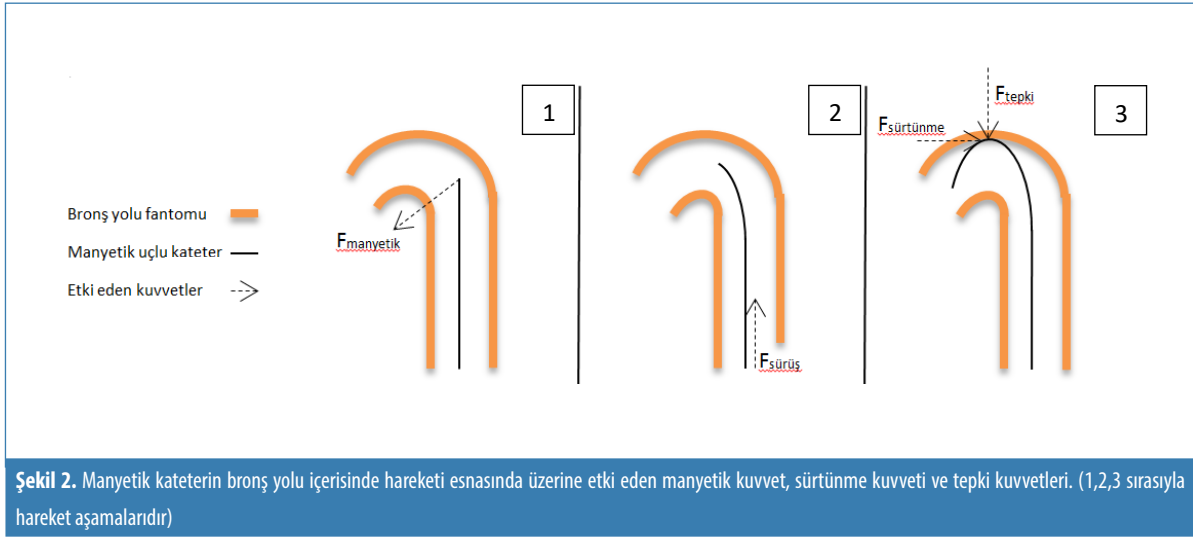
Şekil 1. Rijit Bronkoskop (Üst), Esnek Kateter (Sol Alt), Esnek Manyetik Kateter (Sağ Alt)

## 2. ELEKTROMANYETİK KATETER YÖNLENDİRME SİSTEMLERİ

Günümüzde minimal invaziv cerrahi prosedürlerini belirli bir standarda oturtmak ve operasyonda cerrahın el becerisine bağlılığı azaltma ihtiyacı uzaktan kontrollü sistemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır [9]. Uzaktan kontrole en elverişli sistemler ise, robotik kateter yönlendirme sistemleri ve manyetik kateter yönlendirme sistemleri olarak sıralanabilir. Robotik kateter yönlendirme sistemlerinde genellikle kateter esnek ya da rijit uzuvlardan ve bu uzuvları birbirine bağlayan, çoğu zaman yönlenme aktivasyonunun da sağlandığı eklemlerden oluşur. Bu eklemlerde gerekli yönlenmeyi sağlamak amacıyla, aktif odacıklar (uzaktan şişirilen veya büzüştürülen hidrolik/pnömatik odacıklar), kılavuz tel, ve akıllı materyaller ile şekil değiştiren eklemler kullanılır [10]. Manyetik kate-

