



Omurga Cerrahisinde Ameliyat Planlama ve Optimizasyon

Surgical Planning and Optimization of A Full Spine Surgery

¹ Mücahit Ege, ² Serdar Küçük, ³ Özgür Çakır

¹ Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı

² Biyomedikal Mühendisliği

³ Radyoloji Bölümü

¹ İstanbul Gedik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

^{2,3} Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

¹ mucahit.ege@gedik.edu.tr

² skucuk@kocaeli.edu.tr

³ ozgur.cakir@kocaeli.edu.tr

⁴ Levent Aydın, ⁵ Rıza Dilek, ⁶ Gözde Konuk Ege

⁴ Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı

⁵ Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı

⁶ Mekatronik Programı, Türkiye

^{4,5,6} İstanbul Gedik Üniversitesi, Türkiye

⁴ 146162002@kocaeli.edu.tr

⁵ riza.dilek@gedik.edu.tr

⁶ gozde.konuk@gedik.edu.tr

Özetçe— Üç boyutlu tarama teknolojileri, anatomik modeller, biyouyumlu implantlar ve ortotik/protez modeller gibi tıbbi ihtiyaçlar için yaygın şekilde kullanılmaya başlamıştır. Ancak taranan dokuların üç boyutlu görsellerinin iki boyutlu bilgisayar ekranları kullanılarak görüntülenmesi istenilen etkiyi verememektedir. Sanal gerçeklik teknolojisi ile yapılan cerrahi planlama daha kesin sonuçlar sunuyor olsa da yüksek maliyetler nedeniyle her hastanede uygulanamamaktadır. Bu çalışmada ileri derece bir skolyoz hastasının ameliyat işlemi önceden planlanarak, özellikle kompleks omurga ameliyatlarında kullanılmak üzere ideal bir protokol belirlenmiş ve hedef anatomik doku yapısına uygunluğu analiz edilmiş olup bahsedilen anatomik modelin üretimini gerçekleştirecek katmanlı üretim teknolojileri tabanlı bir ameliyat planlama sistemi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler—Cerrahi planlama, görüntü tabanlı cerrahi, ortopedik cerrahi, simulasyon

Abstract— 3D scanning technologies have become widely used for medical needs such as anatomical models, biocompatible implants and orthotic / prosthetic models. However, the use of 3D visuals of the scanned tissues using two-dimensional computer screens cannot give the desired effect. Although surgical planning with virtual reality technology provides more accurate results, it cannot be performed in every hospital due to high costs of the system. In this study, the operation of an advanced scoliosis patient was planned in advance. An ideal protocol to be used especially in complex spine operations was determined and its suitability to the target anatomical tissue structure was analyzed. At the same time, a surgical planning system based on layered manufacturing technologies to realize the production of the mentioned anatomical model is introduced.

Keywords—Surgical planning, image guided surgery, orthopedic surgery, simulation

I. GİRİŞ

Skolyoz, ciddi vakalarda ameliyat gerektiren omurgada meydana gelen bir deformasyondur [1]. Omurgada 10 dereceden daha büyük bir yanal sapma skolyoz olarak tanımlanır. Sağlıklı bir omurga ön düzlemden düz bir görünüme sahip iken hasta kişide anormal bir yanal eğrilik görülür [2]. Bu hastalık kalıtsal faktörlerden oluşabileceği gibi nedeni bilinmeyen durumlarda bulunmaktadır. Bu durumdaki hastalar yaşa göre 3 ana gruba ayrılır: i) İnfantil (3 yaşına kadar), ii) Çocuk (4 ila 9 yaş) ve iii) Ergen (10 ila 18 yaş arası) [3]. Skolyozun ciddiyeti Cobb Metodu ile belirlenebilmektedir. Bu metoda göre, omurganın bir skolyotik eğrisi şöyle tanımlanır: i) Hafif Skolyoz (10° - 25°, izleme gerektirir), ii) Önemli Skolyoz (25° - 40°, dış teliyle tedavi yapılır) ve iii) Şiddetli Skolyoz (40°'nin üzerinde, cerrahi operasyon gerektirir) [4]. Son zamanlarda, insanların bilinçsizliği nedeniyle skolyoz hastalarının sayısı dünya genelinde %3'e yaklaşmıştır. Bu hastalığın ilerleyişini önlemek için erken aşamada tanı koymak gerekmektedir. Operasyon bölgesinde omurilik sinirleri ve kan damarları bulunması nedeniyle işlemler hassasiyet içinde gerçekleştirilir. Cerrahi bölgede yaralanmalar pulmoner emboliye ve hatta ölüme sonuçlanabilecek durumlara neden olabilir. Bu nedenle, yeni teknolojiler ve yöntemler, ameliyata yardımcı olmak veya ameliyatı planlamak için büyük önem taşımaktadır.