ter yönlendirme sistemlerinde ise esnek kateter ucuna yerleştirilen mikro sargılar, kalıcı mıknatıslar veya demir bilyeler üzerine dışarıdan oluşturulan bir manyetik alan ile yönlendirilen sargılar veya kalıcı mıknatıslar ile uygulanan manyetik alan aracılığıyla kateterin yönlendirilmesi sağlanmaktadır[11]. Bu iki sistem arasında robotik kateter sistemlerinin eklem boyutlarının getirdiği kısıtlar gibi dezavantajlar vardır. Manyetik sistemlerin doku hareketlerine daha kolay uyum sağlayabilmesi gibi avantajları yüzünden elektromanyetik alan ile nesne manipülasyonu ön plana çıkan bir kontrol şekli olmaktadır. Elektromanyetik alan ile kontrol yöntemi bronkoskopi işlemine uygulandığında, bronkoskopun uzaktan yönlendirilmesi ile daha standart bir prosedür elde edilecek ve uygulayıcı ekibin sorumluluğunu ve operasyon sırasında oluşabilecek komplikasyonları azaltacaktır. Elektromanyetik aktivasyon sistemi, manyetik özelliğe sahip bronkoskopu akciğerlerde yönlendirmeye yarayan Helmholtz ve Maxwell bobinlerinden oluşmaktadır. Kullanıcı ara yüzünde bu bobinler üzerinden geçen akımlar ayarlanır ve oluşan manyetik alan etkisiyle ucunda manyetik malzemeler bulunan esnek kateter (Manyetik bronkoskop) hareket eder. Bu noktada esnek kateterin mekanik tasarımı, kateterin hareket varyasyonlarını belirlemek açısından oldukça önemlidir. Örneğin tasarırken düşük eğilme direncine ve yüksek burulma direncine sahip olmasına özen gösterilmelidir. Kateterin küçük yarıçaplı bronş yollarında dönmesi esnasında olası bir bronş duvarına dik teması ile duvarı kateter üzerine aksel yük etki edecektir, tasarım yapılırken bu aksel yük ile bronş iç duvarlarındaki dokuda delinme yaratmayacak kadar esnek fakat kateterin ileri sürüşünü olumsuz yönde etkilemeyecek kadar dayanıklı olmalıdır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise, küçük yarıçaptaki dönüşlerde kateter duvarı içeri bükülebilir, katlanabilir, bu sebeple operasyon için gerekli olan minimum eğilme yarı çapı bilinip kateter et kalınlığı buna göre hesaplanmalıdır. Manyetik bir kateterin hareketi esnasında ideal hareketi şekil 2'de gösterilmiştir. Tüm bu tasarım kriterlerini göz önüne aldıktan sonra manyetik esnek kateterin hareketinin modellenmesi için kateter, uç yüklemeli ve tek tarafı ankastre mesnetli bir kiriş gibi düşünebilir. Böylece kateter, Euler-Bernoulli kiriş modelidir[12] (Bu model ince kirişlerin eğilmesi için ideal bir modeldir. Kateterimizin inceliğinden dolayı Timoshenko ile modellenmesine gerek olmasa bile bu şekilde model-

<sup>7</sup> Malignite - Kansere yol açan kötü huylu tümörlere verilen ortak isim.



Şekil 2. Manyetik kateterin bronş yolu içerisinde hareketi esnasında üzerine etki eden manyetik kuvvet, sürtünme kuvveti ve tepki kuvvetleri. (1,2,3 sırasıyla hareket aşamalarıdır)

lenen örneklerde mevcuttur.), Sözdde Rijit Gövde Modeli (Pseudo Rigid Body Model, PRBM)[13], Cosserat teori[14] gibi yöntemlerle modellenebilir. Bu modeller temel olarak kateter ucunun konumu ve eğilme açısını belirlemek üzere kullanılır. Uç konumun ve uç eğilme açısının optimum doğruluklarda ve kısa hesaplama süreleriyle elde edilmesi önemlidir.

Kateterin uç konumu ve eğilme açısının hesaplanabilirliği ileri aşamalarda kateterin izleyeceği yörüngeyi belirlemede önemli rol oynayan bir parametredir. Böylece gerekli yön ve büyüklükte manyetik kuvvet üretecek şekilde bobinlerden akım geçirilerek kateterin hareketi sağlanır. Fakat kateterin hareketi esnasında üzerine bu kuvvetlerin yanında bronş duvarlarından sürtünme kuvveti ve her dönüşte bir tepki kuvveti de etki eder. Bu kuvvetler Şekil 2 de verilmiştir. Kateter ilerledikçe bu kuvvetlerin kateterin üzerindeki yeri ve büyüklüğü değiştiği için dinamik bir etki yaratmaktadır. Bu dinamik etkiler modellemeyi zorlaştırmakla birlikte kateterin yönlendiği kanal boyunca hareketi için gereklidir. Bu sebeple kurulan sistemlerde bir görüntü geri besleme sistemi ile kateter hareketinin doğruluğunun denetlenmesi gerekir. Maxwell ve Helmholtz bobinlerinin düzenlenmesiyle bronkoskopun hareketi çok boyutlu olarak sağlanabilmektedir [15]. Bronkoskopun konumunun takibinin yapılması için Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG), Bilgisayarlı Tomografi (BT), floroskopi gibi görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. Bronkoskopun bronşlar içerisindeki konumunun doğruluğu kontrolcü ve görüntüleme sisteminin geri bildirimleriyle sağlanmaktadır [16]. Piyasada akademik çalışma olarak başlayıp sonradan ticarileşmiş Sensei [17],

Magellan [18], Niobe (Stereotaxis) [19], Genesis [17], CGCI (Magnetecs) [20], Aegon Phocus (Aegon Scientific) [21] elektromanyetik navigasyon sistemleri bulunmaktadır (Şekil 3). Bu cihazların görüntüleme sistemleri floroskopik yöntemler başta olmak üzere, MRG, BT gibi görüntüleme yöntemleriyle birlikte çalıştırılmaktadır.