Multidetektörlü Bilgisayarlı Tomografi (MDBT) ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) gibi tıbbi görüntüleme teknolojileri insan vücudunun karmaşık dokularını görselleştiren teknolojilerdir [5]. Yüksek çözünürlüklü görüntüler radyologların daha doğru tanı koymalarını sağlar [9]. Taranan dokuların 3B görselleştirilmesi cerrahi prosedürleri

basitleştirmesine rağmen iki boyutlu (2B) bilgisayar ekranları istenilen etkiyi düşürmektedir [6]. Sanal gerçeklik ile yapılan ameliyat öncesi planlama daha kesin sonuçlar vermektedir. Ancak yüksek maliyetleri nedeniyle her hastanede kullanılamamaktadır. 3B görüntülerin ameliyat planlamada kullanımını için etkili diğer bir yöntem ise katmanlı üretim yöntemlerinin kullanılması ile mümkün olabilmektedir.

Katmanlı üretim yöntemiyle cerrahi planlama, 5 temel adımdan oluşur: i) Veri toplama, ii) Görüntü bölümlendirme, iii) 3D model rekonstrüksiyonu, iv) 3D baskı ve v) Preoperatif inceleme [7]. Veri toplama aşamasında, genel olarak 2D DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) görüntülerini elde etmek için Bilgisayarlı Tomografi (BT) gibi bir tıbbi görüntüleme sistemi kullanılır. Cerrahi planlamanın doğruluğu ilk önce taranan ham görüntülerin Kontrast-Gürültü Oranına (CNR) bağlıdır [8]. Yüksek CNR değerleri, bir modelin 3B rekonstrüksiyonundan önce ayrıntılı bölümlendirme elde etmenizi sağlar. Bu görüntüler daha sonra, ilgilenilen bölgenin manuel olarak seçilmesiyle bir ticari (Mimics) veya açık kaynak (InVesalius) tıbbi görüntü işleme yazılımı kullanılarak işlenir. Böylece, hedef anatomik modelin dağılımı her görüntü bölümünde maskelenir. 3D rekonstrüksiyon işleminden önce ve sonra önceden tanımlanmış eşikleri kullanarak gürültüyü en aza indirmek için dokuya özel filtreler veya veri setleri uygulanabilir. Katı model bir Standard Tessellation Language (STL) dosyası olarak dışa aktarılır ve 3D yazdırmaya hazırlanır. 3B yazdırma adımında, STL dosyası Eriyik Yığılma Modelleme (FDM), Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya Stereolitografi (SLA) gibi katmanlı üretim yöntemlerinden biri kullanılarak üretilir. Preoperatif inceleme adımında, basılan model ameliyat öncesi ve sırasında yönlendiren bir referans model olarak kullanılır. Cerrahi planlama önemli olduğundan ve ameliyat sırasında çok önemli bir rol oynadığından, referans 3B model minimal geometrik hatalar ile elde edilmelidir. 3B rekonstrüksiyonlu modellerin doğruluğu, her bir model için Hausdorff Distance (HD) ve Zar Benzerlik Katsayısı (DSC) değerleri hesaplanarak analiz edilmektedir [9]. DSC, 0 (üst üste binme yok) ile 1 (tam üst üste binme) arasında değişen iki model arasındaki hacim örtüşmesini ölçerken, HD her ikilik hacmi arasındaki Öklid mesafesini hesaplar [10]. 3B modellerin görsel kalitesini ve doğruluğunu değerlendirmek için çeşitli yöntemler (geometrik mesafe, pürüzlülük, yapı, belirlenlik) uygulanabilir [11].

Bu çalışmada, bir skolyoz hastasının omurga modeli önce katmanlı üretim teknolojisi ile üretilmiş ve sonra her bir geometrik hatayı karşılaştırmak için farklı filtreler ve parametreler kullanılarak MIMICS yazılımında (manuel ve otomatik segmentasyon) 3B olarak yeniden yapılandırılmıştır. Her yeniden yapılandırılmış modelin DSC ve HD değerlerinin sonuçları, bir omurga cerrahisinin cerrahi planlaması için ideal protokolü ortaya koymaktadır ve oluşturulan modelin doğruluğunu vermektedir.

II. METOT

Konjenital skolyozu olan 6 yaşında bir erkek hasta ham görüntü verilerinin elde edilmesi için bu çalışmaya dahil edildi.

Tıbbi tarama işlemi Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı'nda BT (Aquilion 64, Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japonya) kullanılarak gerçekleştirildi. Etik izin, Kocaeli Üniversitesi Etik ve Araştırma Komitesi tarafından alındı (Referans Numarası: KU GOKAEK 2019/204). 2 mm dilim kalınlığında, 140 mm görüş alanında (FoV) ve 135 kV'de (40 mA, 1s) tam bir spinal BT taraması yapıldı ve 449 dilimlik ham DICOM görüntüleri elde edildi. Böylece cerrahi planlamanın ilk adımı olan veri toplama süreci tamamlandı.

Görüntü segmentasyon aşamasında MIMICS yazılımı (v19) kullanıldı ve herhangi bir filtre olmadan MIMICS aracılığıyla otomatik olarak bir referans modeli oluşturuldu. DICOM dosyaları (449 görüntü) yazılıma yüklendi ve kemiklerin daha önceden tanımlanmış eşik kümesinde eşiklendirme aracı



Şekil 1. Referans modelin üç boyutlu cerrahi model segmentasyonu a) Üç boyutlu filtrelenmemiş ham modelin görüntüsü, b) Filtrelenmemiş DICOM görüntülerinin MIMICS yazılımına aktarılmış görüntüsü, c) Filtrelenmiş model görüntüsü

kullanarak segmentasyon işlemi yapıldı. Segmentasyon adımı her bir görüntü bölümü maskelenerek ve farklı renklerle vurgulanarak tamamlandı.

3B hesaplama fonksiyonu yüksek kalitede 3B ham yüzeyini yeniden oluşturmak kullanıldı ve 3B model rekonstrüksiyon aşamasında maskelenmiş görüntülere dayanarak istenen kontur ile oldukça gürültülü bir model oluşturuldu. Her görüntü, omurganın bir 3B ham modelini oluşturmak için sırayla yerleştirildi. Çalışma alanında ve modelin yüzeyinde gürültü olduğu için, 3B ham model, manuel yüzey rekonstrüksiyonu ve gürültünün ortadan kaldırılması için doğrudan 3-Matic yazılımına aktarıldı. Modelin yüzey geometrisi manuel olarak düzenlendi ve gürültü 3-Matic yazılımıyla manuel olarak giderildi. Referans cerrahi modelin 3B rekonstrüksiyonu, Şekil 1'de gösterilmektedir.

Test modelleri 3 gruba ayrıldı: i) Ön işleme, ii) Düzeltme ve iii) Tam işleme. Önceden işlenmiş modeller, filtrelenmiş

DICOM görüntüleri kullanılarak, MIMICS'te herhangi bir işlem sonrası olmadan segmentasyon aşamasından önce elde edildi. İşlenmiş modeller ham DICOM görüntülerinden oluşturuldu ve yalnızca model yeniden oluşturulduktan sonra 3-Matic aracılığıyla işlendi. Tamamen işlenmiş modeller, her iki işlemin bir kombinasyonu ile oluşturuldu.

MIMICS'in Median filtresi ham DICOM görüntülerine sırasıyla uygulandı ve daha sonra önceden işlenmiş modellerde her örnek için ayrı ayrı segmentasyon adımı uygulandı. 3-Matic yazılımının Smooth aracı ile sonrasında düzeltmeler yapıldı.

Her omurga modeli HD ve DSC değerleri hesaplanmadan önce 3-Matic yazılımıyla işlendi. Her bir modelin omurga bölümleri manuel olarak çıkarıldı ve Cloud Compare yazılımına (v2.11, Açık Kaynak) aktarıldı. Ardından HD ve DSC sonuçları açısından referans modelle karşılaştırıldı. Üretilen test modelleri Şekil 2'de gösterilmektedir.

Referans modelin ve test modellerinden birinin aynı anda Cloud Compare çalışma alanında içe aktarılması ve analiz



Şekil 2. a) Reference model, b) Median filter, c) Smooth function

edilmesiyle test modellerinin HD'si hesaplandı. Ardından aynı şekilde referans model ve bir test modelinin Cloud Compare yazılımının 3B çalışma alanına aktarılmasıyla iki model arasında örtüşen hacim değerlerini elde etmek için DSC değerleri hesaplandı.