Araştırmamızda, Temassız Kontrol edilebilen Esnek Bronkoskop Sistemi Geliştirilmesi üzerine çalışılmaktadır (118E769 TÜBİTAK). Proje kapsamında elektromanyetik esnek bronkoskop üretimi, akciğeri kapsayan çalışma uzayı için sargı sistemlerinin üretimi, kontrolcü ve görüntü geri besleme sistemi üretimi aşamalı olarak yapılmaktadır. Görüntüleme sistemi olarak ise son on yılda adından söz ettiren Manyetik Parçacık Görüntüleme Sistemi üzerine odaklanılmıştır [22]. Manyetik parçacık görüntüleme sistemi, Süperparamanyetik nanoparçacık (SPION) içeren kateterin görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Bu görüntüleme yönteminde belirtilen nanoparçacıkların dokuyla olan etkileşiminden kaynaklı gürültülerin az olması sebebiyle görüntülemeye verimlidir. Bu sayede



Şekil 3. Elektromanyetik Navigasyon Sistemleri

bilgisayar algoritmaları kullanılarak dokunun oluşturduğu arka plan gürültüsü olmadan görüntü geriçatımı sağlanmaktadır [23, 24]. Bununla birlikte, uzaktan kontrol edilebilen elektromanyetik sistemlerin özellikle geometrisi kompleks ve yolları dar olan akciğer, kalp gibi vücut kısımlarında önemli rol oynayacağı ön görülmektedir.

### 3. SONUÇ

Elektromanyetik sistemlerin gelişimi ve bronkoskopi işlemi gibi önemli cerrahi operasyonlarda kullanılması hem hasta açısından hem de sağlık personeli açısından umut vericidir. Daha hızlı işlemcilerin ve daha iyi görüntüleme sistemlerinin geliştirilmesi ile bu tip elektromanyetik sistemlerin ismini aynı Da Vinci robotunda olduğu gibi daha sık duyacağız. Bu sistemlerle daha küçük lezyonların bulunmasına ve daha zorlu kısımlardaki biyopsi işleminin uygulanmasına imkan tanınacaktır. Operasyonel işlemler daha hassas ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Bu tarz manyetik kateter çalışmaları ile, mikro ve nano robot uygulamaları gibi herhangi bir yapıya bağlı olmayan sistemlerin, vücut içerisinde manipülasyonu yaygınlaşacaktır. Ayrıca ilerleyen süreçlerde daha da gelişecek 5G gibi teknolojiler ile birlikte internet hızındaki gecikmelerin azalması, online ameliyatların önündeki engelleri kaldıracak ve uzaktan erişimle bu süreçlerin ilerlemesinde bu gibi sistemlerin önemini arttıracaktır.