III. BULGULAR

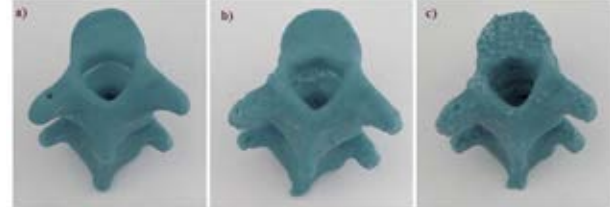
Median filtresi Smooth filtresine göre daha fazla geometrik hata üretmiştir. Modellerin DSC değerleri 1'e yakın olması nedeniyle referans modelle büyük ölçüde üst üste binmektedir. Smooth filtresi ile elde edilen modelin maksimum hata değerinin negatif olması bu modelin referans modelden daha büyük bir hacmi olduğunu göstermektedir. Tüm sonuçlar Tablo 1. de verilmiştir.

TABLO I. TEST MODELLERİNE UYGULANAN FİLTRELER, HATA, HD VE DSC SONUÇLARI

No	Filtre Aracı	Filter tipi	Model Hacmi (mm ³)	Maks. Hata (%)	HD (mm)	DSC (0-1)
1	Median	Pre	79867.7	10.0948	1.0433	0.9117
2	Smooth	Post	90480.1	-1.8512	1.1855	0.9377
3	Median+ Smooth	Together	82231.4	7.4340	1.0411	0.9166

Referans Model Hacmi: 88835.5 mm³

Katmanlı imalat teknolojileri ile üretilmiş modeller Şekil 2'de gösterilmiştir. Median filtre uygulanmış model yapısal ve hacimsel olarak belirgin şekilde Smooth fonksiyonu uygulanmış modele göre iyi görünmektedir.



Şekil 2. Üretilen modeller a) Referans model, b) Median filtreli model, c) Smooth uygulanmış model

IV. SONUÇ

Bu çalışma ile 6 yaşında erkek bir skolyoz hastasının omurga 3B görüntüleri alınarak ameliyat öncesi planlama için katmanlı imalat teknolojisi ile üretilmiş modeller elde edilmiştir. Bu modellerde her bir geometrik hatayı karşılaştırmak için farklı filtreler ve parametreler kullanılarak MIMICS yazılımında (manuel ve otomatik segmentasyon) 3B olarak yapılandırılmıştır. Her yeniden yapılandırılmış modelin DSC ve HD değerlerinin sonuçları incelenerek yapısal farklılıklar ortaya konulmuştur. Modellere iki farklı filtre uygulanmış olup katmanlı imalat teknolojisi ile bu modeller üretilmiştir. Böylece üç boyutlu bir yapı fiziksel olarak elde edilerek ameliyat planlama süreçleri için incelenmiştir. Median filtre uygulayarak elde edilen model referans modele en yakın form olması nedeniyle ameliyat planlama süreçlerinde kullanımı cerrahi işlemleri kolaylaştıracaktır.

REFERANSLAR

- [1] Choudhry MN, Ahmad Z, Verma R. Adolescent idiopathic scoliosis. *Op Orth J.* 2016; 10: 143.
- [2] Miller MD, Thompson SR, Hart J. Review of orthopaedics. Elsevier Health Sciences; 2012. p. 1.
- [3] treatingscoliosis [Internet]. Treating Scoliosis: c2019 [cited 16.08.2019]. Available from: www.treatingscoliosis.com/infographics/scoliosis-by-the-numbers/
- [4] Napierkowski DB. Scoliosis: a case study in an adolescent boy. *Orth Nur.* 2007; 26(3): 147-155.
- [5] Rengier F, et al. 3d printing based on imaging data: review of medical applications. *Int J Com Ass Rad Surg.* 2010; 5(4): 335-341.
- [6] Chae MP, et al. Emerging applications of bedside 3d printing in plastic surgery. *Fron Surg.* 2015; 2: 25.
- [7] Guo HC, et al. Application of 3d printing in the surgical planning of hypertrophic obstructive cardiomyopathy and physician-patient communication: a preliminary study. *J Tho Dis.* 2018; 10(2): 867.
- [8] Starosolski ZA, et al. Application of 3-d printing (rapid prototyping) for creating physical models of pediatric orthopedic disorders. *Ped Rad.* 2014; 44(2): 216-221.
- [9] Egger J, et al. GBM volumetry using the 3d slicer medical image computing platform. *Sci Rep.* 2013; 3: 1364.
- [10] Taha AA, Hanbury A. An efficient algorithm for calculating the exact hausdorff distance. *IEEE Tran Pat Anal Mac Int.* 2015; 37(11): 2153-2163.
- [11] Bulbul A, et al. Assessing visual quality of 3-d polygonal models. *IEEE Sig Proc Mag.* 2011; 28(6): 80-90.