### KAYNAKÇA

1. **Baltayiannis, N.** et al., 2015. "Minimally invasive procedures," *Ann. Transl. Med.*, vol. 3, no. 4, pp. 1–7.
2. **Hung, A. J., Chen, J., Shah, A. ve Gill, I. S.** 2018. "Telemetering and Telesurgery for Minimally Invasive Procedures," *J. Urol.*, vol. 199, no. 2, pp. 355–369.
3. **Batra, H and Yarmus, L.** 2018. "Indications and complications of rigid bronchoscopy," *Expert Rev. Respir. Med.*, vol. 12, no. 6, pp. 509–520.
4. **Neyman, K., Sundset, A., Espinoza, A., Kongerud, J. and Fosse, E.**, 2011. "Survival and complications after interventional bronchoscopy in malignant central airway obstruction: A single-center experience," *J. Bronchol. Interv. Pulmonol.*, vol. 18, no. 3, pp. 233–238.
5. **Briault, A. and Dutau, H.**, 2018. "Rigid bronchoscopy," *Rev. Mal. Respir.*, vol. 35, no. 5, pp. 578–581.
6. **Jin, H. K.** et al., 2007. "Tracheobronchial laceration after balloon dilation for benign strictures: Incidence and clinical significance," *Chest*, vol. 131, no. 4, pp. 1114–1117.
7. **Miller, R. J., Casal, R. F., Lazarus, D. R., Ost, D. E. and Eapen, G. A.**, 2018. "Flexible Bronchoscopy," *Clin. Chest Med.*, vol. 39, no. 1, pp. 1–16.
8. **Yonker, L. M., and Fracchia, M. S.**, 2012. "Flexible bronchoscopy," *Adv. Otorhinolaryngol.*, vol. 73, pp. 12–18.
9. **Lee, C. T.**, 2004. "Recent advances in bronchoscopy," *Tuberc. Respir. Dis. (Seoul)*, vol. 56, no. 6, pp. 593–599.
10. **Fu, Y., Liu, H., Huang, W., Wang, S. and Liang, Z.**, 2009. "Stererable catheters in minimally invasive vascular surgery," *Int. J. Med. Robot. Comput. Assist. Surg.*, vol. 5, no. 4, pp. 381–391.
11. **Heunis, C., Sikorski, J. and Misra, S.**, 2018. "Flexible Instruments for Endovascular Interventions: Improved Magnetic Steering, Actuation, and Image-Guided Surgical Instruments," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 25, no. 3, pp. 71–82.
12. **Beléndez, T., Cristian, N. and Augusto B.**, 2002. "Large and Small Deflections of a Cantilever Beam," *European Journal of Physics*, vol. 23, no. 3, pp. 371–379.
13. **Su, Hai Jun.**, 2009. "A Pseudorigid-Body 3r Model for Determining Large Deflection of Cantilever Beams Subject to Tip Loads," *Journal of Mechanisms and Robotics*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9.
14. **Cao, D. Q., and Robin W. T.**, 2008. "Nonlinear Dynamics of Elastic Rods Using the Cosserat Theory: Modelling and Simulation," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 45, no. 2, pp. 460–77.
15. **Pantoja, G. I. M., Medina, M. A. M. and Albán, O. A. V.**, 2019. "Magnetic three-dimensional pose control system for micro robots in the human head," *BIODEVICES 2019 - 12th Int. Conf. Biomed. Electron. Devices, Proceedings; Part 12th Int. Jt. Conf. Biomed. Eng. Syst. Technol. BIOSTEC 2019*, no. Biostec, pp. 65–74.
16. **Gauvin, G. et al.**, 2020. "Real-time electromagnetic navigation for breast-conserving surgery using NaviKnife technology: A matched case-control study," *Breast J.*, vol. 26, no. 3, pp. 399–405.
17. **Biase, L. Di et al.**, 2009. "Ablation of atrial fibrillation utilizing robotic catheter navigation in comparison to manual navigation and ablation: Single-center experience," *J. Cardiovasc. Electrophysiol.*, vol. 20, no. 12, pp. 1328–1335.
18. **Rafii-Tari, H. et al.**, 2016. "Reducing contact forces in the arch and supra-aortic vessels using the Magellan robot," *J. Vasc. Surg.*, vol. 64, no. 5, pp. 1422–1432.
19. **Carpi, F. and Pappone, C.**, 2009. "Stereotaxis Niobe® magnetic navigation system for endocardial catheter ablation and gastrointestinal capsule endoscopy," *Expert Rev. Med. Devices*, vol. 6, no. 5, pp. 487–498.
20. **Gang, E. S. et al.**, 2011. "Dynamically shaped magnetic fields: Initial animal validation of a new remote electrophysiology catheter guidance and control system," *Circ. Arrhythmia Electrophysiol.*, vol. 4, no. 5, pp. 770–777.
21. **Liu, J. et al.**, 2016. "Design and Fabrication of a Catheter Magnetic Navigation System for Cardiac Arrhythmias," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 26, no. 4.
22. **Knopp, T. and Buzug, T. M.**, 2012. "Magnetic Particle Imaging," *Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*.
23. **Zheng, B. et al.**, 2017. "Seeing SPIOs Directly In Vivo with Magnetic Particle Imaging," *Mol. Imaging Biol.*, vol. 19, no. 3, pp. 385–390.
24. **Grüttner, M. et al.**, 2013. "On the formulation of the image reconstruction problem in magnetic particle imaging," *Bio-med. Tech.*, vol. 58, no. 6, pp. 583–591.